



FONDUL SOCIAL EUROPEAN

Investește în oameni!

Programul Operational Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

Proiect POSDRU/159/1.5/S/138963- Performanță sustenabilă în cercetarea doctorală și post doctorală – PERFORM



UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN BUCUREȘTI

FACULTATEA INGINERIA ȘI MANAGEMENTUL SISTEMELOR TEHNOLOGICE
ȘCOALA DOCTORALĂ I.M.S.T. – DEPARTAMENTUL T.M.S.

TEZĂ DE DOCTORAT

**EVALUAREA PRIN METODE NEDISTRUCTIVE A
CALITĂȚII PIESELOR RECONDIȚIONATE**

**NON-DESTRUCTIVE EVALUATION OF THE
RECONDITIONED PARTS QUALITY**

Conducător de doctorat:

Prof. dr. ing. Gabriel Marius DUMITRU

**Autor:
Ing. Mariana GORAN (ENE)**

**BUCUREȘTI
2018**

Fondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013

FONDUL SOCIAL EUROPEAN

Investește în oameni!

Programul Operational Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

Proiect POSDRU/159/1.5/S/138963- Performanță sustenabilă în cercetarea doctorală și post doctorală – PERFORM

UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA INGINERIA ȘI MANAGEMENTUL SISTEMELOR TEHNOLOGICE
ȘCOALA DOCTORALĂ I.M.S.T. – DEPARTAMENTUL T.M.S.

Nr. Decizie Senat 256 din 06.07.2018

TEZĂ DE DOCTORAT

EVALUAREA PRIN METODE NEDISTRUCTIVE A
CALITĂȚII PIESELOR RECONDIȚIONATE
NON-DESTRUCTIVE EVALUATION OF THE
RECONDITIONED PARTS QUALITY

Autor: Ing. Mariana GORAN (ENE)

Conducător de doctorat: Prof.dr. ing. Gabriel-Marius DUMITRU

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof.dr.ing. Cristian DOICIN	de la	Universitatea POLITEHNICA din București
Conducător de doctorat	Prof.dr.ing. Gabriel Marius DUMITRU	de la	Universitatea POLITEHNICA din București
Referent	Prof.dr.ing. Radu IOVĂNAS	de la	Universitatea Transilvania din Brasov
Referent	G-ral Prof.dr.ing. Marian BUNEA	de la	Academia Tehnică Militară București
Referent	Prof.dr.ing. Gabriel IACOBESCU	de la	Universitatea POLITEHNICA din București

BUCUREȘTI
2018

Mulțumiri,

Finalizarea acestei teze de doctorat a fost posibilă datorită timpului alocat pentru studiile doctorale, sprijinului moral și îndrumarea a mai multor persoane.

În primul rând adresez sincere mulțumiri conducătorului științific, Domnului Prof. Univ. Dr. Ing. Gabriel Marius DUMITRU, pentru deosebitele indicații primeite în vederea elaborării tezei de doctorat, răbdarea și devotamentul arătat pe parcursul întregii perioade de studiu.

Țin să mulțumesc de asemenea Domnului Ing. Ion Trușca (Plasma Jet), Domnului Conf. Dr. Ing. Victor Popovici (Universitatea Politehnica București- laboratorul de defectoscopie nedistructivă I.M.S.T.) și Domnului Dr. Ing. Constantin Dumitrașcu (Universitatea Politehnica București – laboratorul de termografie cu radiații în infraroșu din departamentul TMS) pentru timpul și ajutorul acordat.

Mulțumesc familiei mele pentru susținerea acordată și înțelegerea acordată pe tot parcursul anilor de studii.

Acknowledgements

``Rezultatele prezentate în această teză de doctorat au fost obținute cu sprijinul Ministerului Fondurilor Europene prin Programul Operational Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013, Contract nr. POSDRU /159/1.5/S/138963 – PERFORM. The work has been funded by the Sectoral Operational Programm Human Resources Development 2007-2013 of the Ministry of European Funds through the Financial Agreement POSDRU /159/1.5/S/138963 – PERFORM``.

ABSTRACT

Scopul științific al tezei de doctorat "Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate" este de a caracteriza straturile depuse prin pulverizare termică, în vederea alegerii metodelor optime de recondiționare prin metalizare prin pulverizare termică, de a descrie controlul nedistructiv al straturilor pulverizate termic prin curenți turbionari și modelarea transferului termic.

Plecând de la avantajele și dezavantajele aplicării pulverizării termice prin procedeul de depunere în jet de plasmă, s-au efectuat analize prin element finit la straturile depuse din : AlMg₅ (stratul de bază oțel), Al₂O₃ (stratul de bază oțel) și Zr₂O₂+ 20% Y₂O₃ (stratul de bază oțel), au fost examinate prin ultrasunete și curenți turbionari, iar stratul depus Cr₂O₃ (stratul de bază oțel) a fost examinat prin termografie în infraroșu, prin Phased Array și curenți turbionari, în vederea obținerii neconformităților dintre stratul depus și cel de bază.

Studiile experimentale au fost efectuate pe șapte probe. Astfel, a fost stabilită grosimea stratului de pulverizare, neconformitățile dintre stratul depus și metoda optimă de recondiționare.

Direcțiile de cercetare ulterioară: prin studiile teoretice și cercetările experimentale ce se vor desfășura în cadrul Tezei de Doctorat "Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate", consider că se va da o consistență deosebită conceptului de condiționare/recondiționare, că noile cunoștințe dobândite vor îmbogăți teoria ingineriei suprafeteelor și vor conduce la schimbarea metodicii de proiectare în construcția de mașini prin certitudinea calității suprafeteelor oferită de controlul defectoscopiei nedistructive.

INTRODUCERE

Acum când omenirea este energofagă și că resursele materiale scad în raport cu consumul, că poluarea pune în pericol însăși existența omenirii, studiile și cercetările menite să conducă la scăderea consumurilor pe de o parte, dar și la satisfacerea pretențiilor de calitate ale consumatorilor sunt de maximă actualitate.

Partea de cercetare și documentare s-a efectuat în vederea descrierii procedeelor prin metalizare prin pulverizare termică și examinarea nedistructivă. Realizarea probelor pentru cercetarea experimentală și aplicarea metodei elementului finit.

Controlul nedistructiv prin curenți turbionari are menirea de a oferi certitudinea calității piesei recondiționate chiar și în cazul unor procese cu grad de incertitudine extrem de ridicat, așa cum sunt procesele de metalizare prin pulverizare.

Tehnologiile de condiționare și recondiționare prin pulverizare termică, caracterizate prin economie de material, de energie, de scule așchieitoare și manoperă pot satisface cu brio cerințele de mai sus, dar ridică o problemă extrem de importantă, și anume aderența stratului depus la materialul de bază [55].

Încercările straturilor depuse prin pulverizare termică – singurele standardizate sau recunoscute de către organisme de auditare - pot atesta valabilitatea procesului tehnologic proiectat. Dar variabilele de proces sunt extrem de multe. Tehnicile de control nedistructiv au menirea de a oferi încredere, certitudinea calității piesei recondiționate.

Obținerea unor straturi superficiale cu performanțe ridicate în raport cu materialul de bază, bazate pe creșterea continuă a calității straturilor depuse prin pulverizare termică.

Adaptarea unor tehnici specific de control nedistructiv pentru evaluarea straturilor depuse prin pulverizare termică, la nivelul actual al cerințelor tehnologiei proceselor de recondiționare, prin utilizarea unor materiale cu proprietăți fizico-chimice, mecanice și tehnologice mai mari decât a materialului de bază, astfel încât piesele recondiționate să asigure refacerea fiabilității.

În teza de doctorat se studiază straturile depuse prin pulverizare termică prin examinarea cu curenți turbionari și modelarea procesului de pulverizare termică prin metoda elementului finit, utilizând pachetul de programe ANSYS.

Cercetările experimentale cuprind probe de diferite dimensiuni, material depus, metode de analiză și control nedistructiv.

Urmarea a rezultatelor experimentate obținute, se propune schimbarea metodicii de proiectare în construcția de mașini prin certitudinea calității suprafețelor oferite de controlul defectoscopiei nedistructive.

OBIECTIVE ALE TEZEI DE DOCTORAT

Obiectivele urmărite spre a fi rezolvate în cadrul activităților de cercetare teoretică și experimentală în teză sunt următoarele:

- stabilirea stadiului actual al metodelor de recondiționare prin pulverizare termică;
- realizarea unor analize comparative privind fluxul tehnologic optim în procesele de recondiționare prin pulverizare termică;
- realizarea unor analize comparative privind eficiența metodelor și tehnicilor de defectoscopie nedistructivă;
- obținerea unor straturi superficiale cu performanțe ridicate în raport cu materialul de bază;
- adaptarea unor tehnici specifice de control nedistructiv respectiv curenti turbionari pentru evaluarea straturilor depuse prin pulverizare termică;
- caracterizarea straturilor depuse prin pulverizare termică, în vederea alegerii metodelor optime de recondiționare prin metalizare prin pulverizare termică.

Rezultatele urmărite:

- definirea metodelor existente de obținere a straturilor pulverizate termic;
- definirea proprietăților dintre parametrii tehnologici și proprietățile obținute;
- obținerea probelor pentru controlul cu curenți turbionari;
- corelarea rezultatelor obținute în urma controlului cu curenți turbionari asupra unui set de probe metalizate prin pulverizare termică, prin metoda elementelor finite cu ajutorul programului de analiză ANSYS;
- utilizarea unui model de îmbunătățire 6 Sigma DMAIC pentru reducerea numărului de neconformități identificate la recondiționarea prin metalizare prin pulverizare termică și implementarea rezultatelor prin intermediul unei proceduri de lucru pentru procesul de metalizare.

Procedurile de control de defectoscopie nedistructivă vor permite controlul tuturor produselor condiționate/recondiționate prin pulverizare termică și vor oferi certitudinea calității produsului. Modele teoretice vor putea constitui o bază de plecare privind studiul comportării tuturor mediilor, discontinuităților (strat cu porozitate) și pentru alte tipuri de aplicații.

Pornind de la cercetările teoretice și experimentale privind comportarea unor materiale utilizate în procesul de recondiționare, lucrarea de doctorat cuprinde 7 capitole:

CAPITOLUL 1 prezintă stadiul actual al evoluției cercetărilor teoretice privind metodele de recondiționare prin pulverizare termică.

CAPITOLUL 2 este consacrat studiului privind proprietățile și testarea proprietăților straturilor depuse prin pulverizare termică.

CAPITOLUL 3 prezintă stadiul inspecției straturilor subțiri cu curenți turbionari, sunt evidențiate tipurile de defect și domeniul de aplicabilitate ale acestora.

CAPITOLUL 4 evidențiază rezultatele experimentale privind inspecția cu curenți turbionari a straturilor depuse prin pulverizare termică și studiul comportării termice a probelor recondiționate, utilizând programul ANSYS, ce folosește metoda elementelor finite.

CAPITOLUL 5 cuprinde rezultatele experimentale a inspecției straturilor ceramice pulverizate termic, utilizând examinarea prin termografie în infraroșu, examinarea prin Phased Array și examinarea prin curenți turbionari.

CAPITOLUL 6 prezintă cercetări teoretice privind etapele de aplicare a principiilor de management al calității în procesele de control nedistructive prin metoda DMAIC (Definire, Măsurare, Analiză, Îmbunătățire, Control) specifică analizei Six Sigma.

CAPITOLUL 7 conține concluziile finale și contribuții privind elaborarea tezei de doctorat.

În finalul tezei este prezentată bibliografia ce însumează 144 titluri de autori, un număr de 10 adrese web accesate, 11 Standarde. Aspectele studiate pe parcursul tezei, cercetate și interpretate sunt prezentate prin 86 figuri sub forma unor scheme, grafice și fotografii.

O parte din cercetările teoretice și experimentale efectuate pe parcursul elaborării și finalizării programului de cercetare precum și rezultatele acestora au fost valorificate prin publicare, susținere cu ocazia unor manifestări științifice naționale și internaționale.

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

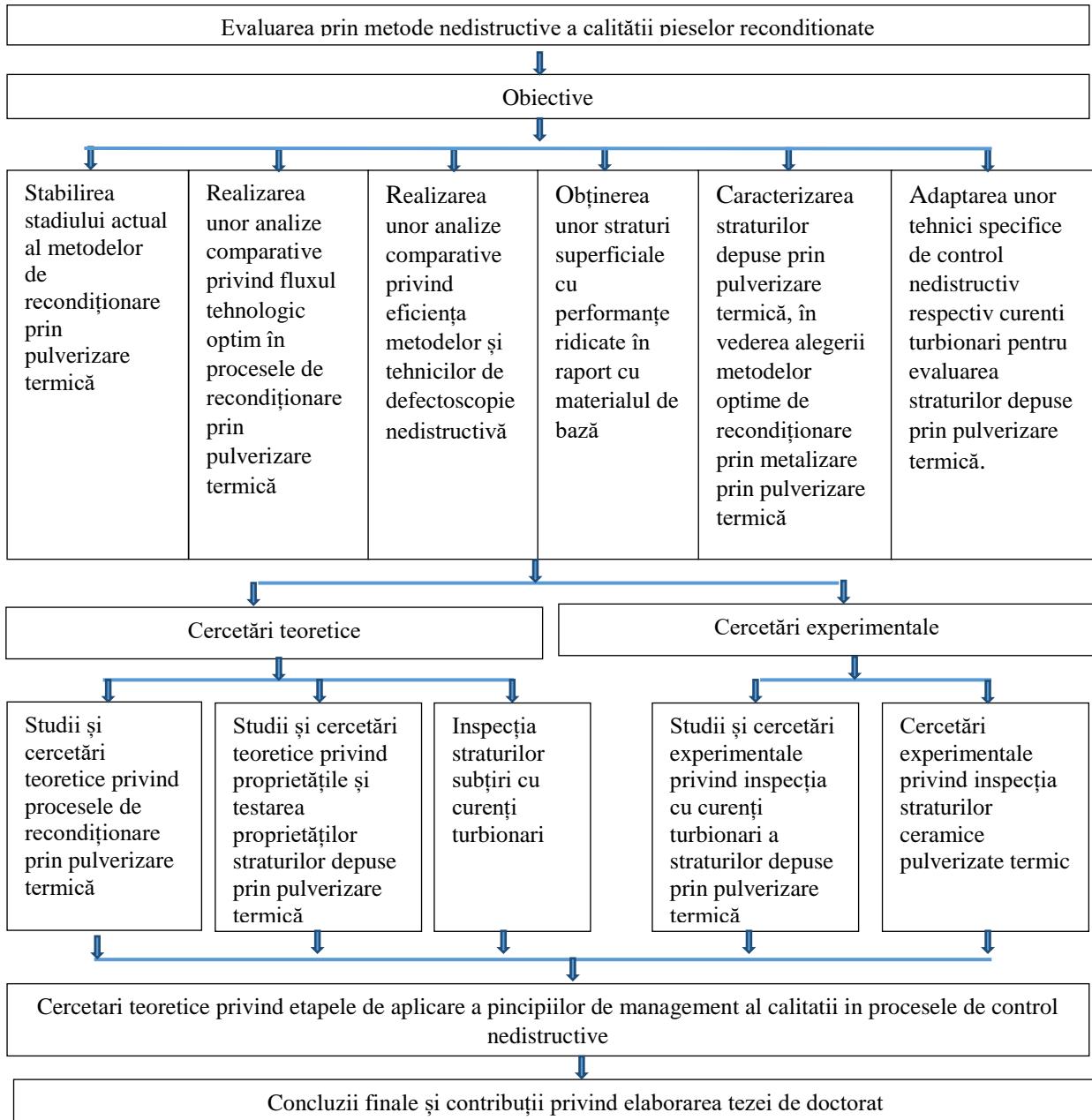


Fig. 0.1. Structura tezei de doctorat

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor reconditionate

LISTA CU ABREVIERI UTILIZATE ÎN TEZA DE DOCTORAT

În tabelul 0.1. se prezintă lista cu abrevieri utilizate în teza de doctorat.

Tabelul 0.1. Lista cu abrevieri utilizate în teza de doctorat

Nr. crt	Abreviere	Semnificația abrevierii
1.	ANSYS	Engineering Simulation & 3D Design Software
2.	DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
3.	HVOF	High Velocity Oxy Fuel
4.	D-gun	Detonation Gun
5.	MT	Pulberi magnetice
6.	AET	Acoustic Emission Testing
7.	IACS	International Annealed Copper Standard).
8.	FEM	Finite Element Method

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

LISTA DE FIGURI UTILIZATE ÎN TEZA DE DOCTORAT

În tabelul 0.2. se prezintă lista de figuri utilizate în teza de doctorat.

Tabelul 0.2. Lista de figuri utilizate în teza de doctorat

Nr. crt	Nr. Figură	Denumire figură
1	Fig.1.1.	Avantaje ale pieselor recondiționate
2	Fig.1.2.	Dezavantaje ale pieselor recondiționate
3	Fig. 1.3.	Schema de principiu a tehnologiei de recondiționare prin metalizare prin pulverizare
4	Fig. 1.4.	Cronologie a proceselor de pulverizare termică
5	Fig. 1.5.	Schema metodei de pulverizare termică
6	Fig. 1.6.	Reprezentarea schematică a microstructurii tipice a stratului obținut prin pulverizare termică
7	Fig. 1.7.	Aplicații ale acoperirilor prin pulverizare termică
8	Fig. 1.8.	Clasificarea principalelor procedee de încărcare prin pulverizare termică
9	Fig. 1.9.	Pistol de depunere prin pulverizare în flacără
10	Fig. 1.10.	Pistol de depunere a pulberilor tip HVOF
11	Fig. 1.11.	Pistol de depunere prin pulverizare cu arc electric
12	Fig. 1.12.	Pistol de depunere a pulberilor tip D-gun.
13	Fig. 1.13.	Pistol de depunere în jet de plasmă
14	Fig. 2.1.	Forma porozității
15	Fig. 2.2	Compararea diferitelor procese de pulverizare termică, în ceea ce privește temperatura particulelor și viteză
16	Fig.3.1	Examinarea optico-vizuală
17	Fig. 3.2	Discontinuități de suprafață detectabile cu lichide penetrante
18	Fig.3.3	Determinarea discontinuităților de suprafață pentru un generator

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

19	Fig.3.4	Magnetizare longitudinală
20	Fig. 3.5	Magnetizare transversală
21	Fig.3.6	Magnetizare circulară
22	Fig.3.7	Inspeție de fisuri pentru un generator
23	Fig.3.8	Inspeție de fisuri pentru un rotor
24	Fig. 3.9	Schema de principiu a examinării cu ultrasunete
25	Fig.3.10	Schema de principiu a examinării prin emisie acustică
26	Fig. 3.11	Examinarea prin emisie acustică
27	Fig. 3.12	Examinarea termografică
28	Fig. 3.13	Semnalele emise de Phased Array
29	Fig. 3.14	Apariția curenților turbionari
30	Fig.3.15	Formarea curenților turbionari
31	Fig. 3.16	Producerea curenților turbionari în câmpul selenoidului și al bobinei plane
32	Fig. 3.17	Discontinuitatea curenților turbionari
33	Fig. 3.18	Forma curenților turbionari
34	Fig. 3.19	Adâncimea de pătrundere a curenților turbionari
35	Fig.3.20	Variația densității curenților turbionari
36	Fig. 3.21	Defecte specifice materialelor acoperite
37	Fig. 4.1.	Proba examinată
38	Fig. 4.2.	Examinarea cu ultrasunete
39	Fig. 4.3	Rezultatul examinării cu ultrasunete
40	Fig.4.4.	Instrumente de măsurare
41	Fig. 4.5.	Zonă examinată- 0 defecte
42	Fig.4.6	Zonă examinată cu defecte
43	Fig. 4.7	Desenul de execuție a probelor recondiționate

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

44	Fig. 4.8.	Modelul geometric
45	Fig. 4.9.	Legăturile dintre modelul geometric și analiza selectată
46	Fig. 4.10.	Modelul discretizat
47	Fig. 4.11.	Graficul de timp al ciclului de încălzire –răcire
48	Fig. 4.12.	Distribuția temperaturilor în modelele create
49	Fig. 4.13.	Căldura specifică totală
50	Fig. 4.14.	Direcția căldurii specifice pe axa X
51	Fig. 4.15.	Direcția căldurii specifice pe axa Y
52	Fig. 4.16.	Direcția căldurii specifice pe axa Z
53	Fig. 4.17.	Probele recondiționate
54	Fig. 4.18.	Instrumente de măsurare
55	Fig. 4.19.	Rezultatul calibrării
56	Fig. 4.20.	Reprezentarea grafică a defectelor din prima probă
57	Fig. 4.21.	Reprezentarea grafică a defectelor din a doua probă
58	Fig. 4.22.	Discretizarea modelelor geometrice
59	Fig. 4.23.	Graficul de temperatură
60	Fig. 4.24.	Distribuția de temperatură
61	Fig. 4.25.	Fluxul de căldură total
62	Fig. 4.26.	Distribuția de temperatură
63	Fig. 4.27.	Fluxul de căldură total
64	Fig. 4.28.	Constrângerile maxime
65	Fig. 4.29.	Deformațiile totale
66	Fig. 5.1.	Examinarea prin termografie în infraroșu prin metoda activă
67	Fig. 5.2.	Desenul de execuție pentru probele recondiționate
68	Fig. 5.3.	Strat depus oxid de crom → material de bază oțel
69	Fig. 5.4.	Stand experimental pentru examinarea prin termografie în infraroșu

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

70	Fig. 5.5.	Distribuția de temperaturi pe suprafața probelor examineate
71	Fig. 5.6.	Semnalele emise de Phased Array
72	Fig. 5.7.	Aparat portabil OmniScan
73	Fig. 5.8.	Alegerea parametrilor de calibrare
74	Fig. 5.9.	Interfața software-lui OmniScan MXU-M-2.0
75	Fig. 5.10.	Examinarea prin Phased Array
76	Fig. 5.11.	Examinarea prin curenți turbionari
77	Fig. 5.12.	Instrument portabil de testare a curenților turbionari/b) Schema bloc a sistemului de testare
78	Fig. 5.13.	Etalonarea aparatului
79	Fig. 5.14.	Rezultat calibrare
80	Fig. 5.15.	Examinarea cu curenți turbionari-proba 1
81	Fig. 5.16	Examinarea cu curenți turbionari-proba 2
82	Fig. 5.17.	Examinarea cu curenți turbionari-proba 3
83	Fig. 5.18.	Examinarea cu curenți turbionari-proba 4
84	Fig. 6.1.	Cele 5 etape ale metodologiei DMAIC
85	Fig. 6.2.	Diagrama Ishikawa
86	Fig. 6.3.	Diagrama Pareto

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

LISTA DE TABELE UTILIZATE ÎN TEZA DE DOCTORAT

În tabelul 0.3. se prezintă lista de tabele utilizate în teza de doctorat.

Tabelul 0.3. Lista de tabele utilizate în teza de doctorat

Nr. crt	Nr.Tabel	Denumire tabel
1.	Tabelul 1.1.	Parametrii proceșului de metalizare prin pulverizare termică în flacără
2.	Tabelul 1.2.	Proprietățile stratului de acoperire
3.	Tabelul 1.3.	Parametrii proceșului de metalizare prin pulverizare termică HVOF
4.	Tabelul 1.4.	Proprietățile stratului de acoperire
5.	Tabelul 1.5.	Parametrii proceșului de metalizare prin pulverizare termică cu arc electric
6.	Tabelul 1.6.	Proprietățile stratului de acoperire
7.	Tabelul 1.7.	Parametrii proceșului de metalizare prin pulverizare termică prin detonație
8.	Tabelul 1.8.	Proprietățile stratului de acoperire
9.	Tabelul 1.9.	Parametrii proceșului de metalizare prin pulverizare termică prin jet de plasmă
10.	Tabelul 1.10.	Proprietățile stratului de acoperire
11.	Tabelul 1.11.	Metode de recondiționare a unor piese
12.	Tabelul 2.1.	Tipuri de materiale sub formă de sârmă
13.	Tabelul 2.2.	Proprietățile straturilor pulverizate prin diferite proceșee
14.	Tabelul 2.3.	Principalii parametri tehnologici ce influențează calitatea stratului depus
15.	Tabelul 3.1	Valorile rezistivității și a conductivității pentru câteva materiale și aliaje

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor reconditionate

16.	Tabelul 3.2	Frecvența unor materiale
17.	Tabelul 4.1.	Caracteristici ale oțelului
18.	Tabelul 4.2.	Caracteristici ale oxidului de aluminiu
19.	Tabelul 4.3.	Parametrii materialului de bază și cel depus
20.	Tabelul 5.1.	Valori ale coeficientului de expansiune a temperaturii liniare
21.	Tabelul 5.2.	Compoziția chimică a pulberii de oxid de crom Metco 106
22.	Tabelul 5.3.	Parametrii procesului de pulverizare termică

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

LISTA DE STANDARDE UTILIZATE ÎN TEZA DE DOCTORAT

În tabelul 0.4. se prezintă lista de standarde utilizate în teza de doctorat.

Tabelul 0.4. Lista de standarde utilizate în teza de doctorat

Nr. crt	Standarde
1.	SR EN ISO 12718: 2009- Examinari nedistructive. Examinarea prin curenti turbionari. Vocabular;
2.	STAS 12509-86 Metode de control nedistructiv. Clasificare și terminologie.
3.	SR EN ISO 15548-C : 2009-Examinari nedistructive. Aparatura pentru examinare prin curenti turbionari. Partea 1 : Caracteristicile aparaturii si verificarea acestuia
4.	STAS 10785 – 79 Defectoscopie cu curenți turbionari. Terminologie.
5.	STAS 12789 – 89 Defectoscopie cu curenți turbionari. Controlul țevilor din materiale metalice neferomagnetice. Condiții tehnice generale.
6.	SR EN 657:2005–Pulverizare termică: Terminologie, clasificare.
7.	STAS 11684/2-83: Acoperiri termice prin pulverizare- Pregatirea suprafetelor;
8.	STAS 11684/4-83: Acoperiri termice prin pulverizare- Determinarea rezistentei la aderenta prin incercarea la forfecare;
9.	ISO 14917:1999 Pulverizare termică, Terminologie. Clasificare;
10.	SR EN 14665:2005 Pulverizare termică. Acoperiri pin pulverizare termică. Reprezentare simbolică pe desene;
11.	ISO 12671:2012 Pulverizare termică. Acoperiri pin pulverizare termică. Reprezentare simbolică pe desene;

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Cuprins

ABSTRACT	4
INTRODUCERE.....	5
OBIECTIVE ALE TEZEI DE DOCTORAT	6
LISTA CU ABREVIERI UTILIZATE ÎN TEZA DE DOCTORAT	9
LISTA DE FIGURI UTILIZATE ÎN TEZA DE DOCTORAT.....	10
LISTA DE TABELE UTILIZATE ÎN TEZA DE DOCTORAT	14
LISTA DE STANDARDE UTILIZATE ÎN TEZA DE DOCTORAT	16
CAPITOLUL 1. STUDII ȘI CERCETĂRI TEORETICE PRIVIND PROCESELE DE RECONDIȚIONARE PRIN PULVERIZARE TERMICĂ	20
1.1 Importanța recondiționării	20
1.2 Tehnologia de recondiționare a pieselor prin metalizare prin pulverizare termică	21
1.3 Caracteristici ale procesului de metalizare prin pulverizare termică. Procedee de depunere straturilor. Caracteristici de calitate	23
1.3.1 Caracteristici ale procesului de metalizare prin pulverizare termică	23
1.3.1.1 Definire, clasificare	23
1.3.1.2 Materiale depuse prin pulverizare termică.....	26
1.3.2 Procedee de metalizare prin pulverizare termică	26
1.3.2.1 Pulverizarea cu flacără (Flame spraying)	27
1.3.2.2 Pulverizarea prin procedeul HVOF (High Velocity Oxy Fuel)	29
1.3.2.3 Depunere prin procedeul cu arc electric (Arc Spraying)	30
1.3.2.4 Procedeul Detonation Gun (D-gun)	32
1.3.2.5 Procedeul de depunere în jet de plasma (Plasma Spraying)	33
1.4 Alegerea procedeului de recondiționare	35
1.5 Concluzii.....	36
CAPITOLUL 2. STUDII ȘI CERCETĂRI TEORETICE PRIVIND PROPRIETĂȚILE STRATURILOR DEPUSE PRIN PULVERIZARE TERMICĂ	37
2.1 Natura stratului de adaos	37
2.2 Proprietățile straturilor depuse prin pulverizare termică	38
2.2.1 Proprietăți fizice.....	40
2.2.2 Proprietăți mecanice.....	41

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

2.2.3 Proprietăți chimice	41
2.3. Interdependența parametri-proprietății	42
2.4. Tratament post pulverizare ale stratului depus	43
2.5. Concluzii.....	44
CAPITOLUL 3. INSPECȚIA STRATURILOR SUBȚIRI CU CURENTI TURBIONARI.....	45
3.1. Introducere.....	45
3.2. Defectoscopie	45
3.2.1. Examinarea vizuală	45
3.2.2. Examinarea cu lichide penetrante	46
3.2.3. Examinarea cu pulberi magnetice	47
3.2.4. Examinarea cu ultrasunete	51
3.2.5. Examinarea prin metoda emisiei acustice	52
3.2.6. Examinarea cu curenți turbionari.....	54
3.2.7. Examinarea termografică (examinarea cu radiații infraroșii)	55
3.2.8. Examinarea prin Phased Array o tehnică a examinării prin ultrasunete	56
3.3 Fenomenul apariției curenților turbionari.....	56
3.4 Principiul examinării cu curenți turbionari.....	57
3.5 Adâncimea de pătrundere a curenților turbionari	58
3.6 Clasificarea defectelor	61
3.7 Asigurarea calității prin examinarea nedistructivă cu ajutorul curenților turbionari....	62
3.8 Avantajele si dezavantajele controlului cu curenți turbionari	64
3.9 Concluzii.....	65
CAPITOLUL 4. STUDII ȘI CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INSPECȚIA CU CURENTI TURBIONARI A STRATURILOR DEPUSE PRIN PULVERIZARE TERMICĂ.....	67
4.1 Modelarea procesului de control prin curenți turbionari a suprafețelor pulverizate termic [81].....	67
4.1.1 Examinarea prin ultrasunete	68
4.1.2 Examinarea prin curenți turbionari	69
4.2 Analiza termică statică folosind metoda elementelor finite pentru piesele recondiționate [82].....	70

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

4.3 Caracterizarea interfeței pentru straturile ceramice acoperite prin pulverizare termică [83].....	79
4.3.1 Examinarea prin curenți turbionari	79
4.3.2 Analiza șocului termic prin metoda elementului finit.....	81
4.4 Concluzii.....	86
CAPITOLUL 5. CERCTARI EXPERIMENTALE PRIVIND INSPECTIA STRATURILOR CERAMICE PULVERIZATE TERMIC	88
5.1 Examinarea prin termografie în infraroșu a straturilor depuse prin pulverizare termică 88	
5.1.1 Pregătirea probelor recondiționate	88
5.1.2 Examinarea prin termografie în infraroșu a straturilor depuse prin pulverizare termică.....	91
5.2 Examinarea prin Phased Array → tehnica de examinare prin ultrasunete.....	94
5.2.1 Pregătirea probelor recondiționate	94
5.2.2 Examinarea prin Phased Array	96
5.3 Examinarea prin curenți turbionari.....	103
5.3.1 Pregătirea probelor recondiționate	103
5.3.2 Examinarea prin curenți turbionari	104
5.4 Concluzii.....	106
CAPITOLUL 6 . CERCETĂRI TEORETICE PRIVIND ETAPELE DE APLICARE A PRINCIPIILOR DE MANAGEMENT AL CALITĂȚII ÎN PROCESELE CONTROLULUI NEDISTRUCTIV	108
CAPITOLUL 7. CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PRIVIND ELABORAREA TEZEI DE DOCTORAT	113
7.1 Concluzii finale.....	113
7.2 Contribuții originale	113
7.2.1 Contribuții teoretice originale	113
7.2.3 Contribuții experimentale originale	114
7.3. Direcții de cercetare ulterioară	115
BIBLIOGRAFIE	116
Listă lucrări publicate.....	124
Lucrări comunicate (susținute la conferințe).....	126

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

CAPITOLUL 1. STUDII ȘI CERCETĂRI TEORETICE PRIVIND PROCESELE DE RECONDIȚIONARE PRIN PULVERIZARE TERMICĂ

1.1 Importanța recondiționării

Economia de material, energie cât și păstrarea mediului curat au dus la o continuă dezvoltare a tehnologiei industriale. Datorită acestor necesități a fost nevoie să se apeleze la procesul de reparare prin recondiționare a pieselor uzate.

Recondiționarea este recunoscută ca o tehnologie industrială, care are drept scop tratarea pieselor uzate asigurând refacerea fiabilității, reprezentă un subiect nelimitat ca tehnologie, utilaje, materiale folosite [55], [89], [93], [96].

Recondiționarea poate fi apreciată atât din punct de vedere economic, realizate prin prelungirea duratei de viață a unor utilaje, a resurselor materiale și a mediului înconjurător.

Cele mai uzuale metode de recondiționare a pieselor sunt :

- la trepte de reparație, se urmărește îndepărțarea unui strat de material prin diferite operații de prelucrare mecanică. Această metodă se aplică în producția de serie mare și masă [132] ;
- o altă metodă se realizează prin diferite procedee tehnologice precum: deformarea plastică, lipirea, încărcarea etc. Luând în considerare cele menționate, recondiționarea prin încărcare se realizează prin sudare, metalizare, galvanizare și lipire [55], [77], [93], [115].

Recondiționarea prin pulverizare termică poate fi cel mai eficient mijloc de a proteja suprafețele de uzură sau coroziune, restaurarea dimensională, menținerea jocurilor precise și creșterea caracteristicilor fizico chimice, mecanice și tehnologice ale stratului superficial al pieselor, care duc la durata de exploatare și reducerii prețului de cost al acestora [55], [89], [93], [122], [129].

Tehnologiile de condiționare și recondiționare prin pulverziare termică, caracterizate prin economie de material, de energie, de scule așchiezoare și manoperă pot satisface cu brio cerințele de mai sus, dar ridică o problemă extrem de importantă, și anume aderența stratului depus la materialul de bază [33]. Încercările straturilor depuse prin pulverizare termică – singurele standardizate sau recunoscute de către organisme de auditare - pot atesta valabilitatea procesului tehnologic proiectat. Dar variabilele de proces sunt extrem de multe. Procedurile de control de defectoscopie nedistructivă vor permite controlul tuturor produselor condiționate/recondiționate prin pulverizare termică și vor oferi certitudinea calității produsului. Modele teoretice vor putea constitui o bază de plecare privind studiul comportării tuturor mediilor, discontinuităților (strat cu porozitate) și pentru alte tipuri de aplicații [55], [89], [93], [122].

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Procesul de pulverizare termică este foarte convenabil datorită costului relativ scăzut de aproape toate cererile în domeniul industriei, aceasta nu duce la deteriorarea mediului în procesul de recondiționare, poate crește durata de viață a componentelor.

Straturile depuse prin metalizare prin pulverizare termică conferă suprafețelor pieselor proprietăți deosebite.

Motivul principal pentru care este necesară utilizarea straturilor depuse prin metalizare prin pulverizare termică este de a prelungi durata de viață și funcționare a utilajelor.

Ținând cont de consumul mare de energie, materiale și poluarea mediului înconjurător, recondiționarea pieselor prezintă o serie de avantaje spre deosebire de fabricare (figura 1.1.), dar și dezavantaje (figura 1.2.). [52], [55], [89], [93], [122]

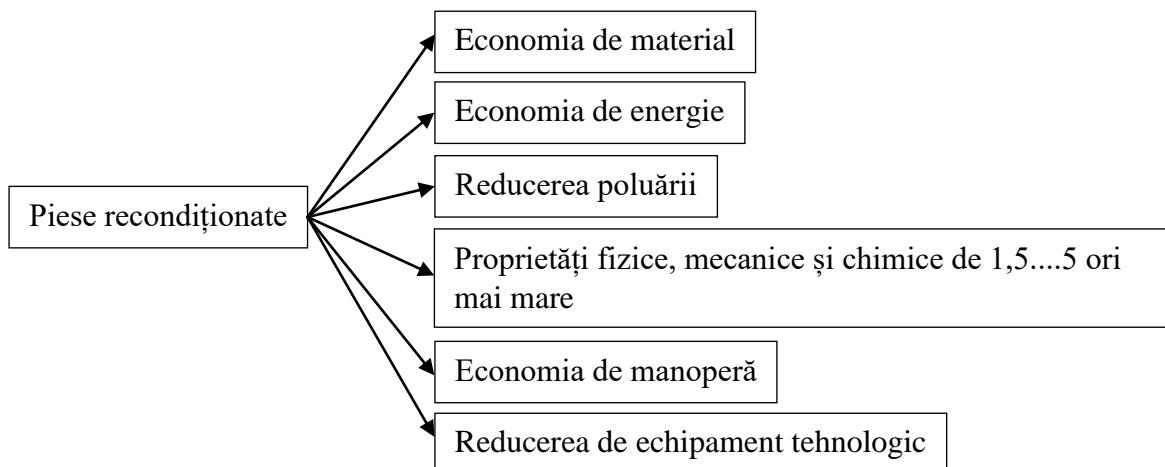


Fig.1.1. Avantaje ale pieselor recondiționate

Economia de material- se recondiționează doar suprafața cu defecte fără a mai consuma un nou semifabricat sau alte materiale auxiliare.

Economia de energie- se consumă doar energia pentru recondiționarea unei părți din piesă și nu pentru un proces întreg de obținere a unei piese.

Economia de manoperă- presupune reducerea de personal pentru recondiționarea unei piese decât în a obține o piesă nouă.

Reducerea de echipament tehnologic- costul sculelor în cazul unei piese noi este mult mai mare decât în cazul pieselor recondiționate.

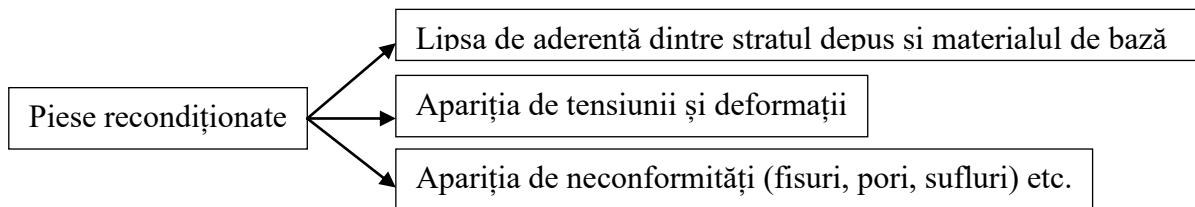


Fig.1.2. Dezavantaje ale pieselor recondiționate

1.2 Tehnologia de recondiționare a pieselor prin metalizare prin pulverizare termică

Tehnologia de recondiționare prin metalizare prin pulverizare termică cuprinde o serie de operații (Figura 1.3.) pentru o mai bună calitate a stratului de metal depus, implicit calitatea recondiționării.[52] Acoperirea prin pulverizare trebuie să fie efectuată la un interval

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

de maximum 4 ore după pregătirea suprafeței, iar în cazul unei atmosfere umede după maximum 2 ore. [144] Prin pregătirea suprafeței se înțelege aducerea suprafeței care urmează a fi acoperită într-o stare curată, care să permită o bună aderare a materialului depus [43].

Metodele de pregătire a suprafețelor se stabilesc în funcție de specificul piesei, grosimea materialului depus și starea inițială a suprafețelor.

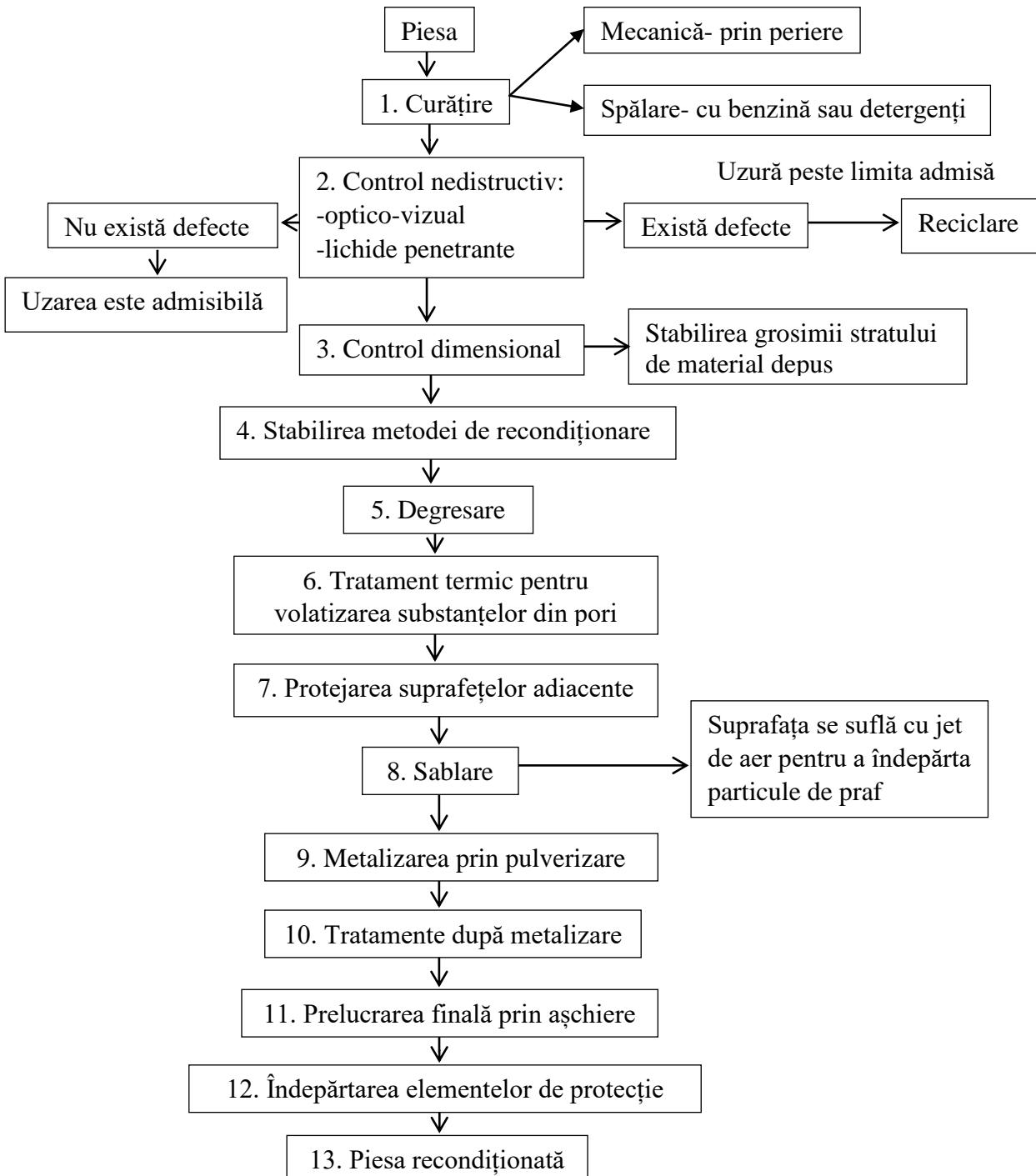


Fig. 1.3. Schema de principiu a tehnologiei de recondiționare prin metalizare prin pulverizare [52]

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Prima operație de recondiționare a unei piese uzate constă în curățare mecanică și spălare, aceasta se supune unui control nedistructiv pentru a se stabili dacă uzarea este admisibilă. Piese care au fost admise sunt supuse unui control dimensional și al defectelor de formă care permite stabilirea grosimii stratului de material necesar a fi depus prin metalizare. [55], [89], [93], [122]

După ce piesele au fost controlate, se pregătesc suprafețele pentru a se asigura o aderență mai bună a stratului de material la suprafața pieselor, se curăță și se degresează prin spălarea cu benzină sau detergenți. Degresarea urmărește îndepărarea substanțelor grase de pe suprafață care urmează a fi acoperită. Suprafețele sunt protejate în zona de metalizare, datorită operațiilor prin aşchieri care pot afecta aceste suprafețe. [36], [55], [89], [93], [122]

Pregătirea suprafețelor prin aşchieri trebuie să asigure îndepărarea stratului de uzură. Sablarea este procedeul de pregătire a suprafețelor prin care se urmărește a se aduce suprafața într-o stare curată, cu o rugozitate corespunzătoare, care să asigure o bună aderență a materialului depus pe materialul de bază. După executarea sablării, suprafața se suflă cu jet de aer pentru a îndepărta particulele de praf. Rugozitatea suprafeței sablate, se recomandă să fie cuprinsă între 6 și 12 µm. Tratamentele după metalizare, specifice straturilor depuse prin pulverizare termică pot fi tratamente termice, retopire a stratului depus. După tratamentele specifice straturilor depuse, piesele sunt supuse unei prelucrări finale numai prin abraziune, nu se recomandă prin strunjire. Elementele de protecție sunt îndepărtate rezultând piesa recondiționată. [59], [74], [89], [93]

1.3 Caracteristici ale procesului de metalizare prin pulverizare termică. Procedee de depunere straturilor. Caracteristici de calitate

1.3.1 Caracteristici ale procesului de metalizare prin pulverizare termică

1.3.1.1 Definire, clasificare

Procesul de metalizare prin pulverizare termică a fost inventat de Max Ubrich Schoop, în 1910, [1] și are ca scop pulverizarea "materialelor ceramice, oxizilor metalici și metalelor". În figura 1.4. este prezentată cronologia proceselor de pulverizare termică [59].

