

IV. ȘTIINȚE EXACTE ȘI INGINEREȘTI

TEHNOLOGIE DE DURIFICARE A SUPRAFETELOR METALICE PRIN SINTETIZAREA ÎN PLASMA DESCĂRCĂRILOR ELECTRICE A COMPUȘILOR CU ÎNALTE PROPRIETĂȚI FIZICO-MECANICE ȘI DE EXPLOATARE

TECHNOLOGY FOR HARDENING METAL SURFACES BY PLASMA SYNTHESIZATION OF ELECTRICAL DISCHARGES OF COMPOUNDS WITH HIGH PHYSICAL-MECHANICAL AND OPERATING PROPERTIES

Natalia KAZAK,

Valentin MIHAILOV

Institutul de Fizică Aplicată

E-mail: kazaknatalia@mail.ru

Pavel PERETEATCU,

Cornel CRACAN

Universitatea de Stat „Alecu Russo” din Bălți

ORCID ID: 0000-0002-1190-4772

Rezumat: În lucrare sunt prezentate rezultatele cercetării procesului alierii (durificării) prin electroeroziune a suprafețelor metalice la prelucrarea succesivă cu electrozi din grafit și metale tranzitorii Ti și W în vederea sintetizării pe acestea a carburilor de tip TiC și WC cu înalte proprietăți fizico-mecanice și de exploatare. În calitate de obiecte de cercetare au fost folosite probe din oțelul carbon de construcție: St.45 și oțelul inoxidabil Cr18Ni10Ti. Au fost stabilite regimurile optime de durificare, și studiate transformările structurale și de fază care au demonstrat formarea în straturile superficiale durificate a carburilor TiC și WC și a fazelor nanostructurate. Încercările la uzură a suprafețelor supuse alierii prin electroeroziune cu electrozi din grafit (conținut de carbon 98-99%), Ti și W au demonstrat creșterea rezistenței la uzură de circa 26 ori.

Cuvinte cheie: tehnologie de durificare, descărcări electrice în impuls, plasmă, sintetizarea carburilor, încercări tribologice.

Abstract: The paper presents the research results of the process of alloying (hardening) by electrospark of metal surfaces for successive processing with graphite electrodes and transient metals Ti and W in order to synthesize on them TiC and WC type carbides with high physical-mechanical and operating properties. Samples of construction carbon steel: St.45 and Cr18Ni10Ti stainless steel were used as research objects. Optimal hardening regimes were established, and structural and phase transformations were demonstrated that demonstrated the formation of TiC and WC carbides and nanostructured phases in the superficially hardened layers. Tests on wear of surfaces subject to alloying by electrospark with graphite electrodes (carbon content 98-99%), Ti and W have shown an increase in wear resistance of about 26 times.

Keywords: hardening technology, electric discharges, plasma, carbide synthesis, tribological testing

Introducere

Soluționarea problemei legate de creșterea duratei de funcționare a mașinilor depinde direct de creșterea rezistenței la uzură și a fiabilității cuplurilor de frecare. În procesul de lucru a pieselor cel mai încărcat este stratul superficial. În legătură cu aceasta resursul adevărat de lucru al mașinilor direct depinde de capacitatea portantă a suprafeței piesei, care este determinată de calitatea stratului superficial. De aceea, obținerea straturilor superficiale cu o rezistență înaltă la uzură este o sarcină urgentă.

În arsenalul tehnologiilor de durificare a suprafețelor metalice există o mulțime de metode, cum ar fi tratamentele termice și termochimice, metodele de încărcare cu arc, metalizare cu plasmă etc., însă toate acestea folosesc utilaje complexe și costisitoare, iar deservirea lor necesită specialiști de înaltă calificare, fapt care limitează accesul întreprinderilor mici și mijlocii. În această ordine de idei un interes

deosebit îl prezintă una din metodele electrofizice neconvenționale care poate satisface cerințele tuturor utilizatorilor de tehnologii de durificare a suprafețelor metalice. Aceasta este alierea prin electroeroziune, care se bazează pe fenomenul transferului polar al masei anodului (electrodului de prelucrare) pe suprafața catodului (piesă) la amorsarea între acestea a descărcărilor electrice în impuls în mediu gazos [1,2]. Acest proces are un șir de avantaje în comparație cu majoritatea metodelor și anume:

- aderență înaltă cu suportul a straturilor formate;
- posibilitatea depunerii oricăror materiale (metale, aliaje și compuși chimici), cu conductibilitate electrică;
- efectuarea procesului de durificare a zonelor strict predestinate, fără a demonta utilajele;
- consum mic de energie și materiale;
- simplitatea utilajului tehnologic și deservirii acestuia;
- tehnologia de aliere este foarte simplă, iar echipamentul necesar este compact și ușor de transportat (în funcție de puterea instalațiilor – acestea posedă greutatea între 5 și 25 kg).

Pentru durificarea suprafețelor lucrătoare a organelor de mașini și a sculelor prin metoda AEE se folosesc preponderent electrozi standardizați pe bază de carburi metalice, în special de titan (TiC), și de wolfram (WC). Cele mai răspândite și mai frecvent folosite sunt aliajele T15K6 (79%WC + 15%TiC + 6%Co), BK6 (94%WC + 6%Co) și BK8 (92% WC + 8%Co) [3]. Producători ai electrozilor standardizați de-a lungul anilor au fost țările mari ce dețin resurse de metale și industrii specializate (metalurgii ale pulberilor), cum ar fi Ucraina și Rusia. Din aceste țări se și importau în Moldova electrozi standardizați pentru durificarea și recondiționarea prin electroeroziune a pieselor de mașini și a sculelor, însă în rezultatul crizei economice de după anii 90 s-a produs un declin ale acestor industrii, în rezultatul căruia electrozii nu se mai produc. Această situație a impus cercetătorii din domeniul tehnologiei de durificare prin electroeroziune să caute alternative electrozilor standardizați.

Astfel, luând în considerare că elementele de bază ale carburilor metalice standardizate sunt carbonul, titanul și wolframul, cât și de faptul că în plasma descărcărilor în impuls se dezvoltă temperaturi de ordinul 10^4 °C și presiuni de mii de atmosfere, se creează condiții de interacțiune intensă între elementele electrozilor cu formarea, după cum a fost menționat mai sus, a unei game de aliaje, soluții solide, oxizi și nitruri, dacă procesul se efectuează în aer. În rezultatul acestor procese proprietățile straturilor formate se modifică considerabil: crește duritatea, rezistența la uzură, la coroziune și multe altele. În această ordine de idei sarcina prezentei lucrări este studierea sistematică a procesului alierii prin electroeroziune cu electrozi din grafit, titan și wolfram și stabilirea legităților de bază a formării carburilor și a structurilor nanocristaline, ce atribuie suprafețelor metalice caracteristici înalte de exploatare.

Scopul prezentei lucrări este elaborarea procesului de sintetizare a carburilor de tip MeC, utilizând alierea succesivă prin electroeroziune (AEE) cu electrozi din grafit, titan și wolfram în vederea creerii premisei de înlocuire a electrozilor standardizați scumpi și dificitari, care practic au dispărut de pe piață

Metodologia cercetării

Procesul tehnologic de sintetizare a carburilor s-a efectuat atât cu instalații industriale (EFI-10M, ELITRON-22V, EFI-23M), cât și cu modele experimentale, elaborate la Institutul de Fizică Aplicată în colaborare cu Universitatea de stat A. Russo (Bălți). Experimentele s-au efectuat într-un diapazon larg de valori ale energiei descărcărilor electrice în impulsuri (0.3-3.0 J) și curenți de lucru (1,2-2,0 A).

