

ODHROTOVANIE A ZRÁŽANIE HRÁN PLAZMOVÝM VÝBOJOM V ELEKTROLYTE

DEBURRING AND CHAMFERING THE EDGES USING PLASMA DISCHARGES IN ELECTROLYTE

Štefan PODHORSKÝ

Autor: Ing. Štefan Podhorský, PhD.

Pracovisko: Katedra zlievarenstva, Materiálovotechnologická fakulta STU

Adresa: Bottova 23, 917 24 Trnava, Slovensko

Tel.: 00421 33 5521 007 E-mail: podhor@mtf.stuba.sk

Abstract

The paper deals with the utilization of the plasma-electrolytic process in the field of deburring and chamfering of edges. The basics of the plasma-electrolytic process, the theory of the mechanism of surface roughness reducing, debur removing and chamfering.

Príspevok pojednáva o využití elektrolyticko-plazmového procesu v oblasti odhrotovania a zrážania hrán. Charakteristika elektrolyticko-plazmového procesu, mechanizmus znižovania drsnosti povrchu, zrážania hrán a odhrotovania.

Key words

*plasma discharge, electrolytes, deburring, roughness surface, plasma, discharge, chamfering
výboj plazmový, elektrolyty, odhrotovanie, drsnosť povrchu, plazma, výboj, zrážanie hrán*

Úvod

Základnou aplikáciou technológie elektrolyticko-plazmovej úpravy povrchu, vyvíjanej na Katedre zlievarenstva MtF STU v Trnave, je leštenie kovových povrchov na vysoký lesk. V priebehu výskumných prác bolo zistené, že technológiu je možné výhodne aplikovať aj na odhrotovanie a zrážanie ostrých hrán tvarovo zložitých a členitých výrobkov. Experimentálne práce priniesli poznatok, že úber materiálu na hranách lešteného objektu je podstatne vyšší než na okolitých plochách [1]. V prípade výskytu jemných ostrapkov na hranách, vzniknutých po trieskovom obrábaní, sú tieto prekvapujúco rýchlo odstraňované. Cieľom tohto príspevku je podať teoretické vysvetlenie mechanizmu týchto javov.

Elektrolyticko-plazmový proces

Základom elektrolyticko-plazmového procesu sú fyzikálne javy prebiehajúce na opracovávanom povrchu, ktorý je ponorený v elektrolyte, pod vplyvom jednosmerného prúdu, pri napätiach rádovo prevyšujúcich hodnoty používané v klasickej elektrochémií. Nad upravovaným (lešteným) kovovým povrchom sa tvorí tenká stacionárna vrstva ionizovaných pár a plynov – *paroplazmová obálka*. Prebiehajúce fyzikálne javy sa podstatne líšia od javov, vznikajúcich pri bežných elektrochemických procesoch. Elektrolytický obvod pozostáva z nádoby obsahujúcej elektrolyt a zo systému elektród pripojených k zdroju jednosmerného prúdu. Jedna z elektród – *aktívna elektróda*, má podstatne menší povrch než ďalšia, pomocná elektróda. Paroplazmová obálka vzniká len nad povrchom aktívnej elektródy. Aktívnou elektródou je povrch upravovaných predmetov. Paroplazmová obálka sa tvorí následkom lokálneho varu elektrolytu na rozhraní aktívna elektróda–elektrolyt, vyvolaného Jaulovým teplom pri prechode elektrického prúdu cez toto rozhranie. Vo vznikajúcej kompaktnej a súvislej paroplazmovej obálke sa udržuje vnútorný pretlak, ktorý je vyvolaný elektrostatickými silami a hydrostatickým tlakom. Vzhľadom na malú hrúbku paroplazmovej obálky dosahuje intenzita elektrického poľa značnú hodnotu a nastáva ionizácia jej prostredia. Paroplazmová obálka obklopujúca aktívnu elektródu pôsobí na kovový povrch svojimi fyzikálnymi a chemickými účinkami. Charakter týchto účinkov závisí od parametrov procesu a od chemického zloženia elektrolytu. Pri vhodnom zložení elektrolytu a pri istých parametroch procesu získa povrch aktívnej elektródy jasný kovový lesk.

