

# MATERIALE DE CONSTRUCȚII

Revistă editată de



Calea Griviței nr. 136 Tel. 222.96.76  
Sector 1, București Tlx. 10693 ROM  
Cod 78 122 Fax 0040/1/222.83.49  
Cont virament  
4001610047103 BRD - SMB

Director general:  
Dr. ing. **TRAIAN ISPAS**

Nr. 3 - 1997  
Iulie - septembrie  
Vol. XXVII / p. 161-240

ISSN 0253 - 0201

## COLECTIVUL DE REDACȚIE

Redactor responsabil:

Prof. dr. docent ing. **ION TEGREANU**  
Universitatea "POLITEHNICA" București (UPB)

Prof. dr. ing. **PETRU BALTĂ** - UPB, ing. **SEPTIMIU BARNA** - Institutul Național de Sticlă (INS) - București, ing. **ADRIAN CERCHEZ** - INCERC, dr. ing. **MIHAI CERCHEZ** - INS București, prof. dr. ing. **LILIANA CRĂCIUNESCU** - Universitatea Tehnică de Construcții București, ing. **PAUL DIMA**, ing. **CRISTINA DUMITRESCU** - CEPROCIM București, conf. dr. ing. **MIHAI ENACHE** - Universitatea Tehnică Timișoara, dr. ing. **TRAIAN ISPAS** - PROCEMA S.A. București, prof. dr. ing. **MARCELA MUNTEAN** - UPB, dr. ing. **DORU PUȘCAȘU** - CEPROCIM S.A. București, prof. dr. ing. **HANS HELMUT REHNER** - UPB

Este interzisă conform legii, reproducerea integrală sau parțială a conținutului revistei, pe orice cale și prin orice mijloace, fără acordul scris al redacției și al autorului, care deține dreptul de copiere.

## CUPRINS

HANS HELMUT REHNER, MARIA PEDA Optimizarea compoziției glazurilor cu ajutorul programului "GLAS" .....	164
BRIAN BRINDLEY Noutăți în turnarea obiectelor sanitare .....	171
GHEORGHE IORDACHE, GHEORGHE DAN PASAT Determinarea constantelor reologice pentru unele tipuri de paste ceramice .....	174
IOAN LAZĂU, CORNELIA PĂCURARIU, CLAUDIA MARACU Sinteza unor pigmenți anorganici cu structură de silenit .....	177
ANGHEL IONCEA, DOREL RADU, OVIDIU DUMITRESCU, DRAGOȘ IONESCU Tratamente laser ale acoperirilor ceramice și metalice realizate prin pulverizare în plasmă. Partea I. Realizarea acoperirilor de ZrO <sub>2</sub> stabilizat cu Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , pe substraturi metalice prin pulverizare în plasmă.....	187
VIRGINIA BURGHELEA, ONELA MANGU Sinteza unor titași de magneziu în prezență de săruri topite (flux) .....	195
NATALIA BĂDĂU, MARIA CHIȘU Obținerea pe cale chimică a pulberii de dioxid de zirconiu din zircon.....	199
ALEXANDRU SECU, DORINA ISOPESCU, NICOLAE ȚĂRANU Metodologie modernă pentru determinarea caracteristicilor necesare proiectării materialelor compozite cu matrice polimerică.....	206
NORICA PUȘCAȘU, IONELA PETRE Filtre ceramice pentru topituri metalice (neferoase și fonte speciale).....	210
ENIKŐ VOLCEANOV, ADRIAN PANTEA, ADELA APOSTOL Uzura cărămidilor periclazice în zona brăului de zgură din oalele VAD.....	214
FLORIAN COJOCARU, MIRCEA PETRIȘOR, ECATERINA BUZEA Utilizarea sterilelor carbonifere de filtru - presă la fabricarea produselor ceramice de zidărie .....	220
MIHAELA DUCA, VOICU DUCA Informare. Posibilitățile de utilizare a andezitului argilizat de Roșia Poieni în ceramica de menaj.....	223
ION TEOREANU, MARCELA MUNTEAN Sisteme liante activate alcalin (engleză) .....	227
ANATOLI MÂNDRU, ION FLOREA Arzătoare mixte moderne pentru cuptoare de clincher.....	233
A V-a Conferință a Societății Europene de Ceramică - Versailles .....	238
AROS - Asociația Română a Sticlei .....	205
Cetățile românești de pe Nistru .....	209
Orașe. Monumente. Muzee .....	163
Manifestări științifice naționale .....	194
Manifestări științifice internaționale .....	170, 183, 194, 198, 204, 213, 232, 238

Coordonator:  
ing. **ION BERCA**

Redactori:  
ing. **GABRIELA NICULAE**  
ing. **VIRGINIA MOLDOVEANU**

Tehnoredactare computerizată: ing. **ANDREIA DĂNILĂ**

The readers from abroad may subscribe to "PROCEMA" S.A. București, Calea Griviței, nr. 136, sector 1, Telex 10693 - ROM, Fax 0040/1/222.83.49, E-mail: procema @ sunu.rnc.ro and "RODIPET" S.A., PO Box 33-57, Telex 11995; 11034, Fax 0040-1-222.64.07 sau 222.64.39, București, Piața Presei Libere, nr. 1, sector 1, România

Articolele și comenzile pentru abonamente și fișe tehnice (reclame) se primesc pe adresa/ The papers and orders for subscriptions and technical information sheets (advertisements) should be mailed to the address below: PROCEMA S.A. - Calea Griviței, nr. 136, cod 78 122, sector 1, București - România, E-mail: procema @ sunu.rnc.ro. Informațiile se pot primi la telefon: 222.96.76.

