

**DISTRIBÚCIA SÍL V PAROPLAZMOVEJ OBÁLKE POČAS  
LEŠTENIA ODLIATKOV ELEKTROLYTICKO – PLAZMOVOU  
TECHNOLÓGIU**R. TÓTH<sup>1</sup>Slovak University of Technology, Faculty of Materials Science and Technology,  
Department of Foundry, J. Bottu 24, Trnava, 917 24**ABSTRAKT**

Elektrolyticko – plazmová technológia je na pracovisku Katedry zlievarenstva vyvíjaná a využívaná za účelom leštenia odliatkov. Ako nástroj je pri leštení využívaná ionizovaná vrstva plynov a pár – paroplazmová obálka. Matematická analýza silových pomerov v paroplazmovej obálke dovolila sformulovanie vzťahov, ktoré poukazujú na reálnu existenciu minimálne dvoch mechanizmov vyvolania rotačného alebo turbulentného pohybu zložiek obálky.

*Key words: castings polishing, plasma – electrolytic polishing, vapour – gas blanket, electric discharge*

**1 ÚVOD**

Elektrolyticko – plazmová technológia je založená na fyzikálnych javoch, prebiehajúcich na povrchu opracovávanej súčiastky, ponorenej do elektrolytu, ktoré sa vyvolajú na rozhraní elektrolytu s kovovým predmetom. Prechodom jednosmerného elektrického prúdu pri napätiach vyšších než 150V, v dôsledku lokálneho varu na rozhraní kov – elektrolyt, sa na povrchu leštenej súčiastky vytvára silne ionizovaná paroplazmová obálka. Obálka sa na povrchu súčiastky prejaví eróznym a kavitačným pôsobením. Pri vhodne zvolených parametroch procesu a pri vhodnom zložení elektrolytu nastáva čistenie a výrazné zníženie drsnosti kovového povrchu, čo sa pracovisku Katedry zlievarenstva s výhodou využíva na leštenie a jemné opracovávanie

---

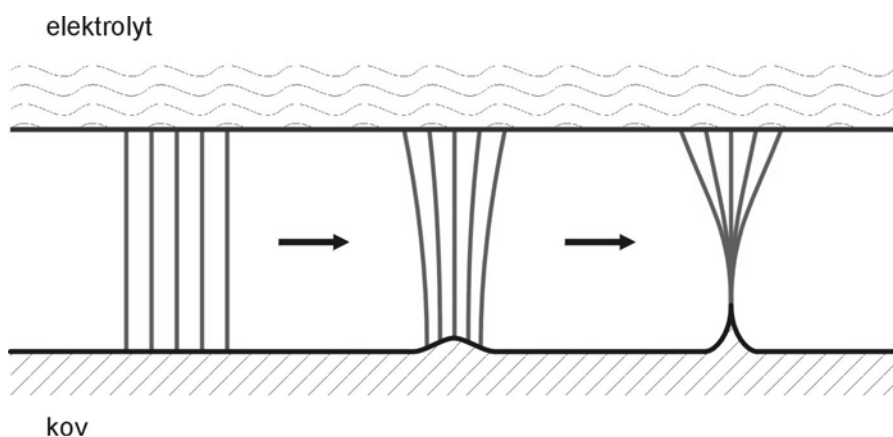
<sup>1</sup> Ing., PhD., roman.toth@stuba.sk

odliatkov z chrómnikovej ocele. Podrobnejšie sa technológiou leštenia odliatkov zaoberajú práce [1] a [2].

## 2 FOKUSÁCIA STĹPCOV VÝBOJA

Doterajší model, ktorý vysvetľoval javy v paroplazmovej obálke vychádzal z existencie stĺpcov s miestnou zvýšenou prúdovou hustotou. Existencia takých stĺpcov je pravdepodobná vzhľadom na existenciu elektromagnetických síl schopných sústreďovať prúd ionizovaných častíc alebo elektrónov. Uvedený názor vychádza z Biot – Savartovho zákona, ktorý hovorí o tom, že dráhový integrál magnetického poľa na ľubovoľnej slučke je číselne totožný s hodnotou prúdu, ktorý touto slučkou preteká. Analýza silových pomerov v takejto slučke poukázala na existenciu síl formulovaných v práci [3].

Podľa obrátenej interpretácie Biot – Savartovho zákona, paralelne tečúci elektrický prúd mimo slučky, hodnotu sumárneho dráhového integrálu magnetickej indukcie vôbec neovplyvní, hodnota magnetickej indukcie sa však bude na jednotlivých úsekoch pôvodnej slučky odlišovať.

