

ÚPRAVA POVRCHU KOVOVÝCH DIELOV PLAZMOVÝM VÝBOJOM V ELEKTROLYTE

ŠTEFAN PODHORSKÝ

SURFACE FINISHING OF METAL PARTS BY PLASMA DISCHARGES IN ELECTROLYTE

ABSTRAKT

Príspevok prezentuje nekonvenčný spôsob leštenia povrchu tvarovo členitých kovových dielov, ktorý je obzvlášť vhodný na finálnu úpravu povrchu antikoročných ocelí. Technológia plazmového leštenia v elektrolyte je založená na fyzikálnych javoch prebiehajúcich v elektrolyte na leštenom povrchu pod účinkom jednosmerného elektrického prúdu s napätím prevyšujúcim 100 V, keď sa okolo lešteného povrchu vytvára ionizovaná paro-plynová obálka. Technológia môže v mnohých prípadoch nahradiť štandardné elektrochemické leštenie. Jej výhody sú: elektrolyt je tvorený iba nízko-konzentrovaným (4 – 6 %) roztokom rôznych bezpečných solí – nepoužívajú sa žiadne kyseliny, žieraviny, ani toxické látky; jasný kovový lesk povrchu; relatívne krátky čas leštenia; neprejavuje sa tu efekt elektrického tienenia častí povrchu.

KLúčové slová: povrchová úprava, kov, leštenie, ekológia

ABSTRACT

The paper presents an unconventional method of surface polishing of complexly shaped metal parts, especially suitable for surface finish of stainless-steels. The technology of plasma polishing in electrolyte is based on the physical phenomena occurring on a treated surface in an electrolyte under the influence of a direct-current voltage higher than 100 V, when an ionised steam-gas blanket forms around the treated object. The technology can displace standard electro-polishing in many cases. Advantages: electrolyte based only on low-concentrated (4 – 6 %) harmless solutions of various kind of salts – there is no acids, caustics or toxicants; bright metallic surfaces; relatively short operation time; no shielding effect.

Key words: surface treatment, metal, polishing, environment

Úvod

Pri kovových výrobkoch, hlavne však pri výrobkoch z antikoročnej ocele sa v mnohých prípadoch vyžaduje úprava ich povrchu leštením. Dôvodom môžu byť požiadavky z hľadiska funkcie výrobku (zvýšená korózná odolnosť, znížená drsnosť povrchu, odstránenie povrchových defektov materiálu a pod.), alebo povrch výrobku sa leští z dekoratívneho dôvodu, teda zlepšenia celkového vzhľadu a tým lepšej predajnosti výrobku na trhu. V prípade strojárskych súčiastok, ktoré majú zvyčajne komplikovaný tvar a členitý povrch sa v priemyselnej praxi bežne používa elektrochemický (galvanický) spôsob leštenia. Súčasný trend neustále prísnejších ekologických požiadaviek a hygienických predpisov núti mnohých výrobcov rušiť staré prevádzky a investovať do nových, moderných postupov povrchových úprav. Jedným z možných alternatív je aplikácia zatiaľ neštandardného spôsobu leštenia povrchu, využívajúceho plazmový výboj v elektrolyte. Táto metóda je zatiaľ medzi odbornou verejnosťou málo známa, informácie dostupné z literárnych prameňov sú pomerne obmedzené. Cieľom príspevku je preto poskytnúť odbornej verejnosti základné informácie o tejto perspektívnej technológii povrchových úprav.

Princíp procesu plazmového leštenia v elektrolyte

Pri tejto technológii leštenia sa využíva proces, ktorý je možné charakterizovať ako fyzikálny na rozdiel od existujúcich, dobre známych postupov elektrochemického leštenia. Podstatou technológie je prechod jednosmerného elektrického prúdu cez elektrolyt, pričom jednu z elektród tvorí leštený objekt, resp. niekoľko objektov. V porovnaní s klasickou elektrochémou sa však jedná o kvalitatívne aj kvantitatívne odlišný proces. Používa sa podstatne vyššie napätie na elektródach, pričom pre vznik plazmového procesu v elektrolyte musia byť splnené dve základné predpoklady [1]:

- aktívna elektróda – leštené objekty, musia mať podstatne menšiu plochu povrchu než druhá elektróda;
- napätie na elektródach musí byť dostatočne vysoké, aby nastala ionizácia tenkej vrstvy pár a plynov, ktorá sa tvorí okolo aktívnej elektródy.

