

# RESEARCH ABOUT MAKING A PORTABLE EQUIPMENT FOR ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING WITH CONTACT BREAKING

**HĂTIȘ-CONDOIU George-Bogdan, TOPORAN Silviu-Daniel**

Facultatea de Inginerie Industrială și Robotica, Specializarea: TCM, Anul de studii: 4,  
e-mail: hatisbogdan98@gmail.com

Conducători științifici: Prof.dr.ing. **Daniel GHICULESCU**, Asist.drnd.ing. **Gabriela Marina PÂRVU**

*ABSTRACT: The paper deals with the design, modeling and achievement of a portable electrical discharge machining (EDM) equipment with contact breaking that is used in the process of material removal by electrical discharges. The results from finite element modeling of designed actuating coil agreed with the real working of EDM head. The stages of making the equipment are presented as well as its testing and obtained experimental data.*

*CUVINTE CHEIE: descărcări electrice, rupere de contact, calcul bobinaj, modelare elemente finite*

## 1. Introducere

Evoluția continuă în utilizarea de materiale avansate și creșterea noilor tehnologii moderne în cele mai diverse domenii se produce, folosind tehnologiile numite neconvenționale, la care uzinarea materialelor are loc printr-un transfer concentrat al energiei în diverse forme de la sculă la piesa prelucrată [1], [2]. Procesele de prelucrare prin descărcări electrice (Electrical Discharge Machining – EDM) reprezintă cele mai răspândite procedee neconvenționale [3]. EDM cu rupere de contact este un proces cu costuri reduse, utilizat la prelucrarea materialelor conductive. Prin această cercetare, se abordează modelarea parametrilor tehnologici la prelucrarea cu descărcări electrice cu rupere de contact, folosind un electrod-sculă realizat din cupru, acționat de o bobina electromagnetică, alimentat de un generator de curent continuu și un condensator care se descarcă prin scânteii electrice în interstițiul de prelucrare.

## 2. Stadiul actual

Prin EDM se îndepărtează materialul prin descărcări electrice succesive, generând cavități care nu pot fi prelucrate prin procedee convenționale din cauza caracteristicilor de rezistență ridicată a materialelor. Prelucrarea prin descărcări electrice cu rupere de contact reprezintă o tehnologie modernă de uzinare a unor categorii de materiale avansate dure și extra dure, în condițiile economice de eficiență optimă [4]. Se pot utiliza diferite valori ale parametrilor de lucru, determinate de materialul de prelucrat și forma suprafețelor de generat. Scula, de regulă din cupru sau grafit, și piesa de prelucrat sunt legate la polii unei surse de curent. Materialul piesei este îndepărtat prin acțiunea de vaporizare a descărcărilor electrice care au loc între electrodul sculă și electrodul piesă. Scula are de obicei forma negativului cavității care trebuie prelucrată în piesă, iar aceasta poate lua diferite forme, foarte complexe [5].

În varianta studiată, partea mecanică, respectiv capul de lucru, este simplă și portabilă. Energia descărcării se concentrează într-un canal de plasmă înconjurat de lichid dielectric. Metalul topit de descărcare se resolidifică în contact cu fluidul dielectric. Acesta este pompat continuu în interstițiul de prelucrare, după ce a fost filtrat - particulele de metal au fost separate printr-un filtru cu finețea cerută de tipul de prelucrare, care permite dielectricul purificat să fie recirculat.

Materiale prelucrate sunt:

- Prin electroeroziune se poate prelucra orice material care conduce curentul electric, indiferent de duritatea lui [6].
- Se aplică în special la oțeluri aliate și înalt aliate, în special pentru prelucrarea cavităților matrițelor.

- Conductivitatea termică, căldura specifică și temperatura de topire a materialului prelucrat, precum și căldura latentă de topire și vaporizare sunt proprietăți importante care determină viteza de îndepărtare a materialului, care determină productivitatea procedurii [7], [8].

