

EQUIPMENT FOR HYBRID TECHNOLOGY EDM-ECM+US

¹BOGOSLOV V. Vasile Ionuț, ²CRISTINA D. Ioana Mădălina, ³DUCA M. Anca-Valentina, ²IONESCU N. Roxana Silvia Elena, ¹RĂSCOL S. Viorica, ⁴GHICULESCU Liviu Daniel
Facultatea: Inginerie Industrială și Robotică, Specializarea: ¹INPN, ²IEMA, ³IPFP, ⁴Conducător științific, Anul de studii: II, e-mail: ancavalentina2202@gmail.com

ABSTRACT: *This paper presents the design concept of equipment for a hybrid technology that combines electrical discharge machining (EDM) and electrochemical machining (ECM) in an ultrasonic field (US). To this end, an analysis of competing products was carried out, playing a key role in both the conceptual and detailed design of the equipment. Potential buyers were identified, and an economic analysis model was also applied.*

KEYWORDS: *Hybrid technology, EDM, ECM, US.*

1. Introducere

Tehnologiile neconvenționale sunt tot mai utilizate în industrie datorită avantajelor lor. Procesele precum EDM, WEDM și ECM sunt aplicate pentru prelucrarea materialelor conductive, dure, rezistente la uzură și coroziune [1], [2]. EDM și WEDM aparțin prelucrărilor erozive termice, unde materialul este îndepărtat prin topire și vaporizare, dar au ca dezavantaj productivitatea scăzută [1]. ECM funcționează prin dizolvare anodică într-o celulă electrolitică, cu un control dificil al preciziei suprafeței [3]. Integrarea vibrațiilor ultrasonice (peste 20 KHz) în aceste procese aduce beneficii importante: creșterea productivității, precizie îmbunătățită și reducerea uzurii. La EDM, vibrațiile favorizează evacuarea materialului topit, iar la ECM intensifică procesul de dizolvare [3]. Lucrarea urmărește dezvoltarea unui echipament hibrid EDM-WEDM-ECM asistat ultrasonic, cu subsisteme diferite, dar integrate funcțional.

2. Analiza produselor concurente



Fig. 1 Holmarc ECDM, model HO-ECDM-0 [5]



Fig. 2 Sodick seria A-Series (AC600GH) [4]

Produsele de prelucrare hibridă ECM EDM, sunt rare și de obicei sunt folosite în aplicații foarte specializate, cum ar fi prelucrarea materialelor dure sau a pieselor cu forme complexe. Câteva exemple de echipamente și mașini care integrează ambele procese de prelucrare EDM și ECM sunt: Sodick, Holmarc, KRC, Stratasys, Electronica, Oerlikon, Schunk, Kennametal, GF Machining Solutions, Voxel Innovation, Mitsubishi Electric. Modelul HO-ECDM-0 de la Holmarc este un sistem de cercetare ce combină EDM și ECM pentru prelucrarea materialelor neconductoare, având control CNC, platformă XYZ și sursă de 300V pentru descărcări controlate [5]. Sodick oferă un exemplu de tehnologie hibridă prin seria A-Series (AC600GH), care combină jetul de apă cu procesul EDM cu fir pentru o prelucrare mai eficientă, în special în gestionarea căldurii și eliminarea particulelor topite [4].

3. Proiectarea conceptuală a unui echipament de prelucrare prin tehnologie hibrid EDM+US, WEDM+US și ECM+US, EDM-ECM+US

3.1. Definirea funcției generale

Un echipament care combină tehnologiile EDM, ECM și WEDM cu vibrații ultrasonice are ca scop prelucrarea eficientă a materialelor, îmbinând principiile acestor metode clasice cu avantajele ultrasunetelor, precum eliminarea bulelor de gaz, creșterea productivității și îmbunătățirea calității suprafeței prelucrate.

3.2 Evidențierea problemelor critice

Există câteva condiții de optimizare a parametrilor de lucru pentru a obține anumite performanțe tehnologice [6].

1. Stabilitatea procesului: amplitudinea oscilațiilor sculei (A_y) trebuie să fie mai mică decât interstițiul frontal (s_F) pentru a evita scurtcircuitele și uzura excesivă.

$$A_y < s_F \quad [\mu\text{m}] \quad (1)$$

unde: A_y este amplitudinea maximă a oscilațiilor longitudinale cu frecvență ultrasonică ale sculei

2. Maximizarea interstițiului: o tensiune de amorsare mai mare (u_0) permite descărcări în interstiții mai largi, favorizând evacuarea eficientă a particulelor.

