

STUDIUL MICROPRELUCRĂRII PRIN ELECTROEROZIUNE ASISTATĂ DE ULTRASUNETE A ALIAJULUI AVANSTAT TIAL6V4

STUDY OF MICROPROCESSING BY EDM AIDED BY ULTRASONIC VIBRATION OF ADVANCED ALLOY TIAL6V4

DRUMEA Răzvan, TÎRTEA Bogdan, VOINEA Adrian

Facultatea: IMST, Specializarea: TCM, Anul de studii: 4, e-mail: m.razvandrumea@gmail.com

Conducător științific: Prof. dr. ing. **Daniel GHICULESCU**, Prof. dr. ing. **Alexandra BANU**

ABSTRACT: The paper deals with aspects on experiments with micro-electrical discharge machining (μ EDM) with and without ultrasonic assistance (US) of the advanced alloy TiAl6V4. A computerized model was developed with the finite element method to study the removal mechanism of the material for both technological variants. The results obtained from the model were compared with the experimental ones which allowed to create the computerized models and helped optimize the process and explain some specific phenomenon that occur at the microprocessing of this material.

CUVINTE CHEIE: microelectroeroziune, ultrasunete, aliaj TiAl6V4

1. Introducere

Lucrarea tratează aspecte privind caracteristicile materialului avansat, aliaj de titan, aluminiu, vanadiu care prezintă multiple utilizări în domenii ca: aeronautică, militar, medical.

Aliajul studiat în această lucrare prezintă proprietăți mecanice foarte bune precum rezistența la rupere, duritatea, rezistența la oboseală.

Având în vedere aceste caracteristici, aliajul de titan, aluminiu, vanadiu se folosește cu precădere la o multitudine de piese care intră în componența corpului și motorului unei aeronave. În motoare, datorită temperaturii care nu depășește 300 °C, acest aliaj este folosit pentru fabricarea ventilatoarelor de admisie, unde temperaturile sunt în general scăzute. Principalul avantaj pentru folosirea acestui aliaj de titan în domeniile aeronautică și militar, pentru avioanele de luptă, este reprezentat de reducerea greutateii avioanelor. [5]

Pentru domeniul medical, principalele aplicații ale acestui aliaj sunt reprezentate de diverse implanturi care înlocuiesc țesutul dur, precum articulații de șold, genunchi sau implanturi de plăci osoase. O altă categorie destul de largă din cadrul medicinei în care se utilizează cu precădere acest aliaj este reprezentată de implanturile dentare. [6]

Având în vedere caracteristicile de rezistență și duritate prelucrarea acestor aliaje este extrem de dificilă prin procedee convenționale, mai ales, în cazul unor suprafețe de complexitate, precizie, calitate a suprafeței ridicate, dificultatea crescând în special în cazul microprelucrărilor.

În aceste condiții, prelucrările neconvenționale respectiv electroeroziunea care este o prelucrare de natură termică, răspunde corespunzător cerințelor menționate anterior.

În lucrarea de față au fost efectuate prelucrări prin micro-electroeroziune clasică și comparativ, prin micro-electroeroziune asistată de ultrasunete, ținând cont de faptul că prin asistarea cu ultrasunete se obțin îmbunătățiri ale parametrilor tehnologici de productivitate, uzura volumetrică relativă și rugozitate în condițiile unui interstițiu de prelucrare foarte redus, cu dimensiuni în domeniul 1 – 5 micrometri.

2. Stadiul actual

2.1 Compoziție chimică, proprietăți fizico-mecanice-termice ale aliajelor de titan

Proprietățile fizico-mecanice-termice ale aliajului de titan Ti-6Al-4V sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1. Proprietățile fizico-mecanice-termice ale aliajului [4]

Proprietatea	Valoarea
Densitatea	4,43 g/cc
Duritatea	34 HRC
Limita de rupere la tracțiune	950 Mpa
Limita de curgere la tracțiune	880 Mpa
Alungire la rupere	14%
Modulul de elasticitate	113,8 Gpa
Limita de curgere la compresiune	970 Mpa
Raportul lui Poisson	0,342
Rezistența la forfecare	550 Mpa
Conductivitate termică	6,7 W/m · K
Temperatura de fierbere	3200 °C

Aliajul Ti-6Al-4V este un material care prezintă caracteristici ridicate precum: rezistență la forfecare, tracțiune, oboseală, rezistență termică.