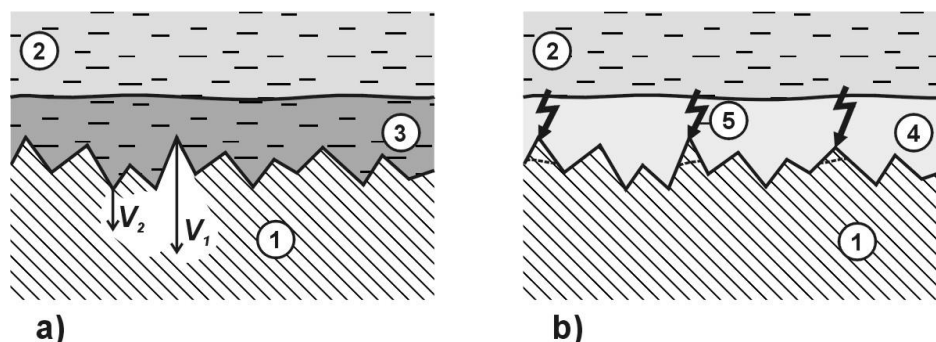
Splnením prvej z uvedených podmienok vzniká okolo aktívnej elektródy tenká vrstvička tvorená parami elektrolytu, čiastočne aj plynmi vznikajúcimi následkom prebiehajúcej elektrolýzy. Splnenie druhej podmienky zaistí prechod elektrického prúdu cez uvedenú vrstvičku – na povrchu aktívnej elektródy sa vytvára tzv. *paro-plazmová obálka* (ďalej PPO). Vznikom PPO už nie je povrch aktívnej elektródy, tj. leštených objektov, v priamom kontakte s elektrolytom a preto účinok procesu na aplikovaný povrch závisí predovšetkým od charakteru prechodu elektrického prúdu cez PPO. V závislosti od parametrov procesu môže nastať niekoľko odlišných situácií [1]:

- PPO je nestabilná, cyklicky vzniká a zaniká, pričom tento jav má explozívny charakter;
- aktívna elektróda sa zohreje na vysokú teplotu – až do červeného žiaru;

- aktívna elektróda sa následkom oblúkového výboja okamžite roztaví;
- aktívna elektróda sa výrazne nezohrieva a nastáva oxidácia jej povrchu, alebo prebieha chemická reakcia s tvorbou povlaku;
- prebieha intenzívne vyhladzovanie mikroskopických nerovností povrchu aktívnej elektródy a zároveň táto získa jasný kovový lesk.

Spôsob znižovania drsnosti povrchu, ktoré prebieha súbežne s procesom leštenia je diametrálne odlišný, než je to pri elektrochemickom leštení. Rozdiel vidieť na *obr. 1*, kde je schematicky znázornený princíp vyhladzovania povrchu pre obidva spomínané prípady. V prípade elektrochemického leštenia (*obr. 1a*) prebieha selektívne rozpúšťanie povrchového reliéfu. Elektrolyt (2), pozostávajúci z viskózných vysoko koncentrovaných kyselín, reaguje s lešteným kovovým povrchom (1) a spodiny týchto reakcií vytvárajú nad týmto povrchom pasivačnú vrstvu (3), ktorá znižuje elektrickú vodivosť elektrolytu. Elektrický odpor pasivačnej vrstvy závisí od jej hrúbky – menší bude vo vyšších častiach povrchového reliéfu, kde bude preto vyššia prúdová hustota a teda aj vyššia rýchlosť anódového rozpúšťania (v_1), než v prehĺbeninách povrchového reliéfu (v_2). Rozdielna lokálna rýchlosť rozpúšťania kovového povrchu následne vedie k jeho vyhladzovaniu, teda k znižovaniu drsnosti.