3. Minimizarea energiei descărcării: în regimurile de finisare EDM, se recomandă impulsuri cu energie redusă (W_e).

4. Maximizarea numărului de impulsuri pe oscilație: un număr crescut de impulsuri comandate (nic) pe durata unei oscilații (T_{us}) crește eficiența prelucrării prin efectul microjeturilor cumulative.

5. Cavitația eficientă: puterea ultrasonică (P_{cUS}) trebuie să asigure presiunea acustică necesară pentru a depăși pragul de cavitație în lichidul dielectric.

6. Minimizarea presiunii acustice: în procesele de finisare, presiunea acustică trebuie optimizată pentru a reduce rugozitatea fără a compromite condiția de cavitație.

7. Rezonanța lanțului acustic: frecvența proprie a sistemului (f_0) trebuie să coincidă cu domeniul de frecvențe ultrasonice (f_{US}) furnizat de generator, asigurând eficiența vibrațiilor

8. Reducerea uzurii sculei-electrod: impulsurile cu durată mare (t_i) favorizează depunerea unui strat de carbon protector, reducând astfel uzura electrodului.

3.3 Evidențierea fenomenelor naturale aplicabile

a) Fenomene naturale aplicabile (W)EDM+US

Presiunea din bulele de gaz formate în jurul canalului de plasmă limitează secțiunea acestuia și influențează densitatea curentului (J), îmbunătățind eficiența procesului EDM. Dinamica bulelor urmează patru etape: presiune internă ridicată, scădere treptată a presiunii, cădere bruscă și apoi creștere accentuată a presiunii [7]. Aceste faze corespund variațiilor uzurii volumetrice, influențate de polaritatea impulsurilor. Depunerea unui strat de carbon pe electrod, caracteristică lichidelor dielectrice hidrocarburice, protejează inițial scula, dar uzura crește în timp, în funcție de parametrii procesului. În modurile de finisare de scurtă durată (10–15 min), s-a observat chiar uzură volumetrică negativă. În ceea ce privește vibrațiile ultrasonice, perioada de oscilație (T_{US}) include două semiperioade cu efecte cavitative distincte asupra uzurii (fig. 3,4): în prima semiperioadă (0–25 μs la 20 kHz), are loc comprimarea dielectricului și apar fenomene capilare care influențează transferul de material.

b) Fenomene naturale aplicabile ECM+US

În procesul ECM clasic, variația decalajului de lucru (dx/dt) este determinată de diferența dintre viteza de avans a sculei (s) și viteza de dizolvare anodică (v_p). Acest decalaj este influențat de tipul lichidului electrolic, materialul piesei și diferența de potențial (ΔU), care este în general sub 24 V pentru lichide bine conductoare, rezultând densități de curent sub 1 A/cm² [7]. Procesul de debavurare ECM este unul static, bazat pe modelul lui Tipton (fig. 5), care presupune conductivitate constantă a lichidului pe axa OX, electrozi la același potențial și aplicarea legii lui Ohm. Prelucrarea ECM asistată ultrasonic (ECM+US) aduce un avantaj semnificativ prin transmiterea vibrațiilor sculei în electrolit, împiedicând formarea stratului pasiv pe piesă și crescând astfel eficiența procesului de îndepărtare a materialului.

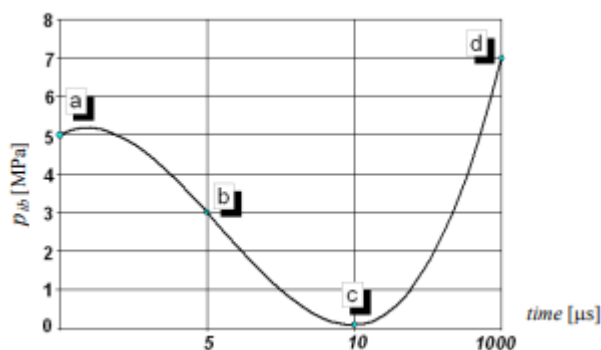


Fig. 3 Variația presiunii în interiorul bulei de gaz pentru un timp de puls de 10 μ s, finisarea EDM [7]

