



2024

INTRODUCERE

Prelucrarea prin electroeroziune (Electrical Discharge Machining - EDM) reprezintă una dintre tehnologiile avansate de prelucrare, utilizată pe scară largă în industria manufacturieră datorită capacității sale de a prelucra materiale dure și complexe, cum ar fi oțelurile utilizate în construcția matrițelor. Această tehnologie este esențială în realizarea componentelor de mare precizie, fiind indispensabilă în domenii precum industria auto, aerospațială și electronică.

Componentele matrițelor din oțel sunt fundamentale în procesele de fabricație, acestea fiind utilizate pentru formarea și modelarea materialelor într-o varietate de produse finale. Însă, datorită proprietăților fizico-mecanice ale oțelurilor destinate construcției matrițelor, prelucrarea acestora prin metode convenționale poate fi extrem de dificilă și ineficientă. În acest context, prelucrarea prin electroeroziune oferă o soluție optimă, permițând obținerea unor finisaje precise fără a afecta integritatea structurală a materialului.

Totuși, eficiența procesului de prelucrare prin electroeroziune este puternic influențată de parametrii de prelucrare selectați. Acești parametri, precum curentul electric, durata impulsului, tensiunea de prelucrare și natura fluidului dielectric, joacă un rol crucial în obținerea rezultatelor dorite, atât în termeni de precizie dimensională, cât și în ceea ce privește calitatea suprafeței și durata de viață a matriței. Optimizarea acestor parametri este, prin urmare, esențială pentru îmbunătățirea performanței și eficienței procesului.

Această teză de doctorat își propune să contribuie la îmbunătățirea înțelegerii și aplicării procesului de electroeroziune printr-o abordare teoretică și experimentală axată pe optimizarea parametrilor de prelucrare pentru oțelurile utilizate în construcția matrițelor. În cadrul tezei, vor fi explorate diferitele influențe ale parametrilor de prelucrare prin electroeroziune asupra comportamentului materialelor prelucrate, fiind propuse modele predictive care să permită selectarea celor mai buni parametri în funcție de cerințele specifice ale fiecărei aplicații.

Rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale efectuate în vederea îndeplinirii obiectivului tezei sunt prezentate în cadrul următoarelor capitole ale lucrării:

- În primul capitol este prezentat stadiul actual a cunoștințelor tehnice și științifice în domeniul procesului de prelucrare prin electroeroziune cu electrod masiv a materialelor utilizate în confecționarea părților active ale matrițelor.
- În capitolul al doilea, pe baza concluziilor asupra stadiului actual al cercetărilor privind prelucrarea prin electroeroziune cu electrod masiv, au fost stabilite obiectivele principale ale tezei și etapele parcurse pentru îndeplinirea acestora.
- În capitolul al treilea este stabilit planul de cercetare și modalitățile de lucru pentru studiul experimental privind prelucrarea prin electroeroziune a oțelurilor pentru construcția matrițelor.
- În capitolul al patrulea sunt prezentate rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale privind influența parametrilor de proces la prelucrarea prin electroeroziune cu electrod masiv a oțelurilor pentru construcția matrițelor asupra ratei de îndepărtare a materialului (MRR), ratei de uzură a electrodului (TWR), uzurii electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR) și a calității suprafeței (Sa).
- În capitolul al cincilea este prezentată analiza statistică (ANOVA) a datelor experimentale obținute în urma prelucrării cu electroeroziune cu electrod masiv și optimizarea parametrilor de proces. Această analiză a fost efectuată cu scopul de a observa cum influențează fiecare parametru cu ajutorul unui plan experimental de tip suprafețe de răspuns (RSM D-optimal), construit cu ajutorul software-ului Design Expert. Optimizarea s-a făcut prin oferirea unei soluții optime pentru parametrii studiați și prin prezentarea unei plaje de valori care să conducă către funcția țintă.
- În capitolul al șaselea sunt prezentate concluzii generale, contribuții proprii și direcții viitoare de cercetare privind prelucrarea prin electroeroziune cu electrod masiv a componentelor matrițelor.

În încheiere țin să adresez câteva cuvinte de mulțumire celor care au avut un rol important în îndrumarea mea pe tot parcursul desfășurării activităților legate de realizarea cercetărilor și de finalizarea prezentei lucrări. Acum, din punct de vedere științific, primele gânduri de recunoștință se îndreaptă spre conducătorul tezei, domnul Prof. univ. dr. ing. habil. Carol SCHNAKOVSKY, pentru încrederea și sprijinul acordat și pentru sfaturile competente primite pe parcursul realizării cercetărilor și elaborării lucrării.

Doresc să aduc mulțumiri colectivului catedrei de Ingineria și Managementul Sistemelor Industriale, din cadrul Universității „Vasile Alecsandri” din Bacău, pentru asistența, sprijinul organizatoric și moral acordat în desfășurarea cercetărilor: domnului Ș.I. dr. ing. Cătălin Nicolae TÂMPU, Conf. univ. dr. ing. Bogdan-Alexandru CHIRIȚĂ, pentru recomandările ce mi-au fost de un mare ajutor în structurarea tezei de doctorat, domnului Conf. univ. doctor inginer Ionel Crinel RAVEICA pentru încurajările aduse, domnei Conf. dr. ing. Crina Maria RADU. Nu în ultimul rând, mulțumesc familiei pentru sprijinul moral și susținerea de care au dat dovadă pe parcursul anilor de realizare a tezei.

Ing. Oana-Georgeta GHIORGHE

CUPRINS

INTRODUCERE.....	1
CAPITOLUL 1. SITUAȚIA ACTUALĂ A CUNOȘTINȚELOR TEHNICE ȘI ȘTIINȚIFICE PRIVIND PROCESUL DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE CU ELECTROD MASIV A PLĂCILOR ACTIVE ALE MATRIȚELOR	4
1.1 Scurt istoric al prelucrării prin electroeroziune	4
1.2 Principiul prelucrării prin electroeroziune	4
1.2.1 Copierea cu electrod masiv	4
1.2.2 Străpungerea	5
1.2.3 Finisarea prin electroeroziune	5
1.2.4 Tratarea chimico-termică.....	5
1.2.5 Scufundare prin descărcare electrică	5
1.2.6 Perforare cu descărcare electrică	6
1.2.7 Rectificarea prin electroeroziune.....	6
1.2.8 Tăiere cu discuri cu descărcare electrică	6
1.2.9 Frezare prin descărcare electrică	7
1.2.10 Prelucrarea cu electrod filiform	7
1.2.11 Durificarea prin electroeroziune	7
1.2.12 Modificarea microgeometriei a suprafețelor pieselor	8
1.3 Evoluția proceselor de prelucrare prin electroeroziune	8
1.3.1 Prelucrarea prin electroeroziune cu electrod masiv	8
1.4 Parametrii regimurilor de prelucrare prin electroeroziune	9
1.5 Dielectrici utilizați.....	9
1.5.1 Hidrocarburi și uleiuri dielectrice biodiesel	9
1.5.2 Apă și aditivi pe bază de apă	9
1.5.3 Fluid dielectric pe bază de gaz	9
Oxygenul și aerul sunt tipuri obișnuite de dielectrici utilizați în EDM. Aceștia sunt cel mai puțin periculoși și produc mai puțini poluanți în comparație cu alte produse dielectrice.....	9
1.5.4 Fluid dielectric amestecat cu pulbere	10
1.6 Electrozi masivi.....	10
1.6.1 Electrozi din Cupru	10
1.6.2 Electrozi din Cupru și Wolfram	10
1.6.3 Electrozi din Wolfram și Argint	10
1.6.4 Electrozi din Grafit.....	10
1.6.5 Electrozi din Alamă.....	10
1.7 Parametrii de prelucrare	10
1.7.1 Rata de îndepărtare a metalelor (MRR).....	10
1.7.2 Rezistența la uzură (WR).....	10
1.7.3 Calitatea suprafeței (SF)	10
1.7.4 Prelucrabilitate	10
1.7.5 Costul materialului	10
1.8 Materiale recomandate pentru a fi prelucrate prin electroeroziune	11
1.9 Domenii de aplicare ale electroeroziunii cu electrod masiv	11
1.10 Studiul literaturii de specialitate privind prelucrarea prin electroeroziune	11
1.10.1 Influența parametrilor de prelucrare	11
1.10.2 Influența caracteristicilor suprafeței	12
1.10.3 Monitorizarea online a procesului	12
1.10.4 Îmbunătățiri ale procesului	12
1.11 Concluzii și recomandări privind studiile viitoare	12
CAPITOLUL 2. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRII	13
2.1 Scopul cercetării.....	13
2.2 Obiectivul tezei de doctorat	13
2.3 Ipotezele cercetării	13
CAPITOLUL 3. STABILIREA PLANULUI DE CERCETARE ȘI A MODALITĂȚILOR DE LUCRU ..	14
3.1 Descrierea metodei experimentale	14
3.2 Echipamente experimentale	16
3.2.1 Mașina de prelucrat prin electroeroziune	16
3.2.2 Echipamente pentru efectuarea măsurătorilor	16
3.3 Dielectricul utilizat.....	17

3.4 Materialul prelucrat	17
CAPITOLUL 4. STUDIUL EXPERIMENTAL PRIVIND INFLUENȚA PARAMETRILOR DE PROCES	18
4.1 Influența parametrilor de proces	18
4.1.1 Influența intensității curentului de lucru IP asupra parametrilor studiați.....	18
4.1.2 Influența curentului de lucru T _{ON} asupra parametrilor studiați.....	22
4.1.3 Influența curentului de lucru T _{OFF} asupra parametrilor studiați.....	25
Concluzii.....	27
CAPITOLUL 5. ANALIZA STATISTICĂ A REZULTATELOR EXPERIMENTALE ȘI OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PROCES	28
5.1 Analiza statistică a rezultatelor experimentale	28
5.1.1 Planul experimental	28
5.1.2 Analiza statistică ANOVA pentru prelucrarea materialului C120 cu electrod din Cu 99.9	28
5.1.3 Analiza statistică ANOVA pentru prelucrarea materialului C120 cu electrod din alamă CuZn39Pb2	30
5.1.4 Analiza statistică ANOVA pentru prelucrarea materialului C120 cu electrod din WCu 75/25.....	31
5.1.5 Influența interacțiunilor pentru prelucrarea materialului C120 cu electrod din Cu 99.9	31
5.1.6 Influența interacțiunilor pentru prelucrarea materialului C120 cu electrod din alamă CuZn39Pb2	33
5.1.7 Influența interacțiunilor pentru prelucrarea materialului C120 cu electrod din WCu 75/25	34
5.1.8 Prezentarea comportamentului factorilor de influență considerați asupra parametrilor de prelucrare a materialului C120 și C120T	34
5.1.9 Optimizarea factorilor de influență parametrilor de prelucrare a materialului C120 și C120T	35
5.2 Determinarea parametrilor optimi ai procesului de prelucrare prin aplicarea metodei rețelelor neuronale	36
5.2.1 Caracteristici generale ale rețelelor neuronale.....	36
5.2.2. Metodologia de implementare a rețelelor neuronale artificiale pentru determinarea parametrilor optimali ai procesului de prelucrare prin electroeroziune	36
5.2.3 Concluzii privind determinarea parametrilor optimi pentru prelucrarea prin electroeroziune cu ajutorul metodei rețelelor neuronale.....	38
Concluzii.....	39
CAPITOLUL 6. CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII PROPRII ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	41
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	44

**CAPITOLUL 1. SITUAȚIA ACTUALĂ A CUNOȘTINȚELOR TEHNICE ȘI
ȘTIINȚIFICE PRIVIND PROCESUL DE PRELUCRARE PRIN
ELECTROEROZIUNE CU ELECTROD MASIV A PLĂCILOR ACTIVE ALE
MATRIȚELOR**

1.1 Scurt istoric al prelucrării prin electroeroziune

Procesul care stă la baza electroeroziunii există de zeci de ani, iar principiile de bază au fost observate de secole. Cunoașterea faptului că descărcările electrice pot avea efecte erozive a fost studiată pentru prima dată de fizicianul Joseph Priestley în 1770 [1].

Primul echipament pentru prelucrare prin eroziune a apărut în anul 1943. Intensitatea câmpului electric, se mărește o dată cu apropierea electrodului de piesă. Materialul ars în urma prelucrării se împrășteie în lichidul dielectric, se răcește și se precipită pe fundul băii. Conturul găurii prelucrate coincide exact cu negativul profilului electrodului [4].

1.2 Principiul prelucrării prin electroeroziune

În figura 1.1 este prezentată schema de principiu a unei instalații de prelucrare prin descărcări electrice [6].

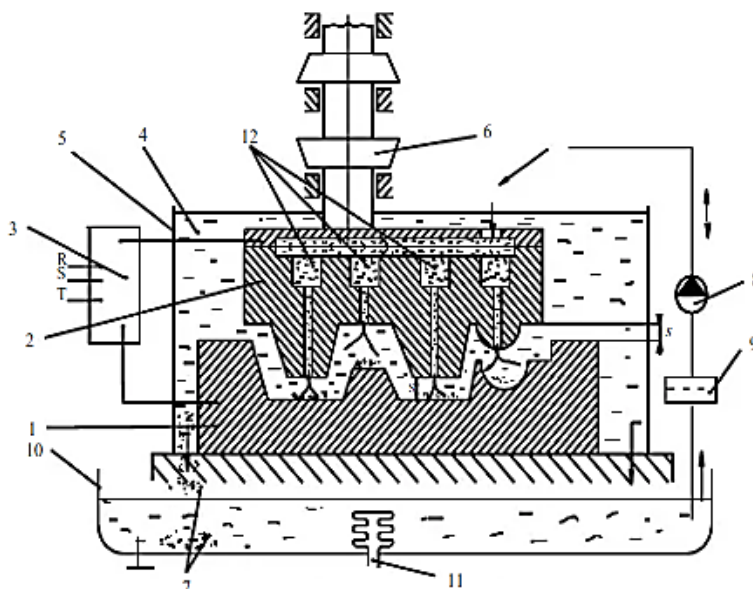


Figura 1.1 Schema de principiu a unei instalații de prelucrare prin descărcări electrice
1- piesa -semifabricat; 2 - electrod-sculă; 3 - generatorul de impulsuri de tensiune; 4 - dielectricul; 5 - cuva; 6- sistemul de avans; 7 - microparticule; 8 - pompă; 9 - filtrul; 10- rezervorul; 11 - sistemul de răcire; 12 - canalele de răcire a electrodului sculă [6].

În concluzie, prelucrarea prin electroeroziune se bazează pe efectul eroziv polarizat al unor descărcări electrice prin impuls, amorțate în mod repetat între un electrod (electrodul sculă) și piesa de prelucrat. Agentul eroziv este descărcarea electrică prin impuls. În spațiul dielectric dintre piesă și electrodul - sculă, numit interstițiu eroziv, au loc fenomene fizico-mecanice și chimice, ca urmare a microdescărcărilor electrice amorțate [7].

Putem deosebi următoarele procedee de prelucrare prin electroeroziune:

1.2.1 Copierea cu electrod masiv

În acest caz, electrodul-piesă ia forma suprafeței electrodului-sculă, ce efectuează o deplasare spre semifabricat (figura 1.2) [11].

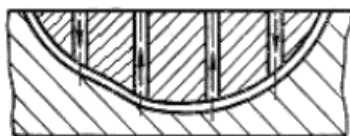


Figura 1.2 Schema de copiere prin electroeroziune cu electrod masiv [11]

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

1.2.2 Străpungerea

Este prelucrarea în care electrodul-sculă se adâncește în semifabricat, creând găuri străpunte sau nestrăpunte de o secțiune uniformă (figura 1.3) [11].

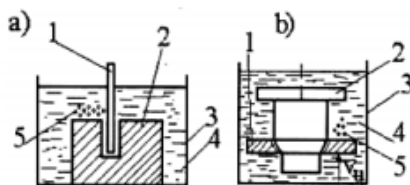


Figura 1.3 Schemele de prelucrare (străpungere) prin electroeroziune a unei adâncituri (a) și a unei bare fasonate (b): 1 – electrodul-sculă; 2 – piesa de prelucrat; 3 – baia; 4 – lichidul dielectric; 5 – produsele prelucrării [11]

1.2.3 Finisarea prin electroeroziune

Este prelucrarea în care se obțin indici înalți ai preciziei și calității piesei în dependență de parametrii regimului ales (figura 1.4) [11].

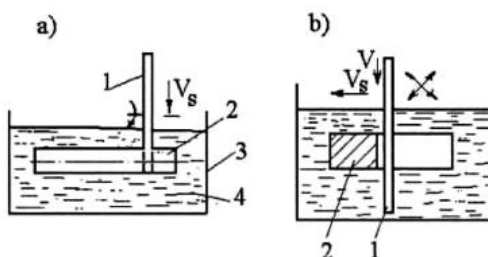


Figura 1.4 Scheme de debitare a pieselor prin electroeroziune cu electrodul-sculă: a) bară profilată; b) disc sau placă [11]

1.2.4 Tratarea chimico-termică

Tratarea chimico-termică se dezvoltă în două direcții de cercetare: formarea peliculelor de grafit și obținerea peliculelor de oxizi pentru protecția suprafeței. Morfologia stratului superficial al fontei tratate prelucrate cu descărcări electrice în impuls cu electrod din grafit este prezentată în figura 1.5. Morfologia stratului din oțel cu peliculele de oxizi formate la descărcările electrice în impuls sunt prezentate în figura 1.6.

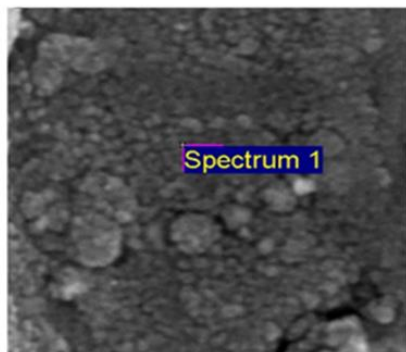


Figura 1.5 Morfologia stratului superficial al fontei [11]

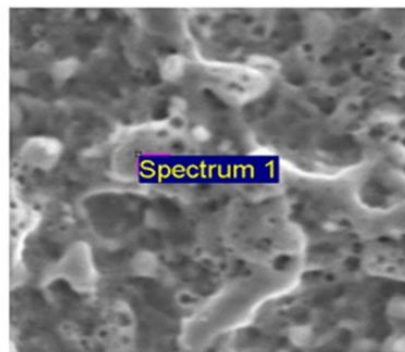


Figura 1.6 Morfologia stratului din oțel [11]

1.2.5 Scufundare prin descărcare electrică

Este procedeul prin care un electrod sculă profilat electric creează o cavitate în piesa de prelucrat prin descărcări controlate de scânteii (figura 1.7).

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

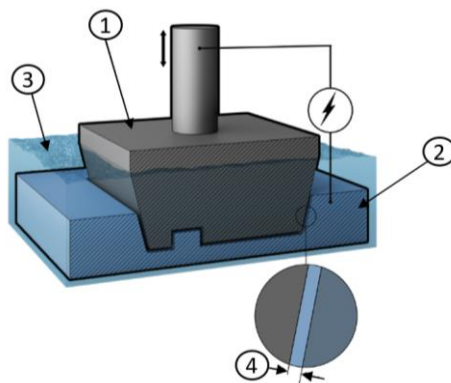


Figura 1.7 Scufundare prin descărcare electrică: 1 - electrod sculă; 2 - electrod piesă; 3 - interstițiu de prelucrare; 4 - dielectric [12]

1.2.6 Perforare cu descărcare electrică

Este o metodă de prelucrare abrazivă prin care o descărcare controlată de scânteie de la un electrod încărcat electric creează o mică gaură în piesa de prelucrat (figura 1.8).

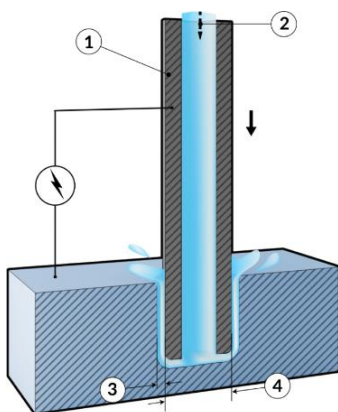


Figura 1.8 Perforare cu descărcare electrică [12]

1.2.7 Rectificarea prin electroeroziune

Este o metodă de prelucrare abrazivă prin care descărcări controlate de scânteie, de la o unealtă rotativă încărcată electric, rectifică suprafața piesei de prelucrat (figura 1.9).

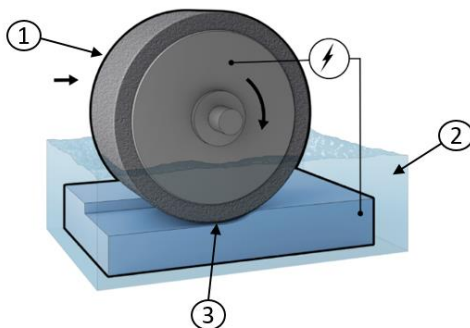


Figura 1.9 Rectificare prin descărcare electrică [12]

1.2.8 Tăiere cu discuri cu descărcare electrică

Este o metodă de prelucrare în care o scânteie controlată se descarcă de la o lamă rotativă încărcată electric, tăind piesa de prelucrat (figura 1.10).

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

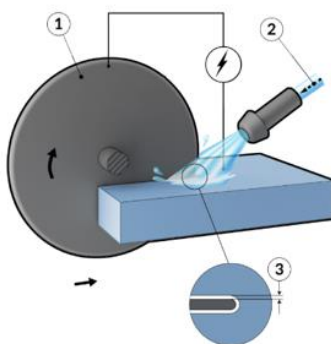


Figura 1.10 Tăiere cu discuri cu descărcare electrică [12]

1.2.9 Frezare prin descărcare electrică

Este o metodă de prelucrare prin care descărcări controlate de scântei de la un electrod încărcat electric și rotativ care prelucrează suprafața piesei (figura 1.11).

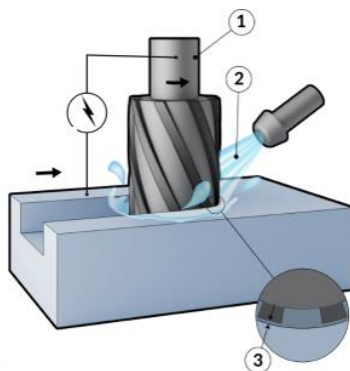


Figura 1.11 Frezare prin descărcare electrică [12]

1.2.10 Prelucrarea cu electrod filiform

Este un procedeu de prelucrare ce utilizează un electrod filiform ce se deplasează după o traiectorie programată formând conturul necesar. Este metoda de tăiere (figura 1.12) prin care, un fir încărcat electric este introdus într-o piesă de prelucrat, creând o descărcare electrică, care taie un contur în planul orizontal al acesteia [12,13].