Abonamentele pentru întreprinderi, instituții și individuale în valoare de 24000 lei anual (80\$/year) se pot achita în numerar sau în contul de virament al PROCEMA S.A. nr. 4001610047103 BRD - SMB (lei) sau 1520710047103 BRD - SMB (\$)

## BUILDING MATERIALS

Editată cu sprijinul  
Ministerului Cercetării și Tehnologiei

### CONTENTS

HANS HELMUT REHNER, MARIA PREDĂ	
Optimizing of glaze composition by means of "GLAS" programme .....	164
BRIAN BRINDLEY	
New development in the casting of ceramic sanitaryware .....	171
GHEORGHE IORDACHE, GHEORGHE DAN PASAT	
Determining of rheological constants for some types of ceramic pastes .....	174
IOAN LAZĂU, CORNELIA PĂCURARIU, CLAUDIA MARACU	
Synthesis of some inorganic pigments with sillenite structure .....	177
ANGHEL IONCĂ, DOREL RADU, OVIDIU DUMITRESCU, DRAGOȘ IONESCU	
Laser treatments of ceramic and metallic coats produced by spraying in plasma	
I part: Producing of $Y_2O_3$ stabilized $ZrO_2$ coats, on metallic sub-strata, by spraying in plasma .....	187
VIRGINIA BURGHELEA, ONELA MANGU	
Synthesis of some magnesium titanates in the presence of melted salts (flow) .....	195
NATALIA BĂDĂU, MARIA CHIȘU	
Chemical obtaining of zirconia powder from zircon .....	199
ALEXANDRU SECU, DORINA ISOPESCU, NICOLAE ȚĂRANU	
Modern methodology for determining the characteristics necessary for designing the composite materials with polymer matrix.....	206
NORICA PUȘCAȘU, IONELA PETRE	
Ceramic filters for metal melts (non-ferrous and special cast iron).....	210
ENIKŌ VOLCEANOV, ADRIAN PANTEA, ADELA APOSTOL	
The wear of periclase bricks in the slag zone lining of the VAD ladles .....	214
FLORIAN COJOCARU, MIRCEA PETRIȘOR, ECATERINA BUZEA	
Use of filter - press coal-bearing refuse for manufacturing masonry ceramic products.....	220
MIHAELA DUCA, VOICU DUCA	
Information. Possibilities of using "Roșia Poieni" clay - turned andesite for tableware ceramics .....	223
ION TEOREANU, MARCELA MUNTEAN	
Alkaline activated binder system .....	227
ANATOLI MÂNDRU, ION FLOREA	
Modern burners for mixed fuels used in clinker kilns.....	233
The V-th ECerS Conference - Versailles (France) June 22-26 .....	238
AROS - Romanian Glass Society .....	205
Romanian fortified towns on the Dnestr .....	209

## MÂNĂSTIREA CELIC - DERE

Această mănăstire de călugărițe se află în satul Telia din Județul Tulcea. Biserica mănăstirii Celic - Dere este o construcție originală cu două etaje: biserica de vară și cea de iarnă. În forma sa actuală a fost construită în cursul primilor ani ai acestui secol. În imediata sa vecinătate se află sălile care găzduiesc interesanta colecție de obiecte religioase a mănăstirii.



## TRATAMENTE LASER ALE ACOPERIRILOR CERAMICE SI METALICE REALIZATE PRIN PULVERIZARE IN PLASMĂ

### Partea I: REALIZAREA ACOPERIRILOR DE $ZrO_2$ STABILIZAT CU $Y_2O_3$ , PE SUBSTRATURI METALICE, PRIN PULVERIZARE IN PLASMĂ

### LASER TREATMENTS OF CERAMIC AND METALLIC COATS PRODUCED BY SPRAYING IN PLASMA

### I. PART: PRODUCING OF $Y_2O_3$ STABILIZED $ZrO_2$ COATS, ON METALLIC SUB-STRATA, BY SPRAYING IN PLASMA

The article presents the experiments carried out in order to produce certain ceramic coats based on  $Y_2O_3$  stabilized  $ZrO_2$ ; such coats are especially used as thermal protection barriers for various parts and sub-assemblies - component parts of motors used in aeronautics. The experiments carried out to obtain other types of metal and ceramic coats, such as: metal coats of Ni-Cr powders on metal support of Inconel 625 alloy or ceramic coats of  $Al_2O_3$  powders on Al-Cu alloy support, with various applications are also succinctly described. The details presented especially refer to the way the ceramic coats based on  $Y_2O_3$  stabilized zirconia are produced, as their applications in the aeronautics industry and in building internal - combustion engines cause special interest.

În articol se prezintă experimentările efectuate în vederea realizării unor acoperiri ceramice pe bază de  $ZrO_2$  stabilizat cu  $Y_2O_3$ ; astfel de acoperiri sunt utilizate îndeosebi ca bariere de protecție termică pentru diverse părți și subansamble din componența motoarelor utilizate în aeronautică. Totodată se descriu succint experimentările efectuate pentru realizarea și a altor tipuri de acoperiri metalice și ceramice, ca de exemplu: acoperiri metalice din pulberi de Ni - Cr pe suport metalic din aliaj Inconel 625 sau acoperiri ceramice din pulberi de  $Al_2O_3$  pe suport din aliaj Al-Cu, cu aplicații diverse. Detalii se prezintă, în special despre modul de realizare a acoperirilor ceramice pe bază de zirconie stabilizată cu  $Y_2O_3$ , ale căror utilizări în industria aeronautică și în construcția motoarelor cu ardere internă, suscită un deosebit interes.

#### 1. Introducere

Este cunoscut faptul că numeroase funcții de utilizare ale materialelor pot fi realizate la un nivel înalt de performanță prin folosirea acoperirilor ceramice. Acestea sunt determinate de excelențele rezistențe la temperaturi extreme, coroziune și uzură ale acoperirilor [ 1 ].

Ca materiale ceramice de acoperire se pot folosi majoritatea oxizilor ceramici, unele compoziții vitroase, nitruri, carburi, siliciuri, boruri de: Al, B, Mo, Ni, Si, Ta, Ti, V, W, Zr, Cr, Hf, Nb, Re.

Utilizarea acoperirilor ceramice pe substraturi metalice este în continuă creștere datorită avantajelor potențiale pe care acestea le pot aduce atât în îmbunătățirea performanțelor odată cu reducerea costurilor totale cât și în reducerea consumurilor de metale strategice importante. Este posibil ca, utilizând diversele tehnici de acoperire disponibile, să se dezvolte acoperiri cu microstructuri de neechilibru și cu proprietăți îmbunătățite.