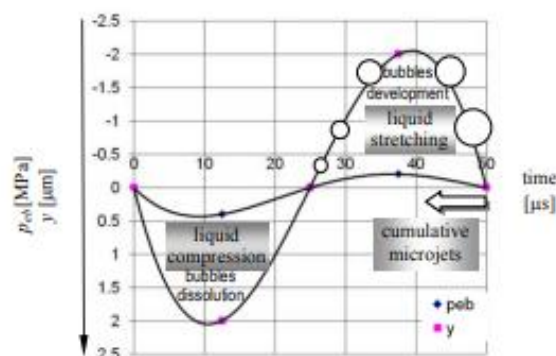


Fig. 4 Fenomenele cavitative induse ultrasonic la EDM+US [7]

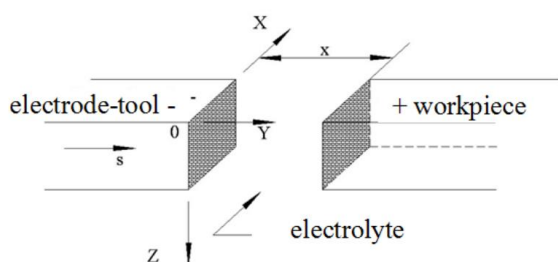


Fig. 5 Modelul lui Tipton [7]

Frecvențele ultrasonice pot induce cavitație în lichidul electrolic, depășind pragul de presiune necesar pentru acest fenomen [8]. De asemenea, vibrațiile sculei determină un efect de pompare datorită incompresibilității electrolitului: în timpul oscilațiilor verticale ale electrodului, lichidul este periodic aspirat și evacuat din spațiul de prelucrare, ceea ce contribuie la reîmprospătarea continuă a zonei active și la creșterea eficienței procesului.

c) Prelucrarea EDM-ECM+US simultană

Pe lângă prelucrarea ECM clasică la tensiuni mai mici de 24 V există și posibilitatea prelucrării la tensiuni înalte mai mari de 80V, care oferă avantajul utilizării unor soluții de electrolit cu concentrații reduse, ieftine, ecologice, ușor de manipulat și preparat precum soluția de NaCl. Mecanismul de prelucrare se caracterizează prin prezența la suprafața piesei a unui înveliș stabil de vapori și gaze, care separă piesa de electrolit și conduce la desfășurarea unor reacții chimice și electrochimice intense între materialul piesei (anod) și vaporii de electrolit – efectul Wien. [9] Nu se mai respectă legile electrolizei ale lui Faraday, specifice prelucrării ECM clasice [10].

4. Proiectarea detaliată a echipamentului EDM+US, ECM+US și WEDM+US

În figura 6 este prezentat modelul preliminar al echipamentului de prelucrare prin EDM+US, ECM+US și WEDM+US. Pe masa mașinii 1, prevăzută cu canale T sunt fixate cuva cu lichid dielectric 2 pentru prelucrarea EDM+US și WEDM+US și cuva cu lichid electrolic 3, pentru prelucrarea ECM+US. Lichidul dielectric utilizat are vâscozitate mai mică, adecvată pentru WEDM. Filtrarea lichidului de prelucrare din cele două cuve este realizată într-un ciclu continuu, prin evacuarea lichidului cu particule prin tuburile 4, fiind filtrat prin cele două site (fig. 7-1,2), una prevăzută cu orificii de 0,2 mm iar cealaltă prezintă orificii de 0,02 mm, iar pentru WEDM lichidul trece printr-o ramă cu rășină pentru deionizarea apei (fig 7-3). Pentru prelucrări de finisare și superfinisare se poate adăuga o a treia filtrare cu grad de finețe mai mare 0,002. Lichidul filtrat este transportat din cuvele mobile 5 cu ajutorul pompelor 6 prin tuburile 7 înapoi în cuvele de lucru. Debitul de lichid este pornit respectiv oprit cu ajutorul robinetilor 8, iar presiunea lichidului de intrare este măsurată cu ajutorul manometrelor 9.

