

FEED UNIT FOR ELECTROCHEMICAL MICROMACHINING

TÎRTEA Bogdan-Alexandru, BUZEA Silviu-Petrișor, DRAGOMIR Valentin
Facultatea: IIR, Specializarea: INPN, Anul de studii: II, e-mail: bogdantirtea@yahoo.com

Conducător științific: Prof. Dr. Ing. **Daniel GHICULESCU**

ABSTRACT: This paper presents a new and innovative industrial product for the micro-electrochemical machining sector. It represents a feed system for the tool electrode with the possibility of moving on the vertical axis with a minimum value of $\Delta = 0,2 \mu\text{m}$. This value was gathered after extensive search in the industry, to find it's main demands for precision micromachining, and also by analyzing the current state of this sector along with a few competitors. This product addresses small enterprises specialized in the micromachining domain who use these technologies to produce special pieces for the most demanding industries, including aerospace, military, medical and so on. This sector is a very competitive one, because often times these small companies sell their products to bigger companies who need those pieces, like the airplane makers, who often externalize such production. This is why products like the one presented in this paper are very important for these small businesses, who have to meet expectations but also keep the costs to a minimum.

CUVINTE CHEIE: ECM – prelucrări electrochimice; μ ECM – microprelucrări electrochimice.

1. Introducere

De-a lungul timpului, în domeniul tehnologic, s-a manifestat o continuă micșorare a dimensiunilor produselor obținute datorită nevoilor de miniaturizare din diversele industrii aferente, precum industria aerospațială, auto, militară, medicală și bijuterii. Aceste industrii au beneficiat foarte mult datorită noilor tehnologii bazate pe utilizarea unor piese mai mici, mai ușoare, mai compacte și, implicit, mai performante.

Obținerea acestor piese se face prin așa-numitele microprelucrări. Acestea reprezintă variante ale procedeelelor deja existente, precum prelucrarea cu laser, electroeroziune, electrochimie. Toate acestea au fost implementate deja cu succes în industria aerospațială, datorită avantajelor considerabile precum uzura redusă sau inexistentă a sculei, precizia foarte bună de prelucrare, rugozitatea foarte mică obținută, productivitatea la nivel industrial și faptul că duritatea piesei nu contează. Dintre acestea, prelucrările electrochimice se remarcă în mod special datorită faptului că nu formează microfisuri la nivelul suprafeței prelucrate, ceea ce le conferă un avantaj foarte important în dezvoltarea lor în viitor și explică ponderea lor ridicată de folosire în industria aerospațială și auto. [1]

Prelucrarea electrochimică, a fost propusă pentru prima dată în 1929 de către V.N.Gusseff, care în invenția sa brevetată în Marea Britanie, enunță diferite particularități ale procedeeului, aproape identice cu procesul în etapa lui actuală de dezvoltare. Cu toate avantajele evidente ale acestui procedeu, a fost nevoie de aproape 20 ani ca dezvoltarea tehnică să-l impună ca metodă de prelucrare și să-i asigure – în multe cazuri – prioritatea în raport cu metodele clasice. [2]

Datorită preciziei slabe obținute în raport cu alte procedee de prelucrare și a poluării excesive, ECM a fost oarecum ignorat în anii '90, dar după descoperirea variantei la nivel micro la începutul anilor 2000, ECM a devenit din nou o tehnologie relevantă și s-au dezvoltat de asemenea și alte variante ale procedeeului, mai eficiente, care au ridicat considerabil utilizarea acestei tehnologii. Aceste noi variante includ asistarea cu ultrasunete, detoxifierea electrolitului precum și prelucrarea cu jet de electrolit. [3]

În prezent, cel puțin 50-60 % din totalul pieselor pentru aeronave, rachete sunt realizate prin ECM și diverse variante ale acesteia, iar 70% din piesele care intră în componența sateliților artificiali și a aparatelor interplanetare sunt realizate numai prin aceste tehnologii. [2]

2. Marketing strategic al produsului

Marketingul, ca definiție, reprezintă acțiuni sau activități de promovare și vânzare a produselor și serviciilor unei companii, activități care includ de asemenea și cercetarea de piață. Strategia de marketing reprezintă un plan amplu, pe termen lung, ce include activitățile de bază în determinarea tuturor componentelor necesare lansării unui produs sau serviciu. Acestea includ, în principal, identificarea clienților și a nevoilor ce determină utilizarea produsului respectiv, dar și a concurenților care dau pe piață produse similare.