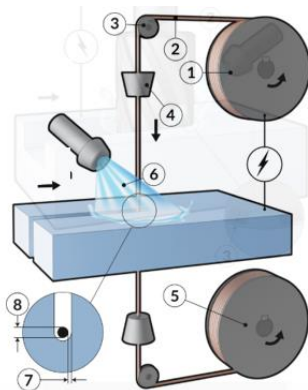


Figura 1.12 Electroeroziune cu electrod filiform [12]

1.2.11 Durificarea prin electroeroziune

Durificarea prin electroeroziune este un proces specific folosit pentru a îmbunătăți duritatea suprafeței materialelor prin aplicarea descărcărilor electrice controlate. Aceasta este o tehnică avansată utilizată pentru a crește duritatea și rezistența la uzură a componentelor din metale dure și aliaje.

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

1.2.12 Modificarea microgeometriei a suprafețelor pieselor

Modificarea microgeometriei a suprafețelor pieselor se face cu ajutorul descărcărilor electrice în impuls. Formarea conurilor Taylor pe suprafața activă a pieselor metalice (figura 1.13) [14] [15].

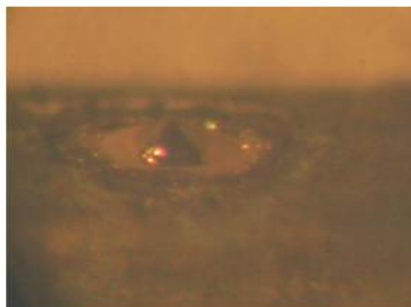


Figura 1.13 Prezentarea suprafeței prelucrată prin descărcări electrice în impuls [14, 15]

1.3 Evoluția proceselor de prelucrare prin electroeroziune

Industria de fabricație de astăzi este în cursul celei de a 4-a revoluții industriale, care se caracterizează prin faptul că mașinile au integrat un anumit nivel de inteligență care le permite să își controleze autonom sarcinile și să comunice cu mediul lor. Aceste mașini inteligente sunt echipate cu o multitudine de senzori și sunt capabili să asigure calitatea pieselor fabricate prin acțiuni corective (auto-optimizarea parametrilor procesului și control adaptiv).

1.3.1 Prelucrarea prin electroeroziune cu electrod masiv

Procesul de prelucrare prin electroeroziune facilitează obținerea de suprafețe cu forme complexe în electrodul-piesă realizat din materiale electroconductive, caracterizate eventual prin duritate ridicată, ce face imposibilă prelucrarea cu o metodă clasică.

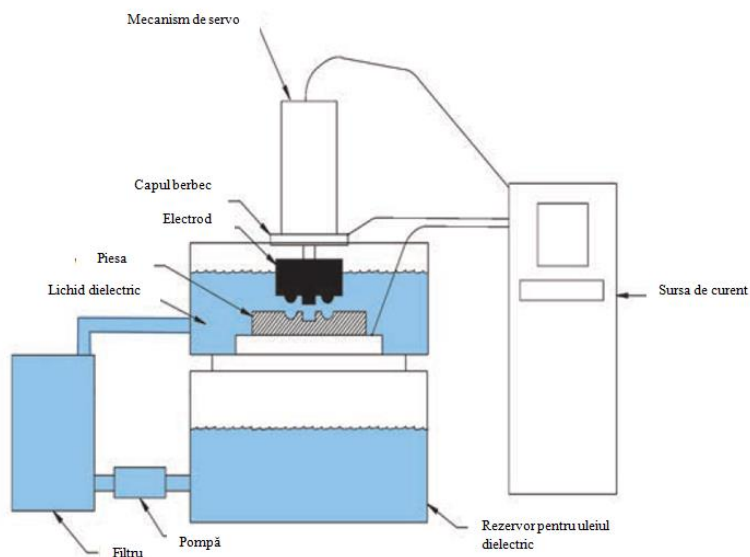


Figura 1.14 Schema procesului EDM [22]

Electroeroziunea (EDM) este utilizată în diverse aplicații industriale datorită avantajelor sale distincte prezentate mai jos:

- prelucrare a materialelor dure: EDM poate prelucra materiale extrem de dure, inclusiv oțeluri aliate, aliaje de titan, carburi cimentate și chiar materiale ceramice;
- precizie înaltă: EDM poate produce piese cu dimensiuni și forme complexe cu o precizie ridicată;
- lipsa contactului fizic: În procesul EDM, nu există contact fizic între electrod și piesa de prelucrat;
- flexibilitate în prelucrare: EDM poate fi utilizat pentru a prelucra o gamă largă de forme și dimensiuni, inclusiv detalii mici și complicate;

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

- capacitate de prelucrare a materialelor subțiri și fragile: EDM este ideal pentru prelucrarea materialelor subțiri și fragile, cum ar fi foițele metalice subțiri, deoarece nu aplică forțe mecanice semnificative asupra piesei de lucru în timpul procesului de prelucrare;
 - capacitatea de a prelucra materiale neconductive: În unele variante ale EDM, cum ar fi electroeroziunea cu plasmă, este posibilă prelucrarea materialelor neconductive, ceea ce mărește gama de aplicații a acestui proces;
 - eficiență în prelucrarea en-gros: Pentru producția de piese în masă, EDM poate fi eficient din punct de vedere al costurilor, deoarece poate fi automatizat și poate funcționa fără supraveghere constantă, comparativ cu alte procese de prelucrare care pot necesita schimbări frecvente de scule și ajustări.
- Desigur, electroeroziunea (EDM) prezintă și unele dezavantaje importante, care trebuie luate în considerare înainte de a decide utilizarea acestui proces într-o anumită aplicație, principalele dezavantaje sunt:
- viteză de prelucrare lentă: EDM este adesea mai lent decât alte procese de prelucrare, cum ar fi frezarea sau rectificarea, mai ales în cazul prelucrării materialelor mai moi sau mai ușoare;
 - costuri ridicate: Costurile asociate cu electroeroziunea pot fi semnificative. Acestea includ costurile de achiziție și întreținere a echipamentului EDM;
 - consumabile scumpe: Electrozi specializați pot fi necesari pentru anumite aplicații, iar aceștia pot fi costisitori și pot necesita înlocuire frecventă în timpul procesului;
 - deformări termice: În timpul procesului de electroeroziune, temperatura ridicată generată în zona de prelucrare poate duce la deformări termice în piesa de lucru. Aceste deformări pot afecta precizia și calitatea pieselor finite;
 - risc de fisuri și crăpături: Descărcările electrice repetate pot duce la formarea de fisuri sau crăpături în materialele prelucrate, în special în cazul materialelor fragile sau supuse la tensiuni ridicate;
 - finisajul superficial: Suprafețele prelucrate prin electroeroziune pot avea o textură rugoasă, ceea ce poate necesita operațiuni suplimentare de finisare pentru a atinge nivelul de finisare superficial dorit;
 - generare de particule și gaze toxice: În anumite condiții, electroeroziunea poate genera particule și gaze toxice, precum vapori de metal și emisii de gaze, care pot reprezenta un risc pentru sănătatea lucrătorilor și necesită măsuri adecvate de protecție și ventilație;
 - limitări ale geometriei și dimensiunii pieselor: Există limitări în ceea ce privește geometria și dimensiunile pieselor care pot fi prelucrate eficient cu electroeroziunea.

1.4 Parametrii regimurilor de prelucrare prin electroeroziune

Parametrii regimurilor de prelucrare în electroeroziune (EDM) sunt variabilele controlabile ale procesului care influențează calitatea, precizia și eficiența prelucrării. Acești parametri trebuie ajustați și optimizați în funcție de materialul piesei de lucru, geometria piesei, dimensiunile și cerințele procesului specific. O preocupare principală este productivitatea procesului de prelucrare sau rata de îndepărtare a materialului MRR [23]. De asemenea, MRR crește odată cu durata impulsului T_{ON} . În mod clar legat de productivitate și precizia dimensională, uzura sculei în EDM [24] a fost studiată pe baza analizei și experimentării dimensionale.

1.5 Dielectrici utilizați

Lichidul dielectric joacă un rol esențial în tehnologiile EDM. Tipul și calitatea lichidului dielectric au un efect major asupra performanței și eficienței procesului de electroeroziune. Există trei funcții de bază ale lichidului dielectric în procesul EDM [29]:

- acționează ca un mediu izolator, deși fluxul de curenți are loc după ce se rupe la aplicarea unei tensiuni adecvate;
- acționează ca un mediu pentru a transporta căldura de la electrozi;
- spălarea resturilor din spațiul dintre electrozi, curățând astfel zona prelucrată.

1.5.1 Hidrocarburi și uleiuri dielectrice biodiesel

Dielectricul pe bază de hidrocarburi și ulei, este unul dintre dielectricele tradiționale utilizate în EDM pentru prelucrare. Acestea sunt cel mai puțin volatile și lipsite de ioni, asigurând o prelucrare mai bună.

1.5.2 Apă și aditivi pe bază de apă

Atât apa normală, cât și deionizată sunt utilizate ca dielectrici pentru prelucrarea prin electroeroziune. Apa deionizată se folosește pentru prelucrarea materialelor semiconductoare. Asigură o rugozitate fină ($2-3\mu\text{m}$), nu carburează și nu murdărește suprafața prelucrată.

1.5.3 Fluid dielectric pe bază de gaz

Oxigenul și aerul sunt tipuri obișnuite de dielectrici utilizați în EDM. Aceștia sunt cel mai puțin periculoși și produc mai puțini poluanți în comparație cu alte produse dielectrice.

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

1.5.4 Fluid dielectric amestecat cu pulbere

Folosirea acestui dielectric, este o tehnică nouă utilizată pe scară largă pentru prelucrarea materialelor. Oferă o topografie mai bună a suprafeței prelucrate, cu reducerea rugozității suprafeței, a fisurilor și a găurilor.

1.6 Electrozi masivi

Proprietățile fizice ale materialelor electrozilor au o mare influență asupra eroziunii de prelucrare, a pierderilor de electrozi, a vitezei de prelucrare și a stabilității prelucrării în EDM, iar calitatea prelucrării va fi direct afectată de utilizarea diferitelor materiale de electrozi în condițiile selectării parametrilor.

1.6.1 Electrozi din Cupru

Cuprul și aliajele de cupru au o rezistență mai bună la uzură prin electroeroziune decât alama, dar sunt mai greu de prelucrat decât alama sau grafitul.

1.6.2 Electrozi din Cupru și Wolfram

Materialele din cupru și wolfram sunt materiale compozite din wolfram și cupru. Acestea sunt produse folosind procese de metalurgie a pulberilor.

1.6.3 Electrozi din Wolfram și Argint

Materialul wolfram-argint este format din particule de carbură de wolfram dispersate într-o matrice de argint. Argintul oferă o conductivitate electrică ridicată, iar wolframul oferă o rezistență excelentă la eroziune și caracteristici bune de antisudare în aplicații de mare putere.

1.6.4 Electrozi din Grafit

Acesta are o structură amorfă. Proprietățile care influențează performanța sunt dimensiunea particulelor, rezistența la flexiune și duritatea shore. Aceste proprietăți, împreună cu o fotomicrografie a microstructurii, sunt cele mai bune instrumente pentru a prezice performanța grafitului [51].

1.6.5 Electrozi din Alamă

Alama fost prima alternativă logică la cupru atunci când utilizatorii EDM, căutau performanțe mai bune. Electrocul din alamă este o combinație de cupru și zinc, de obicei este în intervalul 63-65% Cu și 35-37% Zn.

1.7 Parametrii de prelucrare

1.7.1 Rata de îndepărtare a metalelor (MRR)

Rata de îndepărtare a metalului este exprimată de obicei în milimetri cubi pe oră ($\text{mm}^3/\text{oră}$) sau în inch cubi pe oră ($\text{in}^3/\text{oră}$), dar, de fapt, ar putea fi exprimată la fel de realist ca €/oră. Atingerea unei MRR eficient nu este doar o chestiune de setări corecte ale mașinii. Ea implică, de asemenea, energia directă disipată în procesul de electroeroziune. Grafitul este, în general, mult mai eficient decât electrozii metalici, însă rata de îndepărtare a materialului variază foarte mult în funcție de tipurile de grafit. Cu o combinație adecvată de material de electrod / material de prelucrat, MRR poate fi maximizată.

1.7.2 Rezistența la uzură (WR)

S-a stabilit că există patru tipuri de uzură: volumetrică, de colț, de capăt și laterală. Dintre cele patru, se constată că uzura de colț este cea mai importantă, deoarece contururile tăieturii finale sunt determinate de capacitatea electrodului de a rezista la eroziunea colțurilor și marginilor sale.

1.7.3 Calitatea suprafeței (SF)

Finisarea fină a suprafeței se obține printr-o combinație de material adecvat pentru electrozi, condiții bune de spălare și setări adecvate ale sursei de alimentare. Frecvența ridicată, puterea redusă și orbitarea produc cel mai bun finisaj, deoarece aceste condiții produc cratere mai mici și mai puțin definite în materialul de lucru.

1.7.4 Prelucrabilitate

Rezistența și dimensiunea mică a particulelor sunt importante pentru a se putea obține raze minime și toleranțe strânse. Duritatea materialului este, de asemenea, un factor în ceea ce privește prelucrabilitatea.

1.7.5 Costul materialului

Costul materialului electrodului reprezintă, în general, doar o mică parte din costul total al lucrării de electroeroziune. Cu toate acestea, ceea ce este prea des trecut cu vederea este faptul că costul materialului electrodului considerat în afara costului total al lucrării este complet lipsit de sens.

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

1.8 Materiale recomandate pentru a fi prelucrate prin electroeroziune

Prelucrarea prin eroziune electrică se aplică în general în cazul materialelor greu prelucrabile, cele care necesită geometrii complexe și la toate categoriile de prelucrări microdimensionale. În general, sunt prelucrate următoarele materiale:

- materiale metalice feroase, precum oțelul, fonta și toate aliajele fierului;
- materiale metalice neferoase, și anume cuprul, aluminiul, bronzul, etc., împreună cu toate aliajele neferoase;
- toate carburile metalice;
- materiale compozite ce au proprietăți de conductibilitate electrică.

1.9 Domenii de aplicare ale electroeroziunii cu electrod masiv

La sfârșitul secolului XX, electroeroziunea a devenit lider printre tehnologiile de prelucrare neconvenționale, atât în ceea ce privește numărul de echipamente utilizate, cât și volumul total de prelucrări efectuate.

Principalele aplicații ale prelucrării prin electroeroziune cu electrod masiv, sunt:

- fabricarea paletelor pentru turbine termice;
- producerea calibrelor pentru controlul și execuția laminării produselor cu profil periodic (de exemplu, fier-beton);
- realizarea individuală sau multiplă a alezajelor submilimetrice pentru pompe de injecție, filtre și site metalice, precum și carburatoare de motoare;
- îndepărtarea sculelor rupte din piese;
- inscripționarea suprafețelor metalice.

1.10 Studiul literaturii de specialitate privind prelucrarea prin electroeroziune

1.10.1 Influența parametrilor de prelucrare

1.10.1.1 Mediul dielectric

Procesul de electroeroziune generează descărcări între un electrod și o piesă de prelucrat cu apă deionizată ca mediu dielectric și erodează piesa de lucru pentru a produce forme complexe în două și trei dimensiuni. Procesul de electroeroziune cu electrod este utilizat în principal în fabricarea componentelor matrițelor, fabricarea prototipurilor și a inserțiilor de forme speciale unde rugozitatea joacă un rol important [61].

Diferitele fluide pe bază de apă au avut conductivități electrice diferite, influențând performanța procesului de prelucrare. Rata de îndepărtare a materialului (MRR) și rata de uzură a sculei (TWR) au fost estimate în termeni de medie și abatere standard. S-a constatat că, MRR a crescut în general odată cu scăderea conductivității, în special în cazul regimului de semifinisare, iar TWR a scăzut drastic atunci când au fost utilizate fluide pe bază de apă, deoarece un strat protector de refulare s-a depus pe vârful electrodului, prevenind astfel uzura acestuia [71].

Principiul electroeroziunii cu amestec de pulberi (PMEDM) depinde de comportamentul pulberilor conductoare în câmpul electric generat. Aceasta încarcă particulele de pulbere, care se accelerează și se deplasează unele lângă altele în mișcare de zig-zag în zona de scânteiere. Ele formează un lanț și acoperă spațiul dintre electrod și suprafața piesei de prelucrat, ceea ce diminuează intensitatea de izolare a lichidului dielectric [78].

A fost evaluată performanța a trei gaze dielectrice, aer, argon și oxigen. Pentru a prezice relația parametrică, au fost efectuate investigații prin modificarea curentului de impulsuri împreună cu timpii de pornire/oprire a impulsurilor, utilizând metodologia răspuns-suprafață. Rezultatele optimizării au arătat că oxigenul, în comparație cu argonul a obținut o rată de îndepărtare a materialului de trei ori mai mare. Pe suprafața prelucrată au fost observate trăsături de suprafață asemănătoare cu cele pentru oxigen [90].

Uleiul vegetal natural reprezintă una dintre alternativele investigate în ceea ce privește lichidul dielectric. Se observă o îmbunătățire a MRR când se utilizează uleiul de floarea-soarelui ca lichid dielectric, însă TWR și SR sunt mai mari decât în cazul lichidului dielectric convențional [93, 94].

1.10.1.2 Electrozi

Au fost utilizați electrozi de cupru, alamă și carbură de wolfram cu un generator de impulsuri de energie ISO. S-a observat că utilizarea electrodului de cupru ar putea îmbunătăți mecanismul de îndepărtare a materialului datorită conductivității sale electrice mai mari. O topografie mai bună a suprafeței, cu cratere mici, a putut fi observată pe epruvetele prelucrate cu electrod din carbură de wolfram datorită punctului său de topire ridicat, care crează o rugozitate mai mică față de alți electrozi. Electrodul din alamă poate crea cratere mai mari pe suprafața prelucrată a epruvetelor din aliaj de titan datorită punctului său de topire scăzut. Prin urmare, rugozitatea suprafeței și uzura electrodului este mai mare [100].

Se propune o abordare nouă pentru a elimina uzura neuniformă a electrodului sculei prin inversarea polarității impulsurilor într-un mod repetitiv. Folosind această metodă, se poate evita uzura neuniformă a electrodului sculei și se pot obține microgăuri de mare precizie fără caracteristicile unui con și/sau ale unei concavități conice [111]. Rugozitatea suprafeței a fost identică pentru găurile prelucrate cu toate tipurile de electrozi. Cu toate

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

acestea, o aderență evidentă a carbonului poate fi observată la o adâncime de tăiere mai mică pentru electrozii drepecți, urmată de electrozii curbați și cei cu curbura lungă [115].

1.10.2 Influența caracteristicilor suprafeței

Se prezintă optimizarea parametrilor EDM pentru rata de îndepărtare a materialului (MRR) și rata de uzură a sculei (TWR) pentru aliajul de titan Ti6Al4V. Algoritmul Ananya este utilizat pentru a optimiza MRR și TWR. Algoritmul Ananya este foarte simplu și mai ușor de implementat. În plus, acesta a obținut întotdeauna soluții optime în fiecare rulare [121].

1.10.3 Monitorizarea online a procesului

Metoda combinată de compensare adaptivă a uzurii sculei în afara liniei și în linie este propusă și validată experimental pentru o abordare mai eficientă a prelucrării. Această metodă are ca scop minimizarea operațiunilor de compensare în afara liniei, maximizând compensarea în linie prin numărarea impulsurilor în timp real pentru a prezice uzura sculei [131].

Metoda propusă pentru dezvoltarea unui model matematic pentru a prezice rugozitatea suprafețelor create prin procesul EDM implică două etape distincte. În prima etapă, se utilizează metoda elementelor finite pentru a genera un singur crater format de o scântei individuală. În etapa următoare, se folosește monitorizarea online a procesului pentru a captura natura aleatorie a generării de scântei în procesul de prelucrare prin electroeroziune. Cu datele obținute din monitorizarea online a procesului, se generează virtual o suprafață asemănătoare suprafeței prelucrate, creată prin electroeroziune cu mai multe scântei, cu o distribuție spațială corespunzătoare. Această abordare permite simularea texturilor de suprafață obținute în urma procesului EDM. Pentru a valida modelul, texturile de suprafață simulate sunt comparate cu datele experimentale măsurate. Rezultatele arată că valorile măsurate ale rugozității suprafeței în diferite locații ale zonei texturate a specimenului sunt în concordanță cu intervalul prevăzut de simulările efectuate cu modelul propus. Această metodă permite o predicție precisă a rugozității suprafețelor create prin procesul EDM, având în vedere natura aleatorie a generării de scântei și variabilitatea rezultată din acest proces [132].

1.10.4 Îmbunătățiri ale procesului

1.10.4.1 Tehnici avansate de modelare și simulare

Se concentrează pe crearea unui model de rețea neuronală artificială (RNA) pentru a anticipa rugozitatea suprafeței (Ra). Antrenarea și evaluarea modelului se efectuează utilizând datele obținute din experimentul conceput ca un design de experimente. Topografia suprafeței piesei prelucrate este analizată folosind microscopia electronică cu scanare. Rezultatele indică faptul că modelul RNA poate prezice cu precizie rugozitatea suprafeței. Un nivel scăzut al energiei de descărcare conduce la formarea de cratere și microfisuri mai mici, rezultând într-o structură adecvată a suprafeței. Această metodă contribuie la realizarea unei prelucrări economice prin electroeroziune [140]. O tehnică de luare a deciziilor multicriterială (MCDM), cunoscută sub numele de TOPSIS, este utilizată pentru a optimiza variabilele de performanță ale răspunsului, respectiv rata de îndepărtare a materialului (MRR) și rugozitatea suprafeței (SR) [148].

