

ECHIPAMENT MODULAR PENTRU DEBAVURARE ELECTROCHIMICĂ

MODULAR EQUIPMENT FOR ELECTROCHEMICAL DEBURRING

ENE¹ Gabriela-Marina¹, COȚOFANĂ¹ Alexandra-Daniela¹

¹Facultatea: Ingineria și Managementul Sistemelor Tehnologice, Specializarea:¹ INPN, Anul de studii:1,
e-mail: gabriela.ene4427@gmail.com

Conducător științific: Prof.dr.ing. **Daniel-Liviu GHICULESCU**
Prof.dr.ing. **Niculae Marinescu**

ABSTRACT

The paper deals with the current state of the electrochemical deburring process. The main concerns in the deburring process are to predict and calculate the size, shape of the burrs, uniformly remove them and create a process or product that minimizes and controls the size of the burrs. It is desirable to make a modular electrochemical deburring equipment for obtaining the most qualitative products in a shorter time. Thus, this paper will provide information about the process and the existing equipment on the market, patents, and will be developed in the dissertation thesis. A partial concept for the deburring equipment will also be presented.

CUVINTE CHEIE: debavurare electrochimică, dispozitiv modular, ECD

1. Introducere

De-a lungul timpului, performanțele echipamentelor tehnologice au evoluat, permițând obținerea unor piese cât mai precise și cu un cost de fabricare cât mai redus. Totodată, complexitatea pieselor realizate a crescut, fapt care a condus la îmbunătățirea procedeelor folosite, obținerea procedeelor hibrid, dezvoltarea de noi scule și de noi echipamente. Debavurarea este un procedeu neproductiv, care trebuie minimizat cât mai mult posibil. Aceasta include toate operațiile folosite pentru a elimina bavurile, de la debavurarea cu ajutorul operatorului uman până la finisarea suprafețelor folosind roboți CNC. Principalele categorii de debavurare sunt [11]: debavurare manuală, debavurare mecanică, debavurare folosind roboți industriali, debavurare chimică/termică și *debavurare electrochimică*.

2. Stadiul actual

Debavurarea electrochimică este o prelucrare statică. Prelucrarea electrochimică (ECM) folosește principiul Faraday pentru a îndepărta metalul din piesa de prelucrat și se bazează pe fenomenul de electroliză. Această prelucrare constă în înlăturarea bavurilor apărute în urma prelucrărilor convenționale, prelevarea de material realizându-se prin dizolvare anodică. Schema de principiu este ilustrată în *figura 1*.

Se utilizează polaritate negativă.. În interstițiul de lucru este recirculat un electrolit, la o presiune și o viteză prestabilite. Fluxul de electrolit permite crearea contactului electric și eliminarea bavurilor din zona de lucru. Bavurile sunt îndepărtate de pe piesă prin acțiunea electrochimică, generând o rotunjire a muchiiilor ascuțite. În general, în practica industrială, electrolizii cel mai des utilizați sunt de tipul soluțiilor apoase de clorură de sodiu (NaCl) și azotat de sodiu (NaNO₃), alegerea tipului și concentrației făcându-se în funcție de natura materialului prelucrat.

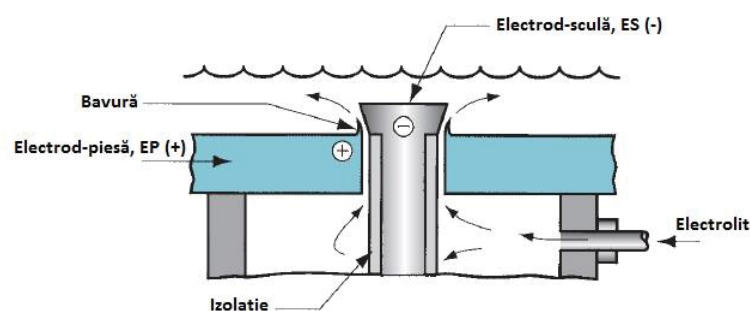


Fig. 1 Schema de principiu a debavurării electrochimice [8]

Regimurile electrice de prelucrare electrochimică influențează direct [1], parametrii precum productivitatea, precizia de formă și dimensională, precum și rugozitatea suprafețelor realizate. La operația de debavurare electrochimică se recomandă a se utiliza densități de curent între 0,3 și 0,5 A/cm². Tensiunile folosite pot avea valori cuprinse între 8 și 24 V [1], în funcție de dimensiunile suprafeței care se va prelucra, dar și de materialele din care sunt confecționate electrodul-sculă și sau electrodul-piesă.