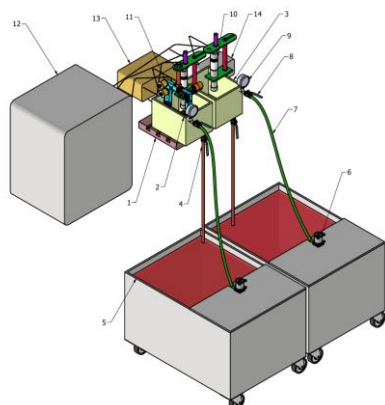


Fig. 6 Ansamblu echipament de tehnologie hibrid de (W)EDM-ECM+US

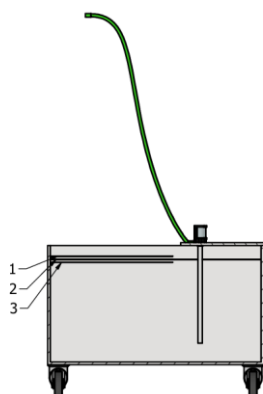


Fig. 7 Subansamblu cuvă mobilă

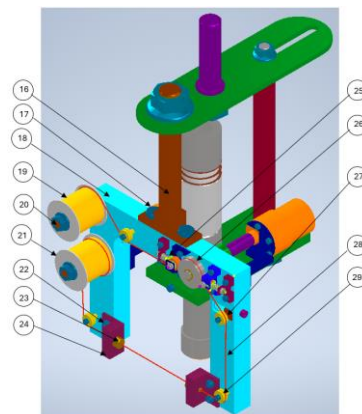


Fig. 8 Ansamblu echipament WEDM+US, vedere izometrică

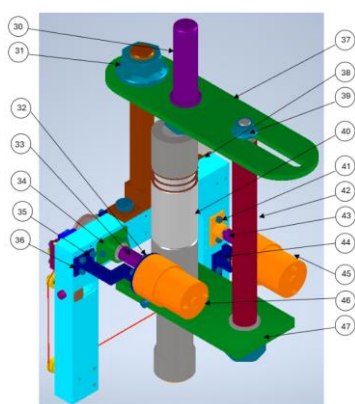


Fig. 9 Ansamblu echipament WEDM+US, vedere izometrică

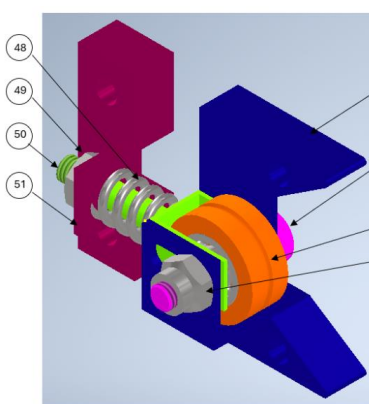


Fig. 10 Sistem de presare electrod filiform

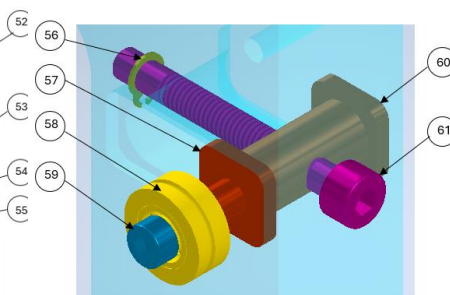


Fig. 11 Ansamblu de tensionare electrod filiform

Prelucrările se realizează în câmp ultrasonic prin intermediul lanțului ultrasonic 10 format din bucsă reflectantă, plăcuțe piesoceramice, flanșa nodală, bucsă radiantă, asamblate printr-un șurub locaș hexagonal, concentratorul, în capătul căruia se află electrodul de cupru. Lanțul US este prins pe capul de lucru al mașinii EDM printr-o tijă. Generatorul EDM 12 dă impulsuri de tensiune, care produc descărcări succesive (impulsuri de curent), generatorul ECM 13 (sursa de curent continuu), generatorul US 14, care dă oscilații de tensiune mai mari de 1000V cu frecvență US >20000Hz.

Totodată, în figurile 8,9 se remarcă echipamentul de tăiere 11 prin electroeroziune cu electrod filiform integrat cu un lanț ultrasonic. Componenta electroerozivă și ultrasonică se prind de placa suport 37 prin intermediul coloanelor 42 și 16 și a piulițelor hexagonale flanșate M20 31. Lanțul ultrasonic se poate transla în lungul canalului din placa suport 37. Ansamblul se montează pe capul de lucru al mașinii EDM prin coloana Ø20 cu nr. de poziție 30.

Pe cadrul suport 18 se prind celelalte repere ale echipamentului WEDM. Electrocul filiform este derulat de pe bobina de alimentare 19 și adus în zona de lucru prin rola de frânare 26 antrenată de motorul electric de frânare 46 cu manșonul de cuplare 33. Electrocul filiform este presat pe rola de frână cu ajutorul sistemului de presare 25.