Pentru atingerea scopului în calitate de anodi (electrozi de prelucrare) s-au utilizat bare din titan (Ti), wolfram (W) și grafit MPG-6 cu următoarele dimensiuni: 4x4x35mm, 5x5x35mm, Ø5mm și lungimea de 40 mm, iar în calitate de catod-piesă s-au ales oțeluri folosite pe larg în industria constructoare de mașini: oțel carbon St.45 și oțel inoxidabil Cr18Ni10Ti, din care s-au confecționat probe cu dimensiuni: 20x20x4 mm. Procesul alierii s-a efectuat utilizând aplicatoare cu vibrații și rotații a electrodului de prelucrare. AEE s-a efectuat succesiv: mai întâi cu electrodul din Ti sau W, după care aceeași suprafață era supusă alierii cu grafit. Durata de prelucrare (timpul specific de prelucrare min/cm^2) a unei unități de suprafață a fost determinat în prealabil pentru toate materialele electrozilor și prezintă în sine timpul necesar pentru acoperirea acestei suprafețe până la atingerea continuității maxime a acoperirii și, respectiv, a transferului maximal al materialului electrodului de prelucrare (anodului) pe suprafața catodului pentru regimul concret: $\gamma = f(W,t)$, unde γ – este adaosul catodului, W – energia descărcării în impuls, iar t – timpul prelucrării.

Microduritatea a fost evaluată cu un microdurimetru PMT-3 la o sarcină a indenterului de 0,49 N. Spectrele de difracție ale suprafețelor probelor cu acoperiri după AEE au fost obținute cu ajutorul

difractometrului cu raze "X" DRON-UM1-Fek DRON-UM1-Fek_α, filtru Mn, $\theta/2\theta$ metoda. Analiza fizică cu raze X a fost efectuată folosind fișierul card ASTM.

Proprietățile tribologice (rezistența la uzură) a acoperirilor formate s-a efectuat la instalația de frecare tip rectlinie alternativă la viteză medie a probei mobile de 0,0675m/s. În calitate de eșantioane de încercare s-au folosit plăcuțe cu lungimea de 0,048m și lățimea de 0,003m, iar ca contracorp-plăcuțe din oțel St.45 călit (HRC 58) cu grosimea de 0,004m, lungimea de 0,048m și lățimea de 0,003m. Durificarea eșantioanelor s-a efectuat la un regim optim pentru această pereche de materiale: energia descărcării în impuls a constituit 1,3 J, frecvența trecerii impulsurilor-100Hz, iar curentul mediu – 1.7A.

Încercările tribologice a probelor durificate s-au efectuat în mediu de ulei de vazelină a firmei MerkurVaselin (Germania) conform următoarei scheme: rularea eșantioanelor la sarcina de 19,6 H timp de 2 ore, după care sarcina s-a mărit gradual de la 9,8 H până la 88,2 H. La sarcina de 88,2 H încercările s-au efectuat timp de 2 ore. Apoi s-a determinat uzura (pierderea în greutate a eșantionului) după 10 ore de încercări prin metoda cântăririi cu balanța analitică. În continuare s-a determinat uzura după fiecare 20 de ore de încercări la sarcinile 88,2, 132,3 și 176,4 H. Forța de frecare s-a înregistrat cu ajutorul recorderului tip H338-4II.

Rezultate

Studiul procesului de formare a stratului durificat ne-a permis să stabilim că dinamica transferului de masă de la anod (electrodul de prelucrare) la catod-piesă din diferite oțeluri (St.45) și inox Cr18Ni10Ti este diferită, ceea ce ne demonstrează influența substanțială a naturii materialului (Figura 1).

De exemplu, în condiții egale la prelucrarea oțelului carbon St.45 timpul specific de prelucrare cu electrod din titan diferă de cel al prelucrării cu wolfram. În cazul durificării cu electrod din titan acesta constituie 1,85 min/cm², iar pentru electrodul din wolfram – 2,45 min/cm². Acest fenomen are o explicație simplă. Rezistența la eroziune a titanului, conform criteriului Palatnic [3] este cu mult mai mică, decât al wolframului și de aceea în intervale egale de timp de pe electrodul din titan, sub acțiunea impulsurilor electrice, se va îndepărta o cantitate mai mare de material, decât de pe wolfram.

