

# INFLUENȚA PARAMETRILOR TEHNOLOGICI – TENSIUNE, CANTITATE DE ELECTRICITATE - LA GENERAREA FORMAȚIUNILOR SPAȚIALE ALCĂTUIE DIN ATOMI DE CARBON DE TIPUL FULERENELOR, LA APLICAREA DESCĂRCĂRILOR ELECTRICE ÎN IMPULS

<sup>1</sup>Laurentiu Marin, drd, prof. dr. hab. Pavel Topala <sup>2</sup>, <sup>3</sup>Petru Stoicev, prof.dr.hab., <sup>2</sup>Besliu Vitalie, conf.univ.dr., <sup>2</sup>Alexandr Ojegov, conf.univ.dr., <sup>2</sup>Natalia Pînzaru, <sup>2</sup>Dorin Guzman, <sup>3</sup>Andrei Platon

<sup>1</sup> Institutul Național de Cercetare și Dezvoltare pentru Chimie și Petrochimie ICECHIM București, București, Splaiul Independenței nr. 202, sector 6 România

<sup>2</sup> Universitatea de Stat Alecu Russo Bălți, Str. Pușkin, Rep. Moldova

<sup>3</sup> Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Rep. Moldova

## INTRODUCERE

Formarea peliculelor de grafit, la scara micro-și nano-metrică, pe suprafețele pieselor executate din diferite aliaje metalice provoacă difuzia acestora în stratul superficial, însoțită de formarea carburilor cu duritate înaltă, iar ca rezultat - sporește rezistența de uzură a acestui strat [1-5], care este intermediar între depunerea de grafit și metalul de bază a piesei. Procesul de formare a peliculelor de grafit, în toate cazurile, conduce la micșorarea rugozității suprafeței prelucrate. În conformitate cu rezultatele obținute de autorii [4], aplicarea peliculelor pe suprafețele pieselor, ce funcționează în cuplurile cinematice, conduce la micșorarea coeficientului de frecare, cel puțin de 3 ori. Încercările experimentale au demonstrat că, efectul de priză în îmbinările cu filet, cauzat de difuzia reciprocă a materialelor constituente ale pieselor de îmbinare, este limitat de prezența peliculelor de grafit și, chiar în cazul menținerii cuplului în cuptoare la temperaturi cuprinse în limitele 400-800 °C a demonstrat, că între piesele cuplului executate din oțeluri de construcție efectul de priză în îmbinare nu este prezent [4]. Formarea peliculelor pe suprafețele interne ale țevilor permite eliminarea efectului de priză pentru dopurile de parafină, care sunt o problemă în cazul conductelor de transportare a petrolului. Cercetările experimentale și încercările industriale vin să demonstreze, că depunerile se formează mai eficient în cazul includerii piesei prelucrate în conturul de descărcare a generatorului de impulsuri de curent în calitate de anod, iar peliculele formate pot atinge grosimi de până la 7 micrometri, acestea sporind durabilitatea de funcționare a componentelor formelor de turnare de cel puțin 2 ori, datorită calităților sale de lubrifiant în stare solidă și proprietăților antirefractare pe care le posedă [2, 5]. Din cele menționate mai sus rezultă,

că elaborarea unei tehnologii eficiente de formare a depunerilor de grafit pe suprafețele active ale pieselor din industria constructoare de mașini și aparate, ar permite rezolvarea cu succes a unui sir de probleme cum ar fi: asigurarea refractarității suprafețelor, obținerea unor suprafețe rezistente la uzură, micșorarea coeficientului de frecare a suprafețelor pieselor ce funcționează în cupluri cinematice, formarea peliculelor de tampon la interfața dintre două suprafețe dintr-un cuplu, eliminarea parțială sau totală a efectului de priză dintre piesele din cuplu, etc.