1.10.4.2 Optimizarea parametrilor

Experimentele sunt efectuate folosind un plan factorial definit (DOE) pentru a investiga influența parametrilor individuali, cum ar fi sarcina de compactare, curentul și timpul de pulsare, asupra răspunsurilor, cum ar fi microdurețea și rugozitatea suprafeței. Rezultatele experimentale sunt apoi verificate și justificate utilizând analiza varianței (ANOVA), care a evidențiat că timpul de pulsare este cel mai semnificativ parametru, urmat de curent și sarcina de compactare. Cu toate acestea, performanțele acoperirii sunt în conflict, astfel că este necesară identificarea parametrilor optimați pentru a obține caracteristicile de acoperire dorite. Ulterior, este adoptată metoda de răspuns la suprafață (RSM) pentru optimizarea acoperirii prin descărcare electrică (EDC) în vederea identificării parametrilor optimați pentru acoperire. Sunt efectuate teste de confirmare a parametrilor de proces optimi preconizați și sunt verificate rezultatele obținute. În plus, microscopul electronic cu scanare (SEM) este utilizat pentru a analiza morfologia suprafeței, în timp ce spectrometria de dispersie de energie (EDS) este folosită pentru a valida alierea materialelor electrodului pe suprafața aliajului de aluminiu [160].

1.11 Concluzii și recomandări privind studiile viitoare

În ceea ce privește studiile viitoare în domeniul electroeroziunii, iată câteva concluzii și recomandări:

- Optimizarea parametrilor de proces: Studiile viitoare ar trebui să se concentreze pe identificarea și optimizarea parametrilor de proces în electroeroziune. Acest lucru include variabile precum intensitatea curentului, timpul de eroziune, frecvența impulsurilor și compoziția electrodului.

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

- Dezvoltarea de materiale pentru electrod: Cercetările ulterioare ar putea explora dezvoltarea de materiale electrod mai avansate și mai eficiente pentru electroeroziune. Aceste materiale ar putea îmbunătăți rezistența la eroziune și eficiența procesului.
- Modelarea și simularea procesului: Utilizarea tehnicilor de modelare și simulare pentru a înțelege mai bine fenomenele fizice care au loc în timpul electroeroziunii poate contribui la optimizarea procesului și la reducerea timpului de dezvoltare experimentală.
- Tehnici de control avansate: Studiile viitoare ar trebui să exploreze dezvoltarea de tehnici de control avansate pentru a îmbunătăți precizia și consistența procesului de electroeroziune.
- Investigarea efectelor asupra proprietăților materialelor erodate: Este important să se înțeleagă impactul electroeroziunii asupra proprietăților materialelor erodate, cum ar fi structura cristalină, duritatea și rezistența la coroziune.
- Aplicarea electroeroziunii în domenii noi: Cercetările viitoare ar putea explora aplicarea electroeroziunii în domenii noi sau în aplicații inovatoare, cum ar fi fabricarea de dispozitive microfluidice, fabricarea de microcomponente sau repararea de suprafețe metalice.
- Asigurarea durabilității și siguranței procesului: Este important să se continue cercetările privind durabilitatea și siguranța procesului de electroeroziune, pentru a minimiza riscurile asociate cu manipularea și utilizarea echipamentelor și materialelor implicate.
- Considerații ecologice: În contextul creșterii preocupărilor legate de mediu, studiile viitoare ar trebui să ia în considerare și să abordeze impactul procesului de electroeroziune asupra mediului înconjurător și să identifice modalități de reducere a acestuia.

CAPITOLUL 2. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRII

2.1 Scopul cercetării

Scopul cercetării privind optimizarea regimurilor tehnologice la prelucrarea pieselor utilizate la realizarea matrițelor prin electroeroziune cu electrod masiv este de a îmbunătăți eficiența și calitatea procesului de fabricație a acestor componente critice în industria prelucrării metalului. Acest tip de cercetare se concentrează pe identificarea și aplicarea parametrilor optimali pentru electroeroziune, astfel încât să se obțină o prelucrare precisă, uniformă și rapidă a materialelor dure și extradure.

2.2 Obiectivul tezei de doctorat

Obiectivul principal al prezentei teze de doctorat îl reprezintă stabilirea pe cale experimentală și teoretică a soluțiilor de optimizare a regimului de lucru la prelucrarea prin electroeroziune cu electrod masiv, a materialelor utilizate în construcția matrițelor pentru a obține o calitate superioară a suprafeței prelucrate (rugozitatea suprafeței) și productivitate (rata de îndepărtare a materialului) și uzura electrodului.

2.3 Ipotezele cercetării

Schema logică ce prezintă etapele principale pentru realizarea studiului este prezentată în figura 2.1.

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

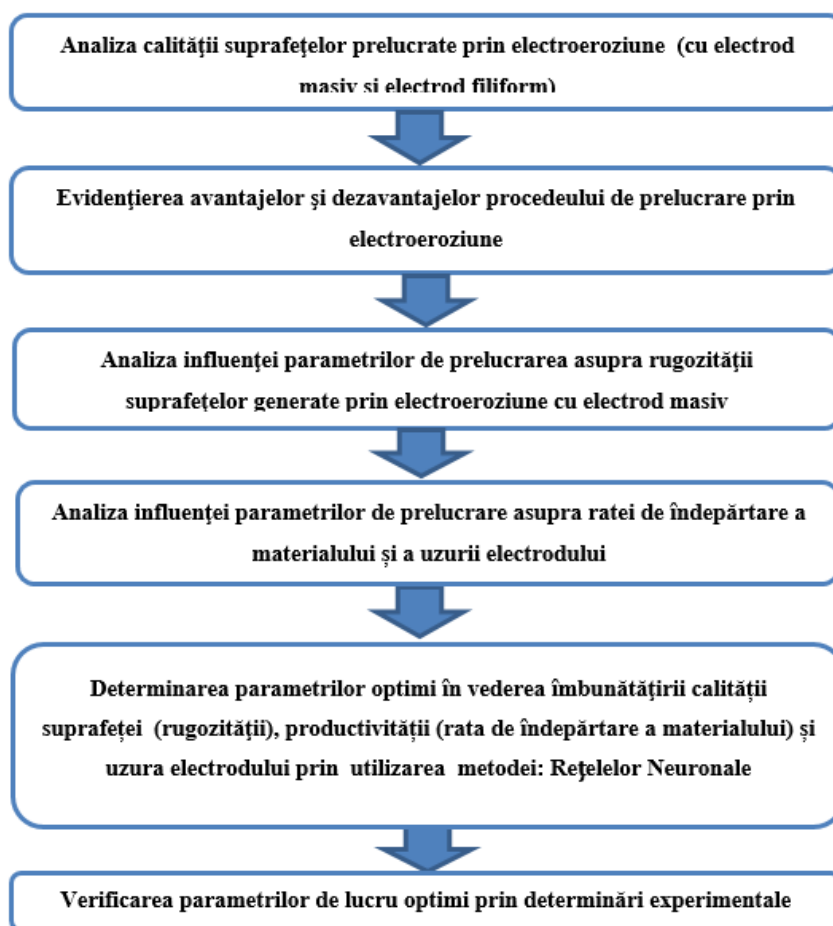


Figura 2.1 Schema logică a cercetării

CAPITOLUL 3. STABILIREA PLANULUI DE CERCETARE ȘI A MODALITĂȚILOR DE LUCRU

3.1 Descrierea metodei experimentale

Teza urmărește să identifice influența unor parametri de proces asupra productivității procesului și a calității pieselor prelucrate prin electroeroziune cu electrod masiv. După cum s-a prezentat și în capitolul anterior, ca date de intrare vor fi luate în considerare: intensitatea curentului de lucru (I_p), durata impulsului de prelucrare (T_{ON}) și intervalul între impulsuri, în care nu sunt descărcări electrice (T_{OFF}). În urma încercărilor experimentale se vor urmări diferiți parametri economici și de calitate ai pieselor prelucrate.

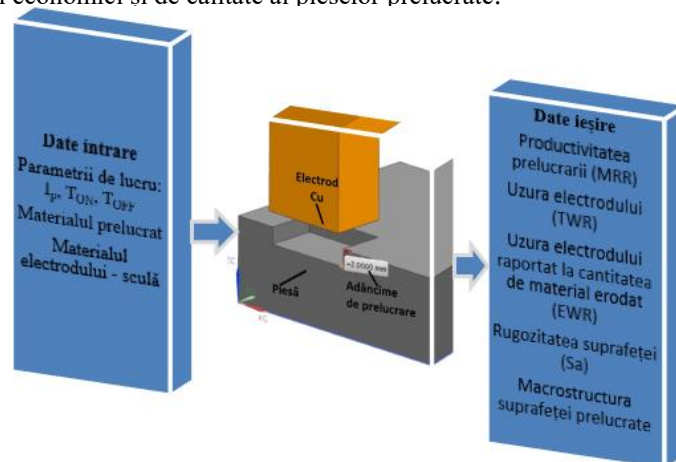


Figura 3.1 Reprezentare grafică corespunzătoare abordării procesului de prelucrare prin electroeroziune cu electrod masiv

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

Experimentele au constatat în prelucrarea unor găuri cu adâncimea de 2 mm cu ajutorul unor electrozi cu secțiune pătrată 10 x 10 mm. S-au utilizat trei tipuri de electrozi (figura 3.2), respectiv: electrod din cupru electrolitic (Cu 99.9), electrod din alamă (CuZn39Pb2) și electrod din wolfram - cupru (WCu 75/25), a căror compoziție chimică și proprietăți mecanice sunt prezentate în tabelele 3.1 și 3.2.

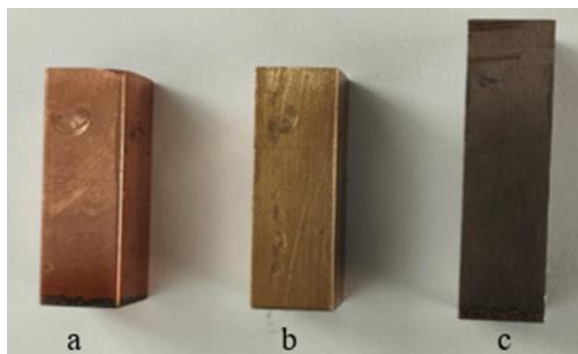


Figura 3.2 Electrozi utilizați: a. electrod din cupru, b. electrod din alamă, c. electrod din wolfram – cupru

Tabel 3.1

Compoziția chimică a materialelor electrozilor [170]

Cupru electrolitic (Cu 99.9)						
Cu [%]		O [%]		Pb [%]		Bi [%]
99.9		0.04		0.005		0.0005
Wolfram - Cupru (WCu 75/25)						
Cu [%]		W [%]		Aditiv [max. %]		
25±2		diferența		1		
Alamă (CuZn39Pb2)						
Fe [%]	Ni [%]	Al [%]	Cu [%]	Pb [%]	Sn [%]	Others [%]
max 0.3	max 0.3	max 0.05	59 - 60	1.6 - 2.5	max 0.3	total 0.2

Tabel 3.2

Proprietățile materialelor electrozilor [170]

Proprietăți / Material	Cupru electrolytic (Cu 99.9)	Wolfram – Cupru (WCu 75/25)	Alamă (CuZn39Pb2)
Rezistența la rupere [MPa]	235–395	585–654	360–440
Modulul de elasticitate [GPa]	115	260	96
Densitatea [g/cm ³]	8.9	14.3	8.46
Duritatea [HB]	70–120	89–102	86–115
Conductivitatea electrică [m/Ω·mm ²]	100	41–48	24
Conductivitatea termică [W/m K]	388	190	110

Testele experimentale au fost efectuate în conformitate cu un plan experimental de tip suprafețe de răspuns D-optimal, construit cu ajutorul software-ului Design Expert. Nivelurile de variație ale factorilor sunt prezentate în tabelul 3.3.

Tabel 3.3

Planul experimental utilizat în efectuarea experimentelor

Nr. Crt.	I _p	T _{ON}	T _{OFF}	Nr. Crt.	I _p	T _{ON}	T _{OFF}
1	10	9	10	15	15	29	30
2	10	9	20	16	15	35	10
3	10	9	30	17	15	35	20
4	10	29	10	18	15	35	30
5	10	29	20	19	20	9	10

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

6	10	29	30	20	20	9	20
7	10	35	10	21	20	9	30
8	10	35	20	22	20	29	10
9	10	35	30	23	20	29	20
10	15	9	10	24	20	29	30
11	15	9	20	25	20	35	10
12	15	9	30	26	20	35	20
13	15	29	10	27	20	35	30
14	15	29	20				

Pentru fiecare parametru au fost utilizate câte 3 valori conform tabelului 3.4. Valorile parametrilor de prelucrare au fost stabilite în vederea determinării unei combinații optime între productivitatea prelucrării și calitatea suprafeței prelucrate.

Tabel 3.4

Parametri variați utilizați în efectuarea experimentelor

Parametri variați		
IP	Cod manual mașină [171]	Valoare
	10	11.4 [A]
	15	57.3 [A]
	20	114 [A]
T _{ON}	09	13 [ps]
	29	380 [ps]
	35	600 [ps]
T _{OFF}	10	18 [ps]
	20	120 [ps]
	30	420 [ps]

3.2 Echipamente experimentale

3.2.1 Mașina de prelucrat prin electroeroziune

Pentru efectuarea testelor experimentale s-a utilizat mașina de prelucrare prin electroeroziune cu electrod masiv KNUTH FEM 110 CNC (figura 3.3).



Figura 3.3 Mașina de prelucrat cu electroeroziune KNUTH FEM 110 CNC

3.2.2 Echipamente pentru efectuarea măsurărilor

a. Balanța analitică cu o precizie de cântărire de 0,001 g (figura 3.4), utilizată pentru determinarea greutății piesei și a electrodului în vederea calculării parametrilor MRR, TWR și EWR.

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR



Figura 3.4 Balanța analitică Kern

b. Profilometru optic ZeGage Pro (AMETEK, Weiterstadt, Germania), echipat cu un ocular cu putere de mărire 2,75 X, utilizat pentru măsurarea rugozității (topografia) suprafeței prelucrate prin electroeroziune cu electrod masiv (figura 3.5).

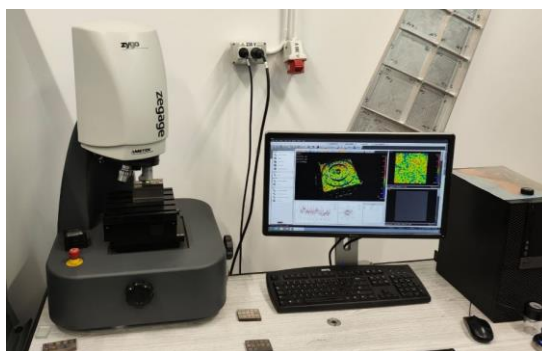


Figura 3.5 Profilometru optic ZeGage Pro

3.3 Dielectricul utilizat

Dielectricul utilizat a fost uleiul mineral al mașinii Knuth FEM 110, OEST FE FLUID 2460 [172].

Principalul scop al mediului dielectric în procesul de electroeroziune este acela de a asigura spălarea interstițiului dintre piesa de prelucrat și electrodul - sculă și evacuarea resturilor din zona de lucru. Vâscozitatea este unul dintre factorii determinanți în alegerea dielectricului.

3.4 Materialul prelucrat

Pentru efectuarea testelor experimentale s-au utilizat semifabricate din oțel de scule C120 STAS 3611-88 netratat, respectiv tratat termic, cu dimensiunile 60 x 40 x 10 mm (figura 3.6).



Figura 3.6 Semifabricatul utilizat în efectuarea experimentelor

Tabel 3.5

Proprietățile materialului C120						
Densitate	Rezistența electrică	Coeficient de dilatare liniară	Conductivitate termică	Capacitatea termică specifică	Duritate	
					Netratat termic C120	Tratat termic C120T
[g/cm ³]	[μΩ•m]	[10 ⁻⁶ /OC]	[W/m•K]	[J/Kg•K]	HB	HB
7,830	1,96	10,30	388	485	273	715

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

CAPITOLUL 4. STUDIUL EXPERIMENTAL PRIVIND INFLUENȚA PARAMETRILOR DE PROCES

Unul dintre aspectele importante ale cercetării științifice este studiul experimental, care ne ajută să înțelegem cum anumiți parametri de proces pot influența rezultatele obținute la procesul de prelucrare prin electroeroziune cu electrod masiv. În acest sens, este crucial să identificăm și să controlăm acești parametri, pentru a obține date semnificative și relevante care să fie folosite la identificarea unor valori optime recomandate la astfel de prelucrări. Prin intermediul acestui studiu experimental, ne propunem să investigăm modul în care diferiți parametri de proces pot influența rezultatele experimentale și să identificăm factorii care pot avea un impact semnificativ asupra rezultatelor. Se va analiza în mod detaliat fiecare parametru în parte și se va examina modul în care acești parametri pot interacționa între ei pentru a influența rezultatele finale. Astfel, acest studiu experimental contribuie la înțelegerea mai profundă a procesului și permite optimizarea acestuia pentru obținerea de rezultate cât mai precise și fiabile.

4.1 Influența parametrilor de proces

Parametrii de proces analizați sunt: intensitatea curentului de lucru (I_p), durata impulsului de prelucrare (T_{ON}) și intervalul între impulsuri (T_{OFF}).

4.1.1 Influența intensității curentului de lucru I_p asupra parametrilor studiați

Influența intensității curentului de lucru în prelucrarea prin electroeroziune (EDM) prezintă o importanță deosebită în determinarea eficienței și calității operațiilor de prelucrare, având un impact semnificativ asupra parametrilor tehnologici și a calității pieselor prelucrate.

4.1.1.1 Prelucrarea materialelor C120 și C120T cu electrod de cupru

În tabelul 4.1 sunt prezentate rezultatele obținute în urma prelucrării materialelor cu electrod de cupru prin variația intensității curentului de lucru (I_p) și păstrarea constantă a celorlalți parametri T_{ON} și T_{OFF} .

Tabel 4.1

I_p [Cod mașină]	Valoare	Rezultatele obținute în urma prelucrării materialelor cu electrod de cupru							
		MRR		TWR		EWR		Sa	
		[mm ³ /min]		[mm ³ /min]		[%]		[μm]	
		C120	C120T	C120	C120T	C120	C120T	C120	C120T
10	11.4 [A]	2.964	3.340	0.387	0.393	14.841	13.364	4.310	4.98
15	57.3 [A]	0.557	48.290	0.212	14.226	68.521	33.485	11.010	13.7
20	114 [A]	46.156	51.568	15.523	7.435	38.228	33.061	18.860	14.77

Testele experimentale au fost realizate pentru materialul C120 în stare netratată și tratată termic (C120T). În figura 4.2a, este prezentată influența curentului asupra ratei de îndepărtare a materialului (MRR). Se observă ca acest parametru crește odată cu creșterea intensității curentului atât la prelucrarea materialului în stare netratată cât și tratată.

Uzura electrodului este mai intensă odată cu creșterea intensității curentului de lucru (figura 4.2b). În cazul materialului C120T se poate observa că tendința crescătoare nu este una uniformă. Datele arată faptul că pentru I_p 15 uzura electrodului este mai mare decât în cazul I_p 20. O posibilă explicație a acestui fenomen este că la I_p 15 uzura electrodului este neuniformă, suprafața frontală a acestuia este convexă (figura 4.1), și se observă o uzură mult mai accentuată pe muchii, ceea ce ar favoriza o pierdere mai mare de material. În cazul I_p 20 uzura este aproximativ uniformă pe întreaga secțiune a electrodului, astfel încât masa de material pierdută de electrod este mai mică decât în cazul I_p 15. Variația uzurii relative a electrodului raportată la cantitatea de material îndepărtat (EWR) are o evoluție neuniformă în funcție de intensitatea curentului de lucru pentru ambele stări ale materialului (figura 4.2c).

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

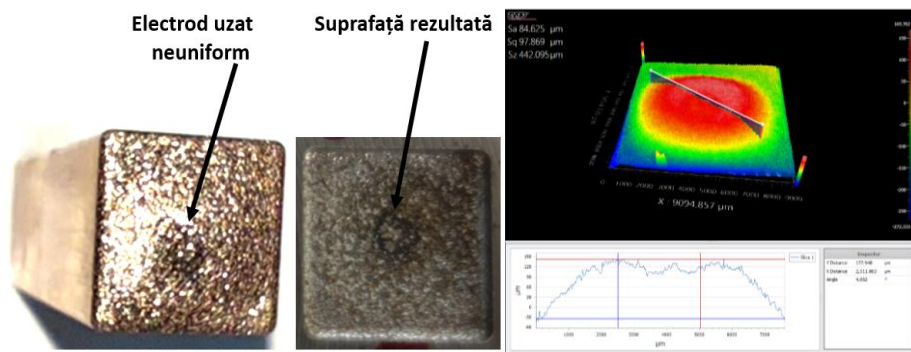


Figura 4.1 Prezentarea uzurii electrodului în urma prelucrării

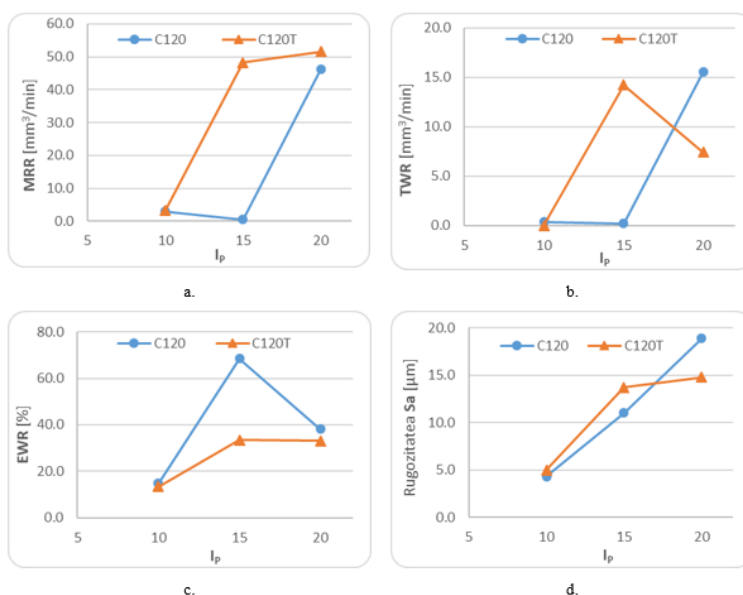
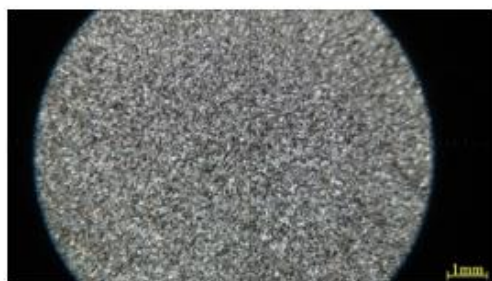


Figura 4.2 Parametrii obținuți pentru IP: a. MRR, b. TWR, c. EWR, d. Rugozitatea (Sa)

În figurile 4.3 și 4.4 este prezentată macrostructura suprafețelor obținute la prelucrarea materialului C120, în stare netratată și tratată termic C120T, cu cele trei intensități ale curentului. Se constată că odată cu creșterea intensității curentului, suprafețele prelucrate prezintă cratere mai mari, inclusiv depuneri de material topit cât și mici formațiuni de material provenite de pe electrodul de cupru.

