

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA

Universitatea Tehnică a Moldovei

Facultatea Inginerie Mecanică Industrială și Transporturi

Departamentul Inginerie Mecanică

Programul de master „Inginerie Mecanică”

Admis la susținere

Șef departament

dr., conf.univ. N.Țislinscaia

„_____”_____2022

Modelarea procesului de formare a stratului de aliere pe suprafața pieselor

Teză de master

Masterand:

Voinovan Octavian, gr. IM-211 M

Conducător:

conf. univ., dr. Ivanov Leonid

Chișinău, 2023

ADNOTARE

Voinovan Octavian „**Modelarea procesului de formare a stratului de aliere pe suprafața pieselor**”. Teza de master în tehnică, Chișinău, 2023. Introducere, 3 capitole, concluzii, bibliografie – 53 surse citate, 70 pagini, 6 tabele, 46 figuri.

Cuvinte-cheie: Jet de plasma, Pulverizare, pulbere metalică.

Domeniul de studiu: Inginerie Mecanică.

Scopul lucrării: Studiul și procesul de formare a stratului de aliere pe suprafața pieselor.

Obiectivele de bază ale lucrării: Analiza procesului de formare a straturilor de aliere a metalelor. Studiarea tipurilor de strat și substrat pentru a minimiza riscurile asupra piesei, utilizând pulverizarea cu jet de plasma.

Capitolul I: În decursul elaborării primului capitol a fost studiat principalele probleme care apar la componentele instalațiilor și echipamentelor care lucrează în domeniul industrial. În timpul funcționării, ele sunt supuse unor fenomene de coroziune și uzare care pot conduce la degradarea prematură a acestora. Acestea se manifestă în straturile de suprafață unde solicitările sunt mai intense și mai complexe în comparație cu miezul pieselor. Se prezintă factorii de influență, mecanismele de degradare și principalele forme de uzare și coroziune. Capitolul se încheie cu modalitățile de selecție a materialelor ce sunt supuse la astfel de condiții de exploatare.

Capitolul II: În prima parte a acestui capitol se definește sistemul strat de suprafață-substrat- procedeu de acoperire ca notiune de sistem și se precizează cerințele ce trebuie să le îndeplinească materialele care se folosesc la realizarea unui astfel de sistem. Alegerea materialului și a tehnologiei specifice pentru stratul de suprafață se bazează întotdeauna pe obținerea unui set complet de cerințe impuse pieselor în funcție de condițiile de funcționare prevăzute. Se evidențiază rolul straturilor de acoperire în creșterea performanțelor de exploatare a componentelor industriale. Se prezintă principiul și tehnologiile de pulverizare cele mai folosite la ora actuală și se face referire la contribuțiile științifice proprii în domeniul depunerii de straturi de acoperire prin aceste metode.

Capitolul III: În acest capitol este reprezentat determinarea parametrilor cinematici în procesul de pulverizare, transferul de căldură în particule sferice în timpul transformărilor de fază solid-lichid, totodată au fost făcute investigații asupra tipurilor de defecte ce apar în acoperirile realizate cu sistemele de aliaje ale pulberelor metalice asupra suprafeței pieselor. La finalul capitolului dat se prezintă analiza aderenței straturilor depuse cu sistemului de aliaje ale pulberii

PIV

ANNOTATION

Octavian Voinovan "**Modeling the process of forming the alloy layer on the surface of parts**". Master's thesis in engineering, Chisinau, 2023. Introduction, 3 chapters, conclusions, bibliography - 53 cited sources, 70 pages, 6 tables, 46 figures.

Keywords: Plasma jet, Spraying, metallic powder.

Field of study: Mechanical Engineering.

Purpose of the work: Study and process of forming the alloy layer on the surface of parts.

Basic objectives of the work: Analysis of the process of forming metal alloy layers.

Study of the types of layer and substrate to minimize risks to the part, using plasma jet spraying.