Tensionarea firului electrod, cu grosimi 0,1-0,5 mm, se face prin sistemul de tensionare 27. Traectoria firului electrod este conturată cu rolele de deviere 29. Cele două corpuri suport 24 atașate în capătul deschis al cadrului suport, permit filetarea ghidajelor 23 cu orificiu prin care trece firul erodant. Construcția ghidajului permite alegerea flexibilă a dimensiunii electrodului filiform. Bobina de colectare 21 trage electrodul filiform 28 uzat cu motorul electric 45 prin arborele cu profil de cuplare directă 43 montat în corpul de susținere 41.

În fig. 10 se expune sistemul de presare format dintr-un bloc de oprire 51 și un suport cu canal de glisare 52 pentru suportul de rolă cu brațe paralele 50 care încorporează rola de presare 54, blocul glisant cu filet 53 și piulița cu autoblocare 55. Forța de presare dată de arcul 48 este controlată cu ajutorul piuliței hexagonale 49.

În fig. 11 se prezintă un întinzător mecanic de translație cu reglaj prin înșurubare, compus din corpul de ghidare culisant 60, blocul mobil cu ax 57 și rola de tensionare 58, strânse prin șurubul de fixare 59. Șurubul de reglaj 61 controlează forța de întindere a electrodului filiform, înfiletându-se în corpul de ghidare culisant 60 și fiind blocat cu inelul de siguranță 56 în corpul suport 18.

5. Stabilirea cerințelor potențialilor clienți

Pentru a stabili cerințele potențialilor clienți în vederea dezvoltării unui echipament industrial hibrid de prelucrare electrochimică și electro-erozivă, cu sau fără asistare ultrasonică, s-a recurs la consultarea unor experți din organizații relevante, prin aplicarea unui chestionar dedicat. Unul dintre aspectele analizate a fost intenția experților de a investi în tehnologii moderne, inclusiv neconvenționale. Conform figurii 12, jumătate dintre respondenți consideră investiția necesară sau oportună, iar cealaltă jumătate nu o consideră prioritară, invocând limite bugetare sau alte priorități. Deși 57,1% spun că echipamentele actuale sunt insuficiente, doar 50% intenționează să achiziționeze altele, semnalând un decalaj între nevoie și posibilitatea reală de investiție. De asemenea, doar 21,4% dintre respondenți folosesc tehnologii neconvenționale hibride (Fig. 13), evidențiindu-se o adoptare redusă. Deși există interes, aplicarea concretă și investițiile sunt încă limitate, posibil din cauza constrângerilor bugetare și a incertitudinilor economice.

10. În viitorul apropiat intenționați să achiziționați noi echipamente pentru 11. Utilizați în activitatea dvs. prelucrări hibride/combinat (de exemplu EDM+US, EDM + ECM, etc.)?

14 răspunsuri

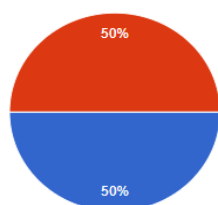


Fig. 12. Intenția de a achiziționa echipamente noi pe viitor

14 răspunsuri

Da
Nu

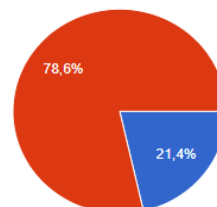


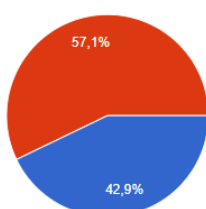
Fig. 13. Utilizarea prelucrărilor hibride în activitatea curentă

În ceea ce privește dotările tehnice pentru prelucrări neconvenționale, 42,9% dintre experți le consideră adecvate, iar 57,1% spun că nu sunt suficiente (Fig. 14), indicând o nevoie de echipamente suplimentare sau mai performante. O altă întrebare a vizat identificarea bugetului acceptabil pentru achiziția unui echipament hibrid. Majoritatea respondenților (85,8%) au indicat un interval de 10.000–20.000 lei (Fig. 15), conturând un preț-țintă clar și rezonabil.