### 3. Proiectarea echipamentului

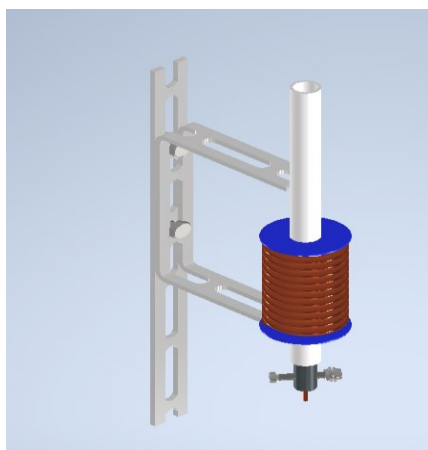


Fig. 3.1 Modelul 3D al capului de lucru

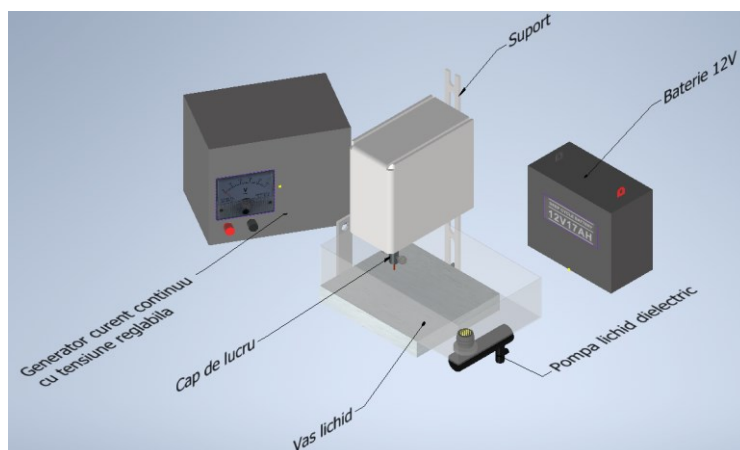


Fig 3.2. Ansamblul echipamentului

Modelarea capului de lucru și a suportului a fost realizată în Autodesk INVENTOR - fig.3.1. Ansamblul echipamentului conține generatorul de curent continuu (1), bateria de 12V (2), pompa de recirculare a lichidului dielectric(3), vasul pentru lichid (4) și capul de lucru (5) - fig. 3.2.



Fig. 3.3. Dimensionarea capului de lucru și părțile sa componente

În fig. 3.3, este prezenta structura detaliată a capului de lucru și dimensionarea elementelor sale componente.

### 4. Modelarea cu elemente finite a bobinei de acționare

Anterior realizării bobinei de acționare a capului de lucru, aceasta a fost modelată cu elemente finite, cu ajutorul soft-ului dedicat COMSOL Multiphysics, folosind modulul "Magnetic Fields", în regim staționar pentru a determina caracteristicile bobinei [9]. În fig.4.1 sunt prezentați parametrii de calcul ai modelului bobinei, dimensiuni ale tubului de PVC, electrodului filiform de cupru și miezului port-scula, după proiectarea lor în programul Autodesk INVENTOR.

Name	Expression	Value	Description
dtube	14	14	diametru exterior tub pvc
dtubi	11	11	diametru interior tub pvc
lbobina	60	60	lungime bobina
dbobi	13	13	dia interior bobina
dbobe	18	18	diametru exterior bobina
lcil	95	95	lungime corp otel
dcil	10	10	dia cilindru
de	2	2	diametru electrod
le	40	40	lungime electrod
l1tub	40	40	lungime superioara tub
l2tub	20	20	lungime inferioara tub
gpvc	1	1	grosime pvc
cotacil	le/2	20	cota cilindru sub tub

- Materials
  - PVC
  - Copper
  - Steel AISI 4340

Fig. 4.1 Parametri modelarii in Global Definitions și materialele folosite

Property	Name	Value	Unit
⚠ Poisson's ratio	nu		1
✓ Relative permittivity	epsil...	2.9	1
✓ Relative permeability	mur	1	1
✓ Electrical conductivity	sigma	1e-6	S/m
Coefficient of thermal expan...	alpha	100e-6...	1/K
Density	rho	1760[k...	kg/...
Thermal conductivity	k	0.1[W/...	W/(...
Young's modulus	E	2.9e9[...	Pa



Fig.4.2 Caracteristici ale PVC și alocarea materialului în cadrul capului de lucru

Property	Name	Value	Unit
✓ Relative permeability	mur	1	1
✓ Electrical conductivity	sigma	5.998e...	S/m
✓ Relative permittivity	epsil...	1	1
Heat capacity at constant pr...	Cp	385[J/(...	J/(kg...
Surface emissivity	epsil...	0.5	1
Density	rho	8700[k...	kg/...
Thermal conductivity	k	400[W...	W/(...
Reference resistivity	rho0	1.72e-...	$\Omega^*m$
Resistivity temperature coeff...	alpha	3.9e-3[...	1/K

