

Opera suspicionată (OS)
Suspicious work**Opera autentică (OA)**
Authentic work

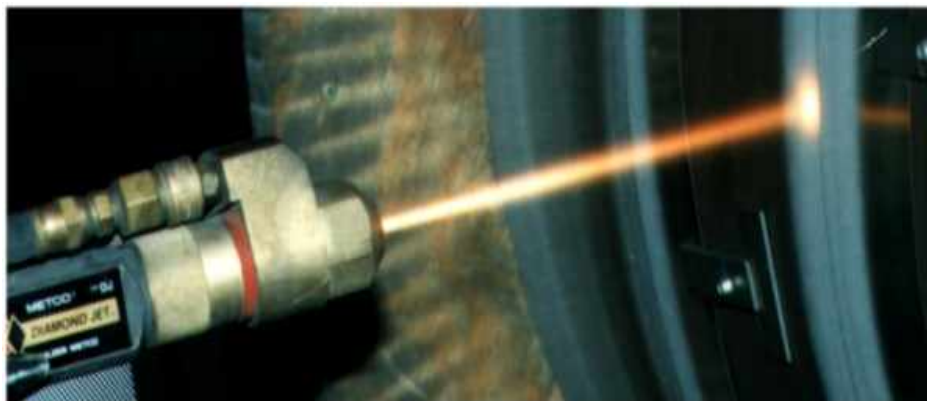
OS	Banu (Petrescu), D. Cercetări privind pulverizarea termică cu aplicații la recondiționarea și acoperirea preventivă a pieselor. Teză de doctorat, Universitatea Petrol-Gaze, Ploiești, 2008.
OA	Jumate, N., Cercetări asupra unor straturi superficiale obținute din aliaje amorfe pentru rezistență la uzură și coroziune, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică, Cluj-Napoca, 2001.

Incidența minimă a suspiciunii / Minimum incidence of suspicion

p.9:5 – p.9:13	p.4:4 - p.4:11
p.9:17 - p.9:21	p.4:15 – p.5:1
p.11:1 - p.11:6	p.7:8 - p.7:13
p.11:6 - p.12:3	p.8:2 – p.8:9
p.126: Fig.5.16	p.141: Fig.6.25
p.126: Fig.5.17	p.140: Fig.6.24
p.126:12 - p.126:16	p.140:11 - p.140:19
p.126: 24 – p.128:4	p.142:13 – p.143:00
p.127: Fig.5.18	p.142: Fig.6.28
p.127: Fig.5.19	p.144: Fig.6.27
p.128:35 - p.128:38	p.144.26 – p.144.31
p.130: Fig.5.21	p.145: Fig.6.29

Fișa întocmită pentru includerea suspiciunii în Indexul Operelor Plagiate în România de la www.plagiate.ro

UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
FACULTATEA DE INGINERIE MECANICĂ ȘI ELECTRICĂ



Ing. dpl. Doina Petrescu

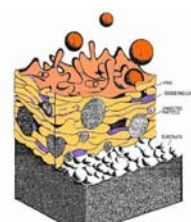
Tema tezei de doctorat:

**Cercetări privind pulverizarea termică
cu aplicații la recondiționarea și acoperirea
preventivă a pieselor**

Conducător științific:

Prof. univ. dr. ing. Niculae Napoleon Antonescu

2008



CUPRINS

INTRODUCERE	5
CAPITOLUL 1 – CERCETĂRI PRIVIND DEPUNERILE SUPERFICIALE PRIN DIFERITE PROCEDEE TEHNOLOGICE	9
1.1. Metode și tehnologii de acoperire a suprafețelor	9
1.1.1. Tehnologia de recondiționare prin pulverizarea termică a unui arbore în trepte de la priza de forță.....	12
1.1.2. Tehnologia de recondiționare prin pulverizarea termică a unui arbore în trepte al variatorului	13
1.1.3. Tehnologia de recondiționare prin pulverizarea termică a unui arbore drept al variatorului	15
1.1.4. Tehnologia de recondiționare prin pulverizarea termică a unui arbore în trepte al strungului automat.....	16
1.1.5. Tehnologia de recondiționare prin pulverizarea termică a unui arbore cu melc.....	17
1.1.6. Tehnologia de recondiționare prin pulverizarea termică a unei grinzi de susținerea unei linii de transport	17
1.1.7. Tehnologia de recondiționare prin pulverizarea termică a unor defecte de material.....	18
1.1.8. Tehnologia de recondiționare prin pulverizarea termică a pistoanelor de pompe de extracție	20
1.2. Materiale pentru straturi depuse rezistente la uzare.....	22
1.3. Materialele din structura straturilor rezistente la coroziune.....	27
CONCLUZII	29
CAPITOLUL 2 – CERCETĂRI TEORETICE PRIVIND SISTEMELE DE ALIAJE METASTABILE CU STRUCTURĂ AMORFĂ	31
2.1. Considerații generale și proprietăți ale aliajelor cu structură amorfă	31
2.2. Aliajele cu structură amorfă care formează “sticle metalice”	33
2.3. Condiții de formarea și menținerea stării amorfe.....	34
2.4. Condițiile necesare pentru obținerea structurilor amorfe.....	35
2.4.1. Principalele efecte structurale și constituționale ale răcirii rapide.....	36
2.5. Elaborarea de aliaje metastabile utilizând răcirea rapidă.....	37
2.5.1. Condițiile necesare formării fazelor metastabile prin solidificarea rapidă a stratului depus	38
2.6. Structura sticlelor metalice metastabile aflate în stare solidă amorfă.....	47
CONCLUZII	49

CAPITOLUL 3 – CERCETĂRI TEORETICE PRIVIND MODELAREA ȘI SIMULAREA PROCESELOR DINAMICE LA PULVERIZAREA TERMICĂ A PARTICULELOR DE PULBERE CU JET DE PLASMĂ.....	51
3.1. Aspecte generale privind mecanismul de formare a straturilor obținute prin pulverizare termică cu jet de plasmă la presiune atmosferică	51
3.2. Cercetări privind viteza particulelor în jetul de plasmă	52
3.3. Cercetări privind temperatura particulelor din jetul de plasmă.....	55
3.4. Dinamica deformării particulelor din jetul de plasmă	62
3.4.1. Deformarea la impactul cu substratul a particulei topite. Bilanțul energetic.....	62
3.4.2. Gradul de aplatizare al particulelor la impactul cu substratul.....	64
3.4.3. Interacțiunea particulelor pulverizate termic cu substratul	69
3.5. Formarea straturilor prin solidificarea particulelor din jetul de plasmă, la impactul cu substratul	70
3.6. Aderența particulelor pulverizate termic la interfață	82
3.7. Transformări de stare la depunerile prin pulverizare termică cu jet de plasmă.....	87
CONCLUZII	88

CAPITOLUL 4 – CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND ELABORAREA UNOR SISTEME DE ALIAJE/PULBERI ÎN VEDEREA OBTINERII UNOR STRATURI AMORFE, NANOCRISTALINE.....	91
4.1. Cercetări teoretice și experimentale în vederea obținerii unor aliaje/pulberi amorfizabile	91
4.2. Procesul de pulverizare termică cu jet de plasmă la presiunea atmosferică	95
4.3. Tehnologia de pregătirea a suprafeței materialului de bază/substratului în vederea pulverizării termice.....	99
4.3.1. Prelucrarea prealabilă a materialului de bază/substratului.....	99
4.3. 2. Spălarea suprafeței materialului de bază/substratului.....	99
4. 3. 3. Pregătirea suprafeței materialului de bază/substratului	99
4.3.4. Parametri tehnologici ai depunerii stratului	102
4.4. Dependența dintre stratului pulverizat termic și parametrii tehnologici ai depunerii	106
4.5. Cercetări privind optimizarea parametrilor tehnologici de pulverizare termică la depunerea aliajelor elaborate.....	109
CONCLUZII	115

CAPITOLUL 5 – CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND STRUCTURA ȘI PROPRIETĂȚILE STRATURILOR DEPUSE ÎN JET DE PLASMĂ CU SISTEMUL DE ALIAJE P I, P II, P III, P IV	117
5.1. Cercetări privind acoperirile realizate cu sistemul de aliaje al pulberii P I	118
5.2. Cercetări privind acoperirile realizate cu sistemul de aliaje al pulberii P II.....	121
5.3. Cercetări privind acoperirile realizate cu sistemul de aliaje al pulberii P III.....	123

5.4. Cercetări privind acoperirile realizate cu sistemul aliaje elaborat P IV.....	124
5.5. Analiza tipurilor de defecte ce apar în acoperirile realizate cu sistemele de aliaje ale pulberilor P I, P II, P III, P IV	128
5.6. Analiza aderenței straturilor depuse cu sistemul de aliaje ale pulberii P IV.....	131
5.7. Cercetări privind rugozității straturilor depuse cu aliajul P IV	133
CONCLUZII	135

CAPITOLUL 6 – CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND MODELAREA ȘI SIMULAREA PROCESELOR DINAMICE LA PULVERIZAREA TERMICĂ CU FLACĂRĂ DE MARE VITEZĂ.....	139
6.1. Aspecte generale privind principiul metodei de depunere cu flacără de mare viteză.....	139
6.2. Cercetări teoretice privind procesele dinamice caracteristice procedurii de acoperire prin pulverizare termică cu flacără de mare viteză	141
6.2.1. Analiza proceselor ce se produc în camera de ardere	142
6.2.2. Analiza proceselor ce au loc în zona de expansiune a fluidului	143
6.2.3. Procesele dinamice de expansiune a fluidului la ieșirea din pistol	144
6.3. Procesele dinamice de transfer de moment fluid-particulă.....	145
6.4. Procesele dinamice de transfer de căldură al particulelor de pulbere	146
6.5. Procesele dinamice de transfer de masă fluid-particulă, în timpul pulverizării termice.....	147
6.6. Simularea matematică a proceselor dinamice la pulverizarea termică a particulelor de pulbere de Cr ₃ C ₂ -NiCr cu flacără de mare viteză. Comparație cu rezultatele obținute experimental.....	148
CONCLUZII	155

CAPITOLUL 7 – CONCLUZII. CONTRIBUȚII PERSONALE. DIRECȚII NOI DE CERCETARE.....	157
7.1. Concluzii	157
7.2. Contribuții personale.....	165
7.3. Direcții noi de cercetare	166

BIBLIOGRAFIE.....	167
--------------------------	------------

CAPITOLUL 1

CERCETĂRI PRIVIND DEPUNERILE SUPERFICIALE PRIN DIFERITE PROCEDEE TEHNOLOGICE

1.1. Metode și tehnologii de acoperire a suprafețelor

Înlocuirea și/sau scoaterea din circuitul funcțional al pieselor mecanice, este cauzată în general de trei fenomene principale: uzura, coroziunea și oboseala. Caracteristic celor trei fenomene este faptul că ele se amorsează în zona suprafeței, unde solicitările sunt mai intense și mai complexe în comparație cu miezul piesei [10]. Pentru combaterea acestor fenomene se apelează la conceptele și tehnologiile de obținere prin diferite procedee a straturilor superficiale. Suprafața (considerată o zonă), este partea exterioară a unui corp, care reflectă proprietățile corpului și în care manifestă variații rapide ale proprietății corpului aproape în mod discontinuu. În funcție de grosimea zonei considerate ca suprafață se deosebesc: pelicule (până la $1\mu\text{m}$), filme ($1-10\mu\text{m}$) și straturi ($10-200\mu\text{m}$) [11].