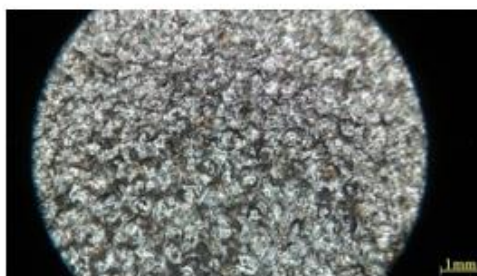


a. I_{p10} - T_{ON09} - T_{OFF10}



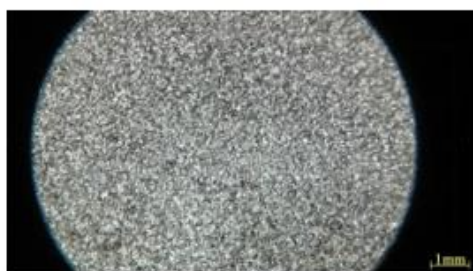
b. I_{p15} - T_{ON09} - T_{OFF10}

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR



c. Ip20-TON09-TOFF10

Figura 4.3 Macrostructura suprafețelor prelucrate (C120) cu electrod de cupru



a. Ip10-TON09-TOFF10



b. Ip15-TON09-TOFF10



c. Ip20-TON09-TOFF10

Figura 4.4 Macrostructura suprafețelor prelucrate (C120T) cu electrod de cupru

4.1.1.2 Prelucrarea materialelor C120 și C120T cu electrod de alamă

Înfluența curentului asupra ratei de îndepărtare a materialului (MRR) este prezentată în figura 4.5a. Rata de îndepărtare a materialului crește odată cu creșterea intensității curentului, însă acesta este mai mare în cazul materialului tratat termic C120T față de C120.

Uzura electrodului este mai intensă odată cu creșterea intensității curentului de lucru (figura 4.5b) și crește pentru materialul C120.

Variația uzurii relative a electrodului raportată la cantitatea de material îndepărtat (EWR) are o evoluție neuniformă în funcție de intensitatea curentului de lucru. Uzura relativă a electrodului a fost mai mică în cazul materialului C120T iar în cazul materialului C120 este mai mare (figura 4.5c).

În figura 4.5d, este prezentată variația rugozității suprafeței prelucrate în funcție de intensitatea curentului de lucru. Se observă că cea mai mică rugozitate s-a obținut la valoarea cea mai mică a intensității curentului, Ip 10. Creșterea intensității curentului determină o creștere a rugozității suprafeței. S-a constatat că valoarea maximă a rugozității a fost înregistrată pentru curentul Ip 15 urmată de o scădere a acesteia pentru Ip 20 în cazul materialului C120T, în timp ce pentru C120 rugozitatea crește liniar. Această situație se poate datora uzurii neuniforme a electrodului cât și a depunerilor de material topit în cazul creșterii intensității curentului.

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

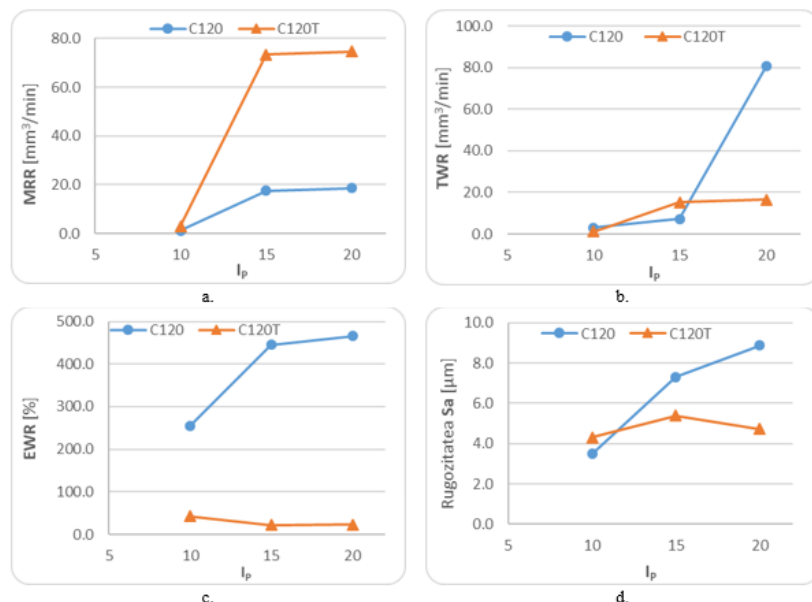


Figura 4.5 Parametrii obținuți pentru I_p : a. MRR, b. TWR, c. EWR, d. Rugozitatea (S_a)

Se constată că odată cu creșterea intensității curentului, suprafețele prelucrate prezintă cratere mai mari, inclusiv depuneri de material topit cât și mici formațiuni de material provenite de pe electrodul de alamă. În cazul prelucrării cu parametrul I_p 15 s-a observat apariția unei uzuri neuniforme a electrodului sub forma unei suprafețe convexe. Aceasta a generat o suprafață de formă concavă pe centrul piesei prelucrate pe care se evidențiază o cantitate crescută de material ars (figura 4.6).



Figura 4.6 Reprezentarea suprafeței erodate cu depuneri de material ars (C120)

4.1.1.3 Prelucrarea materialelor C120 și C120T cu electrod de wolfram-cupru

Influența curentului asupra ratei de îndepărtare a materialului (MRR) este prezentată în figura 4.7a. Rata de îndepărtare a materialului crește odată cu creșterea intensității curentului pentru C120 și scade pentru C120T la I_p 20.

Uzura electrodului crește odată cu creșterea intensității curentului de lucru, de la I_p 10 la I_p 15, însă începe să scadă la I_p 20 pentru materialul C120T, în timp ce pentru materialul C120 uzura continuă să crească (figura 4.7b).

Variația uzurii relative a electrodului raportată la cantitatea de material îndepărtat (EWR) are o evoluție neuniformă în funcție de intensitatea curentului de lucru fiind mai pronunțată pentru materialul C120, în timp ce pentru materialul C120T, aceasta începe să scadă (figura 4.7c).

În figura 4.7d, este prezentată variația rugozității suprafeței prelucrate în funcție de intensitatea curentului de lucru. Se observă că cea mai mică rugozitate s-a obținut la valoarea cea mai mică a intensității curentului, I_p 10. Creșterea intensității curentului determină o creștere a rugozității suprafeței. S-a constatat că valoarea maximă a rugozității a fost înregistrată pentru curentul I_p 15 urmată de o scădere a acesteia în cazul materialului C120T pentru I_p 20. La materialul C120 rugozitatea crește liniar odată cu creșterea intensității curentului.

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

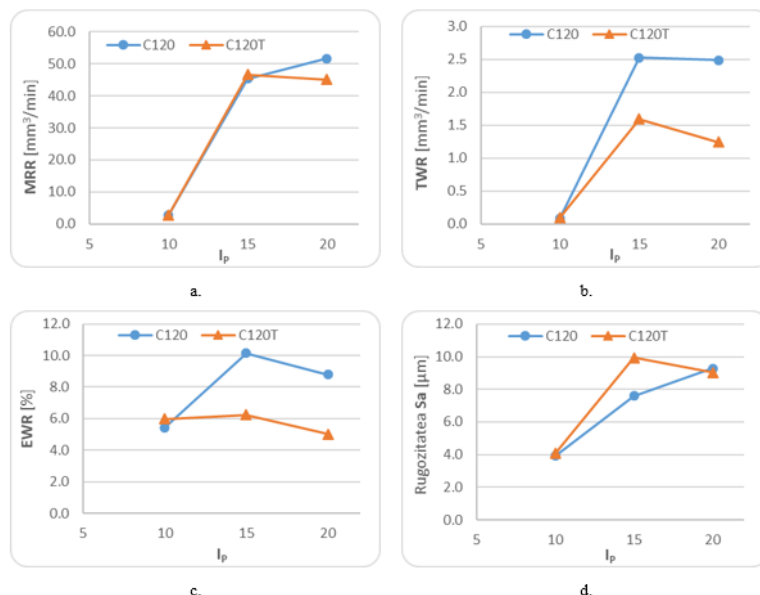


Figura 4.7 Parametrii obținuți pentru I_p : a. MRR, b. TWR, c. EWR, d. Rugozitatea (S_a)

4.1.2 Influența curentului de lucru T_{ON} asupra parametrilor studiați

În procesul de electroeroziune, curentul de lucru T_{ON} reprezintă o componentă esențială care poate influența semnificativ materialul și calitatea finisajului piesei prelucrate. Prin ajustarea acestui curent, se poate controla eficiența procesului de eroziune și se pot obține rezultate precise și uniforme. De exemplu, un curent mai mare poate crește rata de eliminare a materialului, în timp ce un curent mai mic poate fi utilizat pentru a obține detalii fine și finisaje de înaltă calitate.

4.1.2.1 Prelucrarea materialelor C120 și C120T cu electrod de cupru

În tabelul 4.2 sunt prezentate rezultatele obținute în urma prelucrării materialelor cu electrod cupru prin variația duratei impulsului de prelucrare (T_{ON}) și păstrarea constantă a celorlalți parametri I_p și T_{OFF} .

Tabel 4.2

Rezultatele obținute în urma prelucrării materialelor cu electrod de cupru

T_{ON} [Cod mașină]	Valoare	MRR		TWR		EWR		Sa	
		[mm³/min]		[mm³/min]		[%]		[μm]	
		C120	C120T	C120	C120T	C120	C120T	C120	C120T
9	13 [ps]	2.964	3.340	0.387	0.393	14.841	13.364	4.310	4.98
29	380 [ps]	7.657	7.560	-0.112	-0.159	-1.661	-2.396	7.21	5.94
35	600 [ps]	3.320	3.493	-0.057	-0.160	-1.942	-5.222	4.690	4.99

Rata de îndepărtare a materialului crește odată cu creșterea timpului de descărcare electrică (figura 4.8a). La valoarea maximă a timpului se observă o reducere a ratei de îndepărtare a materialului care ar putea fi explicată prin depunerea materialului topit pe suprafața frontală a electrodului (figura 4.9) în cazul prelucrării ambelor materiale, (C120 și C120T).



Figura 4.9 Suprafața frontală a electrodului de Cu 99.9 cu depuneri

Pentru a susține ipoteza depunerilor de material pe electrod atunci când TWR este negativ, unul dintre electrozii de cupru a fost analizat cu un microscop electronic cu baleiaj TESCAN MIRA microscop electronic de scanare (SEM). Figura 4.10 prezintă o imagine a suprafeței electrodului în care particulele de material depus sunt clar vizibile. Spectroscopia cu raze X cu dispersie de energie (EDS) (figura 4.11) au indicat prezența unor elemente precum fierul (Fe), carbonul (C), cromul (Cr) și urme de rubidiu (Rb), care sunt constituenți componente ale

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

materialului piesei de prelucrat. Particulele desprinse din piesă de către descărcarea electrică au aderat la suprafața electrodului, contribuind astfel la creșterea greutateii electrodului [170].

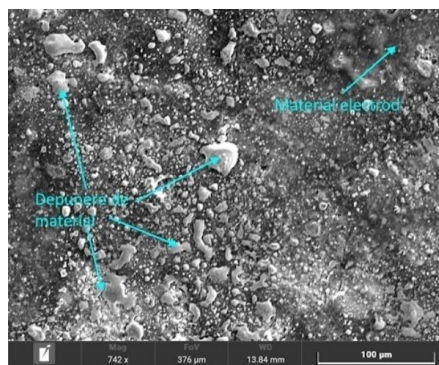


Figura 4.10 Imagine SEM a suprafeței electrodului [170]

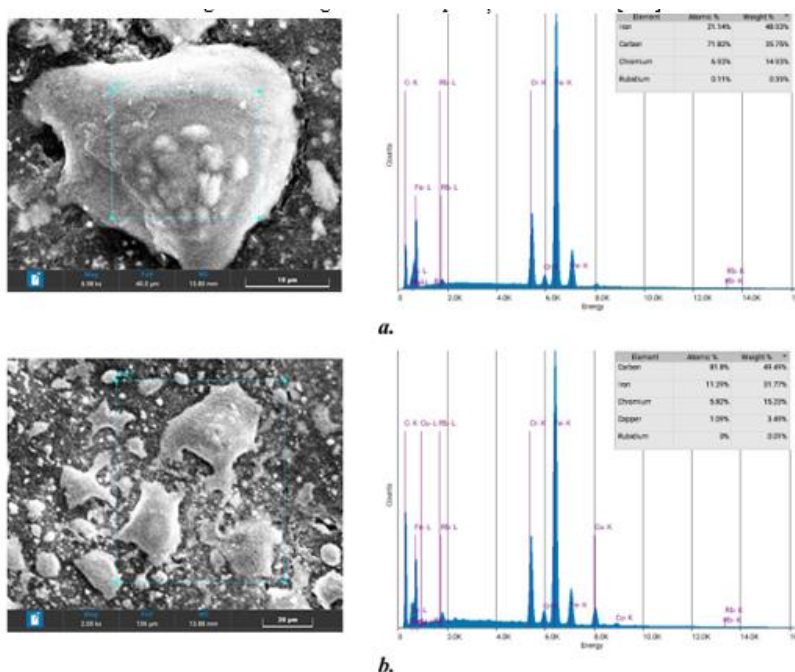


Figura 4.11. Detalii din imaginea SEM și rezultatele analizei EDS [170]

Creșterea timpului de descărcare conduce la formarea de depuneri pe electrod, fapt constatat prin creșterea masei electrodului la ambele materiale (figura 4.8b și c).

În figura 4.8d, este prezentată variația rugozității suprafeței prelucrate în funcție de timpul de descărcare electrică. Se poate observa că odată cu creșterea timpului de descărcare rezultă o îmbunătățire a calității suprafeței prelucrate pentru ambele materiale.

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

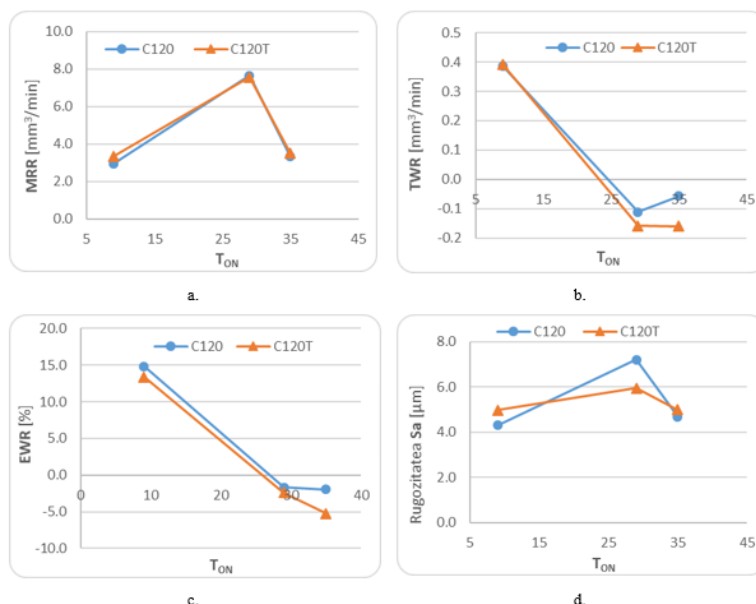


Figura 4.8 Parametrii obținuți pentru I_p : a. MRR, b. TWR, c. EWR, d. Rugozitatea (Sa)

4.1.2.2 Prelucrarea materialelor C120 și C120T cu electrod de alamă

Rata de îndepărtare a materialului crește odată cu creșterea timpului de descărcare electrică (figura 4.9a). La valoarea maximă a timpului se observă o reducere a ratei de îndepărtare a materialului care ar putea fi explicată prin depunerea materialului topit pe suprafața prelucrată, aceasta fiind mai mare în cazul materialului C120 față de C120 T.

Creșterea timpului de descărcare conduce la formarea de depuneri pe electrod, fapt constatat prin creșterea masei electrodului (figura 4.9b și c).

În figura 4.9d, este prezentată variația rugozității suprafeței prelucrate în funcție de timpul de descărcare electrică. Se poate observa că odată cu creșterea timpului de descărcare rezultă o creștere a rugozității până la $T_{ON} 29$ după care începe să scadă pentru ambele materiale.

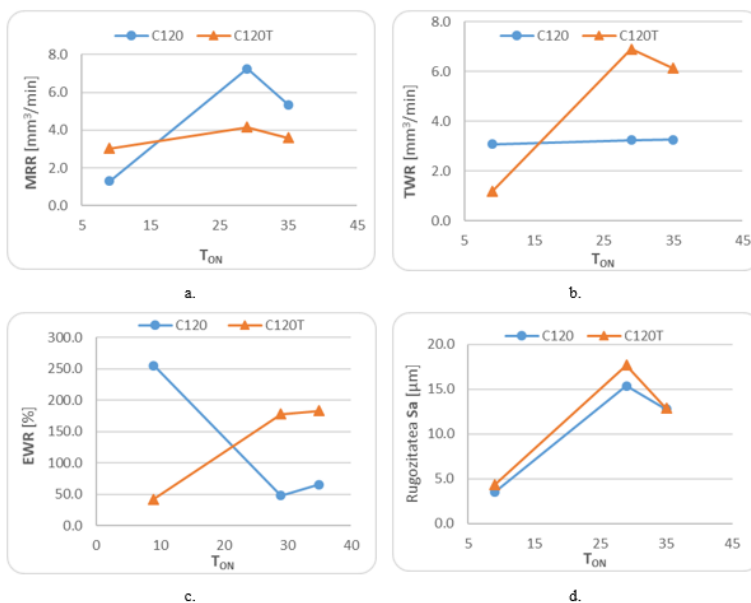


Figura 4.9 Parametrii obținuți pentru T_{ON} : a. MRR, b. TWR, c. EWR, d. Rugozitatea (Sa)

4.1.2.3 Prelucrarea materialelor C120 și C120T cu electrod de wolfram-cupru

Rata de îndepărtare a materialului crește odată cu creșterea timpului de descărcare electrică (figura 4.10a). La valoarea maximă a timpului se observă o reducere a ratei de îndepărtare a materialului care ar putea fi explicată prin depunerea materialului topit pe suprafața prelucrată, pentru ambele materiale.

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

Creșterea timpului de descărcare duce la reducerea uzurii electrodului pentru ambele materiale (figura 4.10b și c). Se constată că la creșterea timpului de la T_{ON} 29 la T_{ON} 35, în cazul ambelor materiale, au loc depuneri de material topit pe electrod.

În figura 4.10d, este prezentată variația rugozității suprafeței prelucrate în funcție de timpul de descărcare electrică. Se poate observa că odată cu creșterea timpului de descărcare rezultă o creștere constantă a rugozității pentru materialul C120T și o scădere după T_{ON} 29 pentru materialul C120.

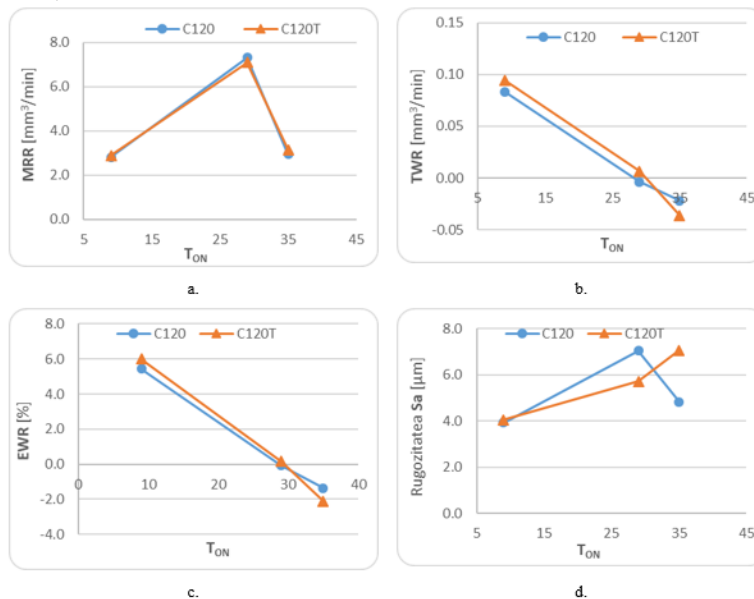


Figura 4.10 Parametrii obținuți pentru T_{ON} : a. MRR, b. TWR, c. EWR, d. Rugozitatea (Sa)

4.1.3 Influența curentului de lucru T_{OFF} asupra parametrilor studiați

În electroeroziune, optimizarea timpului de oprire a curentului (T_{OFF}) poate influența în mod direct procesul de eliminare a materialului. Un T_{OFF} prelungit poate ajuta la evacuarea eficientă a particulelor erodate din zona de lucru, prevenind acumularea acestora și asigurând calitatea prelucrării. Pe de altă parte, un T_{OFF} prea scurt ar putea determina arderea excesivă a materialului sau formarea unor crăpături.

4.1.3.1 Prelucrarea materialelor C120 și C120T cu electrod de cupru

În tabelul 4.3 sunt prezentate rezultatele obținute în urma prelucrării materialelor cu electrod cupru prin variația intervalului între impulsuri (T_{OFF}) și păstrarea constantă a celorlalți parametri I_p și T_{ON} .

Tabel 4.3

Rezultatele obținute în urma prelucrării materialelor cu electrod de cupru									
T_{OFF} [Cod mașină]	Valoare	MRR		TWR		EWR		Sa	
		[mm³/min]		[mm³/min]		[%]		[μm]	
		C120	C120T	C120	C120T	C120	C120T	C120	C120T
10	18 [ps]	2.964	3.340	0.387	0.393	14.841	13.364	4.310	4.98
20	120 [ps]	1.190	1.212	0.294	0.271	28.095	25.375	4.210	4.53
30	420 [ps]	0.544	1.329	0.166	0.167	34.747	14.247	3.770	4.23

Rata de îndepărtare a materialului scade odată cu creșterea timpului între descărcări, fiind mai mare pentru materialul C120 față de materialul C120T (figura 4.11a).

Uzura electrodului se reduce la creșterea timpului dintre impulsuri, așa cum se observă din graficul (figura 4.11b).

Uzura relativă a electrodului raportată la cantitatea de material îndepărtat, EWR (figura 4.11c), crește odată cu mărirea duratei dintre impulsuri T_{OFF} pentru C120 iar pentru C120T se observă existența unei valori prag la T_{OFF} 20.