În general, răspunsurile la întrebări evidențiază o percepție constant favorabilă față de un echipament hibrid adaptabil, cu beneficii clare în reducerea costurilor (achiziții și producție), diversificarea producției, creșterea productivității, formarea didactică și sprijinul pentru cercetare. Foarte importante sunt răspunsurile pozitive pentru utilizarea didactică și pentru posibilitățile de extindere a gamei tipo-dimensionale de prelucrare, ceea ce ar putea justifica investiții în astfel de echipamente în universități, centre de inovare și IMM-uri. Respondenții evaluează echipamentul hibrid ca fiind util și versatil în multiple contexte industriale, educaționale și științifice. Printre cele mai importante răspunsuri se numără reducerea costurilor cu achizițiile de noi echipamente, diversificarea gamei de produse prelucrate, utilitatea didactică universitară, creșterea productivității și sprijinul pentru cercetare. Astfel, respondenții manifestă un interes real și justificat față de un echipament hibrid, atât în contextul aplicațiilor industriale, cât și în cel didactic și de cercetare.

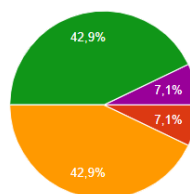
8. Echipamentele actuale asigură necesarul de prelucrări prin procedee17. Care este prețul maxim acceptat de dvs. pentru un asemenea echipament?

14 răspunsuri



14 răspunsuri

Da
Nu



Sub 10.000 lei
Între 10.000-15.000 lei
Între 15.000-20.000 lei
Între 20.000-25.000 lei
-

Fig. 14. Asigurarea necesarului de prelucrări prin procedee neconvenționale

Fig. 15. Prețul acceptat de respondenți

6. Comercializarea produsului

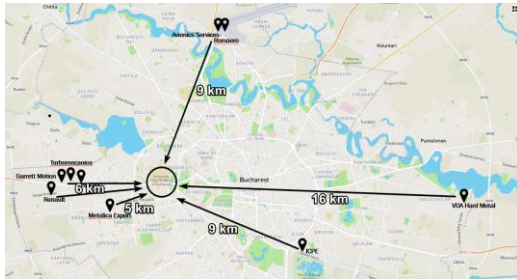


Fig. 16 Harta Bucureștiului și posibili cumpărători

Plasarea produsului va fi făcută doar pe bază de comandă, și în funcție de nevoile cumpărătorului [11]. Cererea de ofertă va fi plasată direct către producător, iar în funcție de nevoia clientului oferta va fi făcută. În acest mod, cumpărătorul are la dispoziție trei tipuri de prelucrare prin electroeroziune: EDM, WEDM, ECM. Potențialii cumpărători din zona București se regăsesc în Fig. 16.

7. Valorificarea drepturilor de proprietate intelectuală



Fig. 17. Marca propusă

Drepturile de proprietate intelectuală, în special cele industriale, sunt foarte importante pentru protejarea soluției proiectate, creșterea valorii companiei care va comercializa produsul, consolidarea brandului și obținerea unui avantaj competitiv prin exclusivitate, licențiere și atragerea de investiții. Dintre cele mai importante sunt brevetarea și înregistrarea unei mărci. Marca propusă de către echipa de dezvoltare este prezentată în figura 17.

8. Stabilirea prețului și profitului de echilibru utilizând teoria jocurilor non-cooperative

Pentru stabilirea prețului final de vânzare în condiții de concurență, se poate aplica Teoria Jocurilor Non-Cooperative, care modelează interacțiunile strategice dintre firme [12]. Această teorie presupune jucători raționali care își bazează deciziile pe anticiparea comportamentului altora, fără posibilitatea încheierii legale de contracte între părți, cooperarea apărând doar ca echilibru strategic (Aguirre, 2021). Aplicarea teoriei este justificată de structura oligopolistă a pieței vizate, cu un număr mic de firme ce influențează semnificativ piața, iar răspunsul strategic optim al companiei poate fi determinat pe baza echilibrului Cournot-Nash [12], scenariu plauzibil în contextul evoluției companiei pe piața prelucrărilor neconvenționale, în special pentru matrițe de injecție. Pentru a aplica această teorie a fost calculat costul de producție și prețul pentru o bucată și, respectiv, costul de producție și prețul pentru cazul în care se livrează simultan 4 bucăți, astfel: 1 bucată: cost fabricare 9700 lei/buc, 15 % profit, rezultă preț $p_1 = 11155$ lei/buc; 4 bucăți: cost producție 5207,9 lei/buc, profit 100%, rezultă preț $p_2 = 10416$ lei. Pe baza acestor date, utilizând coordonatele (1; 11155) și (4; 10416), cu ajutorul unei aplicații specifice [13] a fost determinată funcția inversă a cererii, astfel:

$$p(x) = -246,33x + 11401,33$$

(2)

Pentru determinarea prețului de echilibru se consideră următoarele condiții.