Compoziția chimică a aliajului Ti-6Al-4V este prezentată în tabelul 2. [6]

Tabelul 2. Compoziția chimică a aliajului [6], [7], [8]

Element	Procent %
Al	6
Fe	Max 0,25
O	Max 0,2
Ti	90
V	4

2.2 Fenomene și modelări din literatura de specialitate a procesului de microEDM + ultrasunete

Procesul micro-EDM (micro-electrical discharge machining) este o adaptare ulterioară a procesului EDM necesar pentru a produce în principal componente micro-scalate [2]. Diferența principală dintre cele două procese neconvenționale este sursa de alimentare, care generează impulsuri de durată nanosecunde. Acest lucru are ca rezultat o energie redusă de descărcare ($\sim \mu\text{J}$) și cratere de dimensiuni mult mai mici ($\sim 0,05\text{-}500 \mu\text{m}^3$) pe suprafață. Prin urmare, precizia și acuratețea de deplasare a axelor sunt îmbunătățite până la nivel micron.

Conform literaturii de specialitate [1], [3], adâncimea micro-găurilor prin efectul combinat al EDM cu vibrațiile cu ultrasunete, în cazul aliajelor de titan, aluminiu, vanadiu devine aproape de două ori mai mare decât fără vibrații ultrasonice și viteza de prelucrare a fost crescută [3]. Găurile cu un diametru mai mic de 0,2 mm și cu un raport lungime/diametru mai mare de 15 pot fi produse fără dificultate prin vibrații ultrasonice, utilizând micro-EDM.

2.3 Printarea 3D a aliajelor de titan, calitatea suprafeței semifabricatului, caracteristici după printare

Printarea 3D a aliajelor de titan este cunoscută drept DMLS (direct metal laser sintering) și este o tehnologie de fabricare aditivă dezvoltată pentru prima dată în Germania.

DMLS (Direct metal laser sintering) este o tehnică de fabricare a aditivilor care utilizează un laser ca putere-sursă pentru a sinteriza materialul pulbere, laserul țintind în mod automat în punctele din spațiu definite de un model 3D, sudând layerele între ele pentru a crea o structură solidă.

Cel mai mare avantaj al printării 3D a aliajelor de titan este posibilitatea de a realiza piese de geometrie complexă imposibil de realizat prin procedeele clasice. Pe de altă parte, printarea 3D are dezavantaje precum costul de fabricație ridicat, productivitatea scăzută, dar și calitatea slabă a suprafețelor [7].

3. Descrierea standului experimental

Sistemul tehnologic utilizat (fig. 1) este format din mașina-unealtă ELER 01, piesa semifabricat cu dimensiunile 10 x 4 x 4 mm, dispozitivul de prindere al piesei semifabricat, electrodul sculă și un dispozitiv de prindere al lanțului ultrasonic, ce conține electrodul sculă la capătul acestuia [11].