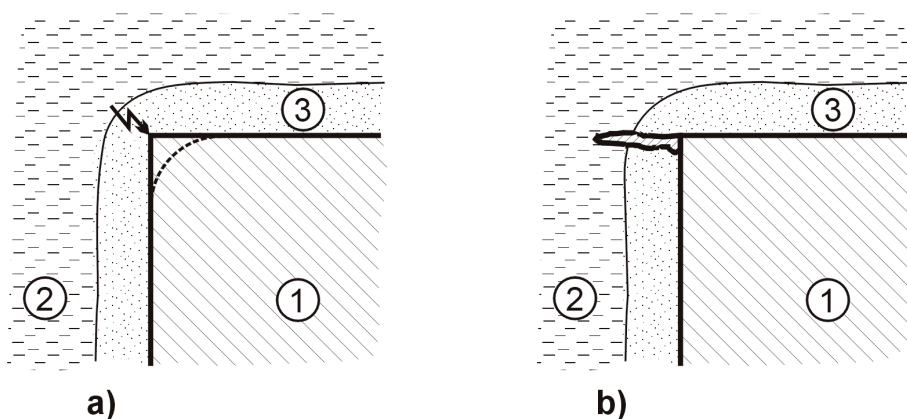
Charakter fyzikálnych účinkov elektrolyticko-plazmového procesu na upravovaný povrch určujú elektrostatické sily vyvolané vysokou intenzitou elektrického poľa v tenkej vrstvičke paroplazmovej obálky, ako aj elektromagnetické sily vyvolané prietokom prúdu elektricky nehomogénnym prostredím. Interakciou medzi elektrickým prúdom pretekajúcim cez paroplazmovú obálku a vybudeným magnetickým polom sú generované Lorenzove sily pôsobiace na vodivé zložky paroplazmovej obálky. Tie spôsobujú sústreďovanie nosičov elektrického náboja do úzkych stĺpcov s vysokou vodivosťou (pinč efekt). Vzhľadom na značnú heterogenitu prostredia paroplazmovej obálky vyvolávajú tiež pohyb týchto stĺpcov v smere kolmom na kovový povrch, pričom rýchlosť je ďalej zvyšovaná vznikajúcimi magnetohydrodynamickými silami. Úzke stĺpce výboja, s bodovým kontaktom s kovovou elektródou, pôsobia ako pohybujúce sa bodové zdroje tepla, odparujúce vyvýšené časti povrchového reliéfu, kde je vzdialenosť medzi kovovým povrchom a protiľahlou elektródou – stenou elektrolytu, najmenšia. Po veľmi krátkej tepelnej expozícii sú tieto oblasti povrchu opäť v styku s chladnejšími, pohybujúcimi sa zložkami paroplazmovej obálky a nenastáva globálne prehriatie povrchu.

Z uvedeného vyplýva, že elektrický výboj medzi kovovou a kvapalnou elektródou nemá plošný charakter, ale elektrický prúd prechádza cez úzke ionizované kanáliky v miestach, kde je hrúbka paroplazmovej obálky najmenšia. Elektrický výboj prebieha lokálne, prednostne nad “výčnelkami“ povrchového reliéfu kovového povrchu, ktoré zároveň pôsobia ako koncentrátoory napätia. Kov na týchto “výčnelkoch“ sa pôsobením výboja okamžite odparuje, čím sa zvýši vzdialenosť medzi elektródami a výboj (ionizovaný kanálik) sa presúva na lokalitu s vyššou intenzitou elektrického poľa, t.j. na najbližší “výčnelok“ povrchového reliéfu. Uvedený dej má dynamický charakter – úzke ionizované kanáliky, ktorými prechádza elektrický prúd cez plynné prostredie paroplazmovej obálky, neustále migrujú po leštenom povrchu a odparujú vyvýšené miesta povrchového reliéfu.

Okrem uvedených fyzikálnych účinkov elektrolyticko-plazmového procesu vplývajú na výsledné vlastnosti upravovaného povrchu aj elektrochemické faktory. Na kovovom povrchu sa v priebehu elektrolyticko-plazmového procesu vytvára tenká kvapalná medzivrstva, čo bolo zistené v rámci najnovších výskumných prác, zameraných na objasnenie samotnej podstaty procesu. Mechanizmus vzniku tejto vrstvičky elektrolytu je zrejme spätý jednak s prenosom kvapiek elektrolytu na kovový povrch, ktorý je spôsobený elektrohydrodynamickými javmi vyvolanými silným elektrickým poľom v paroplazmovej obálke jednak s procesom kondenzácie nasýtených pár elektrolytu na kovovom povrchu. Charakter elektrochemických procesov určuje, či sa bude na opracovanom kovovom povrchu vytvárať oxidický, resp. chemický povlak, alebo či bude povrch vykazovať jasný kovový lesk. Skutočnosť, že mechanizmus znižovania drsnosti priamo nesúvisí s procesom leštenia povrchu dokazujú výsledky výskumných prác zameraných na sledovanie závislosti získanej drsnosti povrchu od parametrov procesu. Pri vizuálnom vyhodnotení vzoriek bolo zistené, že najvyšší lesk nevykazovali vzorky s najnižšou dosiahnutou drsnosťou, čo sa pôvodne predpokladalo [2]. Výsledkom týchto experimentov je zistenie, že pri elektrolyticko-plazmovom leštení nieje priama závislosť medzi hodnotou drsnosti a leskom povrchu.