Procesul de debavurare electrochimică se desfășoară în echipamente staționare (confecționate din materiale electro-izolatoare) care au în componență următoarele module:

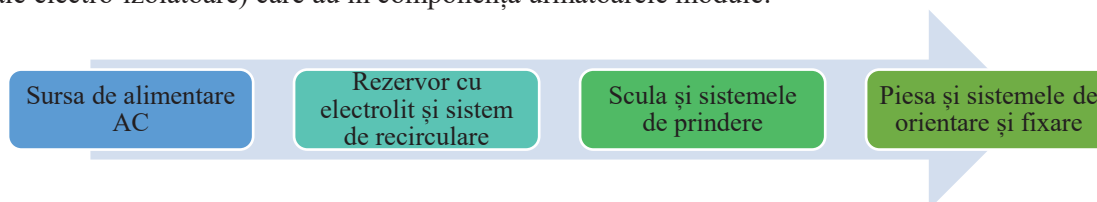


Fig. 2 Echipamente debavurare electrochimică-Componență module

Dispozitivele utilizate la debavurarea electrochimică au – de regulă – o construcție specifică cazului concret de prelucrare (Dispozitiv de debavurare a rotoarelor de generatoare, Dispozitiv de debavurare roți dințate cu dantură exterioară șamd). Este necesară dezvoltarea unui echipament modular pentru debavurarea electrochimică pentru a putea prelucra o diversitate de suprafețe, de la suprafețe exterioare la interioare, intersecție de găuri, dinții roților dințate și alte repere.

3. Marketing Strategic

Împărțirea pieței produsului în segmente de piață are la bază particularitățile în nivelul exigențelor față de calitatea și structura ofertei, în afirmarea și manifestarea cererii din partea cumpărătorilor, în frecvența și mărimea medie a cumpărăturii. Funcțiile echipamentului (funcția generală și funcțiile principale) dezvoltat sunt sintetizate în figura 3.

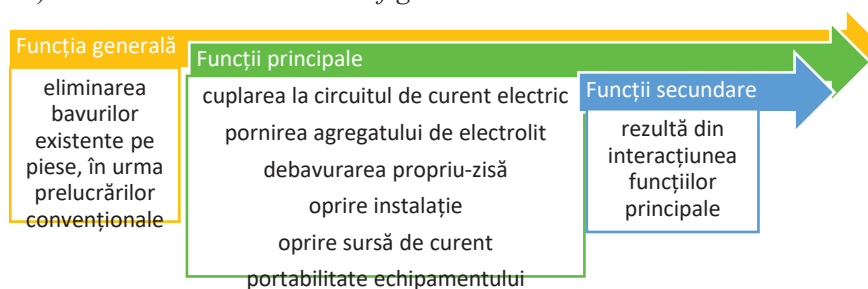


Fig. 3 Funcția generală și cele principale ale echipamentului dezvoltat

a. Portofoliul de nevoi ale clienților

- N1: Nevoia de creștere a calității suprafeței prelucrate.
- N2: Nevoia de creștere a productivității prelucrării.
- N3: Nevoia de creștere a preciziei de prelucrare.

b. Oportunități / Produse

Produsele care satisfac total sau parțial aceste nevoi sunt reprezentate de echipamente de prelucrare electrochimică, întrucât debavurarea este o prelucrare statică. Șase echipamente reprezentative sunt analizate în Matricea Clientului. Oportunitățile de piață pentru echipamentul modular dezvoltat sunt reprezentate de numărul mic de firme care comercializează echipamente pentru prelucrările electrochimice, piața-țintă bine delimitată de firme din industria auto, transporturilor, energetică și aerospațială.

c. Clienții pentru desfacerea produselor

Selectarea clienților presupune identificarea clienților efectivi și potențiali care ar putea să beneficieze de echipamentul pentru debavurare electrochimică.