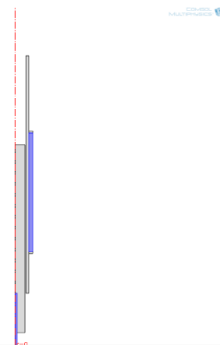


Fig.4.3 Caracteristici ale cuprului și alocarea materialului în cadrul capului de lucru

Property	Name	Value	Unit
✓ Relative permeability	mur	1	1
✓ Electrical conductivity	sigma	4.032e...	S/m
✓ Relative permittivity	epsil...	1	1
Coefficient of thermal expan...	alpha	12.3e-...	1/K
Heat capacity at constant pr...	Cp	475[J/(...	J/(kg...
Density	rho	7850[k...	kg/...
Thermal conductivity	k	44.5[W...	W/(...
Young's modulus	E	205e9[...	Pa
Poisson's ratio	nu	0.28	1

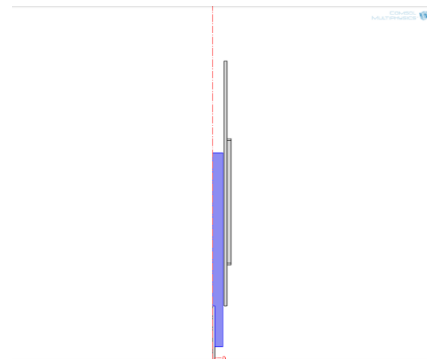


Fig. 4.4 Caracteristici ale oțelului și alocarea materialului în cadrul capului de lucru

În figurile 4.2, 3, 4 este prezentată etapa de alocare a materialelor pe model și caracteristicile aferente, pentru modulul de calcul al câmpului magnetic generat de bobina.

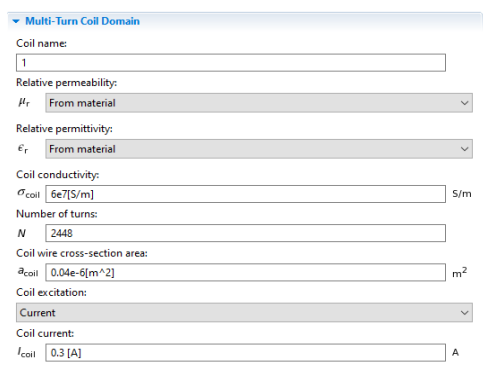


Fig. 4.5 Caracteristicile bobinei electro-magnetice



Fig. 4.6 Discretizarea

În fig. 4.5 sunt introduse condițiile la limită cu privire la caracteristicile bobinei, conductivitatea conductorului, numărul de înfășurări, aria secțiunii transversale și curentul care trece prin bobina: 0,35A, iar în fig. 4.6, este prezentată discretizarea modelului cu elemente fine.

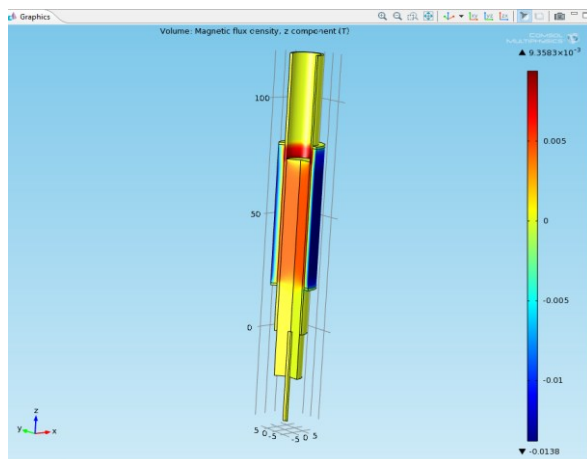


Fig. 4.7. Fluxul magnetic din bobină

Fig 4.7 reprezintă distribuția fluxului magnetic, unde se observă intensitatea maximă în interiorul bobinei, unde se găsește miezul port-sculă. Pe baza rezultatelor obținute prin modelarea cu elemente finite în programul COMSOL Multiphysics, s-au realizat calcule de bobinaj.

Forța exercitată de bobina electromagnetica asupra miezului port-sculă este determinată cu relația:

$$F = \frac{B^2 A}{2\mu_0} \quad [N] \quad [1]$$

unde:  $B$  - densitatea fluxului magnetic;  $A$  - aria secțiunii transversale a miezului.

$$\mu_0 = 4\pi(10^{-7}) \quad [NA^{-2}] \quad [2]$$

unde:  $\mu_0$  reprezinta permeabilitatea aerului .