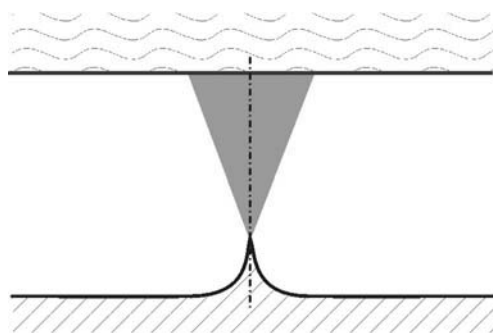


Obr. 1. Fokusácia stĺpca výboja v paroplazmovej obálke

Fig. 1. The discharge focusing in vapour – plasma blanket

Uvedená úvaha dovoľuje vysloviť hypotézu, že náhodne vytvorený stĺpec zložiek paroplazmovej obálky (ďalej PPO) s vysokou vodivosťou sa bude koncentrovať (Obr.1) s vysokým stupňom nezávislosti voči procesom, ktoré prebiehajú v okolí. Tiež je veľmi nepravdepodobné, aby prúdová hustota v celej PPO bola rovnomerná. Naopak, je pravdepodobnejší prípad, keď náhodná miestna fluktuácia hodnoty prúdovej hustoty prerastie do stĺpca s podstatne vyššou koncentráciou. Doterajšie úvahy nezohľadňovali skutočnosť, že elektrická vodivosť kovového povrchu je mnohonásobne vyššia a preto

prúdová hustota v PPO nebude rovnorodá. Koncentrácia prúdovej hustoty, reprezentovanej pohybom ionizovaných častíc a elektrónov, pôsobením elektromagnetických síl v oblasti kovového povrchu, nebude prakticky vôbec limitovaná elektrickou vodivosťou kovového povrchu. Nižší stupeň koncentrácie prúdu vedie ku relatívne malému vývinu tepla. Vyšší stupeň koncentrácie prúdovej hustoty v elektrolyte je limitovaný podstatne nižšou elektrickou vodivosťou a tiež vedie k výraznému vývinu Joulovho tepla  $Q = RI^2$ .



Obr. 2. Kužeľovitý stĺpec výboja

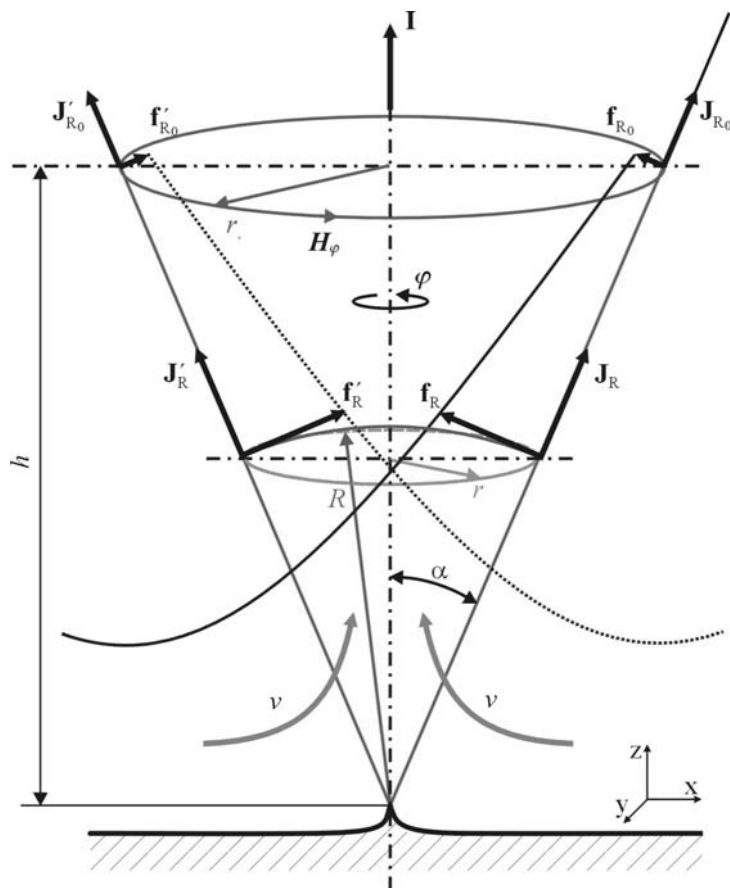
Fig. 2. The conical column discharge

Na Obr.2 je znázornený zjednodušený ideálny model PPO pri mnohonásobnom zväčšení na rozhraní elektrolyt – kov s plazmovým výbojom v tvare kužeľa, ktorý vznikol fokusáciou na mikrovýstupku.