Pentru această lucrare, produsul este identificat din start, ci anume ”Sistem de avans pentru microprelucrări electrochimice”. În acest capitol de marketing, s-au identificat în cercetarea precedentă un număr de nevoi inițiale care au condus la alegerea acestui produs. De asemenea, s-au identificat oportunitățile pe piața internă din România, stadiul actual al tematicii produsului, precum și cerințele produsului obținute din interviuri acordate clienților țintă și identificarea produselor concurente. [4]

S-a utilizat metoda interviului, în care a fost conceput un format cu întrebări potrivite pentru viitori potențiali beneficiari ai produsului, reprezentați de firme și instituții de învățământ. Aceste întrebări sunt de mai multe feluri, ci anume întrebări identificatoare, pentru a găsi domeniul exact de activitate al respectivului individ și întrebări specifice despre produsele similare utilizate în momentul de față sau produse pe care dorește să le achiziționeze firma. S-au obținut declarații ale acestora, care au fost mai departe ”traduse” în cerințe pentru produsul de față. Un număr total de 8 persoane din domeniile menționate au fost interviuate, iar răspunsurile lor au fost ”traduse” în cerințe pentru produs. Graficul din figura 1 prezintă statisticile cu răspunsurile potențialilor clienți.

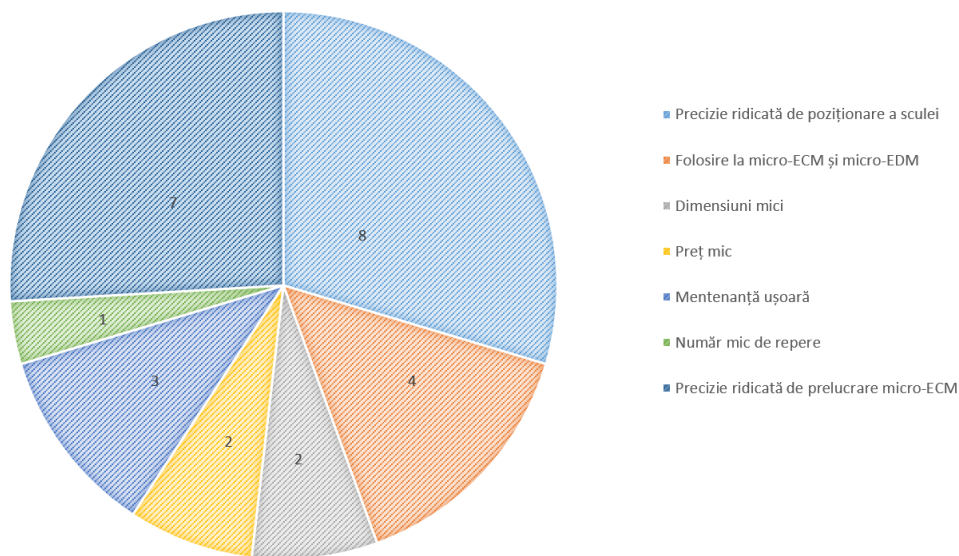


Fig. 1. Grafic cu răspunsurile potențialilor clienți

Se observă faptul că toți cei 8 clienți interviuați au considerat că precizia de poziționare a sculei este cea mai importantă, urmată imediat de precizia de prelucrare în sine. Jumătate din clienți au considerat că este importantă modularitatea sistemului de avans, mai exact posibilitatea de utilizare a sa și la microprelucrări prin electroeroziune, deoarece procedeele sunt oarecum înrudite. Celelalte cerințe mai puțin importante au fost cerute de un număr mai mic decât jumătate din clienții interviuați.