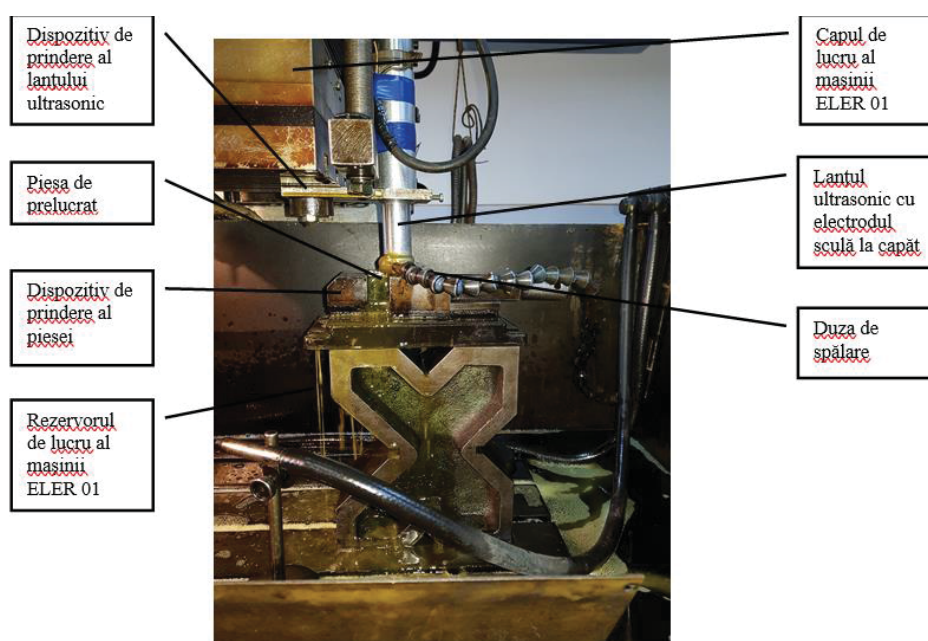


Figura 1. Sistemul tehnologic utilizat la micro-EDM+US

Pentru prelucrarea pieselor s-a folosit un regim de finisare furnizat de un generator cu impulsuri comandate. Parametrii regimului de așchiere au avut următoarele valori: proba 1, $I=3A$, polaritate pozitivă a sculei, timp de impuls, $t_i=95 \mu s$, timp de pauză, $t_0=24 \mu s$; proba 2, $I=3A$, polaritate pozitivă a sculei, timp de impuls, $t_i=48 \mu s$, timp de pauză, $t_0=12 \mu s$.

4. Date experimentale

Compoziția chimică a celor 4 probe de aliaj TiAl6V4 (tabelul 3) a fost determinată utilizând spectrometrul de dispersare a energiei cu raze X cu rezoluția la Mnk de 133 eV.

Tabelul 3. Compoziția chimică a celor 4 probe de TiAl6V4

Element	Proba			
	1	2	3	4
Al %	4,59	4,13	4,34	4,62
Ti %	91,65	93,12	92,02	91,4
V %	3,77	2,75	3,65	3,98

Microtopografiile celor două probe prelucrate au fost analizate cu ajutorul microscopului electronic cu scanare (SEM) QUANTA INSPECT F50, cu emisie de câmp electronic și rezoluția de 1 nm. Rugozitatea (R_z) a fost determinată cu ajutorul rugozimetrului Mahr MarSurf. Pentru fiecare probă s-au determinat dimensiunile medii ale craterelor, atât la EDM cât și la EDM+US (vezi figurile 2 și 3).

În figura 3 se prezintă microscopul SEM (Scanning Electron Microscope) în care s-au introdus cele patru probe prelucrate atât prin EDM și EDM+US.