Procedeele de pulverizare termică utilizează surse de căldură de ardere, și anume, flacăra care influențează temperatura particulelor (figura 1.5.). Materialul de acoperire poate fi pe bază de metal, un oxid ceramic sau carbură, un polimer sau un compozit, toate acestea putând fi în morfologia unei pulberi, sârmă sau tijă. [60], [76], [131]

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor reconditionate

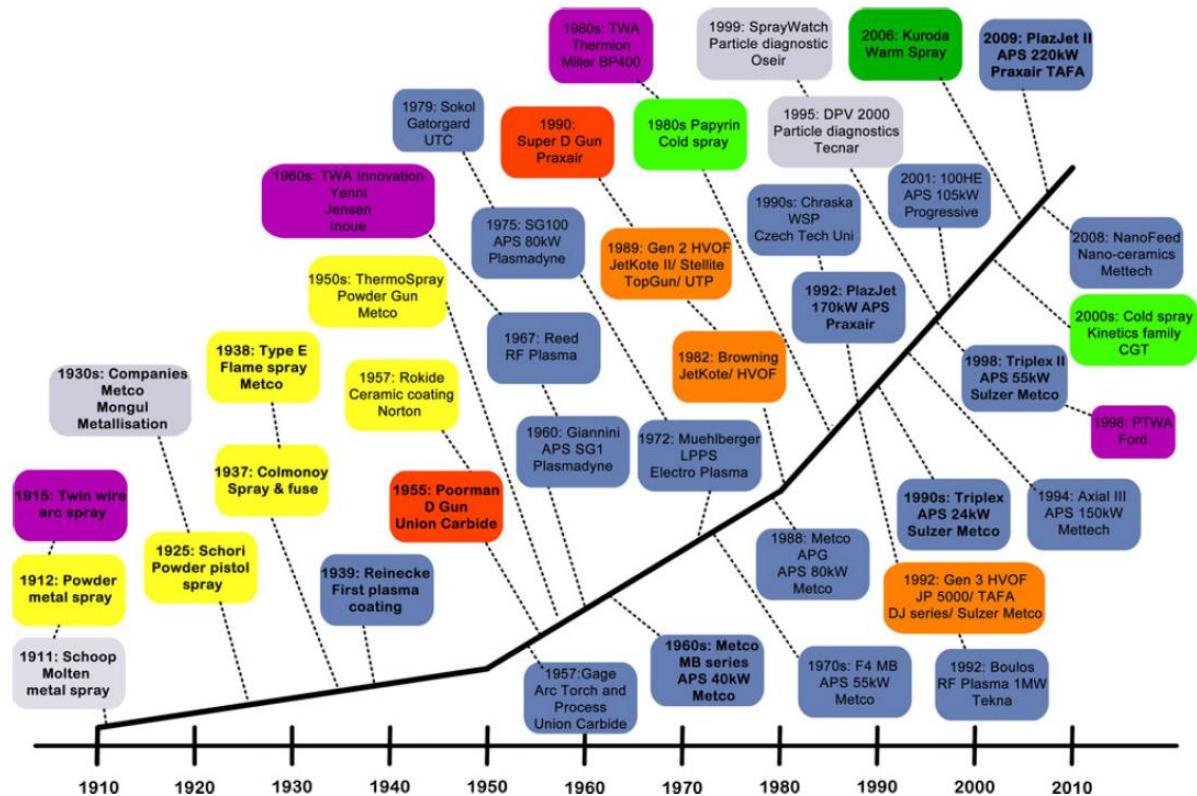


Fig. 1.4. Cronologie a proceselor de pulverizare termică [1],[164]

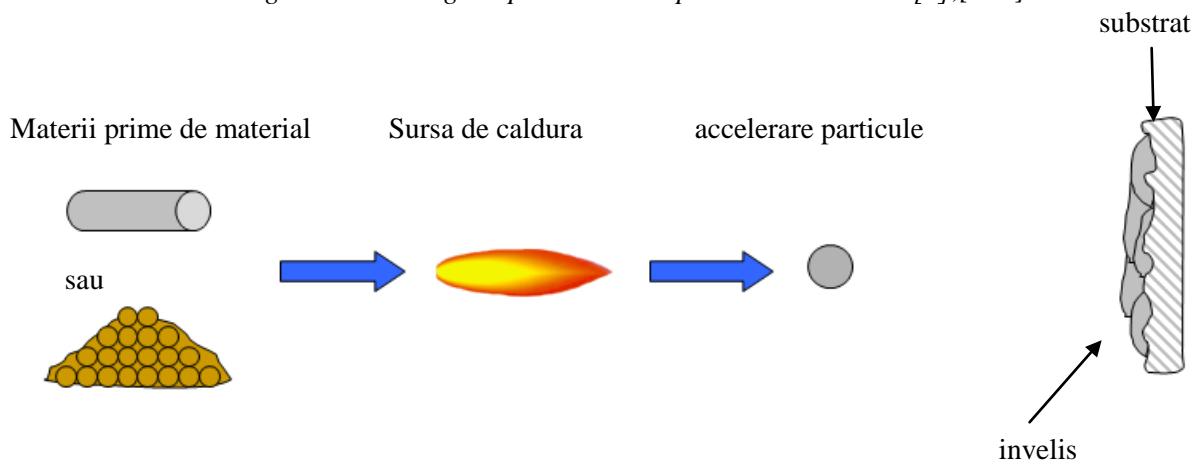
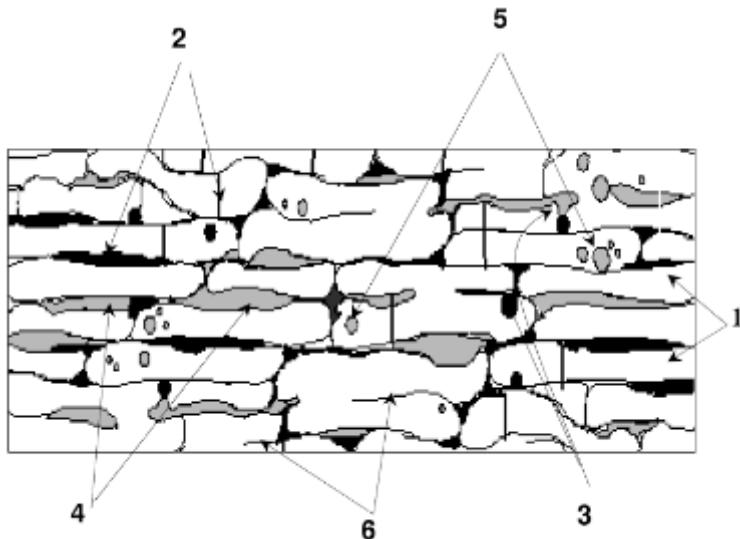


Fig. 1.5. Schema metodei de pulverizare termică [76]

Există două variabile importante pentru orice proces prin pulverizare termică, temperatura cu jet de flacără și viteza particulelor, care împreună sunt cunoscute sub denumirea de relații TV (TV-flame temperature and particle velocity) [104][112]. Aceasta se referă la interacțiunea spațială directă a trei distribuții fizice, adică, caracteristicile materiei prime, domeniul de temperatură ridicată, de energie și domeniul de viteză a jetului de gaz, care influențează în mod direct împrăștierea particulelor topite în timpul pulverizării (figura 1.6.). [134]

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate



1- porozitate alungite, 2-fisuri, 3-pori, 4-strat intermedian cu incluziuni de oxid, 5-incluziuni de oxid în strat, 6-interfețe nelipite

Figura 1.6. Reprezentarea schematică a microstructurii tipice a stratului obținut prin pulverizare termică (134)

Pe plan internațional tehnologiile de recondiționare a pieselor prin metalizare prin pulverizare termică au cunoscut o dezvoltare continuă a aplicațiilor rezolvate prin pulverizare termică, aproximativ 70%. [131] [139]

Aplicațiile tehnologiilor de recondiționare sunt destinate în primul rând: îmbunătățirii rezistenței la uzare, creșterii rezistenței la coroziune, se pot obține straturi conducătoare sau izolatoare din punct de vedere electric. Tehnologiile de recondiționare sunt utilizate în industria metalurgică, industria chimică, industria aerospațială, industria electronică, industria energetică și a automobilelor (Figura 1.7.). [63] [64] [140]



Fig. 1.7. Aplicații ale acoperirilor prin pulverizare termică [140]

1.3.1.2 Materiale depuse prin pulverizare termică

Materialele depuse prin pulverizare termică pot fi sub formă de vergele, sârme sau pulberi.

Materiale sub formă de sârmă

Materialul depus prin pulverizare termică are proprietăți diferite de cel sub formă de sârmă, din care provine (este poros, fragil, cu tensiuni interne), și de aceea, la alegerea acestuia (pentru depunere prin pulverizare termică) trebuie luate în considerare aceste proprietăți, și nu caracteristicile materialului sârmei. În țara noastră se produc: RUL1, MET4, 40Cl30 (oțeluri cu duritate ridicată), S10Mn1Ni2, S12Mn2Si (utilizate pentru depunerile pe suprafețe care "lucrează" cu lubrifiant), CuAl9Fe3 (utilizate pentru protecții anticorozive), CuZn37, CuSn6P etc. [61], [89], [93] [62]

Materiale sub formă de pulbere

Pentru obținerea unui strat depus prin pulverizare termică din pulberi, cu proprietăți corespunzătoare cerințelor impuse, este necesar să se acorde o atenție deosebită: formei și dimensiunii granulelor de pulbere, proprietăților de curgere și termice ale acestora, contaminării cu impurități, precum și procedeului de pulverizare.

Există patru grupe principale de pulberi folosite la pulverizare termică: aliaje pentru acoperiri cu "topire" ulterioară, metale sau aliaje rezistente la oxidare, ceramice, aliaje autoaderente. [52], [55], [61], [89], [93],

În prezent tot mai mult se utilizează pulberile ceramice, pe bază de Al_2O_3 , ZrO_2 , Y_2O_3 , care prezintă caracteristici deosebite din punct de vedere al durității, rezistenței la uzare etc. [52]

1.3.2 Procedee de metalizare prin pulverizare termică

Recondiționarea pieselor prin pulverizare constă în acoperirea suprafeței uzate cu un material de adaos folosind diferite tehnologii de metalizare. [154]

Procedeele de metalizare prin pulverizare termică au fost clasificate în funcție de tipul sursei de încălzire. În schema din figura 1.8. se prezintă o clasificare a principalelor procedee utilizate, după purtătorul de energie. [13], [28], [33], [52], [55], [122]

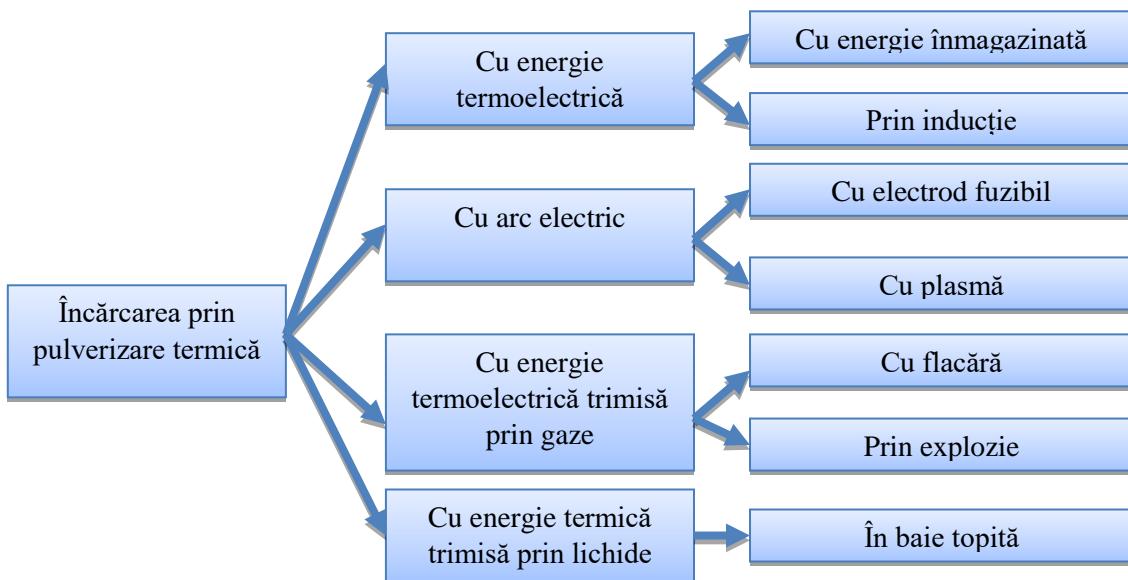


Fig. 1.8. Clasificarea principalelor procedee de încărcare prin pulverizare termică

1.3.2.1 Pulverizarea cu flacără (Flame spraying)

Procesul prin pulverizare cu flacără (figura 1.9.) folosește o tehnică similară cu procesul de pulverizare cu flacără cu sârmă, cu excepția faptului că materia primă este înlocuită cu o pulbere. Principalul avantaj al acestui proces este faptul ca materialele cum ar fi nichel, aliaje sau materiale ceramice pot fi transformate într-o formă de pulbere. Procedeul se bazează pe reacția chimică dintre oxigen și un curent de gaz cu o temperatură mai mare de 3000°C , cu condiții corect echilibrate între oxigen și acetilenă. Materialul rulant de alimentare pentru a fi pulverizat este introdus în flacără sub formă de pulbere pentru a se topi, iar presiunea aerului comprimat și a flăcării de gaze va proiecta picăturile topite pe suprafața piesei formând stratul de material depus. [11], [33], [66], [76], [141]

Pulberile folosite să aibă granule perfect sferice de mărime cuprinsă între $(40\div120)\text{ }\mu\text{m}$ și să nu fie contaminate cu impurități. Procedeul de depunere prin pulverizare termică cu flacără oxiacetilenică și pulberi are o largă aplicabilitate în practică (protecție: contra uzurii, la coroziune termică) datorită, pe de o parte, varietății mari de material ce se pot depune, iar pe de altă parte costului redus al acestuia. [87], [97]

Acest procedeu de depunere prin pulverizare termică constă în topirea cu flacără oxiacetilenică a materialului de aport sub formă de sârmă și transportul particulelor topite cu ajutorul aerului comprimat. [18], [88]

Procesul de pulverizare termică cu flacără oxiacetilenică și sârmă are o largă aplicabilitate în practică și anume: recondiționarea pieselor (discurilor de ambreiaj uzate) prin depunerea de straturi rezistente la uzură; pulverizarea termică pe sticlă, având drept scop: lipirea sau etanșarea acesteia, obținerea de suprafețe refractare sau a conductorilor electrici; protecție anticorozivă.[63]

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

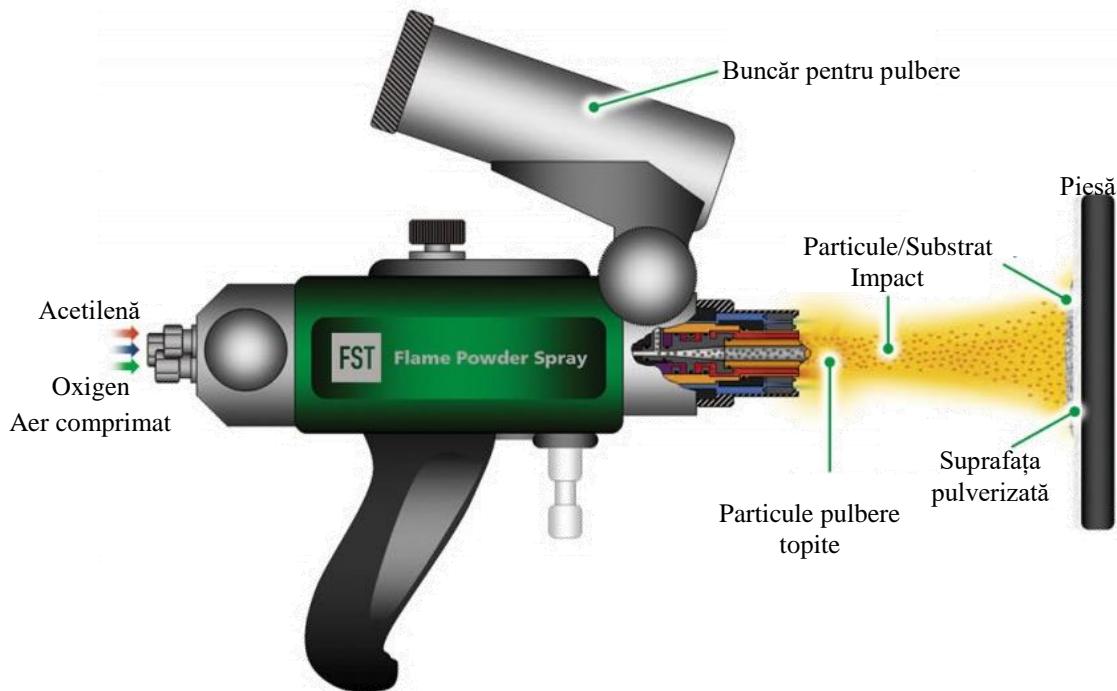


Fig. 1.9. Pistol de depunere prin pulverizare în flacără

Parametrii proceșului de metalizare prin pulverizare termică în flacără sunt prezentate în tabelul 1.1. [16], [52], [55]

Tabelul 1.1. Parametrii proceșului de metalizare prin pulverizare termică în flacără

Nr.crt	Parametrii	Valoare
1.	Presiunea acetilenei	0,05....0,1 Mpa
2.	Presiunea oxigenului	0,25....0,5 Mpa
3.	Raportul de combustie	3000....3350 K
4.	Presiunea aerului comprimat	0,2....0,3 Mpa
5.	Distanța de pulverizare L	120....200 mm
6.	Diametrul sârmeei eletrod	\leq 3 mm
7.	Granulația pulberii	0,002....0,1 mm

Proprietățile stratului de acoperire obținut sunt prezentate în tabelul 1.2. [19], [52], [74]

Tabelul 1.2. Proprietățile stratului de acoperire

Nr. crt	Proprietăți ale stratului de acoperire	Valoare
1.	Rezistența la suprafață de aderență	15....30 Mpa
2.	Porozitatea	10....20 %
3.	Duritatea stratului depus	deinde de natura materialului care se depune
4.	Grosimea stratului depus	0,3....2,5 mm

1.3.2.2 Pulverizarea prin procedeul HVOF (High Velocity Oxy Fuel)

HVOF (figura 1.10.) este un sistem de pulverizare termică utilizând combustie de gaze, cum ar fi hidrogenul sau combustibil lichid, cum ar fi petrol lampant. Acest proces creează o viteză foarte mare, care este folosit pentru a propulsa particule de viteze supersonice înainte de impact pe substrat. Una dintre regulile de bază de pulverizare este că presiunea mare de ardere = gaze de mare viteză, viteză mare de particule rezultă calitate înaltă de acoperire. Unele dintre avantajele cheie ale acestui sistem de mare viteză este o bună acoperire a stratului pulverizat, densitate bună și conținut scăzut de oxid. Oxizi scăzuți se datorează parțial de viteza particulelor, petrec mai puțin timp în sursa de căldură și parțial din cauza temperaturii mai mici de flacără (aproximativ 3.000 ° C) de sursa de căldură în comparație cu alte proceze. [33], [66], [76], [141]

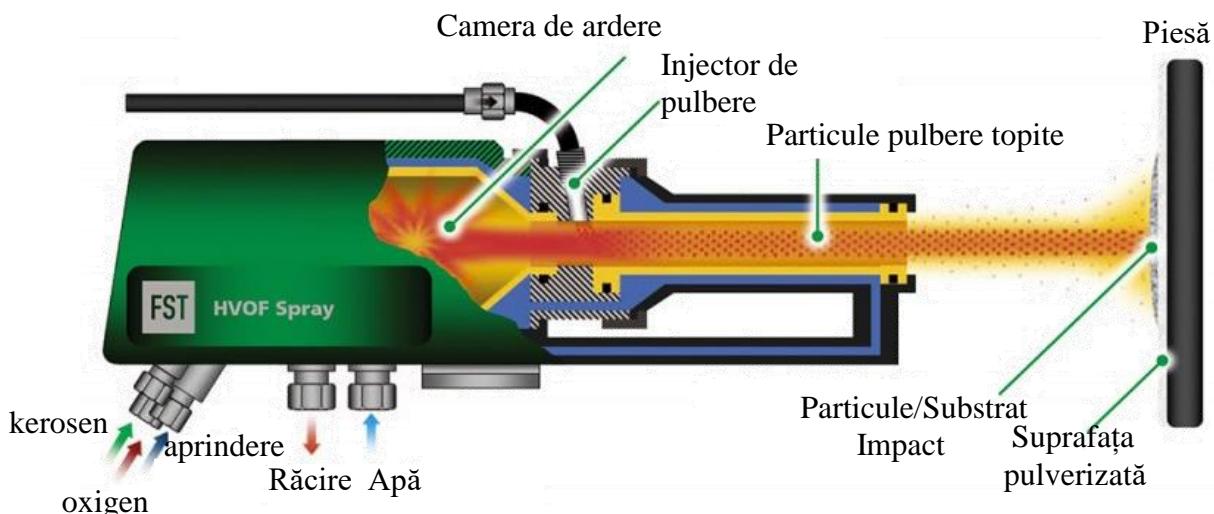


Fig. 1.10. Pistol de depunere a pulberilor tip HVOF

Procedeul HVOF este cea mai potrivită tehnică pentru aplicarea straturilor rezistente la uzura din carburi și a straturilor rezistente la uzură și coroziune ca Hastelloy, Triballoy și Inconel. Datorită energiei cinetice mari și a energiei termice scăzute pe care procedeul o aplică particulelor pulverizate, straturile depuse prin HVOF sunt foarte dense, cu o porozitate mai mică de 1% adera foarte bine la substrat, au aspect fin și sunt foarte puțin oxivate. [76], [137],

Parametrii procedeului de metalizare prin pulverizare termică *HVOF* sunt prezentăți în tabelul 1.3. [52], [55]

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Tabelul 1.3. Parametrii procefului de metalizare prin pulverizare termică HVOF

Nr. crt	Parametrii	Valoare
1.	Presiunea acetilenei	0,05....0,1 Mpa
2.	Presiunea oxigenului	0,25....0,5 Mpa
3.	Temperatura de ardere	3440 K
4.	Distanța de pulverizare L	150....300 mm
5.	Granulația pulberii	0,005....0,045 mm
6.	Viteza de avans a piesei	15..20 m/min
7.	Viteza gazului în flacără	1500...2000 m/s

Proprietățile stratului de acoperire obținut sunt prezentate în tabelul 1.4. [52]

Tabelul 1.4. Proprietățile stratului de acoperire

Nr. crt	Proprietăți ale stratului de acoperire	Valoare
1.	Rezistența la suprafața de aderență	40....60 Mpa
2.	Porozitatea	mai mică de 1%
3.	Duritatea stratului depus	deinde de natura materialului care se depune
4.	Grosimea stratului depus	0,2....0,3 mm

1.3.2.3 Depunere prin proceul cu arc electric (Arc Spraying)

Această formă de pulverizare termică (figura 1.11.) folosește un material de sârmă ca un stoc de alimentare. Un arc electric este utilizat pentru a furniza sursa de căldură prin utilizarea a două fire de transport al curentului electric. Aceste fire de curent creează o temperatură de aproximativ 4000°C. Această temperatură determină vârfurile firului să se topească, și odată topit, aerul comprimat sau gazul inert este utilizat pentru a pulveriza metalul. Unul dintre avantajele acestui sistem este că două fire diferite pot fi utilizate simultan pentru a produce un aliaj pseudo. Procesul este adesea folosit atunci când se aplică pentru suprafețe mari, cum ar fi rezistența la coroziune pe componente mari sau pentru edificarea componentelor uzate. [33], [66] , [76], [141]

Se pot depune cu arc electric, toate materialele ce pot fi obținute sub formă de sârmă și care sunt bune conducătoare de electricitate. O importanță deosebită a pulverizării termice cu arc electric, în practică, o constituie aplicarea la recondiționarea pieselor uzate (obținerea unor straturi cu rezistență ridicată la uzură).

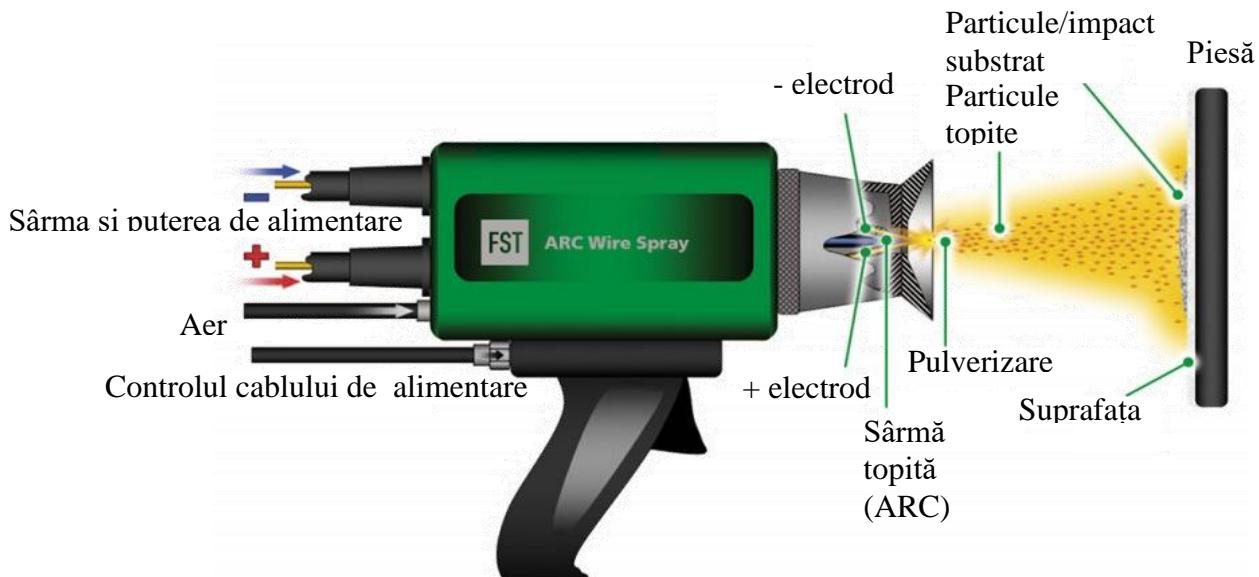


Fig. 1.11. Pistol de depunere prin pulverizare cu arc electric

Parametrii procecuului de metalizare prin pulverizare termică cu arc electric sunt prezentate în tabelul 1.5. [52], [55]

Tabelul 1.5. Parametrii procecuului de metalizare prin pulverizare termică cu arc electric

Nr. crt	Parametrii	Valoare
1.	Tensiunea arcului electric U_a	20....40 V
2.	Temperatura arcului electric pentru valori ale curentului de 208...300 A	6100 K
3.	Presiunea gazului de pulverizare	0,4....0,65 Mpa
4.	Distanța de pulverizare L	50....150 mm

Proprietățile stratului de acoperire obținut sunt prezentate în tabelul 1.6. [52], [55]

Tabelul 1.6. Proprietățiile stratului de acoperire

Nr. crt	Proprietăți ale stratului de acoperire	Valoare
1.	Rezistența la suprafața de aderență	15....30 Mpa
2.	Porozitatea	10....20 %, poate fi scăzută până la 7....8%
3.	Duritatea stratului depus	deinde de natura materialului care se depune
4.	Grosimea stratului depus	0,5....2,5 mm

1.3.2.4 Procedeul Detonation Gun (D-gun)

Procesul de pulverizare D-gun (figura 1.12.) este un proces termic de acoperire prin pulverizare, ceea ce conferă o rezistență extrem de buna, cu porozitate redusă și o suprafață de acoperire cu tensiuni reziduale de compresie. [105],[141]

O cantitate măsurată cu precizie a amestecului de combustie care constă din oxigen și acetilenă este alimentat printr-un cilindru tubular închis la un capăt. Simultan, o cantitate predeterminată de pulbere de acoperire este introdus în camera de ardere. Amestecul de gaze în interiorul camerei este aprins de o bujie simplă. În funcție de raportul dintre gazele de ardere, temperatura fluxului de gaz fierbinte poate ajunge până la 4000°C și viteza undei de soc poate ajunge la 3500 m/sec. Grosimea acoperirii depinde de raportul de gaze de ardere, mărimea particulelor de pulbere, debitul gazului purtător, frecvența și distanța dintre capătul cilindrului și substrat. Un ciclu de detonare este finalizată când procedura de mai sus se repetă la o anumită frecvență, până când se depune grosimea necesară a acoperirii. [G1], [99]

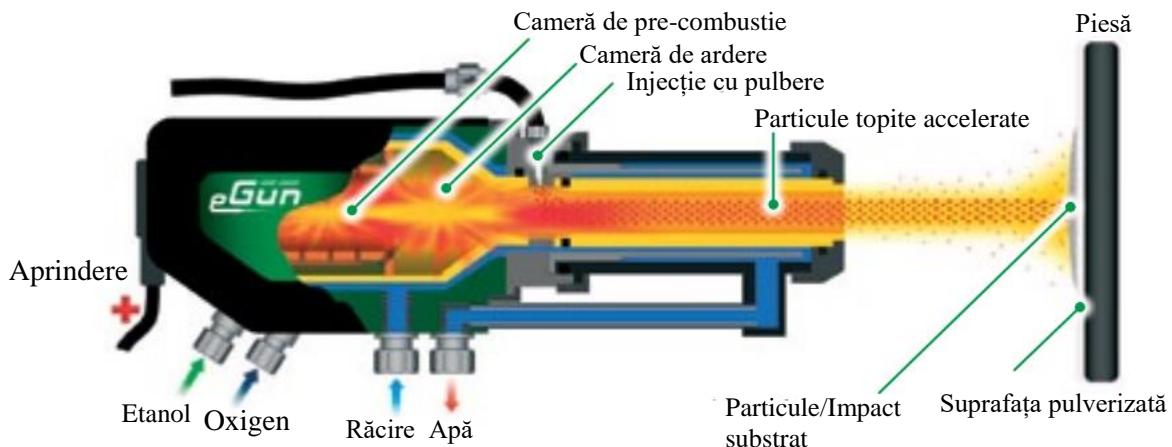


Fig. 1.12. Pistol de depunere a pulberilor tip D-gun.

În ceea ce privește caracteristicile stratului depus, se poate sublinia faptul că, din punct de vedere microstructural, particulele depuse au un aspect mai fin și mai aplatizat comparativ cu cele obținute prin depunerea prin procedeul cu flacără, dar și faptul că straturile de cermet astfel depuse au un conținut scăzut de oxizi. Ponderea redusă a zonelor oxidate se obține datorită mediului gazos din tubul de detonare în care sunt insuflate particulele și a timpului de proces redus. [99]

Parametrii procedeului de metalizare prin pulverizare termică prin detonație sunt prezentate în tabelul 1.7. [52], [55]

Tabelul 1.7. Parametrii procefului de metalizare prin pulverizare termică prin detonație

Nr. crt	Parametrii	Valoare
1.	Raportul de combustie $\frac{V_{C_2}H_2}{V_{O_2}}$	4000°C
2.	Granulația pulberii	0,005....0,060 mm
3.	Distanța de pulverizare L	100 mm
4.	Frecvența de lucru	4...5Hz
5.	Gazul	Acetilenă, propan-butan
6.	Debitul de pulbere	16....40g/min

Proprietățile stratului de acoperire obținut sunt prezentate în tabelul 1.8. [52], [55]

Tabelul 1.8. Proprietățile stratului de acoperire

Nr. crt	Proprietăți ale stratului de acoperire	Valoare
1.	Rezistența la suprafața de aderență	80 Mpa
2.	Porozitatea	0,5...1%
3.	Duritatea stratului depus	deinde de natura materialului care se depune
4.	Grosimea stratului depus	0,05....0,3 mm

1.3.2.5 Procedul de depunere în jet de plasma (Plasma Spraying)

Procesul de pulverizare cu plasmă (figura 1.13.) implică căldura latentă de gaz inert (plasmă) fiind utilizată pentru a crea sursa de căldură. Cel mai frecvent gaz utilizat pentru a crea plasma este argonul, acesta curge între electrod și duză. Pentru a crește puterea de la un nivel suficient de mult pentru topirea ceramice, este necesar să se schimbe proprietățile termice și electrice ale fluxului de gaz. Aceasta se face în general prin adăugarea unui gaz secundar în curentul de gaz de plasmă (de obicei hidrogen). Odată ce curentul de gaz corespunzător a fost stabilit pentru materialul pulverizat, materialul de alimentare (sub forme de pulbere) este injectat în curentul de gaz. [33], [57], [66], [76], [99], [141]

În timpul pulverizării termice pulberea introdusă în jetul de plasmă este propulsată spre suprafața de „acoperit”, timp în care ionii și electronii se recombină în atomi, eliberând energie, sub formă de căldură, care este absorbită de materialul de aport până când particulele acestuia ajung în stare plastică sau topită. [64], [72], [99]

Procesul de pulverizare termică cu plasmă reunește topirea, răcirea și consolidarea particulelor materialului de aport. El constă în injectarea pulberii în jetul de plasmă, topirea rapidă și propulsarea acestora pe suprafața de depunere. La contactul cu piesa, are loc răcirea rapidă a particulelor, rezultând o structură cu granulație fină, dar poroasă. [136]

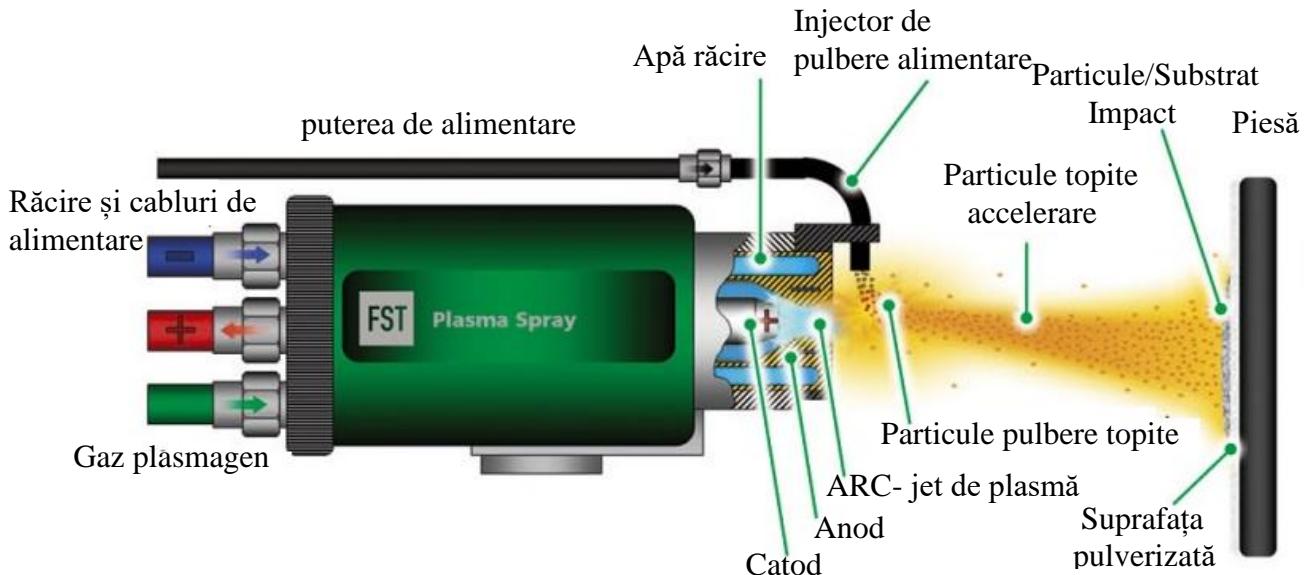


Fig. 1.13. Pistol de depunere în jet de plasmă

Pentru obținerea unor caracteristici deosebite ale straturilor depuse prin pulverizare termică cu plasmă trebuie ca pulberea să fie introdusă la debit constant în coloana de plasmă și cât mai aproape de axa acesteia, diferența dimensiunilor granulelor, cele mai mici și cele mai mari, să fie mai mică de 10 µm. [39], [70], [99], [118]

Parametrii proceșului de metalizare prin pulverizare termică prin jet de plasmă sunt prezentate în tabelul 1.9. [52], [55], [56], [71]

Tabelul 1.9. Parametrii proceșului de metalizare prin pulverizare termică prin jet de plasmă

Nr. crt	Parametrii	Valoare
1.	Temperatura	6000...15000°C
2.	Granulația pulberii	0,005....0,1 mm
3.	Distanța de pulverizare L	80....130 mm

Proprietățile stratului de acoperire obținut sunt prezentate în tabelul 1.10. [52], [69]

Tabelul 1.10. Proprietățile stratului de acoperire

Nr. crt	Proprietăți ale stratului de acoperire	Valoare
1.	Rezistența la suprafața de aderență	20....25 Mpa
2.	Porozitatea	1...7%
3.	Duritatea stratului depus depinde de natura materialului care se depune	-
4.	Grosimea stratului depus	0,05....0,5 mm

1.4 Alegerea procedeului de recondiționare

Pentru a stabili procedeul de recondiționare indicat pentru o piesă, este necesar să se cunoască natura defectului, gradul de uzură, caracteristicile constructive și tehnologice, cerințele funcționale precum și costul recondiționării. [2], [3], [34] Este foarte important să fie analizat materialul din care a fost realizată piesa, forma, dimensiunile și tratamentele termice la care a fost supusă. [52], [55], [73]

Este necesar să se țină cont de toți factori pentru alegerea procedeului de recondiționare. Stabilirea procedeelor de recondiționare în funcție de metoda utilizată, operații cât și de domeniul de aplicabilitate sunt prezentate în tabelul 1.11. [2], [3]

Tabelul 1.11. Metode de recondiționare a unor piese [2], [3]

Nr. Crt	Metoda	Operații	Aplicații ale acoperirilor prin pulverizare termică
1.	Deformarea plastică	Îndreptare	Arborii
		Mandrinare	Alezaje
		Moletare	Arborii, manșoane
2.	Sudare	Încărcarea cu arc electric	Piese din oțel, astupare fisuri
		Încărcare oxi-gaz	Piese din oțel cu pereți subțiri
3.	Lipire	Lipire moale	Piese din aliaje neferoase
		Brazarea	Piese din oțel
		Lipire cu adezivi	Astupare fisuri
4.	Metalizarea prin pulverizare termică	Cu flacără și pulbere	Permite modificarea compozitiei materialului de adaos
		Cu flacără și sârmă	Foarte ușual
		Cu plasmă și pulbere	Piese din oțel aliat
		Cu laser	Pulverizarea materialelor greu fuzibile
		Prin detonație	Pulverizarea materialelor greu fuzibile, a straturilor anticorozive
		Cu flacără de mare viteză	Porozitate mică (mai mică de 1%)
5.	Metalizarea prin pulverizare la rece	Spray	Realizarea unor straturi bune conducătoare termic sau electric pe suporti din materiale nemetalice, permite intervenție rapidă
6.	Prelucrările prin aşchiere	Rabotarea	Suprafețele sunt pregătite pentru încărcare
		Strunjirea	Suprafețele sunt pregătite pentru metalizare
		Găurirea	Pregătirea suprafețelor
		Alezarea	Modificarea abaterilor de formă
		Rectificarea	Modificarea abaterilor de formă
		Honuirea	Finisarea suprafețelor interioare

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

		Lepuirea	Finisarea suprafețelor
7.	Depunerea de materiale nemetalice	Materiale compozite	Astuparea fisurilor
		Bazalt	Bucșe, ghidaje
		Sticlă solubilă	Umplerea porilor
		Pulverizarea termică a maselor plastice	Carcase, suporți

Trebuie ținut cont de cauzele care influențează rezistența la oboseală a piesei recondiționate și anume: operațiile de pregătire a pieselor înainte de pulverizare, defectele mecanice ale statului depus, prelucrările mecanice după recondiționare. [3], [52], [55], [62]

1.5 Concluzii

1. recondiționarea pieselor are ca scop transformarea pieselor uzate în piese capabile să-și mai poată îndeplini rolul funcțional; [52], [55], [62]
2. rezistența la uzare depinde de: structură, duritate, tensiunile din stratul depus pe suprafața uzată și de calitatea suprafeței după prelucrarea mecanică;
3. stabilirea fluxului tehnologic pentru recondiționare depinde de tipul procesului de producție și impune respectarea strictă a succesiunii operațiilor procesului tehnologic;
4. operațiile procesului tehnologic de recondiționare a pieselor prin metalizare prin pulverizare termică sunt: curățirea (mecanică sau prin spălare), control nedistructiv, control dimensional, recondiționare, tratament termic, prelucrarea prin aşchieri, finisare, control final și depozitare; [52], [55], [62]
5. pentru realizarea unor straturi cu duritate foarte mare, se recomandă utilizarea materialelor sub formă de pulberi;
6. grosimea stratului depus variază în funcție de procedeul de recondiționare (cățiva microni până la peste 10 mm); [55], [62]
7. în urma pulverizării se obține o porozitate mare a stratului depus, ceea ce se recomandă metoda pentru durificare a unor suprafețe în vederea creșterii rezistenței la uzare;
8. metodele de acoperire a suprafețelor în vederea acoperirii se stabilesc în funcție de specificul piesei, grosimea materialului depus și starea inițială a suprafețelor; [55], [62]
9. metalizarea prin pulverizare termică reprezintă un proces de recondiționare, care permite obținerea unor proprietăți mai bune ale stratului depus decât cel de bază;

CAPITOLUL 2. STUDII ȘI CERCETĂRI TEORETICE PRIVIND PROPRIETĂȚILE STRATURILOR DEPUSE PRIN PULVERIZARE TERMICĂ

Straturile depuse prin pulverizare termică constau într-o serie de procese în care substratul este acoperit pentru a proteja piesele de uzură, abraziune, coroziune, temperaturi ridicate, etc. Cei mai importanți factorii care influențează proprietățile straturilor depuse prin metalizare prin pulverizare termică care să asigure previzibilitatea procesului de pulverizare sunt: [55], [62] [113]

- natura stratului de adaos;
- proprietățile fizice, chimice, mecanice ale straturilor depuse prin pulverizare termică;
- parametrii procesului de pulverizare termică;
- tratament post pulverizare ale stratului depus.

2.1 Natura stratului de adaos

Depunerea termică prin pulverizare termică a cunoscut o perfecționare a procedeelor de depunere cu jet de plasmă și cu flacără, care permit depunerea unor straturi cu proprietăți deosebite, realizate din materiale specifice, materiale ceramice și materiale compozite. Toate aceste materiale au temperaturi foarte diferite de topire, precum și diferențe rate de oxidare care generează straturi de oxid subțiri (<50 nm) la o grosime (<100nm). Cu alte cuvinte, cele mai multe procese de pulverizare, cu excepția pulverizarea la rece și pulverizarea cu arc de sârmă, temperatura substratului trebuie să fie controlată în timpul pulverizării. [49], [55], [62], [113] ,[91]

Obiectivul tezei de doctorat este de a arăta că piesele reconditionate se pretează la materialele ceramice respectiv straturi subțiri. Se utilizează tot mai mult materialele de tipul pulberi ceramice pe bază de Al_2O_3 , ZrO_2 , Y_2O_3 , care prezintă caracteristici din punct de vedere al stabilității la temperaturi înalte, conductibilității termice scăzute și rezistenței la socuri termice etc. [52], [67] Materialul de adaos se alege în funcție de mediul piesei reconditionate, acesta trebuie să îndeplinească o serie de cerințe precum o protecție suficientă împotriva uzurii, rezistență la coroziune, izolație termică, izolație electrică, și aspectul estetic chiar îmbunătățit. [114] Suprafețele care urmează a fi reconditionate trebuie să fie curățate pentru a elibera grăsimea și alți compuși organici pentru a îmbunătăți aderența acoperirii și asigură o suprafață efectivă mai mare. Orice particulă/granulație (în general, realizată dintr-un material ceramic) turnat pe suprafața subsratului va crea un defect. [49], [55],[90], [122], [157]

În tabelul 2.1. sunt prezentate tipuri de materiale sub formă de sârmă, bare și pulbere. [49], [55],[90], [100], [122]

Tabelul 2.1. Tipuri de materiale sub formă de sârmă

Nr. crt	Categorie	Materiale		
1.	Sârmă	Zn,Al,Cu,Ni,Mo,Sn,Ti,Ti – Ni,Ti - 6Al - 4V,Zn – Al,Al – Re,Cu – Zn,Cu – Al,Cu – Ni,Cu – Sn,Pb – Sn,		
2.	Bare			
3.	Pulbere	Metal	Sn,Pb,Zn,Al,Cu,Ni,W,Mo,Ti, din oțel inoxidabil, aliaj de cupru, aliaj de aluminiu;	
		Ceramică	Al ₂ O ₃ ,Al ₂ O ₃ ·SiO ₂ ,Al ₂ O ₃ ·MgO,ZrO ₂ ,ZrO ₂ ·SiO ₂ ,Y ₂ O ₃ - ZrO ₂ ,CaO - ZrO ₂ ,MgO - ZrO ₂ ,Cr ₂ O ₃ ,Cr ₂ O ₃ - TiO ₂ ,BeO,MgO	
		Plastic	pulbere termoplastice: polietilenă, naión, polifenilen sulfura;	

Materialul de pulverizare termică trebuie să îndeplinească anumite cerințe, ținând cont și de procesul de pulverizare: [26], [102], [119], [128]

1. de rezistență la uzură la coroziune, temperatură ridicată, material izolant;
2. să aibă o stabilitate chimică bună și stabilitate termică, materialele trebuie să reziste la temperaturi ridicate în timpul pulverizării;
3. coeficientul de dilatare termică să fie apropiat de materialul piesei de prelucrat;
4. materialul solid sub formă de pulbere trebuie să aibă o bună fluiditate pentru a asigura o pulbere netedă, iar pentru sârmă ar trebui să aibă o rază uniformă (0,1 mm).