## 1. MATERIALE ȘI METODICĂ REALIZĂRII CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE

Încercările experimentale de formare a depunerilor din grafit pe suprafețe metalice au fost executate în condiții normale în mediul de lucru – aer. În acest scop au fost aplicate descărcări electrice în impuls, canalul de plasmă a cărora interacționa cu suprafețele electrozilor în regimul de întreținere pe petele electrodice ”reci” pentru a evita topirea, vaporizarea și prelevarea de material de pe acestea. În calitate de electrozi-scule erau luate bare executate din grafit tehnic de formă cilindrică cu aria secțiunii transversale de 5-7 mm<sup>2</sup>. Pentru a apropia la maxim rezultatele obținute de interesele întreprinderilor producătoare, în calitate de piese au fost alese: piulițele și buloanele cu filet metric M16, plonjoarele aplicate la turnarea sticlelor de ambalaj, piese-componente ale formelor de turnare a sticlei, segmente de țevi, filiere pentru extrudarea maselor plastice, etc. Aceste piese erau conectate în conturul de descărcare a generatorului de impulsuri de curent în calitate de anod. Materialele, din care erau

executate probele, erau relativ diverse și cuprindeau grupa oțelurilor (Oțel 45 și Oțel 37), fonte aliate și bronzuri.

În scopul formării depunerilor de grafit, în lipsa topirii și vaporizării suprafeței prelucrate a piesei, în calitate de sursă de energie se aplica generatorul de impulsuri de curent, a cărui construcție și principiu de funcționare este descris în lucrarea [1]. Acesta asigură formarea impulsurilor de curent cu durata cuprinsă în intervalul  $10^{-6}$ - $10^{-7}$  s, ceea ce corespunde duratei de viață a petelor electrodeice "reci". Generatorul asigură formarea impulsurilor de curent cu următorii parametri: energia degajată în interstițiu  $W_s = 0-4,8$  J, energia acumulată pe bateria de condensatoare  $W_c = 0-12$  J, la tensiunea aplicată la încărcarea bateriei de condensatoare  $U_c = 0-250$  V, pentru o capacitate a acesteia cuprinsă în limitele de  $C = 100-600$   $\mu$ F cu pasul  $100$   $\mu$ F. Generatorul asigură și formarea impulsurilor de tensiune înaltă ( $U = 12-24$  kV), fapt prin care se asigură amorsarea descărcărilor electrice în impuls la valori ale interstițiului  $S = 0,05-2,5$  mm, cu frecvența descărcărilor  $f = 0-50$  Hz.

Morfologia suprafețelor prelucrate a fost studiată prin metoda SEM, iar cea de compoziție chimică - prin metoda EDX.

## 2. REZULTATELE CERCETĂRIILOR EXPERIMENTALE

### 2.1. Alegerea formei și materialul electrozilor -sculă

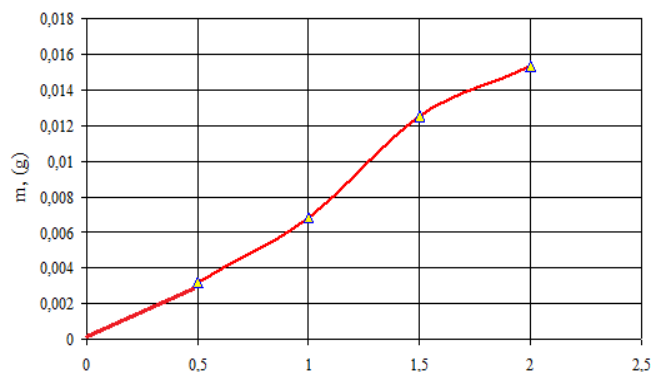
În procesul prelucrării prin DEI, fie prelucrare dimensională sau formarea straturilor de depunere, are loc prelevarea anumitei cantități de material de pe suprafața electrozilor -sculă. Datorită acestui fapt electrozilor -sculă își schimbă dimensiunile sale, ceea ce conduce la modificarea condițiilor de prelucrare. Reieșind din aceste considerente pentru sporirea preciziei de prelucrare, ca preventiv este necesar de ales corect materialul electrozilor -sculă și de selectat un regim energetic, la care uzura acestuia va fi liniară. Astfel, se impune alegerea materialului electrozilor -sculă din grafit reușind din motivul, că se dorește obținerea peliculelor de grafit pe suprafețele prelucrate.

În continuare se examinează influența energiei acumulate pe bateria de condensatoare asupra uzurii electrozilor -sculă. În acest scop, au fost selectate patru valori ale energiei acumulate pe bateria de condensatoare: 0,5J; 1J; 1,5J; 2J.