Utilizarea echipamentului este adresat următorului tip de clienți:

1. Întreprinderile care utilizează prelucrarea prin debavurare electrochimică
2. Instituții de cercetare și învățământ (Studenti, profesori-utilizare rară, Laboratoare – utilizare frecventă).

- Matricea de selectare a clienților

Tabelul 1. Matricea de selecție a clienților

| | Utilizatori de vârf | Utilizatori medii | Utilizatori Ocazionali | Centre |
|------------------------|---------------------|-------------------|------------------------|--------|
| Categorie 1 de clienți | 7 | 2 | 2 | 1 |
| Categorie 2 de clienți | 1 | 6 | 2 | |
| Categorie 3 de clienți | 2 | 2 | 5 | |

Metoda sondajului este o metodă de culegere de date primare ce are la bază un chestionar structurat și se realizează asupra unui eșantion de persoane, rezultatul fiind reprezentativ la nivelul colectivității studiate. În cadrul proiectului de disertație, sondajul va fi aplicat unui eșantion de 30 de persoane: 23 -chestionar online, 7-chestionar aplicat personal. Chestionarul este realizat în <https://docs.google.com/forms> [15] și cuprinde 9 întrebări închise și deschise, cu tipologiile: utilizări tipice, aspecte plăcute și neplăcute, propuneri de îmbunătățire, fiind adresat atât firmelor ce își desfășoară activitatea în domeniu, cât și instituțiilor de învățământ superior.

4. Matricea Clientului

Matricea clientului este un instrument utilizat la elaborarea strategiei pentru obținerea avantajului competitiv durabil (ACD). Variabilele matricei clientului sunt prețul perceput și valoarea de utilizare percepută de client – VUP. S-a utilizat metoda Matricea Clientului [2], pentru evaluarea produsului echipament pentru debavurarea electrochimică furnizat de 6 firme constructoare (v. Figura 6), trecându-se prin toate etapele specifice metodei.



Fig. 6 Selecție echipamente ECD [9], [10], [11], [12], [13], [14]

1. Segmentarea pieței

Echipamentele se adresează unor întreprinderi IMM din România; acestea vor utiliza modulul de debavurare pe echipamentele de prelucrare electrochimică existente. Întreprinderile apelează la prelucrări neconvenționale, de debavurare electrochimică a bavurilor apărute în urma prelucrărilor convenționale;

2. Identificarea caracteristicilor de calitate (dimensiunile VUP)

Utilizatorii sunt interesați de următoarele caracteristici ale produsului:

- Dimensiuni de gabarit
 - (1) lungimea mașinii (L);
 - (2) lățimea mașinii (l)
 - (3) înălțimea mașinii (h);
- Cursele de lucru
 - (6) cursa pe axa Z (kN)
 - (7) precizia pe Z (mm)
- Alte caracteristici
 - (14) putere electrică (kW);
 - (15) greutatea maximă a piesei de prelucrat (kg)
 - (16) greutatea maximă al electrodului (kg)
 - (17) rugozitatea obținută (μm)
- Dimensiunile mesei de lucru
 - (4) lungimea mesei (Lm);
 - (5) lățimea mesei (lm);
- Regimul de lucru
 - (8) presiune (MPa)
 - (9) volumul cuvei de electrolit (l)
 - (10) soluția de electrolit
 - (11) sistem de management al electrolitului (y-1/n-0)
 - (12) capacitate de debavurare (A)
 - (13) timp minim de impuls (μs)

3. Stabilirea ponderilor caracteristicilor de calitate

Dat fiind faptul că utilizatorii sunt interesați de precizia și calitatea suprafețelor prelucrate, s-au acordat ponderi p_i mari caracteristicilor (10), (11), (12) și ponderi mici altor caracteristici (1), (2).