2.2 Proprietățile straturilor depuse prin pulverizare termică

Conform datelor prezentate de firma Sulzer Metco, proprietățile straturilor depuse depind în mare măsură de structura stratului și procedeul de pulverizare termică (tabelul 2.2.). [52], [94], [109],[113], [123]

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor reconditionate

Tabelul 2.2 Proprietățile straturilor depuse prin pulverizare termică

Nr. crt	Proprietăți	Tipul acoperirii	Procedee de metalizare prin pulverizare termică					
			Cu sârmă	Cu flacăra	HVOF*	Prin detonație	Cu arc electric	Cu jet de plasmă
1.	Rezistența la suprafața de aderență [Mpa]	Valori obișnuite	15...20	15...30 60 NiAl	40...60 90	80- WC-Co 70 – Al2O3	10..30- Zn și Al 70- NiAl	20..25 70
		Straturi ceramice						
		Straturi metalice						
		Carburi metalice						
2.	Porozitate [%]	Valori obișnuite	10...20	10..20	1	0,5...1	10...20	1...7
3.	Duritatea stratului depus	Feroase/ Neferoase Ceramice	84HR B- 35HR C/ 95HR H- 40HR C	80 HRB- 35HRC 30HRH - 20HRC 40-65 HRC	90 HRB- 45HRC/ 100 HRH- 55HRC/-		85 HRB- 40HR C/ 40 HRH- 35HR C/-	80 HRB- 40 HRC/ 40 HRH- 50 HRC/45- 65 HRC
4.	Permeabilitatea	Feroase/ Neferoase Ceramice	Mare Mare -	Medie Medie Medie	Neglijabilă Neglijabilă Neglijabilă	Neglijabilă Neglijabilă Neglijabilă	Medie Medie -	Medie Medie Mică-medie
5.	Grosimea stratului depus [mm]	Valori obișnuite	0,3...2, 5	0,3...2,5	0,2...0,3	0,05..0,1	0,2...2, 5	0,05...0,5
6.	Temperatura jetului de pulverizare		3000- 3350	3000	2000-3000	4500	Temperatura arc electric -6100	12000- 16000

2.2.1 Proprietăți fizice

Proprietățile fizice specifice straturilor depuse prin pulverizare termică sunt porozitatea, greutatea specifică, conductivitatea termică, dilatarea termică, permeabilitatea, proprietățile antifricțiune, rezistivitatea electrică, aspectul și culoarea. [52],[123]

Porozitatea – reprezintă prezența de pori sau goluri într-un strat, de obicei exprimat în procente de volum care afectează proprietăți importante ale straturilor, precum rezistența mecanică, rezistența la coroziune, dar crește rezistența la uzare prin faptul că porii ajută la obținerea de proprietăți antifricțiune.

Porozitatea este rareori o problemă, se face referire la fractie nulă, este o măsură a spațiului vid (spațiul gol, adică nimic), într-un material. Porozitatea este cuprinsă între 0 și 100%, din volumul de goluri în volumul total. Forma porozității poate fi : deschis, inchis, conectat, alungite etc (figura 2.1). [123], [134], [133], [143]

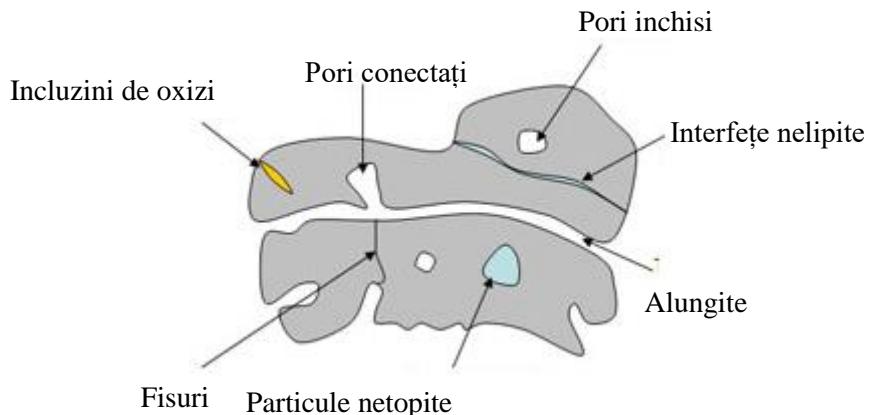


Fig. 2.1. Forma porozității

Greutatea specifică- depinde în mare măsură de procedeul de pulverizare utilizat.

Parametrii ce influențează porozitatea și greutatea specifică sunt: [52],[55], [89], [93], [123]

- viteza particulelor în jetul de pulverizare- cu cât viteza de impact este mai mare cu atât porozitatea este mai mică, iar greutatea specifică mai mare;
- unghiul de impact- 90°;
- distanța de pulverizare- greutatea specifică scade dacă distanța dintre metalizator și suprafața metalizată este mai mare;
- cantitatea specifică de material de adaos.

Conductivitatea termică- depinde de natura materialului de adaos, cât și de structura acestuia, creșterea porozității scade conductivitatea termică.

Dilatarea termică- depinde de natura materialului depus. Atât materialul de bază cât și stratul depus urmează un ciclu termic de încălzire și răcire până la temperatura ambientă, astfel apar tensiuni interne la interfața dintre materialul de bază și cel depus.

Permeabilitatea- este influențată în mod deosebit de: natura materialului de adaos, mărimea porilor, grosimea stratului depus și prelucrările stratului depus care conduc la scăderea permeabilității.

Proprietățile antifricțiune- depind de natura materialului de adaos, cât și de porozitatea stratului.

Rezistivitatea electrică- depinde de natura materialului de adaos, pori din stratul pulverizat, forma granulelor depuse, de aderența stratului pulverizat la materialul de bază.

Aspectul și culoarea- straturilor depind de prelucrările finale, suprafața metalizată are un aspect mat, iar în cazul în care stratul este prelucrat prin aşchiere are luciu mecanic.

2.2.2 Proprietăți mecanice

Considerând obiectivul țintă al tezei de doctorat, și anume previzibilitatea în obținerea calității pieselor recondiționate, dintre proprietățile mecanice se remarcă rezistența la aderență a straturilor depuse prin pulverizare termică, duritatea, elasticitatea, rezistența la uzură, rezistența la oboseală. [52],[55], [89], [93]

Rezistența la aderență- reprezintă desprinderea stratului depus prin pulverizare față de materialul de bază. Rezistența la aderență depinde de natura și forma materialului de adaos, grosimea stratului pulverizat, viteza de pulverizare, unghiul de pulverizare, distanța de pulverizare, forma piesei metalizate și starea suprefetei materialului de bază.

Duritatea- este rezistența la uzare a stratului depus. Duritatea stratului depus depinde de: natura materialului de adaos, structura stratului de material depus, porozitatea stratului, grosimea și prelucrările finale. Duritatea stratului depus crește odată cu viteza de pulverizare, scăderea granulației, creșterea grosimii stratului și scade cu scăderea presiunii, creșterea distanței de pulverizare, creșterea temperaturii stratului după pulverizare.

Elasticitatea- stratului depus depinde de tehnica de pulverizare și de parametrii de proces, care influențează porozitatea stratului depus.

Rezistența la uzură- este proprietatea materialor de a rezista la acțiunea de distrugere a suprafetelor lor prin frecare. Multe straturi materiale se depun pe suprafete în scopul reducerii coeficientului de frecare. Pe lângă natura chimică a materialului coeficientul de frecare este influențat și de calitatea finisării suprafetei.

Rezistența la oboseală- este afectată dacă suprafața de aderență este pregătită prin filetare sau canelare.

2.2.3 Proprietăți chimice

Proprietățile chimice ale straturilor pulverizate termic sunt compoziția chimică și rezistența la coroziune. [52],[55], [89], [93]

Compoziția chimică depinde în mare măsură de natura materialului de adaos, dar și de parcursul picăturilor care se oxidează de la metalizator la stratul depus. Oxidarea depinde de

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

natura și forma materialului de adaos, procedeeul de pulverizare, distanța de pulverizare dacă este mare atunci și procentul de oxizi din stratul depus este mai mare.

Rezistența la coroziune- depinde de natura materialului de adaos, porozitatea stratului depus, grosimea stratului depus dar și de cuplul de material depus cu materialul de bază.

Cuplul de material depus cu materialul de bază este mai eficientă dacă protecția se obține electrochimic. Materialul de adaos trebuie ales încât să se țină de potențialul de electrod al fiecărui material și să îndeplinească condițiile de protecție electrochimică.

2.3 Interdependența parametri-proprietății

Pe lângă influență ce o are temperatura asupra substratului, orice acoperire depinde foarte mult de controlul celorlalte variabile precum: [50], [133]

- pregătirea suprafeței;
- distanța de pulverizare;
- unghiul de pulverizare;
- viteza relative între pistoletul de pulverizare și partea care urmează să fie acoperite.

Principalii parametri tehnologici ce influențează calitatea stratului depus depind de fiecare procedeu de pulverizare termică (tabelul 2.3.). [35], [52], [142], [154]

Tabelul 2.3. Principalii parametri tehnologici ce influențează calitatea stratului depus

Procedeeu	Viteza de pulverizare	Distanța de pulverizare	Temperatura	Granulația pulberii	Proprietăți ale stratului de acoperire
Pulverizarea cu flacără	80...100 [m/s]	120....200 [mm]	3000...3350 °C	0.002...0.1 [mm]	<ul style="list-style-type: none"> - rezistența la suprafața de aderență- 15...30Mpa; - porozitatea- 10...20%; - duritatea stratului depinde de natura materialului; - grosimea stratului depus- 0.3...2.5 mm.
Pulverizarea prin procedeul HVOF	650..700 m/s	150...300 mm	2000-3000 °C	0.005...0.045 mm	<ul style="list-style-type: none"> - rezistența la suprafața de aderență- 40...60Mpa; - porozitatea este mai mică de 1%; - duritatea stratului depinde de natura materialului; - grosimea stratului depus- 0.2...0.3 mm, poate atinge 0.5 mm.
Depunere prin procedeul cu arc electric	150 m/s	50...150 mm	-	-	<ul style="list-style-type: none"> - rezistența la suprafața de aderență depinde de natura materialului care se depune-10...30Mpa; - porozitatea- 10...20%, dar poate fi scăzută până la 7..8%; - duritatea stratului depinde de natura materialului; - grosimea stratului depus- 0.5...2.5 mm.

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Procedeul Detonation Gun	Peste 750 m/s	100 mm	4500°C	0.005..0.06 0 mm	- rezistența la suprafața de aderență are valori peste 80Mpa; - porozitatea-0.5...1%; - duritatea stratului depinde de natura materialului; - grosimea stratului depus- 0.05...0.1 mm, poate atinge 0.3 mm
Procedeul de depunere în jet de plasma	500...1000 m/s	80...130 mm	12000-16000 °C	0,005..0,1 mm	- rezistența la suprafața de aderență are valori peste 20-25 Mpa; - porozitatea-1...7%; - duritatea stratului depinde de natura materialului; - grosimea stratului depus- 0.05...0.5 mm.

Figura 2.2 prezinta clasificarea diferitelor procese de pulverizare termică în ceea ce privește temperatura particulelor și viteza. [116]

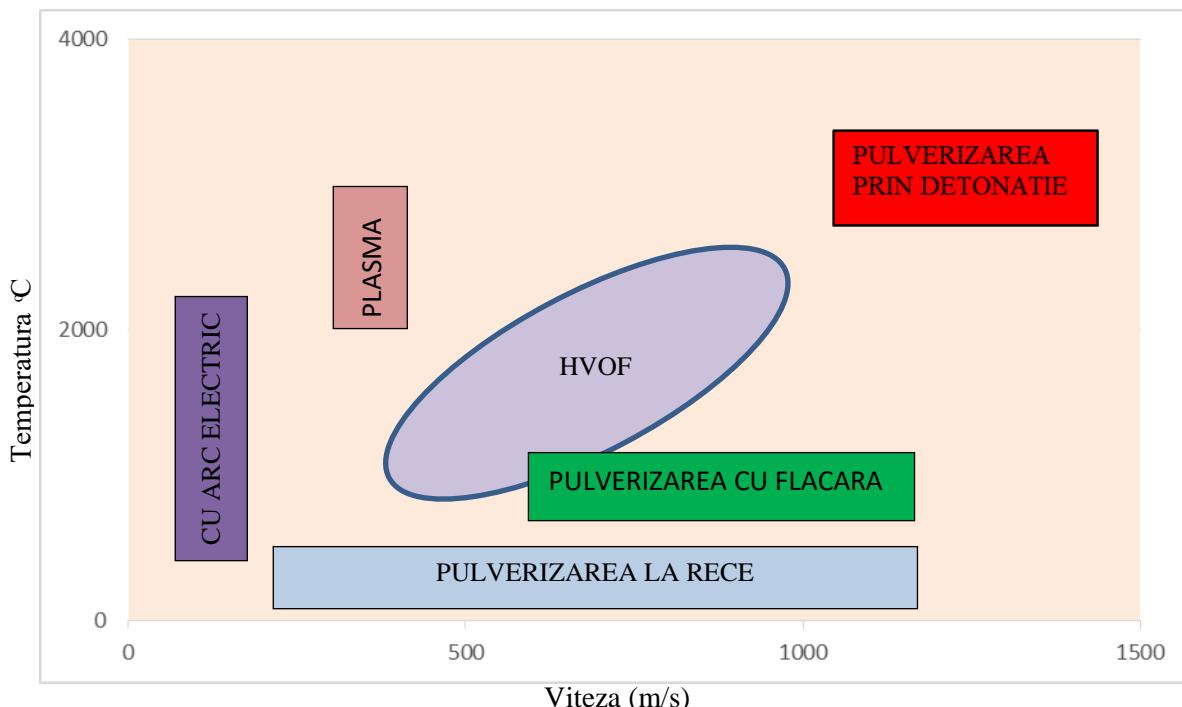


Fig. 2.2. Compararea diferitelor procese de pulverizare termică, în ceea ce privește temperatura particulelor și viteză

2.4 Tratament post pulverizare ale stratului depus

Tratamentele post pulverizare cresc legătura de acoperire la materialul de bază. Difuzia în substrat are loc, de asemenea, îmbunătățirea lipirii, iar porozitatea este aproape eliminată. Temperatura necesară pentru a efectua difuzie este în intervalul de la 1000 la 1200 °C. [114]

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Tratamentele de suprafață trebuie să joace un rol foarte important în păstrarea proprietăților electrice, optice sau termice, pe o perioadă lungă de timp [20], [156].

Pentru tratamentele de suprafață există mai multe soluții, dar cele mai importante sunt [20] , [21]:

1. Călire

În etapa de strain hardening, materialele sunt supuse unor procese de deformare plastică, fie înainte de aplicarea prin rulare și încărcarea de impact. Adâncimea de întărire este mai mică de 1 mm pentru rulare, dar poate ajunge la o adâncime la fel de mare ca 20 mm pentru încărcarea de impact și este în jur de 0,5 mm.

2. Suprafața de călire

Adâncimea de călire este cuprinsă între 0,5 și 5 mm.

3. Tratament termo-chimic

Elementele chimice sunt introduse prin difuzie în suprafețe, la temperaturi ridicate. Elementele sunt, în principal, nu numai carbon și azot, dar și vanadiu, care sunt difuzate în oțel, pentru a forma straturi de carbon foarte dure. Diferite tratamente cuprind carburarea, carbonitrurare, nitrurare, nitrocarburare.

2.5 Concluzii

În concluzie rezistența la aderență asigură fiabilitatea piesei , aceasta nu poate fi măsurată direct pe piesă, ci numai pe epruvete. Aprecierea se v-a face prin intermediul unui test nedistructiv. În această teză s-a ales ca tehnică de defectoscopie, controlul nedistructiv prin curenti turbionari, care pot da informații despre calitatea aderenței, între interfața material de bază-material de adaos. Factori care influențează aderența materialului de adaos la materialul de bază sunt [52]:

1. rugozitatea suprafeței așchiate în vederea metalizării;
2. modul de pregătire a suprafeței;
3. distanța de pulverizare.
4. recondiționarea pieselor are ca scop transformarea pieselor uzate în piese capabile să-și mai poată îndeplini rolul funcțional;
5. rezistența la uzare depinde de: structură, duritate, tensiunile din stratul depus pe suprafață uzată și de calitatea suprafeței după prelucrarea mecanică;
6. pentru realizarea unor straturi cu duritate foarte mare, se recomandă utilizarea materialelor sub formă de pulberi;
7. grosimea stratului depus variază în funcție de procedeul de recondiționare (cățiva microni până la peste 10 mm);
8. în urma pulverizării se obține o porozitate mare a stratului depus, ceea ce se recomandă metoda pentru durificare a unor suprafețe în vederea creșterii rezistenței la uzare;
9. metodele de acoperire a suprafețelor în vederea acoperirii se stabilesc în funcție de specificul piesei, grosimea materialului depus și starea inițială a suprafețelor.

CAPITOLUL 3. INSPECȚIA STRATURILOR SUBTIRI CU CURENȚI TURBIONARI

3.1 Introducere

Ca în orice proces tehnologic pot apărea erori, acestea conducând la apariția de defecte în piesele recondiționate. Pentru a se stabili dacă o piesă prezintă neconformități, se va face un control de examinare, preferabil examinarea nedistructivă deoarece piesa și stratul depus rămân intacte. Pentru că straturile pulverizate sunt poroase nu se ia în calcul detectarea porilor.

3.2 Defectoscopie

Controlul defectoscopic constituie un ansamblu pentru examinarea materialelor, pieselor și îmbinărilor, pentru punerea în evidență a defectelor acestora (fisuri, goluri, incluziuni, etc.) prin metode nedistructive. [5], [6] , [150]

Metodele nedistructive folosite pot fi grupate în:

- examinarea vizuală ;
- examinarea cu lichide penetrante ;
- examinarea cu pulberi magnetice ;
- examinarea cu ultrasunete ;
- examinarea prin termografie (examinarea cu radiații infraroșii) ;
- examinarea prin metoda emisiei acustice;
- examinarea cu curenți turbionari ;
- Examinarea prin Phased Array o tehnică a examinării prin ultrasunete.

3.2.1 Examinarea vizuală

Examinarea vizuală reprezintă cea mai simplă metoda de examinare nedistructivă, care se poate efectua cu ochiul liber. Pentru ca rezultatele examinării să fie satisfăcătoare examinarea vizuală are nevoie: [6], [65]

- ca suprafața examinată să fie iluminată;
- îndepărțarea materialelor de pe suprafața examinată (murdărie, rugină, zgură, urme de vopsea etc);

Defectele ce pot fi depistate în urma examinării vizuale:

- fisuri;
- incluziuni de suprafață;

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

- scurgeri de metal etc.

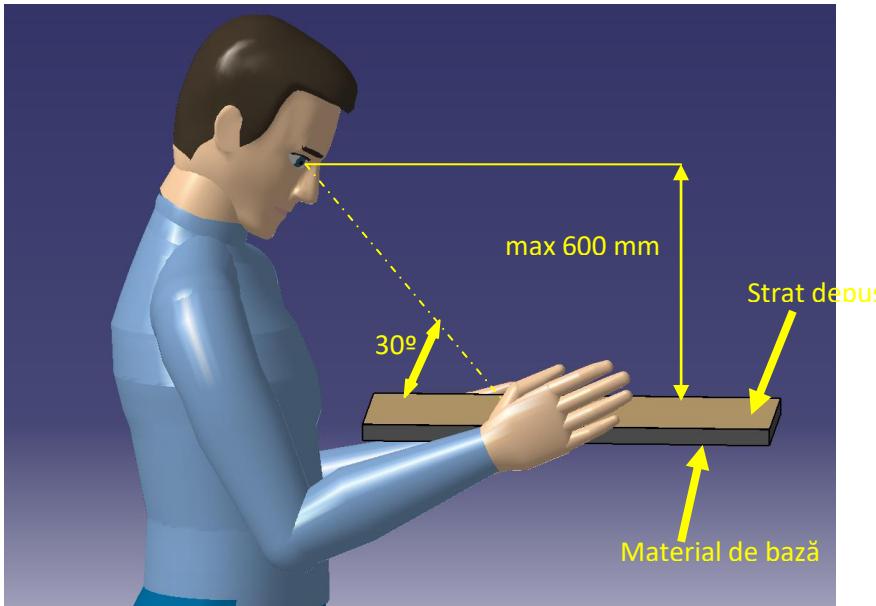


Fig. 3.1 Examinarea optico-vizuală

3.2.2. Examinarea cu lichide penetrante

Reprezintă o metodă bazată pe fenomenul de capilaritate, care se face prin patrunderea unui lichid penetrant în cavități, fisuri etc de pe suprafața unui material, care după curătire aceasta ramane în zona cu defecte. În figura 3.2 sunt prezentate posibile defecte ce pot fi puse în evidență prin examinarea cu lichide penetrante. [5], [6], [86], [107], [150]

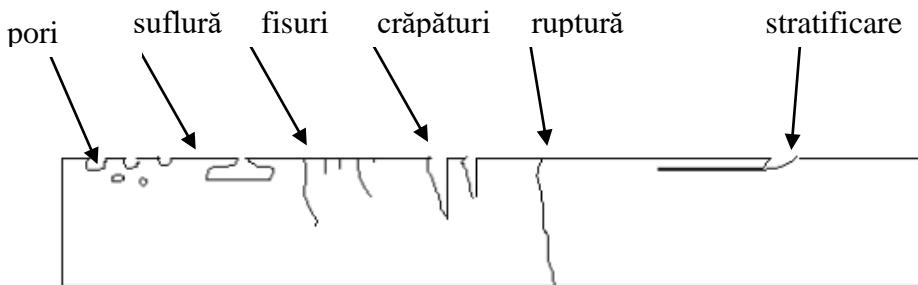


Fig. 3.2 Discontinuități de suprafață detectabile cu lichide penetrante

Pasi care trebuie urmati în examinarea cu lichide penetrante sunt: [5], [6], [86], [107], [150]

- curătirea suprafeței care drept scop îndepărta murdarie pentru a permite penetrantului să patrundă în cavitățile discontinuităților;
- aplicarea penetrantului prin pensulare, stropire, pulverizare, imersie;
- îndepărtarea excesului de penetrant după ce lichidul a stat un timp pe suprafața examinată, pentru a patrunde în cavitățile discontinuităților și să ramane acolo;

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

- uscarea suprafetei se face prin stergere, evaporare naturala sau sub actiunea aerului la temperatura de maximum 50°C;
- developarea extrage din cavitatile discontinuitatilor penetrantul ramas;
- examinarea suprafetei se face la lumina naturala sau artificiala.



Fig.3.3 Determinarea discontinuitatilor de suprafață pentru un generator

3.2.3. Examinarea cu pulberi magnetice

Examinarea cu pulberi magnetice reprezinta o metoda de control nedistructiv care se bazeaza pe efectele produse asupra materialului controlat datorate unor caracteristici ale campului magnetic produse in material. Examinarea cu pulberi magnetici se realizeaza doar pe materiale feromagnetice ce se acumuleaza in dreptul acestora. [5], [6], [86], [107], [150]

Pentru examinarea unei piese sau semifabricat sunt necesare urmatoarele operatii: [5], [6], [86], [107], [150]

- curatirea suprafetelor controlate pentru indepartarea substantelor grase prin degresare;
- magnetizarea piesei trebuie sa cada perpendicular pe discontinuitatile cautate, iar aceasta poate fi:

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

- longitudinala, atunci cand directia campului magnetic este paralela cu axa longitudinala a piese (figura 3.4);

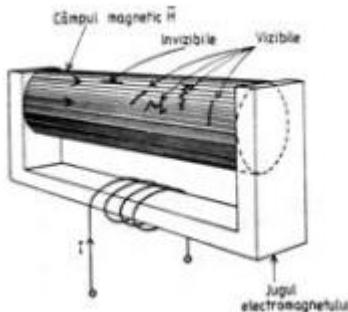


Fig.3.4 Magnetizare longitudinală

- transversala, cand directia campului magnetic este perpendicular pe axa longitudinala a piesei (figura 3.5);

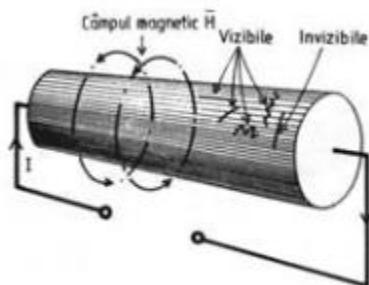


Fig. 3.5 Magnetizare transversală

- circular, cand liniile de camp magnetic urmaresc conturul obiectului controlat (figura 3.6).

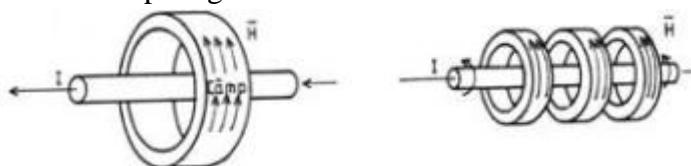


Fig.3.6 Magnetizare circulară

- aplicarea pulberii magnetice care se aplica sub forma de suspensie, pulverizare sau sitare;
- examinarea suprafetei se face dupa fiecare magnetizare;
- interpretarea se face functie de rolul piesei si tehnologia de obtinere a piesei;
- demagnetizarea consta in reducerea a starii magnetice a materialului la punctul 0;
- curatirea finala se face prin stergerea cu ajutorul unei panze curate.

În figura 3.7 sunt prezentate fisurile pentru un generator.

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

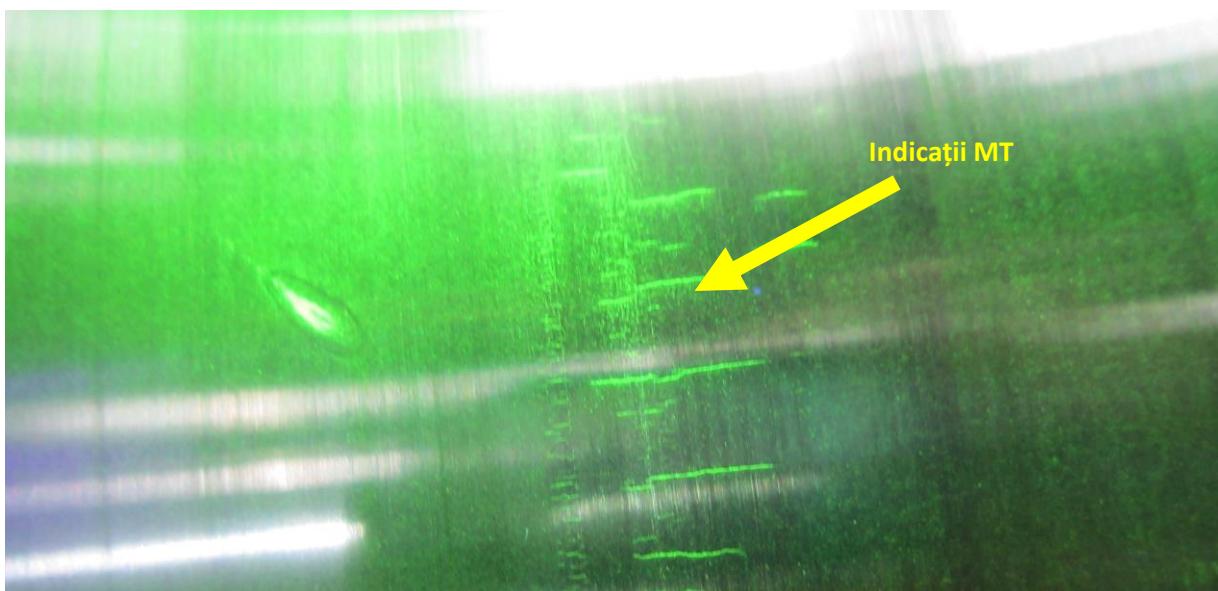
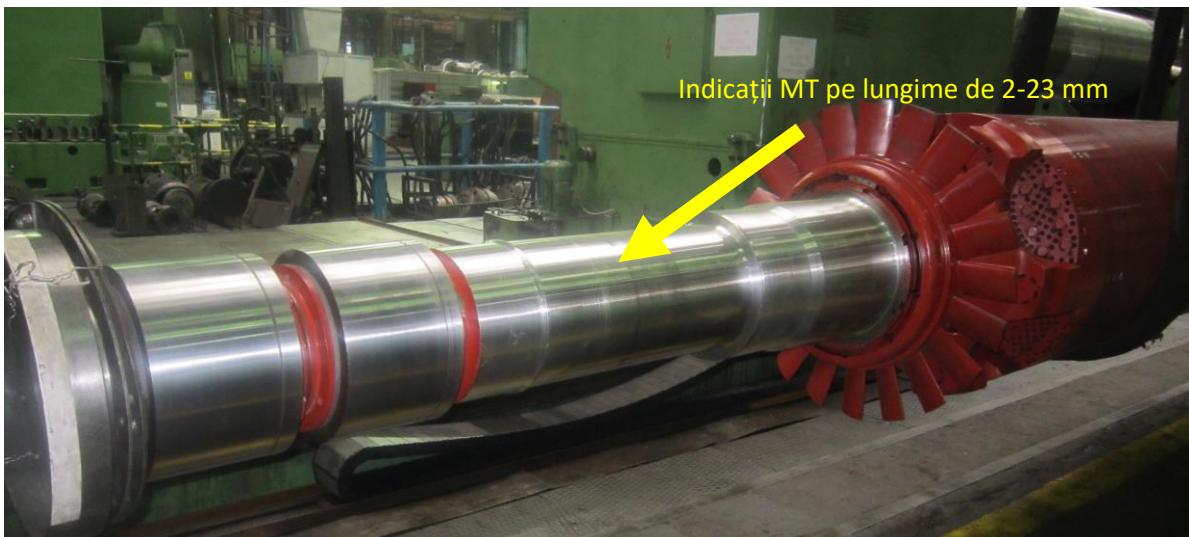


Fig.3.7 Inspecție de fisuri pentru un generator

În figura 3.8 este prezentat un rotorul care prezintă pe discul treapta 4, fața dinspre ieșire abur, zone de frecare, cu suprapunere de material și capete de nit distruse.

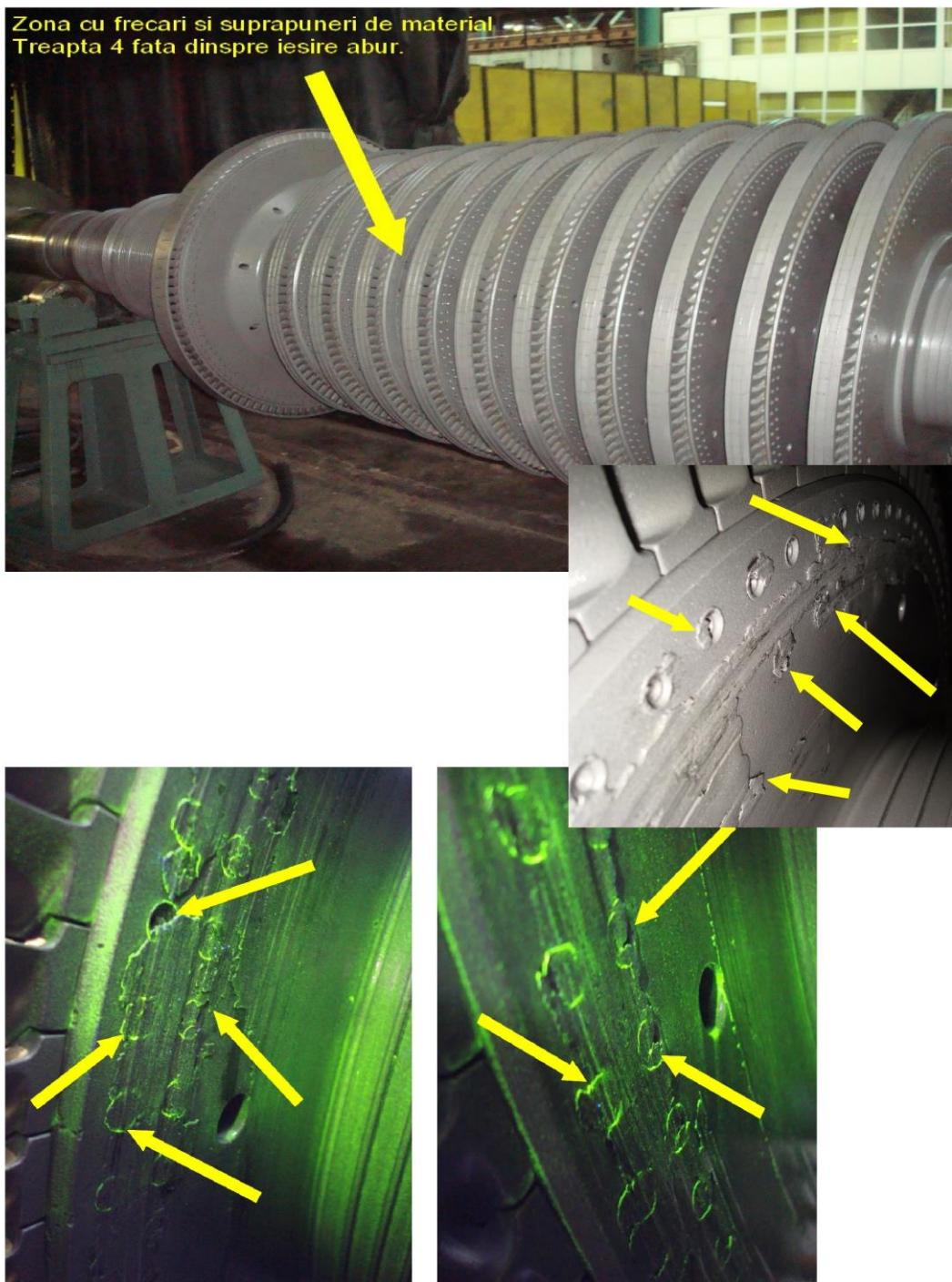


Fig.3.8 Inspecție de fisuri pentru un rotor

3.2.4. Examinarea cu ultrasunete

Ultrasunetele sunt oscilații sau unde elastice care au frecvențe mai mari de 1600...20000Hz și mai mici de KHz. Metoda se bazează fie pe măsurarea intensității ultrasunetelor absorbite, fie pe măsurarea intensității ultrasunetelor reflectate. În cadrul procedeului prin reflexie (impuls – ecou) se măsoară parametrii undei reflectate. În emitor (receptor) se emite la început un tren de impulsuri scurte prin efect piezoelectric invers și pe urmă acesta trece rapid, înainte de întoarcerea undei reflectate (ecou), pe poziție de receptor (lucru în regim piezoelectric direct). Principal pentru o piesă omogenă fără defecte există două reflexii, una la intrarea în materialul examinat și una la ieșirea din materialul examinat. La prezenta unui defect există trei reflexii: una la intrare, (a), una de pe defect, (b) și una de pe fundul piesei. Prin corelarea distanței (d) dintre semnalul de intrare și semnalul reflectat cu viteza de propagare a ultrasunetului în materialul de încercat, se poate determina adâncimea (h) la care se găsește defectul, iar prin etalonarea înăltimii (1) a semnalului se pot trage concluzii asupra dimensiunii defectului. Forma semnalului oferă informații asupra dimensiunii și formei defectului. În acest sens sunt edificate situațiile prezentate în figura de mai jos. Aprecierea mărimii și formei defectelor depinde în mare măsură de cunoștințele și experiența examinatorului, indicațiile pe ecran fiind foarte diferite în funcție de orientarea defectului față de axa de propagare a undei sonore. În figura 3.9 este prezentat principiul procedeului prin reflexie și diferite forme de semnal, caracteristice anumitor tipuri de defecte. [5], [6], [86], [107], [150]

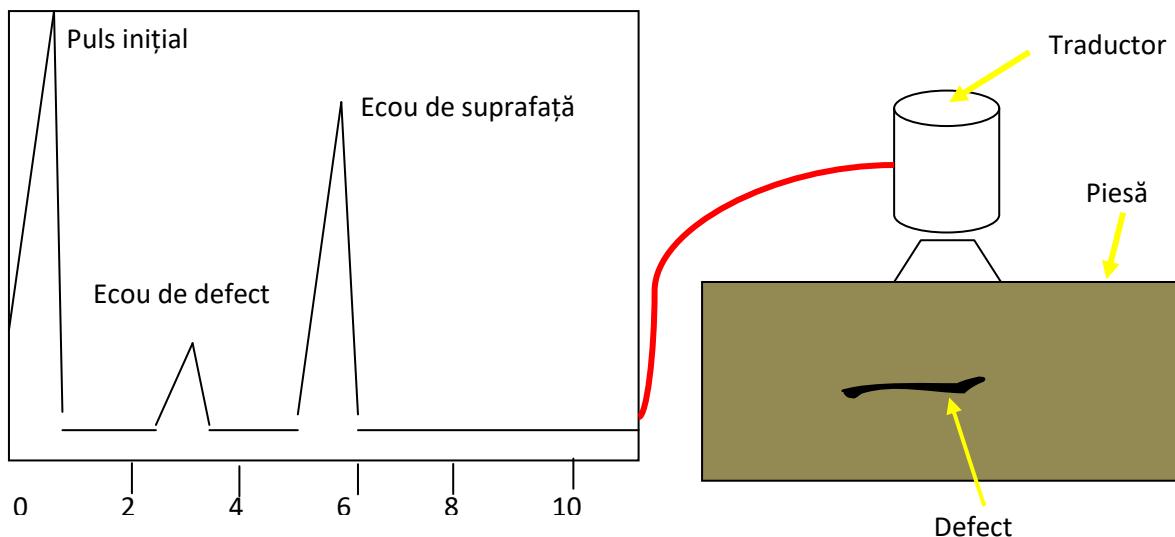


Fig. 3.9 Schema de principiu a examinarii cu ultrasunete

Odată găsit un defect, pe baza identificării ecoului se modifică unghiul de incidentă a undei sonore atât timp până cand acesta prezintă o înălțime maximă. Testele cu ultrasunete sunt utilizate pentru detectarea porozități, fisuri sau incluziuni. De asemenea, este posibil să se

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

determine grosimea. Sonda cu ultrasunete emite unde ultrasonice în material. Aceste unde sunt reflectate opus în sondă. Sonda colecteaza aceste semnale și acestea sunt vizualizate pe un ecran. Deci, grosimea poate fi determinată de viteza sonică a materialului ce este cunoscută. Dacă există un defect, o includere sau o fibră în materialul valurile sunt reflectate de acest obiect și este vizibil pe ecran . [5], [6], [86], [107], [150]

Controlul cu ultrasunete presupune depistarea defectelor cu ajutorul palpatoarelor care generează fasciole de unde ultrasonore, longitudinale și transversale prin deplasarea acestuia pe suprafața materialului. [5], [6], [86], [107], [150]

3.2.5. Examinarea prin metoda emisiei acustice

Emisia acustică este un fenomen ce constă în eliberarea rapidă a energiei, sub formă de unde elastice, care se propagă într-un material și pot fi detectate la suprafața acestuia (STAS 12306-85). [5], [6], [86], [107], [150]

Examinarea prin emisie acustică AET (Acoustic Emission Testing) este o metodă de examinare nedistructivă, prin înregistrarea emisiei acustice produsă într-un material, ca urmare a stimulării acestuia într-un anumit mod (presare, îndoire, lovire, încălzire, răcire, rupere etc.). [5], [6], [86], [107], [150]

Sursa de emisie acustică este zona materialului în care se generează evenimente de emisie acustică. [5], [6], [86], [107], [150]

Câteva exemple de fenomene care generează surse de emisie acustică sunt: [5], [6], [86], [107], [150]

- Mișcările structurale de dislocare, în domeniul deformațiilor elastice;
- Transformările de fază;
- Apariția și propagarea fisurilor;
- Scurgerea peliculelor de oxizi, zgură, acoperiri de protecție;
- Desprinderea aşchiilor și ruperea muchiilor sculelor aşchietoare;
- Fenomenul de cavitație etc.

Dispozitivele folosite pentru captarea semnalelor de emisie acustică poartă denumirea de traductoare acustice, captori sau senzori. Ele convertesc undele elastice separând semnalele electrice, care se pot prelucra și înregistra. Cele mai folosite traductoare sunt cele piezoelectrice care, constructiv, sunt foarte asemănătoare palpatoarelor folosiți în examinarea cu ultrasunete.

Dintre caracteristicile lor , două sunt mai importante în practică și anume: [5], [6], [86], [107], [150]

Frecvența (între 30 kHz și 1 MHz, ușual , între 100-300kHz);

- Temperatura de lucru (..40....600°C).

Sistemul de culegere poate fi un sistem unicanal sau multicanal. Sistemul unicanal folosește un singur cupitor și un singur lanț de prindere și înregistrare a datelor. [5], [6], [86], [107], [150]

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

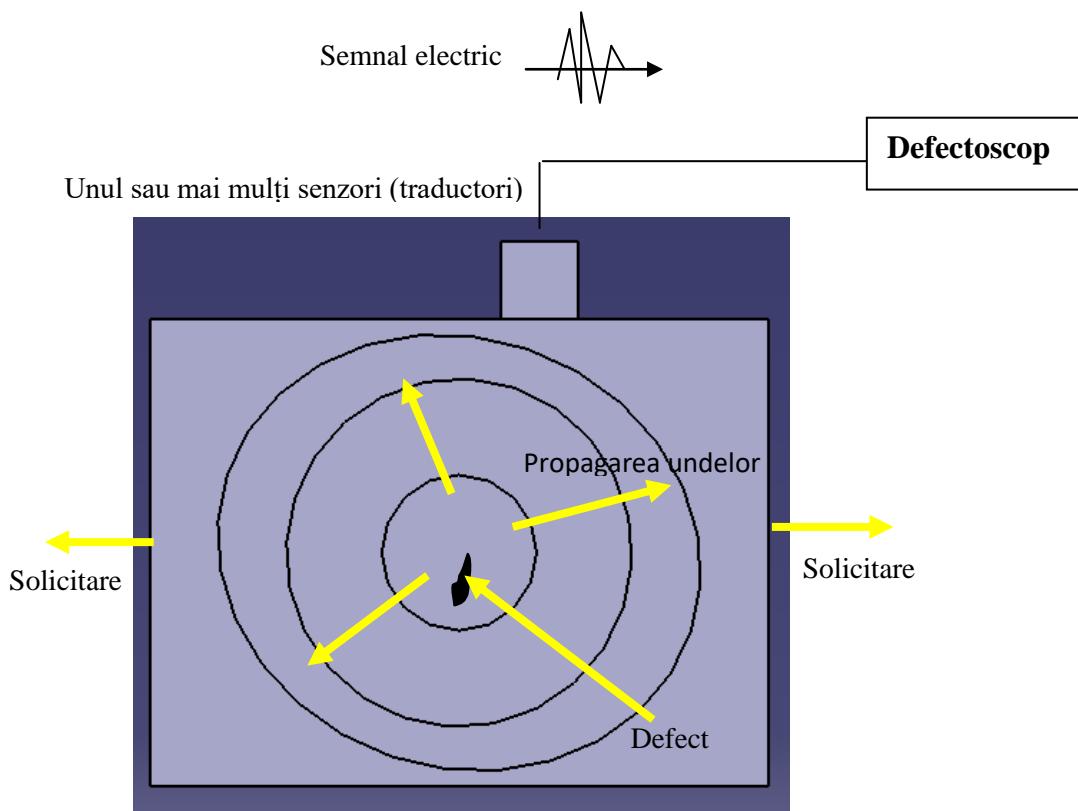


Fig. 3.10 Schema de principiu a examinării prin emisie acustică

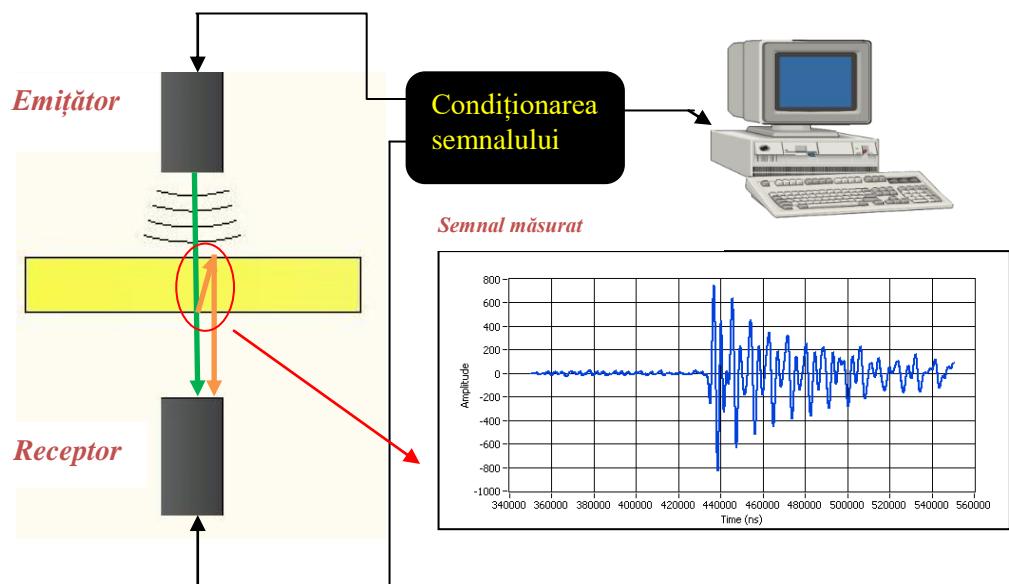


Fig. 3.11 Examinarea prin emisie acustică

3.2.6. Examinarea cu curenți turbionari

Controlul cu curenți turbionari se bazează pe inducția electromagnetică și este folosită pentru a pune în evidență modificări ale proprietăților fizice, structurale și metalurgice în piese din materiale electroconductorice atât feromagnetice cât și neferomagnetice. [150], [5], [6], [40], [107]

Metoda de control cu curenți turbionari poate fi folosită la: [150], [151], [153]

- detectarea fisurilor, stratificărilor, suflurilor și incluziunilor;
- măsurarea grosimii materialelor;
- măsurarea grosimii unui strat neconductor care învelește un conductor sau a unui material nemagnetic care învelește unul magnetic;
- măsurarea sau identificarea conductivității electrice, permeabilității magnetice, mărimi grăunților, durătății;
- evidențierea modificărilor superficiale de structură în urma tratamentelor termice;
- sortarea materialelor după compoziție și microstructură.