În urma obținerii acestor cerințe ”traduse” din răspunsurile clienților la interviu, acestea au fost ierarhizate în funcție de importanța lor, cu note de la 1 la 5, unde: 1 – cerință aproape irelevantă; 2 – cerință puțin importantă; 3 – cerință care ar fi bine dacă ar exista, dar nu este necesară; 4 – cerință necesară; 5 – cerință obligatorie, decisivă. Evident, cerințele cele mai des întâlnite în răspunsurile clienților au primit cele mai mari note de importanță, adică precizia de poziționare a sculei și precizia de prelucrare prin μ ECM. Ierarhizarea lor este prezentată în tabelul 1.

Tabelul 1. Ierarhizarea cerințelor clienților

Cerințele clienților	Nota acordată
Sistemul de avans asigură precizie ridicată de poziționare a sculei	5
Sistemul de avans poate fi folosit atât la EDM cât și ECM	3
Sistemul de avans are dimensiuni de gabarit mici	2
Sistemul de avans este relativ ieftin	2
Sistemul de avans se montează/demontează și se întreține ușor	2
Sistemul de avans are un număr mic de repere	1
Sistemul de avans asigură suficientă precizie de prelucrare	4

3. Proiectarea conceptuală

În precedentele cercetări s-a evidențiat algoritmul parcurs pentru generarea conceptelor și alegerea unui concept optim. Acestea includ analiza funcțiilor, a fenomenelor care apar la μ ECM, cercetare externă și cercetare internă. S-a pornit de la funcțiile critice ale produsului, reprezentate de: deplasarea pe verticală, reglarea perpendicularității, a înclinării și pe verticală, divizarea incrementului unghiular al motorului și realizarea prelucrărilor μ ECM. Acestea au generat o serie de soluții tehnologice în capitolul de cercetare internă, unde s-au format 6 concepte de grup cu câte 2 variante fiecare. Dintre acestea s-a ales un concept optim, motivându-se alegerea la finalul capitolului.

3.1 Funcțiile produsului

Funcțiile primare și critice ale produsului, conform cercetărilor precedente, sunt prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2. Funcțiile produsului

Nr. Crt.	Funcții primare	Funcție critică?
1	Deplasarea incrementală pe verticală a electrodului sculă	Da
2	Ghidarea coloanei pe verticală	
3	Transformarea mișcării de rotație în mișcare de translație	
4	Preluarea rotației coloanei	
5	Reglarea perpendicularității	Da
6	Reglarea înclinării	Da
7	Reglarea pe verticală	Da
8	Divizarea incrementului unghiular al motorului	Da
9	Prinderea electrodului sculă	
10	Prinderea întregului sistem de avans	
11	Prinderea pe suportul care se va așeza pe canalele T ale mașinii-unelte	
12	Realizarea prelucrărilor μ ECM	Da

Pentru îndeplinirea acestor funcții, s-a realizat o cercetare atât externă, prin analiza unor brevete în cercetările precedente, cât și internă.

3.2 Cercetarea internă

Folosind diverse tehnici de stimulare a creativității, s-au descoperit mai multe variante de concepte de grup pentru funcțiile produsului. Toate acestea sunt catalogate în tabelul 3.

Tabelul 3. Conceptele de grup

Nr. Crt.	Funcții	Soluții tehnologice
1	Deplasarea incrementală pe verticală a electrodului-sculă	A1: Motor pas cu pas
		A2: Motor de curent continuu
2	Transmiterea mișcării – tipul cuplajului	B1: Cuplaj elastic
		B2: Cuplaj rigid cu știft
3	Ghidarea coloanei	C1: Coloană cilindrică + bucușă cu bile
		C2: Coloană dreaptă + ghidaj cu tancheti
4	Transformarea mișcării de rotație în mișcare de translație	D1: Șurub cu bile și flanșă
		D2: Șurub cu role
5	Reglarea poziției sistemului de avans (înclinare verticală)	Șuruburi
6	Divizarea incrementului unghiular al motorului	Dirver digital
7	Prinderea electrodului sculă	E1: Mandrină
		E2: Bucșă elastică
8	Rotirea sistemului de avans	F1: Cu canal
		F2: Cuplă de rotație
9	Realizarea prelucrărilor μ ECM	Suport pentru prinderea sistemului de avans pe canalele T ale mașinii-unelte