Problema obținerii straturilor superficiale este destul de complexă, iar piesele sunt considerate sisteme complexe formate din, strat superficial-substrat, asupra cărora se intervine prin tehnologii specifice pentru modificarea proprietăților fiecărui element în parte, pentru a obține în final performanțele funcționale dorite ale piesei în ansamblul ei.

În figura 1.1 [3], este prezentat schematic sistemul: strat superficial-substrat, care prezintă patru zone distincte componentele și proprietățile cele mai importante ale sistemului fiind arătate pe figură. O clasificare generală, a tehnologiilor specifice de obținerea suprafețelor superficiale, este prezentată în figura 1.2 [3, 10, 106, 155, 156]. Această clasificare, nu este exhaustivă, în figură fiind arătate numai principalele tehnologii de obținerea suprafețelor superficiale.

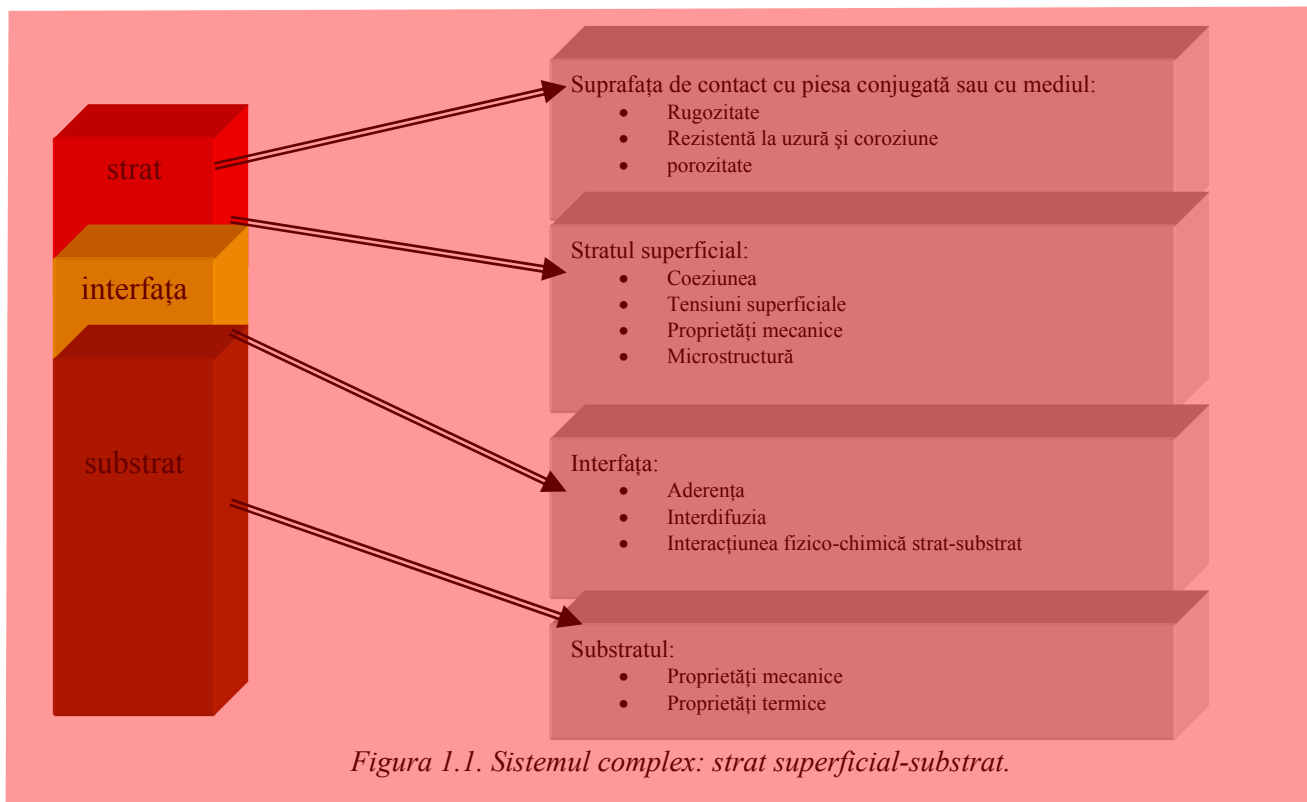


Figura 1.1. Sistemul complex: strat superficial-substrat.

Dintre principalele tehnologii de obținere a straturilor superficiale (prezentate în figura 1.2), pulverizarea termică s-a dezvoltat mult în ultimele decenii cuprinzând o arie vastă de metode și tehnici de acoperire a suprafețelor evidențiate în figura 1.3 [3, 36].