Câteva din avantajele metodei de control cu curenți turbionari sunt [47], [48]:

- sensibilitatea la detectarea fisurilor mici;
- obținerea imediată a rezultatelor;
- necesită un minim de pregătiri;
- nu este necesar contactul bobinei sondă cu piesa;
- permite inspecția unor forme complexe;
- metoda se pretează la mecanizare și automatizare.

Limitările metodei de control cu curenți turbionari sunt acelea că:

- pot fi inspectate doar materiale electroconductorice;
- adâncimea de pătrundere este dependentă de frecvență și este relativ mică;
- rugozitatea suprafeței poate afecta inspecția;
- este necesară o calificare mai atentă a personalului operator;
- sunt necesare standarde de referință.

Este o metodă indirectă care nu necesită contactul electric direct cu piesa, este nedistructivă și rapidă. Curenții turbionari crează propriul lor câmp electromagnetic care poate fi pus în evidență fie prin efectele produse în câmpul inductor al bobinei de excitație sau cu un alt senzor. [5], [6], [40], [107], [150]

La materialele neferomagnetice, câmpul magnetic secundar provine numai din curenții turbionari.

La materialele feromagnetice, efectele magnetice complementare au o intensitate suficientă pentru a minimiza efectele produse de inducerea curenților turbionari. Deși aceste efecte magnetice sunt nedorite, ele rezidă din permeabilitatea magnetică a materialului și pot fi eliminate prin magnetizarea materialului până la saturare într-un câmp magnetic constant.

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Atunci când efectele permeabilității nu sunt eliminate, metoda poate fi încadrată în categoria metodelor de inspecție electromagnetice sau magnetoinductive. [5], [6], [40], [107], [150]

Câteva dintre descoperirile științifice și tehnologice care au condus la dezvoltarea metodei de inspecție cu curenți turbionari sunt: teoria inducției elecromagnetice; teoria și aplicațiile bobinelor de inducție; rezolvarea problemelor care descriu dinamica câmpurilor electromagnetice în apropierea bobinelor de inducție și în special a dinamicii câmpurilor electromagnetice curentului electric și efectului pelicular în conductori; teoria predicției schimbării impedanței la inspecția cu curenți turbionari cauzată de defecte mici; perfecționarea instrumentației datorată tuburilor electronice, semiconducțorilor, circuitelor integrate și microprocesoarelor care au condus la îmbunătățirea tehnicii de măsurare, afișării semnalelor și înregistrării. [5], [6], [40], [107], [150]

3.2.7 Examinarea termografică (examinarea cu radiații infraroșii)

Metoda de examinare presupune detectarea la distanță a defectelor emise de o piesă sau probă care a fost supusă examinării. Informațiile obținute sunt transformate într-o imagine în care defectul se consideră variațiile de temperatură din imaginea termică rezultată.

Controlul cu radiații infraroșii oferă informații despre calitatea aderenței stratului la materialul de bază.

Principalele avantaje la examinarea termografică [165]:

- examinarea la distanță;
- examinarea suprafețelor greu accesibile;
- examinarea suprafețelor mari;
- oferă informații despre calitatea aderenței stratului depus la materialul de bază.

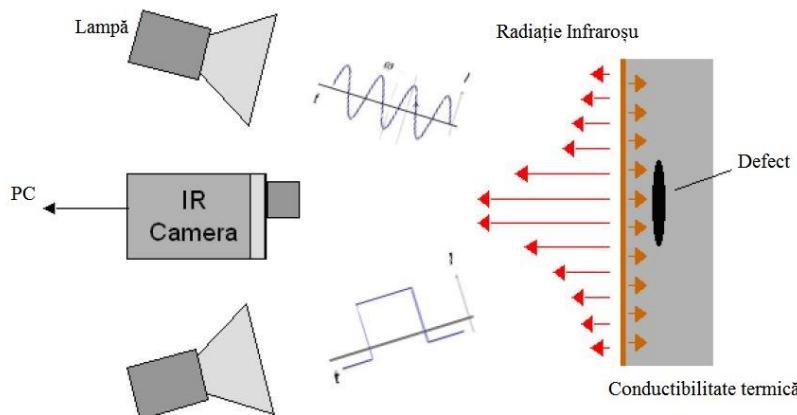


Fig. 3.12 Examinarea termografică

3.2.8 Examinarea prin Phased Array o tehnică a examinării prin ultrasunete

Examinarea Phased Array este o tehnică de control nedistructiv ultrasonic. Phased Array poate fi definită ca fiind o metodă de examinare care verifică piesa pe întregă lungime fără schimbarea poziției traductorului ultrasonic. Traductoarele de ultrasunete constau fie un singur element activ, care generează și primește undele de sunet, sau două asociate, una pentru transmisie și una pentru primire. Un sistem fazat va include asemenea, un instrument de operare software care alege secvența de pulsare, care introduce mai multe fronturi de val în materialul testat. Fronturile de val trec prin piesa testată și reflectă înapoi, discontinuitățile, fisuri și altele. Prin Phased Array se pot face măsurători de grosime, controlul coroziunii, detectarea defectelor și controlul sudurilor. O schemă a semnalelor emise și primite este prezentată în figura 3.13. [147]

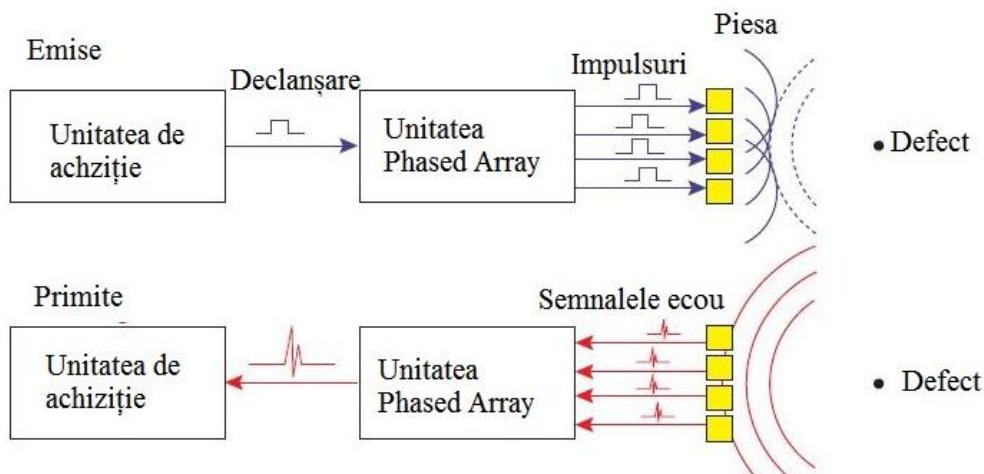


Fig. 3.13 Semnalele emise de Phased Array

3.3 Fenomenul apariției curenților turbionari

Curenți turbionari sunt creați prin inducție electromagnetică. Atunci când un conductor electric este parcurs de un curent alternativ, în jurul lui apare un câmp magnetic alternativ (figura 3.14). Dacă o bobină este alimentată în curent alternativ aceasta produce un câmp magnetic alternativ cu liniile de flux concentrate în centrul bobinei. [121], [150], [151]

Dacă în apropierea câmpului magnetic inductor produs de bobină este plasat un material electroconductor, în acesta apar un curenți turbionari care au o configurație circulară (figura 3.14). La suprafața materialului electroconductor deschiderea curenților turbionari este cea mai mare și descrește în adâncime. [5], [6], [40], [107], [150]

Curenții turbionari produc un câmp magnetic de sens opus care are un efect de diminuare a câmpului inductor. Ca efect, impedanța bobinei se micșorează proporțional cu creșterea curenților turbionari din piesa testată. [5], [6], [40], [107], [150]

O discontinuitate în materialul testat blochează curgerea curenților turbionari, reduce câmpul magnetic induș și mărește impedanța bobinei. Dacă bobina este deplasată cu viteză

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

constantă peste o discontinuitate a materialului testat se va produce o modificare în reactanță și curentul bobinei. [106], [121], [150], [151]

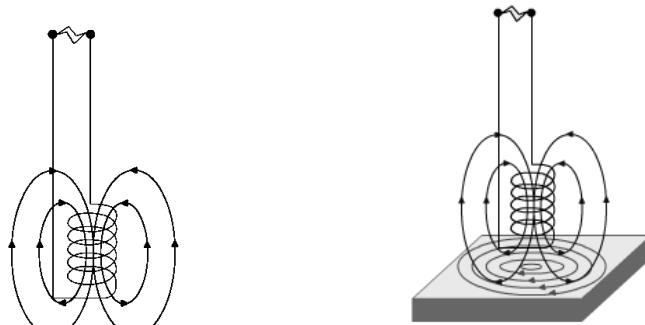


Fig. 3.14 Apariția curenților turbionari

Câmpul magnetic alternativ produs de bobină induce în piesă curenți turbionari, care conform legii lui Lenz, produc un câmp magnetic alternativ opus câmpului bobinei de control. Cele două câmpuri interacționează, astfel încât atunci când în zona de influență se află o discontinuitate de material, are loc modificarea câmpului inductor al bobinei de control. [5], [6], [40], [107], [150]

Conform legii inducției, câmpurile magnetice variabile sau în mișcare produse de o bobină induc curenți turbionari (figura 3.15). Potrivit legii lui Lenz, câmpul magnetic inductor produs de bobină H_p și cel induc de curenții turbionari H_s se află în interdependentă și în opoziție. [24], [25], [85]

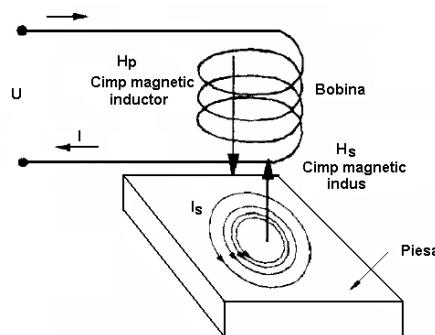


Fig.3.15 Formarea curenților turbionari

3.4 Principiul examinării cu curenți turbionari

Piesa de controlat se aduce în zona de interacțiune a unui câmp magnetic alternativ, produs de o bobină de control parcursă de curent. În figura 3.16 este prezentată producerea curenților turbionari într-o piesă tubulară de un selenoid și într-o placă de o bobină plană. [24], [25], [85]

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

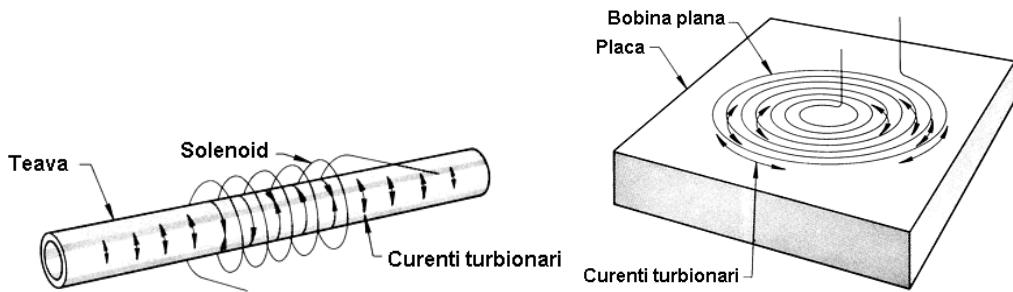


Fig. 3.16 Producerea curenților turbionari în câmpul selenoidului și al bobinei plane

Orientarea discontinuităților față de liniile de câmp ale curenților turbionari afectează detectabilitatea lor. O discontinuitate orientată paralel cu liniile de câmp ale curenților turbionari ca în figura 3.17 a este mai puțin detectabilă decât una plasată transversal ca în figura 3.17 b. [5], [6], [40], [107], [150]

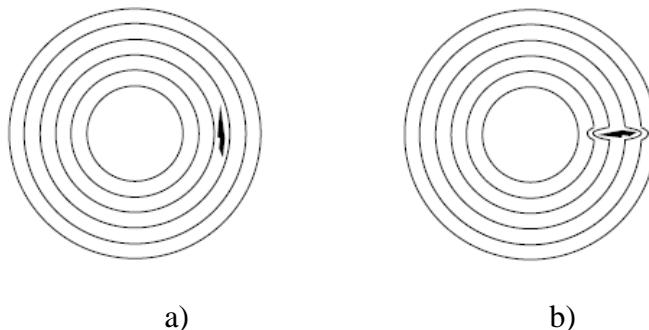


Fig. 3.17 Discontinuitatea curenților turbionari

Curenții turbionari sunt reprezentați ca niște bucle inchise de curenti induși care circulă în plane perpendiculare fluxului magnetic (figura 3.18), iar dacă nu întâlnesc discontinuități traекторia lor este circulară. [24], [25], [85]

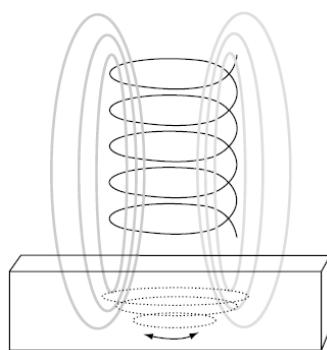


Fig. 3.18 Forma curenților turbionari

3.5 Adâncimea de pătrundere a curenților turbionari

Formarea curenților turbionari se formează în apropierea suprafeței piesei pe care este așezată bobina de excitare și intensitatea lor descrește în adâncimea piesei, fenomen

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

cunoscut ca efect pelicular. Efectul pelicular apare atunci când curenții turbionari produc un câmp magnetic induc care se opune celui inductor micșorând astfel curentul pe măsură ce adâncimea crește. Legea de distribuție a curentului în secțiune transversală este de forma exponențială [38], [117]:

$$I = I_0 e^{-x(\pi f \mu \sigma)} \quad (1)$$

unde:

I_0 este densitatea de curent la suprafață [$A \cdot m^2$];

x- adâncimea [m];

f- frecvența [Hz];

μ -permeabilitatea relativă;

σ - conductivitatea electrică [$\mu\Omega \cdot mm$].

Adâncimea de pătrundere este mai mică, dacă crește conductivitatea electrică și permeabilitatea magnetică a materialului și a frecvenței curentului de magnetizare. Adâncimea standard de penetrare (δ) reprezintă adâncimea la care densitatea curenților turbionari este micșorată la $1/e$ ($e=2.71828$ este baza logaritmului natural) sau cu aproximativ 37% din cea de la suprafață (figura 3.19) [4], [15],[117].

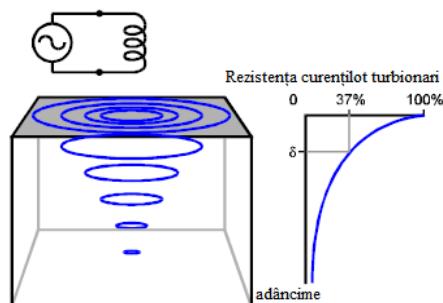


Fig. 3.19 Adâncimea de patrundere a curenților turbionari

Densitatea curenților turbionare este prea mică de numai 5% dacă se produce la trei adâncimi standard din cea a celor de la suprafață. În figura 3.20 este reprezentată variația curenților turbionari funcție de adâncimea sub suprafața conductoare a piesei [117].

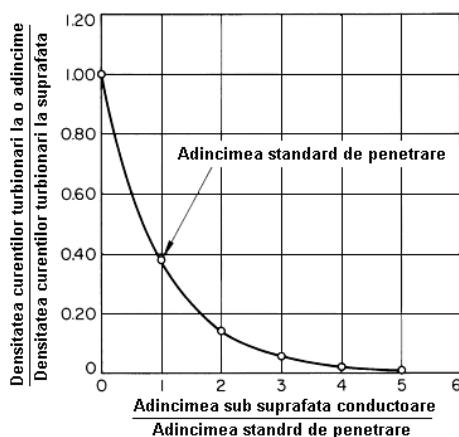


Fig.3.20 Variația densității curenților turbionari

Ing. Goran (ENE) Mariana- Teză de doctorat

Ecuația de calcul a adâncimii standard de penetrare este:

$$\delta \approx 1 / \sqrt{\pi f \mu \sigma} \quad (2)$$

unde:

δ este adâncimea standard de penetrare (mm);

f- frecvența curentului (Hz);

μ - permeabilitatea magnetică (H/mm);

σ - conductivitatea electrică (%IACS).

Pentru localizarea unei fisuri, se alege o frecvență pentru o adâncime cuprinsă între presupusa fisură și adâncimea standard de penetrare. Pentru măsurarea conductivității electrice a materialului, este aleasă o frecvență care să producă o adâncime standard de penetrare.

Factorii care influentează răspunsul curenților turbionari sunt: [5], [6], [40], [107], [150]

- conductivitatea electrică;
- permeabilitatea magnetică;
- frecvența.

Conductivitatea electrică

Conductivitatea electrică reprezintă un factor care influentează distribuția curentului induș într-o piesă. Dacă conductivitatea materialului examinat este mai mare, scade adâncimea de penetrare a curenților turbionari. La inspecția cu curenți turbionari, pentru măsurătorile de conductivitate se folosește sistemul IACS (International Annealed Copper Standard). Materialele sunt clasificate în ordinea crescătoare a rezistenței electrice ca fiind conductoare, semiconductoare și izolatoare. În tabelul 3.1 sunt prezentate cîteva materiale și aliaje în care sunt date valorile rezistivității și a conductivității conform IACS . [5], [6], [40], [107], [117], [150]

Tabelul 3.1 Valorile rezistivității și a conductivității pentru cîteva materiale și aliaje

Metal Aliaj	Resistivitate [$\mu\Omega \cdot \text{mm}$]	Conductivitate [% IACS]
Argint	16.3	105
Cupru pur	17.2	100
Aur	24.4	70
Aluminiu	28.2	61
6061-T6	41	42
7075-T6	53	32
2024-T4	52	30
Magneziu	46	37
Alamă 70-30	62	28
Bronz fosforos	160	11
Monel	482	3.6
Zirconiu	500	3.4

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Zircaloy-2	720	2.4
Titan	548	3.1
Ot el inoxidabil 304	700	2.5

Conductivitatea metalelor este influențată de mai mulți factori cum sunt: temperatura, tratamentul termic, mărimea grăunților, duritatea și tensiunile reziduale.

Permeabilitatea magnetică

Pentru a fi posibilă inspecția cu curenți turbionari, permeabilitatea magnetică trebuie să fie constată atunci când materialul feromagnetic este adus la saturare. Pentru ca o piesă să fie inspecată trebuie să fie plasată într-o bobină parcursă de curet electric. Inspecția cu curenți turbionari se poate aplica atât materialelor magnetice cât și nemagnetice. [5], [6], [40], [107], [127], [150]

Frecvența

Domeniul de frecvență folosit la controlul cu curenți turbionari este de 50 Hz la 10 MHz. Dacă frecvența este mare, crește sensibilitatea detectării discontinuității mici de suprafață. În cazul în care scade frecvența, crește penetrarea curenților turbionari în materialul piesei. În tabelul 3.2 sunt date valorile frecvenței pentru câteva materiale. Frecvența optimă este determinată experimental. [30], [31]

Tabelul 3.2 Frecvența unor materiale

Metal	Permeabilitate	36.8% Adâncime de penetrare					
		1KHz	4 KHz	16KHz	64KHz	256KHz	1MHz
Cupru	1	0.082	0.041	0.021	0.010	0.005	0.0026
6061 T-6	1	0.126	0.063	0.032	0.016	0.008	0.004
7075 T-6	1	0.144	0.072	0.036	0.018	0.009	0.0046
Magneziu	1	0.134	0.067	0.034	0.017	0.008	0.0042
Plumb	1	0.292	0.146	0.073	0.37	0.018	0.0092
Uranium	1	0.334	0.167	0.084	0.042	0.021	0.0106
Zirconiu	1.02	0.516	0.258	0.129	0.065	0.032	0.0164
Otel	750	0.019	0.0095	0.0048	0.0024	0.0012	0.0006

3.6 Clasificarea defectelor

Orice discontinuitate care modifică semnificativ fluxul normal al curenților turbionari poate fi inspectată cu curenti turbionari. O dificultate în controlul cu curenți turbionari ar

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor reconditionate

putea apărea în detectarea unei discontinuități plane subțiri, care este orientată în mod substanțial perpendicular pe axa cilindrului. Discontinuitățile care sunt ușor de detectat sunt fisuri de suprafață, pori, crăpături etc. [86], [107]

În figura 3.21 sunt prezentate defecte specifice materialelor acoperite.

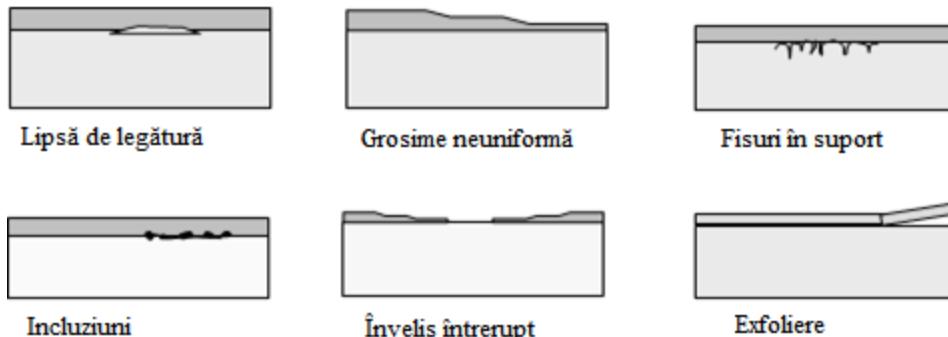


Fig. 3.21 Defecte specifice materialelor acoperite

Principalele defecte ce apar frecvent la procedeele clasice de reconditionare sunt [86]:

- lipsa de aderență între primul strat depus și materialul de bază;
- neomogenitatea stratului depus și prin urmare caracteristicile stratului sunt diferite pe zone mici;
- lipsa de aderență dintre straturile materialului de adăos depuse succeseiv până la grosimea necesară;
- porozitatea mare și distribuția neuniformă a porilor;
- neomogenitatea straturilor depuse la intersecția de suprafețe diferite;
- apariția fisurilor în stratul depus, cu propagare din spate materialul suport sau cu propagarea din spate suprafața stratului depus între materialul suport;
- repartitia neuniformă a carburilor în structura straturilor depuse;
- apariția de oxizi și incluziuni între straturile depuse succesiv.

3.7 Asigurarea calității prin examinarea nedistructivă cu ajutorul curenților turbionari

Pentru obținerea unui strat de calitate materialele utilizate trebuie să indeplinească anumite condiții calitative care se verifică utilizând metode specifice. Principalele proprietăți ale sistemelor utilizate în finisarea cu straturi materiale sunt: culoarea, luciu, densitatea,

fluiditatea, aderența, luminiozitatea, stabilitatea la intemperii, rezistența la zgăriere și foc, rezistența la atacul unor agenți chimici.

Culoarea sistemului

Determinarea culorii peliculelor se realizează vizual prin compararea cu un etalon de culoare. Metoda constă în compararea vizuala a culorii peliculei supusă încercării cu o epruvetă etalon de culoare, ambele fiind iluminatе în aceleasi condiții, fie în lumina naturală a

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

zilei, fie în lumina artificială, și privite sub același unghi. Epruveta etalon de culoare trebuie omologată, iar culoarea stabilită prin acord între parti. [5], [6], [40], [107], [150]

Determinarea grosimii peliculei

Pentru determinarea grosimii stratului se pot utiliza metode distructive sau nedistructive. În cazul de față pentru determinarea stratului depus prin pulverizare termică, vom utiliza metoda nedistructivă, se utilizează atunci când stratul este aplicat pe suport metalic sau magnetic. Determinarea are ca principiu variația fluxului magnetic creat între un magnet și un obiect magnetic în funcție de spațiu nemagnetic dintre ele. [5], [6], [40], [107], [150]

Determinarea aderentei stratului la suport

Determinarea aderentei stratului depus la suport se poate face prin metoda grilei. Se realizează, în strat, o grilă, prin trăsarea cu un varf diamantat aplicat în poziție verticală, a unor zgarieri, perpendiculare unele pe celelalte sunt formă unei grile, la distanțe de 1 mm una de alta. Grila trebuie să acopere minimum 1 cm^2 de suprafață. Pe grila se aplică o bandă adezivă și se trage cu mișcare brusă pentru desprinderea acesteia. Este considerată o aderență corespunzătoare dacă patratele grilei rămân intacte, nu se desprinde nici un colț. [5], [6], [40], [107], [150]

Tehnicile nedistructive sunt utilizate pe scară largă în industria metalelor, în scopul de a controla calitatea materialelor. Testarea cu curenti turbionari este unul dintre cele mai utilizate pe scară largă tehnici de bază non-destructive pentru inspectarea materialelor conductoare de electricitate la viteze foarte mari, care nu necesită nici un contact între piesă de încercare și senzorul. Lucrarea include o imagine de ansamblu a fundamentelor și principalele variabile de testare cu curenti turbionari. [92] Descoperirile recente în modele complexe făcute de rezolvarea interacțiunea fisură-senzor, evoluțiile din instrumente urmăre a progreselor în dispozitive electronice, precum și evoluția prelucrare date sugerează că sistemele de testare cu curenti turbionari vor fi utilizate tot mai mult în viitor. [5], [6], [40], [107], [150]

Metodele speciale de control nedistructiv, de regulă, sunt folosite pentru a determina integritatea materialelor. Numeroase tehnologii moderne (radio-astronomia, măsurarea tensiunii și curentului și determinarea compozitiei) sunt nedistructive, dar nu oferă prea multe informații despre proprietățile materialului. Încercările nedistructive sunt legate în mod practic de performanțele obiectului încercat, ceea ce mare trebuie să fie parte a testării și când este nevoie să fie verificată. Investigația unor materiale implica luarea unor esanțioane pentru testare, ceea ce este inherent distructiv. Ideea de funcționare ulterioară este relevanta pentru calitatea preparării probelor. Luarea de probe este control nedistructiv dacă probele testate sunt reintroduse în funcțiune. Controlul nedistructiv nu se limitează la detectarea fisurilor. Alte discontinuități, inclusiv porozități, subiere de perete prin coroziune și alte clase de discontinuități, delaminări pot fi puse în evidență prin alpicarea uneia dintre metodele prezентate. Relația dintre tensiunile și deformațiile din material este un lucru important în descrierea și interpretarea controalelor nedistructive, în special utilizarea metodelor speciale [5], [6], [40], [107], [150]

Aspecte calitative privind principalele metode de control nedistructiv

Aproape orice caracteristica perceputa vizual pata fi asistata de ochiul uman sau de ochiul uman cu un ajutor optic. Ochiul poate avea acuratetea de a detecta marimea, forma, culoarea, adincimea, luminozitatea, contrastul si granulatia materialului. Citeva ramuri industriale au folosit deja importanta acestui tip de inspectie respectind cerintele caracteristice si dimensionale ale standardelor in vigoare. In industrie, dimensiunea sudurii, conturul, lungimea si inspectia suprafetelor discontinue sunt operatiuni de rutina. Controlul cu lichide penetrante rosii si fluorescente foloseste abilitatea vizuala a inspectorului de a identifica defectele suprafetei. Controlul cu pulberi magnetice tinde sa foloseasca aceleasi tehnici din categoria controlului cu lichide penetrante fluorescente , asemanator controlul cu radiatii penetrante lasa la atitudinea inspectorului controlul opticovizual al radigrafiei pe film sau camera video. In concluzie, cea mai veche si mai simpla metoda de control a fisurilor deschise la suprafata, ca si a altor defecte de suprafata, este controlul vizual, adica controlul prin examinare directa. In cazul accesului dificil in zona de controlat sau in situatia unor pretentii deosebit de ridicate privind recunoasterea defectelor, se pot folosi mijloace optice ajutatoare ca lupa, endoscopul si camera video. La folosirea tehnicii video este posibila, in anumite limite, automatizarea. Printr-o iluminare ce marestea contrastul, prin indepartarea tunderului si curatirea suprafetei inainte de control, ca si prin utilizarea mijloacelor special de decapare, detectibilitatea vizuala a fisurilor poate fi substantial imbunatatita. [150], [5], [6], [D8], [107]

Exigentele impuse controlului si evaluarii caracteristicilor materialelor utilizate in conditii tot mai dificile: temperatura joasa sau inalta, presiune, tensiuni etc au condus la dezvoltarea domeniului si extinderea aplicarii altor metode de investigare, cum ar fi ultrasunetele. In comparatie cu examinarile bazate pe proprietatile radiatiilor penetrante, care sunt costisitoare si necesita masuri de protectie complicate, capacitatea de penetrare mare si implicit posibilitatea de a examina produse cu grosime sau lungime mare au determinat succesul ultrasunetelor in defectoscopia nedistructiva tehnica si medicala.

Stabilirea metodei si a tehniciilor de examinare se face in functie de natura defectelor posibile, specifice materialului si tehnologiei de prelucrare, de forma geometric si dimensiunile produsului examinat si de accesibilitatea suprafetelor din punctul de vedere al examinarii [5], [6], [40], [107], [150]

3.8 Avantajele si dezavantajele controlului cu curenti turbionari

Avantaje ale metodei : [5], [6], [40], [107], [150]

- se poate detecta o gama variata de defecte de interior ;
- metoda se foloseste atat in cazul materialelor metalice, cat si nemetalice, cu conditia ca ele sa prezinte un anumit grad de omogenitate ;
- penetrabilitate foarte buna ;
- se foloseste echipament portabil ;
- nu este necesar contactul cu piesa de examinat.

Dezavantaje ale metodei : [5], [6], [40], [107], [150]

- nu permite detectarea tuturor tipurilor de defecte de suprafață.

Pentru a se obține rezultate reproductibile este necesara o calibrare standard (pentru inspectia schimbatoarelor de caldura se folosesc tuburi pe care se practica diferite defecte).

3.9 Concluzii

In prezent, tehniciile nedistructive sunt mai frecvent utilizate pentru a testa produsele, datorita prevalentei crestere a controalelor de calitate. In timp ce tehniciile distructive verifică doar unele probe care sunt distruse și face unele invalid in alte procese industriale, vom găsi tehnici nedistructive mai interesant decat cele distructive, deoarece intregul proces de productie pot fi testate fara modificari permanente. [5], [6], [40], [107], [150]

Principalele metode nedistructive care pot aprecia dacă stratul depus este aderent sau nonaderent la materialul de bază sunt: examinarea prin curenți turbionari, examinarea cu ultrasunete, examinarea termografică și examinarea prin Phased Array o tehnică a examinării prin ultrasunete. Aceasta lucrare analizează metoda de testare cu curenți turbionari, care este una dintre cele mai utilizate forme de baza non-destructive de testare. Singura necesitate este ca materialele de testat trebuie să fie conductori electrici unde curenți turbionari pot curge.

In concluzie, ca cercetator in testarea cu curenți turbionari, am constatat ca tehniciile de curenți turbionari poate oferi industriei sisteme fiabile de control al calitatii. Desi exista imbunatatiri excelente datorita efortului de multi oameni de stiinta in ultimii cativa ani, cred ca mai multe cercetari in tehnici de curenți turbionari, in ceea ce priveste senzori, echipamente si prelucrare a semnalului, va conduce la mai multe aplicatii ale acestor tehnici.

In majoritatea cazurilor, criteriile de admisibilitate a defectelor sunt stabilite prin standarde, prescriptii tehnice sau alte documente tehnice cu caracter normativ.

In procesul de productie, pentru asigurarea unui nivel de calitate corespunzator al produselor realizate, examinările nedistructive au în prezent un rol foarte important. Pentru obținerea unui anumit nivel de calitate și pentru ca examinările nedistructive să fie eficiente, este necesară, la prescrierea acestora, să se aibă în vedere o serie de factori, printre care: [5], [6], [40], [107], [150]

Metoda de examinare prescrisa, având în vedere sensibilitatea și posibilitatea metodei de a pune în evidență eventualele defecte, accesibilitatea piesei, natura materialului;

- Natura, marimea și orientarea eventualelor defecte;
- Volumul de examinări;
- Nivelul și natura solicitărilor elementelor utilajului;
- Nivelul de defecte admis în structura respectivă, natura acestora și, pe cat posibil, stabilirea interacțiunii unor grupe de defecte;
- Riscul pe care o eventuală avarie îl prezintă pentru viața oamenilor și distrugerile materiale pe care le poate produce, având în vedere și modul în care o eventuală rupere se poate manifesta;

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

În aplicarea metodelor de examinare nedistructiva, există limitări privind posibilitatea de folosire a acestora, în principal datorită formei și dimensiunilor piesei, naturii și orientării eventualelor defecte, accesibilității suprafetelor elementului ce urmează să fie examinat, precum și naturii materialului folosit pentru execuția piesei; în general, pentru a se realiza o eficiență maximă la punerea în evidență a eventualelor defecte, este recomandabilă folosirea combinată a diferitelor metode de examinare nedistructiva. [5], [6], [40], [107], [150]

CAPITOLUL 4. STUDII ȘI CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INSPECȚIA CU CURENȚI TURBIONARI A STRATURILOR DEPUSE PRIN PULVERIZARE TERMICĂ

Pentru cercetările experimentale s-au utilizat epruvete din oțel acoperite cu AlMg₅, Al₂O₃ și Zr₂O₂+ 20% Y₂O₃. Plecând de la avantajele și dezavantajele aplicării pulverizării termice prin procedeul de depunere în jet de plasmă, s-au efectuat analize prin element finit și au fost examineate prin control nedistructiv cu ultrasunete și curenți turbionari, în vederea obținerii neconformităților dintre stratul depus și cel de bază.

4.1 Modelarea procesului de control prin curenți turbionari a suprafețelor pulverizate termic [81]

Scopul acestui studiu este de a prezenta aspecte ale modelării procesului de control de dezvoltare pentru acoperiri pulverizate termic, folosind examinarea prin ultrasunete și curenți turbionari, cu scopul de a stabili noi proceduri eficiente pentru a obține o productivitate ridicată, în cazul pieselor recondiționate.

Recondiționarea reprezintă toate etapele ce se desfășoară asupra pieselor uzate pentru refacerea formei și dimensiunilor, trebuie să asigure refacerea fiabilității și, prin intermediul ei, să conducă la creșterea disponibilității mașinilor și utilajelor. [52]

Pulverizarea termică este o metodă de acoperire a unor materiale ușor prelucrabile și avantajoase din punct de vedere financiar cu caracteristici deosebite, superioare materialului de bază cum sunt diferite metale, aliaje, materiale ceramice sau carburi. [84]

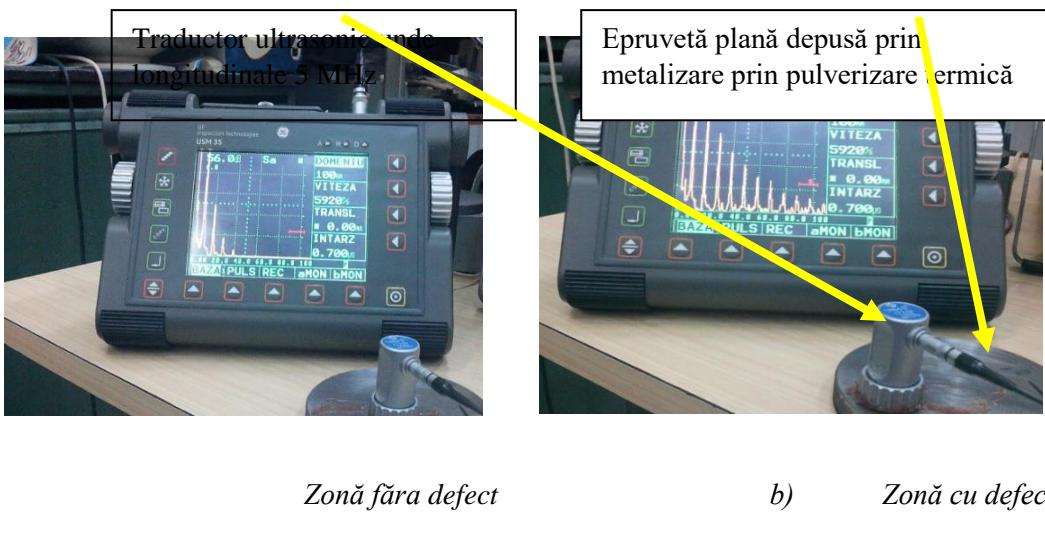
Acoperirea în cazul probei prezentată în figura 4.1. s-a obținut prin procesul de metalizare prin pulverizare termică în jet de plasmă. Proba a fost supusă unui control nedistructiv prin ultrasunete și curenți turbionari.



Fig. 4.1. Proba examinată

4.1.1 Examinarea prin ultrasunete

Examinarea nedistructivă prin ultrasunete s-a efectuat cu ajutorul aparatului portabil USM 35 din cadrul laboratorului de examinare nedistructivă al Facultății Ingineria și Managementul Sistemelor Tehnologice, Universitatea Politehnica București. Se amplasează palpatorul pe suprafața piesei examineate unsă cu un lichid cu impedanță acustică mai apropiată de cea a corpului solid. Lichidul poartă denumirea de cuplant, acesta trebuie să adere bine la suprafața examinată. Se deplasează palpatorul pe suprafața piesei (figura 4.2. a), când fascicului cade pe defect în totalitatea sa, amplitudinea ecoului este maximă (figura 4.2. b).



a) Zonă fără defect

b) Zonă cu defect

Fig. 4.2. Examinarea cu ultrasunete

Rezultatul examinării epruvei se poate observa în figura 4.3, imaginea începe în stânga cu impulsul de emisie I. Fasciculul de electroni este deviat spre dreapta, cu viteză constantă, apar reflexiile de la suprafața defectului D, la distanțe corespunzătoare între ele și față de impulsul de emisie. Această imagine se repeat cu fiecare impuls de emisie succesiv, astfel încât se observă pe ecran o imagine staționară (axele ecranului sunt: timp în orizontală, amplitudine pe verticală).

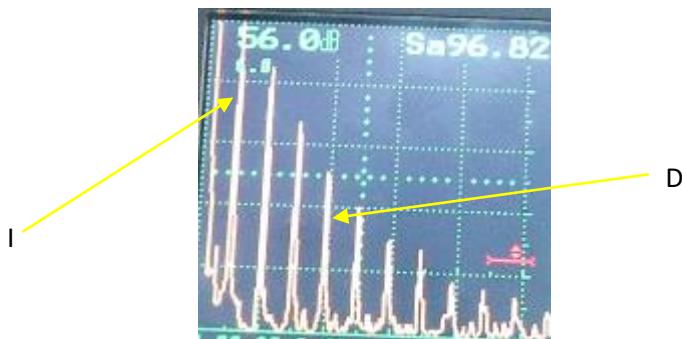


Fig. 4.3. Rezultatul examinării cu ultrasunete

4.1.2 Examinarea prin curenți turbionari

Examinarea prin curenți turbionari s-a efectuat cu ajutorul aparatului portabil din cadrul laboratorului de examinare nedistructivă. Pentru calibrarea aparatului s-a folosit sonda de tip Nortec Collective PL/500kHz-1MHz/A prezentată în figura 4.4. a, și calibrarea cu P/N 9222162A prezentată în figura 4.4. b.



a) sonda



b) calibrare

Fig.4.4. Instrumente de măsurare

Se ampletează sonda pe probă și se urmărește poziția acului indicator al aparatului de măsură (figura 4.5.), în această zonă nu există defecte. Se deplasează sonda astfel încât să fie detectat defectul din probă și se urmărește indicația acului indicator, această deviație constituie indicația de defect prezentată în figura 4.6.

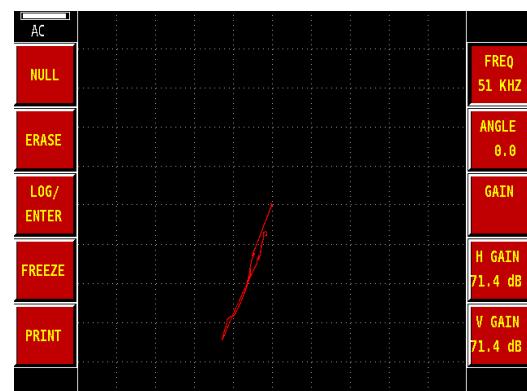


Fig. 4.5. Examinarea prin curenți turbionari- 0 defecte

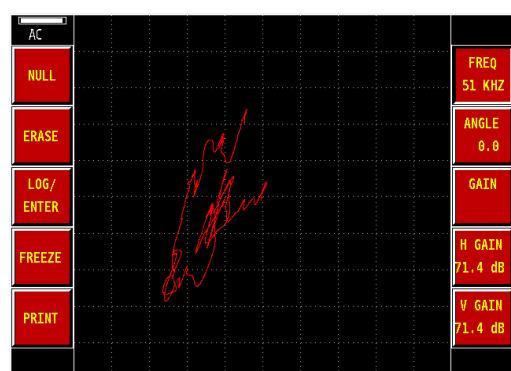


Fig.4.6 Examinarea prin curenți turbionari- zonă cu defecte

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

În concluzie, realizarea metodologiei practice de evidențierea defectelor prin metoda curenților turbonari necesită elaborarea unei baze teoretice adecvate. Teoria, care stă la baza evidențierii defectelor prin metode electromagnetice, se sprijină, în principal, pe rezultatele calculului rezistențelor introduce la schimbarea conductibilității electrice, a grosimii pereților și a grosimii suprafețelor straturilor controlate. În acest caz pentru evidențierea defectelor metoda cea mai eficientă de examinare s-a dovedit a fi controlul cu ultrasunete. Din rezultatele controlului cu curenți turbionari ar fi rezultat că toata suprafața probei are defecte. Stratul depus prin metalizare prin pulverizare termică trebuie prelucrat înainte să se facă controlul prin curenți turbionari, datorită stratului de aderență care influențează în mod negativ identificarea unui defect.

Cercetările experimentale au urmărit stabilirea influenței următorilor factori asupra aderenței materialului de adaos la materialul de bază: rugozitatea suprafeței aşchiate în vederea metalizării, grosimea stratului pulverizat și distanța de pulverizare. În continuare voi folosi metoda elementelor finite pentru a propune diverse soluții de recondiționare.

4.2 Analiza termică statică folosind metoda elementelor finite pentru piesele recondiționate [82]

Prin metoda elementului finit (FEM), am efectuat o analiză statică termică, prin care a fost determinată comportarea materialului depus pe materialul de bază la șocul termic (răcire bruscă). În figura 4.7. sunt reprezentate schematic probele recondiționate din oțel cu grosimi diferite de material depus din oxid de aluminiu.

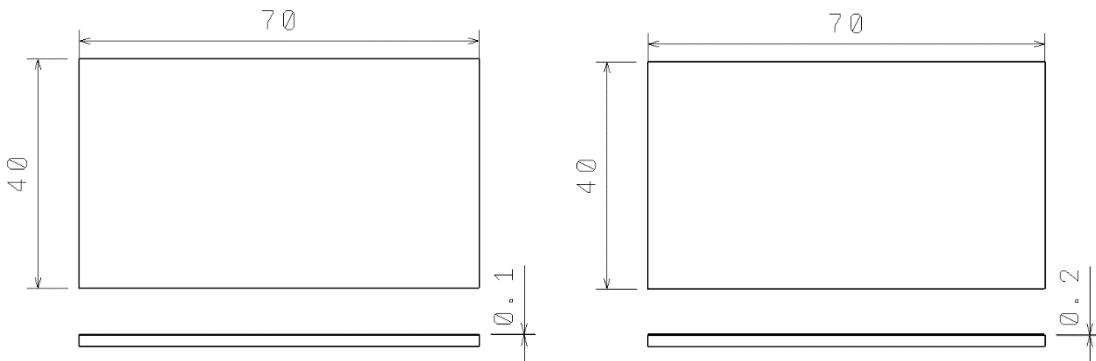


Fig. 4.7. Desenul de execuție a probelor recondiționate

Analiza se va face prin utilizarea a două module: analiză termică și analiză statică cu metoda elementului finit ANSYS 15.0. Geometria modelului este concepută cu ajutorul modelelor de design din program. Aplicația propune stabilirea valorilor maxime echivalente Von Mises de tensiune și totalul deformațiilor, produse de câmpul de căldură. Obiectivul principal al acestui studiu este de a stabili grosimea optimă de material depus, analizând comportamentul mecanic și termic [77]. Prin urmare determinarea comportamentului mecanic și termic este stabilită de o analiză structurală termică cuplată pentru două cazuri:

- în primul caz stratul acoperit cu oxid de aluminiu are o grosime de 0,1 mm;
- al doilea caz stratul acoperit cu oxid de aluminiu are o grosime de 0,2 mm.