În afară de aceste soluții tehnologice, au fost identificate inițial și alte soluții constructive simple pentru asamblarea completă a componentelor ce rezultă din funcțiile primare:

- lagăr cu rulment și piuliță pentru fixarea șurubului conducător;
- carcasă pentru bucușă cu bile pentru fixarea acesteia;
- șuruburi pentru fixarea motorului;
- plăcuțe pentru reglarea tanchetilor în cazul utilizării coloanei drepte.

În urma găsirii acestor soluții tehnologice, s-au întocmit conceptele de grup conform figurii 2.

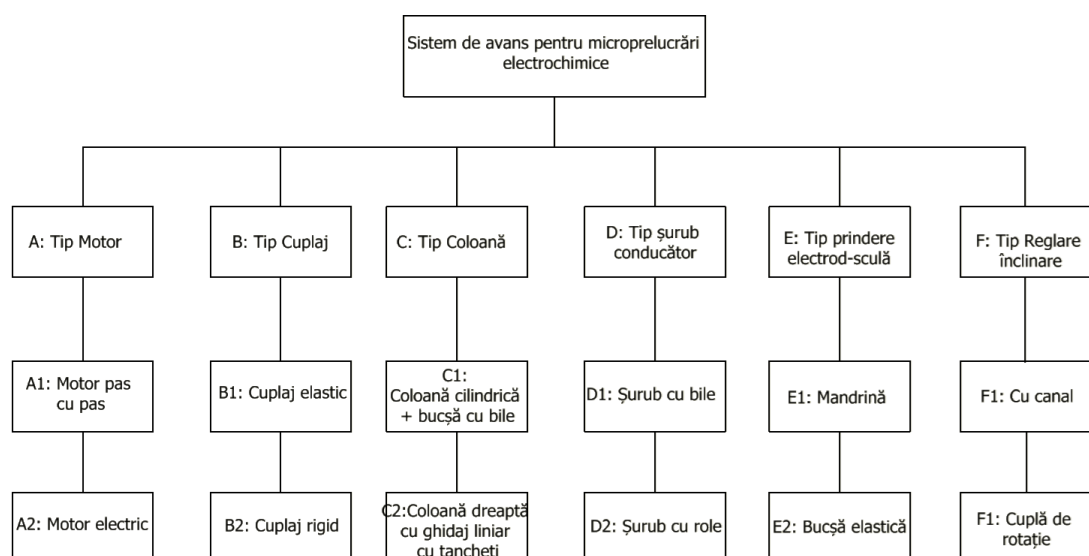


Fig. 2. Conceptele de grup obținute

Conform figurii 2, există 6 categorii cu câte 2 variante fiecare, ceea ce conduce la un număr total de concepte de $2^6 = 64$ de concepte. Dintre acestea, s-a ales un singur concept optim care conține următoarele: A1 – B1 – C2 – D1 – E1 – F1. Alegerea acestor variante s-a bazat pe următoarele:

- Motorul trebuie să fie de tip pas cu pas deoarece dacă am alege motorul electric, ar rezulta în fierberea electrolitului utilizat la μ ECM;
- Dintre cuplaje a fost ales cel elastic deoarece el preia abaterea de coaxialitate între șurub și motorul pas cu pas;
- Coloana a fost aleasă în varianta dreaptă folosind un ghidaj cu tancheti și plăcuțe de reglare, o variantă mai modernă și inovativă față de vechea variantă cu coloană cilindrică;
- A fost ales, de asemenea, șurubul cu bile datorită faptului că șurubul cu role este folosit pentru aplicații cu sarcini mai mari decât cele apărute la μ ECM;
- Ca variantă de prindere a electrodului sculă, a fost aleasă mandrina;
- Pentru înclinarea sistemului de avans a fost aleasă varianta folosirii unor canale reglate prin șuruburi, variantă mai simplă din punct de vedere constructiv față de cealaltă propusă.