Tabelul 3. Matricea Clasică a Clientului

| Nr. | Caracteristica | A | | B | | C | | D | | E | | F | | Pi,med (%) |
|-------|--|-------------|------|---------------|------|---------------|------|-------------|------|---------------|------|---------------|------|------------|
| | | Xi | Xir | Xi | Xir | Xi | Xir | Xi | Xir | Xi | Xir | Xi | Xir | |
| 1. | L (mm) | 1000 | 1,00 | 3180 | 0 | 3540 | 0,16 | 2100 | 0,50 | 1500 | 0,77 | 1200 | 0,91 | 4 |
| 2. | l (mm) | 500 | 1,00 | 2120 | 0,12 | 2350 | 0 | 2000 | 0,19 | 2200 | 0,08 | 1500 | 0,46 | 4 |
| 3. | h (mm) | 1000 | 1,00 | 3080 | 0,17 | 2735 | 0,31 | 2100 | 0,56 | 3500 | 0,00 | 1900 | 0,64 | 4 |
| 4. | Lm(mm) | 300 | 0,07 | 870 | 0,60 | 1300 | 1,00 | 220 | 0,00 | 1250 | 0,95 | 250 | 0,03 | 5 |
| 5. | lm (mm) | 300 | 0,05 | 1200 | 1,00 | 1060 | 0,85 | 600 | 0,37 | 800 | 0,58 | 250 | 0,00 | 5 |
| 6. | Z (kN) | 25 | 0,00 | 80 | 1,00 | 70 | 0,82 | 40 | 0,27 | 50 | 0,45 | 25 | 0,00 | 5 |
| 7. | Pr Z (mm) | 0,01 | 0,00 | 0,001 | 1,00 | 0,001 | 1,00 | 0,01 | 0,00 | 0,001 | 1,00 | 0,01 | 0,00 | 5 |
| 8. | P min (bar) | 6 | 0,00 | 6 | 0,00 | 6 | 0,00 | 5 | 1,00 | 6 | 0,00 | 5 | 1,00 | 4 |
| 9. | V cuvă (l) | 100 | 0,00 | 500 | 0,62 | 750 | 1,00 | 400 | 0,46 | 230 | 0,20 | 150 | 0,08 | 6 |
| 10. | Soluție de electrolit | NaCl | 1,00 | NaNO3 | 0,00 | ES-G 8020 | 1,00 | NaNO3 | 0,00 | NaNO3, NaCl | 1,00 | NaNO3 | 0,00 | 5 |
| 11. | Sistem management electrolit (1-y/0-n) | 0 | 0,00 | 1 | 1,00 | 1 | 1,00 | 0 | 0,00 | 1 | 1,00 | 0 | 0,00 | 8 |
| 12. | Capacitate max debavurare (A) | 50 | 0,00 | 250 | 0,80 | 300 | 1,00 | 300 | 1,00 | 200 | 0,60 | 100 | 0,20 | 10 |
| 13. | ti,min (μs) | ns | 0,00 | - | 0,00 | - | 0,00 | - | 0,00 | 50 | 1,00 | - | 0,00 | 6 |
| 14. | P (kW) în fct de apl | ns | 0,00 | în fct de apl | 1,00 | în fct de apl | 1,00 | ns | 0,00 | în fct de apl | 1,00 | în fct de apl | 1,00 | 5 |
| 15. | Masa max, piesă (kg) | ns | 0,00 | ns | 0,00 | ns | 0,00 | 45 | 1,00 | 20 | 0,44 | 10 | 0,22 | 8 |
| 16. | Masa max, electrod (kg) | 0,5 | 0,14 | ns | 0,00 | ns | 0,00 | 3,5 | 1,00 | 2 | 0,57 | 1 | 0,29 | 7 |
| 17. | Ra, finală (μm) | 0,2 | 0,25 | - | 0,00 | - | 0,00 | ≤0,05 | 1,00 | - | 0,00 | ≤0,05 | 1,00 | 9 |
| TOTAL | | VUP 1=20,88 | | VUP 2=43,87 | | VUP 3=54,21 | | VUP 4=48,95 | | VUP 5=57,10 | | VUP 6=32,40 | | 100% |

4. Evaluarea VUP a produselor și determinarea pozițiilor în matrice

VUP ale celor 6 produse sunt centralizate pe ultima coloană a Tabelului 3. Echipamentul dezvoltat pentru debavurarea electrochimică se pretează firmelor din România de tip IMM, deci bugetul

alocat este unul limitat. Astfel, IMM-urile vor avea de ales dintre variantele de producători studiate anterior precum A, D și F. Pentru asigurarea unui avantaj competitiv durabil, acestea trebuie să aibă o valoare VUP ridicată și un preț relativ scăzut în cadrul analizei Matricei Clientului.