Au fost supuse cercetărilor electrozii -sculă cu suprafața activă a barei cilindrică cu diametrele de 1 - 6 mm, cu suprafața activă ascuțite până la

semisferă și electrozii -sculă cu partea activă ascuțită sub formă de con. Acest lucru a fost realizat în scopul determinării influenței geometriei suprafeței de lucru a electrozilor -sculă asupra uzurii acestuia.

În Fig.1 se prezintă dependențele uzurii electrozilor -sculă, confecționați din materiale conductibile (grafit). După cum se poate observa din aceste dependențe, uzura electrozilor -sculă crește în toate cazurile odată cu creșterea energiei acumulate pe bateria de condensatoare.

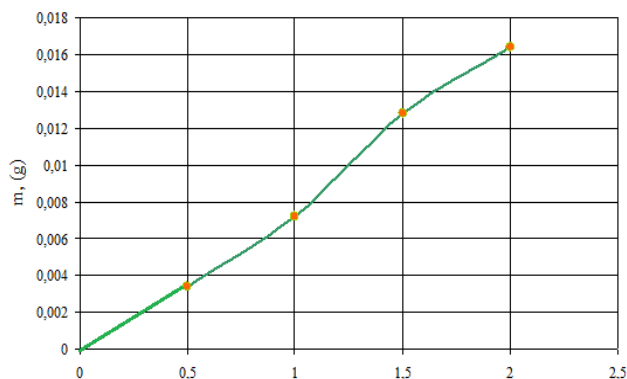


**Figura 1.** Variația uzurii electrozilor -sculă confecționați din grafit în funcție de energia acumulată pe bateria de condensatoare: partea activă a electrozilor -sculă are forma unei emisfere.

Uzura electrozilor -sculă, confecționați din grafit poate fi explicată prin faptul că, acest material nu este un metal, iar legăturile dintre constituenții lui sunt de tip Wan der Waals (legături slabe). În același timp este necesar a menționa că, grafitul interacționează cu plasma și din punct de vedere chimic este activ la oxidare, ceea ce provoacă suplimentar eroziunea lui.

Din analiza surselor bibliografice și în urma efectuării cercetărilor experimentale s-a constatat că, practic, în toate cazurile prelevarea materialului de pe suprafața anodului este mai pronunțată în raport cu prelevarea materialului de pe suprafața catodului. Eficiența obținerii peliculelor de grafit, în cazul când electrozilor -sculă este conectat în circuitul de descărcare în calitate de catod, este foarte mică și de aceea nu s-a studiat mai detaliat caracteristicile proceselor (uzura) ce au loc.

În Fig.2 se prezintă dependența uzurii electrozilor -sculă cu părțile active ascuțite prealabil sub formă de con, în raport cu variația energiei acumulate pe bateria de condensatoare. Cum și în cazul precedent, se observă că uzura electrozilor -sculă bară ascuțite sub formă de con crește cu creșterea energiei acumulate pe bateria de condensatoare. În afară de aceasta, s-a observat că în acest caz uzura electrozilor -sculă este puțin mai intensivă de cât în cazul când corpul de lucru a acestora este ascuțit sub formă de semisferă.



**Figura 2.** Variația uzurii electrodului-sculă confecționat din grafit în funcție de energia acumulată pe bateria de condensatoare: partea activă a electrodului-sculă are forma unui con.

Din analiza rezultatelor obținute în urma cercetărilor experimentale se poate menționa că uzura electrozilor-sculă depinde nu numai de parametrii energetici, dar și de geometria suprafețelor active ale acestora.

Pentru confecționarea electrodului este necesar de ales un material mai rezistent la eroziune, deoarece uzura electrodului conduce la schimbarea interstițiului dintre electrozi, iar aceasta la rândul său aduce la nerespectarea procesului tehnologic de prelucrare. În conformitate cu rezultatele obținute anterior, stabilitatea la eroziune a materialelor se determină de proprietățile termo-fizice ale lor:

$$\gamma = C\rho\lambda T_{mn}^2 \quad (1)$$

în care:  $C$  - capacitate termică;  $\rho$  - densitate;  $\lambda$  - conductibilitate termică corespunzător;  $T_{mn}^2$  - temperatura de topire.

Materialul de execuție, a electrozilor-scule din grafit, prezintă bare de formă cilindrică cu diametrul 6 mm. Ulterior, dacă era necesar, se obțineau prin metoda așchierii diametre mai mici de până la 1 mm.