Așadar, în urma proiectării conceptuale, a rezultat un concept optim format din motorul pas cu pas, cuplaj elastic, coloană dreaptă ghidată liniar cu tancheti, șurub conducător cu bile, mandrină și canal de reglare a înclinării, la care se adaugă celelalte elemente proiectate pentru asamblarea sistemului.

4. Proiectarea detaliată

Ansamblul 3D al sistemului de avans este prezentat în figura 3.

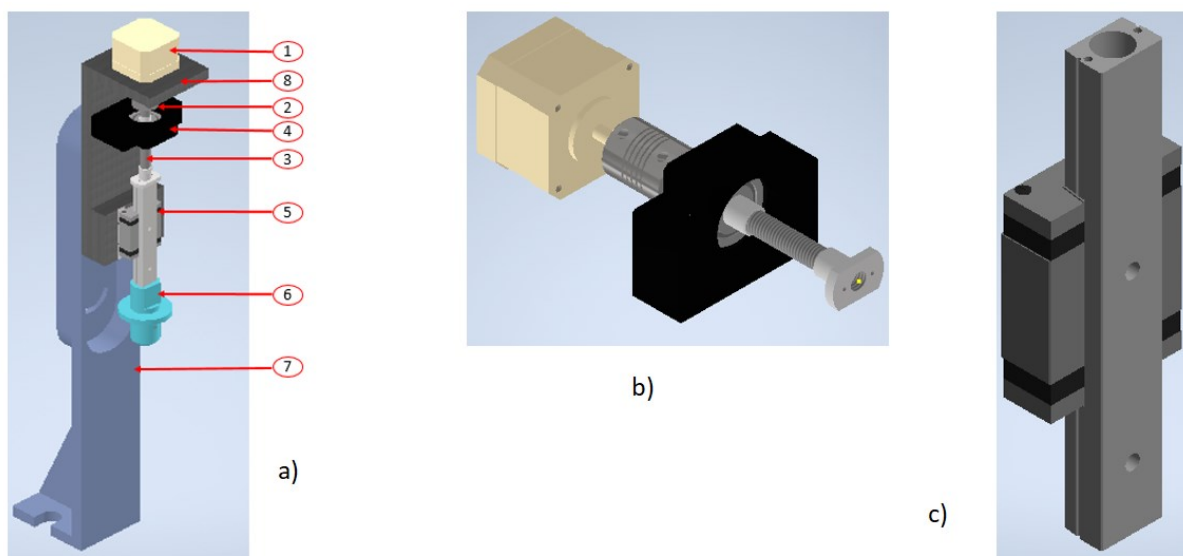


Fig. 3. Conceptul optim proiectat detaliat: a) vedere isometrică, cu toate componentele sale 1-motor pas cu pas, 2-cuplaj elastic, 3-șurub cu bile și piuliță, 4-lagăr de susținere al șurubului, 5-ghidajul liniar cu tanchet, 6-mandrina, 7-suportul principal, 8-suportul intermediar; b) ansamblul elementelor care creează și conduc mișcarea; c) ansamblul coloanei care transmite mișcarea și conține un ghidaj liniar adaptat

Sistemul de avans se montează pe canalele T ale mesei mașinii-unelte de μ ECM. Proprietatea principală a sistemului de avans este reprezentată de precizia de poziționare a electrodului sculă pe verticală de $0,2 \mu\text{m}$. Acest parametru se calculează conform relației 4.1:

$$\Delta = \varphi p / (n \cdot 360^\circ) \quad [\text{mm}] \quad (4.1)$$

Unde:

- Δ = deplasarea incrementală pe verticală;
- φ = incremetul unghiular (pas unghiular) al motorului pas cu pas;

