■ Žilina: Strix. Edícia ESE-11, Prvé vydanie. ISBN 978-80-89281-84-8. ■ Rusko, M. [Ed.] ■

LEŠTENIE NEHRDZAVEJÚCEJ OCELE X10 CrNi 18/10 PLAZMOVÝM VÝBOJOM V ELEKTROLYTE – EKOLOGICKÁ ALTERNATÍVA KU KLASICKÉMU ELEKTROCHEMICKÉMU LEŠTENIU

THE POLISHING OF THE STAINLESS STEEL X10 CrNi 18/10 BY PLASMA DISCHARGE IN ELECTROLYTE – ECOLOGICAL ALTERNATIVE TO ELECTROPOLISHING

Dušan VAŇA – Štefan PODHORSKÝ – Marek HURAJT – Roland ŠUBA

ABSTRAKT
Článok sa zaoberá vyhodnocovaním vybraných parametrov povrchu vzoriek z ocele X10 CrNi 18/10, ktoré boli leštené dvomi metódami – klasickým elektrochemickým leštením a leštením plazmovým výbojom v elektrolyte. Práve leštenie plazmovým výbojom v elektrolyte je považované za ekologickú alternatívu k elektrochemickému leštení, pretože elektrolyt nie je tvorený koncentrovanými kyselinami, ale nízko koncentrovanými vodnými roztokmi solí. Sledované parametre povrchu boli drsnosť, lesk a hrúbka odobratej vrstvy materiálu z lešteného povrchu. Dosahovaný lesk pri oboch metódach bol porovnateľný. Pri elektrochemickom leštení pri nižších prúdových hustotách lesk výrazne klesal. Drsnosť povrchu klesala pri oboch metódach leštenia, intenzívnejší pokles bol po leštení plazmovým výbojom, kde hodnota drsnosti klesla voči pôvodnej drsnosti o 43 % a pri elektrochemickom leštení bol pokles o 27 % pri najväčšej aplikovanej prúdovej hustote (71 A/dm^2). Hrúbka odobratej vrstvy materiálu po leštení plazmovým výbojom bola 2,25 µm za minútu a pri elektrochemickom leštení jej hodnota činila 2,5 násobok pri najväčšej aplikovanej prúdovej hustote.
Kľúčové slová: *leštenie, plazma, elektrolyt, drsnosť, lesk, nehrdzavejúca oceľ.*

ABSTRACT
The paper deals with evaluation of two surface finishing methods. The specimens were finished by classic electropolishing and plasmapolishing in electrolyte and they were made from austenitic stainless steel X10 CrNi 18/10. The plasmapolishing is considered as ecological alternative to electropolishing, because electrolyte consists not from concentrated acids. The electrolyte used by plasmapolishing consists from ecological friendly solution of various salts. Surface roughness, gloss level and thickness of removed layer of the specimen were evalutaed surface properties after polishing by both methods. The values of the surface gloss level were comparable. The surface gloss level decreased by electrolpolishing by lower currents densities. The decrease of the surface roughness was most intensive after plasma polishing and its value decreased by 43 % compared toinitial surface roughness before polishing. The thickness of removed layer was 2,25 µm per minute for plasmapolishing and value for electroplolishing was 2,5 times higher with the highest current density.
Key words: *polishing, plasma, electrolyte, roughness, gloss, stainless steel.*

ÚVOD

Leštenie antikoróznych ocelí sa uplatňuje najmä kvôli zvýšeniu koróznej odolnosti ako aj pre redukciu drsnosti povrchu. Ako finálna operácia sa používa najmä v zdravotníckom, potravinárskom alebo chemickom priemysle, keď zvýšená korózna odolnosť a vyhladenie povrchu zabezpečuje lepšiu hygienu, odolnosť voči zachytávaniu sa špiny, baktérií a plesne na povrchu súčiastok.
Pre finálnu úpravu súčiastok, ktoré sú tvarovo zložitejšie, sa v praxi najviac používa elektrochemické leštenie. Ako ekologická alternatíva k elektrochemickému lešteniu bola vyvinutá technológia plazmového leštenia v elektrolyte, kde použitý elektrolyt je tvorený nízko koncentrovaným vodným roztokom solí. Elektrolyt použitý pri elektrochemickom leštení sa skladá zo zmesi koncentrovaných kyselín, najmä H_2SO_4, H_3PO_4. Z toho vyplývajú náročnejšie požiadavky pre dodržiavanie hygieny práce, dodržanie pracovných bezpečnostných opatrení pre obsluhujúce osoby a zabezpečenie ekologickej likvidácie použitého elektrolytu. [1], [2], [4].