Pentru alegerea formei electrodului se impune condiția ca, fiecare descărcare ce se recepționează să se înceapă de la o nouă suprafață rece. Cel mai bine satisface această condiție forma de disc sau de bară cilindrică din grafit rezultată de disc, deoarece cunoscând frecvența impulsurilor de lucru și diametrul zonei de interacțiune a descărcării pe suprafața electrodului, se poate determina viteza lui de mișcare liniară cu relația:

$$V=fd \quad (2)$$

în care:  $f$  – frecvența succesiunii impulsurilor de lucru;  $d$  – diametrul zonei de interacțiune a canalului de plasmă cu suprafața electrodului.

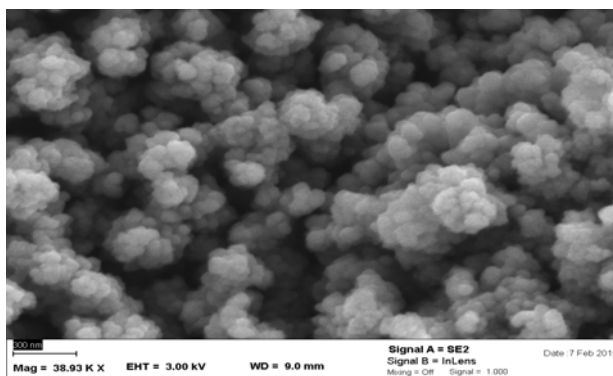
Frecvența impulsurilor de lucru se stabilește la generator, iar  $d$  – diametrul zonei de interacțiune a descărcării unitare pe anod, se calculează cu relația:

$$d = \sqrt{\frac{4W}{QS}} \quad (3)$$

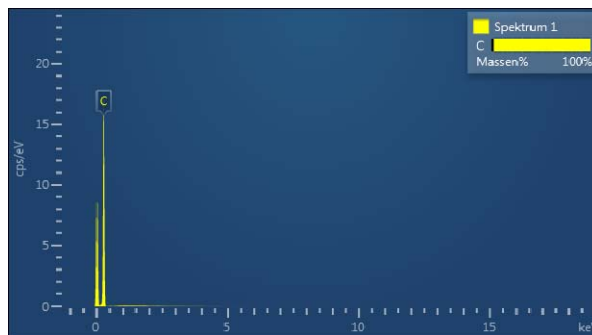
sau se determină experimental. În relația (3)  $W = \int_0^{\tau} i(t)U(t)dt$  - energia degajată în interstițiu,  $Q = q\rho$  - căldura de topire,  $S$  – mărimea interstițiului.

## 2.2. Analize SEM

Analiza morfologiei suprafeței prelucrate prin descărcări electrice în impuls cu electrozi-sculă din grafit a demonstrat ca schimbările fizico-chimice pe suprafața nu depășesc mărimi micrometrice. În afară de componentele inițiale ale materialului prelucrat se atestă o cantitate considerabilă de carbon (circa 80%) în conținut atomic. Analiza microstructurii micro-șlifurilor transversale demonstrează, că marea majoritate a carbonului transferat pe suprafața piesei se atestă la adâncimi de ordinul micrometrilor, ceea ce permite a concluda că este posibilă formarea fazelor de carburi și a celor de grafit în mod separat la interfața piesa metalică și depunerea formată cu aplicarea DEI.



**Figura 3.** Morfologia SEM a peliculei de grafit, depusă pe suport din Otel 45.



**Figura 4.** Compoziția chimică a peliculei formate determinată prin metoda EDX.

Dacă, e să analizăm cele prezentate în fig.3, putem constata că, pelicula este formată din clustere de formațiuni nanometrice. Între aceste clustere și respectiv între formațiunile ce le constituie se atestă goluri (pori), fapt prin care se pot explica un sir de proprietăți pe care le posedă.

În rezultatul formării pe suprafața piesei a peliculei de grafit diametrul plonjorului s-a mărit în mediu cu aproximativ 14  $\mu\text{m}$  față de diametrul inițial, adică ca rezultat avem depuneri de grafit cu dimensiunea respectivă pe suprafață sub formă de peliculă continuă.