5. Proiectare conceptuală

După identificarea nevoilor (N1, N2, N3), dezvoltarea unui chestionar de intervievare și aplicarea acestuia unui eșantion de populație în conformitate cu Matricea de selecție, este necesară generarea unor concepte folosind tehnici și metode de stimulare a creativității.

5.1 Metoda TRIZ - Dezvoltarea conceptelor cu ajutorul contradicțiilor tehnice

Matricea contradicțiilor este un instrument de selecție a principiilor inventive utilizate la rezolvarea unei anumite contradicții. Altshuller afirma că “o invenție reprezintă rezolvarea unei contradicții”. Pentru a aduce plus de inovație celui deja existent pe piață, se vor formula anumite contradicții tehnice, iar rezolvarea lor va conduce la dezvoltarea unui concept inovativ de echipament. Contradicțiile tehnice sunt prezentate în tabelul 5.

Tabelul 5. Tabel centralizator conflicte tehnice [2]

| Parametru ce se înrăutățește \ Parametru ce se îmbunătățește | | 14 | 32 | 33 |
|--|--------------------------------|------------|---------------------|-------------------|
| | | Rezistență | Ușurința fabricării | Ușurința operării |
| 2. | Greutatea obiectului staționar | 28,2,10,27 | - | - |
| 36. | Complexitatea obiectului | - | 26,27,1,13 | 27,9,26,24 |
| 35. | Adaptabilitate | - | 1,13,31 | - |

- *Stabilirea soluțiilor generice folosind principiile TRIZ din Matricea Contradicțiilor*

Soluțiile generice și soluțiile specifice pentru echipamentul dezvoltat pentru debavurarea electrochimică se regăsesc în cele ce urmează.

#1. Echipamentul va fi modular, iar reglarea interstițiului se va face cu un șurub micrometric. **#2.** Interconectarea elementelor portabile ale echipamentului se va face prin intermediul unor elemente tribologice. **#3.** Poka Yoke-Introducerea unei funcții ce nu lasă utilizatorul să utilizeze echipamentul dacă acesta nu este corespunzător. **#4.** Schimbarea capului de lucru în vederea prelucrării unei varietăți mari de suprafețe. **#5.** Folosirea unor prototipuri virtuale pentru testarea produsului.

5.2 Tabelul combinațiilor

Cele mai importante categorii de specificații au fost alese pentru a crea conceptele parțiale. Acestea se regăsesc prezentate în Tabelul 7, fiecare având posibilități de realizare specifice.

Tabelul 7. Tabel centralizator combinații

| Capacitate maximă de debavurare (A) | Volum cuvă (l) | Sistem de management electrolit | Tip suprafețe prelucrate | Adaptabilitate | Portabilitate | Volum piese prelucrate simultan | Reglarea interstițiului de lucru | Regim de prelucrare |
|-------------------------------------|----------------|---------------------------------|--------------------------|----------------|---------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| 300 | 30 | da | găuri intersectate | nu | da | 2 | cu șurub micrometric | în impulsuri |
| 200 | 5 | nu | dinții roților dințate | da | nu | 4 | motor | curent continuu |
| 100 | 45 | da | suprafețe interioare | nu | nu | 1 | șurub-piuliță | curent continuu |

După etapa de generare parțială a conceptelor și dezvoltarea conceptului parțial (colorat în tabel) într-un desen de ansamblu (prezentat în capitolul 6), va urma etapa de îmbunătățire a unora dintre

conceptele parțiale în concepte finale, urmată de trierea și evaluarea lor în vederea dezvoltării conceptului optim.

5.3 Cercetare externă

Analizând brevete recente, s-a optat pentru prezentarea a trei dintre ele, relevante pentru echipamentul dezvoltat. În figura 10 este prezentat brevetul pentru un dispozitiv automat și portabil pentru debavurarea electrochimică. Brevetul aduce ca noutate portabilitatea echipamentului, fiind o specificație dorită în cadrul produsului actual dezvoltat.