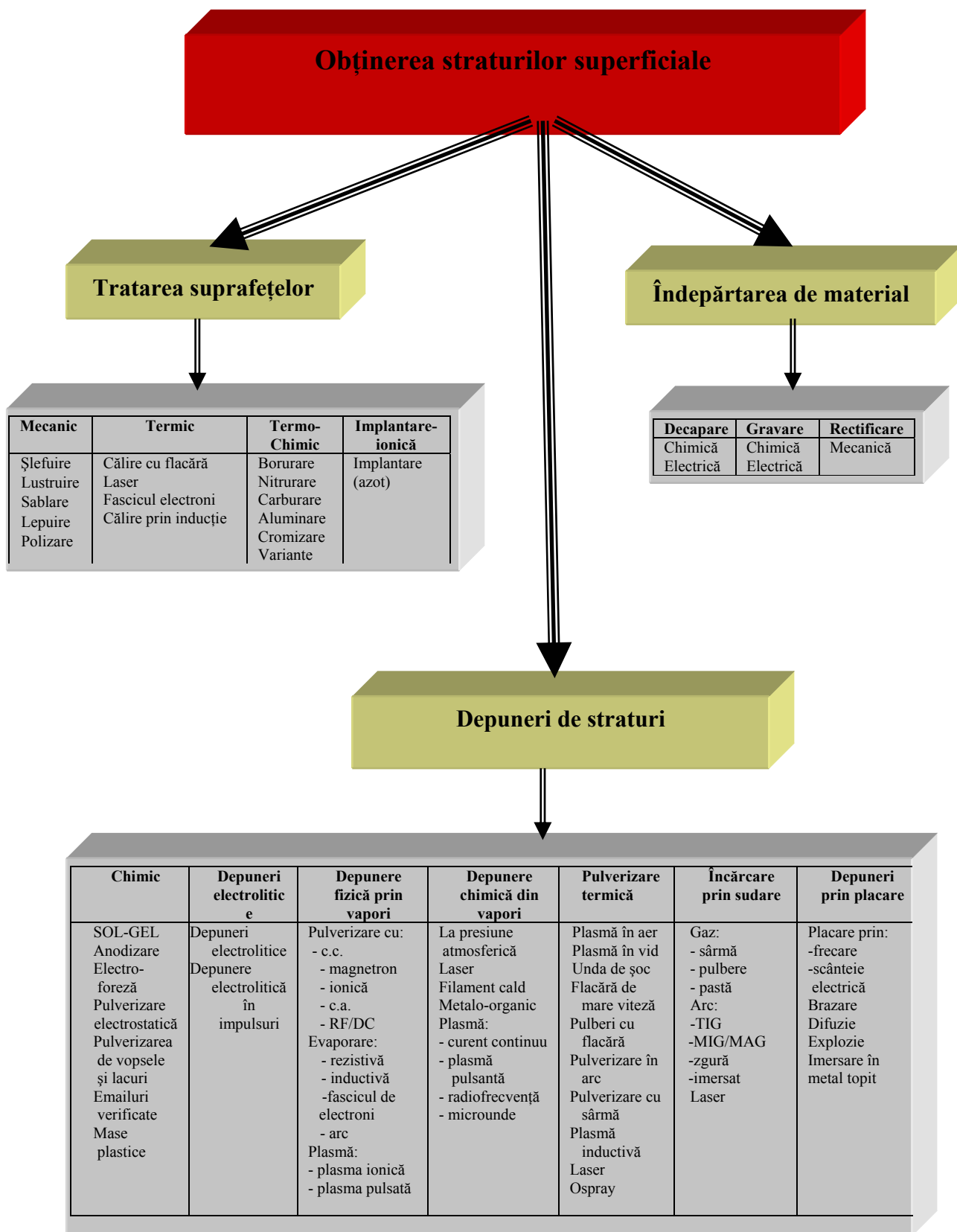


Figura 1.2. Principalele tehnologii de obținere a straturilor superficiale

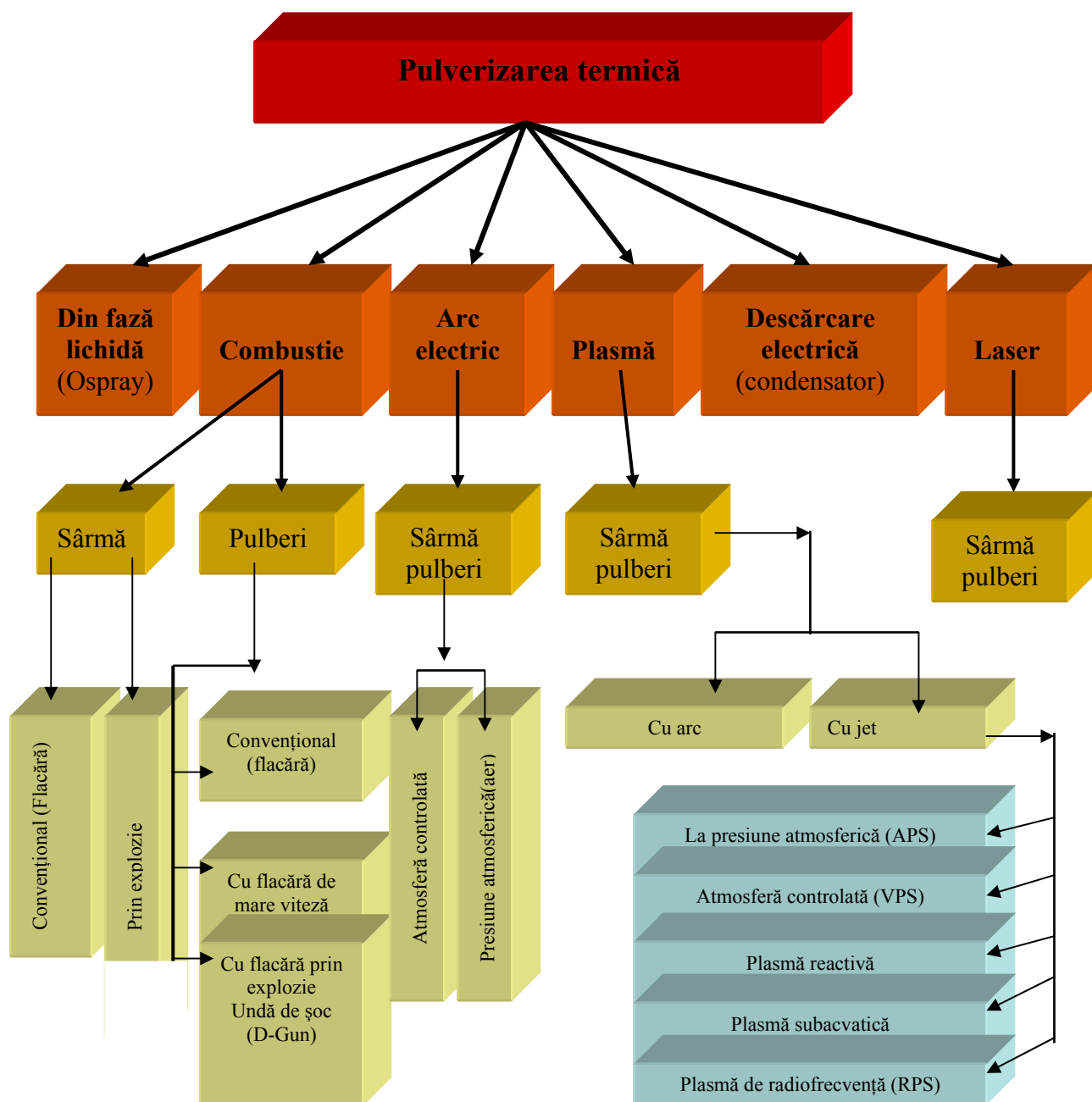


Figura 1.3. Clasificarea procedelor de pulverizare termică.

O comparație între temperatura procesului, viteza particulelor și costul relativ la principalele metode de pulverizare termică este dată în figura 1.4 [3]. După cum se observă în figură există o relație directă între temperatură, viteza particulelor și costul metodelor de pulverizare termică. Cea mai ieftină metodă fiind cea cu flacără și sârmă, iar cea mai scumpă cea de depunere termică în vid (VPS). Pentru piese masive la care numai suprafața este activă se depun straturi subțiri, care să confere numai suprafeței proprietăți superioare. Aceasta se înscrie tendinței moderne de a înlocui alierea în volum cu straturi de acoperire cu proprietăți superioare. În principiu sunt două tehnici mai folosite de obținerea straturilor superficiale:

a) miezul piesei este din materialul (aliajul) clasic pe care se depun straturi aderente din materiale cu structură și compoziție chimică proprie;

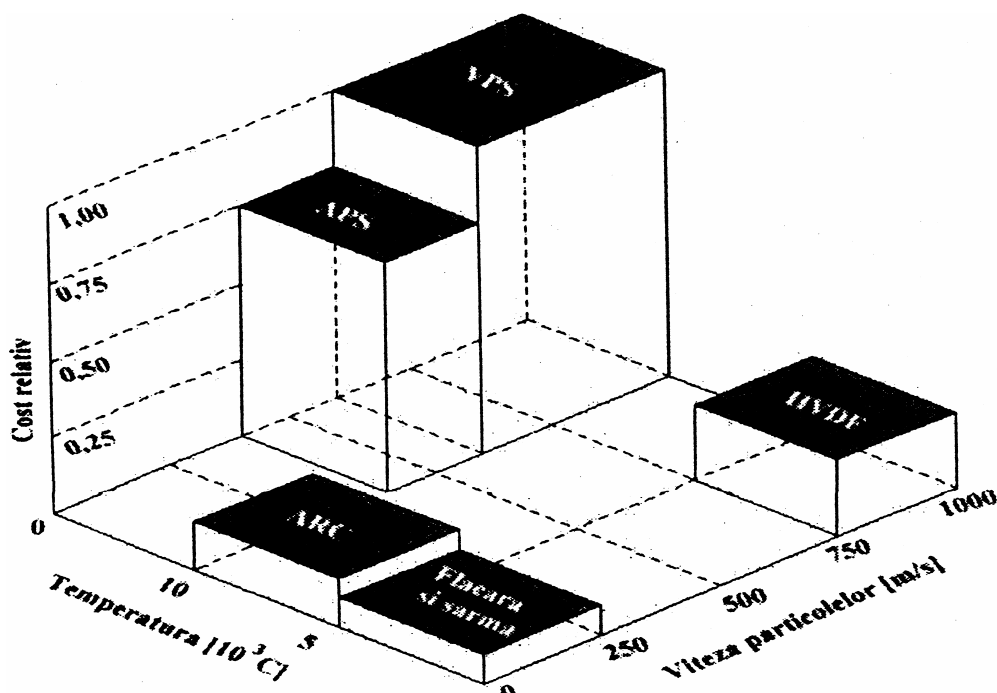


Figura 1.4. Comparație între temperatură, viteza particulelor și costul relativ la principalele metode de pulverizare termică; VPS-pulverizare cu plasmă în vid; APS-pulverizare cu plasmă la presiune atmosferică; HVOF- pulverizare cu flacără de mare viteză.

b) compoziția chimică a stratului și a piesei este aceeași, tehnologiile folosite vizează, modificarea caracteristicilor structurale sau/și a compoziției chimice în stratul superficial al substratului.

Având la bază cercetările teoretice [94, 100, 101] și rezultatele firmelor care au în obiectul de activitate, recondiționarea pieselor prin procedee de acoperire folosind pulverizarea termică, prezenta lucrare recomandă (pentru piesele din clasa arbore), regimul de lucru prezentat în continuare sub forma fișelor tehnologice. Materialele folosite la recondiționarea pieselor au fost pulberi și sârme existente pe piața de profil.

1.1.1. Tehnologia de recondiționare prin pulverizarea termică a unui arbore în trepte de la priza de forță

Arborele în trepte de la priza de forță a suferit în urma frecării metal pe metal o uzură de contact. Arborele în trepte este confecționat din 42 MoCr11 (SR EN 10083-1+A1:2002) și este reprezentat în figura 1.5.

La recondiționare s-a utilizat instalația de pulverizare termică tip PME, un dispozitiv de rotire de tipul MPR-300 și instalația de sablare.

Recondiționarea s-a făcut prin pulverizare termică cu arc electric folosind ca material de adaos sârmă tip RUL 1(S 105 Cr-1) conform STAS 11588-83.

Tehnologia de recondiționare prin pulverizare termică cu arc electric a fusului pentru rulment uzat și a bușei este prezentată în continuare:

1. Pregătirea piesei în vederea recondiționării se face reducând diametrul piesei prin operația de strunjire cu aproximativ 1,0 mm pe rază apoi se degresează cu acetonă, benzină sau ROMADET-SP.

După degresare se sablează piesa cu electrocorindon, protejând suprafețele alăturate zonelor uzate se protejează prin acoperire cu vopsea antiaderentă de tip Tempera, pe o lungime de aproximativ 30...35mm.

- Se observă la particula din (fig. 5.14) soluția solidă Ni- α deschisă la culoare și eutecticul cu particule dispersate de borură de crom (4000HV), carburi de crom și de ytriu (2500HV). Granule de pulbere au o microstructură foarte fină datorită răcirii rapide de la elaborare.
- La depunerile cu flacără oxiacetilenică, microstructura este grosolană (figura 5.15,a), au interfața strat-substrat continuă (fig. 5.15,b), cu o zonă de difuziune uniformă (fig. 5.15,b), în strat observându-se formațiuni aciculare de faze dure de carburi de crom (2559HV_{0,05}). Se observă o soluție solidă Ni- α (480HV_{0,05}) de culoare mai deschisă și o rețea intergranulară de eutectic ternar de culoare mai închisă (1460HV_{0,05}).
- Fazele rezultate la solidificare sunt: soluție solidă Ni- α cu bor și siliciu, eutectic binar (soluție solidă Ni- α + borură de crom CrB), eutectic polinar (soluție solidă Ni- α + carburi de crom + boruri de siliciu+boruri de ytriu+carburi de ytriu).