O serie de aplicații industriale vin să confirme importanța practică a utilizării diferitelor sisteme de acoperiri ceramice:

- durata de viață a sculelor de tăiere, găurire și prelucrare crește de 10 ori prin acoperire superficială cu TiN. Acoperiri multistrat, ca de exemplu TiN/ $Al_2O_3$  sau TiC/TiN permit dublarea vitezei sculelor de tăiere. În prezent, circa 65% din sculele de tăiere și găurire vândute în SUA și Europa au astfel de acoperiri;

- în industria aeronautică, acoperirile ceramice înalt izolatoare termic oferă posibilitatea reducerii complexității componentelor, cu micșorarea costurilor și posibila creștere a duratei de viață. Circa 50% din componentele turbinei motoarelor aero au în prezent bariere termice și anticoroziune, realizate prin acoperirea superficială cu  $ZrO_2$  parțial stabilizat cu MgO sau  $Y_2O_3$ . Utilizarea acestor acoperiri în zonele de carbuție și la turbine poate diminua consumul de combustibil cu 1-2%.

Elementul ce conduce la creșterea utilizării tehnologiilor de acoperiri ceramice este abilitatea acestora de a îmbunătăți performanțele componentelor sau de a modifica comportarea funcțională a materialului. Folosind acoperiri ceramice este posibilă realizarea unui compus care poate avea performanțe de care, singure, nu sunt capabile nici



acoperirea, nici substratul [ 2 ].

În ultima vreme a fost anunțată dezvoltarea unor noi acoperiri ceramice, unele dintre ele fiind deosebit de atractive.

Tabelul 1 prezintă o trecere în revistă asupra potențialelor aplicații ale acoperirilor realizabile prin pulverizare în plasmă [ 3 ].

În articol se prezintă experimentările efectuate în vederea realizării unor acoperiri ceramice pe bază de  $ZrO_2$  stabilizat cu  $Y_2O_3$  ; astfel de acoperiri sunt utilizate îndeosebi ca bariere de protecție termică pentru diverse părți și subansamble din componența motoarelor utilizate în aeronautică [4,5].

Totodată se descriu succint experimentările efectuate pentru realizarea și a altor tipuri de acoperiri metalice și ceramice ca de exemplu acoperiri metalice din pulberi de Ni - Cr pe suport metalic din aliaj Inconel 625 sau acoperiri ceramice din pulberi de  $Al_2O_3$  pe suport din aliaj Al-Cu, cu aplicații diverse.

Sunt prezentate detalii, în special despre modul de realizare a acoperirilor ceramice pe bază de zirconie stabilizată cu  $Y_2O_3$ , ale căror utilizări în industria aeronautică și în construcția motoarelor cu ardere internă, suscită un deosebit interes [2].

## 2. Tehnici de pulverizare în plasmă

### 2.1. Considerații generale asupra metodei

Pulverizarea în plasmă a devenit un procedeu de producere a unei mari varietăți de materiale necesare pentru diferite aplicații. Procedeu, folosit

în condiții atmosferice normale, de exemplu în aer, este des utilizat la obținerea unor acoperiri din materiale diverse, cum ar fi: carburi, ceramici, metale și aliaje, pe diferite tipuri de suprafețe metalice, ceramice sau plastice. Acoperirile au o densitate cuprinsă de obicei între 90 și 95% din densitatea teoretică a materialului folosit la acoperire; procedeul este flexibil și a atins un înalt nivel de industrializare [6]. Cercetările ce se desfășoară în prezent în acest domeniu au ca scop realizarea unor acoperiri din diferite materiale pe diferite substraturi, care să răspundă, în condiții funcționale superioare, unor cerințe specifice.

Pe măsură ce s-a încercat depunerea unor materiale mai sensibile la pulverizare în atmosferă normală, s-au dezvoltat tehnicile de pulverizare în plasmă în atmosferă controlată. Este cazul unor aliaje din familia MCrAlY sau al metalelor refractare ca: Ta, Ti, W sau Nb. Aliajele MCrAlY sunt necesare pentru protecții înalt termice pentru paletele turbinelor cu gaz și al vanelor. În acest scop a fost dezvoltată tehnica pulverizării în plasmă la o foarte scăzută presiune parțială a oxigenului. Aceasta împiedică formarea oxidilor în acoperire care ar putea determina un nivel scăzut de protecție în serviciu a suprafețelor componentelor acoperite.

Acoperirile realizate prin pulverizare în plasmă la joasă presiune au o foarte înaltă densitate (>95%), nu conțin oxizi și sunt foarte aderente pe substratul metalic. Mai mult, deoarece acoperirile sunt realizate într-o atmosferă cu conținut redus de

Tabelul 1

Aplicații viitoare ale acoperirilor realizate prin pulverizare în plasmă  
Future applications of coats produced by spraying in plasma

Funcția acoperirii* Coat function	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Industria Industry											
Chimică	●	●			○		□				
Electrică	●		○			○					
Spațiu și aeronautică	●	●	□	●		●	○		□	□	□
Nucleară		○	□	●						□	□
Medicină		○			●	□					
Metalurgie	●	●				□	○	○			
Tehnologia materialelor		□	○			○	○	●			