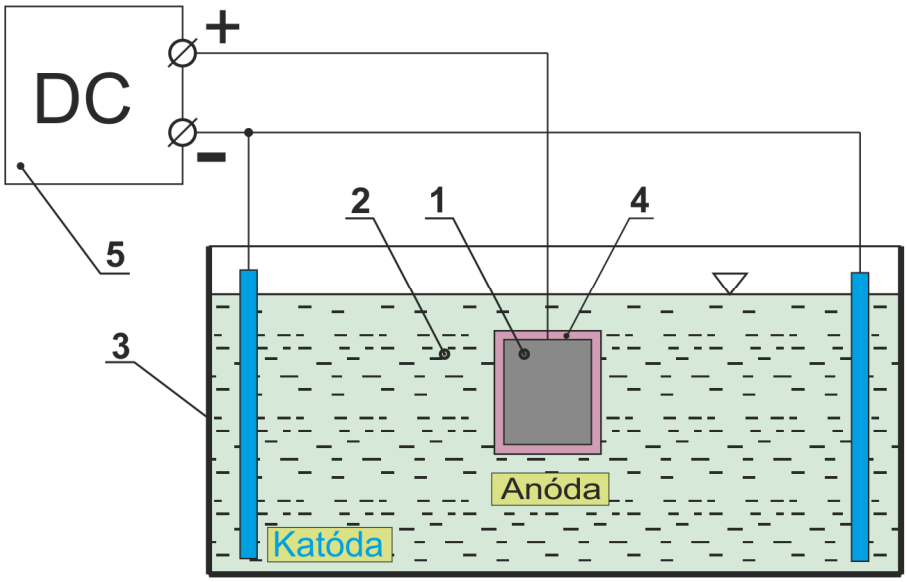
CHARAKTERISTIKA TECHNOLÓGIE LEŠTENIA PLAZMOVÝM VÝBOJOM V ELEKTROLYTE

Táto technológia je založená na fyzikálnych javoch prebiehajúcich na povrchu opracovávanej súčiastky, ktorá je pod vplyvom jednosmerného napätia a je ponorená v elektrolyte. V porovnaní s elektrochemickými operáciami ide o kvalitatívne a kvantitatívne diametrálne odlišný proces. Pri leštení plazmovým výbojom v elektrolyte

(ďalej len plazmové leštenie) sa využíva ďaleko vyššie napätie medzi elektródami v porovnaní s elektrochemickými operáciami, zároveň musia byť splnené aj nasledujúce podmienky:

- povrch upravovaného predmetu, ktorý zároveň predstavuje aktívnu elektródu, musí byť podstatne menší v pomere k druhej elektróde,
- aby došlo k ionizácii tenkej vrstvy vodnej pary na aktívnej elektróde, je potrebné dosiahnuť dostatočne vysoké napätie na elektródach, napätie prevyšuje hodnotu 150V.

Splnením prvej podmienky dochádza k vytvoreniu tenkej vrstvy vodnej pary na povrchu aktívnej elektródy. Po splnení druhej podmienky je zaistený prechod elektrického prúdu cez spomínanú vrstvu a jej ionizovaním sa mení na paro-plazmovú obálku (ďalej len PPO), pričom aktívna elektróda už nie je od tohto momentu v kontakte s elektrolytom a prebieha intenzívne vyhladzovanie reliéfu povrchu aktívnej elektródy za súčasného získavania jasného kovového lesku.
Technologické zariadenie pre proces plazmového leštenia, ktorého schéma je na Obr. 1, tvorí elektrolytický obvod. Ten pozostáva z pracovnej nádoby (3) s elektrolytom (2), v ktorom sú umiestnené dve kovové elektródy napájané zdrojom jednosmerného napätia (5). Pomocná elektróda (katóda) slúži na privádzanie elektrického prúdu do elektrolytu. Aktívna elektróda (anóda), leštený predmet (1), má podstatne menší povrch ako pomocná elektróda. [1], [2], [3].



Obr.1 - Principiálna schéma zariadenia pre plazmové leštenie.