În figura 4.11d, este prezentată variația rugozității suprafeței prelucrate în funcție de timpul între descărcările electrice. Se poate observa că odată cu creșterea acestui timp rezultă o îmbunătățire a calității suprafeței prelucrate pentru ambele materiale. Rugozitatea se reduce odată cu creșterea T_{OFF} .

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

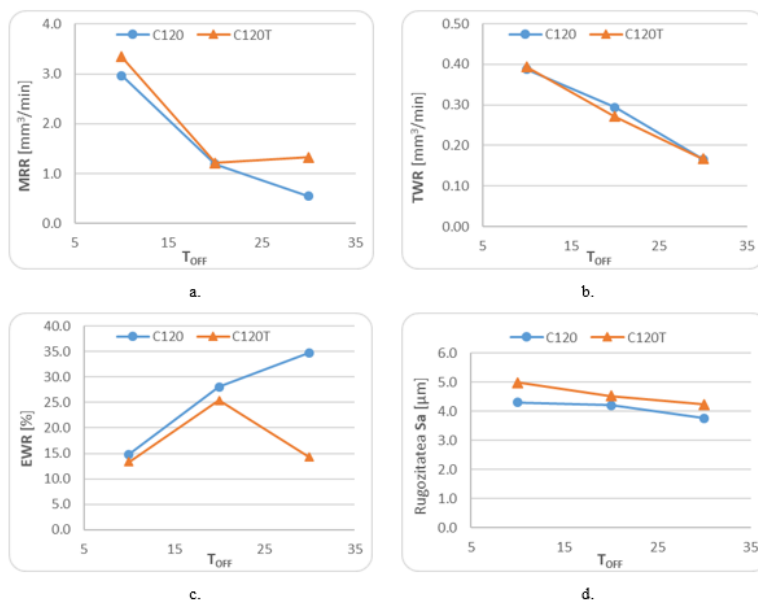


Figura 4.11 Parametrii obținuți pentru T_{OFF} : a. MRR, b. TWR, c. EWR, d. Rugozitatea (Sa)

4.1.3.2 Prelucrarea materialelor C120 și C120T cu electrod de alamă

Rata de îndepărtare a materialului scade odată cu creșterea timpului între descărcări pentru ambele materiale (figura 4.27a).

Creșterea timpului dintre descărcări contribuie la reducerea uzurii electrodului ca urmare a unei mai bune răcirii a acestuia pentru ambele materiale (figura 4.11b). Raportat la cantitatea de material erodat, uzura electrodului crește odată cu creșterea T_{OFF} (figura 4.11c)

În figura 4.11d, este prezentată variația rugozității suprafeței prelucrate în funcție de timpul între descărcările electrice. Din analiza graficului rezultă că rugozitatea scade până la $T_{OFF} = 20$ și crește după această valoare pentru ambele materiale.

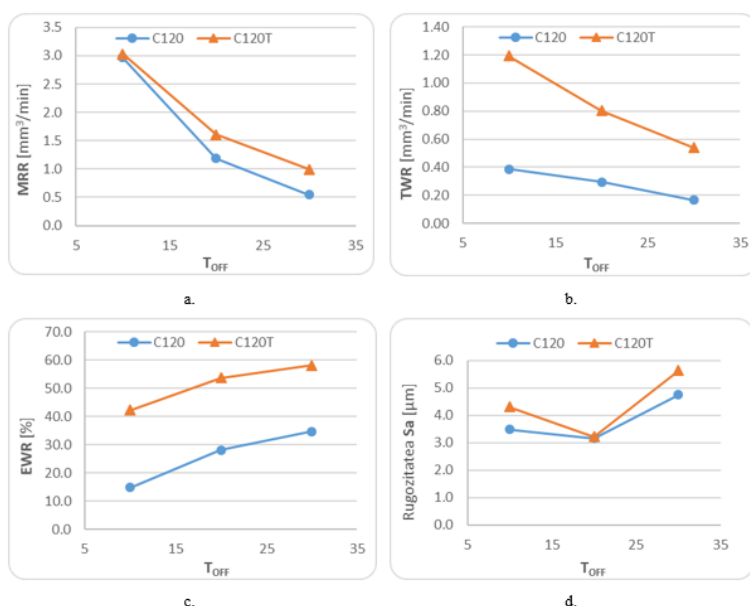


Figura 4.11 Parametrii obținuți pentru T_{OFF} : a. MRR, b. TWR, c. EWR, d. Rugozitatea (Sa)

4.1.3.3 Prelucrarea materialelor C120 și C120T cu electrod de wolfram-cupru

Rata de îndepărtare a materialului scade odată cu creșterea timpului între descărcări pentru ambele materiale (figura 4.12a).

Creșterea timpului dintre descărcări contribuie la reducerea uzurii electrodului ca urmare a unei mai bune răcirii a acestuia pentru ambele materiale (figura 4.12b). Raportat la cantitatea de material erodat, uzura electrodului crește odată cu creșterea T_{OFF} (figura 4.12c).

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

În figura 4.12d, este prezentată variația rugozității suprafeței prelucrate în funcție de timpul dintre descărcările electrice. Se poate observa că odată cu creșterea acestui timp rezultă o îmbunătățire a calității suprafeței prelucrate pentru ambele materiale, dar în cazul materialului C120 după T_{OFF} 20 apare o ușoară creștere a rugozității.

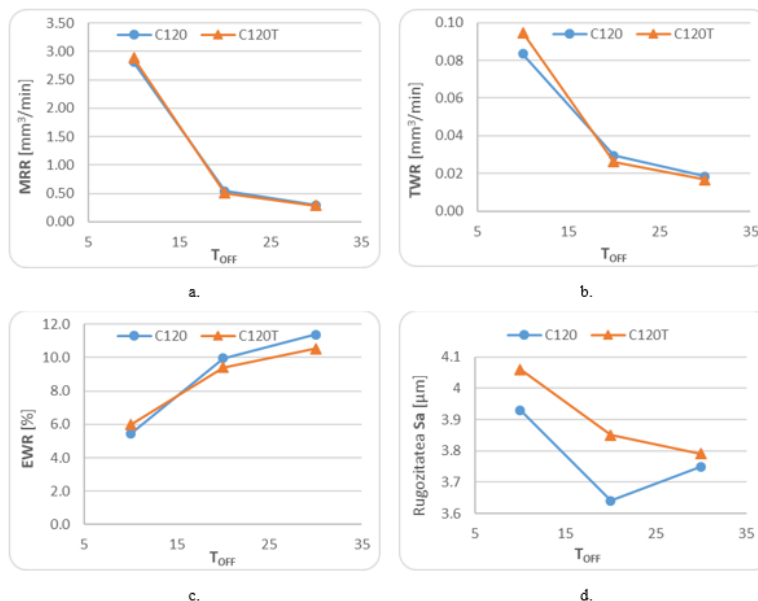


Figura 4.12 Parametrii obținuți pentru T_{OFF} : a. MRR, b. TWR, c. EWR, d. Rugozitatea (R_a)

Concluzii

Pe baza datelor obținute în cadrul studiului experimental privind analiza factorilor care influențează productivitatea și calitatea suprafeței prelucrate prin electroeroziune a materialelor utilizate la construcția plăcilor active amatrițelor, rezultă următoarele concluzii:

- În urma prelucrării materialelor cu parametrul intensitatea curentului de lucru (I_p) au rezultat următoarele:

La prelucrarea materialelor cu electrozii din Cu, WCu 75/25 și CuZn39Pb2:

- s-a obținut odată cu creșterea intensității curentului de lucru o îndepărtare mai mare a materialului prelucrat, deci o productivitate mai ridicată.
- totodată creșterea intensității curentului de lucru a dus și la creșterea uzurii electrodului, ceea ce este un efect negativ, deoarece uzura este neuniformă.
- variația uzurii relative a electrodului raportată la cantitatea de material îndepărtat are o evoluție neuniformă în funcție de intensitatea curentului de lucru asupra materialului prelucrat.
- rugozitatea suprafeței prelucrate, obținute la prelucrarea cu parametrul intensitatea curentului de lucru a fost influențată semnificativ. Odată cu creșterea intensității curentului de lucru, crește și rugozitatea suprafeței prelucrate.
- tot odată cu creșterea valorii acestui parametru apare și uzura neuniformă a electrodului conducând la obținerea unei suprafețe concave.
- macrostructura suprafețelor prelucrate cu intensitatea curentului de lucru prezintă neregularități pe suprafață. Aceste neregularități cresc odată cu creșterea intensității curentului de lucru.

- În urma prelucrării materialelor cu parametrul durata impulsului de prelucrare (T_{ON}) au rezultat următoarele:

La prelucrarea materialelor cu electrozii din Cu, WCu 75/25 și CuZn39Pb2:

- rata de îndepărtare a materialului crește odată cu creșterea timpului de descărcare electrică.
- în cazul prelucrării cu electrod din Cu, creșterea duratei impulsului de prelucrare conduce la depunerea pe electrod de material topit, pe suprafața frontală a electrodului.
- creșterea timpului de descărcare duce la reducerea uzurii electrodului.
- rugozitatea suprafeței prelucrate, obținute la prelucrarea cu parametrul durata impulsului de prelucrare are o creștere până la T_{ON} de 380 [ps] după care scade la creșterea timpului de descărcare.
- macrostructura suprafețelor prelucrate cu durata impulsului de prelucrare prezintă neregularități pe suprafață. Aceste neregularități cresc odată cu creșterea duratei impulsului de prelucrare.

- În urma prelucrării materialelor cu parametrul intervalul între impulsuri, în care nu sunt descărcări electrice (T_{OFF}) au rezultat următoarele:

La prelucrarea materialelor cu electrozii din Cu, WCu 75/25 și CuZn39Pb2:

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

- rata de îndepărtare a materialului scade odată cu creșterea timpului între descărcări.
- creșterea timpului dintre descărcări contribuie la reducerea uzurii electrodului.
- uzura relativă a electrodului raportată la cantitatea de material îndepărtat crește odată cu creșterea intervalului între impulsuri, în care nu sunt descărcări electrice.
- rugozitatea suprafeței prelucrate, obținută la prelucrare scade odată cu creșterea intervalului între impulsuri, în care nu sunt descărcări electrice.
- creșterea timpului între descărcări conduce la obținerea unor macrostructuri a suprafețelor prelucrate cu aspect uniform, dar în detrimentul productivității prelucrării.

CAPITOLUL 5. ANALIZA STATISTICĂ A REZULTATELOR EXPERIMENTALE ȘI OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PROCES

5.1 Analiza statistică a rezultatelor experimentale

5.1.1 Planul experimental

Testele experimentale au fost efectuate în conformitate cu un plan experimental de tip suprafețe de răspuns (RSM D-optimal), construit cu ajutorul software-ului Design Expert și Relia Soft. S-au utilizat 3 factori de intrare de tip numeric (I_p , T_{ON} , T_{OFF}) cu câte trei niveluri de variație și doi factori de tip categoric (material electrod, cu trei niveluri de variație și starea materialului prelucrat, cu două niveluri de variație). Din combinația acestora a rezultat un număr total de 162 de experimente.

5.1.2 Analiza statistică ANOVA pentru prelucrarea materialului C120 cu electrod din Cu 99.9

În tabelul 5.1 sunt prezentate sub formă de grafic Pareto, factorii semnificativi la prelucrarea prin electroeroziune cu electrod din Cu 99.9 a materialului C120 și C120T.

La prelucrarea datelor cu ANOVA în cazul prelucrării prin electroeroziune cu electrod din Cu 99.9 a materialului C120 și C120T au rezultat următoarele:

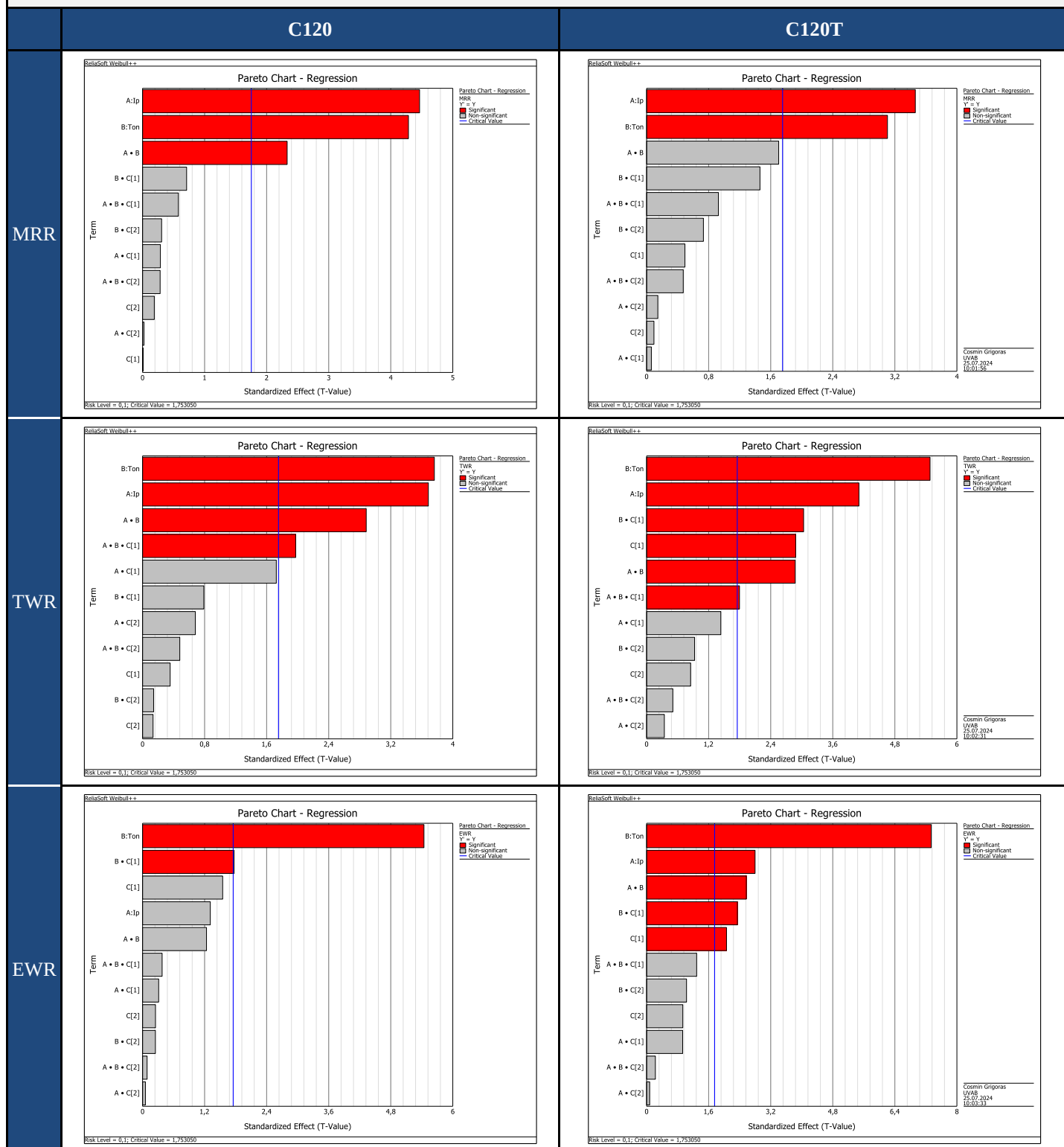
- la prelucrarea materialului C120 cu electrod din Cu 99.9, rezultatele ANOVA au arătat că cei mai influenți factori asupra ratei de îndepărtare a materialului (MRR) sunt: intensitatea curentului de lucru I_p , durata impulsului de prelucrare T_{ON} , cât și interacțiunea factorilor: intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} ;
- în cazul prelucrării materialului C120T au rezultat că cei mai influenți factori asupra ratei de îndepărtare a materialului (MRR) sunt tot intensitatea curentului de lucru I_p și durata impulsului de prelucrare T_{ON} ;
- factorii semnificativi asupra uzurii electrodului (TWR) la prelucrarea prin electroeroziune a materialului C120 cu electrod din Cu 99.9 sunt: durata impulsului de prelucrare T_{ON} , intensitatea curentului de lucru I_p , cât și interacțiunea factorilor: intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} , intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} - timpul dintre impulsuri T_{OFF} ;
- la prelucrarea materialului C120T, factorii care influențează semnificativ uzura electrodului (TWR) sunt: durata impulsului de prelucrare T_{ON} , intensitatea curentului de lucru I_p , timpul dintre impulsuri T_{OFF} , cât și interacțiunea factorilor: durata impulsului de prelucrare T_{ON} - timpul dintre impulsuri T_{OFF} , intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} , intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} - timpul dintre impulsuri T_{OFF} ;
- în cazul răspunsului uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR) la prelucrarea prin electroeroziune a materialului C120 cu electrod din Cu 99.9, factorii care influențează semnificativ sunt: durata impulsului de prelucrare T_{ON} și interacțiunea factorilor: durata impulsului de prelucrare T_{ON} - timpul dintre impulsuri T_{OFF} ;
- la prelucrarea materialului C120T prin electroeroziune cu electrod de Cu 99.9, factorii care influențează semnificativ uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR) sunt: durata impulsului de prelucrare T_{ON} , intensitatea curentului de lucru I_p , timpul dintre impulsuri T_{OFF} , și interacțiunea factorilor: intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} , durata impulsului de prelucrare T_{ON} - timpul dintre impulsuri T_{OFF} ;
- rugozitatea suprafeței (S_a) a materialului C120 prelucrat prin electroeroziune cu electrod de Cu 99.9 este influențată semnificativ de următorii factori: intensitatea curentului de lucru I_p , durata impulsului de prelucrare T_{ON} și interacțiunea factorilor: intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} ;
- în cazul prelucrării materialului C120T prin electroeroziune cu electrod de Cu 99.9 asupra răspunsului uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR), factorul semnificativ care influențează este intensitatea curentului de lucru I_p .

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRIILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

Tabel 5.1

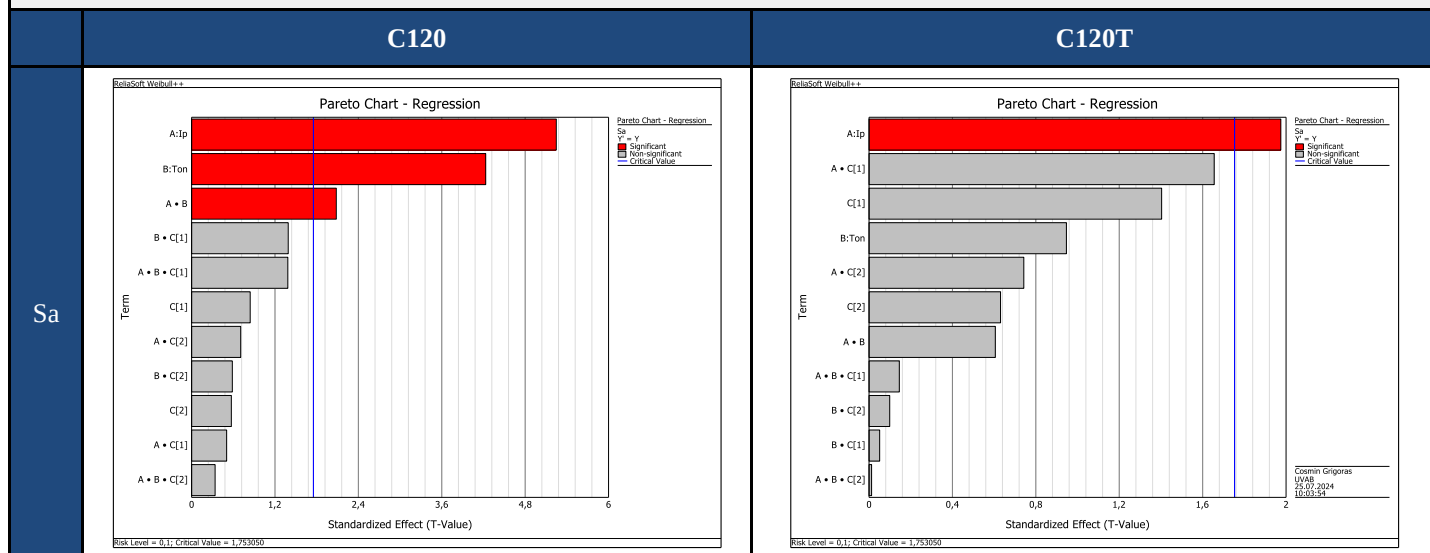
Prezentarea factorilor semnificativi la prelucrarea prin electroeroziune cu electrod din Cu 99.9 a materialului C120 și C120T

GRAFICUL PARETO-ANOVA CU FACTORII SEMNIFICATIVI C120 - Cu 99.9



CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

GRAFICUL PARETO-ANOVA CU FACTORII SEMNIFICATIVI C120 - Cu 99.9



5.1.3 Analiza statistică ANOVA pentru prelucrarea materialului C120 cu electrod din alamă CuZn39Pb2

La prelucrarea datelor cu ANOVA în cazul prelucrării prin electroeroziune cu electrod din alamă CuZn39Pb2 a materialului C120 și C120T au rezultat următoarele:

- la prelucrarea materialului C120 cu electrod din alamă CuZn39Pb2, rezultatele ANOVA au arătat că cei mai influenți factori asupra ratei de îndepărtare a materialului (MRR) sunt: intensitatea curentului de lucru I_p , timpul dintre impulsuri T_{OFF} , cât și interacțiunea factorilor: durata impulsului de prelucrare T_{ON} - timpul dintre impulsuri T_{OFF} , intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} , intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} - timpul dintre impulsuri T_{OFF} ;
- în cazul prelucrării materialului C120T prin electroeroziune cu electrod din alamă CuZn39Pb2, a rezultat că următorii factori influențează semnificativ rata de îndepărtare a materialului (MRR): intensitatea curentului de lucru I_p , timpul dintre impulsuri T_{OFF} , durata impulsului de prelucrare T_{ON} și timpul dintre impulsuri T_{OFF} la nivelul 2, cât și interacțiunile factorilor: durata impulsului de prelucrare T_{ON} - timpul dintre impulsuri T_{OFF} , intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} - timpul dintre impulsuri T_{OFF} ;
- factorii semnificativi asupra uzurii electrodului (TWR) la prelucrarea prin electroeroziune a materialului C120 cu electrod din alamă CuZn39Pb2 sunt: intensitatea curentului de lucru I_p , timpul dintre impulsuri T_{OFF} , durata impulsului de prelucrare T_{ON} , cât și interacțiunea factorilor: durata impulsului de prelucrare T_{ON} - timpul dintre impulsuri T_{OFF} , intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} - timpul dintre impulsuri T_{OFF} ; intensitatea curentului de lucru I_p - timpul dintre impulsuri T_{OFF} , intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} ;
- la prelucrarea materialului C120T prin electroeroziune cu electrod din alamă CuZn39Pb2, au rezultat următorii factori semnificativi asupra uzurii electrodului (TWR): intensitatea curentului de lucru I_p și interacțiunea dintre: intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} , durata impulsului de prelucrare T_{ON} - timpul dintre impulsuri T_{OFF} ;
- uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR) a fost influențată semnificativ de următorii factori în cazul prelucrării materialului C120: intensitatea curentului de lucru I_p , durata impulsului de prelucrare T_{ON} , timpul dintre impulsuri T_{OFF} cât și interacțiunea factorilor: durata impulsului de prelucrare T_{ON} - timpul dintre impulsuri T_{OFF} ;
- la prelucrarea materialului C120T prin electroeroziune cu electrod din alamă CuZn39Pb2, au rezultat următorii factori semnificativi asupra răspunsul uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR): intensitatea curentului de lucru I_p , durata impulsului de prelucrare T_{ON} cât și interacțiunea factorilor: intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} ;
- în cazul prelucrării materialului C120 prin electroeroziune cu electrod din alamă CuZn39Pb2, a rezultat că următorii factori influențează semnificativ rugozitatea suprafeței (Sa): durata impulsului de prelucrare T_{ON} și intensitatea curentului de lucru I_p .
- la prelucrarea cu electrod din alamă CuZn39Pb2 a materialului C120T, a rezultat că rugozitatea suprafeței (Sa) este influențată de următorii factori: durata impulsului de prelucrare T_{ON} , intensitatea curentului de lucru I_p cât și interacțiunea factorilor: durata impulsului de prelucrare T_{ON} - timpul dintre impulsuri T_{OFF} ;

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

5.1.4 Analiza statistică ANOVA pentru prelucrarea materialului C120 cu electrod din WCu 75/25

La prelucrarea datelor cu ANOVA în cazul prelucrării prin electroeroziune cu electrod din WCu 75/25 a materialului C120 și C120T au rezultat următoarele:

- la prelucrarea materialului C120 cu electrod din WCu 75/25, rezultatele ANOVA au arătat că cei mai influenți factori asupra ratei de îndepărtare a materialului (MRR) sunt: intensitatea curentului de lucru I_p și durata impulsului de prelucrare T_{ON} ;
- în cazul prelucrării materialului C120T prin electroeroziune cu electrod din WCu 75/25 au rezultat următorii factori semnificativi asupra ratei de îndepărtare a materialului (MRR): intensitatea curentului de lucru I_p , durata impulsului de prelucrare T_{ON} cât și interacțiunea factorilor: durata impulsului de prelucrare T_{ON} - timpul dintre impulsuri T_{OFF} , intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} , intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} - timpul dintre impulsuri T_{OFF} ;
- factorii semnificativi asupra uzurii electrodului (TWR) la prelucrarea prin electroeroziune a materialului C120 cu electrod din WCu 75/25 sunt: durata impulsului de prelucrare T_{ON} , intensitatea curentului de lucru I_p , timpul dintre impulsuri T_{OFF} , cât și interacțiunea factorilor: durata impulsului de prelucrare T_{ON} - timpul dintre impulsuri T_{OFF} , intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} ;
- la prelucrarea materialului C120T prin electroeroziune cu electrod din WCu 75/25, au rezultat următorii factori semnificativi asupra uzurii electrodului (TWR): intensitatea curentului de lucru I_p și durata impulsului de prelucrare T_{ON} ;
- în cazul prelucrării cu electrod din WCu 75/25 a materialului C120 a rezultat un singur factor semnificativ asupra răspunsului uzurii electrodului raportat la cantitatea de material erodat (EWR): durata impulsului de prelucrare T_{ON} ;
- uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR) nu a fost influențată semnificativ de niciun factor la prelucrarea cu electrod din WCu 75/25 a materialului C120T;
- rugozitatea suprafeței (S_a) a materialului C120 prelucrat prin electroeroziune cu electrod din WCu 75/25 este influențată semnificativ de următorii factori: intensitatea curentului de lucru I_p , durata impulsului de prelucrare T_{ON} și interacțiunea factorilor: intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} ;
- în cazul prelucrării materialului C120T prin electroeroziune cu electrod din WCu 75/25 asupra rugozității suprafeței (S_a), factorii semnificativi care influențează sunt: durata impulsului de prelucrare T_{ON} , intensitatea curentului de lucru I_p , cât și interacțiunea factorilor: intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} .

5.1.5 Influența interacțiunilor pentru prelucrarea materialului C120 cu electrod din Cu 99.9

Interacțiunile factorilor care au o influență asupra prelucrării materialului C120 și C120T prin electroeroziune cu electrod din Cu 99.9 sunt prezentate în tabelul 5.2.

Din analiza graficelor s-a observat următoarele:

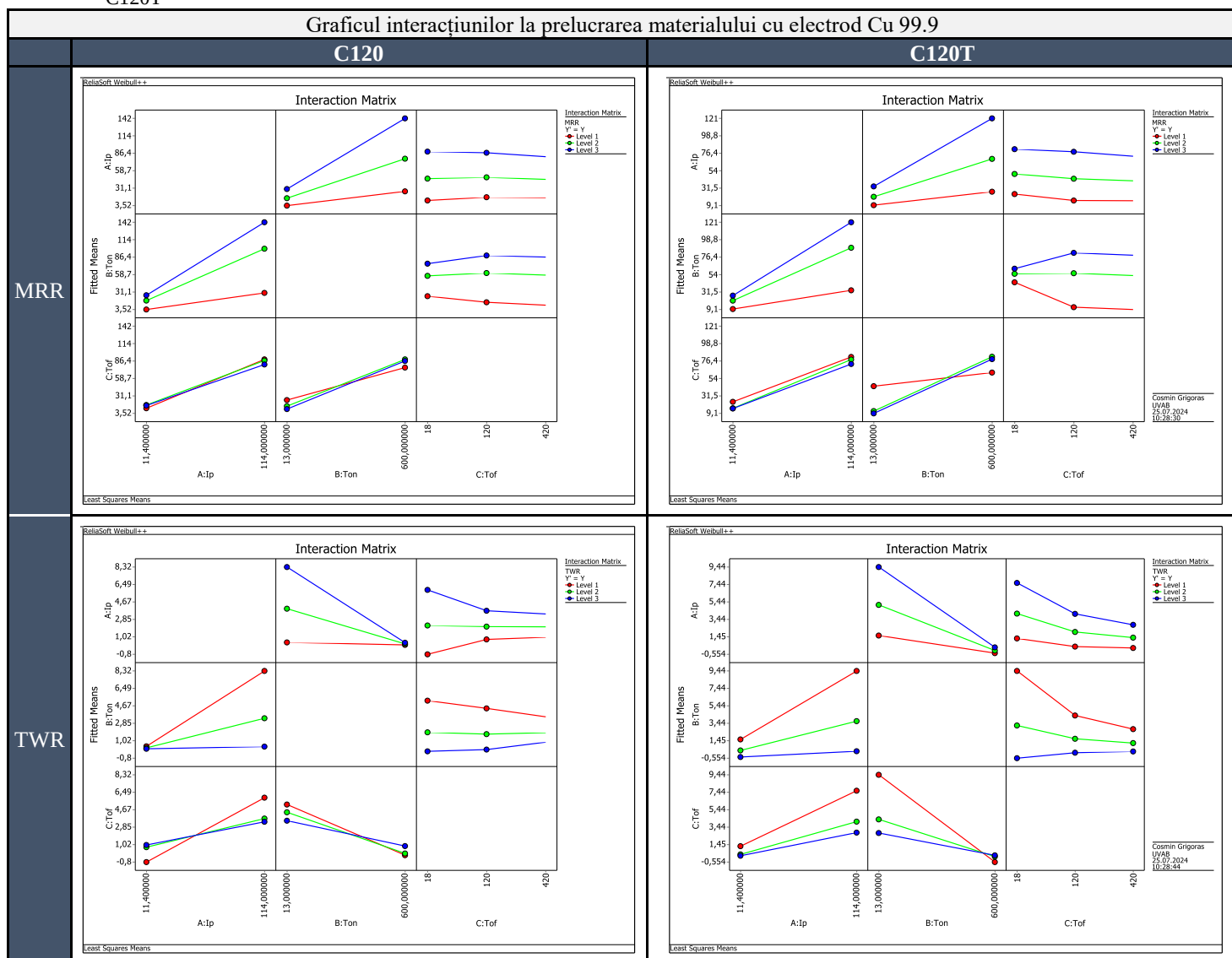
- la prelucrarea materialului C120 în ambele stări se observă că interacțiunea dintre intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} conduce la creșterea ratei de îndepărtare a materialului (MRR) pentru toate nivelele;
- în cazul interacțiunii cu timpul dintre impulsuri T_{OFF} , se poate observa o ușoară creștere a ratei de îndepărtare a materialului (MRR);
- se observă că pentru toți factorii există o creștere a ratei de îndepărtare a materialului (MRR) odată cu creșterea valorilor factorilor, dar magnitudinea acestei creșteri variază în funcție de nivelurile factorilor.
- intensitatea curentului de lucru I_p conduce la o creștere inițială a uzurii electrodului (TWR) odată cu creșterea lui.
- durata impulsului de prelucrare T_{ON} conduce la creșterea uzurii electrodului (TWR) pentru toate nivelurile, dar nivelul 3 (linia albastră) are o creștere mai pronunțată.
- uzura electrodului (TWR) prezintă o ușoară creștere odată cu creșterea timpului dintre impulsuri T_{OFF} .
- în graficul pentru materialul C120, majoritatea factorilor arată o tendință de creștere a uzurii electrodului (TWR) odată cu creșterea valorilor factorilor, dar nivelurile diferite prezintă variații în magnitudinea acestei creșteri.
- în graficul C120T, se observă o ușoară scădere a uzurii electrodului (TWR) odată cu creșterea valorilor factorilor durata impulsului de prelucrare T_{ON} și timpul dintre impulsuri T_{OFF} , ceea ce sugerează o interacțiune diferită a factorilor.
- aceasta indică faptul că diferitele condiții experimentale pot avea un impact semnificativ asupra modului în care acești factori influențează uzura electrodului (TWR).
- o scădere semnificativă a uzurii electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR) apare odată cu creșterea intensității curentului de lucru I_p în special pentru nivelul 3, nivelurile 1 și 2 arată o scădere mai ușoară.

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

- uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR) crește concomitent cu creșterea duratei impulsului de prelucrare T_{ON} pentru nivelul 1, în timp ce pentru nivelurile 2 și 3, tendința de creștere este mai redusă.
- creșterea timpului dintre impulsuri T_{OFF} conduce la o ușoară tendință de creștere pentru toate nivelurile, dar diferențele nu sunt foarte pronunțate.
- tendințele generale sunt similare între cele două grafice (C120 și C120T), indicând o consistență în modul în care factorii influențează uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR).
- factorii I_p , T_{ON} și T_{OFF} influențează semnificativ uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR), cu: I_p având un efect predominant de reducere a EWR, în timp ce T_{ON} și T_{OFF} tind să o crească ușor.
- creșterea intensității curentului de lucru I_p conduce la creșterea rugozității suprafeței prelucrate (S_a).
- creșterea duratei impulsului de prelucrare T_{ON} conduce la creșterea rugozității suprafeței prelucrate (S_a) la materialul C120T și la o scădere a rugozității suprafeței prelucrate (S_a) la materialul C120.
- creșterea timpului dintre impulsuri T_{OFF} , conduce la o ușoară scădere a rugozității suprafeței prelucrate (S_a) în cazul materialului C120T și la o ușoară creștere în cazul materialului C120.
- din analiza factorilor indică faptul că diferitele condiții experimentale pot avea un impact semnificativ asupra modului în care acești factori influențează răspunsul rugozitatea suprafeței prelucrate (S_a).

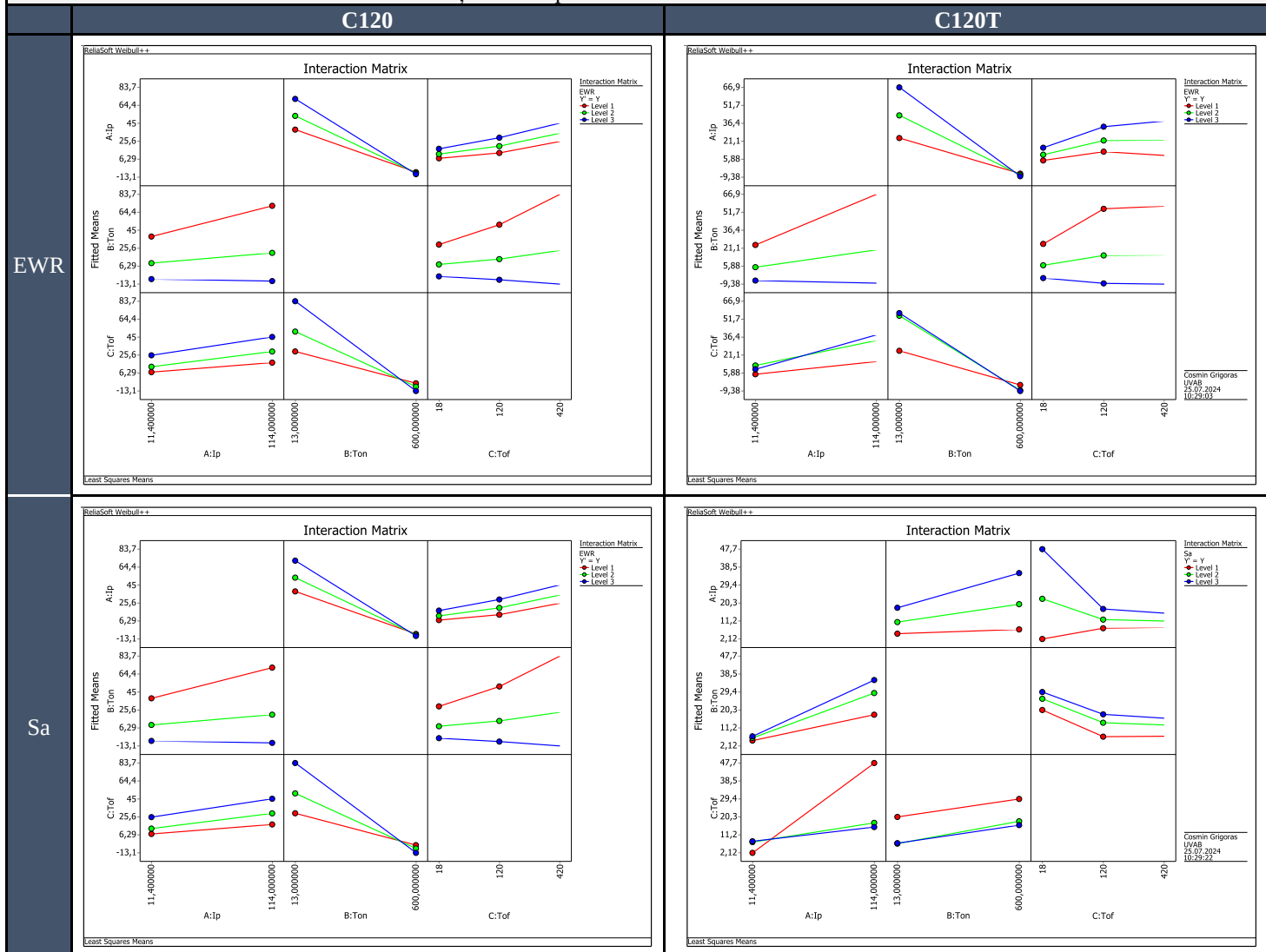
Tabel 5.2

Prezentarea interacțiunilor între factori la prelucrarea prin electroeroziune cu electrod din Cu 99.9 a materialului C120 și C120T



CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

Graficul interacțiunilor la prelucrarea materialului cu electrod Cu 99.9



5.1.6 Influența interacțiunilor pentru prelucrarea materialului C120 cu electrod din alamă CuZn39Pb2

În urma analizei graficelor au reieșit următoarele:

- creșterea intensității curentului de lucru I_p conduce la o creștere a ratei de îndepărtare a materialului (MRR) în cazul materialului C120 și C120T.
- în cazul creșterii duratei impulsului de prelucrare T_{ON} , duce la scăderea ratei de îndepărtare a materialului (MRR)
- mărirea timpului dintre impulsuri T_{OFF} , conduce la scăderea ratei de îndepărtare a materialului (MRR).
- uzura electrodului (TWR) cea mai mare s-a obținut la creșterea intensității curentului de lucru I_p , la prelucrarea materialului C120 și C120T.
- creșterea duratei impulsului de prelucrare T_{ON} și timpului dintre impulsuri T_{OFF} conduce la o scădere a uzurii electrodului (TWR).
- la prelucrarea materialului C120, creșterea intensității curentului de lucru I_p conduce la creșterea uzurii electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR), în cazul materialului C120T, se observă rezultatul este invers conducând la o scădere.
- creșterea duratei impulsului de prelucrare T_{ON} și timpului dintre impulsuri T_{OFF} conduce la o scădere a uzurii electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR) la materialul C120, iar în cazul materialului C120T rezultă o creștere a (EWR).
- rugozitatea suprafeței (Sa) este influențată de interacțiunea parametrilor T_{ON} , T_{OFF} , creșterea lor conducând la creșterea rugozității la materialul C120 și C120T.
- mărirea duratei între impulsuri T_{OFF} conduce la o scădere a rugozității suprafeței prelucrate în cazul materialului C120 și C120T.

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

5.1.7 Influența interacțiunilor pentru prelucrarea materialului C120 cu electrod din WCu 75/25

Variațiile interacțiunii factorilor la prelucrarea prin electroeroziune cu electrod din WCu 75/25 sunt prezentate mai jos:

- creșterea intensității curentului de lucru I_p și duratei impulsului de prelucrare T_{ON} conduce la creșterea ratei de îndepărtare a materialului (MRR).
- creșterea duratei dintre impulsuri (T_{OFF}) duce la o ușoară creștere a ratei de îndepărtare a materialului (MRR).
- uzura electrodului (TWR) este influențată de variația interacțiunilor factorilor: creșterea intensității curentului de lucru I_p , conduce la o uzură mai accentuată.
- durata impulsului de prelucrare T_{ON} și timpului dintre impulsuri T_{OFF} mai mare conduce la scăderea uzurii electrodului (TWR).
- creșterea intensității curentului de lucru I_p , nu influențează la prelucrarea materialului C120 asupra uzurii electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR), în cazul materialului C120T prezintă o ușoară creștere.
- mărirea duratei impulsului de prelucrare T_{ON} și timpului dintre impulsuri T_{OFF} conduce la o scădere a uzurii electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR).
- creșterea intensității curentului de lucru I_p și duratei impulsului de prelucrare T_{ON} duce la creșterea rugozității suprafeței (Sa)
- creșterea timpului dintre impulsuri T_{OFF} nu influențează rugozitatea suprafeței prelucrate (Sa).

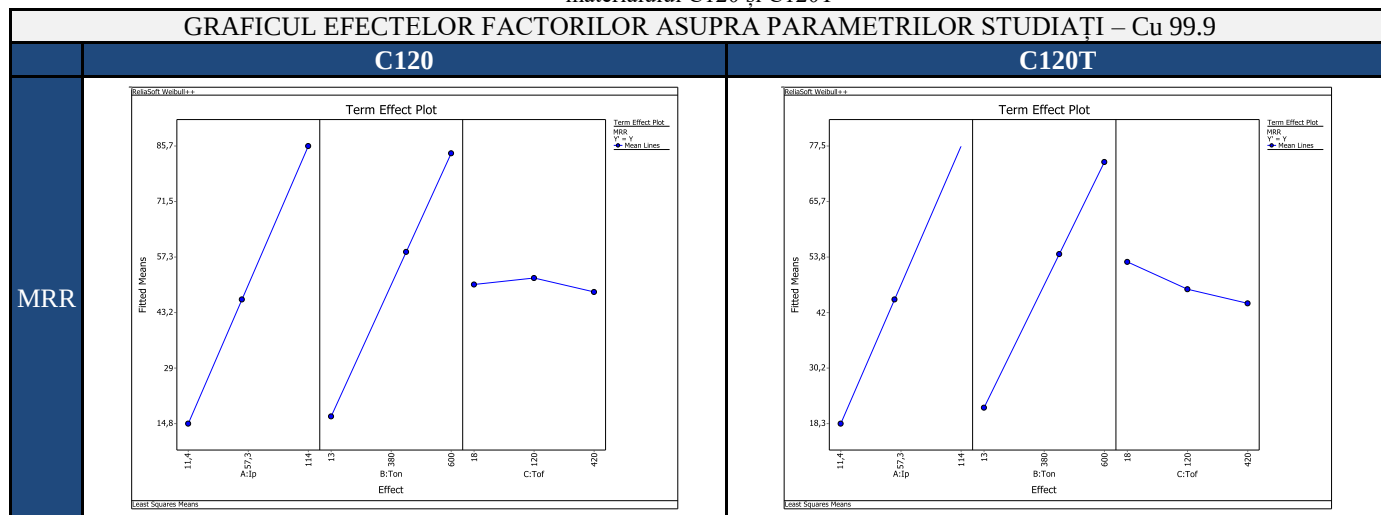
5.1.8 Prezentarea comportamentului factorilor de influență considerați asupra parametrilor de prelucrare a materialului C120 și C120T

După cum a reieșit și din studiul ANOVA și din tratarea interacțiunilor din următoarele tabele reiese și mai clar modul în care factorii analizați afectează răspunsurile obținute în urma experimentelor efectuate.