\* 1 protecții anticorozive

2 protecții antiuzură

3 proprietăți electronice

4 radiație

5 proprietăți chimice /biologice

6 forme finite

7 recondiționare

8 procesarea pulberilor

9 compozite sensibile

10 materiale instabile

11 acoperiri amorfice prin solidificare

● - aplicații industriale sau în curs de introducere

□ - înalt potențial

○ - în curs de dezvoltare, fără simbol - potențial neexplorat

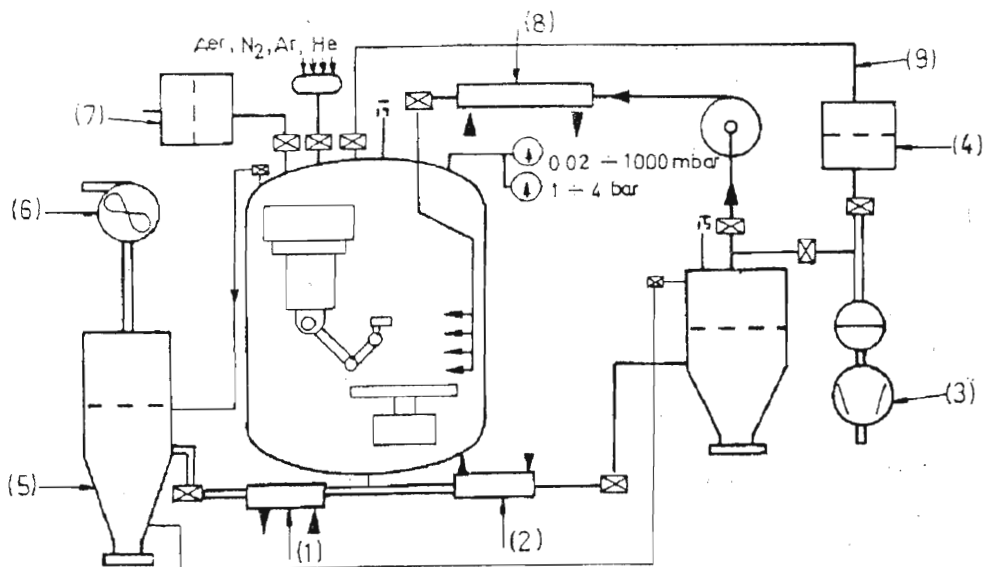


Fig.1- Schema de principiu a unui sistem de pulverizare în plasmă în atmosferă controlată (CAPS) / Principle scheme of a system of spraying in plasma in controlled atmosphere : 1,2,8 - schimbătoare de căldură / heat exchangers; 3 - stand pompă/ pump stand; 4,7 - filtre/ filters; 5 - colector praf / dust collector; 6 - ventilator / fan; 9 - circulație gaz sub presiune/ circulation of cylinder gas.

- Operare VPS (pulverizare în vid): presiunea de lucru este 20-900 mbar. Aerul din incinta de lucru este eliminat până la un vid de  $10^{-2}$  mbar, după care este umplută incinta cu argon până la presiunea de 20-900 mbar.
- Operare IPS (pulverizare în atmosferă inertă): presiunea de lucru este în acest caz de 1050-4900 mbar. Incinta de lucru este vidată până la 10-2 mbar apoi este umplută cu argon până la presiunea de lucru. În timpul pulverizării, atmosfera din incinta de lucru este circulată, filtrată și răcită într-o buclă de răcire care asigură și răcirea substratului pe care se face depunerea. Presiunea este reglată cu ajutorul unei valve de reglare.

### 3. Realizarea experimentală a acoperirilor prin pulverizare în plasmă

#### 3.1. Identificarea parametrilor ce influențează procesul de pulverizare în plasmă

Tehnologia pulverizării în plasmă este complexă, ținând cont de multitudinea parametrilor implicați în proces; transferul de material pe suport se efectuează prin depozitarea (depunerea) de particule. Aceste particule de pudră sunt injectate perpendicular sau în contracurent cu jetul de plasmă la ieșirea din arzător, prin intermediul unui gaz purtător. Ele trebuie injectate în mijlocul jetului de plasmă înainte de a obține o fuziune (topire) totală a pudrei. După un timp de câteva milisecunde în mijlocul sursei de căldură, particulele sunt pulverizate sub formă de mici picături, care după ce ating o viteză apropiată de 2 Mach, ajung în impact cu suprafața substratului formând lamele (straturi) deosebit de fine [7].

Micile picături de material topit sunt deci supuse unui șoc termic dur, putându-se forma în acest fel o fază amorfă: neexistând timpul necesar pentru recristalizare, starea lichidă este brusc înghețată. O altă consecință a acestei scăderi bruște de temperatură este apariția unor tensiuni termice în depozitul ceramic, ceea ce face ca acoperirile prea subțiri să nu aibă rezistență mecanică suficientă, microfisurarea dovedindu-se a fi foarte importantă.

Tehnica depunerii în plasmă permite realizarea de straturi superficiale din materiale refractare pe suporturi nerefractare, care nu suportă temperaturi sau variații de temperatură importante. În general, temperatura substratului rămâne mai mică de  $100^{\circ}\text{C}$  și modificările rezultate sunt neglijabile.

Mentținerea stratului ceramic pe suport este determinată, în principal de o legătură mecanică cu asperitățile suprafeței suportului sau cu particulele deja solidificate. Pentru a se asigura aderența particulelor pe suport, suprafața acestuia este pregătită în prealabil prin sablare și apoi curățată în scopul realizării unei bune rugozități pentru aderență și pentru evitarea prezenței unei pelicule de impurități nefaste adeziunii.

Numeroși parametri influențează, într-o strânsă legătură, caracteristicile depozitului obținut:

- răcirea flăcării;
- granulometria pulberii;
- viteza de injecție;
- distanța flacără-substrat etc.

Reglajele sunt delicate și riguroase implicând realizarea a numeroase compromisuri.

În general, depozitele ceramice obținute în aceste condiții arată o multitudine de fisuri care se formează în cursul răcirii foarte rapide a picăturilor. În același timp aceste depozite prezintă o

Fig.2-

micr  
pute

plas

calit

înair

mai

form

elec

moș

azo

pos

tem

arg

oxiș

plas

Pla:

car

ridi

efic

în s

me

put

caș

La

apr

mic

160

pla

M,

oxigen. componentele pot fi preîncălzite la temperaturi înalte fără oxidarea suprafeței.

Prin urmare, sistemele de pulverizare în plasmă au fost dezvoltate pentru a răspunde unor cerințe specifice necesare pentru obținerea unor materiale industriale cu proprietăți deosebite. În acest mod, pulverizarea în plasmă poate avea loc, fie la presiuni de circa 1000 mbar în atmosferă normală, fie la presiuni cuprinse între 20 și 200 mbar, în camere vidate, unde atmosfera depinde de compoziția gazului plasmogen.