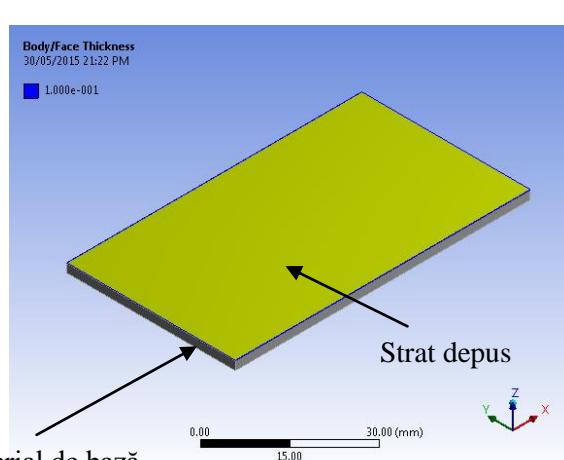
Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Pentru simularea comportamentului la încărcări mecanice și termice, au fost create două modele de calcul pentru structură: prima a materialului de bază (otel) acoperit cu un strat de oxid de aluminiu cu o grosime de 0,1 mm și al doilea model cu o grosime de 0,2 mm. Ambele modele au fost create utilizând metoda elementului finit. Pentru fiecare model va fi efectuată o analiză termică, urmată de o analiză structurală statică, folosind aceiași parametri de simulare.

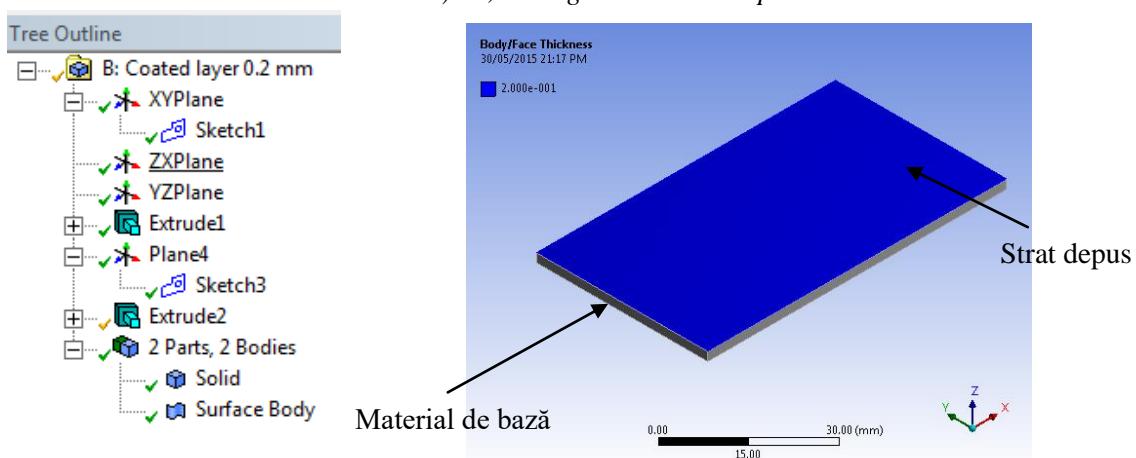
Metoda elementelor finite presupune trei etape principale:

1. pre-procesor (faza în care modelul este realizat, proprietățile fizice și parametrii de lucru sunt stabilite);
2. faza de soluție;
3. post-procesor (faza de afișarea rezultatelor în formă grafică).

Pentru a obține rezultate corecte este foarte important să acordăm atenție în faza de dezvoltare a modelului de calcul. Primul pas este de a realiza modelele tridimensionale pentru cele două cazuri. Acestea vor fi create în Design Modelar interfață grafică. Pentru o mai bună simulare, modelul geometric al modelului (figura 4.8.) dat va fi creat cu ajutorul elementelor solide și



a) 0,1 mm grosime strat depus



b) 0,2 mm grosime strat depus

Fig. 4.8. Modelul geometric

Următorul pas este cuplarea celor două geometrii, în acest caz analiza termică. Legăturile dintre geometrii și analiză sunt prezentate în figura 4.9.

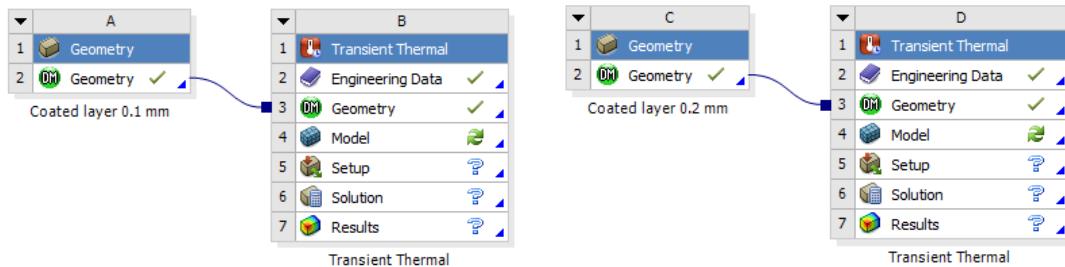


Fig. 4.9. Legăturile dintre modelul geometric și analiza selectată

Unul dintre cele mai importante parametrii în aceste analize sunt materialele selectate. Ansys are o interfață dedicată, numită Engineering data, care conține un număr mare de material definite și în care se pot adăuga material noi. Pentru analiza prezentată se vor utiliza două tipuri de material, cel de bază (oțel) cu caracteristicile prezentate în tabelul 4.1. și materialul depus (Al_2O_3) cu caracteristicile prezentate în tabelul 4.2 [46].

Tabelul 4.1. Caracteristici ale oțelului

Densitatea	7850 kg m ⁻³
Coeficientul termic de dilatare	1.2e-005 C ⁻¹
Temperatura specifică	434 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Conductivitatea termică	60.5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Rezistivitatea	1.7e-007 ohm m
Modulul de elasticitate longitudinal (Young Modulus)	2.e+011Pa
Coeficientul lui Poissono	0.3
Modulul de forfecare	7.6923e+010Pa

Tabelul 4.2. Caracteristici ale oxidului de aluminiu

Densitatea	3960 kg m ⁻³
Temperatura specifică	850 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Conductivitatea termică	35 W m ⁻¹ C ⁻¹

Următorul pas este crearea modelului discretizat prezentat în figura 4.10. Numărul de elemente este de 360, iar numărul de noduri este 1612, cu o calitate medie de 88%.

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

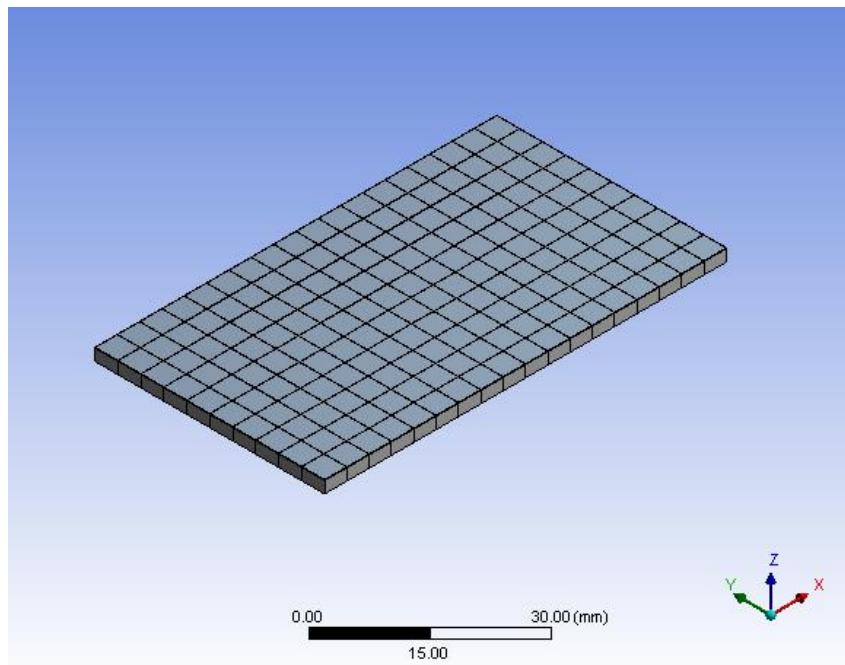


Fig. 4.10. Modelul discretizat

După ce este finalizată discretizarea, următorul pas constă în stabilirea parametrilor de timp și temperaturile implicate în această analiză. Pentru fiecare model temperatura maximă este de 1000°C și este atinsă după 420 s. Ciclul de încălzire-răcire are 9 etape. În prima etapă de temperatură stratul depus crește de la 22 °C la 800 °C în 2 s. Temperatura este menținută la 800 °C timp de 120 s, apoi este răcită la 22 °C. Procesul continuă cu creșterea de temperatură la 900 °C, temperatură care este menținută 60 °C și răcită la 22 °C. Acest ciclul de încălzire-răcire a materialului simulează comportamentul modelului dat la analiza termică. În figura 4.11. este prezentat graficul de timp al ciclului de încălzire –răcire.

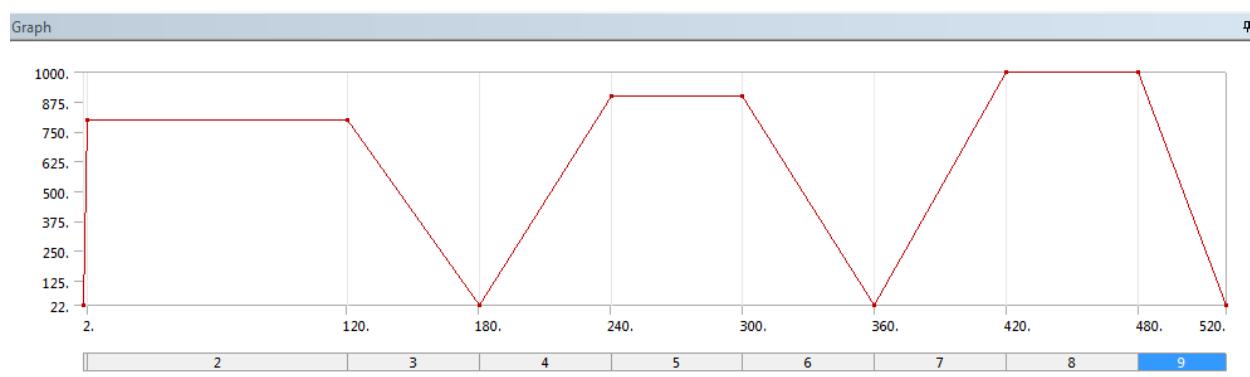
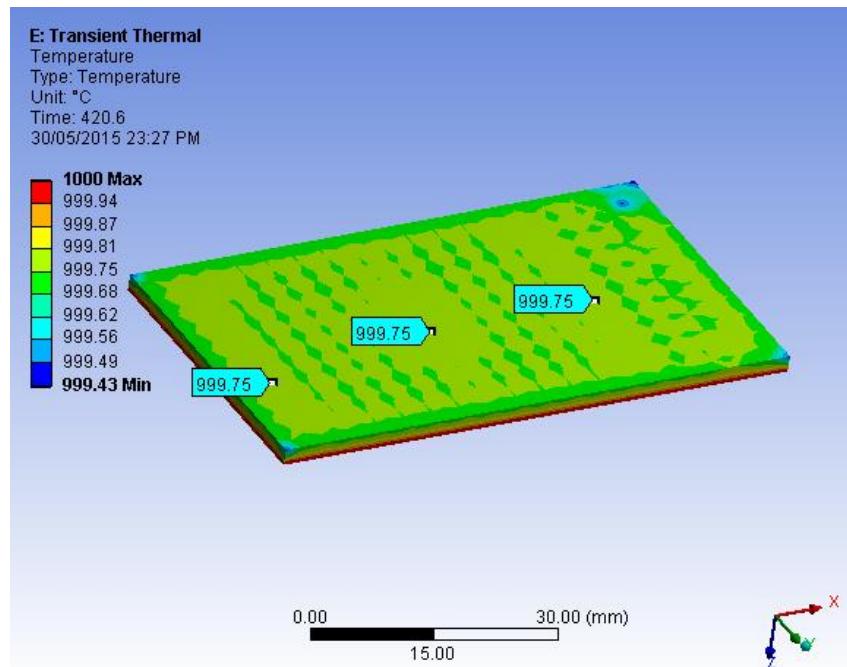


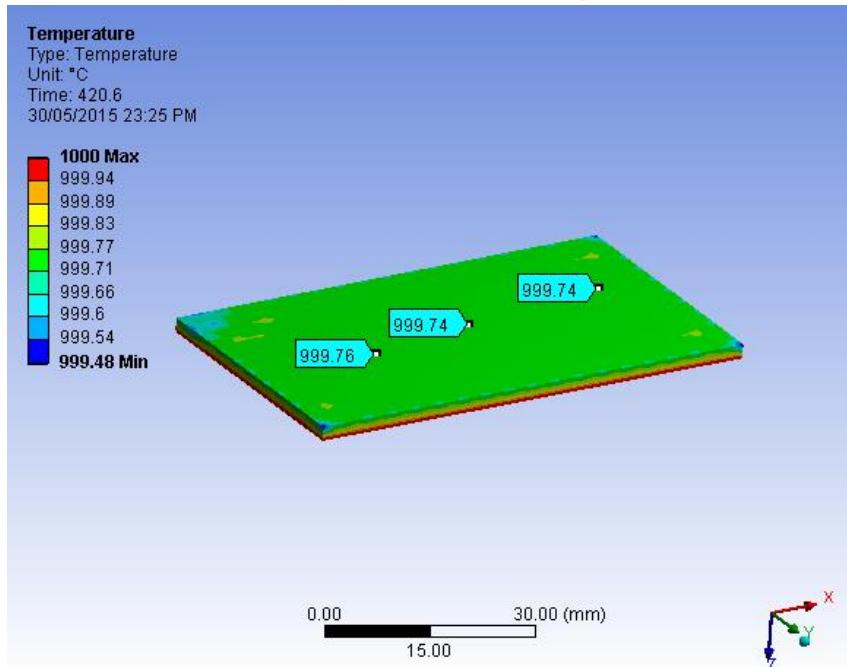
Fig. 4.11. Graficul de timp al ciclului de încălzire –răcire

Rezultatele în urma acestui ciclu de încălzire –răcire sunt: distribuția de temperatură în materialul de bază, căldura specifică total și direcția căldurii specifice. În figura 4.12. este reprezentată distribuția de temperatură în ultima etapă a ciclului, la 420s.

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate



a) 0.1 mm grosimea stratului depus

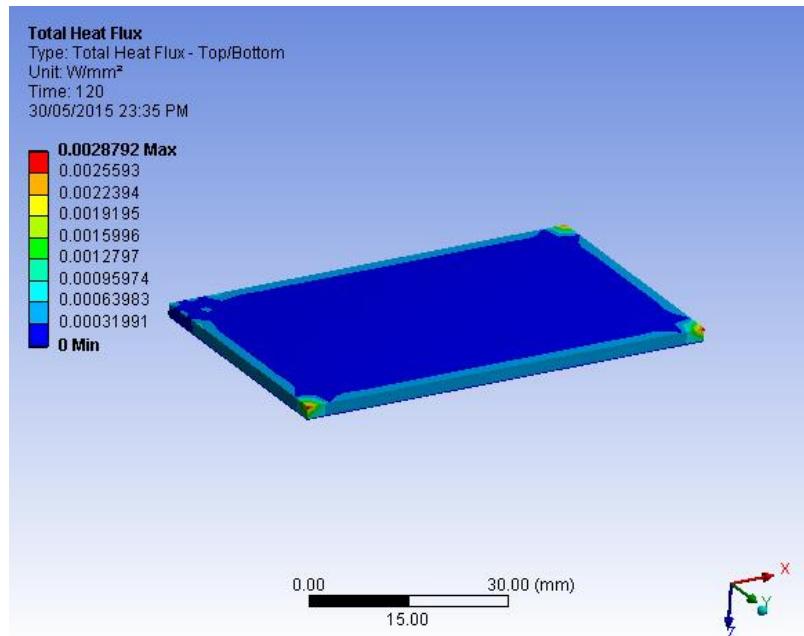


b) 0.2 mm grosimea stratului depus

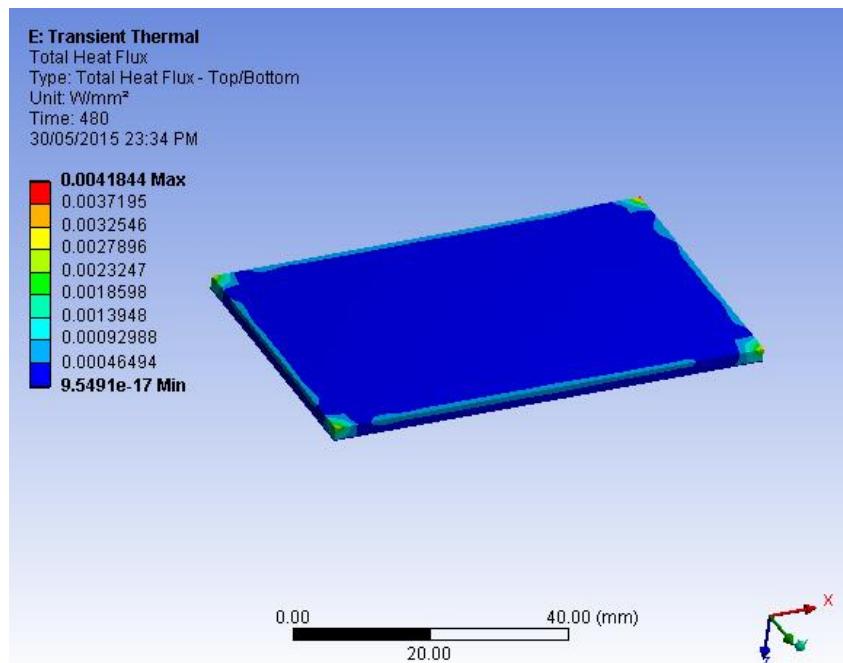
Fig. 4.12. Distribuția temperaturilor în modelele create

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

După cum este indicat în figura de mai sus distribuția de temperatură este diferită, pentru modelul care are grosimea de 0,1 mm, temperatura minimă este de 999,48 °C, iar pentru celălalt model cu grosimea stratului depus de 0,2 mm, temperatura minimă este de 999,43 °C. Căldura specifică totală este prezentată în figura 4.13.



a) 0.1 mm grosimea stratului depus

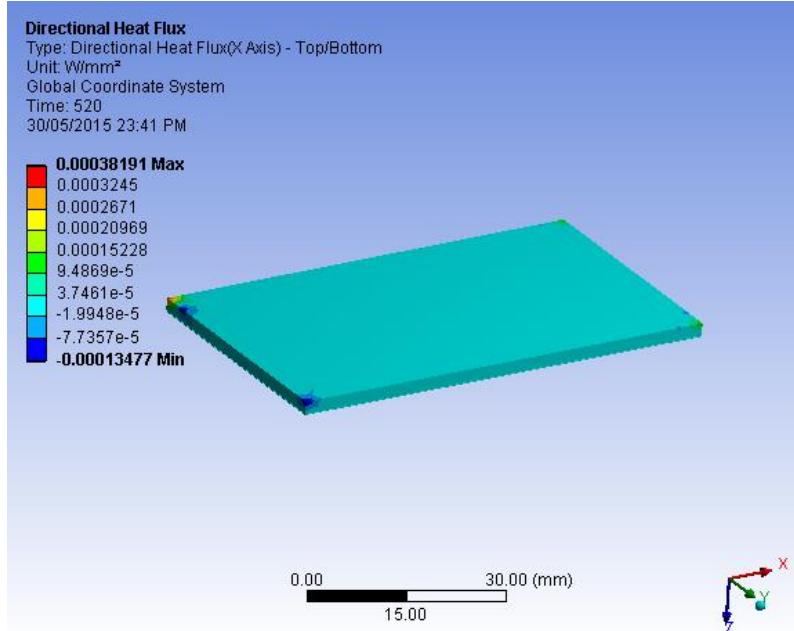


b) 0.2 mm grosimea stratului depus

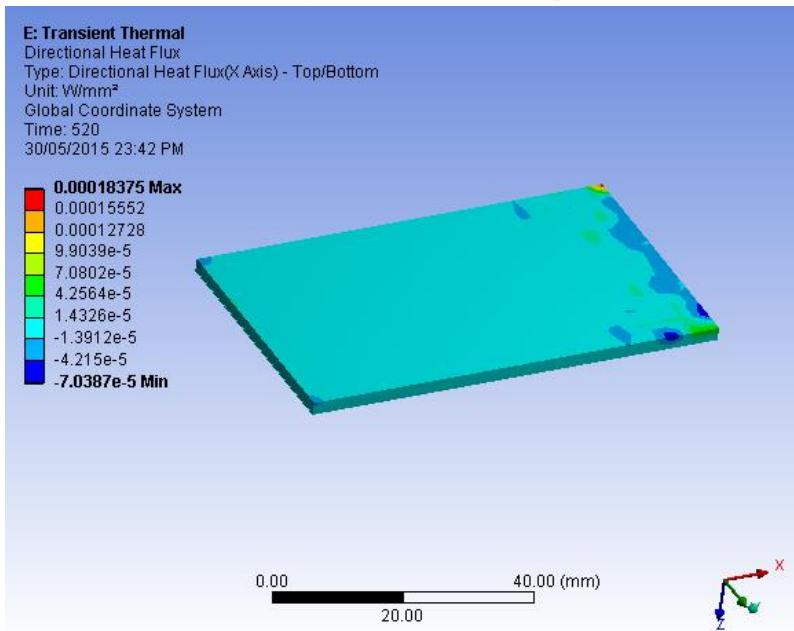
Fig. 4.13. Căldura specifică totală

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Pentru modelul care are o grosime de 0,1 mm, căldura specifică totală este de 0,0028 W/mm², iar pentru modelul care are o grosimea stratului depus de 0,2 mm, căldura specifică totală este de 0,0041 W/mm². În figura 4.14. este indicat direcția căldurii specifice pe axa X, în figura 4.15. este indicat direcția căldurii specifice pe axa Y și în figura 4.16. este indicat direcția căldurii specifice pe axa Z.



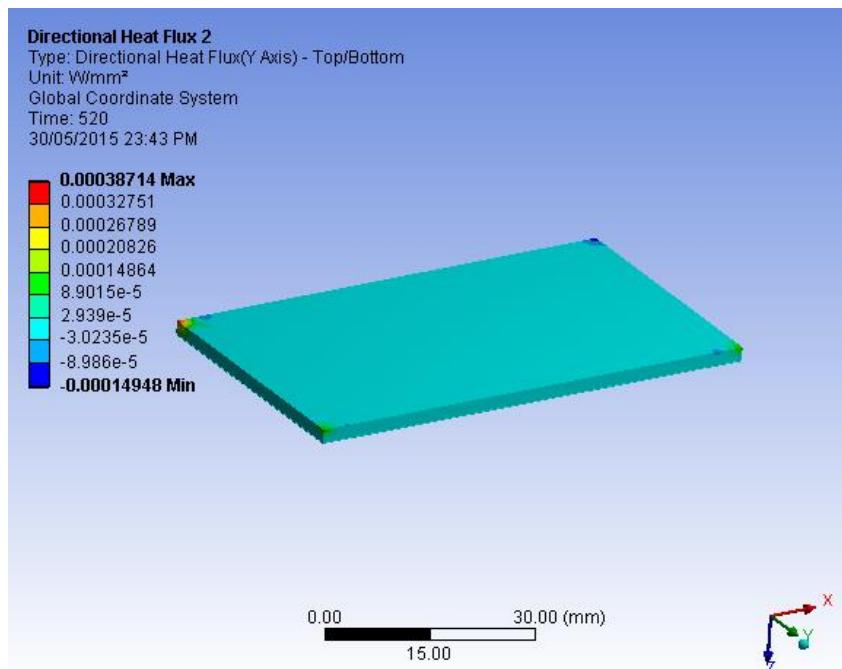
a) 0.1 mm grosimea stratului depus



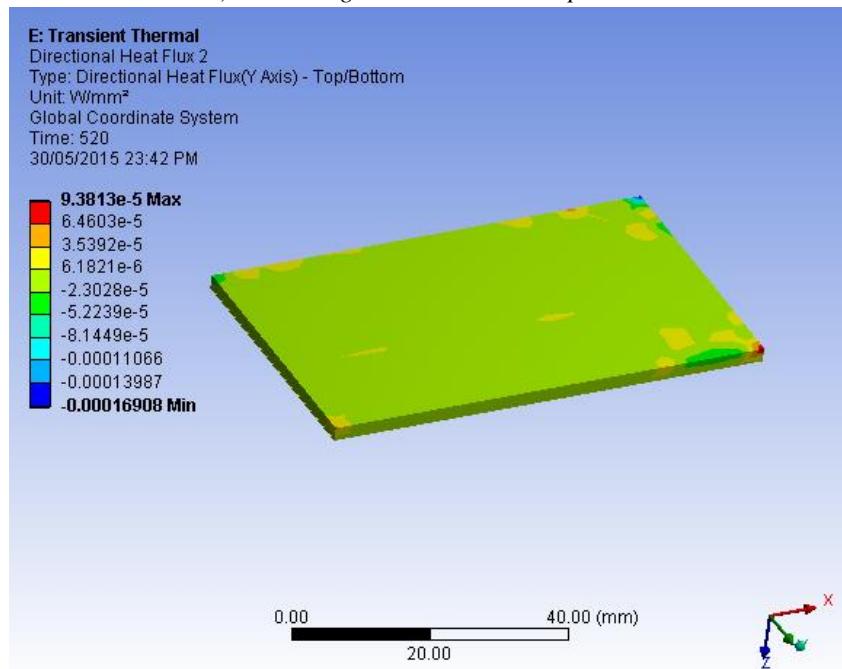
b) 0.2 mm grosimea stratului depus

Fig. 4.14. Direcția căldurii specifice pe axa X

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate



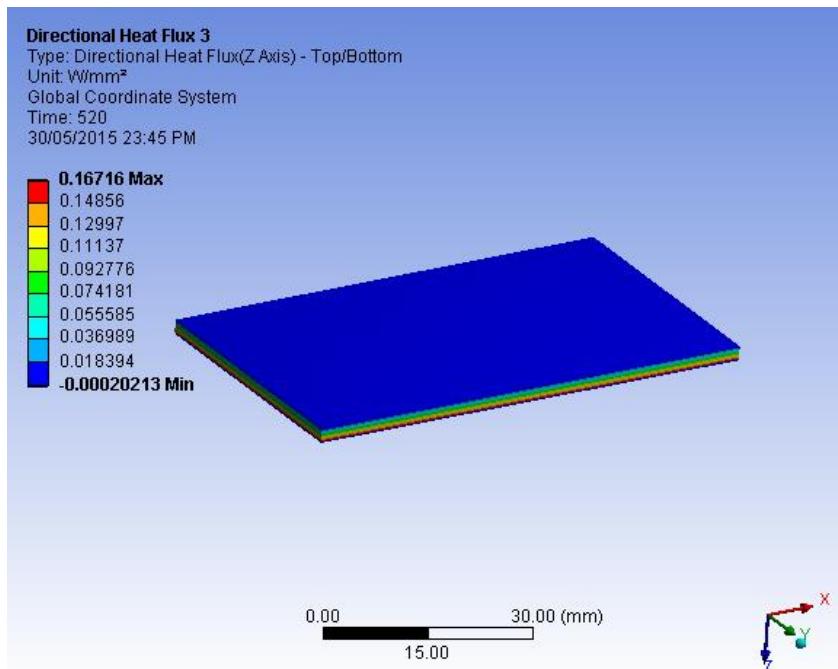
a) 0.1 mm grosimea stratului depus



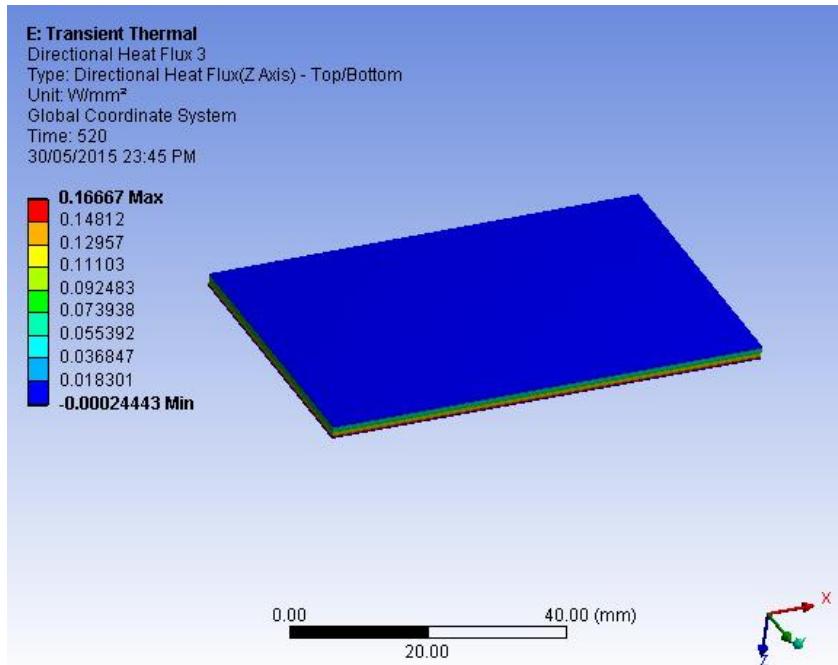
b) 0.2 mm grosimea stratului depus

Fig.4.15. Direcția căldurii specifice pe axa Y

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate



a) 0.1 mm grosimea stratului depus



b) 0.2 mm grosimea stratului depus

Fig.4.16. Direcția căldurii specifice pe axa Z

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Din analiza rezultatelor obținute, folosind două straturi de material cu grosimi diferite au evidențiat existența unor neconformități în stratul depus (exfolierea stratului depus). Rezultatele obținute cu ajutorul metodei elementului finit au confirmat comportarea probelor la șocul termic (răcire bruscă).

4.3 Caracterizarea interfeței pentru straturile ceramice acoperite prin pulverizare termică [83]

Scopul acestei caracterizări este de a determina calitatea interfeței între straturile depuse din ceramică și materialul de bază pentru piesele recondiționate prin metalizare prin pulverizare termică. Controlul nedistructiv prin curenți turbionari va determina defectele ce pot apărea între materialul de bază, iar comportamentul probelor la șocul termic va fi analizat prin metoda elementului finit.

Pentru partea experimentală au fost create două probe de dimensiuni diferite prezentate în figura 4.17. Probele sunt fabricate din oțel (C45) și sunt acoperite cu un strat subțire de zirconiu stabilizat cu yttria ($ZrO_2 + 20\% Y_2O_3$). Procesul de pulverizare a fost făcut prin pulverizare termică în jet de plasmă.

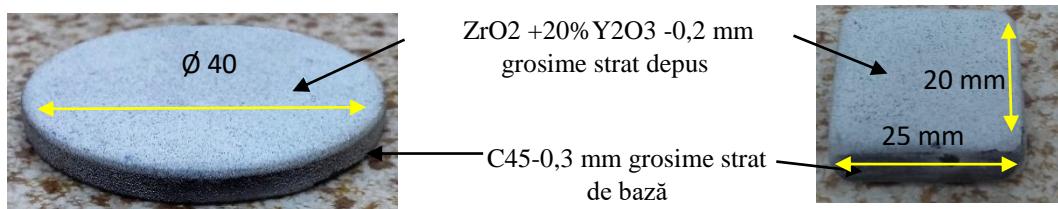


Fig. 4.17. Probele recondiționate

4.3.1 Examinarea prin curenți turbionari

Examinarea prin curenți turbionari s-a efectuat cu ajutorul aparatului portabil din cadrul laboratorului de examinare nedistructivă al Facultatii Ingineria si Managementul Sistemelor Tehnologice, Universitatea Politehnica, Bucuresti. Pentru calibrarea aparatului s-a folosit sonda de tip Nortec Collective PL/500kHz-1MHz/A prezentată în figura 4.18. a, și calibrarea cu P/N 9222162A prezentată în figura 4.18. b.



Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Rezultatul pentru calibrarea dispozitivului este reprezentat în figura 4.19. în două moduri diferite – Waterfall și Impedance plane. Zona indicată cu verde reprezinta defectul gasit în piesa etalon.

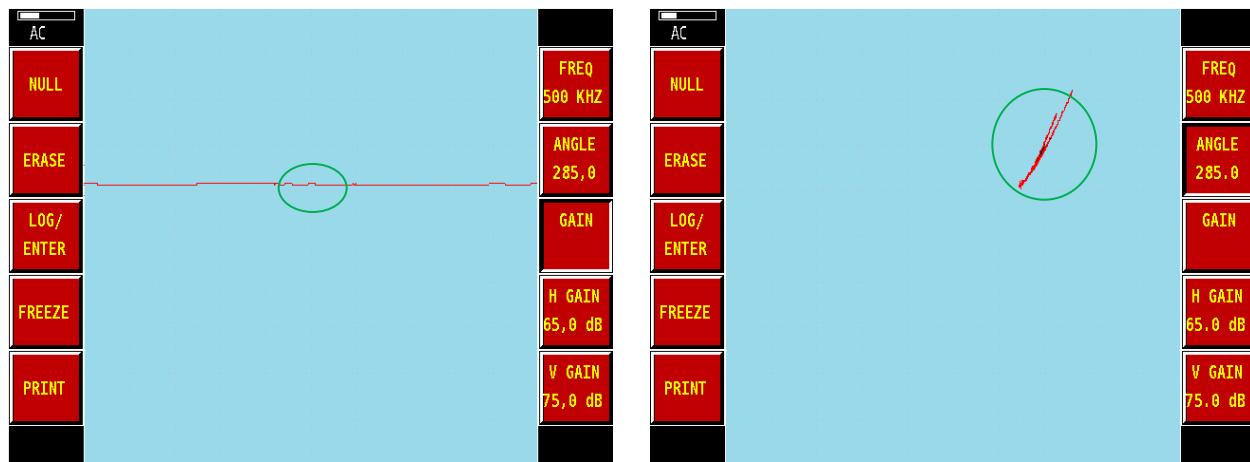


Fig. 4.19. Rezultatul calibrării

Sonda este plasată pe prima probă, este urmărit poziția indicatorului până când se indică defectul din probă. În figura 4.20. se reprezintă defectele din apropierea suprafeței examineate.

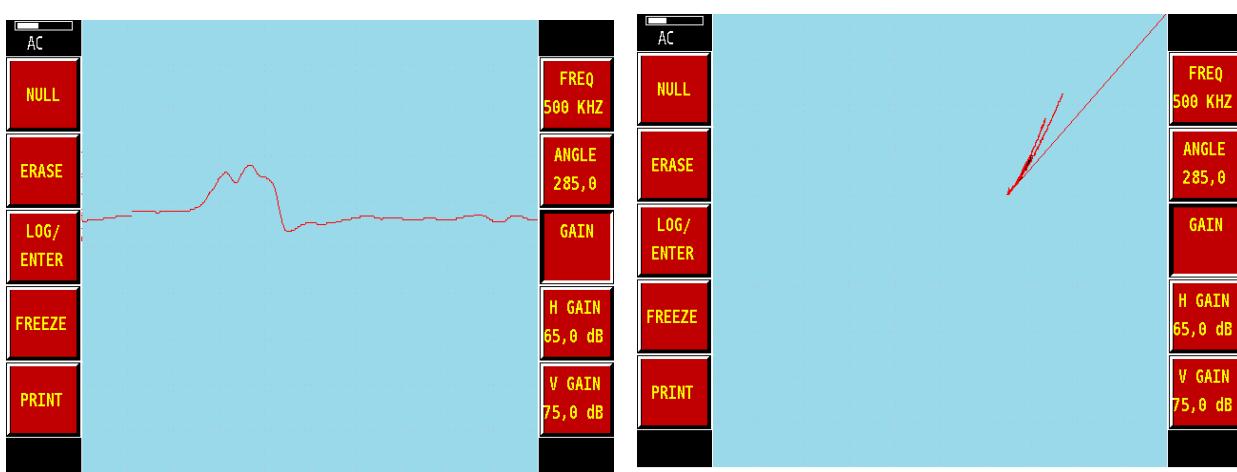


Fig. 4.20. Reprezentarea grafică a defectelor din prima probă

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Sonda este plasată și pe a doua probă unde au fost detectate zone cu defecte, prezентate în figura 4.21.

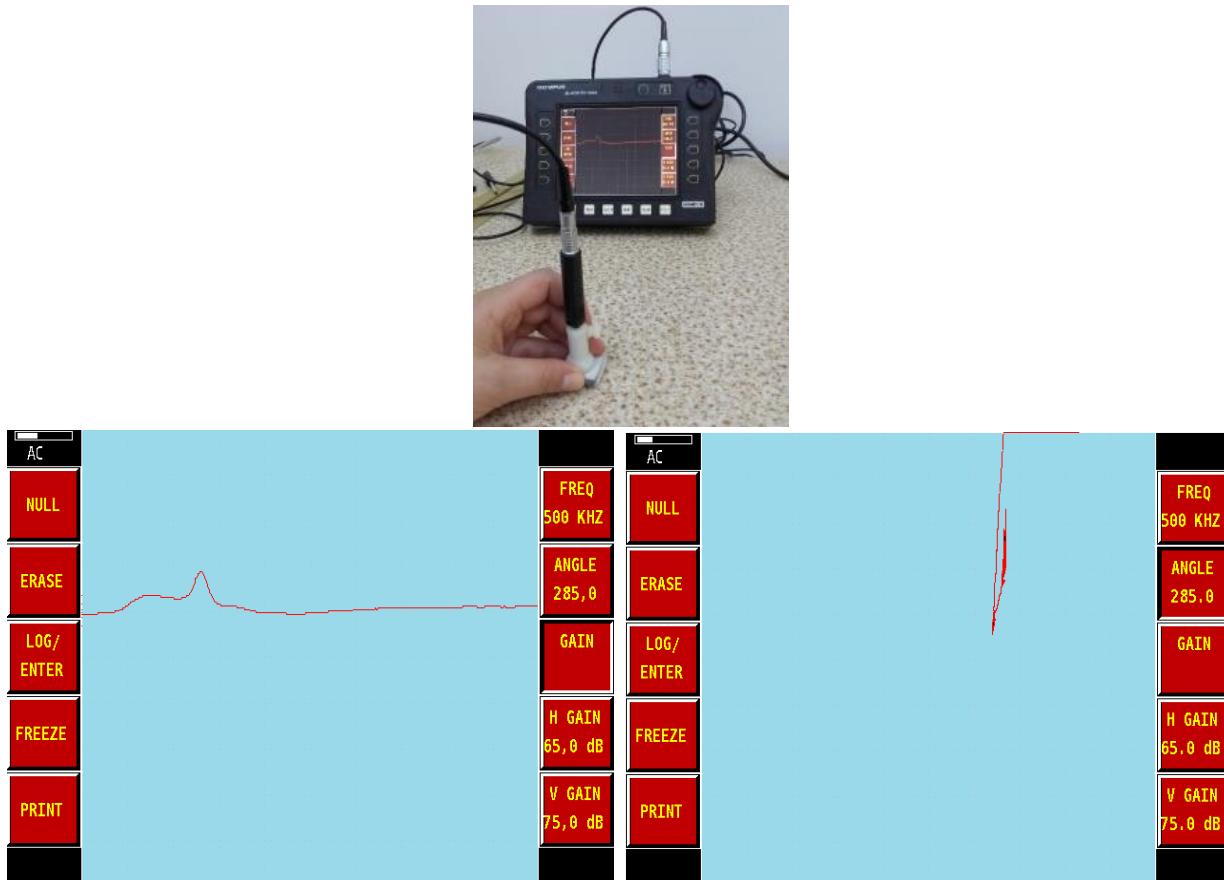


Fig. 4.21. Reprezentarea grafică a defectelor din a doua probă

În concluzie, posibilitatea de a obține defecte între materialul de bază și stratul depus este mai mare în cazul primei probe, având grosimea stratului depus de 0,2 mm. Stratul de aderență este influențat în mod diferit în funcție de dimensiunea probelor.

4.3.2 Analiza șocului termic prin metoda elementului finit

Pentru a analiza șocul termic din probele examineate, s-a utilizat metoda elementului finit. Prin urmare, s-a creat o analiză termică tranzitorie pentru cazul în care timpul pentru procesul de încălzire este de 20 s. Temperatura aplicată pe suprafața materialului depus este de 1400 °C. Rezultatele obținute prin analiza termică au determinat deformări ale probelor ca urmare a temperaturilor. Modelele geometrice ale probelor sunt proiectate cu ajutorul software-lui ANSYS 15.0. Ansys este un software utilizat pe scară largă pentru analize în industrie și cercetare, bazate pe metoda elementului finit, cu scopul de a simula răspunsul unui sistem care este stimulat mecanic, termic sau electromagnetic. Pentru rezolvarea analizei, metoda elementului finit presupune ca structura să fie discretizată, adică împărțită în multe noduri [23]. După ce modelele au fost create, au fost stabilite constantele pentru materialul utilizat. În tabelul 4.3. sunt prezentate parametrii pentru OLC45 și ZrO₂+20% Y₂O₃ [101].

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Tabelul 4.3. Parametrii materialului de bază și cel depus

Material	Densitate (kg mm ⁻³)	Modulul lui Young (MPa)	Coeficientul lui Poisson	Modulul de forfecare (MPa)	Conductivitatea termică (W mm ⁻¹ C ⁻¹)	Căldura specifică (mJ kg ⁻¹ C ⁻¹ t)
C45	7,85e-006	2, e+005	0,3	76923	6,05e-002	4,34e+005
ZrO₂+20%Y₂O₃	6,6e006	160	0,32	60,606	2,2e-003	5,4e+005

În figura 4.22. sunt prezentate modelele discretizate.

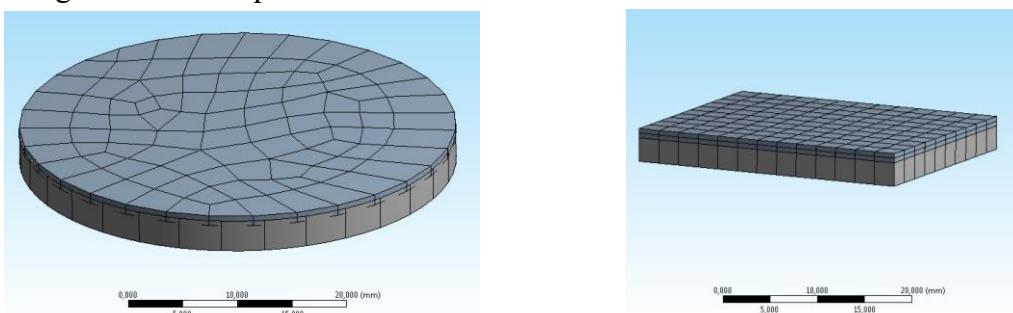


Fig. 4.22. Discretizarea modelelor geometrice

În figura 4.23. este prezentat graficul de variație de temperatură în timp, în trei faze. Ciclul de răcire-încălzire începe cu creșterea de temperatură de la 22 °C la 1400 °C în 5 s, după care temperatura rămâne constantă pentru 10s. Ciclul se termină cu întoarcerea la temperatura de 22 °C.