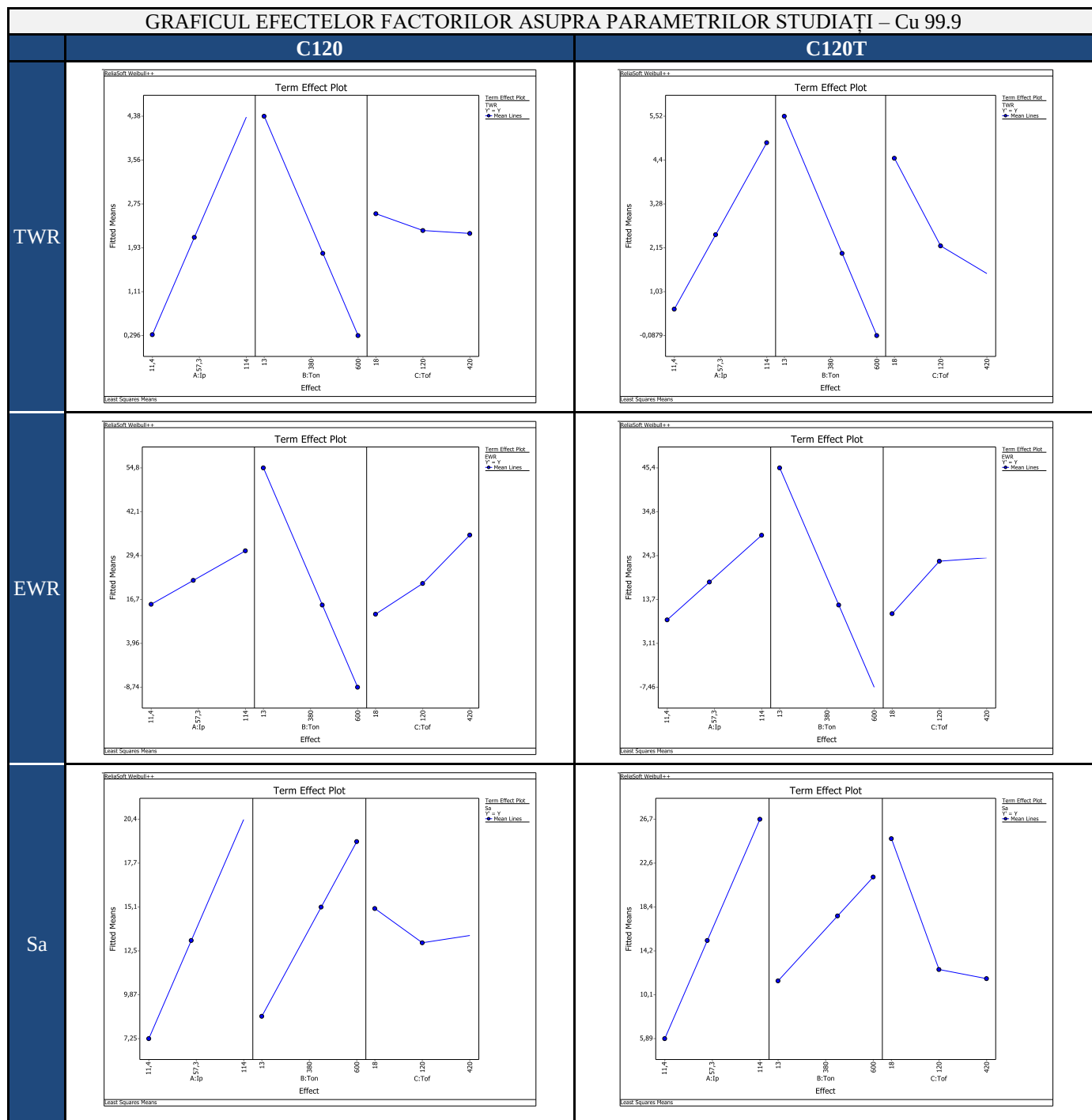
- în cazul ratei de îndepărtare a materialului (MRR) se observă că creșterea intensității curentului de lucru I_p și creșterea duratei impulsului de prelucrare T_{ON} duce la o creștere a ratei de îndepărtare a materialului pentru ambele materiale C120 și C120T. Creșterea duratei timpului dintre impulsuri T_{OFF} duce la o scădere a ratei de îndepărtare a materialului, fiind mai pronunțată în cazul materialului C120T.
- creșterea intensității curentului de lucru I_p duce la o creștere a uzurii electrodului (TWR) pentru ambele materiale. La creșterea duratei impulsului de prelucrare T_{ON} și creșterea duratei timpului dintre impulsuri T_{OFF} se observă o scădere a uzurii electrodului, mai pronunțată pentru materialul C120T.
- uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR) crește la creșterea intensității curentului de lucru I_p , aceasta fiind mai pronunțată pentru materialul C120T. În cazul creșterii duratei impulsului de prelucrare T_{ON} , EWR are o tendință de scădere pentru ambele materiale. La creșterea duratei timpului dintre impulsuri T_{OFF} pentru materialul C120 se observă o creștere a uzurii electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR) și o scădere a acestuia pentru materialul C120T.
- în cazul rugozității suprafeței (Sa), se observă că o dată cu creșterea intensității curentului de lucru I_p și creșterea duratei impulsului de prelucrare T_{ON} , crește și rugozitatea suprafeței pentru ambele materiale. Rugozitatea suprafeței are o tendință descrescătoare la creșterea duratei timpului dintre impulsuri T_{OFF} pentru ambele materiale, fiind mai accentuată pentru materialul C120T.

Tabel 5.3

Prezentarea efectelor factorilor asupra parametrilor studiați la prelucrarea prin electroeroziune cu electrod din Cu 99.9 a materialului C120 și C120T



CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR



5.1.9 Optimizarea factorilor de influență parametrilor de prelucrare a materialului C120 și C120T

Optimizarea factorilor de influență astfel încât să se obțină valorile maxime pentru rata de îndepărtare a materialului (MRR) și minime ale factorilor uzura electrodului (TWR) și rugozitatea suprafeței (Sa) prelucrate. Optimizarea s-a făcut prin oferirea unei soluții optime pentru parametrii studiați și prin prezentarea unei plaje de valori care să conducă către funcția țintă. Totodată s-au propus niște valori ale parametrilor care să asigure productivitatea maximă în condițiile unor consumuri energetice. Aceste valori ale factorilor analizați oferă cea mai bună productivitate și eficiență economică.

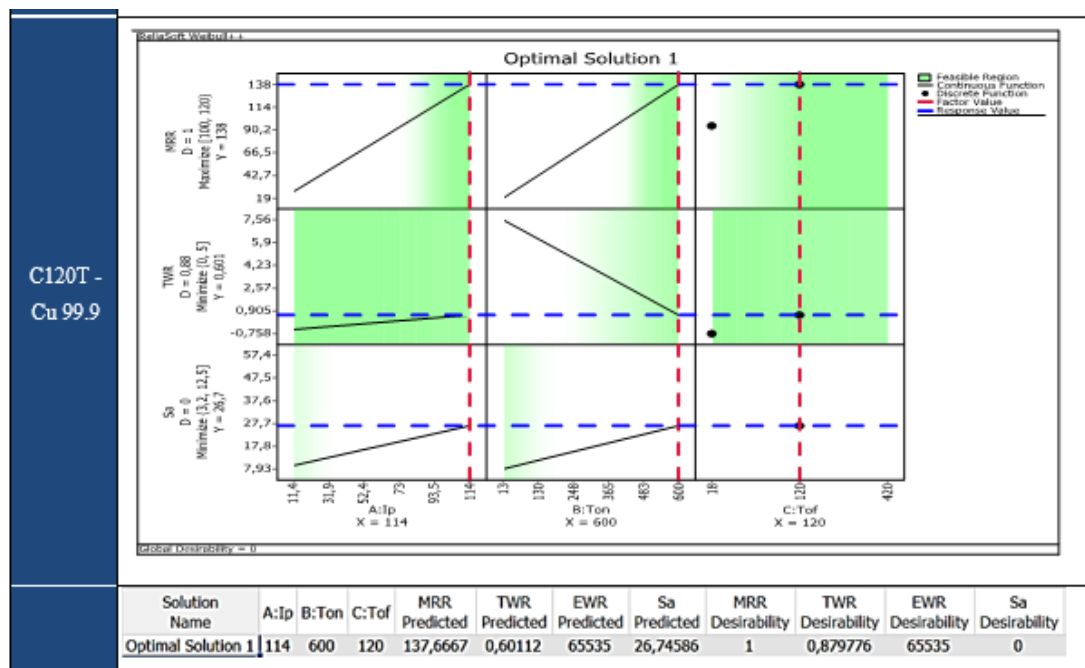
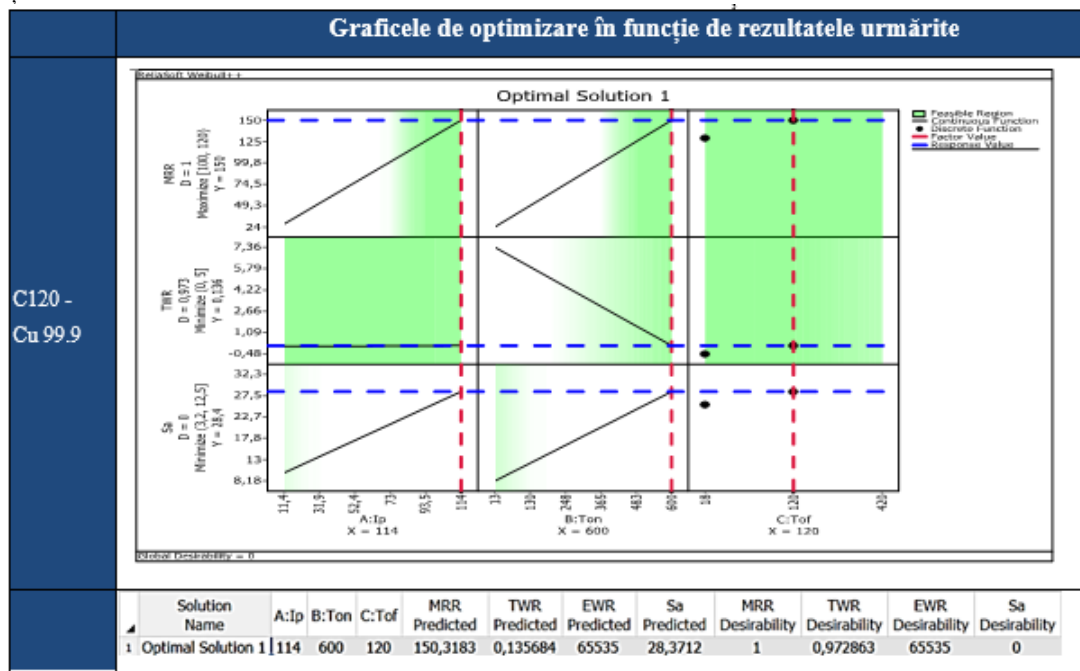
În tabelul 5.11 sunt prezentate graficele de optimizare asupra parametrilor studiați la prelucrarea prin electroeroziune, astfel a fost propusă o soluție, pentru asigurarea eficienței economice la prelucrarea materialului C120 și C120T cu electrod din Cu 99.9.

Pentru a se obține o productivitate optimă trebuie ca intensitatea curentului de lucru I_p și durata impulsului de prelucrare T_{ON} să fie mai mare.

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

Tabel 5.11

Grafice de optimizare asupra parametrilor studiați la prelucrarea prin electroeroziune cu electrod din Cu 99.9 a materialului C120 și C120T



5.2 Determinarea parametrilor optimi ai procesului de prelucrare prin aplicarea metodei rețelelor neuronale

5.2.1 Caracteristici generale ale rețelelor neuronale

Determinarea unor domenii optime ale parametrilor de lucru pentru prelucrarea prin electroeroziune a fost realizată pentru diverse materiale metalice prelucrate, diverse medii de lucru și electrozi.

5.2.2. Metodologia de implementare a rețelelor neuronale artificiale pentru determinarea parametrilor optimi ai procesului de prelucrare prin electroeroziune

Utilizarea rețelelor neuronale artificiale în scopul de a identifica valori optime ale parametrilor de prelucrare prin electroeroziune presupune parcurgerea a patru etape (figura 5.6).

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

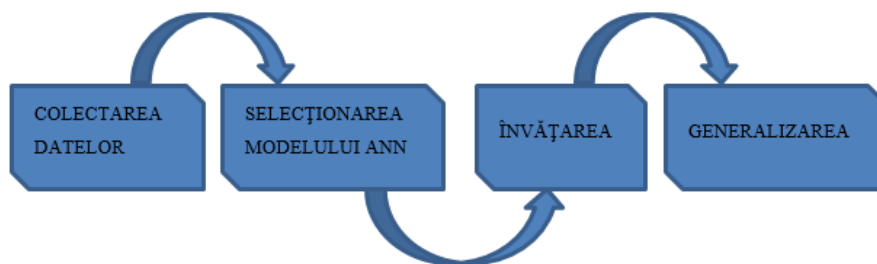


Figura 5.6 Etapele implementării rețelelor neuronale

5.2.2.1 Colectarea datelor

Primul pas în implementarea oricărui tip de rețea neuronală artificială îl constituie colectarea datelor necesare procesului de instruire al rețelei. Rețeaua neuronală va construi singură algoritmul de rezolvare al problemei, dacă îi este furnizată o mulțime reprezentativă de cazuri particulare sau exemple de instruire.

În stratul de intrare s-au utilizat șase unități de procesare (neuroni), respectiv cinci parametri ai procesului: materialul electrodului, starea materialului prelucrat, intensitatea curentului de lucru (IP), durata impulsului de prelucrare (T_{ON}) și intervalul între impulsuri, în care nu sunt descărcări electrice (T_{OFF}), în structura stratului de ieșire au intrat trei parametri, respectiv: rata de îndepărtare a materialului (MRR), rata de uzură a electrodului (TWR), rugozitatea suprafeței (Sa).

5.2.2.2 Etapa de instruire a rețelei

În cadrul prezentei analize s-a utilizat un set de date de validare ce a constituit 15% din totalul datelor de intrare ale rețelei, procesul de validare repetându-se pentru un număr diferit de neuroni în stratul intermediar în vederea obținerii celei mai mici erori pătratice de validare. Pentru rețeaua utilizată, numărul optim de neuroni în stratul intermediar a fost ales egal cu 6. În tabelul 5.12 este prezentată o valoare minimă, eroarea pătratică (MSE – mean squared error) corespunzătoare datelor de învățare, respectiv datelor de validare pentru diferite configurații ale stratului intermediar.

Tabel 5.12

MSE funcție de numărul de neuroni din stratul intermediar			
Tip de rețea		MSE	
Nr. straturi ascunse	Nr. neuroni/ strat	Învățare	Validare
1	3	0.19	0.70
	5	0.17	0.22
	6	0.12	0.13
	8	0.15	0.28
2	3	0.29	0.110
	5	0.17	0.82
	8	0.13	0.29
3	3	0.50	0.39
	5	0.17	0.21
	8	0.26	0.32
4	3	0.80	0.68
	5	0.50	0.70
	8	0.26	0.42

În figura 5.7 este prezentat rezultatul obținut privind eroarea pătratică de la curbele de variație.

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

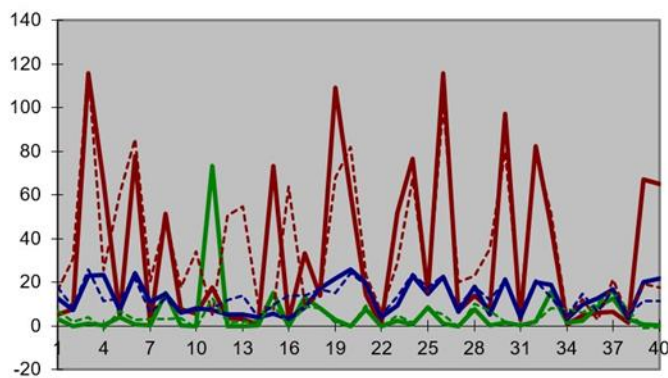


Figura 5.7 Valoarea optimă prezisă 1strat cu 6 neuroni

În figura 5.8 este prezentată tendința de variație a curbelor de instruire, respectiv validare pentru cazul în care s-au utilizat 6 neuroni în stratul ascuns.

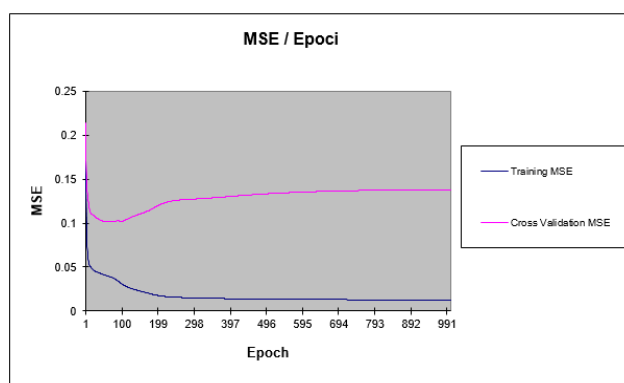


Figura 5.8 Eroarea pătratică/epoci de antrenare

5.2.2.3 Generalizarea

După etapa de antrenare, adevăratul test pe care trebuie să îl treacă rețeaua constă în capacitatea acesteia de a prescrie ieșiri corecte pentru intrări diferite de cele cu care a fost antrenată. În acest sens, rețelei i s-a furnizat un set de date neprimite până atunci ce a constituit 25% din totalul datelor de intrare inițiale.

5.2.2.4 Rezultate obținute privind îmbunătățirea calității suprafeței la prelucrarea prin electroeroziune

În vederea determinării parametrilor optimi ai procesului care să conducă la obținerea unei calități cât mai bune a suprafeței prelucrate, rețeaua mai sus validată a fost testată pentru diferite combinații ale parametrilor procesului. În acest scop, rețelei s-au prezentat diferite date de intrare pentru care aceasta va trebui să prescrie ieșirile, fără a avea definite valorile acestor ieșiri. În urma antrenării rețelei și generalizării acesteia cu date de intrare aleatoare, în vederea obținerii unor parametri de ieșire cât mai mici s-a ales setul de parametri de intrare prezentați în tabelul 5.13.

Tabel 5.13

Rezultate obținute cu ajutorul rețelei neuronale

Valorile parametrilor de intrare					Valorile parametrilor de ieșire		
Material electrod	Material prelucrat	I_p	T_{ON}	T_{OFF}	MRR	TWR	Sa
-	-	[A]	[ps]	[ps]	[mm ³ /min]	[mm ³ /min]	[μm]
Cu 99.9	C120T	100	50	13	16.373	0.133	10.779
Cu 99.9	C120T	100	10	13	14.557	0.381	9.624
Cu 99.9	C120	100	50	13	26.509	3.269	12.665
Cu 99.9	C120	100	10	13	23.601	3.763	11.130
Cu 99.9	C120	76	10	13	17.520	2.140	8.114

5.2.3 Concluzii privind determinarea parametrilor optimi pentru prelucrarea prin electroeroziune cu ajutorul metodei rețelelor neuronale

Valorile optime pentru prelucrarea prin electroeroziune sunt următoarele:

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

a. pentru materialul C120T s-au obținut următoarele valori optime: date de intrare I_p 100 [A], T_{ON} 50 [ps], T_{OFF} 13 [ps], au rezultat din optimizare date de ieșire astfel: MRR 16,37 [mm³/min], TWR 0,13 [mm³/min] și Sa 10,77 [μm] iar pentru îmbunătățirea calității suprafeței observăm că o scădere a T_{ON} la 10 a condus la obținerea unei rugozități de 9.6 [μm].

b. pentru materialul C120 s-au obținut următoarele valori optime: date de intrare I_p 100 [A], T_{ON} 50 [ps], T_{OFF} 13 [ps], au rezultat din optimizare date de ieșire astfel: MRR 26,50 [mm³/min], TWR 3,26 [mm³/min] și Sa 12,66 [μm] iar pentru îmbunătățirea calității suprafeței observăm că o scădere a T_{ON} la 10 [ps] și I_p la 76 [A] a condus la obținerea unei rugozități de 8.11 [μm].

În urma validării rezultatelor au fost observate următoarele aspecte:

- în cazul materialului C120T, la utilizarea regimului prescris de rețea am obținut valori ușor mai mari cu până la 12%, astfel au fost obținute MRR 16,83 [mm³/min], TWR 0,18 [mm³/min] și Sa 12,06 [μm].
- în cazul materialului C120, la utilizarea regimului prescris de rețea am obținut valori ușor mai mici cu până la 7%, astfel au fost obținute MRR 16,9 [mm³/min], TWR 1,89 [mm³/min] și Sa 7,54 [μm].

Concluzii

Analiza statistică a datelor experimentale a reliefat verificarea ipotezei statistice, scopul unui test statistic fiind acela de a defini cât mai exact situația din realitate.

Din analiza statistică a datelor experimentale se observă următoarele:

- analiza statistică s-a efectuat pe următorii factori de influență: material electrod, intensitatea curentului de lucru I_p , durata impulsului de prelucrare T_{ON} , timpul dintre impulsuri T_{OFF} , stare material C120 și C120T;
- răspunsurile pentru influența factorilor sunt: rata de îndepărtare a materialului (MRR), uzura electrodului (TWR), uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR), rugozitatea suprafeței (Sa);

În tabelul 5.14 sunt prezentate rezultatele răspunsurilor și tratarea efectelor în urma efectuării analizei statistice.

Rata de îndepărtare a materialului (MRR):

- cele mai semnificative interacțiuni asupra ratei de îndepărtare a materialului (MRR) sunt: materialul electrodului – starea materialului prelucrat, materialul electrodului - intensitatea curentului de lucru I_p – stare material prelucrat, materialul electrodului - durata impulsului de prelucrare T_{ON} – stare material prelucrat;
- prelucrabilitatea cea mai bună s-a obținut la prelucrarea cu electrod din Cu 99.9;
- creșterea intensității curentului de lucru a condus la o rată de îndepărtare a materialului mai mare;
- rata de îndepărtare a materialului prelucrat se mărește odată cu creșterea duratei impulsului de prelucrare T_{ON} ;
- prelucrarea materialului C120T a condus la o ușoară creștere a ratei de îndepărtare a materialului.

Uzura electrodului (TWR):

- cel mai influent factor și cele mai semnificative interacțiuni asupra uzurii electrodului (TWR) sunt: intensitatea curentului de lucru I_p , materialul electrodului - durata impulsului de prelucrare T_{ON} - timpul dintre impulsuri T_{OFF} , materialul electrodului - intensitatea curentului de lucru I_p ;
- cea mai mică uzură a electrodului este la prelucrare cu electrodul din WCu 75/25;
- creșterea intensității curentului de lucru conduce la o creștere a uzurii electrodului;
- se observă că uzura electrodului are o tendință de scădere la creșterea valorii parametrilor durata impulsului de prelucrare T_{ON} și timpul dintre impulsuri T_{OFF} ;
- starea materialului influențează uzura electrodului, acesta fiind mai mică la prelucrare materialului C120T.

Uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR):

- cele mai semnificative interacțiuni asupra uzurii electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR) sunt: materialul electrodului - stare material prelucrat, materialul electrodului - intensitatea curentului de lucru I_p - stare material prelucrat, materialul electrodului - durata impulsului de prelucrare T_{ON} – stare material prelucrat;
- prelucrarea cu electrod din alamă CuZn39Pb2, duce la cea mai mare uzură a electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR);
- uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR) are o tendință crescătoare odată cu creșterea intensității curentului de lucru;
- creșterea duratei impulsului de prelucrare T_{ON} și timpului dintre impulsuri T_{OFF} conduce la o scădere a uzurii electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR);
- uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR) este mai mică la prelucrarea materialului C120T.