### 3 ANALÝZA DISTRIBÚCIE SÍL V STĽPCI VÝBOJA

Ďalšia analýza bude zameraná na zistenie distribúcie síl v stĺpci výboja, aký je zjednodušene znázornený na Obr.2. Pôsobením už analyzovaných mechanizmov, ktoré sa môžu podieľať na fokusácii, s uvažovaním že najvyšší gradient tlaku sa uplatňuje po obvode kužeľa, tento bude pomerne výrazne ohraničený a po celej jeho výške od povrchu kovu až po perifériu elektrolytu bude pretekať elektrický prúd s konštantnou hodnotou  $I$ . Prúd lúčovito preteká kužeľom a v obecnej výške nad hrotom výstupku bude prúdová hustota rovnorodá, osovo symetricky distribuovaná a ekvipotenciálne hladiny budú tvorené povrchom guľového vrchlíku s polomerom  $R$ .

Analýza sa uskutoční v podmienkach znázornených na Obr.3. Pri analýze sa budeme zaoberať situáciou na vonkajšom plášti kužeľa. Z uvažovaného hrotu kužeľa elektrický prúd sféricky vystupuje do jeho priestoru, pričom sa bude predpokladať, že prúdová hustota bude osovo symetricky distribuovaná a bude mať konštantnú hodnotu  $\mathbf{J}_R$  na povrchu guľového vrchlíku s polomerom  $R$ .



Obr. 3. Sily na povrchu kužeľovitého stĺpca výboja

Fig. 3. The forces on the conical column discharge surface

V obecnej výške, kde prierez kužeľa tvorí kružnica s polomerom  $r = R \sin \alpha$ , určíme na jej obvode hodnotu intenzity magnetického poľa:

$$\mathbf{H}_\varphi = \frac{\mathbf{I}}{2\pi r} = \frac{\mathbf{I}}{2\pi R \sin \alpha} \quad (1)$$

Hodnotu prúdovej hustoty  $\mathbf{J}_R$ , ktorá sa bude podieľať na generovaní elektromagnetických síl na povrchu kužeľa, určíme na základe východiskového predpokladu, že  $\mathbf{J}_R$  bude konštantná na celom povrchu guľového vrchlíka s polomerom  $R$ , ktorého podstavu tvorí kružnica o polomere  $r$ . Povrch guľového

vrchlika vyrátame podľa známeho vzťahu  $S_V = 2\pi Rv = 2\pi R^2(1 - \cos \alpha)$  a potom pre hodnotu  $\mathbf{J}_R$  platí:

$$\mathbf{J}_R = \frac{\mathbf{I}}{S_V} = \frac{\mathbf{I}}{2\pi R^2(1 - \cos \alpha)} \quad (2)$$

Hodnota hustoty elektromagnetickej sily  $\mathbf{f}$  na obode uvažovanej kružnice s polomerom  $r$ , resp. vo vzdialenosti  $R$  od uvažovaného hrotu kužeľa bude:

$$\mathbf{f} = \mathbf{J}_R \times \mu \cdot \mathbf{H}_\varphi \quad (3)$$

Zo situácie na Obr. 3 je zrejmé, že množina vektorov prúdovej hustoty  $\mathbf{J}_R$  na celom obvode povrchu kužeľa, leží v rovine kolmej na všetky elementárne vektory  $\mathbf{H}_\varphi$  a preto ďalšia analýza silového pôsobenia sa uskutoční v skalárnej podobe. Po celom obvode kružnice budú interakciu kruhového, magnetického  $H_\varphi$  s prúdovou hustotou  $J_R$  generované sily  $f_R$ , kolmé na oba vektory, teda orientované šikmo pod uhlom  $\alpha$  do smeru osi kužeľa.

$$f_R = J_R \cdot \mu H_\varphi = \frac{\mu I^2}{4\pi^2 R^3(1 - \cos \alpha) \sin \alpha} \quad (4)$$

V rovnici (4) môžeme, z dôvodov transparentnosti, všetky konštantné veličiny na nahradiť spoločnou konštantou  $k$ , čím rovnica (4) získa tvar:

$$f_R = \frac{\mu I^2}{4\pi^2(1 - \cos \alpha) \sin \alpha} \cdot \frac{1}{R^3} = k \cdot \frac{1}{R^3} \quad (5)$$