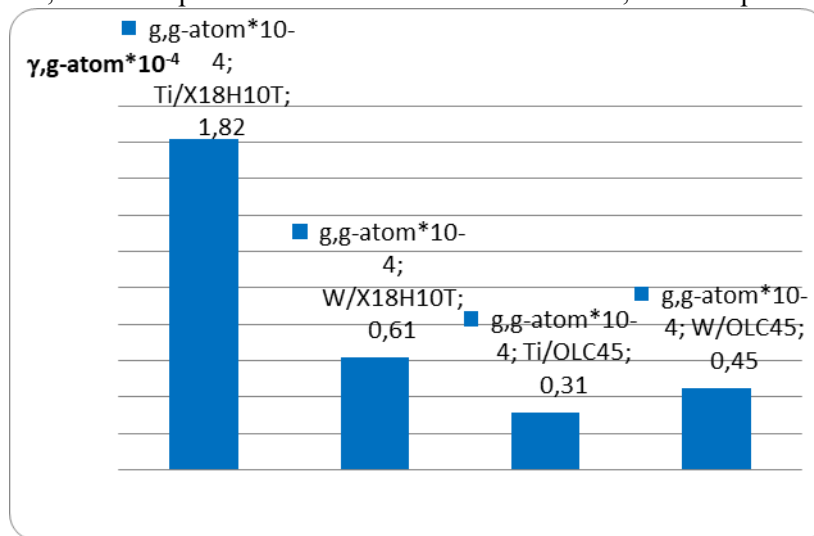


Figura 1. Adaosul catodului din oțel St.45 și inox Cr18Ni10Ti în rezultatul transferului de masă a materialului anodului din Ti și W.

De exemplu, în condiții egale la prelucrarea oțelului carbon St.45 timpul specific de prelucrare cu electrod din titan diferă de cel al prelucrării cu wolfram. În cazul durificării cu electrod din titan acesta constituie 1,85 min/cm², iar pentru electrodul din wolfram – 2,45 min/cm². Acest fenomen are o explicație simplă. Rezistența la eroziune a titanului, conform criteriului Palatnic [3] este cu mult mai mică, decât al wolframului și de aceea în intervale egale de timp de pe electrodul din titan, sub acțiunea impulsurilor electrice, se va îndepărta o cantitate mai mare de material, decât de pe wolfram. În cazul suportului de inox Cr18Ni10Ti această legitate se respectă întocmai, numai că timpurile specifice pentru cuplul Ti-oțel St.45 și Ti-Cr18Ni10Ti în aceleași condiții vor fi diferite, fapt care deasemenea ne demonstrează rolul naturii materialului.

Rezultatele analizei straturilor durificate au arătat că acoperiri de bună calitate cu o grosime de ~

0,04–0,055 mm și o continuitate de ~ 98% se pot obține la valori ale energiei impulsurilor electrice în intervalul 0,7–1,3 J, frecvența descărcărilor de 100 Hz și curentul mediu – 1,7A.

Microdurețea straturilor durificate

Evaluarea microdureții straturilor obținute în rezultatul alierii succesive prin electroeroziune cu electrozi din Ti, W și grafit a demonstrat creșterea substanțială de la 3 până la 7 ori (tabelul 1). Același tablou al durității straturilor superficial durificate s-a stabilit și pe oțelul carbon St.45.

Tabelul 1: Microdurețea acoperirilor obținute prin electroeroziune pe oțelul Cr18Ni10Ti

Nr.ord.	Materialul acoperirii	Microdurețea la sarcina de 0,49N, MPa		
		Microdurețea minimă	Microdurețea medie	Microdurețea maximă
1.	Cr18Ni10Ti	3165	3165	3165
2.	W + Graphite	7664	9780	14896
3.	Ti + Graphite	10643	15641	23941

Analiza straturilor durificate cu raze X a confirmat presupunerea formării în acestea a fazelor de carburi. Astfel, în cazul prelucrării succesive cu electrozi din titan și grafit au fost evidențiate fazele TiC, soluția solidă a grafitului în titan și în fier, cât și grafit în stare liberă. În cazul prelucrării cu electrozi din wolfram și grafit a probei de oțel carbon St.45