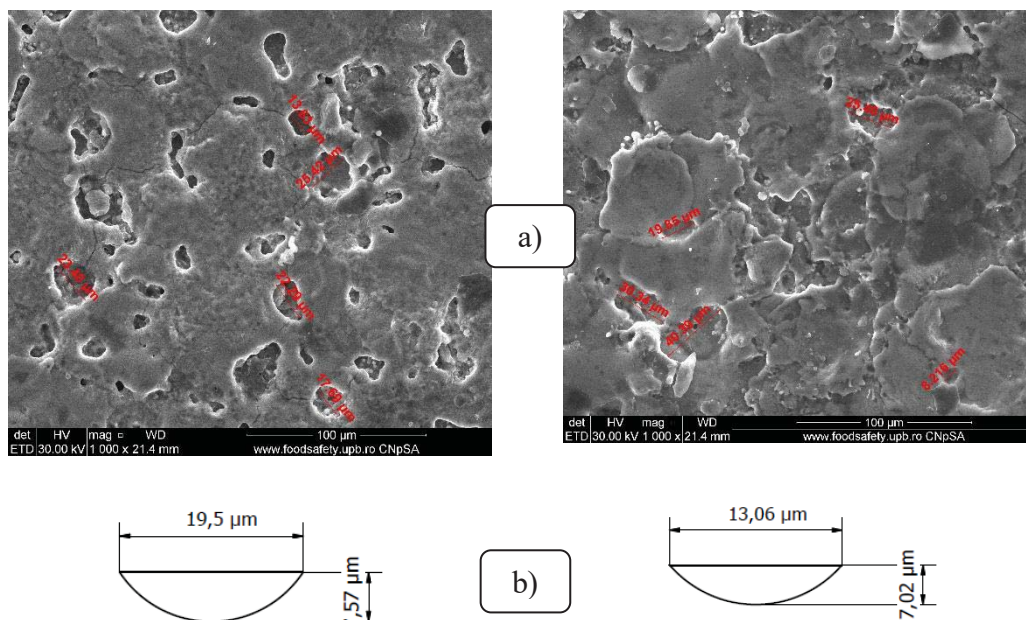


Figura 2. Microgeometria suprafeței prelucrate a probei 1 prin EDM (stânga) și EDM+US (dreapta): a) vederea la SEM; b) dimensiunile medii ale craterelor

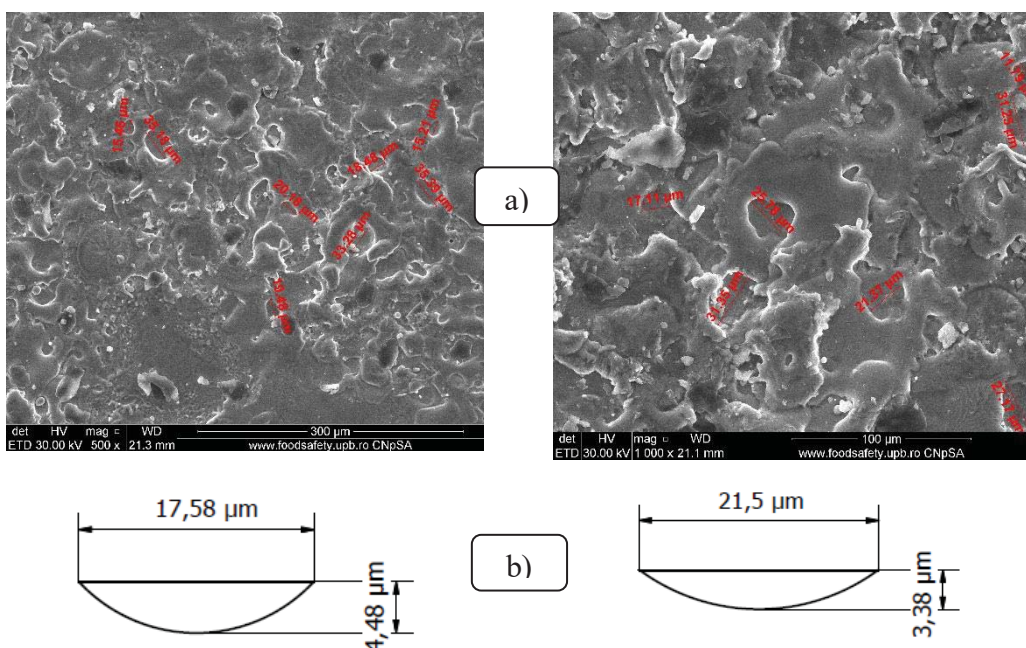


Figura 3. Microgeometria suprafeței prelucrate a probei 2 prin EDM (stânga) și EDM+US (dreapta): a) vederea la SEM; b) dimensiunile medii ale craterelor

5. Modelarea procesului de microprelucrare folosind metoda elementelor finite

Modelarea procesului de prelucrare prin EDM (poziția izotermei de fierbere) a aliajului TiAl6V4, respectiv EDM +US (solicitările mecanice la care sunt supuse vârfurile craterelor) s-a realizat cu ajutorul softului COMSOL Multiphysics 4.2. Pașii care au condus la obținerea rezultatelor au fost:

- Parametrizarea constantelor utilizare în cadrul studiului;
- Modelarea piesei și a craterelor inițiale prezente pe aceasta;
- Atribuirea materialului (TiAl6V4);
- Setarea condițiilor la limită (EDM – temperatura de fierbere a materialului, EDM+US – presiunea ultrasonică de pe flancul craterului);
- Obținerea rezultatelor (EDM – izoterma de fierbere, EDM+US – solicitările mecanice la care sunt supuse vârfurile craterelor).