- p = pasul șurubului conducător cu bile;
 - n = rezoluția/pas a driverului digital.
- Valorile acestor parametri reprezintă specificațiile componentelor alese, ci anume:
- Motorul pas cu pas este de tip Schneider BRS36 (fig. 4), care are un pas unghiular $\varphi = 0,36^\circ$; [5]

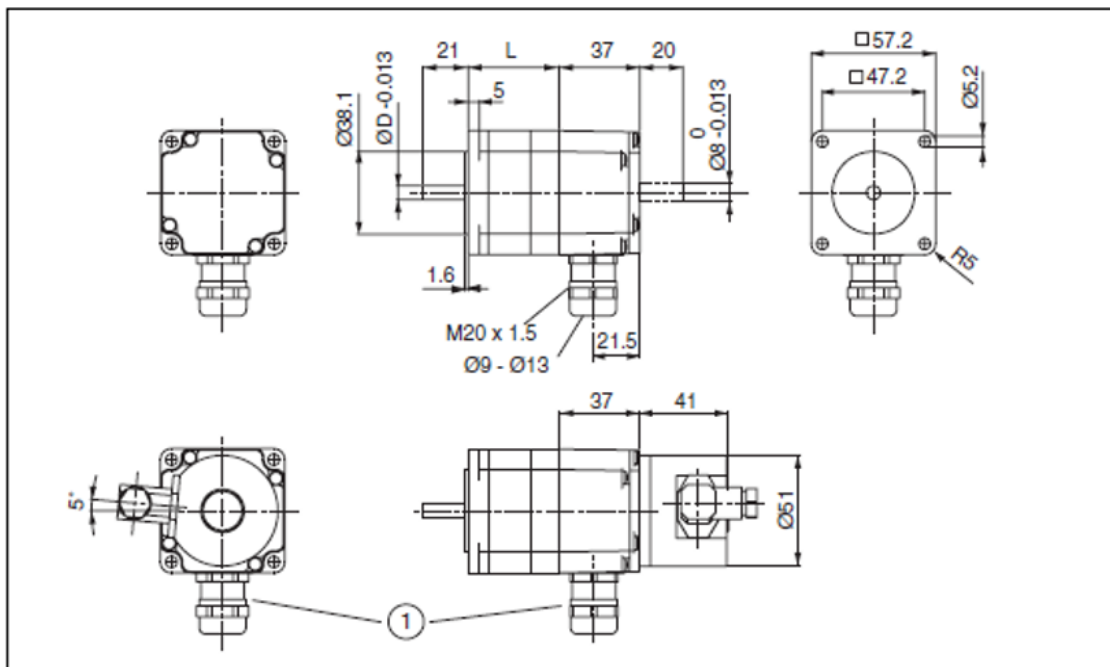


Fig. 4. Schema motorului pas cu pas BRS36 [5]

- Driverul digital ales este de tip Leadshine DM542T (fig. 5), care are o rezoluție de 10.000 de pulsuri pe toată circumferința de 360° . [6] Deci, în relația 4.1, acesta va avea valoarea corespunzătoare doar pasului unghiular al motorului pas cu pas de $0,36^\circ$, adică 10 pulsuri;

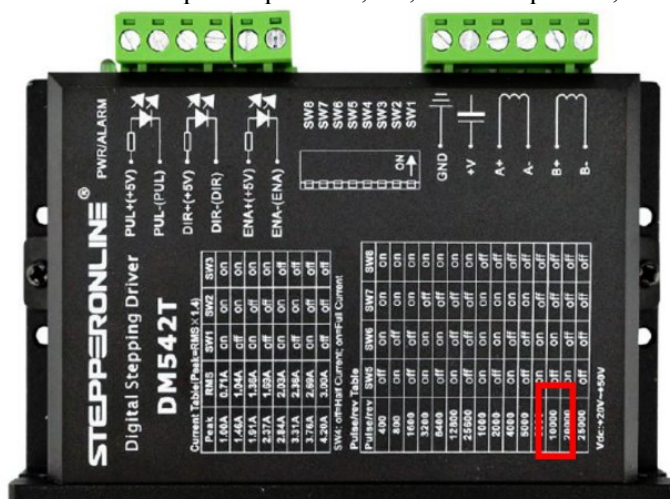


Fig. 5. Driverul digital de tip Leadshine DM542T cu evidențierea parametrului n [6]