Figura 5.16. Depunerile pulverizate termic cu jet de plasmă și pulbere P IV

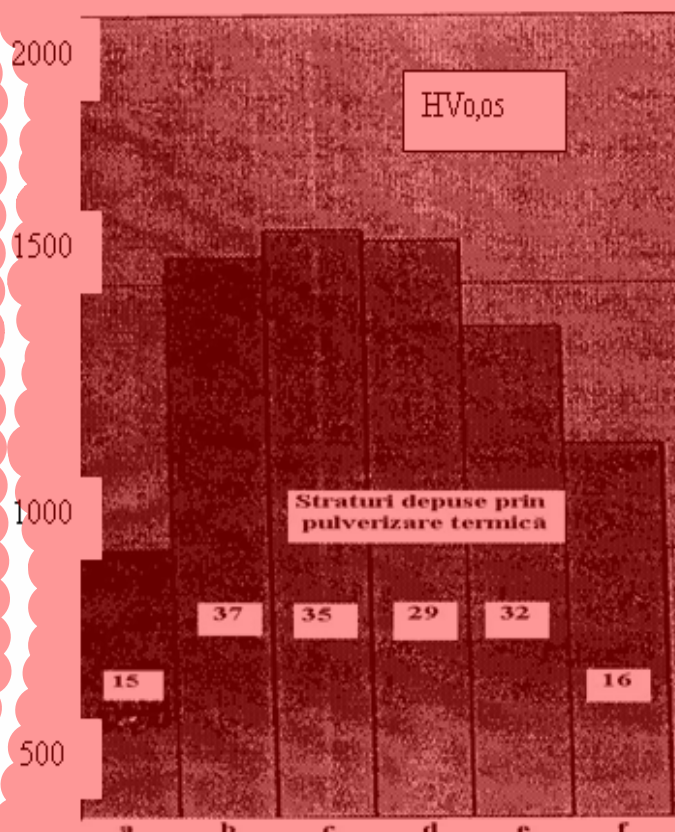


Figura 5.17. Valorile medii ale microdureții straturilor depuse prin pulverizare cu jet de plasmă și pulbere P IV.

În figura 5.16 sunt prezentate straturile depuse prin pulverizare termică pentru probele 15,16,29,35 și 37. Stratul depus al probei 15 (tabelul 4.9), cu o grosime de 1mm are o microdurate mică de 1020HV_{0,05}. Straturile probelor 35, 29, 32, 37 și 16 pulverizate termic, au microduratea dependentă de parametrii tehnologici ai depunerii (figura 5.17), și proporția de fază amorfă (tabelul 4.10).

După teoria dislocațiilor, ecrusarea materialelor este determinată de frânarea mișcării dislocațiilor de către barierele interne, cum ar fi limite de grăunți, ș.a. La materialele amorfe limita de curgere coincide cu limita de rupere deoarece fenomenul de deformare plastică lipsește pentru că nu avem grăunți cristalini care să împiedice mișcarea dislocațiilor. Materialele nanocristaline au grăunții cristalini mult mai mici în comparație cu materialele policristaline, și implicit au mai multe limite de grăunți, deci mai multe bariere în direcția de mișcare a dislocațiilor induse la amprentarea materialului depus prin pulverizare termică [38,72].

Modelul care descrie cel mai bine starea amorfă este Bernal - Scott [40,72]. Acest model arată că în stare amorfă atomii sunt împerecheați dens la întâmplare (radom dense packing) în stare

amorfă, predominând ordinea la scurtă distanță, astfel încât atomii nu se pot aranja în structuri cristaline ordonate pe distanță mare. Ordinea la scurtă distanță este pe un domeniu restrâns de 10...20Å, fiind determinată de constrângeri geometrice legate de mărimea atomilor și de legăturile chimice dintre ei. Proporția de fază amorfă f_v (tabelul 4.10) depinde și de natura materialului substratului (figura 5.17). Astfel, în funcție de grosimea \bar{b} a particulelor aplatizate (tabelul 4.9) se poate observa că proporția de fază amorfă crește cu scăderea grosimii particulelor aplatizate. La aceeași grosime medie \bar{b} a lamelor din strat, proporția de fază amorfă este mai mare cu aproximativ 25% la depunerea pe substrat de cupru față de depunerea pe substrat de oțel. Rezultatele experimentale arată că viteza de răcire este invers proporțională cu grosimea \bar{b} , iar natura materialului substratului are un rol important, la transmiterea căldurii, prin intermediul coeficientului de transfer termic h . Acest fapt era de așteptat deoarece conductivitatea termică λ a a cuprului este de trei ori mai mare ca cea a fierului.

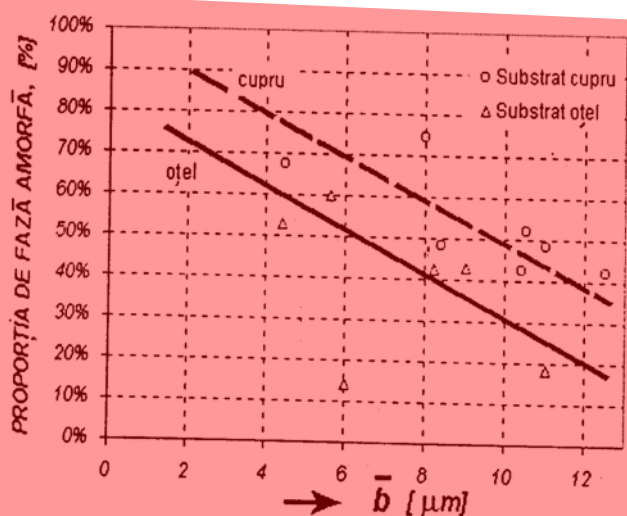


Figura 5.18. Variația proporției de fază amorfă în funcție de grosimea stratului.

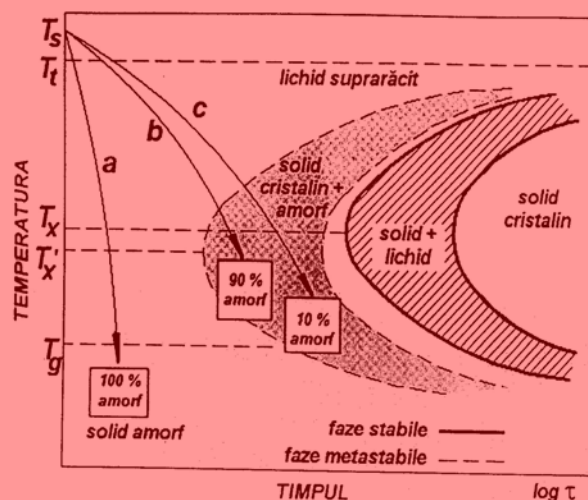


Figura 5.19. Diagrama (calitativă) temperatură - transformare - timp TTT, pentru straturile pulverizate termic.

Rezultate asemănătoare s-au obținut și la depunerea pe substrat de bronz, alamă și aluminiu, dar acestea nu sunt concludente, datorită numărului mic de depuneri care s-au făcut pe astfel de substraturi. Determinarea vitezei critice la răcire $v_{r,cr}$, necesare obținerii stării amorphe, precum și determinarea parametrilor de solidificare la aliajul polinar P IV sunt deosebit de dificile, deoarece nu sunt cunoscute constantele de material și coeficientul de transfer termic h în timpul aplatizării.

Pe baza acestor considerente, solidificarea aliajului depus cu pulbere P IV, este discutată sub aspect calitativ și nu cantitativ în lucrare. Formarea fazelor metastabile (figura 2.8) prin răcire rapidă, curbele se deplasează spre stânga modificându-se astfel și temperatura de cristalizare T_x și T'_x . Dacă cuba de răcire a particulei aplatizate, nu atinge vârful curbei (la temperatura de cristalizare T_x), germinarea este suprimată și lichidul rămâne suprarăcit. La scăderea temperaturii lichidului suprarăcit vâscozitatea crește foarte repede cu câteva ordine de mărime, până când aceasta devine egală cu cea a solidului (la temperatura de germinare T_g de tranziție vitroasă vâscozitatea este de 10^{14} Ps). Poziția vârfului curbei (figura 5.18) determină posibilitatea formării fazelor amorphe și depinde în mod critic de compoziția aliajului. O mică schimbare în compoziția aliajului poate deplasa curba spre stânga cu un ordin de mărime. Diferența dintre raza atomilor constituenți ai aliajului este factorul dominant la formarea fazelor amorphe datorită faptului că atomii de diametru mare substituți, fac ca rețeaua cristalină să devină instabilă. În consecință, fazele amorphe se formează numai într-un anumit domeniu, și anume în domeniul cu o compoziție care determină formarea fazelor amorphe prin faptul că atomii de diametru mare substituți, fac ca rețeaua cristalină să devină instabilă. Rezultă că formarea fazelor amorphe se poate produce numai în anumite procente ale componentelor aliajului și la o anumită grosime a aliajului solidificat, care determină timpul de

solidificare. Prin acestea, obținerea aliajelor amorfe prin solidificare rapidă, depinde de metoda de producere a lor, adică de tehnologia folosită. Aliajul depus cu pulberea P IV se solidifică după curbele c și b de răcire asemănătoare cu cele din figura 5.19. Se poate afirma aceasta, deoarece proporția de fază amorfă, determinată experimental, este între 14,6% și 85,9% la straturile depuse.

Pentru obținerea de straturi depuse cu aliajul pe bază de nichel P IV care să formeze faze amorfe în procent de 100%, trebuie ca răcirea să urmeze curba a (figura 5.19). Acest fenomen ar fi posibil dacă creștem puterea generatorului de plasmă și viteza jetului de pulverizare sau dacă folosim procedeul de depunere termică cu jet de plasmă în vid ori cu flacără de mare viteză sau prin modificarea proporției metaloizilor în aliaj. La creșterea vitezei de răcire crește duritatea aliajului, datorită creșterii gradului de aliere, astfel încât să îngreunăm apariția borurilor și carburilor, acestea fiind dizolvate în soluție solidă. Se pot controla, prin urmare, proprietățile materialului, dirijând structura prin viteza de răcire, viteză care la rândul ei este dependentă de parametrii folosiți la depunere.