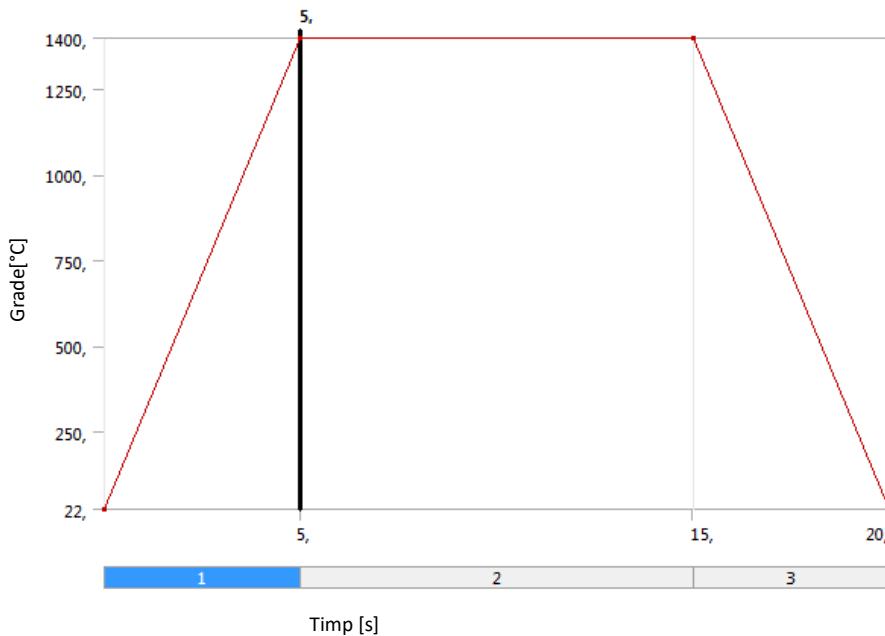


Fig. 4.23. Graficul de temperatură

Rezultatele obținute sunt distribuția de temperatură și fluxul de căldură total. Variația de temperatură pentru primul model este prezentat în figura 4.24. și fluxul de căldură total în

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

figura 4.25. După cum se poate observa, valoarea maximă a fluxului de căldură total este de 2817 W/mm²

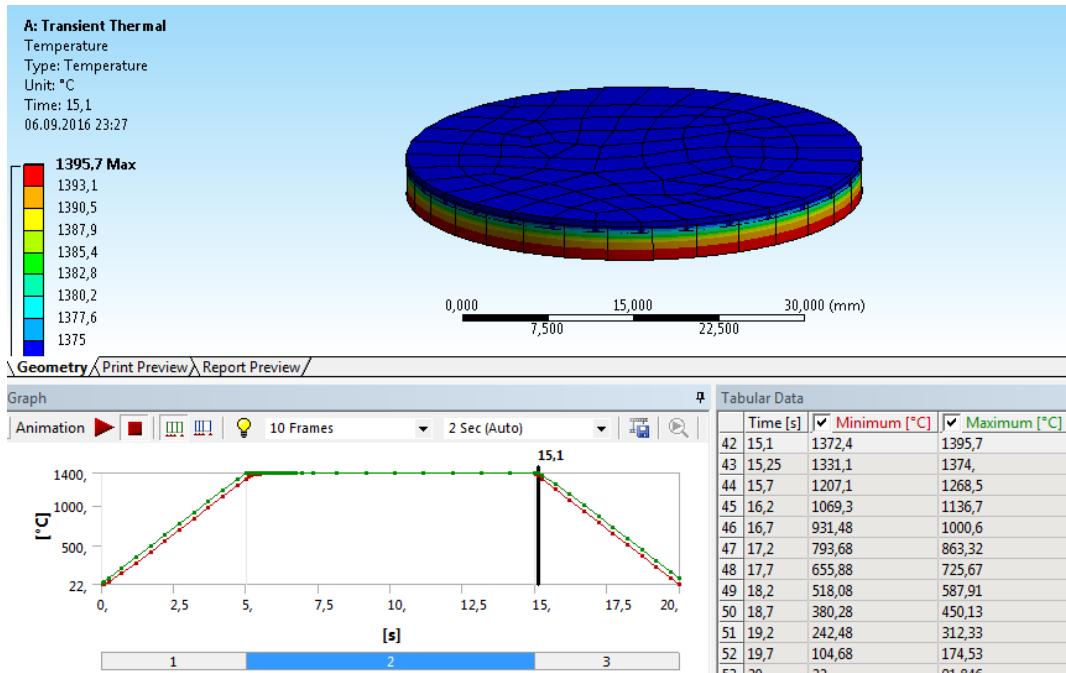


Fig. 4.24. Distribuția de temperatură

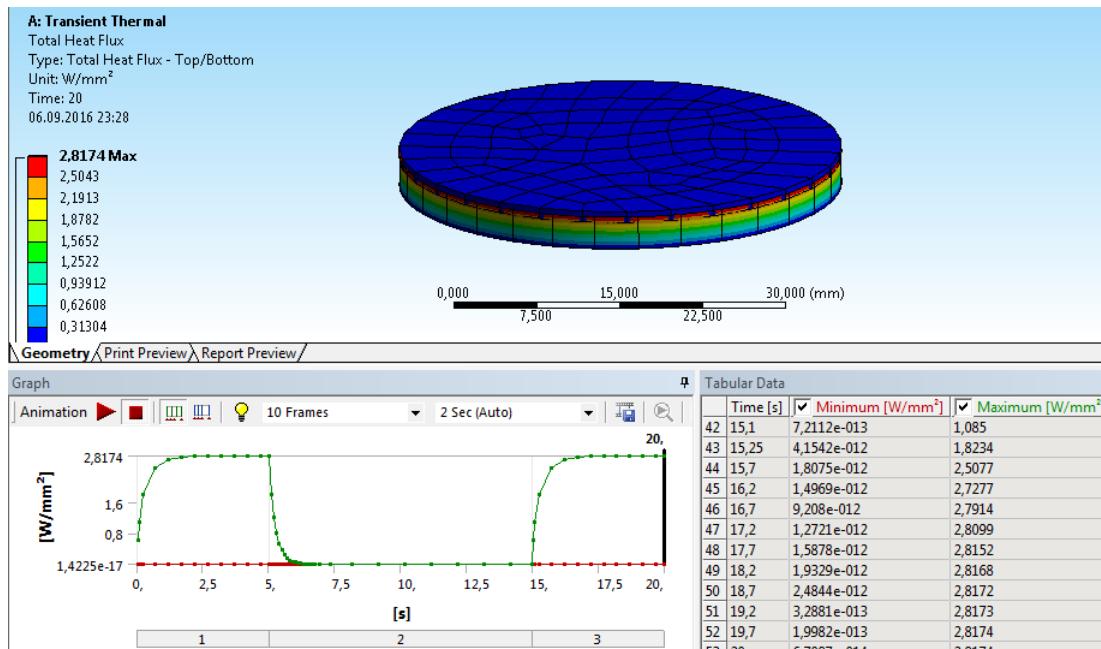


Fig. 4.25. Fluxul de căldură total

Variația de temperatură pentru al doilea model este prezentat în figura 4.26. și fluxul de căldură total în figura 4.27.

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

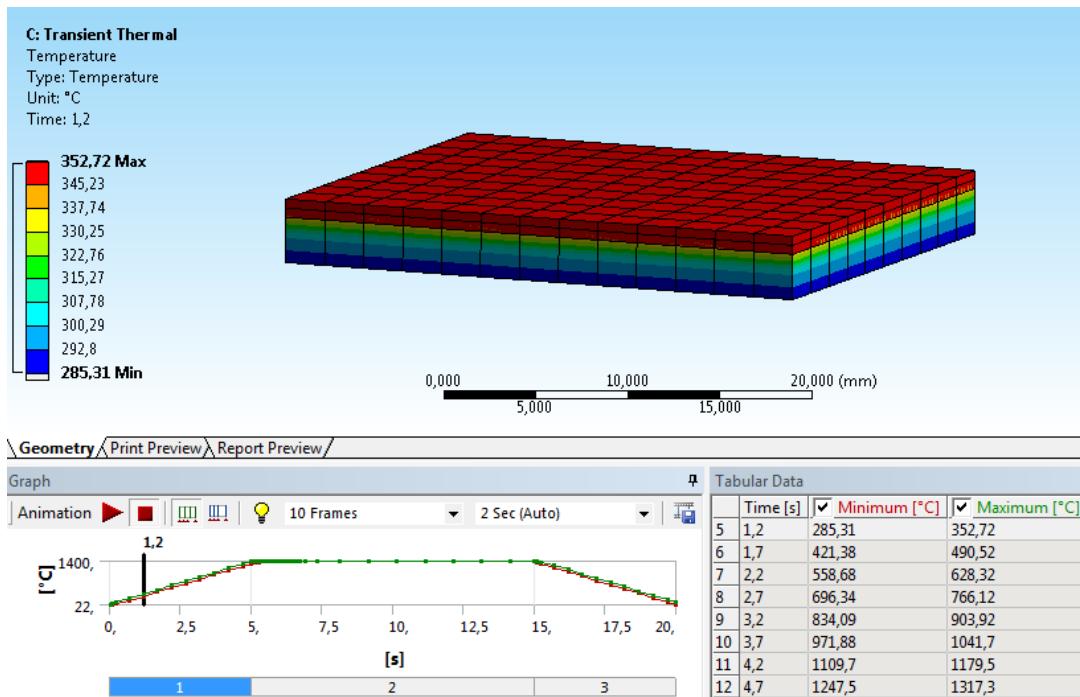


Fig. 4.26. Distribuția de temperatură

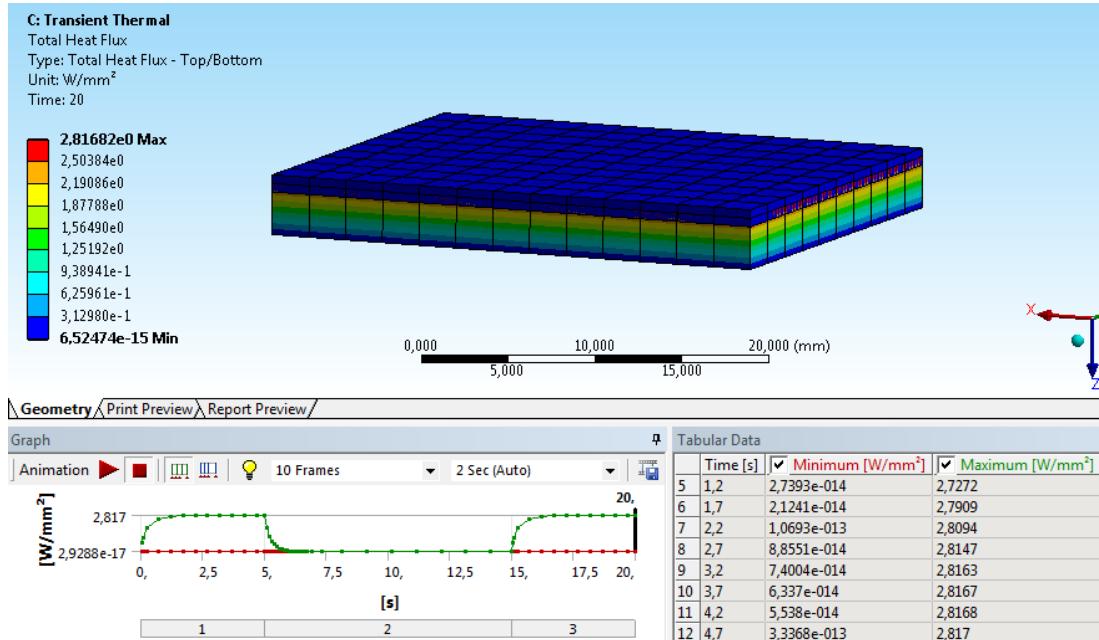
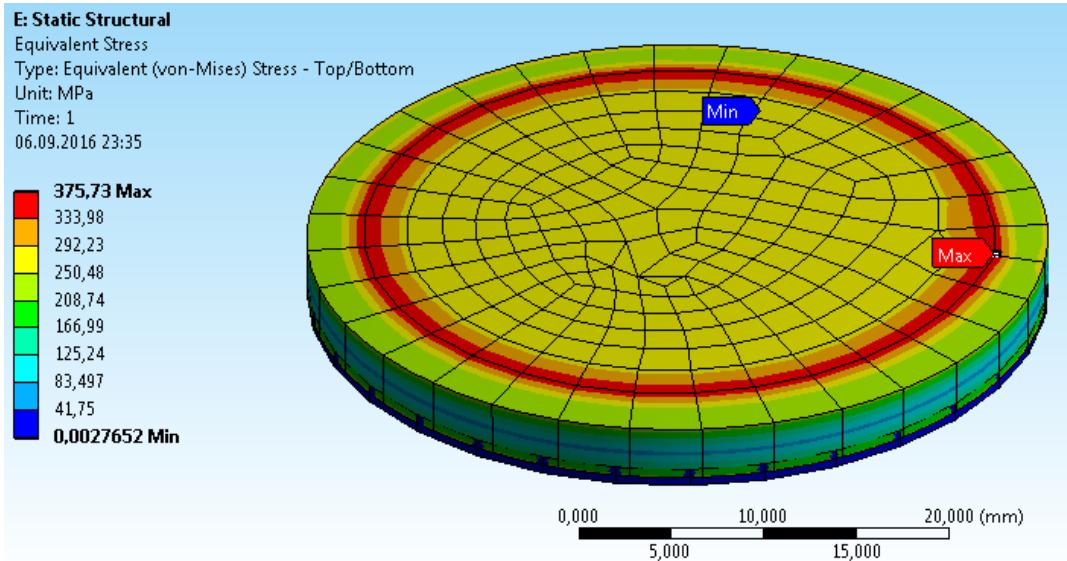


Fig. 4.27. Fluxul de căldură total

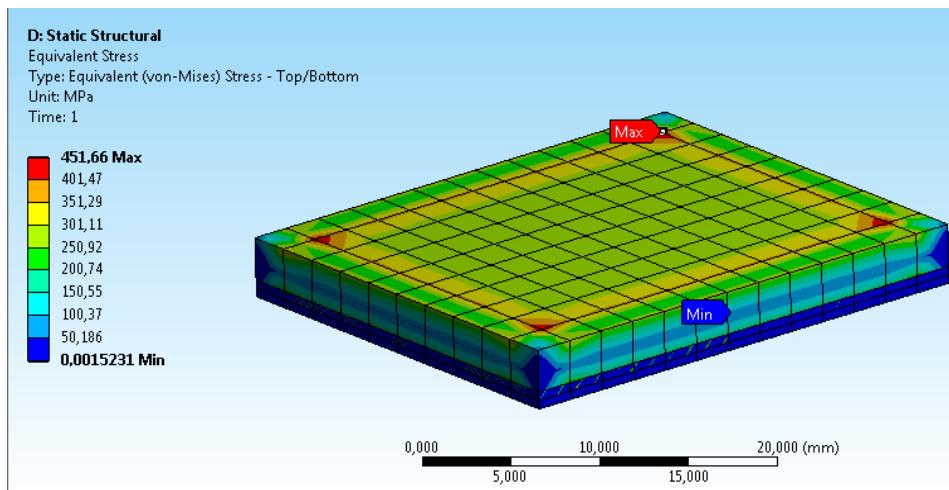
Sub acțiunea de temperatură, probele suferă deformări. Această informație poate fi obținută prin crearea unei analize cuplate (termic-static) în Ansys. Ca urmare a acestor analize au fost obținute constângerile maxime și deformările totale pentru modelele date. În figura

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

4.28. a și b sunt prezentate constrângerile maxime (echivalent von Mises stres), iar în figura 4.29. deformările totale.



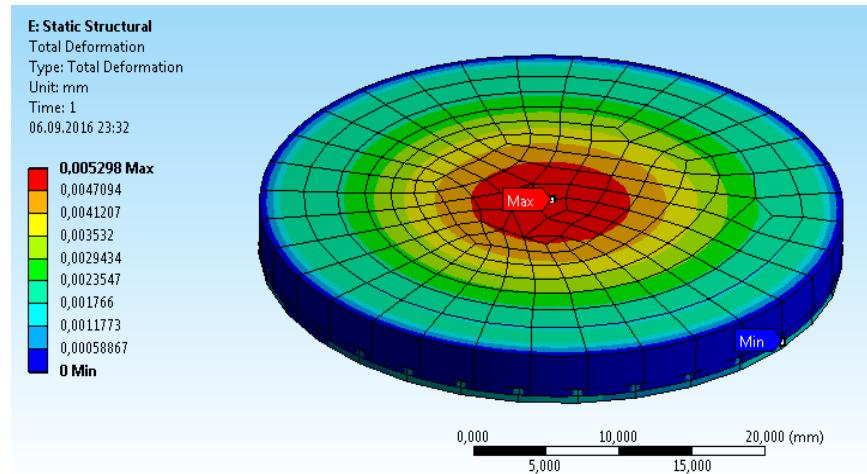
a) prima probă



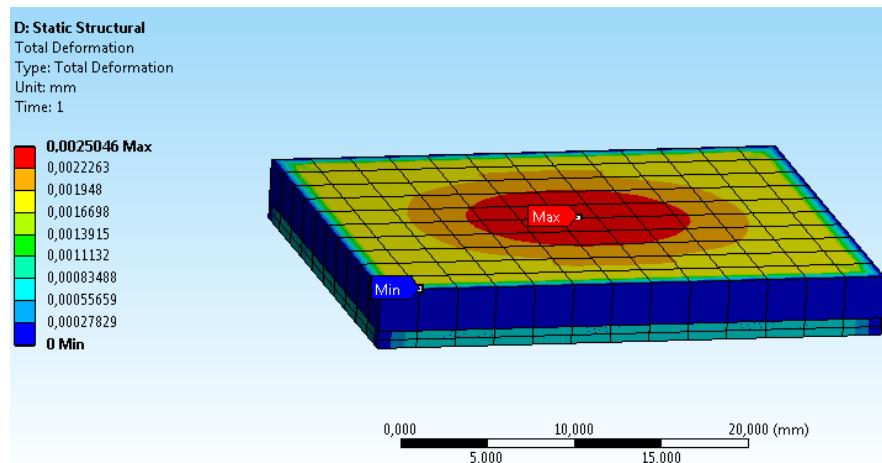
b) a doua probă

Fig. 4.28. Constrângerile maxime

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate



a) prima probă



b) a doua probă

Fig. 4.29. Deformațiile totale

Dimensiunile diferite ale pieselor recondiționate și grosimea stratului depus au impact asupra comportamentului mecanic atunci când sunt supuse la temperatură. Prin urmare, prima probă are o valoare mai mare la deformațiile totale de 0,005 în comparație cu 0,0025 pentru proba a doua.

4.4 Concluzii

Principalele defecte care apar frecvent la recondiționarea proceselor sunt:

- lipsa de aderență între stratul depus și materialul de bază;
- porozitate mare;
- grosimea straturilor depuse necorespunzătoare.

Rezultatele obținute demonstrează că tehnica de control cu curenți turbionari confirmă defectele apărute între stratul de bază și cel depus. Cu metoda elementului finit a fost simulația ciclului de răcire-încălzire, implicat în procesul de pulverizare în jet de plasmă. Aplicarea acestei metode a condus la determinarea la cauze posibile pentru apariția de fisuri în probele



UNIUNEA EUROPEANA

GUVERNUL
ROMÂNIEIMINISTERUL
EDUCAȚIEIFondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013MINISTERUL
EDUCAȚIEI ȘI
CERCETĂRII
ȘTIINȚIFICE

OIPOSDRU

UNIVERSITATEA
GALATENISS

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

recondiționate. Existența de fisuri la interfața dintre materialul de bază și cel depus duc la scăderea drastică a aderenței ca urmare procesului încălzire-răcire.

Prin analiza FEM, aplicată prin intermediul software-ului ANSYS, am putea înțelege și interpreta fenomenele termo-mecanice care are loc între materialul de bază și stratul pulverizat. Rezultatele obținute arată că tensiunile interfeței sunt mai mici în cazul suprafețelor acoperite cu zirconiu stabilizat cu yttria. Conductivitatea scăzută a stratului ceramic nu permite o transmisie rapidă de temperatură. Ceramica are o variație mai mică a căldurii decât otelurile. O optimizare a procesului tehnologic de pulverizare , adaptat la condițiile de muncă solicitate în diferite situații de operare pot fi atinse modificând grosimea stratului.

CAPITOLUL 5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND INSPECȚIA STRATURILOR CERAMICE PULVERIZATE TERMIC

5.1 Examinarea prin termografie în infraroșu a straturilor depuse prin pulverizare termică

Examinarea nedistructivă prin termografie în infraroșu reprezintă o inspecție fără contact și constă în diferențele relevante de temperatură datorită defectelor de sub suprafața probei examineate. [78] Distribuțiile fluxului de căldură sunt cauzate de pezența unui defect sau a unei discontinuități a piesei analizate. Aceste neregularități oferă informații privind mărimea forma și poziția discontinuităților. [22], [103], [126], [135]

În domeniul industrial termografia în infraroșu este utilizată metoda pasivă (observarea simplă a izotermelor de pe suprafața piesei) și metoda activă (stimularea răspunsului termic al piesei). [54], [75], [120],

Plecând de la unul din obiectivele tezei de doctorat și anume determinarea defectelor de sub suprafața pieselor recondiționate s-a ales inspecția prin termografie în infraroșu prin metoda activă.

Examinarea prin termografie în infraroșu prin metoda activă este prezentată în figura 5.1. [98], [135]

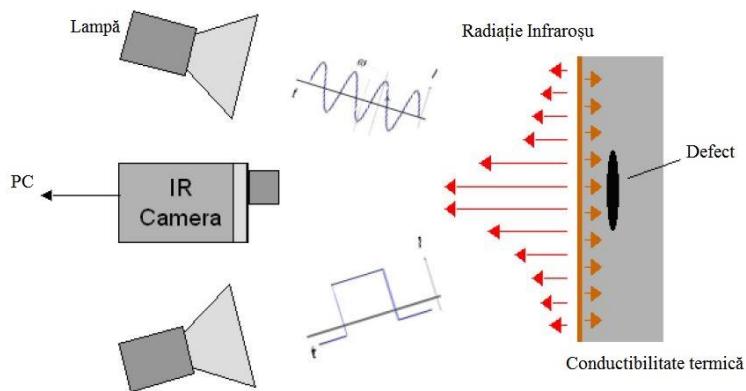


Fig. 5.1. Examinarea prin termografie în infraroșu prin metoda activă

5.1.1 Pregătirea probelor recondiționate

Pentru realizarea cercetărilor prin examinare nedistructivă asupra straturilor depuse prin pulverizare termică s-au proiectat (figura 5.2.), realizat și utilizat 4 epruvete din oțel C45 (OLC 45) acoperite prin pulverizare cu oxid de crom Cr₂O₃ (figura 5.3), fiecare epruvetă

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

având realizate defecte artificiale. Grosimea statului de acoperire este cuprins între 0,2 mm.....0,35 mm [41].

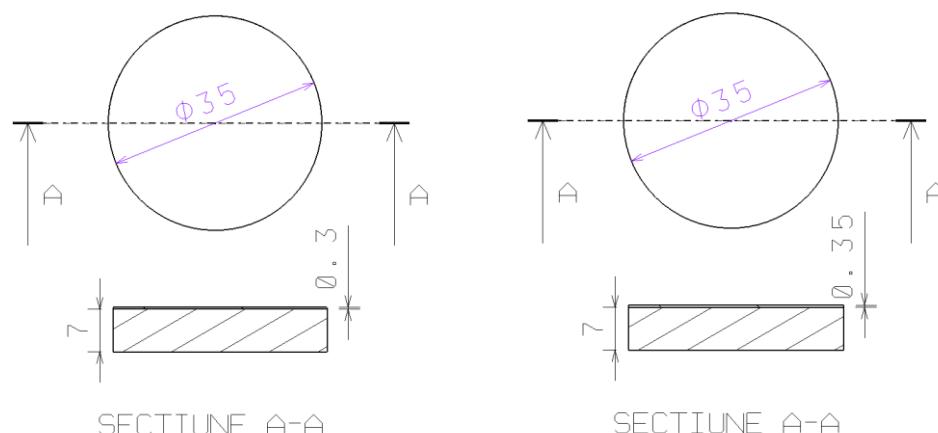
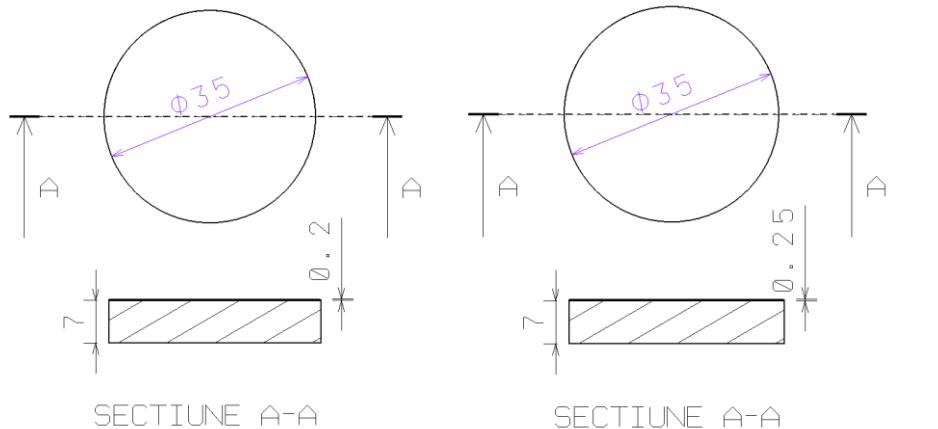
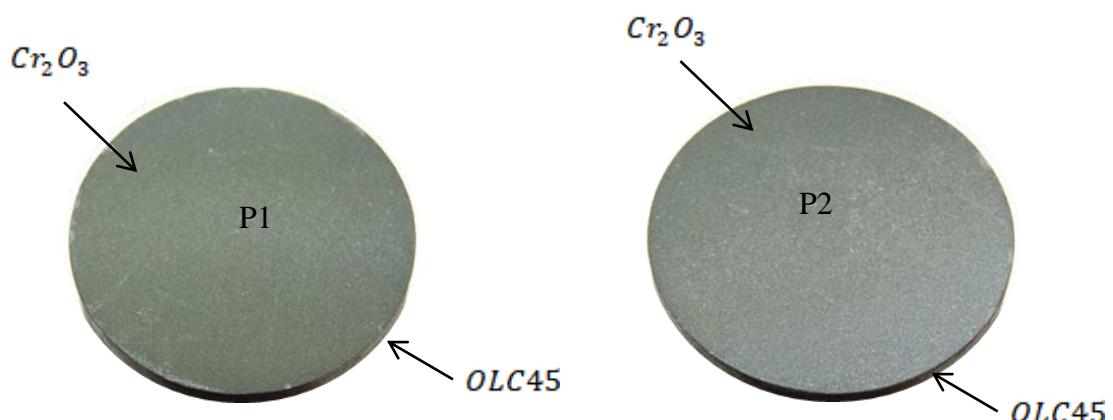


Fig. 5.2. Desenul de execuție pentru probele recondiționate



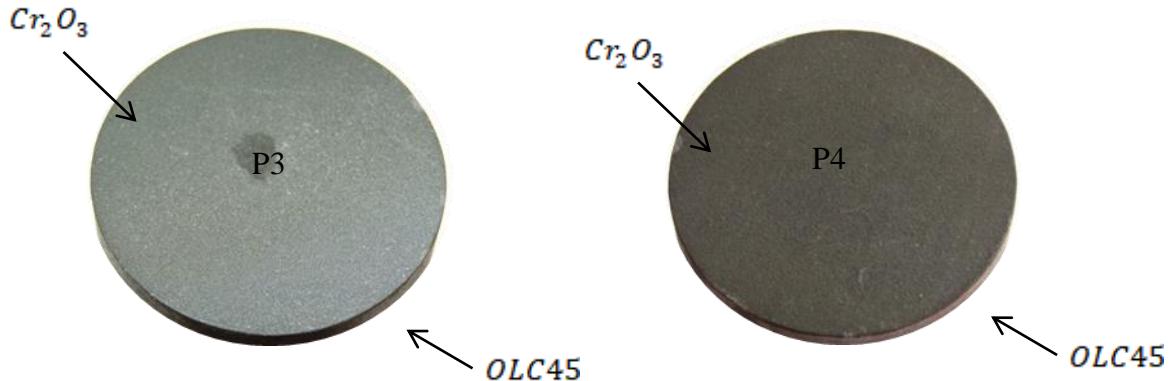


Fig. 5.3. Strat depus oxid de crom → material de bază oțel

Valorile coeficientilor de dilatare termică pentru oțel și crom sunt prezentate în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1. Valori ale coeficientului de expansiune a temperaturii liniare [145],[110]

Material	Coeficientul de expansiune a temperaturii liniare
Crom	6,2
C45 (OLC45)	12
SR EN: 10083-2:2007	

Compoziția chimică a pulberii de oxid de crom Metco 106 este prezentată în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2. Compoziția chimică a pulberii de oxid de crom Metco 106 [37]

Pulbere	Compoziție chimică (%)						
	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr	Altele
Cr ₂ O ₃ Metco 106	95	4,25	0,25	0,5	0,25	0,1	0,5

Oxidul de crom a fost depus pe probele de testare prin pulverizare termică în jet de plasmă. Parametrii procesului de pulverizare termică sunt prezențați în tabelul 5.3.

Tabelul 5.4. Parametrii procesului de pulverizare termică

Parametri	Valoare
Distanța de pulverizare	65 [mm]
Timpul de pulverizare	5 [5 kg/hr]
Viteza de pulverizare	0,13 [m/s]

5.1.2 Examinarea prin termografie în infraroșu a straturilor depuse prin pulverizare termică

Standul folosit pentru examinarea prin termografie în infraroșu este prezentat în figura 5.4, în conformitate cu procedurile laboratorului de defectoscopie nedistructivă T.M.S.

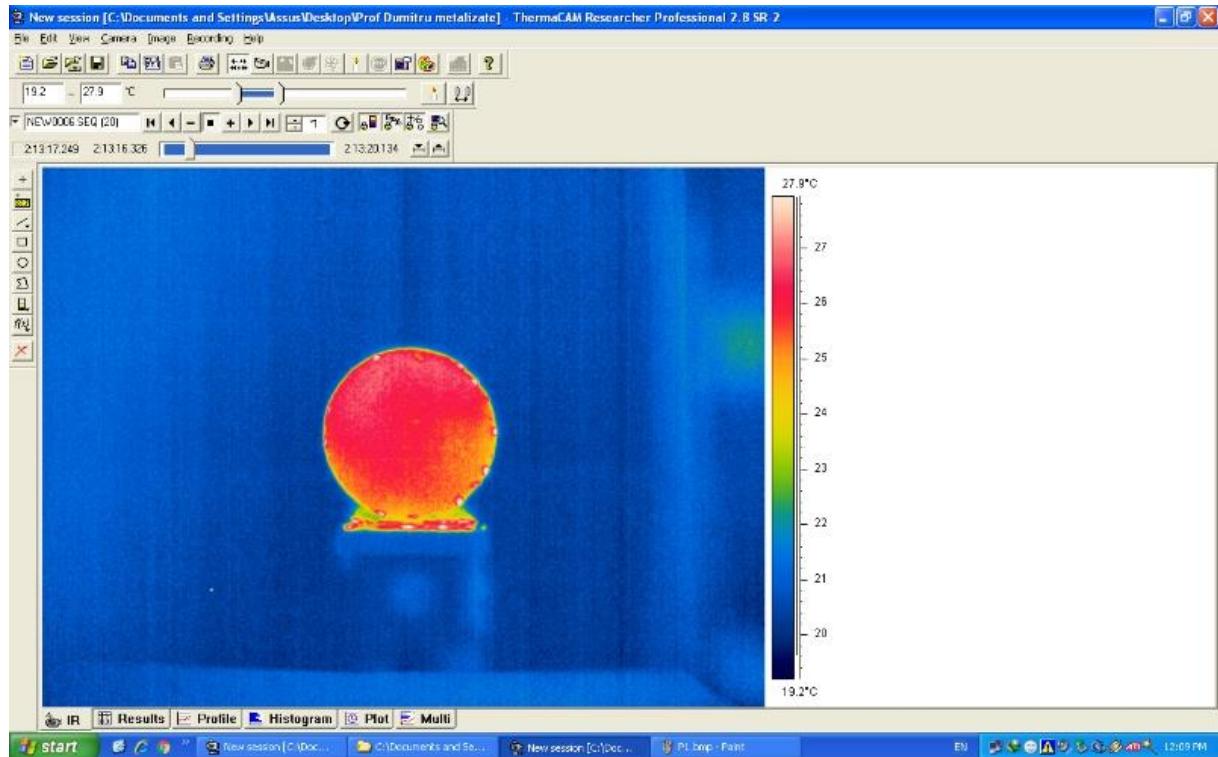


Fig. 5.4. Stand experimental pentru examinarea prin termografie în infraroșu

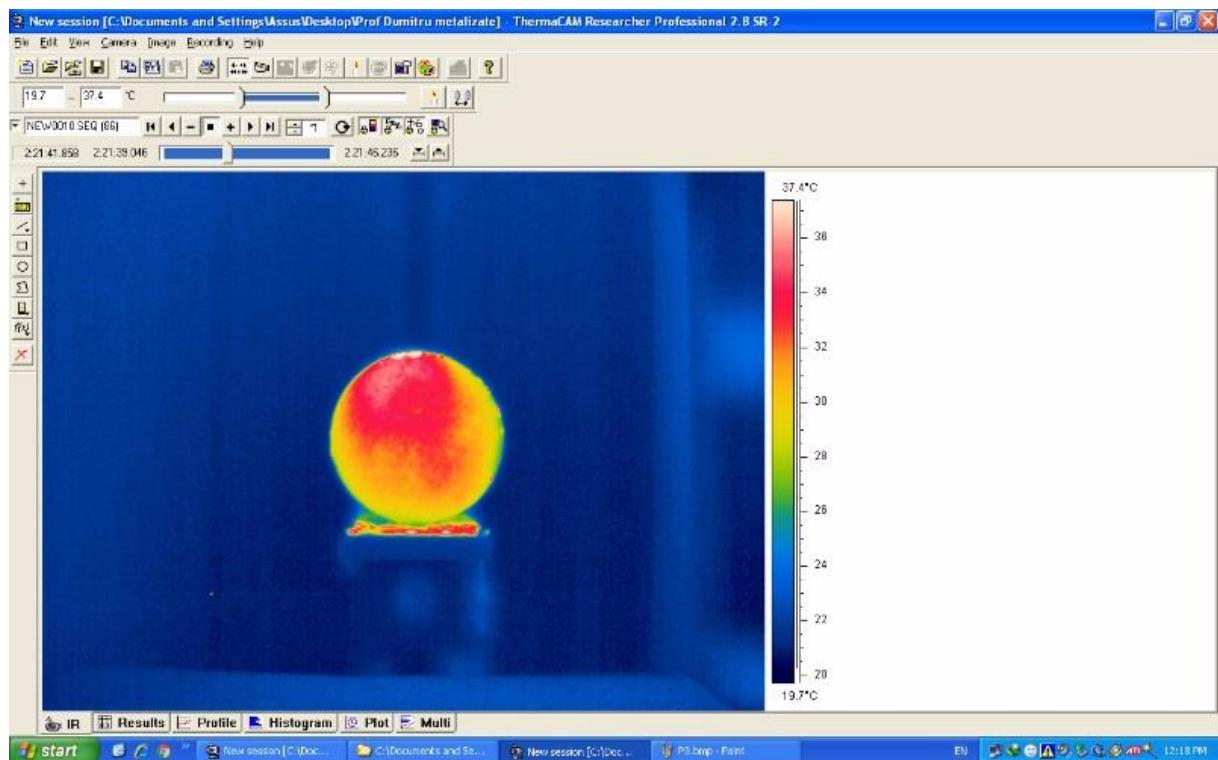
Pentru inspecția prin metoda activă , parametrii utilizați au fost aleși în funcție de materialul depus [146]: perioada de activare -25 [s], numărul de perioade -4 perioade, frecvența camerei 50 Hz.

În figura 5.5. sunt prezentate imaginile probelor examineate care sunt transformate într-o imagine cu mai multe culori, pe ecranul unui monitor. Din imaginii se poate deduce existența defectelor din stratul depus sau de la interfața material de bază-material depus a probei supuse examinării.

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

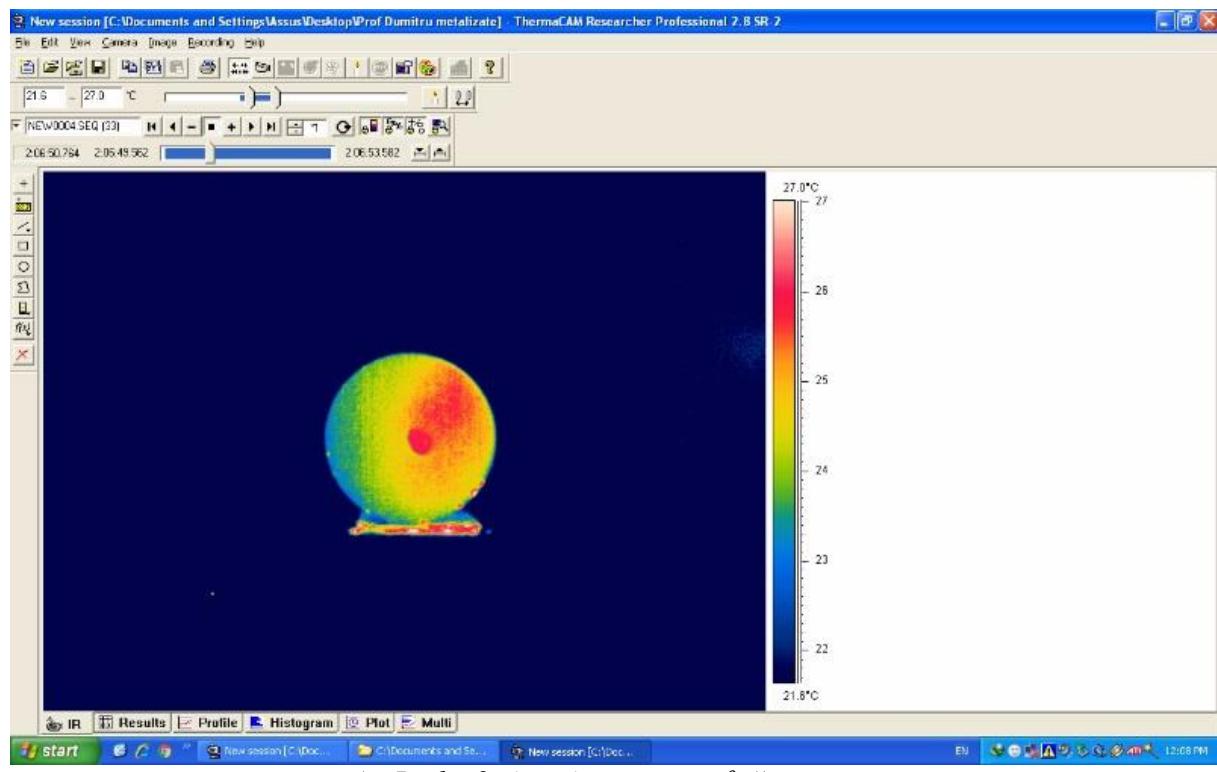


a) Proba 1 – imagine termografică

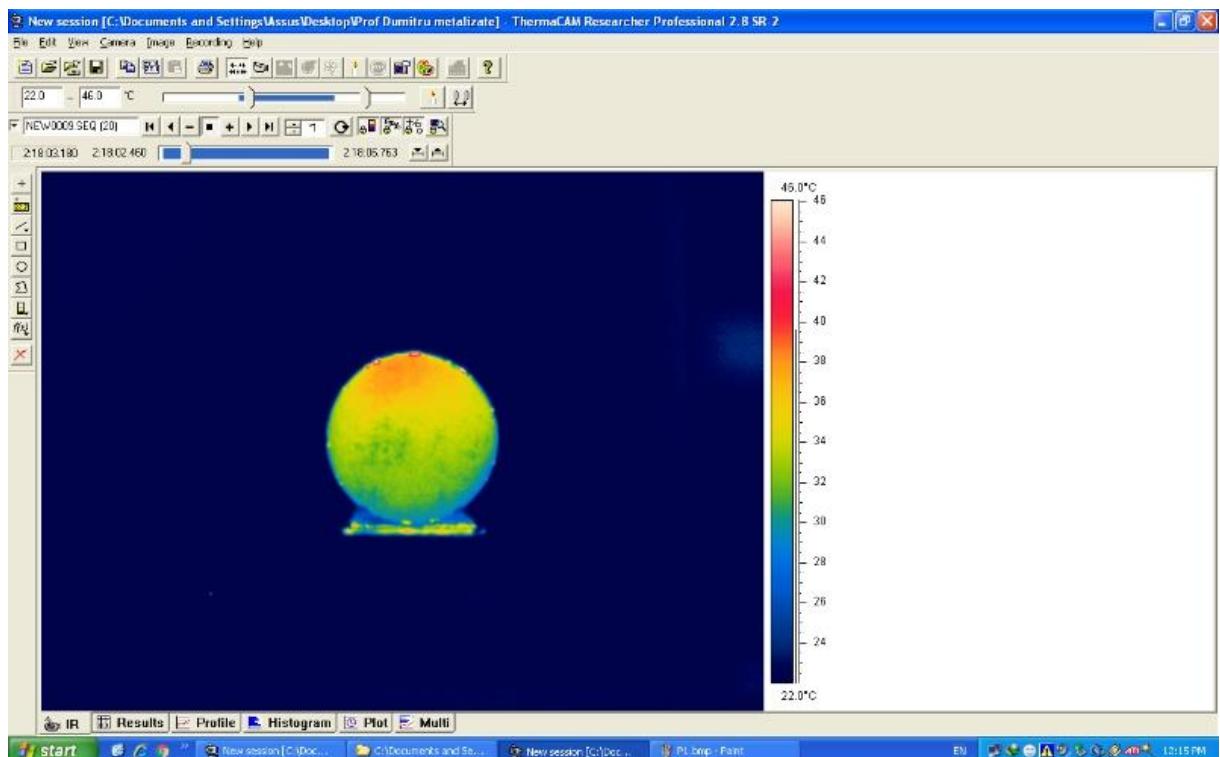


b) Proba 2 – imagine termografică

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate



c) Proba 3 – imagine termografică



d) Proba 4 - imagine termografică

Fig. 5.5. Distribuția de temperaturi pe suprafața probelor examineate

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Valoarea maximă a temperaturii măsurate se află în zona unde există defecte. Aderența straturilor este influențată de pregătirea suprafeței materialului de bază. Existența unor defecte accidentale la interfață conduce la scăderea drastică a aderenței. Aceste defecte apar de obicei atunci când piesa nu este pulverizată imediat după sablare → exemplu proba 4 a fost pulverizată imediat după sablare. Utilizând metoda activă s-au obținut bune rezultate în ceea ce privește dimensiunea defectelor. Sunt necesare cercetări suplimentare pentru a demonstra capacitatele Software-lui IR-NDT.

5.2 Examinarea prin Phased Array → tehnică a examinării prin ultrasunete

Examinarea Phased Array este o tehnică de control nedistructiv ultrasonic. Phased Array poate fi definită ca fiind o metodă de examinare care verifică piesa pe întregă lungime fără schimbarea poziției traductorului ultrasonic. Traductoarele de ultrasunete constau fie un singur element activ, care generează și primește undele de sunet, sau două asociate, una pentru transmisie și una pentru primire. Un sistem fazat va include asemenea, un instrument de operare software care alege secvența de pulsare, care introduce mai multe fronturi de val în materialul testat. Fronturile de val trec prin piesa testată și reflectă înapoi, discontinuitățile, fisuri și altele. Prin Phased Array se pot face măsurători de grosime, controlul coroziunii, detectarea defectelor și controlul sudurilor. O schemă a semnalelor emise și primite este prezentată în figura 5.6. [147]

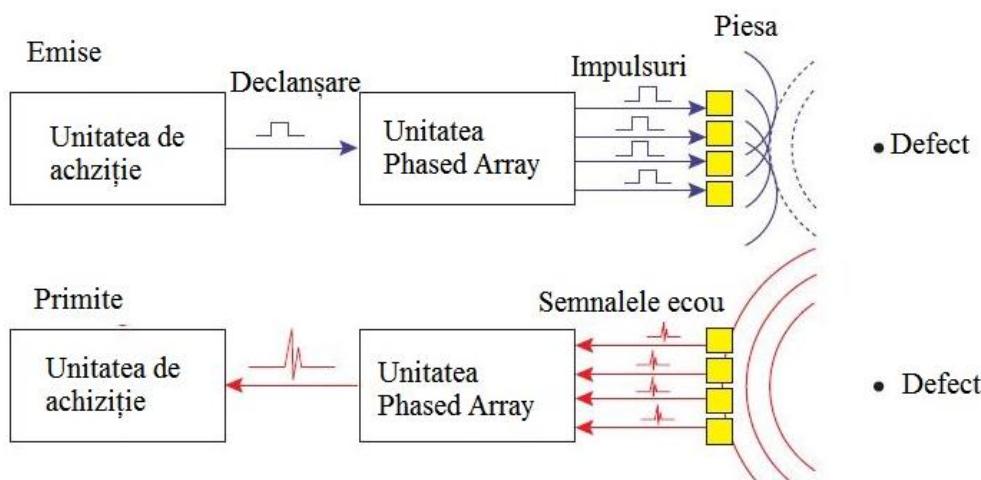


Fig. 5.6. Semnalele emise de Phased Array

5.2.1 Pregătirea probelor recondiționate

Cele 4 probe prezentate mai sus vor avea aplicate pe suprafața examinată un unguent de tip vaselină. În figura 5.7. aparatul de examinare OmniScan este conectat la calculator în care rulează software-ul OmniScan MXU-M-2.0.

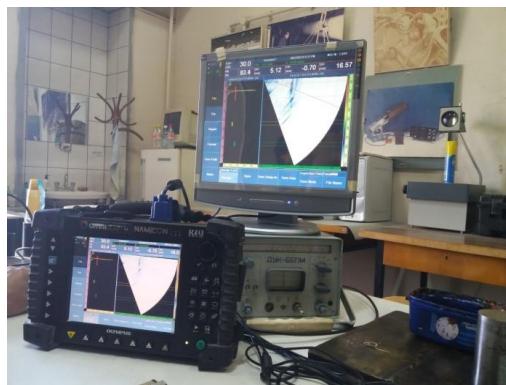


Fig. 5.7. Aparat portabil OmniScan

Calibrarea aparatului se face din software, traductorul este pus pe o probă etalon și se conectează la aparat. Alegerea parametrilor de calibrare se face ca în figura 5.8. aceștia sunt: unghiul de calibrare, materialul, grosimea de material, grain, forma piesei.