Pri plazmovom leštení v elektrolyte (*obr. 1b*) sa následkom lokálneho varu elektrolytu (2) vytvára nad lešteným povrchom (1) ionizovaná PPO (4), ktorá vytiesni elektrolyt od kovového povrchu. Vzniká tak sústava tvorená dvomi elektródami (jednu tvorí kovový povrch, druhú tvorí stena elektrolytu), medzi ktorými sa nachádza tenká vrstvička pár a plynov – PPO. Vzhľadom na jej veľmi malú hrúbku a značné napätie medzi uvedenými elektródami (kov – stena elektrolytu) je intenzita elektrického poľa v PPO vysoká, následkom čoho nastáva ionizácia jej prostredia – to umožní prechod elektrického prúdu cez PPO. Elektrický výboj medzi kovovou a kvapalnou elektródou nemá plošný charakter, ale elektrický prúd prechádza cez úzke ionizované kanáliky (5) (*pinch efekt*) v miestach, kde je intenzita elektrického poľa najvyššia – t.j. v miestach, kde je hrúbka PPO najmenšia. Z uvedeného vyplýva, že elektrický výboj prebieha lokálne, prednostne nad “výčnelkami” povrchového reliéfu kovového povrchu, ktoré zároveň pôsobia ako koncentrátoři napätia. Kov na týchto “výčnelkoch” sa pôsobením výboja okamžite odparuje, zvýši sa tým vzdialenosť medzi elektródami a výboj (ionizovaný kanálik) sa presúva na lokalitu s vyššou intenzitou elektrického poľa, t.j. na susediaci “výčnelok” povrchového reliéfu. Uvedený dej má dynamický charakter, úzke ionizované kanáliky, ktorými prechádza elektrický prúd cez plyné prostredie PPO, neustále migrujú po leštenom povrchu a odparujú vyvýšené miesta povrchového reliéfu. Najnižšia hodnota drsnosti, ktorú je možné dosiahnuť je daná veľkosťou zrna lešteného materiálu [1].



Obr.1 Znižovanie drsnosti povrchu pri elektrochemickom leštení (a) a plazmovom leštení v elektrolyte (b)

1 - leštený kovový povrch, 2 - elektrolyt, 3 - pasivačná vrstva, 4 - paroplazmová obálka (PPO), 5 – ionizovaný kanálik v PPO, v_1 - rýchlosť rozpúšťania vyvýšených častí povrchového reliéfu, v_2 – rýchlosť rozpúšťania najnižších častí povrchového reliéfu

Vlastnosti a možnosti využitia technológie

V mnohých prípadoch môže táto technológia nahradiť existujúce elektrochemické postupy, pričom okrem leštenia ju možno výhodne využiť na zrážanie ostrých hrán a odhroťovanie členitých výrobkov. Najmarkantnejším, na prvý pohľad zreteľným rozdielom medzi povrchom lešteným klasickým elektrochemickým postupom a technológiou plazmového leštenia v elektrolyte je lesk povrchu. Po plazmovej úprave v elektrolyte je povrch jasne kovovo lesklý a pripomína povrch galvanicky pochrómovaný. Úber z materiálu z lešteného povrchu je o rád nižší než pri elektrochemickom leštení – pri antikoročných oceliach je to približne $2,2 \mu\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$. To umožňuje leštiť súčiastky po obrobení aj v prípade, že sú predpísané prísne tolerancie rozmerov. Hodnota úberu časom nekolísá, je konštantná a v princípe nezávisí od vlastností elektrolytu [1]. Obrobky vyrobené z valcovaných polotovarov sa zvyčajne leštia 1 až 2 minúty, odliatky je nutné leštiť dlhší čas – 3 až 5 minút v závislosti od stavu povrchu po mechanickej úprave (otryskávaní).

Pri plazmovom leštení v elektrolyte sa používajú nízko koncentrované roztoky neutrálneho charakteru. Funkciou elektrolytu je privádzať elektrický prúd k PPO a vytvárať vhodné podmienky pre jej vznik a stabilitu. Na rozdiel od elektrochemického leštenia funkciou elektrolytu nie je reakcia s lešteným povrchom, naopak chemické reakcie medzi prostredím PPO a

kovovým povrchom sú nežiadúce. V priebehu vývoja technológie boli vyvinuté elektrolyty, ktoré majú vysokú účinnosť a vyznačujú sa vysokou stabilitou a životnosťou. Počas leštenia nenastáva opotrebovanie elektrolytu, preto sú aj parametre procesu počas leštenia dlhodobo stabilné. Straty elektrolytu sú spôsobované odparovaním a výnosom do oplachovej vody pri vyberaní závesov z pracovnej nádoby. Životnosť elektrolytu je teoreticky neobmedzená, prakticky závisí len od miery znečistenia roztoku.