5.5. Analiza tipurilor de defecte ce apar în acoperirile realizate cu sistemele de aliaje ale pulberilor P I, P II, P III, P IV

Defectele existente în straturile depuse prin pulverizare termică sunt prezentate în figura 5.20 [26,53] acestea fiind cauza exfolierii interfețelor strat-substrat sau/și strat-strat. Defectele existente în depunerea pulverizată termic pot fi de tipul: pori, resturi de material rămas de la sablare, incluziuni, fisuri ale interfeței în strat și/sau substrat, exfolieri ale stratului pulverizat, particule din jetul de pulverizare netopite, incluziuni de tipul oxizilor, nitrurilor, ș.a. Toate aceste defecte determină reducerea aderenței stratului, iar ca rezultat final ele contribuie la reducerea aderenței stratului pulverizat termic și/sau exfolierea acestuia. Fără a intra în amănunte, cauzele defectelor de aderență și a defectelor existente în stratul pulverizat termic se cunosc și ca urmare se pot lua măsuri pentru a reduce cantitatea acestora.

Pentru a evita introducerea în exploatare a pieselor cu defecte, se recomandă efectuarea unui control nedistructiv precum și, realizarea unor încercări pe epruvete pentru determinarea aderenței stratului pulverizat termic. Efectuarea încercării distructive, de determinare a aderenței stratului, se recomandă să se facă în condițiile de exploatare ale piesei. Epruvetele rupte se supun analizei fractografice și analizei ruperii. Aceste analize permit și stabilirea unor aprecieri asupra cauzelor ruperii.

Porii existenți în straturile pulverizate termic pot fi eliminați /reduși cantitativ, prin diferite procedee de densificare a straturilor. Straturile depuse pentru realizarea încercărilor experimentale, din prezenta lucrare, au avut un grad diferit de porozitate în funcție de natura materialului și de parametrii tehnologici folosiți.

Forma porilor, la depunerile cu jet de plasmă, este prezentată în figura 5.21. Se pot observa, în straturi, diferite forme de pori: intermetalici (între suprafața particulelor aplatizate), microfisuri, pori la interfața strat-substrat datorită asperităților. Formarea porilor la depunere se produce după anumite mecanisme.

Captarea aerului se face între picătura care se aplatizează și substratul rugos (figura 5.20). Aerul este comprimat de particulă în cavitatea existentă și astfel se formează pori la interfața strat pulverizat termic - substrat. Dacă considerăm, datorită rugozității, volumul inițial al porului V_i (figura 5.20) pe unitatea de suprafață, iar gazul, conținut în acest volum, este comprimat adiabatic la volumul final al porului V pe unitatea de suprafață, de particula topită din jetul de pulverizare. Datorită impactului, volumul final V , va fi mult mai mic decât volumul inițial V_i și se poate calcula din relația (5.1)[26]:

$$\left(\frac{V}{V_i}\right)^{1-\gamma} = \frac{(\gamma-1) \cdot K \cdot \rho_p \cdot v_p^2}{2P_i} \quad (5.1)$$

în care: P_i este presiunea inițială (mediului ambiant) a porului, în $[N/m^2]$;

ρ_p - densitatea particulei topite, $[kg/m^3]$;

v_p - viteza particulei în momentul impactului, în $[m/s]$;

γ - coeficientul adiabatic al gazului conținut de por;

K - coeficientul care arată cât din energia cinetică a particulei topite este folosită la formarea porului.

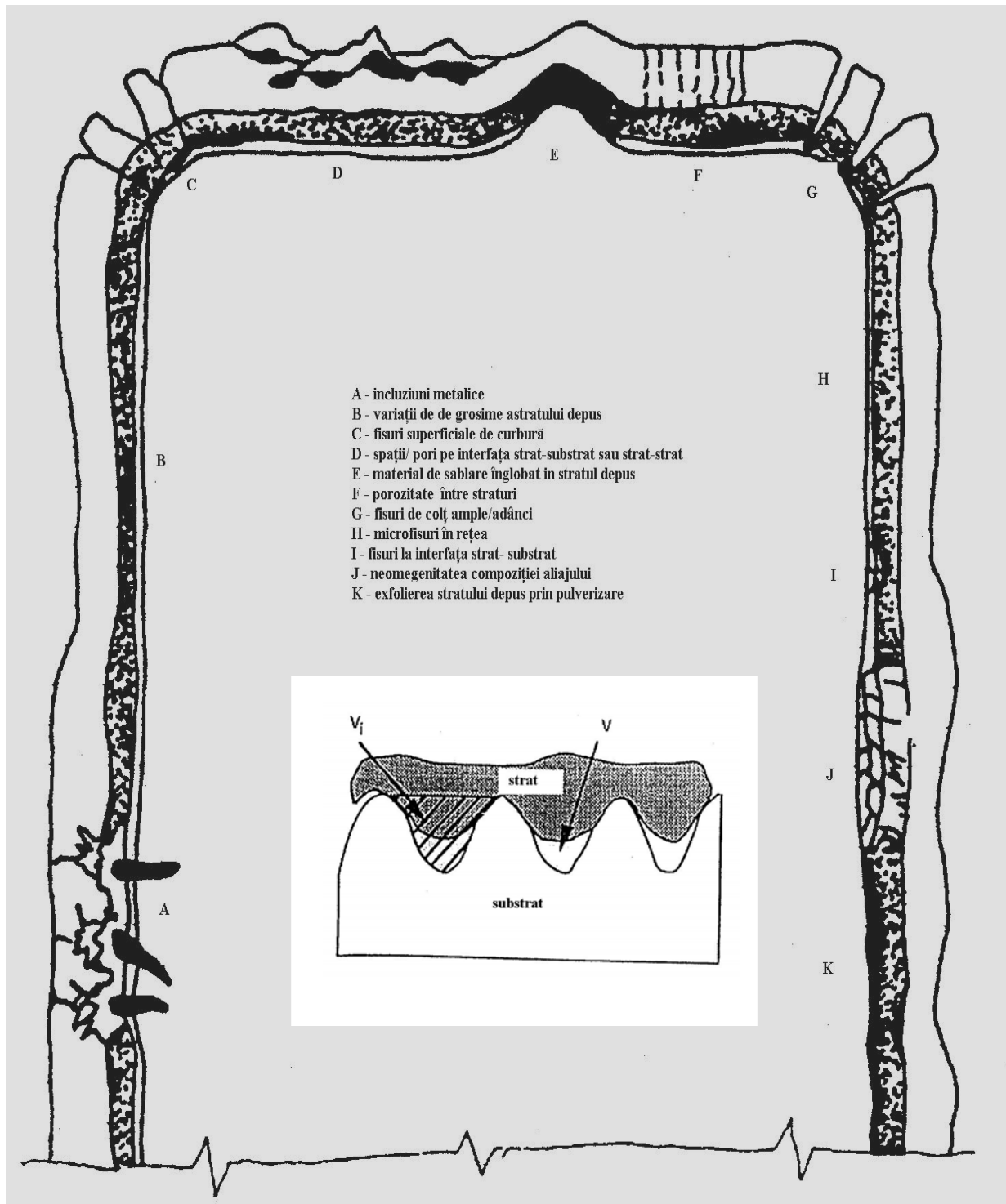


Figura 5.20. Prezentarea tipurilor de defecte care apar la straturile depuse prin pulverizare termică.

Din relația 5.1 se observă că volumul relativ al porilor în strat este direct proporțional cu viteza particulei v_p la impact și invers proporțional cu presiunea ambiantă P_i . În schimb, în cazul

realizării depunerilor prin utilizarea flăcării de mare viteză HVOF (veți capitolul 6) și a depunerii cu undă de șoc D-GUN, viteza mare a particulei la impactul cu substratul dă o porozitate mai redusă. La depunerile realizate în vid straturile sunt mult mai dense și lipsite aproape complet de pori.

Pori mai pot să apară și din cauza expansiunii radiale a particulei, aflată în stare lichidă, peste particule solidificate anterior, rezultând astfel pori lamelari (fig. 5.20).

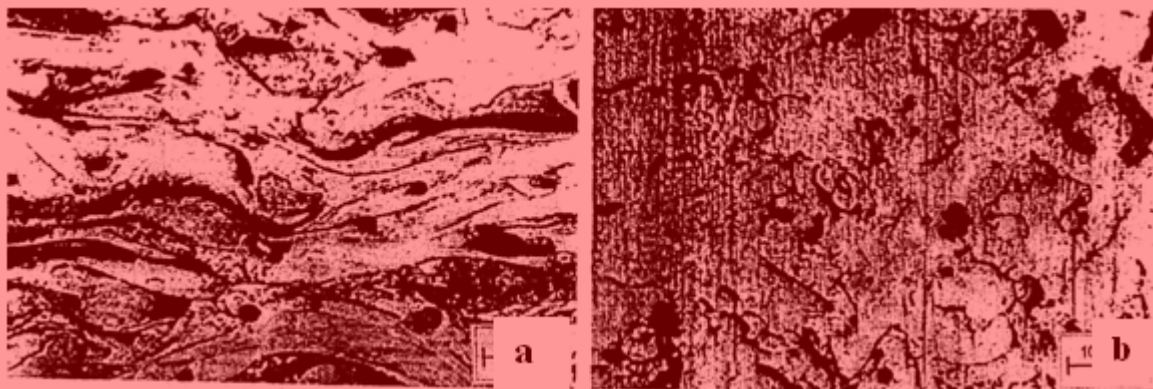


Figura 5.21. Vizualizarea straturilor pulverizate termic cu aliajul P IV: a - secțiune transversală prin strat; b - secțiune longitudinală prin strat.

Astfel majoritatea proprietăților straturilor care se depun prin pulverizare termică depind de distribuția spațială a fazelor și de porozitate.

De exemplu, rezistența mecanică a stratului depus depinde de repartiția/aglomerarea porilor. O aglomerare mare de pori face ca, în aceste regiuni, proprietățile mecanice să fie mai reduse, aglomerarea porilor fiind locul de inițiere a fisurilor.