Pe de altă parte, pulverizarea în plasmă la presiune ridicată poate conduce la creșterea transferului termic către particulele pulverizate ceea ce poate îmbunătăți eficiența pulverizării și porozitatea acoperirii. Mai mult, se poate considera că procesele la presiuni ridicate pot fi de interes pentru controlarea unor reacții chimice, ca de exemplu reducerea sau chiar suprimarea descompunerii pulberilor instabile.

În sfârșit, prin separarea mediului ambiant al camerei de lucru de mediul gazelor plasmogene, este posibil să se introducă în aceasta, gaze de răcire; în acest mod devine posibilă pulverizarea în plasmă pe substraturi sensibile, cum ar fi compozitele.

Pentru a se face distincția între diferitele condiții existente în camera de lucru a unei instalații de pulverizare în plasmă s-au adoptat anumiți termeni (prezentată și în tabelul 2):

**Tabelul 2**

Condiții și domenii de presiuni la pulverizarea în plasmă  
Conditions and pressure fields at spraying in plasma

Proces Process	Condiții Conditions	Domeniu de presiuni Pressure fields
CAPS	atmosferă inertă sau reactivă	20 mbar - 4 bar
IPS	atmosferă inertă normală sau presurizată	1 - 4 bar
VPS	atmosferă inertă sau vid	20 - 200 mbar
APS	presiune atmosferică în aer	≈ 1000 mbar
RPS	atmosfere reactive	1 - 4 bar

CAPS - Controlled Atmosphere Plasma Spraying (pulverizare în plasmă în atmosferă controlată);

IPS - Inert Gas Plasma Spraying (pulverizare în plasmă în gaz inert; inert = fără orice proprietate chimică activă);

VPS - Vacuum or Low Pressure Plasma Spraying (pulverizare în plasmă în vid sau la joasă presiune);

APS - Air Plasma Spraying (pulverizare în plasmă în aer);

RPS - Reactive Gas Plasma Spraying (pulverizare în plasmă de gaze reactive).

## 2. 2. Sistemul de pulverizare în plasmă în atmosferă controlată

Cel mai des utilizat sistem de pulverizare în plasmă este cel în atmosferă controlată. Un sistem

asemănător a fost și cel utilizat în cursul experimentărilor noastre. De aceea, în continuare se vor prezenta câteva detalii privind principiul de funcționare al acestui sistem [6].

Sistemul cuprinde o serie de facilități, după cum urmează:

- procesul este universal și flexibil și acoperă toate domeniile de presiune și de compoziții de atmosfere în incinta de lucru, ca de exemplu: pulverizarea în aer (utilizată în cursul experimentărilor noastre), în vid, în atmosferă inertă sau reactivă;
- îndepărtarea continuă a prafului și a excesului de pulbere pulverizată în incinta de lucru;
- răcirea substratului și a acoperirii în timpul pulverizării, utilizând CO<sub>2</sub>, argon sau azot;
- îmbunătățirea eficienței procesului de curățire a suprafeței epruvetelor de lucru, înainte de depunere, folosind arcul transferat reversibil.

Pentru a atinge și menține aceste caracteristici, sistemele tipice CAPS sunt alcătuite din componente și subsisteme, dintre care unele sunt standardizate iar altele au fost special dezvoltate pentru a garanta succesul sistemului.

Schema de principiu a unui sistem CAPS tipic este prezentată în figura. 1.

În general, un astfel de sistem de pulverizare în plasmă cuprinde:

1. Sistemul de control al atmosferei din camera de lucru:

- camera de pulverizare (vid și presurizată);
- pompe, valve, filtre, conducte;
- bucle de răcire și de circulație a gazelor.

2. Sistemul de pulverizare în plasmă:

- unitate de programare și afișare;
- dispozitiv de control modular de proces;
- tun de pulverizare;
- alimentator de pulbere;
- generator de putere pentru generare plasmă;
- unitate de putere pentru transfer de arc.

3. Sistem de manipulare:

- robot în 5 axe pentru manipulare tun;
- masă rotativă în 2 axe pentru manipulare piesă;

4. Echipamente periferice:

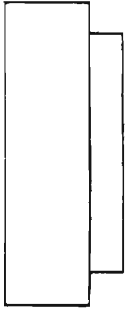
- sisteme de răcire cu apă pentru: plasmă, incintă de lucru, schimbător de căldură;
- sistem de ventilare a incintei de lucru și sistem de colectare praf.

Sistemul este astfel proiectat încât permite funcționarea în următoarele moduri:

- Operare APS (pulverizare în aer): aerul filtrat este introdus prin partea superioară în incinta de lucru; aerul este eliminat din incintă prin partea de jos prin sistemul de ventilare.

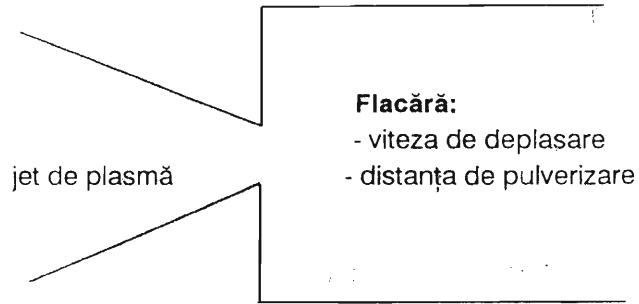
- Plasmă:**
- diluția aerului
  - compoziția gazului
  - temperatura jetului de plasmă
  - viteza

**Depozit**



**Substrat:**

- temperatura
- control tensiuni reziduale
- viteză impact particule



**Flacăra:**

- viteza de deplasare
- distanța de pulverizare

**Injector:**

- debit de gaz purtător
- debit de pulbere

**Pulbere:**

- distribuție, mărime și formă granule
- distribuție viteze de injecție
- timp de ședere în plasmă

Fig.2- Principiul pulverizării în plasmă și parametrii de proces / Principle of spraying in plasma and process parameters.

microstructură poroasă ce conduce la creșterea puterii izolatoare a materialului.