Efekt elektrického tienenia spôsobuje pri elektrochemickom leštení problémy s rovnomernosťou lesku a ak sa vyžaduje leštenie vnútorných plôch výrobkov, do týchto priestorov sa musia ručne vložiť pomocné elektródy (katódy). Pri plazmovom leštení v elektrolyte takéto problémy nie sú, podmienkou je iba to, aby vzdialenosť leštených plôch, alebo jednotlivých kusov bola aspoň taká, aby nebol elektrolyt z tohto priestoru vytlačený tlakom vodnej pary. Leštia sa aj vnútorné povrchy otvorov a dutín, čo však závisí predovšetkým od priemeru a dĺžky otvoru [1]. Okrem leštenia sa technológia uplatnila tiež v oblasti odhroťovania a zrážania hrán. Polomer zaoblenia závisí od trvania procesu, pre bežne používané časy sa pohybuje rádovo v desiatkach µm.

Aplikácia procesu plazmového leštenia v elektrolyte vedie k zvýšeniu koróznej odolnosti materiálu v porovnaní s tradičnými spôsobmi leštenia. Nastáva pasivácia povrchu, leštený povrch je odolný aj voči bežným leptadlám, používaným v metalografii.

Environmentálne a hygienické prednosti technológie

Pri plazmovom leštení v elektrolyte sa používajú vodné roztoky solí, s koncentráciou iba niekoľkých jednotiek percenta – typicky 4 až 6 %, ktoré sú zvyčajne chemicky neutrálne. Tým sa táto technológia výrazne líši od elektrochemického spôsobu leštenia, kde sa používajú vysoko koncentrované zmesi kyselín, toxické a horľavé zložky, ale aj ekologicky problematické zložky (napr. CrO_3). Nízka koncentrácia pracovného roztoku nie je výhodou iba z hľadiska ekonomických nákladov na chemikálie pri príprave nového roztoku, ale aj z hľadiska strát spôsobených výnosom elektrolytu do oplachovej vody. Nižšie znečistenie oplachovej vody znamená zároveň nižšiu spotrebu vody v technologickom procese a nižšiu ekologickú záťaž.

Na pracovisku autora sa technológia plazmového leštenia v elektrolyte využíva na leštenie antikoročných ocelí. Na tento účel bol vyvinutý elektrolyt s označením NRZ1. Je chemicky neutrálneho charakteru, vyznačuje sa mimoriadne vysokou životnosťou, dáva reprodukovateľné výsledky, na jeho prípravu sa používajú výlučne zložky, ktoré nie sú z ekologického ani zo zdravotného hľadiska problémové. Röntgenová difrakčná analýza nepreukázala výskyt 6 mocného chrómu v dlhodobo používanom roztoku, čo bolo potvrdené aj chemickou analýzou uskutočnenou na Katedre environmentálneho a bezpečnostného inžinierstva MtF STU.

Záver

Záverom možno zhrnúť, že zavedenie plazmového leštenia v elektrolyte prináša ekologické výhody, zlepšenie hygienických a pracovných podmienok na pracovisku, zvýšenie kvality lešteného povrchu, možnosť leštenia elektrochemicky obtiažne lešiteľných výrobkov, zaručuje vysokú toleranciu rozmerov a reprodukovateľnosť dosiahnutých výsledkov. Na druhej strane zavedenie technológie vyžaduje zvýšené investičné náklady. Na pracovisku Katedry zlievarenstva MtF STU je postavený prototyp technologického zariadenia, ktoré umožňuje leštiť plochu zhruba do 6 dm².

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] Podhorský, Š.: Úprava povrchu antikoročných ocelí plazmovým výbojom v elektrolyte. Habilitačná práca, MTF STU, Trnava, 2008.

ADRESA AUTORA

doc. Ing. Štefan Podhorský, CSc., STU Bratislava, Materiálovotechnologická fakulta, Paulínska 16, 917 24 Trnava

RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU

Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.

REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS

Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.