Chapter I: During the elaboration of the first chapter, the main problems that arise in the components of installations and equipment operating in the industrial field were studied. During operation, they are subjected to corrosion and wear phenomena that can lead to premature degradation. These phenomena manifest themselves in surface layers where the stresses are more intense and complex compared to the core of the parts. The influencing factors, degradation mechanisms, and main forms of wear and corrosion are presented. The chapter ends with the methods of selecting materials that are subject to such operating conditions.

Chapter II: In the first part of this chapter, the surface layer-substrate-coating system is defined as a system concept and the requirements that must be met by the materials used to create such a system are specified. The choice of material and specific technology for the surface layer is always based on obtaining a complete set of requirements imposed on the parts based on the planned operating conditions. The role of coating layers in increasing the operating performance of industrial components is highlighted. The principles and technologies of spraying most commonly used today are presented, and reference is made to the authors' own scientific contributions in the field of coating layer deposition through these methods.

Chapter III: This chapter represents the determination of kinematic parameters in the spraying process, heat transfer in spherical particles during solid-liquid phase transformations, and investigations of the types of defects that occur in coatings made with metal powders alloy systems on the surface of parts. At the end of the given chapter, the analysis of the adhesion of the layers deposited with the PIV alloy powder system is presented.

CUPRINS

INTRODUCERE	7
CAPITOLUL 1 – CERCETĂRI PRIVIND DEPUNERILE SUPERFICIALE PRIN DIFERITE PROCEDEE TEHNOLOGICE	8
1.1. Metode și tehnologii de acoperire a suprafețelor	8
1.2. Forme de coroziune	11
1.3. Factori de influență ai rezistenței la coroziune.....	15
1.4. Selectarea materialelor rezistente la coroziune	16
1.5. Factori de influență ai rezistenței la uzare.....	17
1.6. Selectarea materialelor rezistente la uzare.....	18
CAPITOLUL 2 – CERCETĂRI PRIVIND DEPUNERILE SUPERFICIALE PRIN DIFERITE PROCEDEE TEHNOLOGICE	20
2.1. Sistemul strat-substrat procedeu de acoperire.....	20
2.2. Cerințe impuse materialelor sistemului strat-substrat	21
2.2.1. Materiale pentru substrat	21
2.2.2. Materiale pentru strat.....	23
2.3. Pulverizarea termică.....	24
2.3.1. Pulverizarea termică cu jet de plasmă.....	25
2.3.2. Pulverizarea termică cu flacără de mare viteză (HVOF).....	26
2.3.3. Tehnologia de depunere prin pulverizare termică.....	27
2.3.4. Formarea și morfologia stratului pulverizat termic.....	28
2.4. Acoperiri depuse prin pulverizare termică	29
2.4.1. StratURI MCrALY rezistente la cald.....	29
2.4.2. StratURI cement.....	34
2.4.3. StratURI rezistente la coroziune pulverizare termic.....	44
CAPITOLUL 3 – MODELAREA PROCESULUI DE FORMARE A STRATURILOR	52
3.1. Determinarea parametrilor cinematici ai particulelor în procesul de pulverizare	52
3.2. Transferul de caldura în particulele sferice în timpul transformărilor de fază solid-lichid.....	55
3.3. Investigarea câmpului de temperatură în grosimea materialului de bază	57
3.4. Analiza tipurilor de defecte ce apar în acoperirile realizate cu sistemele de aliaje ale pulberilor: P I, PII, PIII, PIV.....	60
3.5. Analiza aderenței straturilor depuse cu sistemul de aliaje ale pulberii P IV.....	62
CONCLUZII	64
BIBLIOGRAFIE	65