În figura 2 se indică principiul depunerii în plasmă și principalii parametri ai procesului.

Caracteristicile plasmei influențează esențial calitatea stratului depus. După cum am precizat mai înainte, plasma este un mediu obținut la temperaturi mai mari de 3000°C la presiune atmosferică, fiind formată dintr-un număr mare de specii chimice: ioni, electroni, specii excitate etc. Principalele gaze plasmogene utilizate sunt: argon pur, argon-hidrogen, azot-hidrogen și azot-heliu. Argonul la 14000 K posedă aceeași energie ca azotul sau hidrogenul la temperaturi mai puțin ridicate. Adiția la o plasmă de argon a unui gaz diatomic, ca de exemplu hidrogen, oxigen sau azot, este însoțită de o răcire rapidă a plasmei prin sustragerea de energie din argon. Plasmele cu proporții însemnate de hidrogen sunt caracterizate printr-o conductivitate termică ridicată, maximă la 6000 K, de unde, o lipsă a eficacității termice în raport cu materialul tratat, dar în același timp, și o accentuare a pierderilor către mediul înconjurător a jetului de plasmă.

Adiția de hidrogen la argon duce la creșterea puterii flăcării crescând puterea calorică și capacitatea acesteia de a topi materiale refractare. La nivelul transferului termic, heliul se comportă aproximativ la fel ca hidrogenul, conductivitatea termică a heliului devenind importantă dincolo de 16000 K. Energia de excitare necesară realizării plasmei este furnizată de un generator electric de

curent continuu sau alternativ, prin radio- frecvență sau prin microunde.

**3.2. Experimentări pentru realizarea acoperirilor de ZrO<sub>2</sub> stabilizat**

Experimentările efectuate în această etapă s-au axat pe realizarea acoperirilor ceramice de ZrO<sub>2</sub> stabilizat cu Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> depuse pe suport din aliaj Hastelloy X. Considerentele ce au condus la aceasta sunt legate mai ales de potențialele aplicații la realizarea de bariere termice pentru protecția paletelor de turbină ale motoarelor cu combustie internă, cu impact major în îmbunătățirea performanțelor de funcționare ale acestora [8].

Substratul metalic pe care s-au realizat acoperirile a fost realizat din aliaj Hastelloy X; compoziția chimică a aliajului este prezentată în tabelul 3.

În cursul experimentărilor s-au realizat două tipuri de acoperiri pe bază de zirconie stabilizată; cele două tipuri au diferit între ele prin compoziția chimică a pulberii ceramice folosite (ZrO<sub>2</sub> stabilizat cu 7,5% și respectiv, 8% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Înainte de a se realiza acoperirea ceramică, suprafețele suporturilor metalice au fost pregătite, în prealabil, prin procedee mecanice. Pregătirea mecanică a suprafețelor constă, în general, în sablarea cu diferite materiale granulare cu dimensiuni diferite ale granulelor. Scopul este acela de a realiza suprafețe cu rugozități mari pentru mărirea suprafeței specifice pe care se va realiza depunerea. În denivelările astfel create ale

Compoziția chimică a aliajului Hastelloy X (\* maxim) / Chemical composition of Hastelloy X alloy (\* maximum)

Ni	Co	Cr	Mo	W	Fe	C	Si	Mn	B	Ti	Al	Cu	P	S
bază	0,50 - 2,50	20,5 - 23,0	8,0 - 10,0	0,20 - 1,00	17,0 - 20,0	0,05 - 0,15	1,00*	1,00*	0,008*	0,15*	0,50*	0,50*	0,04*	0,03*

suprafeții vor pătrunde particulele de material ceramic depuse prin pulverizare în plasmă la viteze foarte mari (ce pot atinge chiar 2 Mach).

Se realizează în acest mod un acroșaj mecanic între stratul primar de material ceramic și suprafața metalică. Cu cât suprafața pe care se realizează depunerea este mai rugoasă și neregulată, cu cât acroșajul mecanic va fi mai puternic și va conduce la o legătură mai puternică între depunere și substrat. De modul cum se realizează adeziunea între primele particule proiectate și suprafața metalică depinde integritatea, soliditatea și rezistența mecanică a întregii acoperiri.

În cursul experimentărilor, pregătirea suprafețelor substraturilor metalice s-a realizat prin sablare cu nisip sau particule de alumina. Depunerea acoperirilor pe suporturile astfel pregătite s-a făcut aproape imediat (la cca. 10 minute) pentru a evita impurificarea suprafețelor, care poate afecta adeziunea dintre acoperire și substrat.

Pentru îmbunătățirea aderenței acoperirii ceramice pe substratul metalic s-au depus, de asemenea prin pulverizare în plasmă, straturi inițiale din pulberi metalice de tip Ni-Al sau NiCoCrAlY, care măresc rugozitatea substratului metalic.

Condițiile tehnice de realizare ale celor două tipuri de acoperiri precum și valorile principalilor parametri de proces implicați sunt prezentați în continuare:

#### Experimentul A:

- # Tipul de pulverizare: Pulverizare în plasmă atmosferică
- # Echipament utilizat: METCO 7 MB
- # Distanța de pulverizare: 10 cm
- # Pulbere ceramică: Pulbere de zirconie stabilizată cu oxid de ytriu tip METCO 204B-NS cu următoarea compoziție chimică:

\* 92% ZrO<sub>2</sub> + 7,5% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (\* urme de alți oxizi)

# Dimensiune particule de ZrO<sub>2</sub>: 45-75 μm;  
punct de topire: 2710°C

# Acoperire intermediară de legătură: au fost utilizate 2 tipuri de astfel de acoperiri:

\* Ni-Al (96% Ni + 4% Al) \* NiCoCrAlY

# Dimensiune particule Ni-Al: 175-325 μm;  
punct de topire 660°C

În tabelele 4 și 5 sunt prezentate valorile parametrilor procesului de pulverizare în plasmă utilizați la realizarea acoperirii ceramice și respectiv, la realizarea acoperirii metalice de legătură.