Rugozitatea suprafeței (Sa):

- cei mai influenți factori și cea mai semnificativă interacțiune asupra rugozității suprafeței (Sa) sunt: durata impulsului de prelucrare T_{ON} , intensitatea curentului de lucru I_p , și intensitatea curentului de lucru I_p - durata impulsului de prelucrare T_{ON} ;
- cea mai mică rugozitate a suprafeței este la prelucrarea cu electrod din alamă CuZn39Pb2;
- creșterea intensității curentului de lucru a condus la o rugozitate a suprafeței mai mare;
- rugozitatea suprafeței prelucrate se mărește odată cu creșterea duratei impulsului de prelucrare T_{ON} ;

- prelucrarea materialului C120T a condus la o ușoară scădere a rugozității suprafeței.

Tabel 5.14

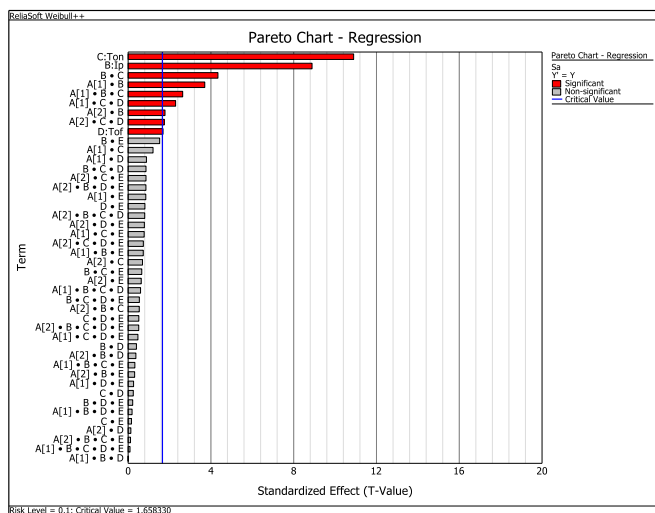
Rezultatele răspunsurilor și tratarea efectelor



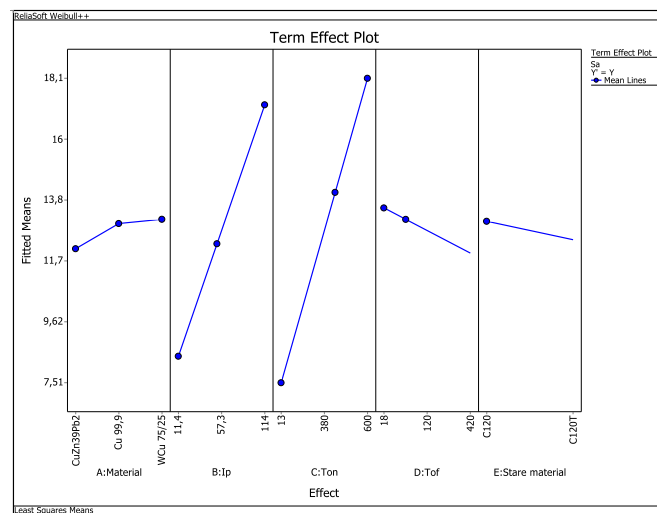
CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

Rezultatele răspunsurilor și tratarea efectelor

Grafic Pareto-ANOVA cu factorii semnificativi



Tratarea efectelor



- s-au determinat valori optime ale factorilor de intrare pentru fiecare electrod și material prelucrat;
- pentru a se obține o productivitate optimă trebuie ca intensitatea curentului de lucru I_p și durata impulsului de prelucrare T_{ON} să fie mai mare;
- în cazul calității suprafeței (rugozitatea), parametrii de lucru, intensitatea curentului de lucru I_p să fie cât mai mic și durata impulsului de prelucrare T_{ON} să fie mai mare.

CAPITOLUL 6. CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII PROPRII ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Concluzii privind stadiul actual al tehnicii:

- progrese semnificative în parametrii de proces: Tehnologia de electroeroziune a avansat considerabil prin optimizarea parametrilor de proces, cum ar fi intensitatea curentului și frecvența impulsurilor. Aceste îmbunătățiri au condus la creșterea eficienței și a preciziei în prelucrarea materialelor dure și complexe;
- materiale avansate pentru electrozi: S-au dezvoltat materiale noi pentru electrozi, care prezintă o rezistență sporită la uzură și permit o eroziune mai eficientă. Aceste progrese au dus la reducerea costurilor și a timpului de prelucrare;
- integrarea tehnicilor de simulare și modelare: Tehnicile de simulare și modelare au devenit un instrument esențial pentru înțelegerea și optimizarea proceselor de electroeroziune. Acestea permit anticiparea rezultatelor și ajustarea parametrilor înainte de aplicarea practică, economisind astfel resurse;
- tehnici de control avansate: Implementarea sistemelor de control avansate a îmbunătățit considerabil consistența și calitatea produselor finale, asigurând un proces mai stabil și mai fiabil;
- impact redus asupra proprietăților materialelor: Cercetările au demonstrat că electroeroziunea poate fi controlată pentru a minimiza efectele negative asupra proprietăților materialelor erodate, cum ar fi duritatea și structura cristalină, asigurând astfel menținerea calității materialelor;
- extinderea aplicațiilor în industrii noi: Electroeroziunea a găsit aplicabilitate în diverse domenii, de la fabricarea de componente miniaturale la reparația și întreținerea echipamentelor industriale, evidențiind versatilitatea și importanța acestei tehnologii.
- preocupări ecologice și sustenabilitate: Se acordă o atenție sporită impactului ecologic al procesului de electroeroziune, iar cercetările sunt orientate spre dezvoltarea unor practici mai sustenabile, reducând deșeurile și consumul de energie.

Concluzii privind influența parametrilor de prelucrare

Pe baza datelor obținute din studiul experimental al factorilor care influențează productivitatea și calitatea suprafeței prelucrate prin electroeroziune a materialelor utilizate la construcția plăcilor active ale matrițelor, s-au formulat următoarele concluzii:

Prelucrarea cu parametrii de intensitate a curentului de lucru (I_p):

- creșterea intensității curentului de lucru determină o îndepărtare mai mare a materialului prelucrat;

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

- intensitatea curentului de lucru crescută conduce și la uzura mai rapidă a electrodului;
- variația uzurii relative a electrodului, raportată la materialul îndepărtat, este neuniformă și depinde de intensitatea curentului de lucru;
- rugozitatea suprafeței prelucrate este semnificativ influențată de intensitatea curentului de lucru; aceasta crește odată cu intensitatea curentului;
- apariția uzurii neuniforme a electrodului duce la obținerea unei suprafețe concave;
- macrostructura suprafețelor prelucrate prezintă neregularități, care devin mai pronunțate cu creșterea intensității curentului de lucru.

Prelucrarea cu parametrul durata impulsului de prelucrare (T_{ON}):

- rata de îndepărtare a materialului crește odată cu durata descărcării electrice;
- pentru electrodul de Cu 99.9, creșterea duratei impulsului duce la depuneri de material topit pe suprafața frontală a electrodului;
- creșterea timpului de descărcare reduce uzura electrodului;
- rugozitatea suprafeței crește până la un T_{ON} de 380 ps, după care scade odată cu creșterea timpului de descărcare;
- macrostructura suprafețelor prelucrate prezintă neregularități care se intensifică odată cu creșterea duratei impulsului de prelucrare;
- în cazul electrodului de alamă, se observă depuneri de material topit și de material provenit de la electrod, spre deosebire de prelucrarea cu electrod de cupru.

Prelucrarea cu parametrul intervalul între impulsuri fără descărcări electrice (T_{OFF}):

- rata de îndepărtare a materialului scade odată cu creșterea intervalului dintre descărcări;
- creșterea timpului dintre descărcări contribuie la reducerea uzurii electrodului.
- uzura relativă a electrodului, raportată la materialul îndepărtat, crește odată cu intervalul dintre impulsuri fără descărcări electrice;
- rugozitatea suprafeței prelucrate scade odată cu creșterea intervalului dintre impulsuri;
- creșterea timpului dintre descărcări conduce la obținerea unor macrostructuri uniforme ale suprafețelor prelucrate.

Concluzii privind analiza statistică a datelor experimentale și optimizarea parametrilor:

Analiza statistică a datelor experimentale a confirmat ipoteza statistică, având ca scop definirea cât mai exactă a situației reale. Din această analiză, s-au observat următoarele:

- analiza statistică a fost efectuată pe următorii factori de influență: materialul electrodului, intensitatea curentului de lucru (I_p), durata impulsului de prelucrare (T_{ON}), timpul dintre impulsuri (T_{OFF}), și starea materialului (C120 și C120T).
- răspunsurile analizate pentru influența factorilor includ: rata de îndepărtare a materialului (MRR), uzura electrodului (TWR), uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR), și rugozitatea suprafeței (Sa).

Rata de îndepărtare a materialului (MRR):

- cele mai semnificative interacțiuni asupra ratei de îndepărtare a materialului (MRR) sunt: materialul electrodului și starea materialului prelucrat, materialul electrodului - intensitatea curentului de lucru (I_p) - starea materialului prelucrat, și materialul electrodului - durata impulsului de prelucrare (T_{ON}) - starea materialului prelucrat;
- cea mai bună prelucrare a fost obținută cu electrod din Cu 99.9;
- creșterea intensității curentului de lucru a dus la o rată mai mare de îndepărtare a materialului;
- rata de îndepărtare a materialului crește odată cu mărirea duratei impulsului de prelucrare (T_{ON});
- prelucrarea materialului C120T a rezultat într-o ușoară creștere a ratei de îndepărtare a materialului.

Uzura electrodului (TWR):

- factorii cei mai influenți și interacțiunile semnificative asupra uzurii electrodului (TWR) includ: intensitatea curentului de lucru (I_p), materialul electrodului - durata impulsului de prelucrare (T_{ON}) - timpul dintre impulsuri (T_{OFF}), și materialul electrodului - intensitatea curentului de lucru (I_p);
- cea mai mică uzură a electrodului a fost observată la utilizarea electrodului din WCu 75/25;
- creșterea intensității curentului de lucru a determinat o uzură mai mare a electrodului;
- uzura electrodului scade odată cu creșterea duratei impulsului de prelucrare (T_{ON}) și a timpului dintre impulsuri (T_{OFF});
- starea materialului influențează uzura electrodului, fiind mai mică la prelucrarea materialului C120T.

Uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR):

- cele mai semnificative interacțiuni asupra uzurii electrodului raportate la cantitatea de material erodat (EWR) sunt: materialul electrodului - starea materialului prelucrat, materialul electrodului - intensitatea curentului de

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

lucru (I_p) - starea materialului prelucrat, și materialul electrodului - durata impulsului de prelucrare (T_{ON}) - starea materialului prelucrat;

- prelucrarea cu electrod din alamă CuZn39Pb2 a dus la cea mai mare uzură raportată la cantitatea de material erodat;
- uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat crește odată cu intensitatea curentului de lucru;
- creșterea duratei impulsului de prelucrare (T_{ON}) și a timpului dintre impulsuri (T_{OFF}) reduce uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat;
- uzura raportată la cantitatea de material erodat este mai mică în cazul prelucrării materialului C120T.

Rugozitatea suprafeței (S_a):

- factorii cei mai influenți și interacțiunea semnificativă asupra rugozității suprafeței (S_a) sunt: durata impulsului de prelucrare (T_{ON}), intensitatea curentului de lucru (I_p), și combinația între intensitatea curentului de lucru (I_p) și durata impulsului de prelucrare (T_{ON});
- cea mai mică rugozitate a suprafeței a fost obținută cu electrodul din alamă CuZn39Pb2;
- creșterea intensității curentului de lucru a condus la o rugozitate mai mare a suprafeței;
- rugozitatea suprafeței crește odată cu durata impulsului de prelucrare (T_{ON});
- prelucrarea materialului C120T a dus la o ușoară scădere a rugozității suprafeței.

Contribuții Originale

Prin cercetările teoretice și experimentale efectuate în cadrul acestei teze s-au adus următoarele contribuții originale:

- Studiarea cercetărilor în domeniul prelucrării prin electroeroziune pentru determinarea parametrilor importanți care influențează productivitatea și calitatea suprafeței;
- Determinarea experimentală a efectelor generate de parametrul, intensitatea curentului de lucru I_p asupra răspunsurilor: rata de îndepărtare a materialului (MRR), rata de uzură a electrodului (TWR), uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR) și rugozitatea suprafeței (S_a);
- Determinarea experimentală a efectelor generate de parametrul, durata impulsului de prelucrare (T_{ON}) asupra răspunsurilor: rata de îndepărtare a materialului (MRR), rata de uzură a electrodului (TWR), uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR) și rugozitatea suprafeței (S_a);
- Determinarea experimentală a efectelor generate de parametrul, intervalul între impulsuri, în care nu sunt descărcări electrice (T_{OFF}) asupra răspunsurilor: rata de îndepărtare a materialului (MRR), rata de uzură a electrodului (TWR), uzura electrodului raportată la cantitatea de material erodat (EWR) și rugozitatea suprafeței (S_a);
- Analiza comparativă a efectelor provocate de factorii utilizați la prelucrarea prin electroeroziune asupra calității suprafeței;
- Analiza comparativă a efectelor provocate de factorii utilizați la prelucrarea prin electroeroziune asupra productivității;
- Analiza statistică (ANOVA) a datelor obținute experimental pentru a determina factorii semnificativi și a interacțiunii lor;
- Analiza depunerilor care apar pe electrod, pentru determinarea compoziției chimice a materialului depus;
- Determinări experimentale la prelucrarea materialelor prin electroeroziune cu fir;
- Determinarea valorilor optime a factorilor de intrare pentru a obține o productivitate mai mare;
- Determinarea valorilor optime a factorilor de intrare pentru a obține o calitate mai bună a suprafeței prelucrate (rugozitatea suprafeței);
- Verificarea experimentală a valorilor optime rezultate.

Direcții viitoare de cercetare

În vederea aprofundării mai mult a prelucrării prin electroeroziune cât și alte tehnologii neconvenționale sunt posibile următoarele direcții de studiu:

- Continuarea cercetărilor teoretice și experimentale privind relațiile dintre factorii de intrare, cei de ieșire și factorii perturbatori, cu scopul de a îmbunătăți procesul de prelucrare prin electroeroziune, pentru a obține suprafețe precise și de calitate superioară (precizie dimensională crescută, rugozitate redusă și minimizarea suprafețelor deteriorate). Cercetări experimentale privind procedeul de prelucrare prin electroeroziune cu dielectrici ecologici (uleiuri vegetale);
- Cercetări experimentale privind procedeul de prelucrare prin electroeroziune cu fir a pieselor complexe din materiale dure și etradure;
- Cercetări experimentale privind precizia dimensională la prelucrarea prin electroeroziune;
- Cercetări experimentale privind prelucrarea prin electroeroziune a aliajelor pe bază de Ti sau Mg și a materialelor care nu pot fi prelucrate prin alte procedee;
- Cercetări experimentale privind determinarea microstructurii suprafeței prelucrate;

CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA MATRIȚELOR

- Elaborarea unor soluții tehnice pentru îmbunătățirea îndepărtării materialului erodat din zona de lucru, astfel încât să nu afecteze eficiența procesului de prelucrare prin electroeroziune și să reducă descărcările electrice parazite;
- Cercetări experimentale privind prelucrarea cu tehnologii neconvenționale (plasmă, laser, jet de apă cu abraziv etc.) a materialelor noi dezvoltate.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [1] „WINDNDEAVOR” Available: <https://winndeavor.com/what> to know about electrical discharge machining edm. [Accesat 12 Aprilie 2023].
- [4]. W. Christopher, Waterjet cutting: The other “Non-traditional” process, EDM Today, September/October 2003, <http://www.omas.com/pdfs/WATERJETCUTTING.pdf> (accessed 12/08/2009).
- [4] B. Artamonov, „Prelucrare electrică dimensională a metalelor”, Moscova, 1978.
- [6] „SCRIBD” Available: <https://ro.scribd.com/doc/305583810> PRELUCRAREA-DIMENSIONALA-PRIN-EROZIUNE-ELECTRICA. [Accesat 10 Martie 2023].
- [9]. <http://engr.smu.edu/rcam/reserch/waterjet> , accesat pe data 28.07.2009.
- [7] A. Livshits, „Electrical discharge processing of metals”, vol. 159, Moscow: Moscow: Superior. shk, 1979, p. 41.
- [11] P. S. P. Topală, în „Tehnologii de prelucrare a materialelor conductibile cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls”, Chișinău: Chișinău: Ed. Tehnica-Info, 2008, p. 265 .
- [12] „Manufacturing Guide” Available: <https://www.manufacturingguide.com>. [Accesat 15 August 2023].
- [13] C. S. E. H. C. T. **Ghiorghe Oana-Georgeta**, „Study of influence of WEDM processing regimes on the quality of armor steel,” Journal of Engineering Studies and Research, vol. 28, nr. 3, pp. 49-55, 2022.
- [14] V. Rusnac, „Rolul energiei și durata impulsului de descărcare în timpul procesului de încărcare a micro-geometriei suprafețelor pieselor metalice prin aplicarea descărcărilor electrice în impuls”, în Fascicula V, Tehnologii în construcția de mașini, Galați, Universitatea „Dunărea de Jos”, 2008, , pp. 61-68.
- [15] P. e. a. Topală, „Cercetări privind modificarea microgeometriei suprafețelor pieselor prin dezvoltarea undelor capilare pe suprafața metalului lichid în condițiile descărcării electrice în impuls”, în Raport șt. Univ. de Stat „Alec Russo” din Bălți., 2006, p. 72.
- [22] „Reliable EDM” Available: <https://reliableedm.com/>. [Accesat 10 Martie 2023].
- [23] S. S. S. Kalpakjian, Engineering and Manufacturing Technology, VII ed., Chapter 27, Pearson, 2014.
- [24] M.L. Jeswani, „Dimensional analysis of tool wear in electrical discharge machining,” Wear, vol. 55, nr. 1, pp. 153-161, 1979.
- [51] „Globalspec” Available: <https://www.globalspec.com/learnmore/materials> chemicals adhesives/electrical optical specialty materials/electrical contact electrode materials/edm electrode materials. [Accesat 20 Ianuarie 2024].
- [61] C. S. E. H. M.-C. R. C. N.-T. ., B. N. **Ghiorghe Oana-Georgeta**, „A review of the recent activities in the field of electrical discharge machining,” SCIENTIFIC PUBLICATIONS, vol. 30, nr. 1, 2024.
- [71] V. a. M. F. a. B. V. a. V. M. a. F. I. Marrocco, „How the Electrical Conductivity of Water Fluids Affects Micro-EDM in the Short-Pulse Regime,” Micromachines, vol. 15, nr. 2, 2024.
- [78] A. Y. a. A. Y. J. Joshi, „A systematic review on powder mixed electrical discharge machining,” Heliyon, vol. 5, nr. 12, 2019.
- [90] T. T. A. D. a. P. K. Ramver Singh, „Assessing the performance of air, argon, and oxygen as dielectric mediums during dry-micro-EDM of Ti6Al4V alloy: A comparative study,” Materials and Manufacturing Processes, vol. 38, pp. 589-877, 2023.
- [93] T. a. S. B. a. C. B. a. K. D. Niranjana, „Investigation of vegetable oil as dielectric fluid in electric discharge machining,” Materials Today: Proceedings, 2023.
- [94] C. Radu, E. Herghelegiu, C. Tampu, C. Bogdan, S. Carol, R. Petrica și **Ghiorghe Oana**, „Use of vegetable oils as dielectric fluids for electrical discharge machining. A case study,” Heliyon, vol. 10, p. 31772, 2024.
- [100] A. B. K. a. T. M. a. E. B. M. a. A. Elsheikh, „Influences of tool electrodes on machinability of titanium α - β alloy with ISO energy pulse generator in EDM process,” Alexandria Engineering Journal, vol. 63, pp. 465-474, 2023.
- [111] Z. Z. X. C. K. W. C. L. J. Zou, „An Analysis of the Uneven Tool Electrode Wear Mechanism in the Micro-electrical Discharge Machining Process,” Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology, vol. 10, pp. 1375-1391, 2023.
- [115] X. W. X. L. C. M. J. D. S. Mao, „Effects of stepped cylindrical electrode in electrical discharge machining of blind holes,” International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 110, pp. 1457-1469, 2020.

**CONTRIBUȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA PARAMETRILOR DE
PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE A OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚIA
MATRIȚELOR**

- [121] N. A. a. M. R. S. a. G. S. a. R. Yadav, „Optimization of EDM parameters using Ananya algorithm: A new advanced optimization technique,” *Materials Today: Proceedings*, pp. 2214-7853, 2023.
- [131] J. a. Q. J. a. F. E. a. R. D. Wang, „Precision Micro-EDM Milling of 3D Cavities by Incorporating In-situ Pulse Monitoring,” *Procedia CIRP*, vol. 42, pp. 656-661, 2016.
- [132] T. J. a. M. Sundaram, „Prediction of Surface Roughness on Electrical Discharge Machined Surfaces,” *Manufacturing Letters*, vol. 33, pp. 143-152, 2022.
- [140] M. A. R. R. M. M. a. K. K. Khan, „Neural Network Modeling and Analysis for Surface Characteristics in Electrical Discharge Machining,” *Procedia Engineering*, vol. 90, pp. 631-636, 2014.
- [148] J. P. Mane AB, „Optimization of Response Parameters of Electrical Discharge Machine Using Shape Memory Alloy,” *International Journal of Mechanical Engineering*, vol. 6, pp. 86- 91, 2021.
- [160] S. S. C. E. U. Srikanth, „Experimental investigation and parametric optimization of electro-discharge coated aluminium alloy by desirability-based technique,” *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, vol. 2, pp. 667-677, 2023.
- [170] C. S. E. H. M. C. R. B. A. C. N. C. T. B. N. P. R. **Oana Ghiorghe**, „Influence of the electrode material on electrical discharge machining process performance,” *Scientific Study & Research - Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, vol. 25, nr. 1, pp. 71-90, 2024.
- [172] G. O. Mineralolwerk, „GSS GROUP,” 2009. Available: https://www.gssgroup.ro/product_lubrifianti pentru operatii de aschiere. [Accesat 10 Iunie 2024].