Astfel aplicarea peliculelor de grafit (cu conținut majoritar de carbon fig.4) pe suprafețele pieselor constituent ale formelor de turnare a sticlei a permis a stabili functionalitatea acestora foarte eficientă. Pieselor li-a fost asigurată o durabilitate de cel puțin de 2 ori mai mare, în raport cu pisele venite din fabrică [7-11]. Acest fapt poate fi explicat și prin aceea, că grafitul prezintă un unguent în stare solidă și împiedică aderarea sticlei la suprafața piesei, și respectiv uzura acesteia prin aderență, cât și prin faptul că, pelicula de grafit posedă proprietăți antirefractare și servește în calitate de izolator termic între suprafața piesei metalice și sticla lichidă.

Cele expuse mai sus se confirmă și de rezultatele obținute de autorii lucrărilor [13-17], care au supus încercărilor plonjoarele în condiții reale de exploatare și, ca rezultat s-a stabilit că plonjoarele formelor de turnare, pe suprafața activă a cărora au fost formate pelicule de grafit, au funcționat la 57600 cicluri în lipsa modificării formei și dimensiunilor acestora. În acest sens, pentru a compara uzura plonjoarelor formelor de turnare a sticlei s-au executat cercetări experimentale în ciclul tehnologic [27].

### 2.3. Încercări termo-gravimetrice (TGA)

După cum a fost deja relatat în lucrarea [30], la tratarea depunerilor de grafit în condiții de sporire a temperaturii în mediu de azot, masa eșantioanelor cercetate atestă o creștere la temperaturile de 222,99°C, 476,12°C și 614,73°C (fig. ). Acest fenomen poate fi explicat numai prin formarea structurilor 3D de tip fulereni [18-26, 28,30], care au capacitatea de înglobare a atomilor de azot (fig.6a) În rezultatul cercetărilor experimentale și analizei XPS, executate și prezentate în lucrarea [31], a fost determinat că, în afară de carbon, peliculele formate mai conțin compuși organici de următoarele tipuri: OH<sup>-</sup>, O-C și O-C=O. Comportamentul respectiv al peliculelor de grafit ar putea fi cauzat și de sinteza structurilor de tipul fulerenilor, sau nano-tuburilor de carbon cu un singur perete (fig.6), care în

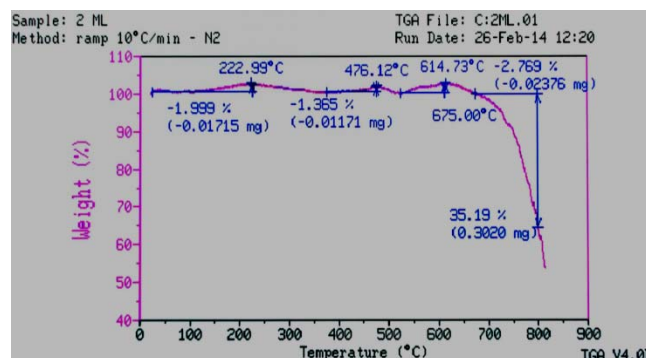


Figura 5. Rezultatele analizei termogravimetrice a depunerilor de grafit.

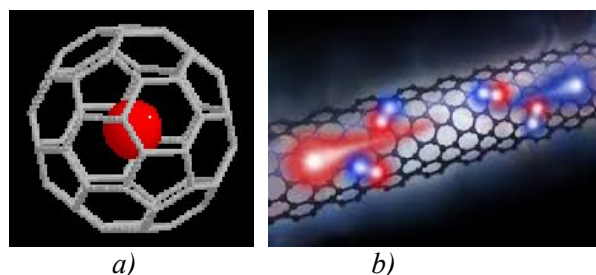


Figura 6. Prezentarea grafică spațială a structurilor: a – fulereni ce au absorbit azot; b – nano-tuburi de carbon care au absorbit compuși: OH<sup>-</sup>, O-C și O-C=O

conformitate cu cele stabilite de autorii [31] posedă această capacitate. Pelicule de grafit, formate pe suprafețe metalice prin metoda electroeroziunii [31], posedă de o mulțime de proprietăți funcționale benefice, cum ar fi: micșorează aderența de suprafață de 4 ori; micșorează coeficientul de frecare în cuplurile cinematice de la 0,4 până la 0,1; sporește rezistența la uzură a pieselor componente a formelor de turnare a sticlei de 3-4 ori, condiționează creșterea rezistenței la coroziune, în mediile chimic agresive, de 1,5 ori.