Z rovnice vyplýva, že so zmenšovaním sa priemeru kužeľa, až do  $r \rightarrow 0$ , pri reálnej hodnote prúdu  $I$  sa bude hodnota síl zväčšovať teoreticky ku nekonečným hodnotám. Najvyššie hodnoty síl môžeme preto očakávať v tesnej blízkosti povrchu upravovaného kovového objektu. Generované sily sú kolmé na povrch kužeľa a pôsobia koncentricky pod uhlom  $\alpha$  smerom do stredu, čím sa vyvoláva rotačný pohyb objemu v tvare anuloidu, so stúpajúcou intenzitou smerom k hrotu kužeľa. Takto orientovaný pohyb prispieva k fokusácii stĺpca a pri zmenšení polomeru  $r$  pod kritickú hodnotu, nasávací účinok zaisťuje dopravu podstatne chladnejšieho okolitého prostredia PPO ku spodnej časti kužeľa.

#### 4 ZÁVER

Matematická analýza v podmienkach stĺpca výboja vytvarovaného do kužeľa ukázala, že v objeme stĺpca dochádza ku generovaniu nepotenciálne pôsobiacich síl, ktoré sú schopné vyvolať intenzívny rotačný pohyb objemu PPO, pričom hodnoty týchto síl sa prudko zvyšujú v tesnej blízkosti upravovaného povrchu. Pre hustotu sily  $f$  bol odvodený vzťah (4), z ktorého vyplýva, že so zmenšovaním sa priemeru kužeľa až

ku  $r$  blízke 0, pri reálnej konštantnej hodnote prúdu kužeľa výboja, sa bude hodnota síl zväčšovať teoreticky až ku nekonečným hodnotám. Gradient síl, prudko sa zväčšujúcich smerom ku povrchu, spolu so šikmou orientáciou smerom nahor, vytvárajú účinný mechanizmus vyvolávajúci rotáciu prstenca tvoreného zložkami obálky v tvare blízkom anuloidu, ktorý leží tesne nad upravovaným povrchom. Priestorová orientácia pohybu, ako je naznačená na Obr.3, vyvolá sací účinok, ktorý zaisť dopravu chladnejších zložiek paroplazmovej obálky, napr. drobných kvapôčiek elektrolytu ku hrotu kužeľa. Priestorová distribúcia síl v okolí hrotu kužeľa zaisť, že sací účinok bude najintenzívnejší v tesnej blízkosti upravovaného povrchu, kde rýchlosť zložiek PPO zaisť vysoký ochladzovací účinok okolia hrotu kužeľa výboja. Takáto predstava pôsobenia môže objasniť doposiaľ nevysvetlený poznatok, že teplota lešteného povrchu je iba o málo vyššia ako teplota elektrolytu (teplota elektrolytu zvyčajne býva 65 – 80°C).

#### LITERATÚRA

- [1] M. Murgaš, Š. Podhorský: Elektrolyticko-plazmová úprava kovových povrchov. Záverečná správa teoretickej časti riešenia projektu ZP-505-034/06, MtF STU Trnava, september 1992
- [2] Š. Podhorský, Sz. Gogola, A. Hochmanová: Povrchová úprava presných odliatkov pomocou elektrických výbojov v elektrolyte. In: *Acta Metallurgica Slovaca*, 7, 2001, č. 1-2, s. 414 – 419.
- [3] Š. Podhorský, R. Tóth: Pôsobenie elektromagnetických síl pri elektrolyticko-plazmovom procese. In: *Vedecké práce Materiálovotechnologickej fakulty STU v Bratislave so sídlom v Trnave. Zväzok 5. Bratislava, STU 1997, s. 103 – 110.*

#### THE FORCES DISTRIBUTION IN VAPOUR – GAS BLANKET DURING THE PLASMA – ELECTROLYTIC CASTS POLLISHING

##### SUMMARY

The plasma – electrolytic technology is still under development and used for polishing of castings on Department of Foundry. The vapour – plasma blanket is used as polishing tool. The mathematical analysis of forces acting in gas – plasma envelope enables to form equations, which shows the existence of minimum two mechanisms for inducement of rotary or turbulent movements of its components. The analysis enables to form the hypothesis, which interprets the significant features of this technology as surface roughness decreasing and very low heating – up of treated surface.

Recenzował: Prof. Marian Murgaš