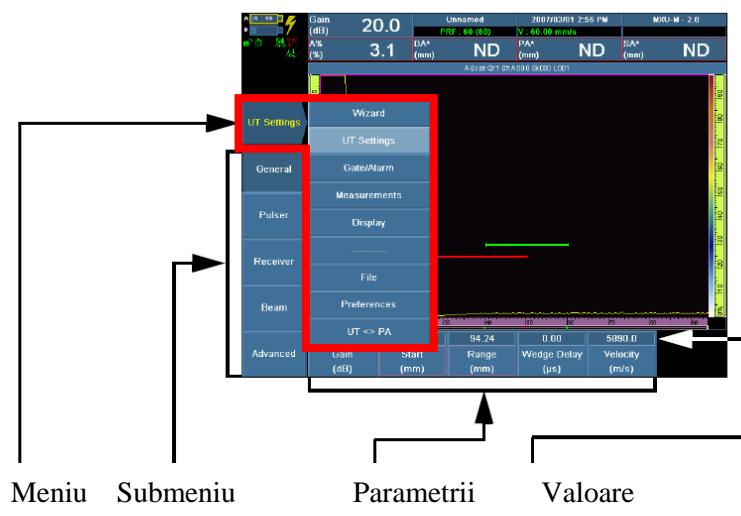


Fig. 5.8. Alegerea parametrilor de calibrare

În figura 5.9. este prezentată interfața software-lui. Identificarea defectului se face pe baza celor 3 porți de culori diferite:

- Roșu – informații pentru poarta A;
- Verde – informații pentru poarta B;
- Galben – informații pentru poarta I.

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

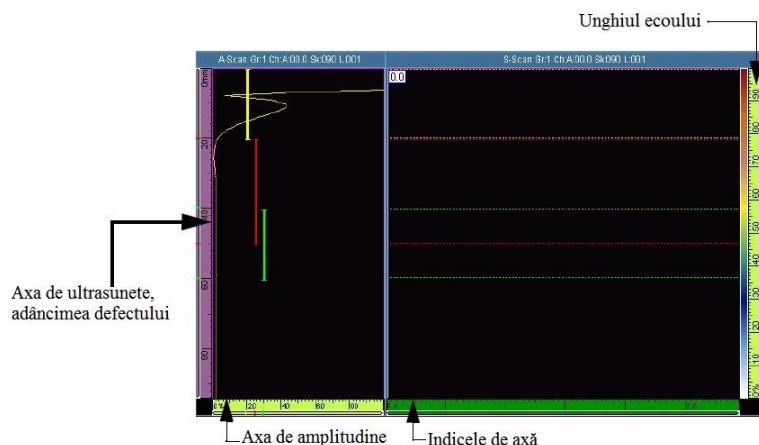
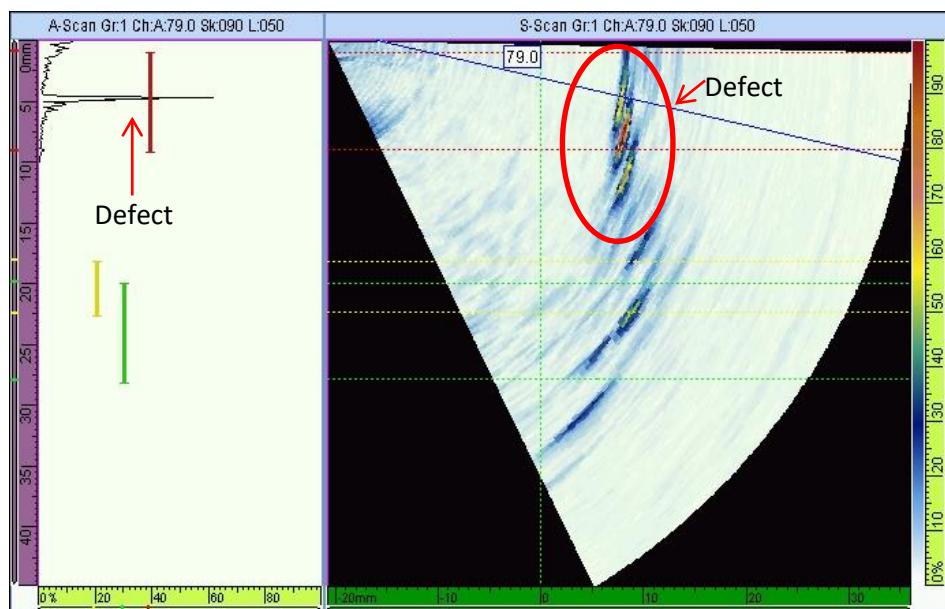


Fig. 5.9. Interfața software-lui OmniScan MXU-M-2.0

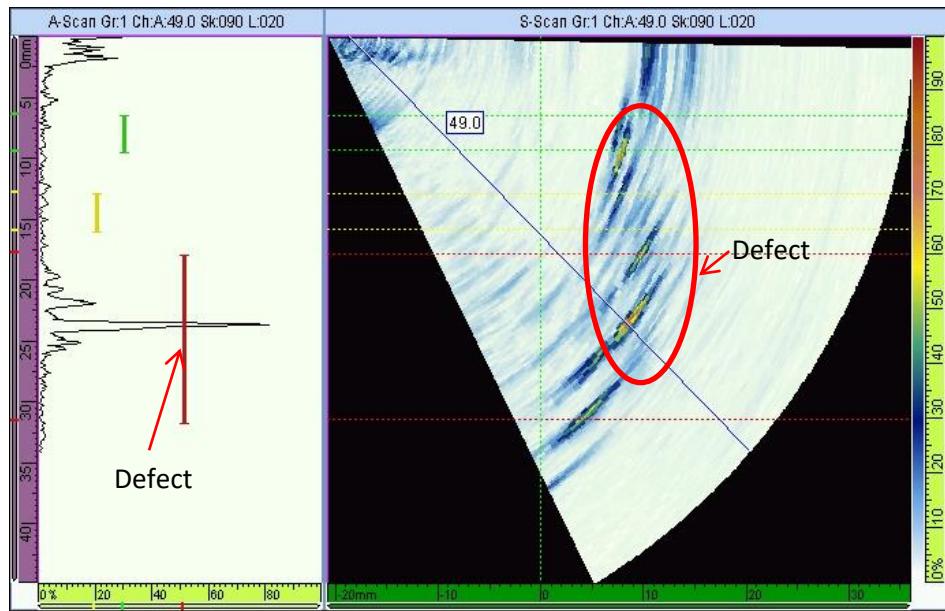
5.2.2 Examinarea prin Phased Array

În figura 5.10. examinarea prin Phased Array a confirmat defectele din probele examinate mai sus prin termografie în infraroșu.

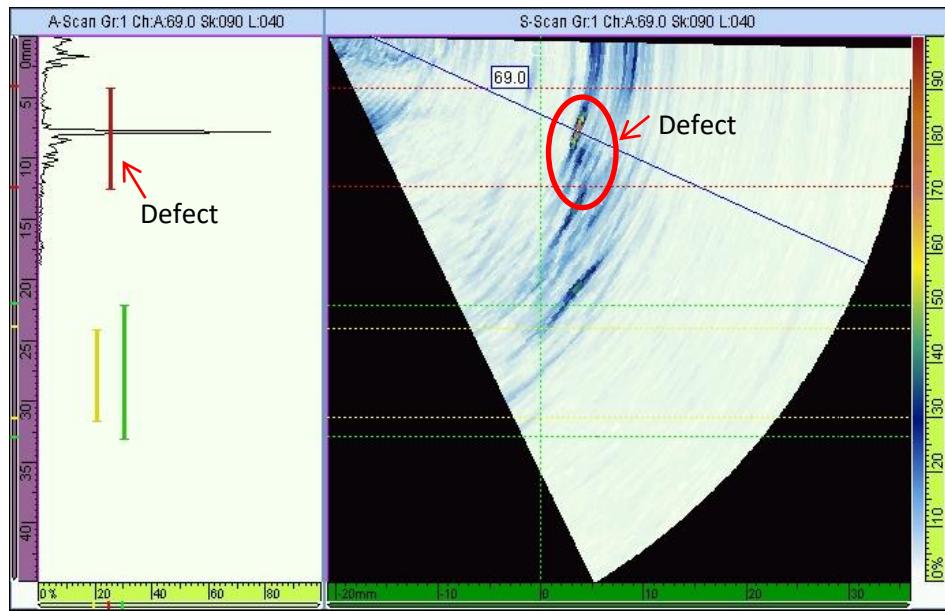


a) Proba 1

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

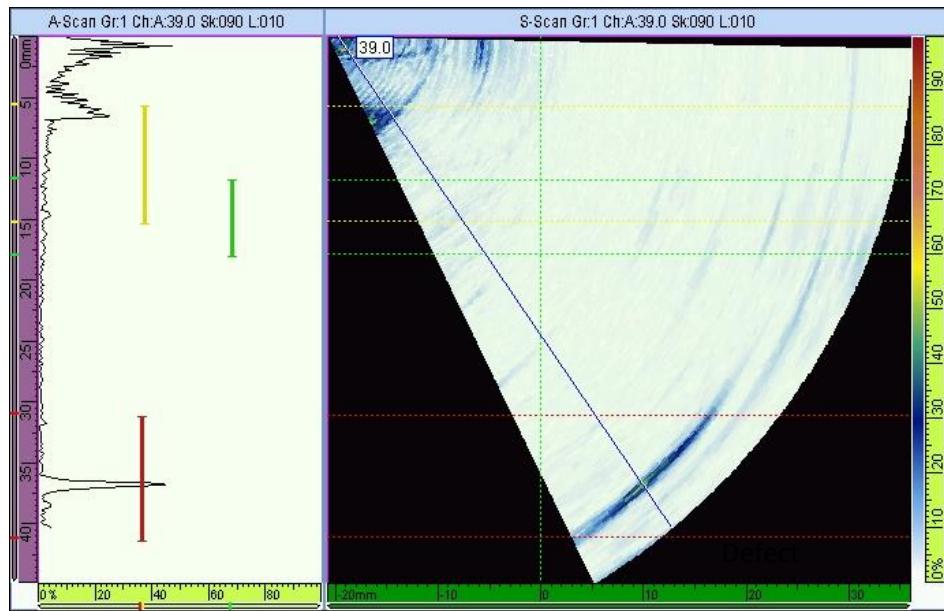


b) Proba 2



c) Proba 3

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate



d) Proba 4

Fig. 5.10. Examinarea prin Phased Array

În urma examinării prin Phased Array au fost generate automat următoarele rapoarte pentru fiecare probă.

Raportul autogenerat conține setările software-lui, calibrare, parametri UT, matrice fazata, configurarea scannerului și raportarea erorilor.

Probele 1, 2 și 3 examineate prin examinarea Phased Array arată defecte în sub stratul pulverizat. Proba 4 prezintă în urma controlului nedistructiv o suprafață de bună calitate, fără defecte.

Aderența straturilor este influențată de grosimea stratului depus cât și de pregătirea suprafeței materialul de bază. De exemplu se poate observa în probele 1, 2 și 3 la examinarea prin termografie în infraroșu unde culoare roșie indică defectele apărute între stratul depus și cel de bază.

În concluzie, realizarea metodologiei practice de evidențierea defectelor prin metoda curentilor turbonari necesită elaborarea unei baze teoretice adecvate. Teoria, care stă la baza evidențierii defectelor prin metode electromagnetice, se sprijină, în principal, pe rezultatele calculului rezistențelor introduce la schimbarea conductibilității electrice, a grosimii peretilor și a grosimii suprafețelor straturilor controlate.

Cercetările experimentale au urmărit stabilirea influenței următorilor factori asupra aderenței materialului de adaos la materialul de bază: rugozitatea suprafeței aşchiate în vederea metalizării, grosimea stratului pulverizat și distanța de pulverizare.

Dimensiunile diferite ale pieselor recondiționate și grosimea stratului depus au impact asupra comportamentului mecanic atunci când sunt supuse la temperatură.

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Proba 1

OLYMPUS®

Report Date	Report Version	Setup File Name	Inspection Date	Inspection Version	Save Mode
2017 / 03 / 02	MXU-M - 2.0R4	Unnamed	2017 / 03 / 02	MXU-M - 2.0R4	Report
OmniScan Type	OmniScan Serial #	Module Type	Module Serial #	Calibration Due	Data File Name
OmniScan MX	OMNI-100252	OMNI-M-PA1616M	OMNI-700074	2008 / 11 / 28	Report1

Group 1

Setup

A:30.0 Sk:090 L:001					
Beam Delay	Start (Half Path)	Range (Half Path)	PRF	Type	Averaging Factor
8.81 us	-0.01 mm	51.84 mm	19	PA	1
Scale Type	Scale Factor	Video Filter	Pretrig.	Rectification	Band-Pass Filter
Compression	10	Off	0.00 µs	FW	None (0.54 - 22 MHz)
Voltage	Gain	Mode	Wave Type	Sound Velocity	Pulse Width
40 (Low)	29.90 dB	PE (Pulse-Echo)	Shear	3240.0 m/s	100.00 ns
Scan Offset	Index Offset	Skew			
0.00 mm	0.00 mm	90.0°			
Gate	Start	Width	Threshold	Synchro	
I	3.45 mm	0.84 mm	20.00 %	Pulse	
A	0.17 mm	1.57 mm	39.00 %	Pulse	
B	3.79 mm	1.55 mm	30.00 %	Pulse	

Calculator

Used Element Qty.	First Element	Last Element	Resolution	Wave Type	Material Velocity
16	1	16	1.0	Shear	3240.0 m/s
Start Angle	Stop Angle	Angle Resolution	Focal Depth	Law Configuration	
30.0°	89.0°	1.0°	8.00 mm	Sectorial	

Part

Material	Geometry	Thickness					
OTEL/ OXID DE CROM	Round	8 mm					
A%	DA^	PA^	SA^	A%	T (A^)	ML	A^
59.9 %	4.63 mm	7.2 mm	0.2 mm	59.9 %	4.63 mm	90.7 %	4.63 mm

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Proba 2



Report Date	Report Version	Setup File Name	Inspection Date	Inspection Version	Save Mode
2017 / 03 / 02	MXU-M - 2.0R4	Unnamed	2017 / 03 / 02	MXU-M - 2.0R4	Report
OmniScan Type	OmniScan Serial #	Module Type	Module Serial #	Calibration Due	Data File Name
OmniScan MX	OMNI-100252	OMNI-M-PA1616M	OMNI-700074	2008 / 11 / 28	Report2

Group 1

Setup

A:30.0 Sk:090 L:001						
Beam Delay	Start (Half Path)	Range (Half Path)	PRF	Type	Averaging Factor	
8.81 us	-0.02 mm	51.84 mm	19	PA	1	
Scale Type	Scale Factor	Video Filter	Pretrig.	Rectification	Band-Pass Filter	
Compression	10	Off	0.00 µs	FW	None (0.54 - 22 MHz)	
Voltage	Gain	Mode	Wave Type	Sound Velocity	Pulse Width	
40 (Low)	29.90 dB	PE (Pulse-Echo)	Shear	3240.0 m/s	100.00 ns	
Scan Offset	Index Offset	Skew				
0.00 mm	0.00 mm	90.0°				
Gate	Start	Width	Threshold	Synchro		
I	8.40 mm	2.07 mm	20.00 %	Pulse		
A	11.69 mm	9.08 mm	51.00 %	Pulse		
B	4.19 mm	1.99 mm	30.00 %	Pulse		

Calculator

Used Element Qty.	First Element	Last Element	Resolution	Wave Type	Material Velocity	
16	1	16	1.0	Shear	3240.0 m/s	
Start Angle	Stop Angle	Angle Resolution	Focal Depth	Law Configuration		
30.0°	89.0°	1.0°	8.00 mm	Sectorial		

Part

Material	Geometry	Thickness					
OTEL/ OXID DE CROM	Round	8 mm					
A%	DA^	PA^	SA^	A%	T (A^)	ML	A^
80.6 %	23.48 mm	7,25 mm	0,25 mm	80.6 %	23.48 mm	53.0 %	23.48 mm

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Proba 3



Report Date	Report Version	Setup File Name	Inspection Date	Inspection Version	Save Mode
2017 / 03 / 02	MXU-M - 2.0R4	Unnamed	2017 / 03/02	MXU-M - 2.0R4	Report
OmniScan Type	OmniScan Serial #	Module Type	Module Serial #	Calibration Due	Data File Name
OmniScan MX	OMNI-100252	OMNI-M-PA1616M	OMNI-700074	2008 / 11 / 28	Report3

Group 1

Setup

A:30.0 Sk:090 L:001

Beam Delay	Start (Half Path)	Range (Half Path)	PRF	Type	Averaging Factor
8.81 us	-0.01 mm	51.84 mm	19	PA	1
Scale Type	Scale Factor	Video Filter	Pretrig.	Rectification	Band-Pass Filter
Compression	10	Off	0.00 µs	FW	None (0.54 - 22 MHz)
Voltage	Gain	Mode	Wave Type	Sound Velocity	Pulse Width
40 (Low)	29.90 dB	PE (Pulse-Echo)	Shear	3240.0 m/s	100.00 ns
Scan Offset	Index Offset	Skew			
0.00 mm	0.00 mm	90.0°			
Gate	Start	Width	Threshold	Synchro	
I	8.58 mm	2.71 mm	20.00 %	Pulse	
A	1.49 mm	2.98 mm	25.00 %	Pulse	
B	7.89 mm	3.94 mm	30.00 %	Pulse	

Calculator

Used Element Qty.	First Element	Last Element	Resolution	Wave Type	Material Velocity
16	1	16	1.0	Shear	3240.0 m/s
Start Angle	Stop Angle	Angle Resolution	Focal Depth	Law Configuration	
30.0°	89.0°	1.0°	8 mm	Sectorial	

Part

Material	Geometry	Thickness					
OTEL/ OXID DE CROM	Round	8 mm					
A%	DA^	PA^	SA^	A%	T (A^)	ML	A^
82.2 %	7.74 mm	7,3mm	0,3 mm	82.2 %	7.74 mm	84.5 %	7.74 mm

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Proba 4



Report Date	Report Version	Setup File Name	Inspection Date	Inspection Version	Save Mode
2017 / 03 / 02	MXU-M - 2.0R4	Unnamed	2017 / 03 / 02	MXU-M - 2.0R4	Report
OmniScan Type	OmniScan Serial #	Module Type	Module Serial #	Calibration Due	Data File Name
OmniScan MX	OMNI-100252	OMNI-M-PA1616M	OMNI-700074	2008 / 11 / 28	Report4

Group 1

Setup

A:30.0 Sk:090 L:001

Beam Delay	Start (Half Path)	Range (Half Path)	PRF	Type	Averaging Factor	
8.81 us	-0.02 mm	51.84 mm	19	PA	1	
Scale Type	Scale Factor	Video Filter	Pretrig.	Rectification	Band-Pass Filter	
Compression	10	Off	0.00 µs	FW	None (0.54 - 22 MHz)	
Voltage	Gain	Mode	Wave Type	Sound Velocity	Pulse Width	
40 (Low)	35.90 dB	PE (Pulse-Echo)	Shear	3240.0 m/s	100.00 ns	
Scan Offset	Index Offset	Skew				
0.00 mm	0.00 mm	90.0°				
Gate	Start	Width	Threshold	Synchro		
I	4.36 mm	7.52 mm	37.00 %	Pulse		
A	24.11 mm	7.96 mm	36.00 %	Pulse		
B	9.08 mm	4.90 mm	68.00 %	Pulse		

Calculator

Used Element Qty.	First Element	Last Element	Resolution	Wave Type	Material Velocity	
16	1	16	1.0	Shear	3240.0 m/s	
Start Angle	Stop Angle	Angle Resolution	Focal Depth	Law Configuration		
30.0°	89.0°	1.0°	8 mm	Sectorial		

Part

Material	Geometry	Thickness					
OTEL/ OXID DE CROM	Round	8 mm					
A%	DA^	PA^	SA^	A%	T (A^)	ML	A^
44.6 %	36.60 mm	7,35 mm	0,35 mm	44.6 %	36.60 mm	26.8 %	36.60 mm

5.3 Examinarea prin curenți turbionari

Scopul prezentei teze este de a determina calitatea interfeței dintre straturile ceramice și materialul de bază. Tehnica de control nedistructiv prin curenți turbionari v-a pune în evidență defectele ce pot să apară între materialul de bază și materialul de adaos.

Existența unei fisuri (figura 5.11.) creează un câmp magnetic suplimentar, al defectului, care se compune cu câmpul magnetic al curenților turbionari din restul corpului, dând astfel un semnal în traductor. Adâncimea de patrundere a curentilor turbionari depinde de sursa de excitare, de frecvența oscilațiilor electromagnetice, de conductivitatea electrică, de permeabilitatea magnetică [38],[79],[121].

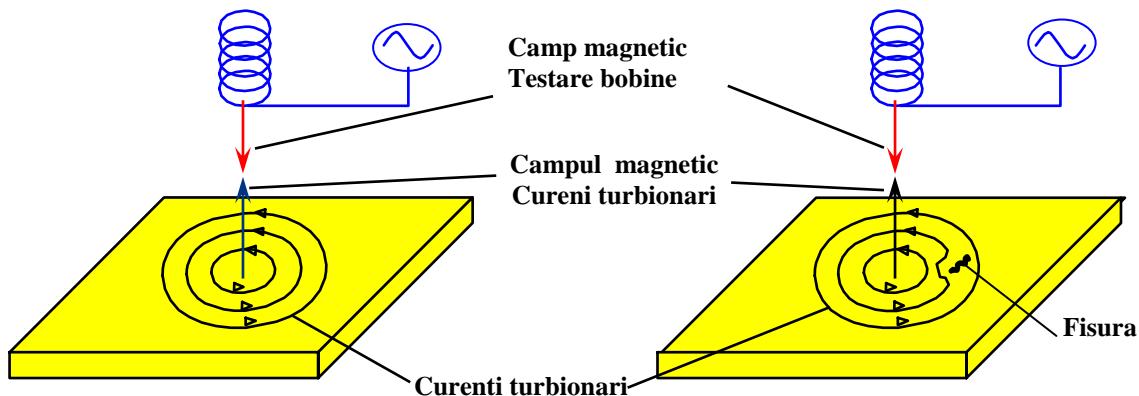


Fig. 5.11. Examinarea prin curenți turbionari

5.3.1 Pregătirea probelor recondiționate

Pentru cercetările experimentale privind determinarea stratului de aderență dintre materialul de bază și stratul deponus, s-au proiectat probele prezentate mai sus.

S-a folosit instrumentul portabil de control nedistructiv Nortec® 500 Series Portable Eddy Current Flaw Detectors pentru detectarea defectelor dintre stratul deponus și materialul de bază (figura 5.12.).

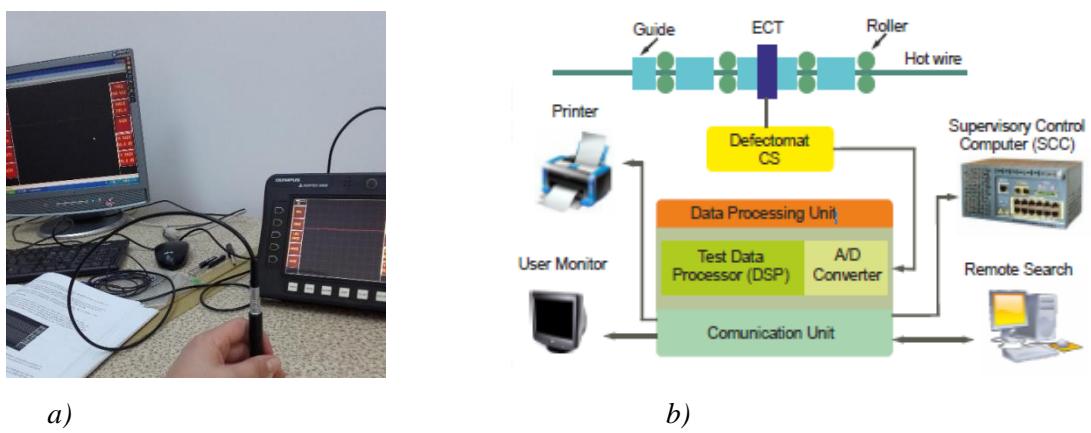


Fig. 5.12. a)Instrument portabil de testare a curenților turbionari/b)Schema bloc a sistemului de testare [14],[148]

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Etalonarea aparatului se face cu sonda de tip Nortec PL/500 kHz-1MHz/A (figura 5.13.a), iar calibrarea cu - P/N 9222162 A (figura 5.13.b). Parametrii de calibrare sunt: frecvența, unghiul, gain (orizontal și vertical), adâncimea.



a)



b) calibrare

Fig. 5.13. Etalonarea aparatului

Rezultatul pentru calibrarea aparatului este reprezentat în figura 5.14.

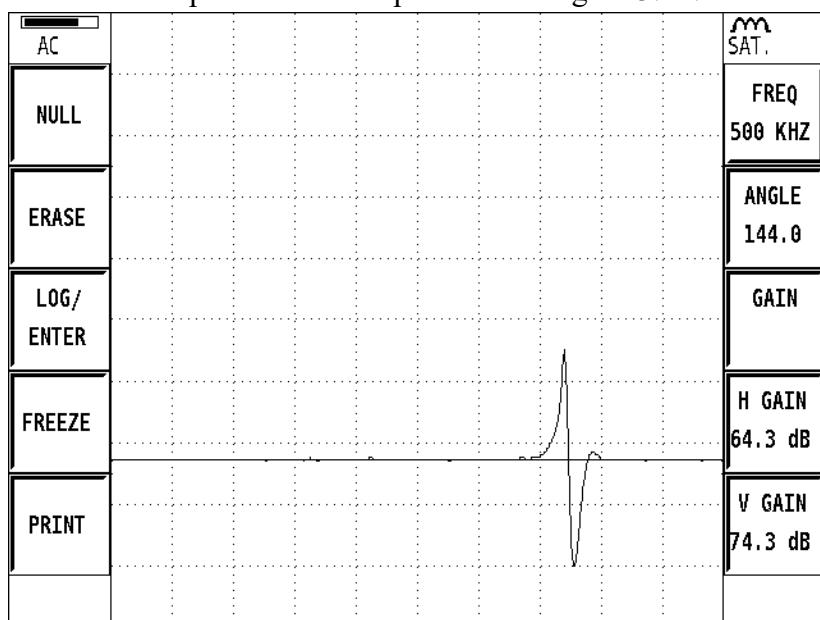


Fig. 5.14. Rezultat calibrare

5.3.2 Examinarea prin curenți turbionari

Se amplasează sonda pe prima probă și se urmărește poziția acului indicator al aparatului de măsură (figura 5.15.). Se deplasează apoi sonda astfel încât să se traverseze fisura și se urmărește indicația acului indicator. Această deviație constituie *indicația de defect*.

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

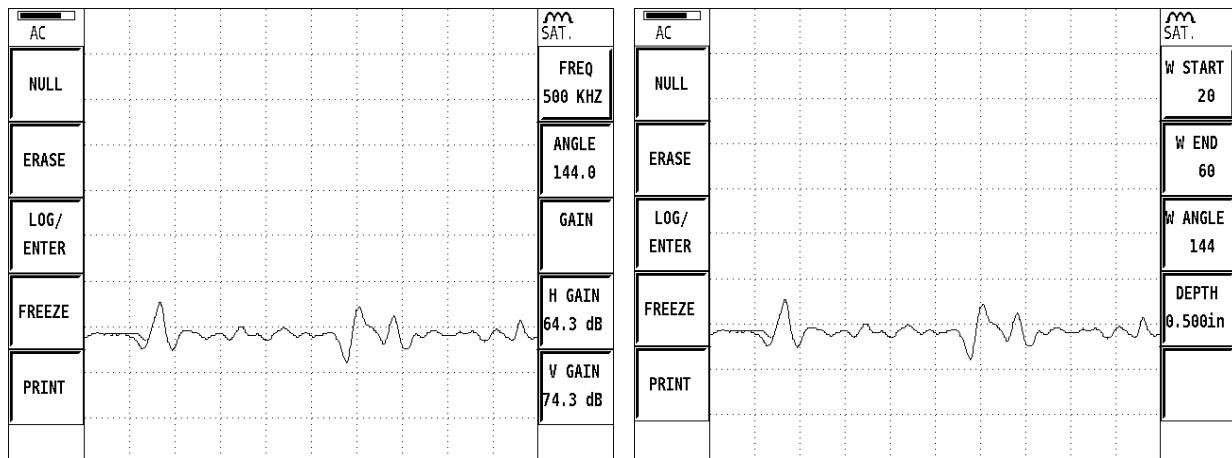


Fig. 5.15. Examinarea cu curenți turbionari-proba 1

Se amplasează sonda pe proba 2 și se urmărește poziția acului indicator al aparatului de măsură (figura 5.16.).

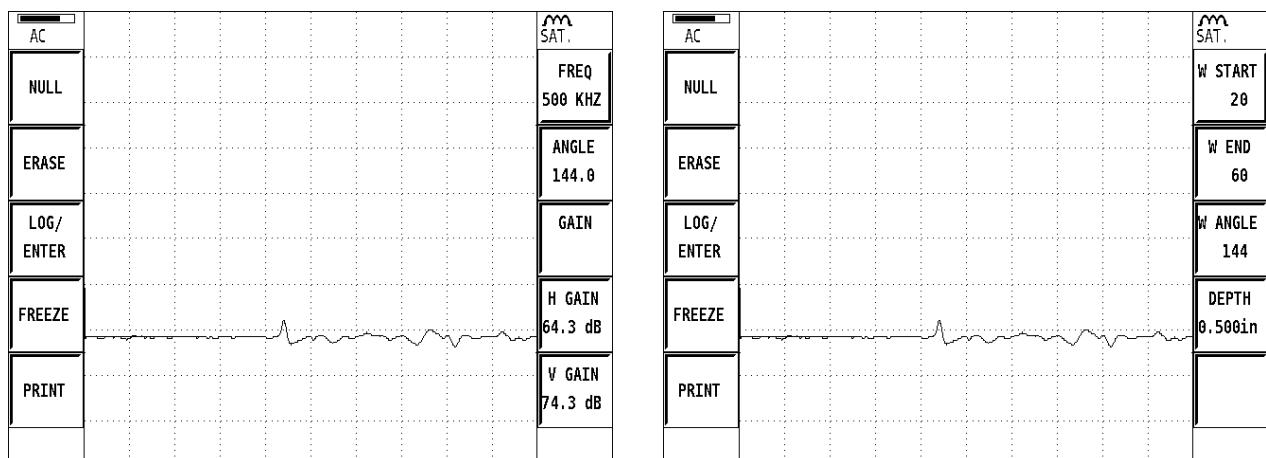


Fig. 5.16. Examinarea cu curenți turbionari-proba 2

Se amplasează sonda pe proba 3 și se urmărește poziția acului indicator al aparatului de măsură (figura 5.17.).

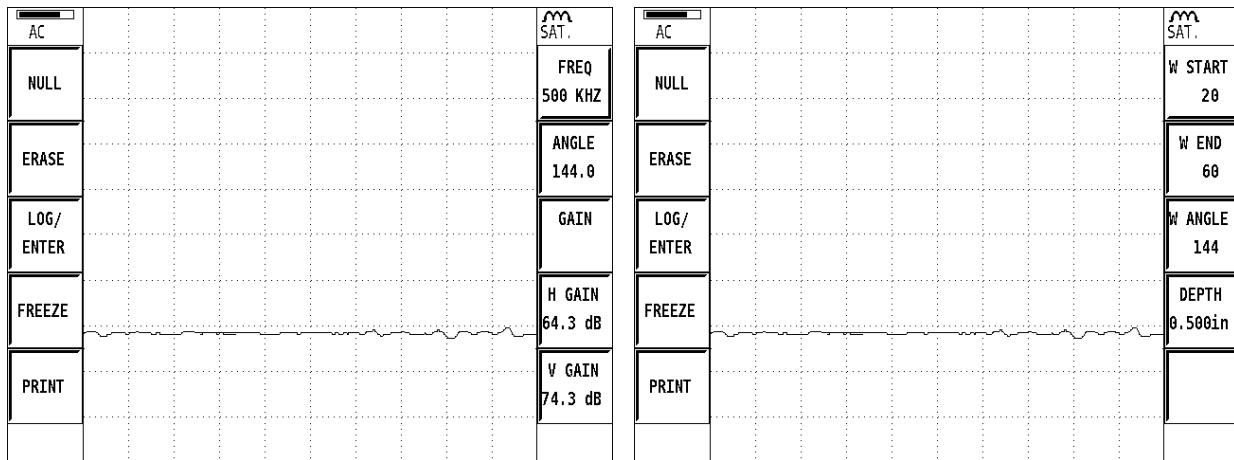


Fig. 5.17. Examinarea cu curenți turbionari-proba 3

Se amplasează sonda pe proba 4 și se urmărește poziția acului indicator al aparatului de măsură (figura 5.18.).

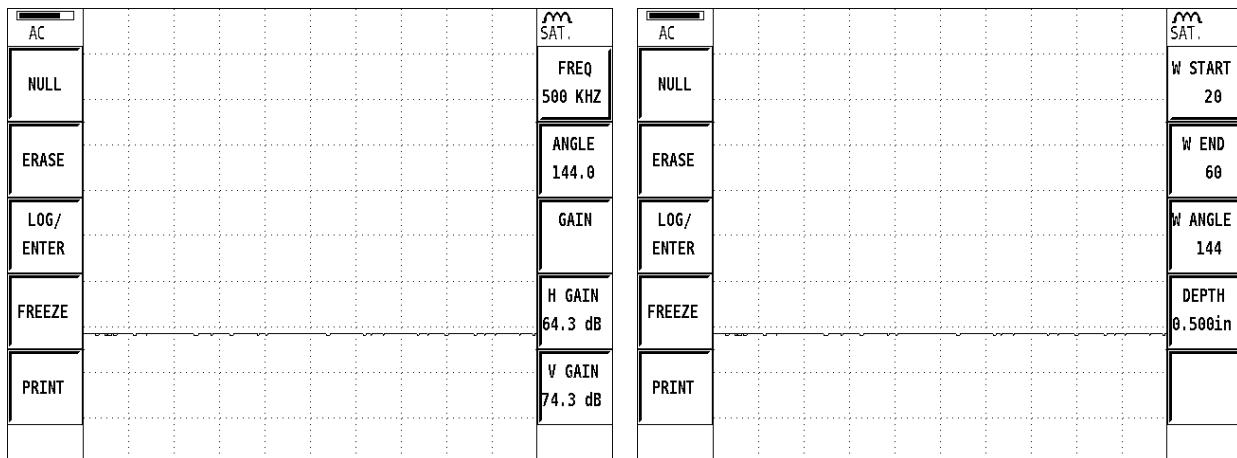


Fig. 5.18. Examinarea cu curenți turbionari-proba 4

Aderența stratului depus este afectată în mod diferit în funcție de grosimea stratului depus. Proba 4 nu prezintă defecte.

5.4 Concluzii

În prezent, tehnici nedistructive sunt mai frecvent utilizate pentru a testa produsele, datorită prevalenței creștere a controalelor de calitate. În majoritatea cazurilor, criteriile de admisibilitate a defectelor sunt stabilite prin standarde, prescripții tehnice sau alte documente tehnice cu caracter normativ. În aplicarea metodelor de examinare nedistructivă, există limitări privind posibilitatea de folosire a acestora, pentru a se realiza o eficiență maximă la punerea în evidență a eventualelor defecte, este recomandabilă folosirea combinată a diferitelor metode de examinare nedistructivă.

În concluzie principalele defecte ce apar frecvent la procedeele de recondiționare sunt:

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

- lipsa de aderență dintre primul strat depus și materialul de bază;
- lipsa de aderență dintre straturile materialului de adaos datorate grosimii necesare;
- porozitatea mare;
- proprietățile straturilor depuse depind de natura materialului de acoperire, de tehnologia de pulverizare cât și de respectarea parametrilor procesului de pulverizare.

Rezultatele examinării prin termografie în infraroșu și phased array demonstrează că tehnica curenților turbionari permite detectarea defectelor dintre materialul de bază și stratul depus. Stratul depus prin metalizare prin pulverizare termică trebuie să fie prelucrat, datorită stratului de aderență care influențează în mod negativ identificarea unui defect, în concluzie curenți turbionari se pretează doar la straturi subțiri, prelucrate după recondiționare.

CAPITOLUL 6 . CERCETĂRI TEORETICE PRIVIND ETAPELE DE APLICARE A PRINCIPIILOR DE MANAGEMENT AL CALITĂȚII ÎN PROCESELE CONTROLULUI NEDISTRUCTIV

Implementarea principiului îmbunătățirii continue din standardul 9001 aplicat pe procesele de control nedistructiv asociate recondiționării, utilizând metoda DMAIC (definire, măsurare, analiză, îmbunătățire, control), specifică analizei 6 Sigma pot satisface cu brio cerințele de mai sus . Prin aplicarea metodei se urmărește reducerea sau eliminarea de erori, defecte identificate într-un proces. Îmbunătățirea continuă presupune:analizarea și evaluarea situației existente pentru identificarea zonelor de îmbunătățit, stabilirea obiectivelor pentru îmbunătățire, căutarea soluțiilor pentru realizarea obiectivelor, masurarea, verificarea, analizarea și evaluarea rezultatelor implementării pentru determinarea nivelului de realizarea a obiectivelor. [65], [80]

Procedurile de control nedistructiv vor permite controlul tuturor produselor recondiționate prin pulverizare termică și vor oferi certitudinea calității produsului. Modelele teoretice vor putea constitui o bază de plecare privind studiul comportării tuturor mediilor, discontinuităților (strat cu porozitate) și pentru alte tipuri de aplicații. Adaptarea unor tehnici specifice de control nedistructiv menționate în capitolul 5 pentru evaluarea straturilor depuse prin pulverizare termică. [65] ,[80]

Consider că se va da o consistență deosebită conceptului de recondiționare, ca noile cunoștințe dobândite vor îmbogăți teoria ingineriei suprafeteor și vor conduce la schimbarea metodicii de proiectare în construcția de mașini prin certitudinea calității suprafetelor oferită de controlul defectoscopiei nedistructive.

Six Sigma îmbunătățește procesul PERFORMANCE de a critica procesele operaționale, care conduce la o mai bună utilizare a resurselor, scade variații și menține compatibilă calitatea procesului de producție. [65], [80]

Metoda DMAIC (Definire-Măsurare-Analiză-Îmbunătățire-Control)(figura 6.1.) din Six Sigma este concepută pentru a reduce sau elmina erorile, defectele identificate într-un proces. Un aspect al evaluării științifice a Six Sigma este de a compara critic principiile sale cu perspectivele teoriilor științifice stabilite. [65], [68], [80]

În acest capitol se va evidenția modul de folosire a metodei Six Sigma DMAIC, pentru a identifica și elmina eventualele defecte apărute în urma recondiționării pieselor și în cele din urmă pentru a controla și să susține schimbarea în urma aplicării acestei metode. Recondiționarea trebuie să asigure refacerea fiabilității și, prin intermediul ei, să conducă la creșterea disponibilităților mașinilor și utilajelor [52].

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

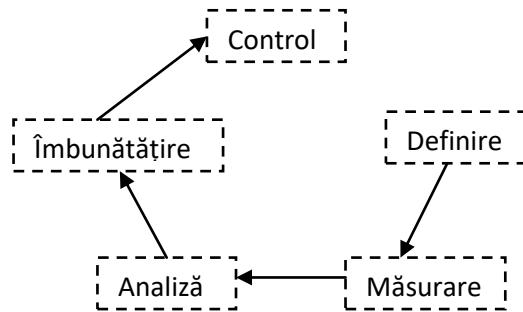


Fig. 6.1. Cele 5 etape ale metodologiei DMAIC [149]

Definire : Stabilirea obiectivelor de lucru

Această metodă vizează reducerea sau eliminarea erorilor, identifică defectele procesului, analizează și evaluatează situația existentă pentru a evidenția zonele care trebuie îmbunătățite, stabilind obiective pentru îmbunătățire, căutând soluții pentru atingerea obiectivelor, măsurarea, verificarea, analizarea și evaluarea rezultatelor implementării la determinarea nivelului de atingere a obiectivelor. [65]

Instrumentele necesare în faza de analiză Definire:

- definirea problemei;
- harta de proces la nivel înalt;
- diagrama SIPOC;
- structura DMAIC;
- vocea clientului.

Măsurare: măsurarea defectelor acolo unde apar

Intrusmentele abordate în această teză sunt:

- definirea defectelor;
- diagrama PARETO;
- schimburi de personal;
- activitatea de eliminarea neconformităților detectate;
- metoda de pregătire a suprafetei are urmărează să fie recondiționată.

La sfârșitul fazei de măsurare avem aspectele definite și putem analiza performanța inițială a procesului DMAIC. [65]

Analiză: Evaluarea datelor pentru găsirea obiectivelor și confirmarea cauzelor

În faza de analiză s-au dezvoltat teorii cauzale și s-au identificat cauzele neconformităților pentru a preveni reapariția lor. S-a aplicat metodele: Brainstorming, Ishikawa (figura 6.2.), Analiza statică și diagrama Pareto (figura 6.3.). Aceste metode au determinat cauzele posibile pentru care apar „defectele „, în piesele recondiționate. Odată ce problemele au fost identificate, echipa creează o listă de cauze posibile și acestea vor fi organizate pentru a vedea relațiile dintre cauză și efect.

Avantajele utilizării Diagrama Ishikawa:

- Este o metodă simplă;
- Prezintă vizual procesul;

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

- Permite determinarea cauzei fundamentale;
- Indică posibile cauze ale defectelor;
- Identifică posibile cauze ale defectelor;
- Selectarea unui defect sau a unei probleme pentru a găsi cauzele;
- Identifică zonele necesare pentru identificarea defectelor.

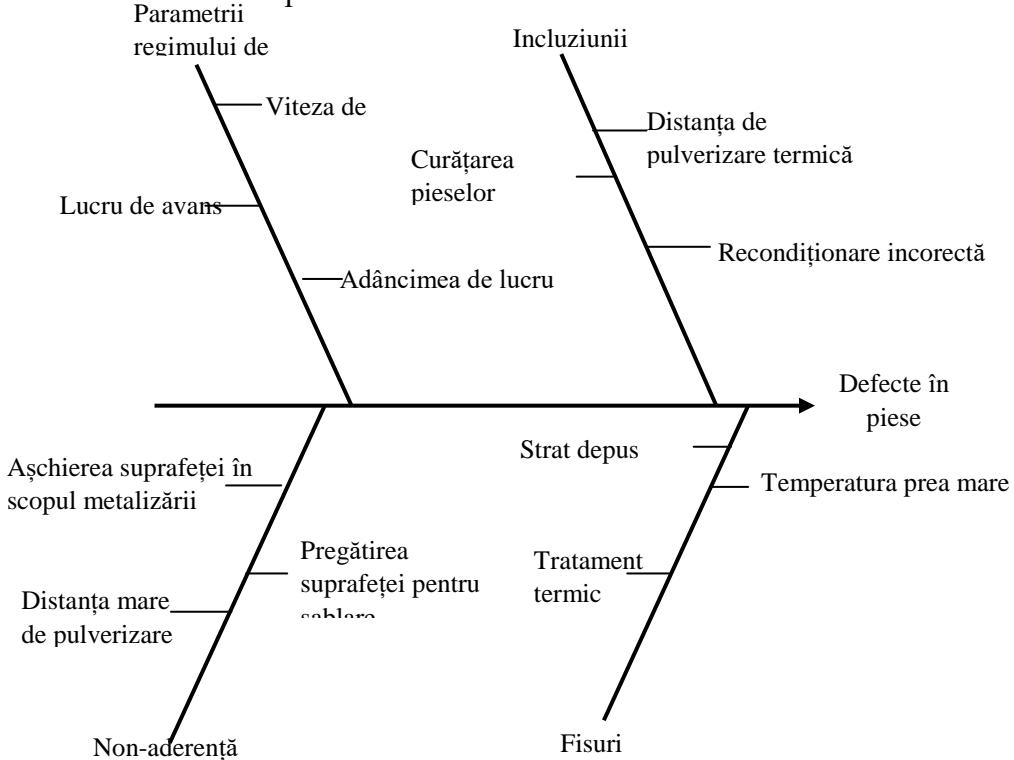


Fig. 6.2. Diagrama Ishikawa

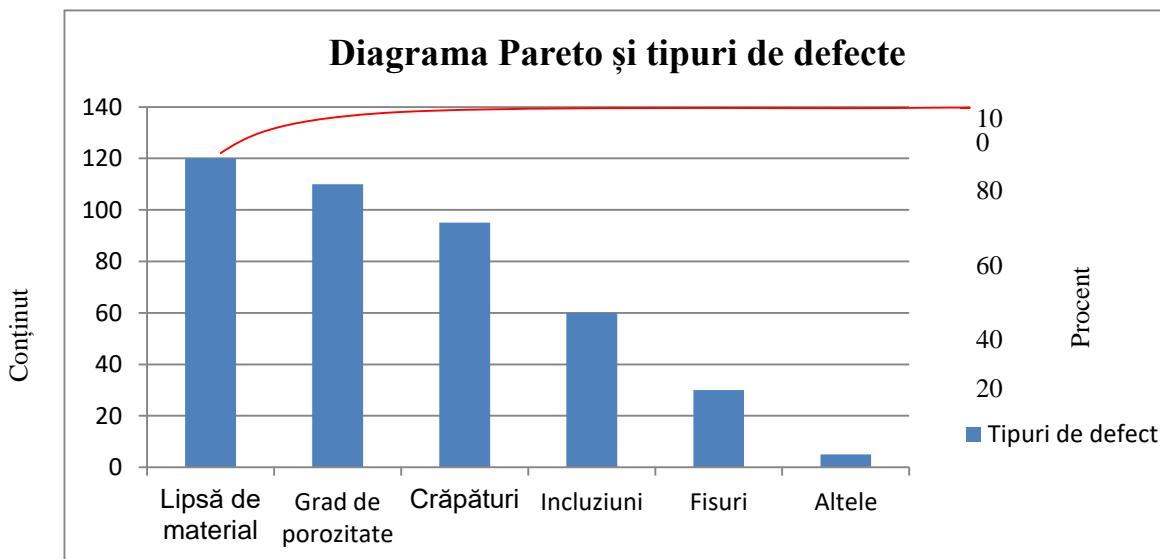


Fig. 6.3. Diagrama Pareto

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Conținut	120	110	95	60	30	5
Procent	28,3	26,5	21,2	15,6	6,3	1,2
Cât la %	28,3	53,8	80,2	90,3	92,3	100,0

Îmbunătătire : elaborare, implementare și evaluarea soluției care vizează cauzele principale identificate.