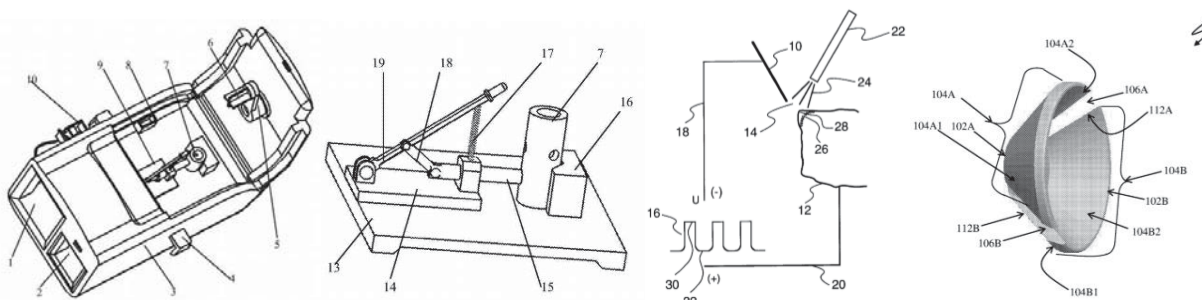


Fig 10. Brevet CN105269093A [5] Fig 11. Brevet US006139715A [4] Fig 12. Brevet AU2016101408A4 [3]

Figura 11 prezintă un brevet pentru un echipament de debavurare a unor piese din TZM (aliaj de molibden cu particule de titan, zirconiu și carbon). Elementul de noutate îl constituie regimul de prelucrare în impulsuri ce conduce la îmbunătățiri ale calității suprafeței.

Brevetul austriac prezentat în figura 12, este pentru un electrod-sculă ce poate fi utilizat atât la o debavurare manuală, cât și pe echipamente automatizate. Acesta este proiectat pentru a debavura diametre interioare și exterioare, asigurând un cost/operație redus.

6. Concept parțial

În urma utilizării tehnicilor de stimulare a creativității folosite anterior, s-a ales prezentarea unui concept parțial (v. figura 13). Regimul de lucru corespunzător echipamentului dezvoltat se stabilește în funcție de natura materialului prelucrat, mediul de lucru și de alți factori.

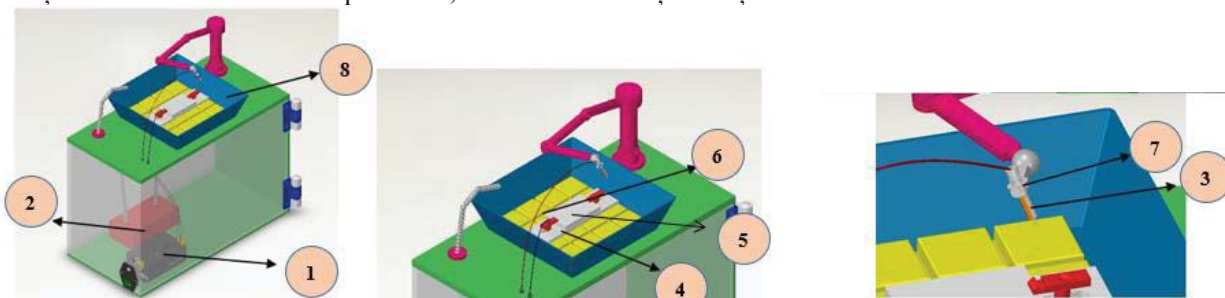


Fig 13. Concept parțial dezvoltat 1

Conceptul dezvoltat pentru *echipamentul pentru debavurare* prezentat anterior este alcătuit din: **1**- sursă de curent (asigură tensiunea 8-30 V și capacitatea de debavurare de 100 A), **2**-agregatul de electrolit, **3**-electrodul-sculă (legat la polul -), **4**-sistemele de prindere a electrodului-sculă (articulație sferică), **5**-piesa de debavurat (legată la polul +), **6**-sistemul de orientare și fixare a piesei în cuva de lucru, **7**-sistemul de reglare al interstițiului de prelucrare (șurub micrometric), **8**-cuva de lucru (cu volumul de 5 l). Agregatul de electrolit are și un sistem de management al electrolitului ce filtrează lichidul, îl recirculă, asigură o temperatură și o valoare a pH-ului constante și o curgere în limitele impuse de procedeu. Elementul de adaptabilitate constă în schimbarea capului de lucru 3 cu electrozi cu forma conjugată a

suprafețelor de debavurat. Portabilitatea propusă pentru concept presupune montarea pe echipamente destinate prelucrării electrochimice.