V dôsledku lokálneho varu elektrolytu sa na povrchu lešteného kovu vytvára vrstva plynov a pár, a následné postupné vytesnenie elektrolytu z tohto povrchu. Vytvára sa takto sústava dvoch elektród, ktoré oddeľuje tenká vrstva. Medzi elektródami je značné napätie a hrúbka vodnej pary je pomerne malá. Tieto faktory spôsobujú, že intenzita elektrického poľa v tejto vrstve je vysoká. Dochádza tak k jej ionizácii a premene na paro-plazmovú vrstvu (4), čo následne umožňuje prechod elektrického prúdu prednostne v miestach s najvyššími výčnelkami povrchu cez úzke ionizované kanáliky – vo forme plazmového výboja. Sú to inými slovami miesta s najnižšou hrúbkou PPO, kde je intenzita elektrického poľa najvyššia (Obr. 5a).
Tvorba plazmového výboja je dej dynamický, teda vzniká a zaniká v čase, prednostne v spomínaných miestach, pričom ich pôsobením dochádza k odparovaniu kovového materiálu zasiahnutých výčnelkov povrchového reliéfu. Z uvedeného vyplýva, že pri plazmovom leštení nedochádza k úberu materiálu v priehlbinách povrchového reliéfu ako je tomu pri elektrochemickom leštení. Tento fakt tak tvorí nesporne jednu z ďalších výhod procesu plazmového leštenia v porovnaní s elektrochemickým leštením. [1], [2], [3].

VLASTNOSTI POVRCHU LEŠTENÉHO PLAZMOVÝM A ELEKTROCHEMICKÝM SPÔSOBOM

Experimentálne vzorky boli vyrobené z antikoróznej ocele X10 CrNi 18/10 s Rm 500÷700 MPa a s obsahom uhlíka max. 0,15%. Z tabule plechu hrubej 3 mm boli vyrezané vodným lúčom na rozmer 50 × 50 mm. Vzorky mali v sebe vyvŕtané diery priemeru 5 mm, ktorými sa upevnili na držiak počas leštenia. Povrch vzoriek bol pred

experimentom v stave po valcovaní a nebol opracovávaný. Pôvodná drsnosť povrchu Ra pred leštením bola 1,7 µm.

Pripravené vzorky boli opracovávané dvomi finálnymi metódami úprav kovových povrchov (plazmovým a elektrochemickým leštením). Na vzorkách sa sledovali zmeny niektorých vybratých parametrov povrchu po leštení. Išlo o zmenu drsnosti povrchu Ra, zmenu úrovne lesku povrchu a posúdenie hrúbky odobratej vrstvy materiálu z povrchu vzorky Δh, pričom východiskové parametre povrchu boli pred obomi spôsobmi leštenia rovnaké. Celkový čas leštenia bol 3 minúty. Počas plazmového leštenia boli nastavené vhodné parametre procesu (napätie, prúdová hustota). Ako elektrolyt bol použitý roztok s koncentráciou 6% a s teplotou 65°C. Parametre počas elektrochemického leštenia uvádza Tab. 1.

Tab.1 – Parametre elektrochemického leštenia počas experimentu.

Zloženie elektrolytu	H_3PO_3 64% wt. H_2SO_4 13% wt. H_2O 23% wt.
Prúdová hustota	I_1 = 40,3 A/dm^2
	I_2 = 50,2 A/dm^2
	I_3 = 60,5 A/dm^2
	I_4 = 70,1 A/dm^2
Teplota elektrolytu	64°C

Pre posúdenie úrovne lesku lešteného povrchu bol použitý leskomer Novo Curve od Rhopoint Instrumenst. Prístroj pracoval s meracím uhlom 60° a zodpovedal norme ASTM D534 a ISO 2813. Pri meraní hodnôt povrchového lesku sa dbalo, aby sa miesta merania nachádzali okolo geometrického stredu meranej plochy. Každá hodnota lesku sa merala na danej ploche 5 krát a aritmetický priemer sa zapísal do tabuľky 3. Jednotky meraných hodnôt lesku sa označujú GU, čo je odvodené z anglického „gloss units“, teda jednotky lesku.

Drsnosť bola meraná prístrojom TR-200 s rozlišovacou schopnosťou 0,01 µm a presnosťou vyhovujúcou DIN 4772. Priebeh merania bol podobný ako pri meraní povrchového lesku. Pred aj po leštení sa drsnosť merala 5 krát a jej priemerná hodnota bola zapísaná do tabuľky 2.