S-a calculat forța exercitate de bobina, înlocuind valoarea  $B$  din modelarea Comsol si  $A$  din datele de la proiectare. S-a obținut valoarea forței de acționare:  $F=0,743$  N.

S-a determinat greutatea miezului (cilindrului de otel) cu relația:

$$G = \frac{g\pi d_{cil}^2}{4l_{cil}\rho_{otel}} \quad [5]$$

unde: masa cilindrului este 0.070kg; volumul,  $9.02358E-06$  m<sup>3</sup>;

S-a obținut greutatea miezului:  $G=0.69$  N

S-a determinat greutatea electrodului sculă cu relația:

$$G = \frac{g\pi d_{cil}^2}{4l_{cil}\rho_{cupru}} \quad [6]$$

unde: masa cilindrului: 0.0026 kg; Volumul: 2.983E-07 m<sup>3</sup>; se obține:  $G_{scula} = 0.026 N$

S-a determinat greutatea totală, port-scula și electrod-scula,  $G_{tot} = 0.716 N$

Prin urmare  $F_{bobina} > G_{tot}$ ; rezulta ca forța exercitată de bobină permite ridicarea părții mobile a capului de lucru.

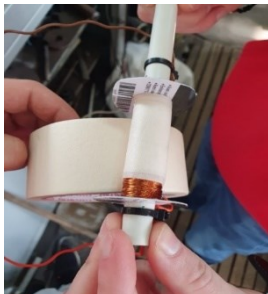


Fig 4.8 Bobina electromagnetica

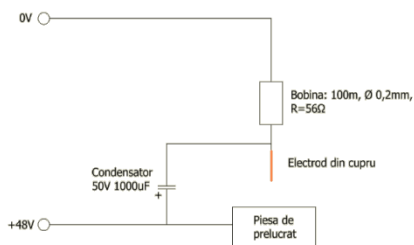


Fig 4.8.1 Schema electrică



Fig. 4.8.2 Capul de lucru

S-au efectuat calcule de bobinaj care au condus la realizarea bobinei, utilizând formulele următoare:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad [7]$$

unde:

-  $l$ = lungimea sârmei de bobinaj;  $l=100 m$

-  $\rho$ = rezistivitatea sârmei de cupru  $\rho(\text{cupru}) = 1,68 * 10^{-8}[\Omega m] = 0,0168[\Omega \frac{mm^2}{m}]$  [8]

-  $S$ = aria secțiunii sârmei de bobinaj  $S=0.03 mm^2$

- Diametrul sârmei de bobinaj:  $D_b=0,02[mm]$

- Lungimea liberă a sârmei de bobinaj:  $L=60[mm]$

Calculul rezistenței bobinei:

$$R = 0,0168 \frac{100}{0.03} = 56 [\Omega] \quad [9]$$

Schema electrică din fig. 4.8.1 conține o bobină, un electrod din cupru, condensator și alimentarea circuitului. Circuitul prezintă o alimentare de 48V, polul negativ intră prin bobină, apoi trece prin condensator care este în circuit cu electrodul, urmând ca polul pozitiv să fie legat la piesa de prelucrat și la celălalt capăt al condensatorului.



Fig 4.8.3 Pompa de dielectric

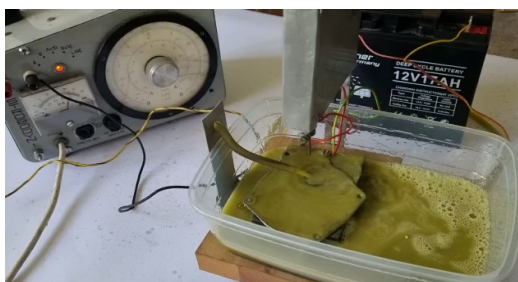


Fig. 4.9 Ansamblul EDM cu rupere de contact finalizat

După calculele aferente, s-a început construirea capului de lucru fig.4.8.2, înfășurarea bobinei, lipirea firelor și a condensatorului respectând schema electrică, urmând ca partea mobilă să fie prelucrată cu o gaură de trecere filetată pentru a introduce două șuruburi de prindere a electrodului. S-a folosit un electrod din cupru de  $\varnothing 2mm$  și lungimea de  $l=40 mm$ . Pentru a recircula lichidul dielectric s-a folosit o pompă auto, fig.4.8.3, introducând în interiorul ei un burete pentru filtrarea lichidului. Conectarea s-a efectuat la o baterie de 12V cu un întrerupător pentru pornirea și oprirea curentului. Suportul realizat este reglabil pe înălțime, iar carcasa capului de lucru confecționată din tablă.