Microstructura stratului depus este formată din particule aplatizate separate de interfețe imperfecte. Interfețele sunt formate de contactul între lamele sau între lamele și substrat respectiv prin zone de porozitate interlamelară. În figura 5.22, este prezentată schema de principiu a unei secțiuni în stratul pulverizat [83].

La formarea fazelor metastabile, prin răcire rapidă, acești pori măresc viteza de răcire prin micșorarea coeficientului de transfer termic h .

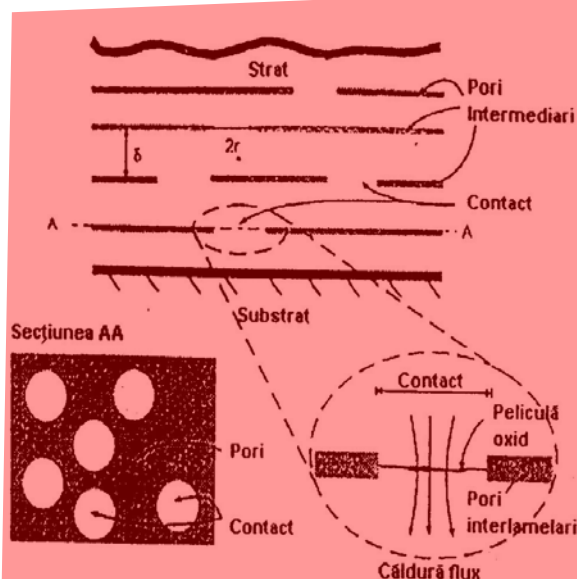


Figura 5.22. Schema de principiu a unei secțiuni în stratul pulverizat termic.

Porozitatea se determină prin microscopie optică cantitativă, cu echipamente care lucrează pe principiul analizei liniare, principiul de măsurare fiind Cavalieri-Akker : "Proporția unei faze într-un volum de aliaj, este aceeași cu proporția aceleiași faze în suprafață". Exprimat matematic acest principiu este:

$$V_f = A_a = L_l = P_p, [\%] \quad (5.2)$$

în care: V_f este fracția de volum a fazei;

A_a – fracția de arie a fazei ;

L_l – fracția de linie a fazei;

P_p – fracția de puncte a fazei.

Tabelul 5.2. Valorile medii ale porozității straturilor depuse prin pulverizare termică cu jet de plasmă

Probă -pulbere	1-P I	3-P I	6-PII	7-PII	8-PII	12-PIII	16 -PIV	19- PIV	24- PIV	36- PIV
L_p , în [μm]	80	120	70	82	126	156	88	50	80	66
L_M , în [μm]	920	880	926	918	874	844	912	950	920	934
V_p , în [%]	8,0	12,6	7,6	8,6	12,8	15,6	8,6	5,6	8,0	6,6
V_M , în [%]	92,0	87,4	92,4	91,4	87,2	84,4	91,4	94,4	92,0	93,4

Obs: L_p - lungimea coardelor intersectate pe fază închisă la culoare/pori; L_M – lungimea coardelor intersectate pe fază deschisă la culoare/metalică; V_p – volumul fazei închise la culoare/pori din strat; V_M – volumul fazei deschise la culoare /metalice din strat.

Probele au fost lustruite și impregnate cu rășină epoxilică într-un container vidat, iar examinarea s-a făcut la o mărire $\times 1000$, pe un câmp 40×40 , cu o viteză de baleiere $50 \mu\text{m/s}$. Au fost determinat două faze (fig. 5.21, 5.22): faza deschisă la culoare formată din pori, oxizi intermetalici și faza metalică deschisă la culoare. Elementul măsurat a fost mărimea medie liniară a coardelor intersectate L_i , determinându-se cantitatea de pori în procente de volum. Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate în tabelul 5.2.

Din datele prezentate, în tabelul 5.2, se constată că straturile depuse, prin pulverizare termică cu jet de plasmă la presiune atmosferică, au o porozitate relativ ridicată care depinde de natura aliajului depus și de valorile parametrilor tehnologici ai depunerii. Se constată, de asemenea, că straturile depuse cu aliajul P IV au o porozitate mai mică deoarece aliajul este mai fluid (aliaj cu proprietăți autofluxante), iar cantitatea de oxizi este mai mică în comparație cu celelalte trei PI, PII, PIII. Aliajul P IV a fost adus în stare amorfă în procent de 86% (tabelul 4.10), fapt ce se corelează cu porozitatea redusă și cu cantitatea mică de oxizi din strat, iar ca urmare s-a îmbunătățit mult coeficientul de transfer termic h , rezultând în final o viteză de răcire mare a particulelor în timpul aplatizării/expansiunii radiale, implicit a stratului final depus.

5.6. Analiza aderenței straturilor depuse cu sistemul de aliaje ale pulberii P IV

Acoperirea prin proiecție termică cu aliajul P IV ce conține NiCrFeSiBCY, este un proces dinamic și din acest motiv nu există o modelare riguroasă a proceselor de depunere. Nu există o standardizare unanim acceptată, referitoare la dispozitivele de acoperire precum și la caracteristicile straturilor depuse, deci nu putem folosi nici un strat ca referință și nici un strat nu poate fi reprodus în totalitate.

Firmele producătoare de echipamente și pulberi pentru depunerea termică și-au stabilit norme proprii, fapt pentru care beneficiarul este dependent de furnizor. Una din caracteristicile importante, la depunerea termică, o constituie aderența strat-substrat. Cele mai folosite metode distructive pentru determinarea aderenței sunt metodele mecanice și anume [62]:

- determinarea aderenței prin încercarea la forfecare,
- determinarea aderenței prin încercarea la tracțiune,
- determinarea aderenței prin încercarea la încovoiere.

✚ Determinarea aderenței prin încercare la forfecare se face (SREN 657:1996, DIN 50 161) cu relația [62,132]:

$$\sigma_f = \frac{F}{A}, \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] \quad (5.3)$$

unde: F este forța maximă la desprinderea stratului/forfecarea zonei pulverizate termic, în N ;
 A – aria de forfecare, mm^2 .

Schema dispozitivului pentru determinarea aderenței la forfecare este dată în figura 5.23. Viteza de încărcare a sarcinii fiind de 20N/s [15] în conformitate cu SREN 657:1996.

(caracteristicile fizice și chimice ale materialului pulverizat, puterea generatorului de plasmă, debitul gazului principal, debitul gazului transportor etc.) și parametrii secundari dependenți (timpul de menținere în conul de pulverizare, viteza și temperatura jetului de plasmă).

7. Modelarea evoluției mecanice și termice în timp a unei particule de pulbere de la inserția ei în instalația de pulverizare până la impactul și expansiunea radială pe substrat.

8. Cercetări privind obținerea unor straturi depuse din diferite aliaje îmbogățite cu ytriu element care mărește considerabil aderența și influențează structura stratului depus prin pulverizare termică cu jet de plasmă precum și elaborarea cantitativă a patru aliaje dintre care trei pe bază de fier cu metaloizi și unul pe bază de nichel cu metaloizi.

9. Cercetări experimentale privind studiul influenței parametrilor de pulverizare asupra caracteristicilor straturilor depuse termic cu pulberile P I, P II; P III; P IV care formează aliaje amorfizabile, energetic metastabile, cu structură: microcristalină, nanocristalină sau amorfă; precum și straturi rezistente la uzură, coroziune și cu o aderență la substrat/piesă cât mai bună în vederea acoperirii preventive a pieselor. Se face mențiunea următoare și anume pulberile elaborate de autoarea lucrării sunt o premieră în domeniul pulverizării termice, deoarece până în prezent ytriu nu a fost folosit ca element de aliere de acest tip de aliaje în vederea obținerii straturilor cu structură nanocristalină, deoarece ele au proprietăți mecanice, termice, electrice, magnetice etc., mult mai bune în comparație cu materialele cu structură cristalină sau amorfă.

10. Cercetări experimentale de genul microgرافیilor, difractogramelor, durtăților, încercărilor la tracțiune și încovoiere în vederea studiului structurilor și proprietăților straturilor depuse cu pulberile P I, P II; P III; P IV.

11. Crearea unui model matematic simulând dinamica procesului de depunere cu flacără de mare viteză și pulbere de tipul $Cr_2C_2 - NiCr$, pe baza unor studii efectuate de diverși autori, dar care, tratau separat fenomenele din zonele de ardere și expansiune a fluidului din pistolul de pulverizare termică cu flacără de mare viteză.

12. Cercetări experimentale privind calitatea stratului depus prin procedeul de depunere termică cu flacără de mare viteză care depinde semnificativ de temperatura particulelor în interiorul pistolului precum și de temperatura pe care o au acestea în timpul impactului cu substratul, în funcție de aceasta realizându-se aplatizarea, extinderea radială a particulei proiectate pe substrat și implicit aderența acesteia la substrat.

7.3. Direcții noi de cercetare

Pulverizarea termică cu flacără face obiectul a numeroase direcții de cercetare ca de exemplu:

- îmbunătățirea calității straturilor depuse;
- dezvoltarea unor noi materiale de adaos;
- perfecționarea echipamentelor (utilizarea unor jeturi de gaze inerte pentru a îmbunătăți protecția particulelor în jetul de pulverizare);
- perfecționarea metodelor de control ale calității straturilor depuse prin pulverizare termică.

O altă perspectivă interesantă este dată de studiul în vederea obținerii:

- straturilor “smart” (inteligente) prin pulverizare termică cu jet de plasmă sau cu flacără de mare viteză obținându-se astfel: mărci tensometrice, senzori de temperatură și/sau umiditate, termocuple, etc.;
- elaborarea unor aliaje supraconductoare amorfe de tipul Ni-Si sau Nb-Ge etc., obținute prin răcire rapidă, iar proprietățile ameliorate prin cristalizare rapidă;
- obținerea straturilor din materiale nanocompozite cu pulberi de dimensiuni nanometrice.