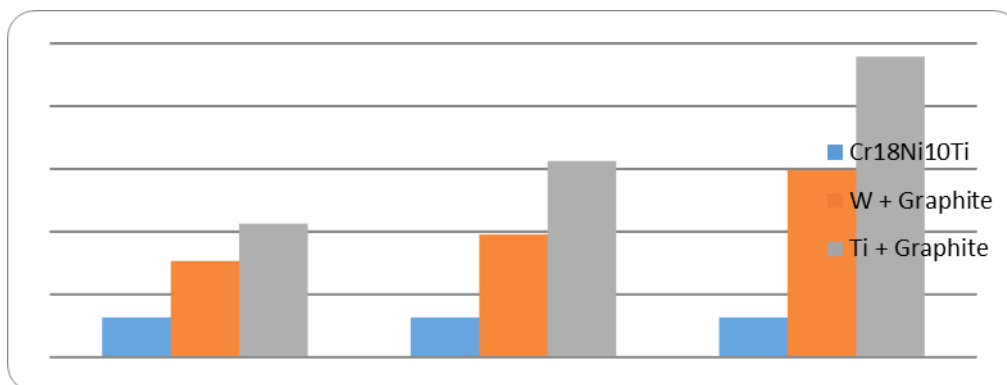


Figura 2. Microdurețea acoperirilor obținute la alierea prin electroeroziune a oțelului Cr18Ni10Ti.

Cercetări tribologice

În figura 3 sunt prezentate histogramele uzurii acoperirilor după 30 de ore de testare tribologică, care exprimă cantitatea de material înlăturat a acoperirii după 30 de ore de încercare la o sarcină de 88,2 N. După cum se vede, toate acoperirile formate au manifestat o rezistență înaltă la uzură a oțelului inoxidabil de aproximativ 26 de ori. De menționat că acoperirea Ti + grafit a avut o mai mare rezistență la uzură în comparație cu W+grafit. În mai multe studii [4,5] s-a demonstrat că există o corelare între duritatea materialului (până la o valoare anumită) și rezistența la uzură a acestuia. Dacă vom analiza valorile durității medii a acoperirilor (tabelul 1) și valoarea uzurii acestora, ceva similar s-a observat și în cazul acoperirilor obținute la AEE cu Ti+grafit și W+grafit, adică vedem o corelare între rezistența la uzură a acoperirilor și duritatea acestora. Cu cât este mai mare duritatea medie a acoperirii, cu atât este mai mică uzura și invers, valorii mai mici a durității medii îi corespunde un grad mai mare de uzură.

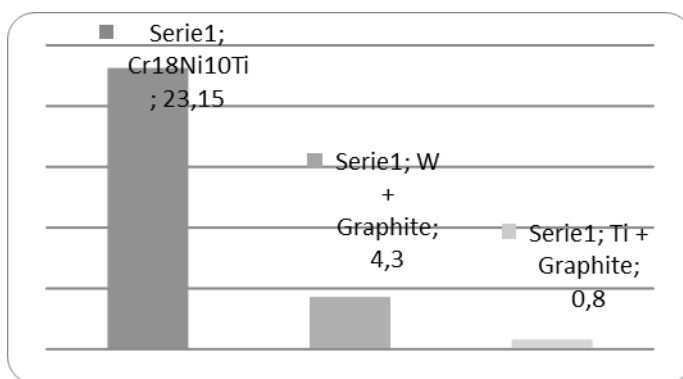


Figura 3. Uzura totală a acoperirilor după 30 de ore de testare tribologică la o sarcină de 88,2 N

Discuții

Rezultatele cercetărilor obținute în prezenta lucrare au confirmat ipoteza conform căreia la interacțiunea materialelor anodului și al catodului cu plasma descărcărilor în impuls de tensiune joasă, în care se dezvoltă temperaturi de ordinul 10^4 °C și presiuni de mii de atmosfere, pot avea loc transformări alotropice cu formarea diferitor compuși chimici, soluții solide, aliaje etc. În cazul nostru concret interacțiunea a avut loc între plasma descărcării în impuls cu carbonul și metalele tranzitorii: Ti și W cu formarea carburilor de tip MeC. În rezultatul analizei cu raze X a straturilor superficiale formate s-a identificat formarea carburilor TiC, WC, W_2C , cât și cu grafit în stare liberă impregnat în stratul superficial. Apariția grafitului în stare liberă în stratul durificat poate fi explicată prin intensificarea procesului de sublimare în exces a grafitului în condițiile degajării în microvolume a temperaturii înalte. Se poate afirma cu certitudine că grafitul liber din strat joacă un rol de lubrifianț uscat în cuplul tribologic, atribuindu-i acestuia proprietăți antifricționale [6,7]. Prin aceasta, probabil, se explică micșorarea coeficientului de frecare în majoritatea cazurilor alierii prin electroeroziune a suprafețelor metalice cu electrozi din grafit.