Tabelul 4

Parametrii pulverizării în plasmă a pulberii de ZrO<sub>2</sub> (Experimentul A)

Parameters of spraying in plasma of ZrO<sub>2</sub> powder (Experiment A)

1. Parametrii gazului plasmogen Parameters of plasmageneous gas		
	Presiune [MPa]	Viteză curgere [m <sup>3</sup> /h]
Gaz primar (N <sub>2</sub> )	0,35	22,7
Gaz secundar (H <sub>2</sub> )	0,51	4,3
Gaz purtător (aer uscat)	0,35	5,2
2. Parametrii tunului de pulverizare Parameters of spraying gun		
Curent	600 A	
Tensiune	70 V	
Viteza de pulverizare	2,71 kg/h	

Tabelul 5

Parametrii pulverizării în plasmă a pulberilor Ni-Al și NiCoCrAlY (Experimentul A)

Parameters of spraying in plasma of Ni-Al and NiCoCrAlY powder (Experiment A)

1. Parametrii gazului plasmogen Parameters of plasmageneous gas		
	Presiune [MPa]	Viteză curgere [m <sup>3</sup> /h]
Gaz primar (N <sub>2</sub> )	0,35	42,5
Gaz secundar (H <sub>2</sub> )	0,35	2,6
Gaz purtător* (aer uscat)	0,35	5,2
2. Parametrii tunului de pulverizare Parameters of spraying gun		
Curent	500 A	
Tensiune	80 V	
Viteza de pulverizare	2,71 kg/h	

#### Experimentul B:

- # Tipul de pulverizare: Pulverizare în plasmă atmosferică
- # Echipament utilizat: METCO 7 MB
- # Distanța de pulverizare: 10 cm
- # Pulbere ceramică: Pulbere de zirconie stabilizată cu oxid de ytriu tip METCO 204B-NS cu



următoarea compoziție chimică:

92% ZrO<sub>2</sub> + 8% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

# Dimensiune particule de ZrO<sub>2</sub>: 45-75 μm;  
punct de topire: 2710°C

# Acoperire intermediară de legătură:  
NiCoCrAlY

Parametrii de proces implicați în acest caz sunt prezentați în tabelul 6.

Tabelul 6

Parametrii pulverizării în plasmă a pulberii de ZrO<sub>2</sub>  
(Experimentul B)  
Parameters of spraying in plasma of ZrO<sub>2</sub> powder  
(Experiment B)

1. Parametrii gazului plasmogen Parameters of plasmageneous gas		
	Presiune [MPa]	Viteză curgere [m <sup>3</sup> /h]
Gaz primar (N <sub>2</sub> )	0,68	22,4
Gaz secundar (H <sub>2</sub> )	0,34	3
Gaz purtător (aer uscat)	0,68	5,6
2. Parametrii tunului de pulverizare Parameters of spraying gun		
Curent	400 A	
Tensiune	60 V	
Viteza de pulverizare	2,71 kg/h	

Rezultatele ce sunt prezentate în continuare se referă la acoperirile de ZrO<sub>2</sub> stabilizat cu 8% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, adică la cele efectuate în condițiile experimentului B; în urma evaluărilor preliminare ale unor caracteristici (morfologie și microstructură, structură) s-a considerat că acoperirile realizate în condițiile experimentului B corespund obiectivelor cercetării.

Prin urmare, în condițiile corespunzătoare acestui tip de experiment au fost realizate acoperiri pe un număr de 7 probe, care au diferit între ele prin grosimea stratului ceramic depus și prin dimensiunea substratului metalic pe care s-a realizat acoperirea.

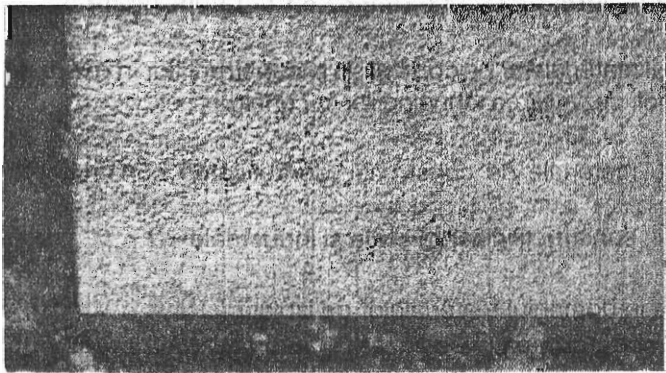


Fig.3- Aspectul general al acoperirii ceramice (x1)  
General appearance of ceramic coat (x1).

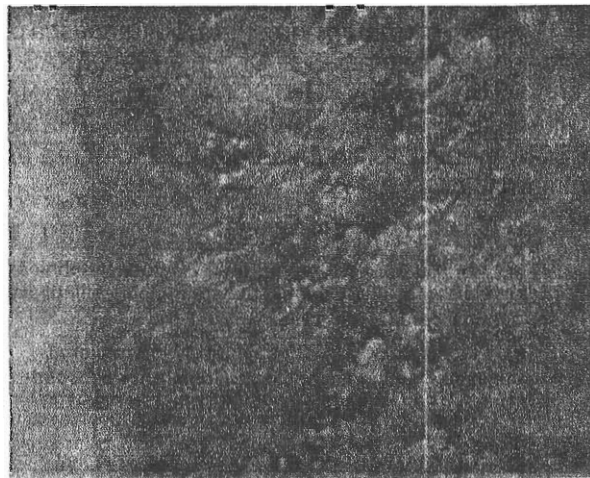


Fig. 4- Imagine SEM ce prezintă aspectul general al acoperirii (x 170) / SEM image presenting the general appearance of the coat (x170): 1 - strat ceramic (ZrO<sub>2</sub> stabilizat cu 8% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) / ceramic layer (ZrO<sub>2</sub> stabilized with 8% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); 2 - strat intermediar de legătură (NiCoCrAlY) / intermediate connecting layer (NiCoCrAlY); 3 - substrat metalic (aliaj Hastelloy X) / metallic sub-layer (Hastelloy X alloy).