- Șurubul conducător cu bile care a fost ales are un pas de 2 mm. [7]
- Ținând cont de toate aceste valori și de mențiunea că valoarea lui n în relația 4.1 este de 10 pulsuri corespunzătoare pasului unghiular de $0,36^\circ$ al motorului pas cu pas, se obține parametrul $\Delta = 0,2 \mu\text{m}$.
- Funcționalitatea sistemului de avans este următoarea: Motorul pas cu pas (1) creează mișcarea de rotație, aceasta fiind transmisă prin axul motorului către cuplajul elastic (2). În cuplajul elastic (2), se

introduce într-o intrare axul motorului, iar în cealaltă șurubul cu bile (3). Șurubul cu bile (3) este susținut și ghidat de lagărul (4). Șurubul cu bile (3) transformă mișcarea de rotație a motorului în mișcare de translație, cu ajutorul piuliței sale. Piulița se assemblează cu coloana dreaptă, ghidată cu ajutorul unui ghidaj liniar cu tanchet (5) aceasta trimite mișcarea de translație spre mandrină (6). Ghidajul cu tanchet este reglat cu ajutorul unor plăci de reglare. Componentele (1) și (4) se assemblează pe suportul sistemului de avans (8). Suportul sistemului de avans (8) se assemblează pe suportul de prindere pe canalele T ale mesei mașinii (7).

5. Omologarea, utilizarea, comercializarea și reciclarea PQP

În continuare, vor fi prezentate aceste etape pentru sistemul de avans.

5.1 Omologarea PQP

Pentru a putea fi omologat, primul lot va fi supus unor încercări sau probe pentru a se confirma faptul că prototipul corespunde cu produsul proiectat.

Omologarea se poate face de către o comisie de omologare din care fac parte reprezentanții principalilor beneficiari, reprezentantul unității executante, reprezentantul institutului de cercetare și proiectare de specialitate care a participat la proiectare.

Comisia de omologare va fi formată din următorii membri:

- Tehnologul șef;
- Proiectantul de produs;
- Tehnologul proiectant;
- Inspectorul Q.A. ;

5.2 Utilizarea PQP

Pentru o utilizare cât mai corectă, produsul va veni împreună cu un manual de utilizare care va ilustra modul de utilizare a produsului.

Membrii echipei de dezvoltare vor crea acest manual de utilizare. Utilizarea acestui produs este de a ușura procesul de microprelucrare a unor piese de dimensiuni de ordinul micronilor.

5.3 Comercializarea PQP

Ținând cont de modul de comercializare al produsului, el va fi ambalat într-o cutie de carton împreună cu manualul de utilizare. De menționat este că ambalajul trebuie să fie foarte ușor de depozitat și comercializarea lui va fi realizată doar online pe site-uri de comercializare specializate. Pe lângă acest amănunt, am atașat un model de ofertă comercială autorizată în format A4 pentru a eficientiza procesul de vânzare și pentru a iniția comercializarea PQP, prezentată în figura 6.

<p>UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI</p> <p>4183199 București, Independenței 313.</p>	<p>Client: INSTITUTUL NATIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU INGINERIE ELECTRICA</p> <p>Nr. reg. com: J40/3800/2001 C.U.I.: RO13827850 Adresa: Bucuresti, Spl. Unirii 313.</p>
<p>Oferta comerciala nr: 0262 din 21/04/2021</p>	<p>Banca: Cont: E-mail: Telefon: 0726006218</p> <p>Oferta este valabila pana la: 21/12/2021</p>

314010

Info:

Nr. crt.	Articol	Cod	UM	Cantitate	Pret fara TVA (RON)	Pret cu TVA (RON)	Valoare fara TVA (RON)	Valoare cu TVA (RON)	In stoc
1	121651 Dispozitiv pentru microprelucrari electrochimice	121651	each	1	1,300.0000	1,547.0000	1,300.00	1,547.00	<input type="checkbox"/>