BIBLIOGRAFIE

1. Antonescu, N.,N., Ulmanu, V., – Fabricarea repararea și întreținerea utilajului chimic și petrochimic, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1981, pg. 357-359, 363-365, 140-150.
2. Antonione, C., ș.a. – Enthalpy and Structural Analysis of Crystallization in Fe-B-C and S. Steel, Ed. H. Warlimont, Elsevier Science Publishers B.V, 1985, pg. 311-314.
3. ASM Handbook, Formerly, Ninth Edition, Metals, Corrosion Handbook, Vol.13, 1987. pg. 20-40,47-49, 210-220, 865-870.
4. ASM International, 1990, National Thermal Spray Conference Long Beach, California, May 20, 1990, pg. 1-119.
5. Application Bulletin, Metco INC.,1101 PROSPECT AVE., WESTBURY.L.I.,N.Y., Flame Spray Equipment and Supplies, Container Corporation of America, 2001, M 30037.273, 1416.254, T1416.225,M2436.256, M1436.257,M1416.264.
6. Bally, D., ș.a. – Difrakția razelor X și a neutronilor, Ed. Tehnică, București, 1972.
7. Baltă, T. – Tehnologia sticlei, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1981.
8. Bergman, C.,P. – Influence of Substrate Roughness on the Adherence of Plasma Sprayed Ceramic Coatings, Proceedings of the 7 th National Thermal Spray Conference, 20-24 June, Boston, Massachusetts, 1994, pg. 683-685.
9. Berndt, C.,C., ș.a. – Characterization of Cracking within Thermal Spray Deposits by an Acoustic Emission Method- Extended Abstract, Journal of Thermal Spray Technology, September, Vol. 7/3, 1998, pg. 334-335.
10. Bertagnolli, M., ș.a. – Modeling of Particles Impacting on a Rigid Substrate under Plasma Spraying Cnditions, ASM International, March,Vol.4/1, 1994, pg. 41-47, pg. 117-136.
11. Bhatti, A., R. – Effect of crystallization on magnetic domain structure of amorphous Fe 78B13Si9 alloy, Rapidly Quenched Metals, Vol. 1, Elsevier Science Publishers BV, 1991, pg. 188-192.
12. Bicsak, E., Matei, G. – Cercetări asupra straturilor reziduale la uzare obținute prin metalizare cu flacără din aliaje NiCrSiBC, A II-a Conferință Națională de Metalurgia Pulberilor, Noiembrie, Vol.3, Cluj-Napoca, 1983,pg. 45-50.
13. Bull, S.,J. – Interfaces and Adhesion. Advanced Techniques for Surface Engineering, Ed. W. Gissler, Brussels, Luxembourg, 1992, pg. 31-68.
14. Calka, A., ș.a. – Thermal properties of nanocrystalline and amorphous Fe-B alloy made by mechanical alloying, Materials Science and Engineering, A 133, 1991, pg. 555-559.
15. Canță, T. – Tehnologii moderne de acoperire, Oficiul de informare documentară, București, 1977.
16. Castello, C., E., Griffiths, H. – Industrial Uses of the Plasma Arc, British Welding Journal, Vol. 10, No. 11, Nov. 1993, pg. 546-549.

17. Chengsoug, C., ș.a. – Numerical Simulation of heat and Momentum Transfer in Spray Forming Process, World Congress Granada, Thermal Spraying/Spray Forming, 1998, pg. 555-560.
18. Chicinaș, I. – Studiul influenței elementelor de aliere și a procesului de elaborare a pulberilor feromagnetice pe bază de Fe și Fe-Ni asupra caracteristicilor magnetice, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, Cluj-Napoca, 1998.
19. Chicinaș, I., ș.a. – Influence of Quenching Rate on the Coercive Field of Soft Magnetic powders, Balkan. Phys. Letters, Vol. 2, pg. 1445-1451.
20. Chicinaș, I., ș.a. – Influence of Residual internal stresses on the Coercive Field of Magnetic Powders, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 1995, pg 1875-1876.
21. Chicinaș, I., ș.a. – Magnetic Properties of Some Fe-Cu-P Rapidly Quenched Powders, Rom. Rep. Phys., Vol. 47, No. 8,9,10, 1995, pg. 835-840.
22. Clyne, T., W., Gill, S., C. - Residual Stress in Thermal Spray Coatings and Their Effect on Interfacial Adhesion: Spray Tehnology, December, Vol.5/4, 1996, pg. 401-418.
23. Cocco, G., Enzo, S. – Transformation Behavior of FeSiB Metallic Glasses by Small Angle X-Ray Scattering, Rapidly Quenched Metals, Elsevier Science Publishers BV, 1985, pg. 307-310.
24. Colan, H., ș.a. – Cercetări metalografice asupra aliajelor NiCrSiB și CoCrWC, utilizate pentru acoperiri prin metalizare, A II-a Conferință Națională de Metalurgia Pulberilor, Noiembrie, Vol. 2, Cluj-Napoca, 1983, pg.75-82.
25. Dallaire, S., s.a. – Temperature Tribological Properties of Plasma-Sprayed Metallic Coatings Containing Ceramic Particles, Journal of Thermal Spray Technology, vol. 5/1, March, 1996, pg. 43-48.
26. Dodge, F., T., ș.a. – Dimensional Mathematical Model for Selecting Plasma Spray Process parameters Journal of Thermal Spray Technology, Vol. 4/2, June, 1995, pg. 153-162.
27. Davies, H., A. – Processing, Properties and Applications of Rapidly Solidified advanced Alloy Powders
28. David C., Wilcox C.-Basic Fluid Mechanics, DCW Industries, Journal of Thermal Spray Technology, June, Vol. 4/2, California, 2003, pg. 166-168.
29. Discussion Topics and Threads on Thermal Spay, Journal of Thermal Spray Technology, Sept., Vol. 7/3, 1998, pg. 315-317.
30. Duziaux R., Perrier J., Mecanique des Fluides Appliquee, vol.2, Dunod, Paris,
a. pg. 11-78.
31. Duchardt, J., ș.a. – Ein Beitrag Zum Korrosions-verhalten von austenitischem 17-12-2 Cr-Ni-Mo-Ti- Stahl in siedenden Essigsäurelösungen-Betreiberfahrungen und Laborversuche, Materials and Corrosion, No. 42, 1991, pg. 118-127.
32. Eschnauer, H. – Hard Phase Containing Alloys – Wear and Corrosion Resistant Coatings, Plasma Technik AG, Wohlen, Switzerland, reprint 1993, pg. 301.309.
33. Fan, X., ș.a. – Investigation of Alumina Splats Formed in the Induction Plasma Process, Journal of Thermal Spray Technology, June, Vol. 7/2, 1998, pg. 197-203.

34. Fasching, M., ș.a. – “Smart” Coatings: A technical Note, *Journal of Thermal Spray Technology*, June, Vol. 4/2, 1995, pg. 133-136.
35. Fouquet, F., ș.a. – Structural evolution of a FeBSiC metallic glass, *Rapidly Quenched Metals*, Elsevier Science Publishers BV, 1985, pg. 319-322.
36. Frommeyer, G., Giegel, U. – Microstructure and mechanical properties of melt atomized and rapidly solidified ultrahigh boron alloy steel, *Rapidly Quenched Metals*, Vol. 1, Elsevier Science Publishers BV, 1991, pg. 279-282.
37. Fujita, F., E. – *Physics of New Materials*, Springer, 1996.
38. Fukunuma, H. – Mathematical Modeling of Flattening process on Rough Surfaces in Thermal Spray, *Practical Solution for Engineering Problems*, ASM International, Materials Park, Ohio, USA, 1996, pg. 467-656.
39. Gâdea, S., Petrescu, M. – *Aliaje amorfe solidificate ultrarapid*, Ed. Didactică și Pedagogică, Vol. 1, București, 1988.
40. Gell, M. – Technology Assessment of Nan structured Coating, *Journal of Thermal Spray Technology*, Sept., Vol. 7/3, 1998, pg 439-442.
41. German, R. – *Powder Metallurgy Science*. Metal Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, SUA, 1984.
42. Geru, N., ș.a. – *Analiza structurii materialelor metalice*, Ed Tehnică, București, 1991.
43. Gheorghieș, C. – *controlul Structurii Fine a Metalelor cu radiații X*, Ed. Tehnică, București, 1982.
44. Gliskstein, M., R., ș.a. – Rapid Solidification Effects of Micro-Size Droplets, *Proceeding of the International Conference, R.S.P*, 1977, pg. 46-49.
45. Gudmundsson, B., Jacobson, B., E. – The Influence of Substrate Temperature on the Microstructure and Hardness of Vacuum-Plasma-Sprayed Co-Ni-Cr-Al-Si-Zr-Y and Co-Ni-Ca-Al-Y Alloys, *Materials Science and Engineering*, Vol. A 108, 1989, Pg. 104-116.
46. Gudmundsson, B., s.a. – Microstructure and Erossion Resistance of Vacuum-Plasma-Sprayed Co-Ni-Cr-Al-Y/Al₂O₃ Composite Coatings, *Materials Science and Engineering*, Part A 108, 1989, pg. 87-95.
47. Gupta, A., Habibi, S. – Kinetics of Surface Crystallization in the Metallic glass Fe₇₈Si₉B₁₃, *Mat. Sci. and Eng.*, A 133, 1991, pg. 375-379.
48. Harding, J., H., ș.a. – Modeling the Deposition Process of Thermal Barrier Coating, *Journal of Thermal Spray Technology*, March, Vol. 4/1, 1995, pg. 30-40.
49. Heath, G., H., Luster, J., W. – Influence of spray parameters on the amorphous content of thermally- sprayed coating, *Deutscher Verlag Fur Schweissttechnik*, DVS 175, 1998, pg. 330-335.
50. Hickl, A., J. – *Nickel-Base Alloy as Alternatives to Cobalt-Base Alloy for P/M wear and Environmental Resistant Components*, HiTec/WerTec Research and Development, Cabot Corporation, Kokomo, Indiana 46901, USA, pg. 455-465.
51. Hillenbrand, H., G. – *Metallische Glaser-Werkstoffgruppe der Zukunft*, *Z. Werkstofftechn*, 13, 1982, pg. 407-415.