INTRODUCERE

Tehnologia de pulverizare cu plasmă este utilizată pe scară largă în industria de producție pentru dezvoltarea a numeroase acoperiri de protecție . Pulverizarea cu plasmă atmosferică este o tehnică de procesare de producție flexibilă, scalabilă în industrie și rentabilă, care a fost utilizată pentru a depune acoperiri metalice și ceramice . Acoperirile, aplicate pe suprafețe mecanice, prezintă rezistență și duritate sporite la coroziune. În timpul procesului de pulverizare a acoperirii cu plasmă, calitatea acoperirilor poate fi controlată pe scară largă prin selectarea parametrilor de pulverizare corespunzători. Structura acoperirilor depuse depinde de parametrii de pulverizare cu plasmă, cum ar fi viteza jetului de plasmă, temperatura și distanța dintre ieșirea generatorului de plasmă și substrat . Temperatura ridicată a jetului de plasmă este potrivită pentru materiale cu un punct de topire ridicat, de exemplu, ceramica . În procesul de pulverizare cu plasmă atmosferică, materia primă este injectată în jetul de plasmă, topită și accelerată către substrat. Procesul se desfășoară de obicei într-un mediu în aer liber, dar este posibilă și utilizarea unei camere cu atmosferă controlată. O stropire este creată la impactul cu substratul când o picătură topită se aplatizează, aderă și se solidifică. O creștere a temperaturii determină o reducere a vâscozității dinamice a picăturilor; aceasta, precum și viteza de coliziune mai mare a picăturilor, duce la un grad mai mare de aplatizare a suprafeței . Prin urmare, creșterea vitezei și a temperaturii particulei în zbor duce la o formare de acoperire mai densă, precum și la o bună aderență între acoperire și substrat .

Controlul și optimizarea procesului sunt esențiale pentru a îndeplini cerințele aplicației actuale . Structura de acoperire depinde în mare măsură de gradul de topire al particulelor ceramice din plasmă și de viteza lor de impact; prin urmare, înțelegerea temperaturii și vitezei particulelor în zbor este esențială pentru a obține performanța dorită de acoperire . În general, topirea insuficientă a particulelor și viteza scăzută la impact duc la niveluri ridicate de porozitate și legare intersplat slabă . Proprietățile mecanice ale acoperirilor ceramice pulverizate cu plasmă depind de microstructura lor. Integritatea micromecanică a acoperirilor ceramice pulverizate cu plasmă este determinată de caracteristici precum densitatea microfisurilor orizontale și verticale, porozitatea și dimensiunile lamelare sau splatte . Deoarece alumina este stabilă chimic, rezistentă la uzură și dură chiar și la temperaturi ridicate, alumina este folosită ca bază pentru acoperiri ceramice de înaltă performanță . În timp ce alumina sinterizată conține faza α -Al₂O₃, straturile de alumina pulverizate cu plasmă sunt compuse din faze metastabile γ - Al₂O₃ și α - Al₂O₃ stabile. Faza γ - Al₂O₃ are loc prin particulele topite complet sau parțial în timpul pulverizării cu plasmă datorită energiei interfațale mai mici decât faza α - Al₂O₃. Faza de alumina α - Al₂O₃ tinde să crească din miezurile netopite care sunt menținute de particulele semi-topite mai mari , în timp ce faza metastabilă γ - Al₂O₃ tinde să se nucleeze din particulele complet topite, deoarece transformarea lichid în gamma implică energie interfacială scăzută . V. C Misra și colab. a demonstrat că creșterea puterii de intrare a plasmei de la 12 la 20 kW a redus porozitatea acoperirilor de Al₂O₃ de la 16 la 9% și a crescut cantitatea de fază γ - Al₂O₃ metastabilă în acoperirile de alumina sub formă de pulverizare. R. A. Abbas și colab. a observat că rugozitatea suprafeței a crescut pe măsură ce distanța de pulverizare a crescut de la 70 la 130 mm. Puterea pistolului cu plasmă este considerată a fi una dintre cele mai eficiente modalități de a crește viteza și temperatura jetului de plasmă. Pentru a înțelege influența puterii torței cu plasmă asupra caracteristicilor particulelor în zbor, există deja studii care se concentrează pe interacțiunile dintre particule și jetul de plasmă, cum ar fi procesele de accelerare, încălzire, topire și resolidificare a particulelor. Majoritatea cercetărilor privind acoperirile pulverizate cu plasmă au fost efectuate