6. Rezultate obținute prin modelarea cu metoda elementelor finite

Pentru fiecare din cele două probe s-a aplicat modul de lucru prezentat în capitolul 5 și s-au obținut rezultatele din figurile 4 și 5 (EDM) respectiv 6 și 7 (EDM+US) (a-izoterma de fierbere, b-raza craterului, c-adâncimea craterului).

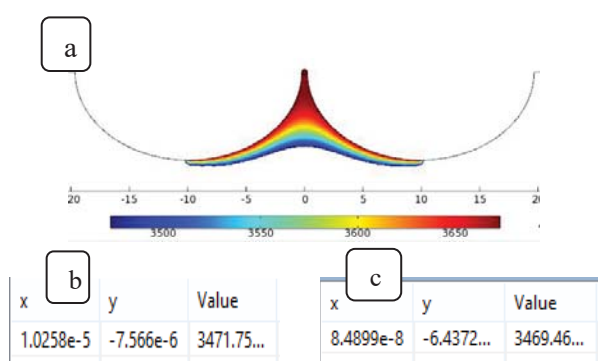


Fig. 4. Rezultate proba 1

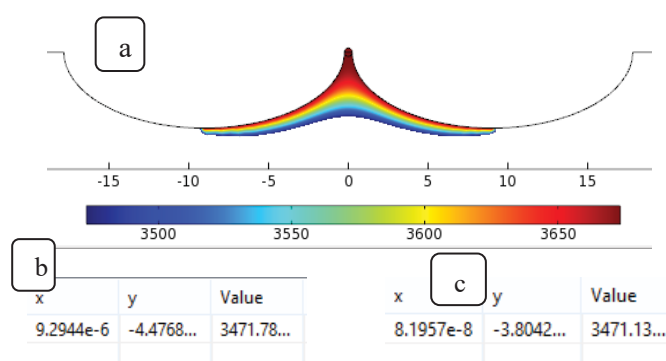


Fig. 5. Rezultate proba 2

În figurile 4 și 6 se observă faptul ca valorile experimentale măsurate sunt apropiate de cele obținute în urma analizei cu elemnte finite, ceea ce validează modelul computerizat

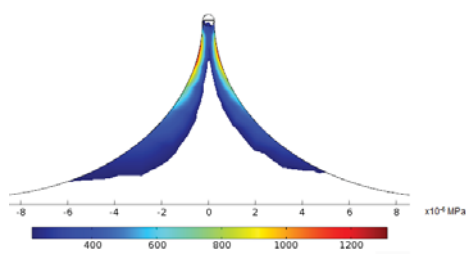


Fig. 6. Rezultate proba 1 - EDM+US

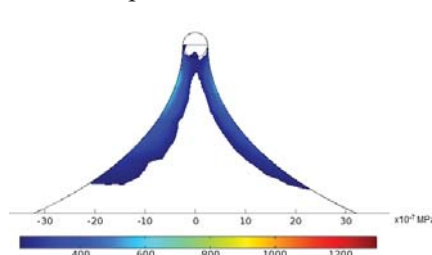


Fig. 7. Rezultate proba 2 – EDM+US

În figurile 6 și 7 se poate observa materialul îndepărtat prin rupere la oboseală datorită presiunii ultrasonice plasată pe flanc. În cadrul analizei cu element finit s-a utilizat rezistența de rupere la oboseală a aliajului de TiAl6V4 calculată cu ajutorul relației (1). [8]

$$\tau_0 = 1,12(40 + 0,16\sigma_r) \quad (1)$$

în care: τ – rezistența de rupere la oboseală a aliajului de titan

σ_r – rezistența la rupere statică a materialului. În cazul de față $\sigma_r=950$ MPa.