Departament vanzari,
Valentin Dragomir

TOTAL RON:	1,300.00
TOTAL TVA:	247.00
TOTAL RON cu TVA:	1,547.00

Fig. 6. Modelul ofertei comerciale

5.4 Reciclarea PQP

Produsul “ Sistem de avans pentru microprelucrări electrochimice“ este conceput pentru a se putea reutiliza componentele sale. Componentele sale se pot demonta și apoi se pot reutiliza într-un alt sistem.

6. Analiza economică

Scopul acestui capitol este de a determina un cost al produsului final, luând în considerare toate costurile generate pe parcursul fabricației acestuia, care vor fi enumerate în continuare: [8]

- Costul cercetării-dezvoltării, unde s-a determinat de fapt volumul de muncă necesar pentru elaborarea proiectului, $V_m CD = 730$ h.
- Costul manoperei la proiectare, luând în considerare un salariu de 30 RON/oră, $C_{MAN} = 730 \times 30 = 21900$ RON;
- Costul cheltuielilor cu contribuția la asigurările sociale, care reprezintă 25% din $C_{MAN} = 5475$ RON;
- Costul la nivelul atelierului de proiectare, considerând coeficientul de regie de 40% = 42750 RON;
- Costul complet al proiectării $C_{cp} = 72059$ RON;
- Costul total al procesului de cercetare-dezvoltare, format din costul de asistență tehnică $C_{ast} = 3170$ RON și costul proiectului tehnologic $C_T^* = 6340$ RON, rezultând costul total ca fiind suma celor două, ci anume $C_T = 3170 + 6340 = 9510$ RON.

Rezultă costul produsului finit care trebuie să fie între 3170 RON/buc și 9510 RON/buc.

7. Concluzii

Această lucrare de cercetare a descris un nou produs, un sistem de avans pentru microprelucrări electrochimice. S-a pornit de la strategia de marketing, unde au fost intervievați clienți potențiali din firme și facultăți, iar pe baza răspunsurilor lor s-au obținut cerințele ierarhizate ale produsului. Acestea au condus ulterior la funcțiile acestuia, care au condus și ele la soluțiile tehnologice găsite în cercetări externe și interne. Această lucrare, față de cele precedente, aduce o noutate printr-o varietate mai mare de soluții tehnologice găsite pentru funcțiile primare respective, rezultând un număr mai mare de concepte generate. S-a ales un nou design al conceptului optim cu soluțiile justificate, care este capabil de a atinge obiectivul țintă al cercetării, ci anume deplasarea pe verticală $\Delta = 0,2$ μ m. S-a realizat de asemenea un model al ofertei comerciale a produsului, precum și un rezumat al analizei economice a produsului.

8. Bibliografie

- [1] - B. Bhattacharyya et al., "Electrochemical machining: new possibilities for micromachining". Robotics and Computer Integrated Manufacturing 18, pag. 283–289, 2002;
- [2] - Marinescu, N.I, Ghiculescu, D., Tehnologii de prelucrare electrochimică și procedee conexe. Tratat, 562 pagini, Editura Printech, ISBN 973-718-380-0, București, 2005;
- [3] Natsu W., *Micro Electrochemical Machining*, „Micro and Nano Fabrication Technology”. ISBN 978-981-13-0098-1, pag. 807 – 855, 2018.
- [4] - Notițe curs ”Dezvoltarea produselor 1”, 2019.
- [5] https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=0198441113730-EN – accesat la 14/05/2021.
- [6] http://www.leadshine.com/UploadFile/Down/DMSHm_P.pdf accesat la 14/05/2021.
- [7] <https://voltatek.ca/lead-screw-nuts/80-31-t8-lead-screw-8mm-diameter-2mm-pitch-2mm-lead-for-3d-printer.html#/13-length-150mm> accesat la 14/05/2021.
- [8] Notițe curs ”Analiză Economică”, 2018-2019.