Mechanizmus zrážania hrán a odhrotovania

Pri elektrolyticko-plazmovom procese sa nad upravovaným povrchom vytvára tenká paroplazmová obálka, ktorá kopíruje povrch. Elektrolyt je odtlačený od kovového povrchu a vytvára sa sústava dvoch elektród – jednej kovovej (opracovaný povrch) a jednej kvapalnej (stena elektrolytu). Medzi elektródami sa nachádza dielektrikum tvorené parami elektrolytu a plynmi uvoľňujúcimi sa pri elektrolyze. Na obrázku 1a je znázornená situácia, ktorá nastane v prípade ostrej hrany na upravovanom povrchu. Stena elektrolytu, odtlačená paroplazmovou obálkou nevytvára ostrý ohyb nad touto hranou, ale prechádza plynulo z jednej plochy na druhú – polomer ohybu závisí od fyzikálnych vlastností elektrolytu. Vzdialenosť medzi uvedenými elektródami bude najmenšia nad hranou a preto bude elektrický výboj prednostne prebiehať práve na týchto miestach. Úber materiálu bude preto najintenzívnejší nad hranami upravovaného povrchu, čo vedie k zaobl'ovaniu hrán. Zvýšenú



Obr. 1 Schematické znázornenie paroplazmovej obálky tvoriacej sa nad upravovaným povrchom

a) úber materiálu nad hranou lešteného objektu;

b) situácia v prípade výskytu ostrého ostrapku na hrane lešteného objektu

1 – leštený kovový objekt, 2 – elektrolyt, 3 – paroplazmová obálka

intenzitu výbojov nad hranami je možné vizuálne pozorovať v tme – hrany objektu svietia podstatne intenzívnejším svitom než okolité plochy. Pri odhrotovaní je situácia podobná s tým rozdielom, že proces pôsobí z oboch strán ostrapkov, ktoré majú zvyčajne nepatrnú hrúbku. Výsledky praktických skúšok však nezodpovedajú teoretickým predpokladom, ktoré vychádzajú zo známej hodnoty rýchlosti úberu materiálu v daných podmienkach. Proces odhrotovania prebieha oveľa rýchlejšie, než sa predpokladalo. Túto skutočnosť je možné vysvetliť odtrhnutím častí paroplazmovej obálky v miestach ostrých prechodov povrchu aktívnej elektródy – v oblastiach výskytu ostrapkov. Odtrhnutie časti paroplazmovej obálky možno vysvetliť turbulenciou elektrolytu v mieste ostrapkov – proces leštenia je charakteristický intenzívne prebiehajúcimi hydrodynamickými javmi, ktoré sú vyvolané elektrickým poľom. V momente porušenia celistvosti paroplazmovej obálky nastáva situácia znázornená na obrázku 1b. Kovový ostrapok sa dostáva do priameho styku s elektrolytom, čo v podstate znamená skrat. Teóriu vzniku “mikroskratov“ paroplazmovej obálky podporujú aj záznamy z digitálneho osciloskopu, na ktorých zreteľne vidieť nepravidelne sa vyskytujúce krátke prúdové impulzy. Spôsob zániku, t.j. odstránenia ostrapkov zatiaľ nieje objasnený, do úvahy prichádzajú dva mechanizmy. Ostrapky sa môžu rozpustiť následkom enormného anódového rozpúšťania, ktoré nastane vzhľadom na vysokú hodnotu napätia na elektródach elektrolytického obvodu. Alebo v dôsledku vysokej prúdovej hustoty sa ostrapky, elektricky spájajúce kovový povrch s elektrolytom okamžite prehrejú a odtavia, alebo odparia. Zistiť, ktorý z týchto mechanizmov prevláda je predmetom ďalších výskumných prác.

Vlastný vedecký prínos k danej problematike

Cieľom príspevku je podať teoretické vysvetlenie fyzikálnych javov pôsobiacich na kovový povrch a na hrany lešteného objektu v priebehu elektrolyticko-plazmového procesu. Detailné poznanie fyzikálnej podstaty javov je východiskom pre aplikovaný výskum a úspešné využívanie tejto novej a perspektívnej technológie v priemyselnej praxi.

Záver

Predložené teoretické poznatky sú výsledkom výskumných prác zameraných na skúmanie fyzikálnych javov, ku ktorým dochádza na opracovávanom povrchu na rozhraní kov-elektrolyt. Vzhľadom na nesporné výhody, ktoré prináša nasadenie elektrolyticko-plazmovej technológie (ekológia, pracovné prostredie, produktivita) možno predpokladať jej skoré využitie v priemyselnej praxi aj v oblasti zrážania hrán a odhrotovania zložitých a tvarovo členitých výrobkov.

Príspevok vznikol vďaka podpore projektu VEGA č. 1/8270/01.

Literatúra:

- [1] TÓTH,R., SOLÁR,J. The rounding – off of the parts edges after plasma – electrolytic polishing. In *CO MAT TECH 2003, 11. medzinárodná vedecká konferencia*. Bratislava: STU, 2003, s. 1073 – 1077.
- [2] SOLÁR,J. , TÓTH, R. Metrological properties of the surface machined by plasma discharge in electrolyte. In *CO MAT TECH 2003, 11. medzinárodná vedecká konferencia*. Bratislava: STU, 2003, s. 941 – 944.