- Context:** a. Piață deservită de n firme; b. Produse omogene - din punctul de vedere al consumatorilor, bunurile produse de toate firmele sunt perfect substituibile; c. Competiție prin cantitate; d. Alegere simultană - cele n firme trebuie să-și aleagă outputurile simultan, fără a cunoaște alegerile concurenților.
- Forma normală a jocului:** $i = 1, 2, \dots, n$ (Firme); Output-ul fiecărei firme $x_i \geq 0$, adică $x_i \in [0, \infty)$, $i = 1, 2, \dots, n$; Profitul firmei i (firma noastră) corespunzător combinației de strategii (x_i, x_{-i}) este:

$$\Pi_i(x_i, x_{-i}) = p(x_i + x_{-i}) \cdot x_i - C_i(x_i) \quad (3)$$

costurile variabile.

Având în vedere profilul strategiei $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ care mai poate fi scris (x_i, x_{-i}) , notăm $\Pi_i(x_i, x_{-i})$ profitul companiei noastre asociat cu orice combinație de strategii în care compania noastră produce x_i sisteme iar alte firme produc împreună x_{-i} sisteme, fiind nerelevant pentru firma noastră cum este distribuit totalul x_{-i} între celelalte $n-1$ firme. În jocurile oligopol de tip Cournot se spune [12] că $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \equiv (x_i^*, x_{-i}^*)$ este un echilibru Cournot-Nash dacă

$x_i^* = f_i(x_{-i}^*)$, $(\forall) i, i = 1, 2, \dots, n$, unde $f(x_{-i}^*)$ este cea mai bună funcție de răspuns la toate combinațiile și strategiile celorlalte firme care au output-ul total x_{-i} . Folosind relația (2) și relația:

$$\Pi_i(x_i, x_{-i}) = [a - b \cdot (x_i + x_{-i})] \cdot x_i - (d + c \cdot x_i)$$

(4)

obținem

$$\Pi_i(x_i, x_{-i}) =$$

$$[-246,33 (x_i + x_{-i}) + 11401,33] x_i - 5207,9 x_i = -246,33 x_i^2 - 246,33 x_i x_{-i} + 6193,43 x_i$$

(5)

Pe baza relației (3) se pune problema maximizării profitului, respectiv

$$\frac{\partial \Pi_i(x_i, x_{-i})}{\partial x_i} = a - c - 2b x_i - b x_{-i} = 0$$

(6)

$$\frac{\partial \Pi_i(x_i, x_{-i})}{\partial x_i} = -492,66 x_i - 246,33 x_{-i} + 6193,43 = 0$$

(7)

Pe baza condiției de echilibru Cournot-Nash rezultă

$$x_i = f_i(x_{-i}) = \frac{a-c-bx_{-i}}{2b}$$

(8)

$$x_i = f_i(x_{-i}) = \frac{6193,43-246,3x_{-i}}{492,66}$$

(9)

Într-un echilibru simetric $x_i^* = \bar{x}^*$ și $x_{-i}^* = (n-1)\bar{x}^*$, $i = 1, 2, \dots, n$, astfel încât condiția de echilibru devine:

$$\bar{x}^* = f_i((n-1)\bar{x}^*) = \frac{a-c-b(n-1)\bar{x}^*}{2b}$$

(10)

$$\bar{x}^* = f_i(3\bar{x}^*) = \frac{6193,43-246,3 \cdot 3 \cdot \bar{x}^*}{492,66}$$

(11)

de unde deducem producția simetrică de echilibru Cournot-Nash a fiecărei firme

$$\bar{x}^* = 5,02 \cong 5 \text{ produse.}$$

Output-ul total de echilibru, pentru toate cele 4 firme va fi:

$$x^* = n\bar{x}^* = 4 \cdot 5 = 20 \text{ produse.}$$

și utilizând relația (2), prețul de echilibru *Cournout* va fi

$$p^* = p(x^*) = -246,33 \cdot 20 + 11401,33 = 6474,73 \text{ lei/buc}$$

Profitul de echilibru pentru o bucată va fi:

$$\Pi_i = p^* - c_i = 6474,73 - 5207,9 = 1266,83 \text{ lei/buc}$$

Folosind relația (4) determinăm profitul total de echilibru pentru firma i (compania noastră):

$$\Pi_i(x_i, x_{-i}) = [-246,33 \cdot 20 + 11401] \cdot 5 - 5207,9 \cdot 5 = 6334,15 \text{ lei}$$

$$(\text{sau } \Pi_i(x_i, x_{-i}) = 1266,83 \cdot 5 = 6334,15 \text{ lei})$$

ceea ce corespunde unui profit de $6474,73/5207,9 = 1,24$ (24%)