6. Concluzii

Contribuții originale:

1. Au fost prelucrate experimental probe din aliaj de TiAl6V4 cu regimuri de micro-EDM clasică și asistată de ultrasunete utilizând impulsuri comandate și de relaxare
2. Au fost vizualizate la microscopul cu scanare cu flux de electroni (SEM) micro-topografia suprafețelor prelucrate determinându-se valorile medii ale diametrelor craterelor produse de descărcările erozive; a fost determinată compoziția chimică a mostrelor folosind spectrometrul de dispersare a energiei cu raze X cu rezoluția la MnK de 133 eV; a fost evaluată rugozitatea suprafețelor prelucrate utilizând un rugozimetru cu palpator;
3. Au fost create modelele mecanismelor de îndepărtare a materialului, cu ajutorul metodei elementelor finite utilizând softul COMSOL MULTISIMULICS, incluzând cele două componente ale tehnologiei hibrid, EDM și US și au fost comparate rezultatele obținute cu datele experimentale validându-se modelele computerizate.

Concluzii:

1. Experimentările au demonstrat că aliajul Ti Al6 V4 are prelucrabilitate bună prin electroeroziune, în regim de microprelucrări. Comparativ, aliajul se prelucrează dificil prin procedee convenționale datorită caracteristicilor de rezistență ridicate ale acestuia.
2. Având în vedere spectrul larg de aplicații în multe domenii ale aliajului, prelucrabilitatea acestuia prin micro-EDM îi conferă acestuia avantaje sporite în medicină la realizarea unor microdispozitive (microduze, microfante, microgăuri etc.);
3. Asistarea cu ultrasunete a micro-electroeroziunii conduce la reducerea rugozității suprafeței prelucrate prin îndepărtarea marginilor craterelor de electroeroziune, dar și creșterea productivității prin prelevare suplimentară de material;
4. Modelele computerizate realizate cu metoda elementelor finite a procesului EDM+US au produs rezultate apropiate de datele experimentale, ceea ce a validat modelele create în cadrul lucrării;
6. S-au identificat soluții pentru optimizarea procesului în ceea ce privește parametrul de rugozitate, cu ajutorul unui parametru-cheie al regimului de prelucrare, putere de acționare a lanțului ultrasonic.

Cercetările viitoare se vor axa pe utilizarea tehnologiei EDM+US pe aliajul printat TiAl6V4, realizându-se micro-găuri și micro-fante care au aplicabilitate în domeniul medical, auto sau aeronautic, deoarece este cunoscut faptul că în urma printării 3D duritatea materialului scade.

7. Referințe bibliografice

- [1]. Ghiculescu, D., “*Ultrasonically Aided Electrical Discharge Machining*”, Editura Nova, New York, 2015
- [2]. Ekmekci, B., Ekmekci, N., Yaşar H., “*Surfaces in Electrical Discharge Machining*”, Editura Nova, New York, 2015
- [3]. Wansheng, Z. et al., “*Ultrasonic and electric discharge machining to deep and small hole on titanium alloy*”, Vol. 120, pp.101–106, (2002).
- [4]<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=mtp641> – ASM Aerospace specification Metals Inc., Fișa de informare a materialului Ti6Al4V; Accesat la data: 18.04.2019
- [5] The Japan Titanium Society (Editor): Titanium Pamphlet. 2007.4;
- [6] C.N. Elias, J.H.C. Lima, R. Valiev, and M.A. Meyers, Biomedical Applications of Titanium and its Alloys, 2008.
- [7]. Jones G., ”*Direct Metal Laser Sintering (DMLS) – Simply Explained*”, 18.04.2019 <https://all3dp.com/2/direct-metal-laser-sintering-dmls-simply-explained/>, disponibil la 05.2019, accesat la 05.2019
- [8] Drobotă, V. „*Rezistența materialelor*”, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.