## 3. CONCLUZII

Eficiența prelevării grafitului de pe electrod pe suprafața prelucrată, practic, nu este influențată de forma capătului activ al electrodului;

Ca rezultat al aplicării peliculelor de grafit pe suprafețele metalice prin metoda descărcărilor electrice în impuls am putea afirma ca, acestea:

- posedă proprietăți anti-aderență, posedă proprietăți bune de lubrifiere, micșorează coroziunea pieselor cuplurilor cinematice în anumite medii agresive;

- comportamentul respectiv al peliculelor de grafit ar putea fi cauzat de sinteza structurilor de tipul fulerenilor și nano-tuburilor de carbon.

### Bibliografie

1. **Luneva V.P., Verhoturov A.D., Coziri A.V., Glabet T.V., Brui V.N.** Using the Cr-Ni alloys for the electric discharge deposition forming of. *EPI*, Nr 4, 2005, pp.11-18.
2. **Burumculov F. H., Lezin P.P., Senin P.V., Ivanov V.I.** The electric discharge technology aimed at retreading and hardening of the machining pieces and tools. *USM "Ogareva", Saransk*. 2003.
3. **Topala P.** The transfer of mass and diffusion processes on surface layers of engine parts during electrosparkle processing. *The materials of international conference: the technologies of maintaining, retreading and hardening of engine parts. Saint-Petersburg. V.2, 2007*, pp. 234-242.
4. **Beshliu V.** Structure and Properties of Surface Layers of Pieces Cemented when Interacting with the Plasma Channel of Electric Discharges in Pulse. *The annals of „Dunărea de Jos” University of Galați, Fascicle V, Technologies in machine building Vol.1, 2008*, pp. 24-30.
5. **Mihaliuc A.** The roughness reduction of electrosparkle co rings during the following processing with graphite electrode. *EPI. Nr.3, 2003*, pp. 21-23.
6. **Topala P.** Condition of thermic treatment and chemico-superficial innards, with the adhibition electric discharge in impulses. *Nonconventional technologies review. Nr.1, 2007*, pp.129-132.
7. **Topala P., Beshliu V.** Graphite deposits formation on innards surface on adhibition of electric discharges in impulses”. *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iassy, T.LIV, 2008*, pp.105-111.
8. **Topala P., Stoicev P., Epureanu A., Beshliu V.** The hardening of steel surfaces on the sections for electrosparkle alloyage. *International Scientific and Technical conference Machinebuilding and technosphere of the XXI century. Donetsk, 2006*, pp. 262-266.
9. **Topala P. Stoicev P.** Tehnologii de prelucrare a materialelor conductibile cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls., *Chișinău, Tehnica – Info, 2008*, 265 p.
10. **Topală P., Beșliu V., Stoicev P., Ojegov A.** Structural modifications – properties of surface micro-strata with graphite depositions. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies, vol II, 2013*, pp. 97-102.
11. **Topala P., Marin L., Beșliu V.** Applying graphite micropellicles to decrease the coefficient of superficial adhesion. *Advanced Manufacturing Technologies 2013, 7<sup>th</sup> international seminar Advanced Manufacturing Technologies, Sozopol, Bulgaria, 2013*, pp. 97-104.
12. **Kurochkin Yu. V., Demin Yu. N.** Technology for surface hardening of parts by treatment with concentrated energy flux. *Chemical and Petroleum Engineering, V. 37, 2001*, pp. 404-408.
13. **Mihaliuc A.** The roughness reduction of electro sparkle co rings during the following processing with graphite electrode. *EPI. No. 3, 2003*, pp. 21-23.
14. **Bulent Ekmekci, Oktay Elkoca, Abdulkadir Erden.** A comparative study on the surface integrity of plastic mold steel due to EDM, *Metallurgical and Materials Transactions. ProQuet Science Journals. Feb 36B, 2005*, pp. 117-124.
15. **Topala P., Beshliu V.** Graphite deposits formation on innards surface on adhibition of electric discharges in impulses. *Bulletin of the Polytechnic Institute of Iasi, Vol. LIV, 2008*, pp. 105-111.
16. **Beșliu V.** Structure and Properties of Surface Layers of Pieces Cemented when Interacting with the Plasma Channel of Electric Discharges in Pulse. *The annals of „Dunărea de Jos” University of Galați, Fascicle V, Technologies in machine bulding, Vol.1, Year XXIV (XXIX), 2008. P.75-82.*
17. **Topala P., Mazuru S., Besliu V., Cosovschi P., Ojegov A.** Application of EDI in increasing durability of glass moulding forms poansons. *ModTech-2011. 25-27 May, 2011. Vadul lui Voda-Chisinau, Republic of Moldova, 2011*, pp.1093-1096.
18. **Ruxanda G., Stancu M., Vizireanu S., Dinescu G., Ciuparu D.** *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, vol. 10, no. 8, 2008*, pp. 2047-2051.
19. **Howard J, McKinnon, J. Thomas, Makarovskiy Ya., Lafleur A., Johnson M.** Elaine "Fullerenes C<sub>60</sub> and C<sub>70</sub> in flames". *Nature 352 6331: (1991). 139-41. Bibcode:1991Natur. 352..139H. doi:10.1038/352139a0. PMID 2067575.*
20. **Howard J., Lafleur A., Makarovskiy Y., Mitra S., Pope C., Yadav T.** Fullerenes synthesis in combustion. *Carbon 30 (8): 1992. 1183. doi:10.1016/0008-6223(92)90061-Z.*
21. **Kroto H. W., Heath J. R., O'Brien S. C., Curl R. F., Smalley R. E.** C<sub>60</sub>: Buckminsterfullerene. *Nature 318 (6042): 1985. 162-163. Bibcode: 1985Natur.318..162K. doi:10.1038/318162a0*
22. **Zhao Yufeng, Kim Yong-Hyun, Dillon A. C., Heben M. J., Zhang S. B.** Hydrogen Storage in Novel Organometallic Buckyballs. *Physical Review Letters 94 (15): (22 April 2005). 155504. Bibcode:2005PhRvL..94o5504Z. doi:10.1103/PhysRevLett.94.155504. Retrieved 24 September 2012.*