Mediul de lucru este soluția apoasă de NaCl, putând fi schimbată cu oricare electrolit (NaNO_3 , silicat de sodiu, K_2NO_3 etc.) datorită sistemului de management al electrolitului existent pe echipament. Concentrația recomandată este între 14% și 20%, în proporții de 1:1 sau 1,5:1. Interstițiul de prelucrare se găsește între 0,015 mm și 3 mm. Pentru evitarea fenomenelor de pitting și de eliminare a materialului din alte zone decât cea de debavurat se recomandă o izolare corespunzătoare.

7. Concluzii

În etapele ce urmează vor fi analizate și prezentate răspunsurile la chestionarul online și la interviurile personale, alte concepte rezultate din aplicarea de tehnici TRIZ. Pe baza răspunsurilor se generează Matricea de corelare a mărimilor caracteristicilor cu nevoile.

În ceea ce privește caracterul modular al echipamentului acesta va deține posibilitatea de montare/utilizare pe o mașină existentă (a unui IMM care are în dotare echipament de prelucrare electrochimică), împreună cu sistemul de reglare a interstițiului, a sistemului de alimentare locală cu lichid electrolitic, un sistem de vizualizare (camera CCD sau altele asemenea) a debavurării la suprafețe interioare la care accesul nu se poate face vizual. Se va modela curgerea electrolitului pentru diverse tipuri de suprafețe exterioare/interioare și geometrii diferite, ca direcție de acțiune pentru disertație.

8. Bibliografie

- [1]. Marinescu, N.I., Ghiculescu, L.D., et al. *Tratat de tehnologii de prelucrare electrochimică și procedee conexe*, ISBN:978-606-23-0760-8; Printech, București, 2005
- [2]. Ghiculescu, L.D., Ionescu, N., *Curs de Procedee Avansate de Fabricare I și Creativitate*, Platforma Moodle, București, 2019
- [3]. Chetan Prabhakar PURAV, Deburring tool head, Australia, AU 2016101408 A4, 2016
- [4]. Bin Wei, Clifton Park pentru General Electric Company, ELECTROCHEMICAL DEBURRING OR RADIUSING, USA, US 006139715 A, 2000
- [5]. 李健朱勋鹏郭艳玲袁伟杰 Portable and automatic electrochemical deburring device, China, CN105269093A, 2014
- [6]. Zhongshan Lanshang House Purchasing Dev CO LTD, Electrochemical deburring device, China, CN108015369 (A), 2018
- [7]. ***Electrochemical deburring (ECM) disponibil la <https://extrudehone.com/electrochemical-deburring-ecm>, accesat 09.01.2019
- [8]. ***Electrochemical deburring, disponibil la <https://me-mechanicalengineering.com/electrochemical-deburring-and-grinding/>, accesat 09.01.2019
- [9]. ***Echipament pentru prelucrare electrochimică Sermatec, disponibil la <http://www.sermatec.com/en-223-home.html>, accesat la 09.05.2019
- [10]. ***Echipament pentru prelucrare electrochimică EMAG, disponibil la <https://www.emag.com/technologies/pecm.html>, accesat la 09.05.2019
- [11]. ***Echipament pentru prelucrare electrochimică Extrude Hone, disponibil la <https://extrudehone.com/products/electrochemical-machining-ecm>
- [12]. ***Echipament pentru prelucrare electrochimică MetaTECH, disponibil la <http://www.metatechind.com/html/ecm.html>, accesat la 09.05.2019
- [13]. ***Echipament pentru prelucrare electrochimică Indec, disponibil la <http://www.indec-ecm.com/en/equipment/ekp/ET500/>, accesat la 09.05.2019
- [14]. ***Echipament pentru prelucrare electrochimică Mys Tech, disponibil la <http://mystechmachines.com/Products.aspx>, accesat la 09.05.2019
- [15]. ***Instrument de realizare chestionare online, disponibil la <https://docs.google.com/forms>, accesat la 09.05.2019