52. Houck, D., Glicksman, M.,E. – Basic of Thermal Spraying, Long Beach, cap V, CA; USA, 20th May, 1992, pg 66-68
53. Huzum, N., Rantz, G. – Mașini și utilaje din industria constructoare de mașini, Ed. Didactică și pedagogică, București, 1978, pg. 98-99.
54. Huzum, N., Rantz, G. – Procese tehnologice, întreținerea și repararea mașinilor și utilajelor, Ed. Didactică și pedagogică, București, 1977, pg. 98-100.
55. Ilyuchenko, P., V., s.a. –Mathematical model for Process Thermal Spraying Coating Formation, Practical Solutions for Engineering Problems, ASM International, Materials Park, Ohaio, USA, 1996, pg. 569-576.
56. Jaschinski, W. - Amorphe Metalle – Entwicklung einer neuen werkstoffklasse, Tech. Mitt. Krupp. Forsch. – Ber. Band, 39, 1981, pg. 1-12.
57. Jaschinski, W. – Amorphe Metals - Entwicklung einer neuen Werkstoffklasse. Tech. Mitt. Krupp. Forsch., H 38, Berlin Band, 1981, pg. 1-12.
58. Jenkins, I., ș.a. – Powder Metallurgy: An Overview, The Institute of Metals, GB, 1991, pg. 28-41.
59. Jones, H. – Some Principles of Solidification at High Cooling Rates, Proceeding of the International Conference, R.S.P, 1977, pg. 28-34.
60. Jons, H. – Some principles of solidification at high cooling rates, Rapid solidification processing, Proceedings of the International Conference on RSP, Nov., Virginia, USA, 1977, pg. 28- 35.
61. Jumate, N.- Cercetări asupra unor straturi superficiale obținute din aliaje amorfe, pentru rezistența la uzură și coroziune, Teză de doctorat, Cluj-Napoca , 2001..
62. Karthikeyon, J., Sinha, A.,K. - Impregnation of Thermally Sprayed Coating for Microstructural Studies, Journal of Thermal Spray Technology, Vol. 5/1, March, Vol. 5/1, 1996, pg. 74-78.
63. Kishitake, K., ș.a. – Characterization of Plasma Sprayed Fe-17Cr-38Mo-4C Amorphous Coatings Crystallizing at Extremely High Temperature, Journal of Spray Technology, September, Vol.5/3, 1996, pg. 283-287.
64. Kishitake, K., ș.a. –Thermal Sprayed Fe-10Cr-13P-7C Amorphous Coatings Possessing Excellent Corrosion Resistance, Journal of Spray Technology, December, Vol.5/4, 1996, pg. 476-482.
65. Korsunsky, A.,M., ș.a. – On the harness of coated systems, Surface and Coatings Tehnology, No. 99, 1998, pg. 171-183.
66. Kowalsky, K., A., ș.a. – Diagnostic Behavior of the Wire-Plasma-Spray Process, Proceedings of the ITSC, 28 May-5 June, Orlando, Florida, USA, 1996, pg. 337-342.
67. Kubel, E., J. – Metal Progress, May, 1986, pg. 66.
68. Kuroda, s. – Quenching Stress in Plasma Sprayed Coatings and the Correlation with the Deposit Microstructural, Journal of Thermal Spray Technology, March, Vol. 4/1,1995, pg. 75-84.

69. Liaop, H., ș.a. – Determination of Residual Stress Distribution from in Situ Curvature Measurements for Thermally Sprayed WC/CO Coatings, *Journal of Thermal Spray Technology*, June, Vol. 6/2, 1997, pg. 235-241.
70. Looft, D., J., s.a. – Rapid Solidification Processing: An Overview. *Proceeding of the International Conference RSP*, Virginia, USA, 1977, pg. 1-6.
71. Lu, K.–Nanocrystalline Metals Crystallized from Amorphous Solids: Nan crystallization, Structure and Properties, *Mater. Sc. & Eng. R16*, 1996, pg. 161-221.
72. Lugscheider, E., Hauser, P., – Optimized Vacuum Plasma-Sprayed Titanium Coatings, *Surface and Coatings technology*, No. 32, 1987, pg. 215-225.
73. Lugscheider, E., ș.a – Performance Plasma Sprayed Coatings, *ASM Thermal Spray Conference*, 31 Octtomber-2 November, Long Beach, California, USA, 1984, pg. 77-82.
74. Matache, Gh.- Studii și cercetări experimentale privind obținerea materialelor metalice cu structuri orientate și a materialelor compozite prin solidificare unidirecțională, *Teză de doctorat*, Universitatea politehnică București, București, 1994.
75. Matting, A. – Metal spraying: From gas flame to plasma jet, *British Welding Journal*, Sept., 1996, Pg. 524.
76. Mehrabian, R. – Relationship of Heat Flow to Structure in RSP, *Proceeding of the international Conference RSP*, Preston, Virginia, USA, Nov. 13-16, 1977, pg. 9-27.
77. Mocanu, D., R. – *Încercarea Materialelor*, Vol. 1, Ed. Tehnică, București, 1982.
78. Monde, A., O. – *Elements of Rapid Solidification*, Springier, 1998. 72
79. Montavon, G., ș.a. – Microstructural Index to Quantify Thermal Spray Deposit Microstructures Using Image Analysis, *Journal of Thermal Spray Technology*, June, Vol. 7/2, 1998, pg. 229-241.
80. Montavon, G., ș.a. – Quality Control of the Intrinsic Deposition Efficiency from the Controls of the Splat Morphologies and the Deposit Microstructure, *Journal of Thermal Spray Technology*, June, Vol. 6/2, 1997, pg.153-165.
81. Morean, D., C., ș.a. – Influence of Substrate Preparation on the Flattening and Cooling of Plasma-Sprayed Particles, *Journal of Thermal Spray Technology*, Mach, Vol. 4/1, 1995, pg. 25-32.
82. Moreau, C., ș.a. – The Relationship Between the Microstructure and Thermal Diffusivity of Plasma Sprayed Tungsten Coatings, *proc. Of the 7 th National Thermal Spray Conference*, 20-24 June, Boston, Massachusetts, 1994, pg. 621-626.
83. Moskowitz, L.,M., Klar, E. – Structure-Property Relationship in Flame Sprayed Nickel Base Powder Coatings, *Int. Powder Metallurgy Conference*, 22-27 June, Washington D.C., 1980, pg. 1-21.
84. Moss, A., R., ș.a. – The Role of Arc-Plasma in Metallurgy, *Powder Met.* 7, 1964, pg. 261-289.
85. Moss, A., R., Young, W., J. – *Arc Plasma Spraying*, Rare, Fort Halted, Kent, England, 1985, pg. 287-295.

86. Murakami, K., ș.a. – Thermal Spraying as a Method of Producing Rapidly Solidified Materials, The institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University, 8-1 Mihogaoka, Osaka 567, 1994, pg. 1-6.
87. Neacșu, M., Nae, I., Drumeanu, C., A., **Petrescu Doina** – Successions de dimensions linéaires avec un élément compensateur fixe, Buletinul nr.3– 2006, U.P.G. Ploiești, Vol. LVIII, Seria tehnică, decembrie, 2006, pg. 27.
88. Notomi, A., Nod, M. – Correlation between Particle Velocity and Diameter in plasma Spraying of Ni-Cr Alloy, Proceedings of the Int. Thermal Spray Conference, Orlando, Florida, USA, 28 May-5 June, 1992, pg. 349-353.
89. Oprean, A., ș.a. – Bazele așchierii și generării suprafețelor, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1981, pg.110-112.
90. Patrick I., Rooche J.-Fundamentals of Computational Fluid Dynamics, Proceedings I.T.S.C., New Mexico, USA, 28 May-5 June, 1998, pg. 887-891.
91. Pamanan, V., R., V. – the role of X on the properties of Fe-X-B-Si metallic glasses, Materials Science and Engineering, A 133, 1991, pg. 495-499.
92. **Petrescu Doina**, ș.a. – Modeling the process of hard coatings by high-speed flame spraying (HVOF), București, ROTRIB, octombrie, 2007.
93. **Petrescu Doina**, ș.a. – Experimental investigation concerning the mathematical model of hard deposit by high-speed flame spraying, București, ROTRIB, octombrie, 2007.
94. **Petrescu Doina** – Cercetări teoretico-experimentale privind depunerile superficiale prin pulverizare termică, Referat de doctorat, Universitatea Petrol-Gaze, Ploiesti, Iunie, 2002.
95. **Petrescu Doina**, Antonescu N.N., Neacșu M. - The Modulation of the Dynamic Processes at the High-Speed Flame Thermal Spraying, Buletinul nr. 3 - 2006 U.P.G. Ploiești, vol LVII, Seria tehnică, decembrie, 2006, pg.49.
96. **Petrescu Doina**, Antonescu, N.N., Calero, J.A., - The modulation of the dynamic processes at the thermal spraying of the Cr₃C₂-NiCr powder particles with high-speed flame , Buletinul nr. 4, U.P.G. Ploiești, vol LXI, Seria tehnică.2007, pg. 99.
97. Petrescu M.G., Antonescu N.N., Neacșu A., **Petrescu Doina** - Implicațiile factorului decizional în simularea și analiza fiabilității proceselor tehnologice industriale, The 28-th Annual ARA Congress, 2003.
98. Petrescu M.G., Antonescu N.N., **Petrescu Doina**, - Aprecierea costurilor mentenanței specifice instalațiilor de proces, The 29 th Annual Congress of the American Romanian Academy of arts and Sciences (ARA), 2004, pg. 415-417.
99. Petrescu M.G., Naie I., **Petrescu Doina** - Considerații privind optimizarea regimurilor la sudarea oțelurilor slab aliate cu rezistență mecanică ridicată, Conferința Internațională „Sudura 2002”, 25-27 septembrie, Ploiești, România, 2002, pg.38-42.
100. **Petrescu Doina** – Stadiul actual al cercetărilor în domeniul acoperirilor prin pulverizare termică, Referat de Doctorat, Mai, 2003.
101. **Petrescu Doina** – Aplicații ale pulverizării termice (metalizării) în domeniul realizării și recondiționării pieselor, Referat de Doctorat, Noiembrie, 2003.