În analiza fazei de îmbunătătire se implementează și se evaluatează soluțiile orientate spre îmbunătățirea procesului de reconditionare prin eliminarea cauzelor. Generarea de soluții se bazează pe o analiză a ceea ce știm despre proces, implementarea măsurilor care ar trebui să aibă efecte neconforme adecvate care au avut loc. Se va stabili o procedură documentară pentru a defini cerințele: analiza neconformitărilor, determinarea și implementarea acțiunilor necesare și pentru a elmina potențialele neconformități ale cauzelor în vederea prevenirii apariției acestora.

Acțiunile de prevenire trebuie să fie potrivite pentru efectele unor posibile probleme:

- Determinarea neconformitărilor și a cauzelor potențiale ale acesteia;
- Evaluarea necesităților de acțiune pentru a preveni neconformitatea;
- Determinarea și implementarea acțiunilor necesare [80].

Rezultatul este detaliat cu un plan de acțiune care conține soluțiile identificate:

- Selectarea parametrilor procesului pentru reconditionare;
- Distanța de pulverizare să fie mai mică.

Controlul: se asigură că problemele au fost aproape eliminate, iar metoda se îmbunătășește.

Controlul asigură că problemele determinate și noile metode pot fi îmbunătășite în timp. Din punct de vedere al controlului calității, dezvoltarea standardelor și a procedurilor interne de lucru reprezintă o soluție pentru îmbunătățire.

Punerea în aplicare a acestei metode au redus volumul defectelor din piesele reconditionate sub 5% din volumul lor:

- Determinarea defectelor în cazul pieselor reconditionată poate fi văzută din diferite abordări;
- Calculul costului reconditionării trebuie să țină cont de cheltuielile care conduc la : mai puțin material, consum redus de energie, economia muncii, economia instrumentelor;
- Disponibilitatea obținută prin reconditionarea în legătură cu pierderea timpului pentru o nouă achiziție;
- Din punct de vedere al timpului în procesul de reconditionare, lucrătorii implicați pot fi concentrați asupra altor domenii;
- Reducerea neplăcerilor care apar în timpul proceselor de schimbare prin pulverizare (inhalarea vaporilor și prafului fin care provoacă boli profesionale, explozii de praf) [52].

Metoda specifică DMAIC din metodologia Six Sigma a fost aleasă pentru a rezolva problema defectelor rezultate din reconditionarea părților uzate, ceea ce a dus la minimizarea costurilor materialelor, energiei, forței de muncă, a uneltelor.

Prin aplicarea diagramei Ishikawa au fost stabilite relațiile existente între efecte și cauze, care au permis identificarea de cauze a defectelor apărute la piesele reconditionate, prin



UNIUNEA EUROPEANA

GUVERNUL
ROMÂNIEIMINISTERUL
EDUCAȚIEIFondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013

OPOSDRU

MINISTERUL
EDUCAȚIEI ȘI
CERCETĂRII ȘTIINȚIFICEUNIVERSITAS
GALATIENSIS

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

diagrama Pareto s-au reprezentat grafic defectele, cu scopul de a sigura o echipă de lucru de a acorda prioritate obiectivelor pe baza semnificației acordate.

În concluzie, abordarea metodei Six Sigma DMAIC- prezintă o metodă dovedită ce permite îmbunătățirea serviciilor printr-un proces structurat, prin analiza rezultatelor care se ocupă cu neconformități și introducerea îmbunătățiri procesului de recondiționare.

CAPITOLUL 7. CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PRIVIND ELABORAREA TEZEI DE DOCTORAT

7.1 Concluzii finale

Cercetările experimentale în cadrul prezentei teze de doctorat se referă la procesul tehnologic de depunere în jet de plasmă. S-au efectuat analize prin element finit la straturile depuse din : AlMg5 (stratul de bază oțel), Al₂O₃ (stratul de bază oțel) și Zr₂O₃+ 20% Y₂O₃ (stratul de bază oțel) și au fost examinate prin ultrasunete și curenți turbionari, iar stratul depus Cr₂O₃ (statul de bază oțel) a fost examinat prin termografie în infraroșu, prin Phased Array și curenți turbionari, în vederea obținerii neconformităților dintre stratul depus și cel de bază.

Ca urmare a consultării bibliografice s-a prezentat principalele tehnici și metode de pulverizare termică pentru a evidenția caracteristicile materialelor depuse în funcție de domeniul de utilizare. Depunerea este alcătuită din două straturi protectoare: primul are rolul de a crea o interfață aderentă, iar cel de al doilea este stratul de aderență.

În urma examinării nedistructive, s-a constat ca piesa care a avut stratul depus cu oxid de crom, cu o grosime de 0,35 mm nu a prezentat neconformități. Ca urmare a examinării putem modifica grosimea stratului depus, distanța de pulverizare pentru a elimina neconformitățile apărute între stratul depus și cel de bază.

Pentru a determina variația temperaturii în timp a straturilor depuse, s-au realizat structurile geometrice ale epruvetelor în programul Ansys. Au fost definite proprietățile de material pentru materialul de bază și stratul depus. S-a efectuat o analiză termică și statică.

Ca urmare a rezultatelor prin metoda elementelor finite s-a constat:

- caracteristicile straturilor pulverizate pot fi modificate;
- grosimea straturilor depuse;
- proprietățile straturilor depuse depind de natura materialului de acoperire, tehnologia de pulverizare, astfel aderența stratului este afectată în mod diferit.

7.2 Contribuții originale

7.2.1 Contribuții teoretice originale

Contribuțiile teoretice se finalizează prin :

- analiza stadiului actual a principalelor tehnici și metode de pulverizare termică;
- proprietățile straturilor depuse prin pulverizare termică;

- metode de examinare nedistructive;
- inspecția straturilor subțiri cu curenți turbionari.

7.2.3 Contribuții experimentale originale

Contribuțiiile experimentale se finalizează prin :

- obținerea rezultatelor experimentale privind determinarea neconformităților dintre stratul depus și cel de bază, utilizând metodele de examinare prin ultrasunete, termografiere în infraroșu, Phased Array și curenți turbionari;
- obținerea rezultatelor experimentale privind determinarea variației de temperatură în timp a straturilor depuse prin pulverizare termică, s-a efectuat o analiză termică și statică, utilizând software-ul Ansys;
- stabilirea grosimii optime a stratului depus.

Rezultatele examinării prin ultrasunete, termografiere în infraroșu și phased array demonstrează că tehnica curenților turbionari permite detectarea defectelor dintre materialul de bază și stratul depus. Existența de fisuri la interfață dintre materialul de bază și cel depus duc la scăderea drastică a aderenței.

În prezent, tehnicii nedistructive sunt mai frecvent utilizate pentru a testa produsele, datorită prevalenței creștere a controalelor de calitate. În majoritatea cazurilor, criteriile de admisibilitate a defectelor sunt stabilite prin standarde, prescripții tehnice sau alte documente tehnice cu caracter normativ. În aplicarea metodelor de examinare nedistructivă, există limitări privind posibilitatea de folosire a acestora, pentru a se realiza o eficiență maximă la punerea în evidență a eventualelor defecte, este recomandabilă folosirea combinată a diferitelor metode de examinare nedistructivă.

În concluzie principalele defecte ce apar frecvent la procedeele de recondiționare sunt:

- lipsa de aderență dintre primul strat depus și materialul de bază;
- lipsa de aderență dintre straturile materialului de adaos datorate grosimii necesare;
- porozitatea mare;
- proprietățile straturilor depuse depind de natura materialului de acoperire, de tehnologia de pulverizare cât și de respectarea parametrilor procesului de pulverizare.

Neconformitățile apărute în stratul depus, necesită efectuarea unor tratamente termice de retopire, cu jet de plasmă, în vederea închiderii porilor și fisurilor, dar și creșterea duratăii și rezistenței la coroziunea chimică a stratului depus.

Procedeul de metalizarea prin pulverizare cu jet de plasmă este aplicat în numeroase domenii și la o scara destul de largă. Avantajul principal al acesteia, îl reprezintă calitatea foarte bună a stratului depus și aderența la materialul de bază.

7.3. Direcții de cercetare ulterioară

Direcțiile de cercetare ulterioară: prin studiile teoretice și cercetările experimentale ce s-au desfășurat în cadrul Tezei de Doctorat "Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate", consider că se va da o consistență deosebită conceptului de condiționare/recondiționare, că noile cunoștințe dobândite vor îmbogăți teoria ingineriei suprafeteelor și vor conduce la schimbarea metodicii de proiectare în construcția de mașini prin certitudinea calității suprafeteelor oferită de controlul defectoscopie nedistructive.

BIBLIOGRAFIE

1. Andrew Siao Ming Ang, Noppakun Sanpo, Mitchell L. Sesso, Sun Yung Kim, and Christopher C. Berndt-Thermal Spray Maps: *Material Genomics of Processing Technologies*, Journal of Thermal Spray Technology, 1170—Volume 22(7) October 2013-ASM International];
2. Althouse, A.ș.a *Modern welding*, Ed Goodhear-Willcox, 1965;
3. Amza Gheorghe, *Tratat de tehnologia materialelor*, Editura Academiei Romane, Bucuresti,2002;
4. ASM International Handbook Committee. *Metals Handbook, Ninth Edition, Volume 17, Nondestructive, Evaluation and Quality Control*. ASM International, Metals Park, Ohio, 1989;
5. Alexandrina Mihai – *Tehnici si metode de control* ;
6. Alexandrina Mihai, *Examinări nedistructive*, Editura Printech, București, 2009;
7. Alina Elena BUŞARU, **Mariana GORAN**, Roxana Alexandra GHEȚĂ, Gabriel Marius DUMITRU, Gabriel IACOBESCU,, *Experimental research on structural hardening of the maximum stressed crankshafts surfaces obtained by thermal spraying*, UPB Scientific Bulletin, Series D, Vol. 79, Iss. 4, 2017;
8. Alina-Elena Buşaru, **Mariana Goran**, Gabriel Marius Dumitru ; *THERMAL SHOCK ANALYSIS USING THE FINITE ELEMENT METHOD FOR A GIVEN SPECIMEN*; TEHNOMUS JournalNew Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies, 2015 ; ISSN-1224-029X/E - ISSN-2247-6016/No 22-89-93 pag
9. Alina-Elena BUŞARU, Andreea-Diana MOROŞANU, **Mariana GORAN**, Gabriel Marius DUMITRU, Liliana HUDEA; *Studies and research on design of efficiency technological processes by estimating the risks*; CONFERENCE PROCEEDINGS OF TH E ACADEMY OF ROMANIAN SCIENTISTS/PRODUCTICA SCIENTIFIC SESSION 29 MAY , 2015/VOLUME 7 2015 NUMBER 1/ISSN 2067 – 2160 /Editura ACADEMIEI OAMENILOR DE ȘTIINȚĂ DIN ROMÂNIA-București; 35-44;
10. Andreea-Diana MOROŞANU, Alina-Elena BUŞARU, **Mariana GORAN**, Marius Gabriel DUMITRU; *Overcoming drift- methods of maintaining platinum resistance thermometers used in industrial processes*; <http://aos.ro/editura/publicatii-periodice/proceedings/vol-7-no-1-2015/> CONFERENCE PROCEEDINGS OF TH E ACADEMY OF ROMANIAN SCIENTISTS/ PRODUCTICA SCIENTIFIC SESSION 29 MAY , 2015/ VOLUME 7 2015 NUMBER 1/ ISSN 2067 – 2160/ Editura ACADEMIEI OAMENILOR DE ȘTIINȚĂ DIN ROMÂNIA- București ; 59-66;
11. A.K. Jha, Arati Gachake, B.K. Prasad, Rupa Dasgupta, M. Singh, and A.H. Yegneswaran, *High Stress Abrasive Wear Behavior of Some Hardfaced Surfaces Produced by Thermal Spraying*, JMEPEG (2002) 11:37-45;
12. A. Berkovits and D. Fang, "Study of Fatigue Crack Characteristics by Acoustic Emission," *Eng. Fracture Mech.*, 51 (3) (1995), pp. 401–416;
13. Bolelli G, Rauch J., Cannillo V., Killinger A., Lusvarghi L., Gadow R. – *Journal of Thermal Spray Technology, Microstructural and tribological investigation of High-Velocity Suspension Flame Sprayed (HVSFS) Al₂O₃ coatings*, vol. 18, nr. 1, p. 35-49, ISSN 1544-1016, 2009;
14. Bae, J., Kim, S., *Hot wire inspection using eddy current*. In Proceeding of the 18th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Budapest, Hungary, May, 2001;
15. B. Hull and V. John. *Nondestructive Testing*. Macmillan Education Ltd., London, England, 1988;

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

16. Brandt, R., Neuer, G., Worner, B. –*Thermophysical properties of plasma sprayed materials*, Revue International des hautes Temperatures et Refractaires, 1979, vol. 16;
17. Bulasius, D.- *Tehnici de investigare a proceselor de deteriorare*, Bucuresti, Editura Tehnica, 1990;
18. Basil R. Marple and Joël Voyer, *Improved Wear Performance by the Incorporation of Solid Lubricants during Thermal Spraying*, JTTEE5 10:626-636, ASM International, 2000;
19. Bhushan B., Gupta B. – ,*Hendbook of Tribology – Materials, Coatings and Surface Treatment*', Krieger Publishing Company – Malabar, Florida, 1997;
20. Cartier M (2003) *Handbook of surface treatments and coatings*. ASME Press, New York, NY/3;
21. Chattopadhyay R (2001) *Surface wear*. ASM International, Materials Park, OH];
22. C. Castanedo, *Quantitative subsurface defect evaluation by pulsed phase thermography: deptretrieval with the phase*, PhD. Thesis, Univ. Laval-Quebec, 2005;
23. Cristina Pupăză, Radu Constantin Parpală, *Modelarea și analiza structural cu ANSYS Workbench (Modeling and structural analysis with ANSYS Workbench)* Editura Politehnica, București, 2011;
- 24.C.V. Dodd, W.E. Deeds, and W.G. Spoeri, *Optimizing Defect Detection in Eddy Current Testing*, Mater. Eval, March 1971, p 59-63;
- 25.C.V. Dodd and W.E. Deeds, *Analytical Solutions to Eddy-Current Probe-Coil Problems*, /. Appl. Phys., Vol 39 (No. 6), May 1968, p 2829-2838;
26. *Characterization of thermal spray coatings by instruments indentation and scratch testing*: Part I, Jiri Nohava, No. 28, April 2009;
- 27.Ciobanu, E.V.-Referat nr. 1- *Stadiul actual al tehnologiilor de deformare a straturilor superficiale*, Bucuresti, 1999;
- 28.Conta, T., Vaiteanu D.- *Tehnologii moderne de metalizare*, INID, 1975;
- 29.C. Bathias, "The Use of Experimental Techniques for Description of Fatigue Damage, Subcritical Crack Growth Due to Fatigue, Stress Corrosion and Creep," Lectures from a course held at the Joint Research Center, Ispra, Italy (1984), pp. 85–107;
- 30.Calea, Gheoghe-Cercetari teoretice si experimentale asupra straturilor ceramic subtiri depuse pe piese de masini, Universitatea Politehnica din Bucuresti, Centrul de Cercetare CAMIS- 1997;
- 31.Calea, Gheorghe- *Consideratii privind proprietatile mecanice si fizice ale produselor ceramic*, Relansarea Economica Sociala, Braila, 2001;
- 32.Calea, Gheorghe-*Consideratii privind modelarea termica la depunerea de straturi subtiri de Al 203 in jet de plasma*, Rev. Constructii de Masini, Bucuresti, 2001;
33. Davis Joseph R. – *ASM International. Thermal Spray Society Training Committee, Handbook of thermal spray technology*, Ed. ASM International, 2004;
34. Dumitache, Fl., Luchian, C. Garleanu, Dumitru Cicic,ss.a.-*Tehnologia si prelucrarea materialelor*, Indrumator de laborator, Editura Printech, 2007;
35. Daniela-Lucia Acasandrei (Chicet)- *Teză de Doctorat, Studii asupra creșterii durabilității lagărelor prin utilizarea depunerilor de straturi subțiri prin pulverizare termică*, Iași, 2011;
36. Drimer, D. – *Recondiționarea, Diapositive, Animaflim*, București, 1980;
37. DSMTS-0072.4 – *Chromium Oxide Thermal Spray Powders*, 2014 Oerlikon Metco ;
38. D. J. Hagemair. *Fundamentals of Eddy Current Testing*. American Society for Nondestructive Testing, Inc., Columbus, Ohio, 1990;
39. Dehelean D., Markocsan N. – *Procedee de acoperire prin pulverizare termică în jet de plasmă*, Timisoara, 1998;

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

40. Deteriorarea suprafetelor prin oboseala de contact, Rodica T. Munteanu, Buletinul AGIR nr. 1/2010;
41. Dumitru, G.M. s.a.- *The infrared thermography examination of the materials obtained by metal spraying-* International Conference Advanced Manufacturing Technologies CITAF 2003, Bucharest, 2003;
42. Dan Florin Nițoi, Gheorghe Amza, *Modelarea și simularea proceselor tehnologice*, Editura A.G.I.R., București 2009;
43. Dumitru, G.M. s.a.- *Method and devices for the exfoliating test of the coating obtained by metalspraying-* International Conference Advanced Manufacturing Technologies CITAF 2003, Bucharest, 2003;
44. Eaton , N.E. Novak, R.C.- *A study of the effects of variation in parameters on the strength and modulus of plasma sprayed zirconia*, *Surface and Coatings Technology*, 1986, vol 27;
45. Elena-Madalina BRATU (Militaru), Andreea-Diana MOROȘANU, **Mariana GORAN**, Gabriel-Marius DUMITRU, Research of ndt examination of the turbine components using liquid penetrant inspection- TEHNOMUS JournalNew Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies, 2017,ISSN-1224-029X; E - ISSN-2247-6016, No. 24-183-188 pag;
46. E.M. Leivo, M.S. Vippola, P.P.A. Sorsa, P.M.& Vuoristo, and T.A. Mantyla, *Wear and Corrosion Properties of Plasma Sprayed Al2O3 and Cr2O3 Coatings Sealed by Aluminum Phosphates*, JTTEES 6:205-210, International Volume 6(2) June 1997, 205;
47. Eddy Current Testing at Level 2: *Manual for the Syllabi Contained in IAEA- TECDOC- 628. Rev. 2, "Training Guidelines for Non Destructive Testing Techniques"*- International Atomic Energy Agency Vienna 2011, Printed by the IAEA in Austria February 2011;
48. Eddy Curent, Classroom Training Handbook, Second Edition. American Society for Nondestructive Testing. Inc. Columbus, Ohio, 1979;
49. Fauchais, P.L, Heberlein, J.V.R, Boulos, M. *Thermal Spray Fundamentals From Powder to Part-Overview of Thermal Spray*, 2014;
50. Frey H, Khan HR , *Handbook of thin film technology*. Springer, Berlin, 2013;
51. *Flattening Mechanism in Thermal Sprayed Nickel Particle Impinging on Flat Substrate Surface*, M. Fukumoto and Y. Huang, JTTEE58: 427-432, ASM International, 1999;
52. Gabriel Marius Dumitru, Constantin Radu, Bogdan Dumitru- *Recondiționarea și Repararea produselor*, Editura Printech, București 2010;
53. Goyal Rakesh, Sidhu Buta Singh, Grewal J.S.; “*Surface Engineering and Detonation Gun Spray Coating*”, International Journal of Engineering Studies, Volume 2, Number 3 (2010), 351-357;
54. G. M. Carlomagno, P. G. Berardy, *Unsteady Thermo-topography in Non-Destructive Testing*, Proceedings of the III Infrared Information Exchange, C. Warren ed., St. Louis, 1976, pp.33-40;
55. G.M. Dumitru, R. Constantin, B. Dumitru, *Recondiționarea pieselor în construcția de mașini*, Editura Printech București, 2008;
56. Gorecka-Drzazga, A., Golonka, L., Pawłowski, L., Fauchais, p.- *Aplication of the plasma spraying process to the production of metal-ceramics substrates for hybrid microelectronics*, Revue Internationale des Hautes Temperatures et Téfrahaires, 1984, vol.21;
57. Graded Plasma Spraying of Premixed Metal- *Ceramic Powders on Metallic Substrates*, C.R.C. Lima and R. –E. Trevisan, JTTEE5 6:199-204 ASM International;
58. G. Caprino and R. Teti, "Quantitative Acoustic Emission for Fracture Behavior of Center-Hole GFRP Laminates," J. Comp. Mat., 28 (13) (1994), pp. 1237–1249;
59. Herman, s.a. – *Thermal Spray Coatings- Special Welding and Joining* Tofies;

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

60. *Handbook of thermal spray technology*, Davis J. R. (Ed), ASM International, Materials Park, OH, USA, 2004;
61. Ingham H.S., Shepard A.P., *METCO Flame Spray Handbook, vol. II*, Metco Inc., 1969;
62. Itoh, Y., Bessho, K.- *Cracking parameter of high strength steels related to haz cracking*, Journal of Japan Welding Society, 2008;
63. Ingham H.S., Shepard A.P., *METCO Flame Spray Handbook, vol. I*, Metco Inc., 1969;
64. Ingham H.S., Shepard A.P., *METCO Flame Spray Handbook, vol. III*, Metco Inc., 1969;
65. Irina Severin, M. Voicu, *Ingineria Calității*, Editura PRINTECH, București, 2005;
66. Joseph R. Davis, *Handbook of Thermal Spray Technology*, ASM International, 2004;
67. J. Musil, H. Polakova, J. Suna, J. Vlcek: *Surface and Coatings Technology*, (2004);
68. Jeroen deMast n, JoranLokkerbol, *An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving*, Int. J. Production Economics 139 (2012) 604–614
69. Jasim, K. M., Rawlings, R.D., West, D.R.F., *Characterization of plasma sprayed layers of fully yttria stabilized zirconia modified by laser sealing*, Surfaceand Coatings Technology, vol 53, 1992;
70. Jeehoon Ahn, Byoungchul Hwang, and Sunghak Lee, *Improvement of Wear Resistance of Plasma-Sprayed Molybdenum Blend Coatings*, JTTEES 14:251-257, 2004;
71. Jiri Nohava, *Characterization of thermal spray coatings by instrumented indentation and scratch testing: Part I*, No. 28 April 2009, www.csm-instruments.com;
72. Jiri Nohava, *Characterization of thermal spray coatings by instrumented indentation and scratch testing Part II: Indentation of plasma sprayed coatings*, No. 8, 2010 , www.csm instruments.com;
73. J.F. Boudet, S. Ciliberto, and V. Steinberg, "Dynamics of Crack Propagation in Brittle Materials," J. de Physique II, 6 (1996), pp. 1493–1516;
74. Kadyrov, E.- *Thermal spraying processes – Advances Materials and Processes*, Nr. 8, 1995;
75. Khan, M.A., s.a.-*Infrared Thermography as a Control for the welding Process*. Procedings of SPIE-, The International Society for Optical Engineering 446:154-63/ 1994;
76. L. Pawłowski, *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings*, Wiley, Chichester, 2008];
77. Lindgren, L. E. *Finite Element Modeling and Simulation of Welding. Part 1: Increased Complexity*. Journal of Thermal Stresses, 2001;
78. Mihai Alexandrina- *Termografia în infraroșu-fundamente*, Editura Tehnică , Bucuresti, 2005;
79. **Mariana Goran**, A.E Bușaru, M.E Militaru, G.M Dumitru, L. Hudea, *Modeling process control by Eddy Currents of thermal sprayed coatings*, Conference Proceedings of the Academy of Romanian Scientists PRODUCTICA Scientific Session Vol. 7, Nr 1, Editura Academiei Oamenilor de Știință din România, București, 2015;
80. **Mariana Goran**, Liliana HUDEA, Madalina-Elena Militaru, Gabriel Marius Dumitru , *Applying the management principles of quality in the non-destructive control processes associated to reconditioning*, The 7th International Conference of Management and Industrial Engineering ICME 2015- Management-The Key Driver for Creating Value; EDITURA NICULESCU, VOLUMUL 7/ 22-23 octombrie, 2015/ISSN-L 2344-0937 ; pag. 482-487;
81. Mitsue Koizumi, Masao Nishihara, *Isostatic pressing: technology and applications*, Springer, 1991;
82. **Mariana Goran**, Alina-Elena Bușaru, Andreea-Diana Moroșanu, Gabriel Marius Dumitru, *Static thermal analysis using finite element method for a given specimen reconditioned*, The 7th International Conference of Management and Industrial Engineering ICME 2015- Management-The

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

Key Driver for Creating Value; EDITURA NICULESCU, VOLUMUL 7/ 22-23 octombrie, 1015/ISSN-L 2344-0937 ; 167-174;

83. **Mariana GORAN**, Alina Elena BUŞARU, Roxana Alexandra GHETĂ, Laurenția BICHIR, Gabriel Marius DUMITRU, Gabriel IACOBESCU, *The interface characterization for ceramic layers coated by thermal spraying-* U.P.B. Sci. Bull., Series D, vol. 79, Iss 2, 2017, 115-126 pag;

84. Mariana SOLOMO, *Improving properties of metallic parts covered with thin layers by isostatic after working process*, BRASOV, 2011;

85. M.L. Burrows, "A Theory of Eddy Current Flaw Detection," University Microfilms, Inc., 1964;

86. Mihai VOICU, Alexandrina MIHAI, Gabriela MATEIASI, „*Indrumar pentru proiectarea inspectiei produsului*”, 2003 ;

87. Mihăilescu V., Nițescu N., *Elaborarea de tehnologii tip pentru fabricație și recondiționări prin pulverizare termică în industrie cu materiale și echipamente indigene; faza 4; elaborarea tehnologii pentru materiale uzuale de pulverizare în aplicații curente cu flacără oxiacetilenică și arc electric*, I.C.T.C.M., București, 1991;

88. Mihăilescu V., Nițescu N., *Elaborarea de tehnologii tip pentru fabricație și recondiționări prin pulverizare termică în industrie cu materiale și echipamente indigene; faza 1; experimentări de laborator pentru procedeele și materialele uzuale de pulverizare în aplicații curente cu flacără oxiacetilenică și pulbere*, I.C.T.C.M., București, 1990;

89. M. Rădoi, G. Rntz, E. Baciu, G. Crivac, C. Dinicica, I. Dragomir, *Recondiționarea pieselor*, Editura Tehnică, București, 1986;

90. Michel Cartier, *Handbook of surface treatments and coatings*, ASME Press, New York, 2003;

91. Marcu, v., *Metalizarea prin pulverizare*, Bucuresti, Editura Academiei Romane, 1965;

92. Molnar R., Markocsan N.- *Acoperiri prin pulverizare termică cu pulberi ceramici, Raport de cercetare la contractul 17/A1*, Timișoara, 1996;

93. N. Răduț, P. Coman, E. Siteanu, *Recondiționarea pieselor*, Editura Militară, București, 1983;

94. Nanu, A.- *Tehnologia materialelor*, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1983;

95. *New phase formation in Al₂O₃- based thermal spray coatings*, M. Uma Devi, Ceramics International 30(2004) 555-565;

96. Neculai Huzum, Ing. Gabriel Rantz, Ing. Emilian Baciu, Ing. Gheorghe Crivac, Ing. Constantin Dinicica, Ing. Ion Dragomir, *Reconditionarea pieselor* Ed. Tehnica, 1986;

97. Oswald A., Lehmann R., *Pulverflammspritzen von Al₂O₃*, Schweiss Technik, 04;

98. P. Servais, N. Gerlach, *Development of a NDT method using thermography for composite inspection on aircraft using military thermal imager, Proceedings of the Fift Workshop, Advances in Signal Processing for Non Destructive Evaluation of Materials*, Quebec City, Canada, August 2005, pp. 197-202;

99. P. Motoiu, A. Buzaianu, C. Munteanu, M. Ceciu, M.A. Din, O. Trusca, *Pulberi pentru aplicatii multifunctionale in tehnologiile de metalizare termica*, Ed. PRINTECH, 2009;

100. P.S. Pande, R.P. Neuman, *SIX SIGMA*, Editura ALL, 2009;

101. Pangborn, R.J. Beaman, D.R., *Laser glazing of sprayed metal coatings*, Journal of Applied Physics, vol 51, 1980;

102. Pawłowski L., *The science and engineering of thermal spray coatings*-J.Wiley & Sons, New York, 1994;

103. Pawłowski L., Martin, C. , Fauchais P.- *The applications of infrared thermography in testing the coatings and optimizing the plasma spraying process*, 1st International Thermal Spraying Conference, essen, Germany, 1983, 2-6 may;

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

104. R. McPherson, The Relationship Between the Mechanism of Formation, *Microstructure and Properties of Plasma-Sprayed Coatings*, Thin Solid Films, 1981, 83(3), p 297-310;
105. Rajasekaran B., Sundara Raman Ganesh S., Joshi S.V., Sundararajan G.; “*Influence of detonation gun sprayed alumina coating on AA 6063 samples under cyclic loading with and without fretting*”, Tribology International, Volume 41, (2008), 315–322;
106. Robert C. McMaster, *Nondestructive Testing Handbook*, First Edition, American Society for Nondestructive Testing, Inc., Columbus, Ohio, 1959;
107. R. Halmshaw, *Nondestructive Testing*, Edward Arnold, 1987;
108. Radoi, M. s.a., Reconditionarea pieselor, Editura Technica, Bucuresti, 1986;
109. Radus, M., s.a.- Reconditionarea pieselor, Editura Militara, Bucuresti, 1983;
110. Roxana-Alexandra GHEȚĂ, **Mariana GORAN**, Alina- Elena BUŞARU, Laurenția BICHIR, Gabriel Marius DUMITRU, *Characterization of Cr₂O₃ adhesion properties by destructive testing in accordance with the APS metal spraying process parameters*- The 6th International Conference on Materials Science and Technologies – RoMat 2016;
111. Rodica T. Munteanu, *DETERIORAREA SUPRAFETELOR PRIN OBOSEALA DE CONTACT*, Buletinul AGIR nr. 1/2010;
112. S. Fantassi, M. Vardelle, A. Vardelle, and P. Fauchais, *Influence of the Velocity of Plasma-Sprayed Particles on Splat Formation*, J. Therm. Spray Technol., 1993, 2(4), p 379-384);
113. Sulzer Metco, *Thermal Coating Processes-Catalogue*, 1996;
114. Sulzer Metco, *An Introduction to Thermal Spray*;
115. Subu, T., ș.a.- *Încărcarea prin sudare și metalizare pentru recondiționarea pieselor și fabricarea de piese noi*- ISMR, 1992;
116. Seiji Kuroda, Jin Kawakita, Makoto Watanabe & Hiroshi Katanoda, *Science and Technology of Advanced Materials, Warm spraying—a novel coating process based on high-velocity impact of solid particles*, 2008;
117. Safta Voicu Ionel, Safta Voicu Ioan - *Defectoscopie nedistructivă industrială*, Editura Sudura Timisoara, 2001;
118. Satke von Wolfgang, Kretzschmar Eberhard, Doring Wolfgang, *Pulver-Flammspritzen*, ZIS-Mitteilungen, nr. 9, 1985;
119. *Surface and coatings technology*, Vol 205, Issues 17-18, 25 May 2011, pag 4192-4197;
120. V. Anghel, M. Găvan, N. Constantin, Șt. Sorohan, *Applications of Lock in Thermography in NDE of Composite Materials*, in *Proceedings of the Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics and Session of the Commission of Acoustics*, May 2008, pp. 481-486;
121. V.S Cecco, S. P. Sullivan, J. R. Carter, and L. S. Obrutsky, *Innovations in Eddy Current Testing, Enginrring Technologies Division, Nondestructive Testing Development Branch*, Chalk River Laboratories, Chalk River, Ontario, 1995;
122. Vasile Marcu, *Metalizarea prin pulverizare*, Editura Academiei Române, București, 1963;
123. Vermesan G., Vermesan E., Jichisan-Matiesan D., Cretu A., Negrea G., Vermesan H., Vlad M.– *Introducere în Ingineria Suprafetelor*, Colectia Universitaria, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1999;
124. Voda. V. Gh. *Controlul durabilitatii produselor industriale*, Editura Technica, Bucuresti, 1981;
125. V.S. Cecco, G. Van Drunen, and F.L. Sharp, *Advanced Manual For Eddy Curent Method*. Canadian General Standards Board , Ottawa, Canada, 1986;
126. V. Berinde, *Recuperarea, reconditionarea si refolosirea pieselor*. Ed. Tehnica Bucuresti, 1986;

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

127. T.R. Schmidt, *The Remote-Field Eddy Current Inspection Technique*, Mater. Eval, Vol 42, Feb 1984;
128. *Thermal Spray Materials Guide*, Issued February, 2006;
129. Tomescu, D., s.a.- *Reconditionarea si marirea rezistentei la uzura a organelor active de la masinile agricole prin depunere de aliaje dure*, Bucuresti, Ed. Cres, 1971;
130. Turcker, Jr., R.C.-*Plasma and detonation gun deposition techniques and coating properties*, in: Deposition Technologies for Film and Coatings, ed. Bunshoh, R.F. (Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, USA), 1982;
131. *Thermal Spraying- Practice, Theory and Application*, American Welding Society Inc. Miami, S.U.A 1985;
132. Tudor A. – *Frecarea și uzarea materialelor*', Ed. Bren, 2002;
133. Yankee SJ, Salsbury RL, Pletka BJ (1991) *Quality control of hydroxylapatite coating: properties, processes and applications*. In: Bernecki T (ed) Thermal spray 1991. ASM International, Materials Park, OH, pp 475–483;
134. Yang Tan, *Thermal Design Microstructure-Based Property Assessment for Thermal Spray Coating Systems*, Stony Brook University, 2007;
135. X.P.V Maldague, *Non-destructive Evaluation of Materials by Infrared Thermography*, London, Springer-Verlag, 1993;
136. Wachtman J., Haber R., *New Technology in the CPI-Ceramic Films and Coatings*, Chemical Enginnering Progress, nr.1, 1986;
137. Witherspoon F.D., Massey D.W., Kincaid R.W., Whichard G.C., Mozhi T.A. – *Journal of Thermal Spray Technology, High Velocity Pulsed Plasma Thermal Spray*, vol. 11, nr. 1, p. 119- 128, ISSN 1544-1016, 2002;
138. Wang. D., Berndt, C.C.-*Anisotropic thermal expansion behaviour of thermally sprayed coatings*, 2nd. *Plasma Technik Gymposium, Lucerne*, Switzerland, 1991, June 5-7, vol2;
139. Neues in der Schweißtechnik 2001, Schweißen & Schneiden, Nr. 6, Germany, 2002;
140. <http://www.ts-klubi.fi/sivut/Suomeksi/Miniseminaari%206.11.2008/>
141. <http://www.fst.nl/systems/aps-plasma-thermal-spray-coating-system/>
142. <http://plasmajet.ro/>
143. <http://www.plasmapowders.com/>
144. SR EN ISO 12718: 2009- Examinari nedistructive. Examinarea prin curenti turbionari. Vocabular;
145. http://www.engineeringtoolbox.com/linear-expansion-coefficients-d_95.html
146. ThermoVision A40M, *Operator's Manual*, FLIR SYSTEMS, 2004.
147. *Advances in Phased Array , Ultrasonic Technology applications*, Olympus ,
148. www.mdpi.com/journal/sensors.
149. <http://www.dmaictools.com>
150. STAS 12509-86 *Metode de control nedistructiv. Clasificare și terminologie*.
151. SR EN ISO 15548-C : 2009-Examinari nedistructive. Aparatura pentru examinare prin curenti turbionari. Partea 1 : Caracteristicile aparaturii si verificarea acestuia
152. STAS 10785 – 79 *Defectoscopie cu curenți turbionari. Terminologie*.
153. STAS 12789 – 89 *Defectoscopie cu curenți turbionari. Controlul țevilor din materiale metalice neferomagnetice. Condiții tehnice generale*.
154. SR EN 657:2005–*Pulverizare termică: Terminologie, clasificare*.
155. STAS 11684/2-83: *Acoperiri termice prin pulverizare- Pregatirea suprafetelor*;

Evaluarea prin metode nedistructive a calității pieselor recondiționate

156. STAS 11684/4-83: *Acoperiri termice prin pulverizare- Determinarea rezistenței la aderență prin încercarea la forfecare;*
157. Catalog materiale de adaos- DUCTIL, 2007;
158. www.ansys.com
159. www.esab.com
160. www.heavyplate.com
161. ISO 14917:1999 Pulverizare termică, Terminologie. Clasificare;
162. SR EN 14665:2005 *Pulverizare termică. Acoperiri prin pulverizare termică. Reprezentare simbolică pe desene;*
163. ISO 12671:2012 *Pulverizare termică. Acoperiri prin pulverizare termică. Reprezentare simbolică pe desene;*
164. Schoop Max Ulrich, *Surface and Coatings Tehnology volume 220*, 15 aprilie 2013;
165. Alexandrina Mihai, Miha Voicu, Doru Păușan, Alexandru Dumitache-Rujinski, *Defectoscopie nedistructivă- Îndrumar pentru lucrări practice de laborator-ghid pentru proiectarea inspectiei produselor*, Editura Printech, 2007.

Listă lucrări publicate

Nr. crt.	Autorii / titlul lucrării științifice. data – anul	Categorie articol
1.	Alina-Elena Bușaru, Mariana GORAN , Gabriel Marius Dumitru ; <i>Thermal shock analysis using the finite element method for a given specimen</i> ; TEHNOMUS JournalNew Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies Year: 2015 ; BDI; Tehnomus Journal 2015/P - ISSN-1224-029X/E - ISSN-2247-6016/No 22-2015	BDI
2.	Alina-Elena BUŞARU, Andreea-Diana MOROŞANU, Mariana GORAN , Gabriel Marius DUMITRU, Liliana HUDEA; <i>Studies and research on design of efficiency technological processes by estimating the risks</i> ; CONFERENCE PROCEEDINGS OF THE ACADEMY OF ROMANIAN SCIENTISTS/PRODUCTICA SCIENTIFIC SESSION 29 MAY , 2015/VOLUME 7 2015 NUMBER 1/ISSN 2067 – 2160 /Editura ACADEMIEI OAMENILOR DE ȘTIINȚĂ DIN ROMÂNIA-București; 35-44;	Altele
3.	Mariana GORAN , Alina-Elena BUŞARU, Madalina-Elena MILITARU,Gabriel Marius DUMITRU, Liliana HUDEA; <i>Modeling process control by Eddy Currents of thermal sprayed coatings</i> ; CONFERENCE PROCEEDINGS OF THE ACADEMY OF ROMANIAN SCIENTISTS/ PRODUCTICA SCIENTIFIC SESSION 29 MAY , 2015/ VOLUME 7 2015 NUMBER 1/ ISSN 2067 – 2160/ Editura ACADEMIEI OAMENILOR DE ȘTIINȚĂ DIN ROMÂNIA-București ; 45-50;	Altele
4.	Andreea-Diana MOROŞANU, Alina-Elena BUŞARU, Mariana GORAN , Marius Gabriel DUMITRU; <i>Overcoming drift- methods of maintaining platinum resistance thermometers used in industrial processes</i> ; CONFERENCE PROCEEDINGS OF THE ACADEMY OF ROMANIAN SCIENTISTS/ PRODUCTICA SCIENTIFIC SESSION 29 MAY , 2015/ VOLUME 7 2015 NUMBER 1/ ISSN 2067 – 2160/ Editura ACADEMIEI OAMENILOR DE ȘTIINȚĂ DIN ROMÂNIA- București ; 59-66;	Altele

	Mariana GORAN, Alina-Elena Bușaru, Andreea-Diana Moroșanu, Gabriel Marius DUMITRU	
5.	<p><i>Static thermal analysis using finite element method for a given specimen reconditioned</i></p> <p>The 7th International Conference of Management and Industrial Engineering ICME 2015- Management-The Key Driver for Creating Value; EDITURA NICULESCU, VOLUMUL 7/ 22-23 octombrie, 1015/ISSN-L 2344-0937 ; 167-174;</p>	BDI în curs de indexare în baza de date ISI Thomson-Reuters
6.	<p>Mariana GORAN, Liliana HUDEA, Madalina-Elena Militaru, Gabriel Marius DUMITRU</p> <p><i>Applying the management principles of quality in the non-destructive control processes associated to reconditioning</i></p> <p>The 7th International Conference of Management and Industrial Engineering ICME 2015- Management-The Key Driver for Creating Value; EDITURA NICULESCU, VOLUMUL 7/ 22-23 octombrie, 2015/ISSN-L 2344-0937 ; pag. 482-487;</p>	BDI în curs de indexare în baza de date ISI Thomson-Reuters
7.	<p>Roxana-Alexandra GHEȚA, Mariana GORAN, Alina- Elena BUŞARU Laurenția BICHIR, Gabriel Marius DUMITRU</p> <p><i>Characterization of Cr₂O₃ adhesion properties by destructive testing in accordance with the APS metal spraying process parameters-</i> The 6th International Conference on Materials Science and Technologies – RoMat 2016</p>	BDI
8.	<p>Mariana GORAN, Alina Elena BUŞARU, Roxana Alexandra GHEȚA, Laurenția BICHIR, Gabriel Marius DUMITRU, Gabriel IACOBESCU, <i>The interface characterization for ceramic layers coated by thermal spraying-</i> U.P.B. Sci. Bull., Series D, vol. 79, Iss 2, 2017, 115-126 pag;</p>	BDI
9.	<p>Alina Elena BUŞARU, Mariana GORAN, Roxana Alexandra GHEȚA, Gabriel Marius DUMITRU, Gabriel IACOBESCU,, <i>Experimental research on structural hardening of the maximum stressed crankshafts surfaces obtained by thermal spraying</i>, UPB Scientific Bulletin, Series D, Vol. 79, Iss. 4, 2017;</p>	BDI

10.	<p>Elena-Madalina BRATU (Militaru), Andreea-Diana MOROȘANU, Mariana GORAN, Gabriel-Marius DUMITRU, <i>Research of ndt examination of the turbine components using liquid penetrant inspection- P -ISSN-1224-029X; E - ISSN-2247-6016, No. 24-2017</i></p>	BDI
-----	--	-----

Lucrări comunicate (susținute la conferințe)

Nr. crt.	Autorii /titlul lucrării științifice sau a referatului/ data – anul	
1	<p>Busaru Alina Elena, Goran Mariana <i>Thermal Shock Analysis Using The Finite Element Method For A Given Specimen</i> Prima ediție a Salonului "UGAL INVENT" 2014 Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați, România , 8 – 10 Octombrie 2014</p>	
2	<p>Mariana GORAN, Gabriel Marius DUMITRU <i>Evaluarea Prin Metode Nedistructive A Calității Pieselor Recondiționate</i> Conferinta de Inchidere a Proiectului PERFORM de la Universitatea “Dunarea de Jos” din Galati, 05-07 noiembrie 2015, Galati</p>	
3	<p>MODELING PROCESS CONTROL BY EDDY CURRENTS OF THERMAL Mariana GORAN, Alina-Elena BUȘARU, Madalina-Elena MILITARU, Gabriel Marius DUMITRU <i>Modeling process control by eddy currents of thermal sprayed coatings</i>, Conferința Proceedings of the Academy if Romanian Scientists PRODUCTICA, 29 mai 2015, București</p>	
4	<p>Mariana GORAN, Alina-Elena Busaru, Andreea-Diana Morosanu, Gabriel Marius Dumitru <i>Static thermal analysis using finite element method for a given specimen reconditioned</i> The 7th International Conference of Management and Industrial Engineering “Management in the Innovation Society” ICMIE, October 12th – 14th, 2017, Library Building, University POLITEHNICA of Bucharest</p>	
5	<p>Mariana GORAN, Iliana Hudea, Madalina-Elena Militaru, Gabriel Marius Dumitru <i>Applying the management principles of quality in the non-destructive control processes associated to reconditioning</i> The 7th International Conference of Management and Industrial Engineering “Management in the Innovation Society” ICMIE, October 12th – 14th, 2017, Library Building, University POLITEHNICA of Bucharest</p>	