23. **Hirsch A., Bellavia-Lund C. et al.** *Fullerenes and Related Structures (Topics in Current Chemistry)*. Berlin: Springer. 1993. ISBN 3-540-64939-5
24. **Diederich F. N.** Covalent fullerene chemistry. *Pure and Applied Chemistry* **69** (3): 1997. 395–400. doi:10.1351/pac199769030395. edit
25. **Li Y. et al.** Structures and stabilities of  $C_{60}$ -rings. *Chemical Physics Letters* **335** (5–6): 2001. 524. Bibcode:2001CPL...335..524L. doi:10.1016/S0009-2614(01)00064-1.
26. **Topala P., Mazuru S., Besliu V., Cosovschii P., Ojegov A.** Application of EDI in increasing durability of glass moulding forms poansons. *Proceedings of The 15<sup>th</sup> International Conference, Modern Technologies, Quality and Innovation. Vadul-lui-Vodă, Chișinău, V.II, 2011.* 1093-1096. ISSN 2069-6736.
27. **Topala P., Besliu V., Marin L.** Decreasing theadhesion effect of surfaces using graphite pellicle deposition through electric discharges in pulse. *Advanced Materials Research, Vol. 1036, Trans Tech Publications, Switzerland, 2014,* pp. 172-177. Doi:10.4028.
28. **Topala P., Besliu V., Ojegov A.** *Primenenie elektroimpul'snyx razryadov s grafitnym elektrodom. Mashinostroenie i texnosfera XXI veka. Sbornik trudov XVIII mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferentzii, Donetzk, 2011, c.240-245* ISBN 966-7907-20-1.
29. **Topala P., Mazuru S., Besliu V., Cosovschii P., Stoicev P.** Increasing the durabilitz of glass moulding forms applying graphite pillicles. *Proceedings of The 1<sup>4th</sup> International Conference, Modern Technologies, Quality and Innovation. Slănic-Moldova, 2010,* pp. 635-638. ISSN 2066-3919.
30. **Moon J. M., An K. H., Lee Y. H., Park Y. S., Bae D. J., Park G. S.** Sinteza și caracterizarea unor nanostructuri cu atomi de carbon 71. *Journal of Physical. Chemistry B, 105, (24), 2001,* pp. 5677-5681.
31. **Tiginyanu I., Topala P., Ursaki V.** *Nanostructures and Thin Films for Multifunctional Applications, Editura Springer, 2016,* 550 pg.