Aspectul acoperiri ceramice, la privire cu ochiul liber, este acela al unei acoperiri omogene și uniforme, aspect prezentat în figura 3.

În figura 4 este prezentat aspectul general, în secțiune transversală, al unei acoperiri de ZrO<sub>2</sub> stabilizat cu 8% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> realizată în condițiile experimentului B (proba 6).

Se evidențiază o adeziune puternică atât între stratul ceramic de ZrO<sub>2</sub> și cel de legătură de NiCoCrAlY, datorită prezenței unor particule de material ceramic în neuniformitățile stratului intermediar de legătură, cât și între stratul de legătură NiCoCrAlY și substratul metalic Hastelloy X.

#### 4. Concluzii

S-au efectuat experimentări preliminare de depunere ale unor materiale ceramice și metalice cu scopul de a identifica parametrii tehnologici ce influențează procesul de pulverizare în plasmă.

Pe această bază au fost stabilite valorile optime ale parametrilor tehnologici de lucru la pulverizarea în plasma atmosferică.

S-au realizat depuneri cu grosimi diferite de ZrO<sub>2</sub> stabilizat cu Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pe suport din superaliaj bază Ni (Hastelloy X).

Pentru îmbunătățirea aderenței acoperirii ceramice pe substratul metalic a fost depus, prin aceeași metodă, un strat intermediar metalic din pulberi de tipul NiCoCrAlY.

Evaluarea preliminară a aspectului depunerii a scos în evidență o bună aderență a acoperirii ceramice pe substratul metalic.

Caracterizarea structural-morfologică și mecanică a depunerilor de ZrO<sub>2</sub> stabilizat cu Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, realizate prin pulverizare în plasmă, va fi prezentată în lucrări viitoare.

## Mulțumiri

Colectivul de autori dorește să mulțumească pe această cale, Doarnei Prof. Dr. Helen BADEKAS și Domnului Dr. Angelos KOUTSOMICHALIS de la NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS, GRECIA, pentru sprijinul acordat la efectuarea experimentărilor.

## BIBLIOGRAFIE

1. Teoreanu, I., Ioncea, A. - "Ceramica tehnică: prezent și viitor", Sesiunea de comunicări științifice, Academia Română, mai 1996.
2. Tsantrizos, P. G. - Thermal Spray International Advances in Coating Technology, Conference Proceedings ITSC - 1992, ASM International (1992), p. 195-199.
3. Smith, R. W., Mutasim, Z. Z. - J. of Thermal Spray Tech., ASM International (1992), p. 57-63.
4. Brockis, D. - Zirconia in Ceramics, Ceramic Industriels International, (2), 22, (1992).
5. Teoreanu, I., ș.a. - Materiale de Construcții, 23 (3), 198, (1992).
6. XXX - Plasma technik - Prospect Sulzer Surface Tech.
7. Smith, R. W. - Reactive Plasma Spray Forming for Advanced Materials Synthesis, PMI, 25 (1), 1993.
8. Radu, D., Dumitrescu, O., Ionescu, D. - Contract de cercetare "Tratamente laser ale acoperirilor ceramice și metalice realizate prin depunere în plasmă", 1995.

## MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE INTERNAȚIONALE ȘI NAȚIONALE

În perioada 5-7 ianuarie 1998 la Tucson - Arizona (USA) va avea loc ICCI'98 a 2-a Conferință Internațională asupra Compozitelor în Infrastructuri

**Contact:** Engineering Professional Development, Box 9 Harvill Building, Room 235, The University of Arizona, P.O. BOX 210076, TUCSON, Arizona, 85721-0076, USA, Tel: +15206213054, Fax: +15206211443, E-mail: baltes @ engr.arizona.edu

\*

Al 16-lea Simpozion Tehnic AFCM (Federația Producătorilor de Cement) Modernizarea în Industria Cimentului va fi găzduit de hotelul Shangri-La din Bangkok (Tailanda) în perioada 10 - 13.03.1998.

Tematica simpozionului:

- inovații și dezvoltări în industria cimentului
- extinderea, dezvoltarea și optimizarea în industria cimentului
- progrese în domeniul instalațiilor și echipamentelor industriale
- îmbunătățirea procesului de fabricație a cimentului
- operațiile în carieră și echipamentul greu aferent
- reducerea consumurilor energetice și managementul
- controlul calității și asigurarea calității
- ambalarea și distribuția, întreținere și reparații
- protecția mediului și controlul poluării
- fabricarea și aplicațiile cimentului de zgură și a celui cu cenușă zburătoare

În paralel va fi organizată o expoziție.

**Contact:** The Federation of Thai Industries Queen Sirikit National Convention Center, zone D, 2nd floor, 60 New Rachadapisek Rd. Kongteoy, Bangkok 10110, Thailand Tel 66-2-229-4979; 229-4255 ext 311,312 Fax 66-2-229-4980, 229-4940-2, 229-4936-7

\*



**REȚEAUA NAȚIONALĂ A LABORATOARELOR DIN CONSTRUCȚII**, organizează în perioada 15-17 octombrie 1997 la Eforie Nord, al X-lea Simpozion al Laboratoarelor din Construcții - SELC având ca obiective:

- I. Prezentarea realizărilor în domeniul materialelor de construcții și construcțiilor în perioada 1995 - 1997 și
- II. Noi metode de testare, materiale noi, dezvoltarea tehnologiilor în construcții etc.

Tematică:

- Metode de testare, analiză și control pentru materiale de construcții, durabilitatea construcțiilor, conservarea și protecția mediului.
- Noi materiale de construcții în diferite domenii: construcții clasice, civile și industriale
- Materiale speciale cu destinații diverse
- Cercetări de bază și noi tehnici experimentale în domeniul materialelor de izolații
- Noi tehnologii în construcții. Aspecte privind modernizarea, mecanizarea, automatizarea acestora
- Refolosirea unor materiale în construcții

**Contact:** Rețeaua Națională a Laboratoarelor din Construcții Șos. Barbu Văcărescu nr. 162, București, Tel.: 230.38.40/124, Fax: 230.54.57