Prezintă un deosebit interes alt aspect al procesului sintetizării carburilor pe suprafețele metalice la alierea succesivă mai întâi cu un metal tranzitoriu (Ti,W), iar ulterior cu un electrod din grafit. Ne vom aminti că la baza procesului alierii prin electroeroziune stă fenomenul eroziunii anodului și transferul materialului erodat pe suprafața catodului-piesă cu formarea stratului durificat. Astfel vom concluziona, că eficacitatea formării stratului durificat este direct proporțională cu cantitatea de material al anodului transferat pe catod. De aici reiese că, cu cât rezistența la eroziune a materialului anodului este mai mică, cu atât mai mare cantitate de material va fi transferată pe catod în timpul unui act de descărcare în impuls. Dacă vom compara rezistența eroziunii unui electrod standardizat de tip T15K6 (79%WC + 15%TiC + 6%Co) cu rezistența grafitului, sau a titanului, vom vedea că acestea se deosebesc substanțial: rezistența eroziunii electrodului standardizat este cu mult mai mare și de aceea formarea stratului durificat în procesul AEE cu electrozi din materiale cu o rezistență a eroziunii mai mică este mai convenabilă atât din considerente tehnice, cât și economice.

Concluzii

1. S-a demonstrat posibilitatea sintetizării pe suprafețele metalice a carburilor pe bază de metale tranzitorii (Ti, W) și grafit (carbon ~ 98%) cu proprietăți fizico-mecanice și de exploatare înalte.
2. S-au stabilit regimurile energetice și tehnologice optime de obținere a straturilor durificate de înaltă calitate: energia descărcărilor în impuls: (0,7–1,3 J), frecvența descărcărilor de 100 Hz și curentul mediu (1,5–1,7 A).
3. Rezultatele obținute privind sintetizarea carburilor pe suprafețele metalice cu proprietăți înalte de exploatare crează premise de înlocuire a electrozilor standardizați scumpi și dificilari.

Bibliografie:

1. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. Электроискровой способ изменения исходных свойств металлических поверхностей. – М.: Изд-во АН СССР.1958. – 117 с.
2. Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Ревуцкий В.М., Парканский Н.Я. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Под ред. акад. АН МССР Ю.Н. Петрова, Изд-во «Штиинца», Кишинев 1985.

3. Т.Я.Косолапова. Карбиды. – М.: Изд-во «Металлургия». – 298 с.
4. Энциклопедия неорганических материалов. Киев, 1977, Изд-во «Наукова думка» 544 с.
5. Палатник Л.С., Превращения в поверхностном слое металла под действием электрических разрядов. «Изв. АН СССР, сер. физ.», 1951, т. XV, №4.
6. J. Padgurskas, V. Agafii, V. Mikhailov, R. Rukuiza, and R. Kreivaitis. Tribological Properties of Combined Molybdenum Coatings Formed by Electric-Spark Alloying on Stainless Steel. ISSN 1068-3666, Journal of Friction and Wear, 2016, Vol. 37, No. 5, pp. 448–453. © Allerton Press, Inc., 2016.
7. J. Padgurskas, R. Kreivaitis, R. Rukuiza, V. Mihailov, V. Agafii, R. Kriukiene, A. Baltusnikas. Tribological properties of coatings obtained by electro-spark alloying C45 steel surfaces. Journal ISSN: (IF:2.589), Surface and Coatings Technology Volume 311, Pages 90-97 (15 February).