## 5. Testarea echipamentului

Pentru a determina datele experimentale s-a folosit un cronometru, multimetru, aparat de măsură cu adâncime autonomă. Măsurătorile s-au efectuat la intervalul de timp prezentat în grafic (fig. 5.1). La

prelucrări, s-a folosit o tensiune de 48V, fiind măsurată o intensitate de 0,3A (fig. 5.2) conform cu valoarea din programul “COMSOL Multiphysics”.

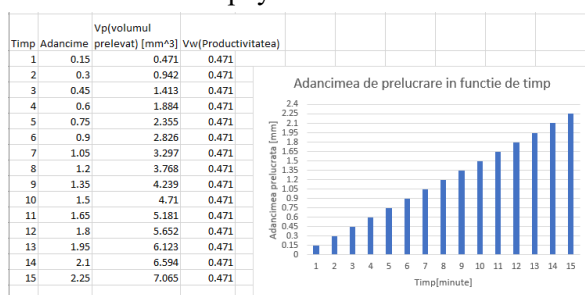


Fig. 5.1 Adâncimea de prelucrare în funcție de timp și Productivitatea



Fig.5.2 Intensitatea măsurată

## 6. Concluzii

Pe baza modelării 3D a echipamentului și crearea modelului bobinei electromagnetice de acționare a capului de lucru, s-a realizat fizic produsul, echipament portabil de electroeroziune cu rupere de contact. Echipamentul cuprinde pe lângă capul de lucru propriu-zis, partea de poziționare în raport cu piesa prelucrată, precum și subansamblul de alimentare cu lichid dielectric și filtrare.

Rezultatele modelării cu elemente finite în softul dedicat Comsol Multiphysics au permis dimensionarea capului de lucru și realizarea sa fizică. Datele experimentale obținute la testarea produsului la un curent de circa 0,3 A arată realizarea unor găuri cu o productivitate compatibilă cu regimurile de finisare de la procesele de electroeroziune uzuale cu impulsuri de relaxare, utilizate la astfel de regimuri.

Cercetările ulterioare vor aborda realizarea unui cap de lucru cu o bobină electromagnetică care să permită lărgirea gamei de regimuri prin creșterea curentului, corespunzător unor prelucrări de degroșare și semifinisare.

## 7. Bibliografie

- [1]. Rober P. Langlois (1997), *Build an EDM*, Village Press, Michigan, ISBN 0-94165352-8.
- [2]. Bucur, V.(1999), Contribuții la optimizarea tehnologiei de prelucrare dimensională prin Eroziune Electrică cu Rupere de Contact (E.E.R.C) cu obiect de transfer - banda metalică. Teză de doctorat - Universitatea „Lucian Blaga”. Sibiu.
- [3]. Ghiculescu, D.(2015), Ultrasonically Aided Electrical Discharge Machining, 58 p., Chapter in *Electrical Discharge Machining (EDM), Types, Technologies and Applications*, Editor, Jahan, M.P., ISBN 978-1-63438-591-6, Nova Publishers, New York, USA.
- [4]. Chen, J.; Gu, L.; He, G.(2020), A review on conventional and nonconventional machining of SiC particle-reinforcedaluminium matrix composites.*Adv. Manuf.* 8, 279–315.
- [5]. Sabyrov, N.; Jahan, M.P.; Bilal, A.; Perveen, A.(2019), Ultrasonic Vibration Assisted Electro-Discharge Machining(EDM)—An Overview, *Materials*.
- [6]. Nanu, D., Bucur, V.(1993), *Asupra oportunității utilizării benzii metalice ca obiect de transfer, la debitarea prin E.E.R.C.* Suceava: TEHNOMUS VII, vol IV.
- [7]. Torres, A., Puertas, I., Luis, C.J.(2015), Mechanical, Modelling of surface finish, electrode wear and material removal rate in electrical discharge machining of hard-to-machine alloys. *Precision Engineering*, 40, 33–45.
- [8]. K.G. Swift, J.D. Booker(2013), *MANUFACTURING PROCESS SELECTION HANDBOOK*, editura Butterworth Heimemann, Elsevier, Oxford.
- [9]. Ghiculescu, D.(2013), *Inginerie și fabricare asistată de calculator în domeniul prelucrărilor neconvenționale. Îndrumar de laborator*, Editura Printech, ISBN 978-606-521-971-7.