folosind argon sau azot ca gaz primar. Se obțin mai puține informații atunci când oxigenul este utilizat ca gaz care formează plasmă. D. Zois et al. a demonstrat că o creștere a puterii pistolului a crescut conținutul de fază γ - Al₂O₃ în acoperirile de alumina pulverizate cu aer. Compoziția de fază este strâns legată de tipul și natura pulberilor de materie primă utilizate. Această lucrare introduce o metodă de vizualizare pentru a analiza mișcarea particulelor pulverizate cu plasmă folosind filmări ale camerelor video de mare viteză. În lucrările anterioare, alți autori au analizat piroliza prin pulverizare cu flacără și instabilitatea și fluctuațiile jetului de plasmă, observate cu ajutorul camerelor de mare viteză; rezultatele mișcării unei singure particule încă lipsesc în literatura științifică.

Bibliografie

- [1] Bertagnolli, M., ș.a. – Modeling of Particles Impacting on a Rigid Substrate under Plasma Spraying Conditions, ASM International, March, Vol.4/1, 1994, pg. 41-47, pg. 117-136;
- [2] 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,
- [3] ASM Handbook, Formerly, Ninth Edition, Metals, Corrosion Handbook, Vol.13, 1987. pg. 20-40,47-49, 210-220, 865-870. [2] 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;
- [4] Petrescu Doina – Cercetări teoretico-experimentale privind depunerile superficiale prin pulverizare termica, Referat de doctorat, Universitatea Petrol-Gaze, Ploiesti, Iunie, 2002;
- [5] Petrescu Doina – Aplicații ale pulverizării termice (metalizării) în domeniul realizării și recondiționării pieselor, Referat de Doctorat, Noiembrie, 2003;
- [6] I. Mitelea, I.D. Uțu, Selecția, Utilizarea și Reciclarea Materialelor Inginerești, Editura Politehnica Timișoara, 2014;
- [7] C.P. Dillon, Forms of Corrosion RECOGNITION AND PREVENTION, Published by National Association of Corrosion Engineers 1440 South Creek Houston, Texas 7708, 1982;
- [8] J.R. Davis, Surface Engineering for corrosion and wear resistance, IOM Communications, Institute of Materials, IMO Book No. B751, 2001;
- [9] S.I. dr. ing. Luisa Pilan, Controlul coroziunii și expertizarea materialelor metalice, Curs;
- [10] V. Horațiu, Coroziune și protecție anticorozivă, Editura Risoprint, Cluj Napoca, 2008;
- [11] G.V. Akimov, Factors influencing corrosion, CORROSION. 1959;15(9):23 39 465277-36 43 468 282;
- [12] L. Udrescu, Tratamente de suprafață și acoperiri, Editura Politehnica Timișoara, 2000;
- [13] ASM Handbook, Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection, vol. 13A, ASM International, 2003;
- [14] <https://marketing.metalltek.com/smart-blog/material-applications-corrosion-resistance>
- [15] A. Monga, S. Gumber, H. Grover, Study of Abrasion Wear and Factors Affecting Wear Rate, International Journal of Advance Research in Science and Engineering, Vol. 07, Special Issue 6, 2018;
- [16] A.W. Phelps, Handbook of Materials Selection, chapter 41 Materials Selection for Wear Resistance, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002;
- [17] Modern Surface Technology. Edited by Friedrich-Wilhelm Bach, Andreas Laarmann, Thomas Wenz Copyright © 2006 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim ISBN: 3-527-31532-2;
- [18] R. Haefler, Oberflächen- und Dünnschicht-Technologie, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, 1987;
- [19] L. Pawlowski, The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings, second edition, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 2008;
- [20] I. Secosan, Morphology, Wear and Corrosion Behaviour of HVOF cermet Sprayed on Inner Cylindrical Surfaces, teza de doctorat, Editura Politehnica, 2012
- [22] Handbook of Thermal Spray Technology, ASM International, Edited by J.R. Davis Davis & Associates, 2004;

[24] T. Magheț, Morfologia și proprietățile straturilor MCrAlY depuse prin pulverizare termică HVOF, teză de doctorat, Timișoara 2007;