9. Concluzii

Contribuțiile lucrării la tema de cercetare abordată constau în: dezvoltarea unui echipament de prelucrare hibrid EDM-WEDM-ECM + US, format din subsisteme care au mecanisme diferite de prelucrare. În acest fel s-au identificat produse concurente cu performanțele aferente, s-au elaborat elemente de proiectare conceptuală a echipamentului de tehnologie hibrid (funcții generale și secundare), s-au descris fenomenele naturale aplicabile proceselor aferente tehnologiei hibrid (atât succesive cât și simultane). S-a proiectat o varianta preliminară a echipamentului de tehnologie hibrid care poate fi implementat pe o mașină clasică EDM. Au fost identificați câțiva potențiali clienți din domeniile auto, aerospațial, fabricării de matrițe, electronic și medical. Pentru calcularea costului de realizare/fabricare a sistemului hibrid EDM-ECM-US, în raport cu activitățile necesare fabricării celor trei subsisteme, a fost aleasă metoda ABC (Activity Based Costing) care se bazează pe determinarea costului fiecărui grup de activități iar pentru determinarea costului fiecărui subsistem, s-a ales metoda cost directă care se bazează pe determinarea componentelor de cost (materiale, manopera, cheltuieli generale, amortizare etc.). Pentru a stabili prețul final de vânzare în condiții de concurență, a fost aplicată teoria Jocurilor Non-Cooperative conform căreia, în condiții de oligopol, s-a stabilit un preț de

vânzare de 6.474,73 RON pe bucată, la un cost de fabricare de 5.207,9 RON pe bucată, cu un profit de 1.266,83 RON pe bucată, ceea ce corespunde unui profit de 24 %

10. Bibliografie

- [1]. Abu Zeid, O.A. (1997). On the effect of electro-discharge machining parameters on the fatigue life of AISI D6 tool steel. J. Mater. Process. Technol., vol. 68, p. 27-32
- [2]. Merdan, M.A.E.R., Arnell, R.D. (1991). The surface integrity of a die steel after electro-discharge machining, 2. residual stress distribution. Surf. Eng., vol. 7, p. 154-158
- [3]. Balan, A.S.S.; Giridharan, A. "A progress review in wire electrical discharge machining process." Int. J. Autom. Mech. Eng. 2017, 14, 4097–4124
- [4] *** Sodick pag available at , <https://sodick.eu/products/wire-edm/alc600gh> accessed at: 04.05.2025
- [5] *** Holmarc Available at https://www.holmarc.com/electrochemical_discharge_machining_system.php, accessed at: 04.05.2025
- [6]. Ghiculescu, D. (2021), "Computer-assisted engineering and manufacturing in the field of unconventional machining.", Course in Romanian, Production Engineering Dept., University Politehnica Bucharest, Romania.
- [7]. Ghiculescu, D. (2016), "Contributions to Development and Innovation of Ultrasonically Aided Nonconventional Machining", Habilitation Thesis, Production Engineering Dept., University Politehnica from Bucharest, Romania.
- [8]. Shen, Z. Y., Tsui, H. P., (2021), "An Investigation of Ultrasonic-Assisted Electrochemical Machining of Micro-Hole Array", Dep. of Mechanical Engineering, National Central University, Taoyuan 32001, Taiwan.
- [9]. Ghiculescu, D. (2021), „Advanced Electrochemical Discharge Machining Methods”, Course in Romanian, Production Engineering Dept., University Politehnica from Bucharest, Romania.
- [10]. Elman C. Jameson. (2001). "Electrical Discharge Machining". Edo Society of Manufacturing Engineers Dearborn, Michigan
- [11] *** ONA for aeronautics & turbine industries, Available at [ONA EDM: EDM Machines for aeronautics and turbine sector](#), accessed at: 10.05.2024
- [12]. *** Aguirre Iñaki, Notes on Market Power and Strategy, Department of Economic Analysis, University of the Basque Country, 2020 – 2021, Available at <https://www.ehu.eus/iaguirre/>, accessed 05.09.2024
- [13] *** Desmos. Scientific calculator*** <https://www.desmos.com/calculator/md6buy4efz>, accesat Februarie 2025