Pre vyjadrenie hrúbky odobratej vrstvy Δh z povrchu počas leštenia (tzv. úber materiálu) sa rátalo s hrúbkou vzorky pred leštením a hmotnosťou vzorky pred a po leštení. Tento spôsob výpočtu úberu materiálu sa použil preto, lebo nevnášal do merania chybu z viacnásobného merania rozmerov hrúbky vzorky mikrometrom pred a po leštení. Navyše hodnoty úberu materiálu môžu byť na hranici rozlišovacej schopnosti mikrometra. Hmotnosť vzorky sa dala pomocou laboratórnych váh Mettler Toledo PB 303-S s rozlíšením 1 mg určiť presne.

Cieľom publikácie je ukázať, že leštenie plazmovým výbojom v elektrolyte je alternatíva ku klasickému elektrochemickému lešteniu. Navyše má tento proces jednu výhodu – je šetrnejší k životnému prostrediu. V nasledujúcich tabuľkách sú uvedené namerané hodnoty vybratých sledovaných parametrov povrchu, ktoré sa počas leštenia menia.

Tab. 2 – Merané hodnoty drsnosti povrchu pred a po leštení obomi metódami s vyjadrením percentuálneho poklesu voči pôvodnej hodnote drsnosti.

Čas leštenia [min]	Drsnosť Ra[µm]				
	P	E			
		I_1=40,3 A/dm^2	I_2=50,2 A/dm^2	I_3=60,5 A/dm^2	I_4=71,1 A/dm^2
0	1,70	1,68	1,87	1,86	1,75
3	0,98	1,46	1,50	1,52	1,28
Rozdiel	0,72	0,22	0,37	0,34	0,47
Pokles drsnosti [%]	43	14	20	18	27

■ Žilina: Strix. Edícia ESE-11, Prvé vydanie. ISBN 978-80-89281-84-8. ■ Rusko, M. [Ed.] ■

Tab. 3 – Merané hodnoty povrchového lesku vzoriek pred a po leštení.

Čas leštenia [min]	Lesk [GU]				
	P	E			
		I_2=40,3 A/dm2	I_3=50,2 A/dm^2	I_4=60,5 A/dm^2	I_5=71,1 A/dm^2
0	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8
3	177,0	115,0	141,6	148,5	184,3

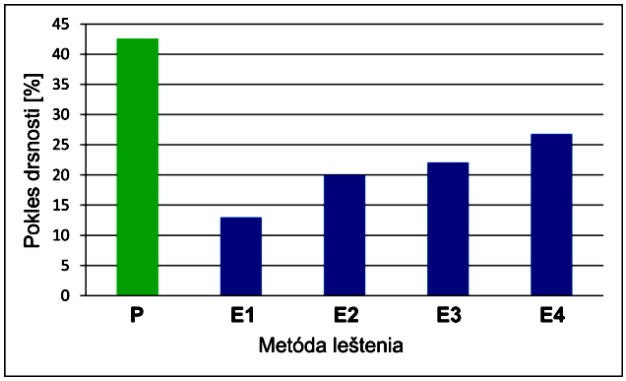
Tab. 4 – Hrúbka odobratej vrstvy materiálu za čas 1 minúta.

Hrúbka odobratej vrstvy z lešteného povrchu [µm]				
P	E			
	I_1=40,3 A/dm^2	I_2=50,2 A/dm^2	I_3=60,5 A/dm^2	I_4=70,1 A/dm^2
2,25	3,62	4,3	4,98	5,67

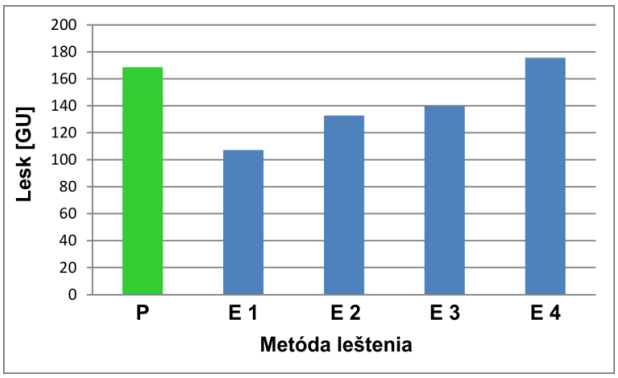
(P – plazmové leštenie; E – elektrochemické leštenie)*

VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNYCH PRÁC

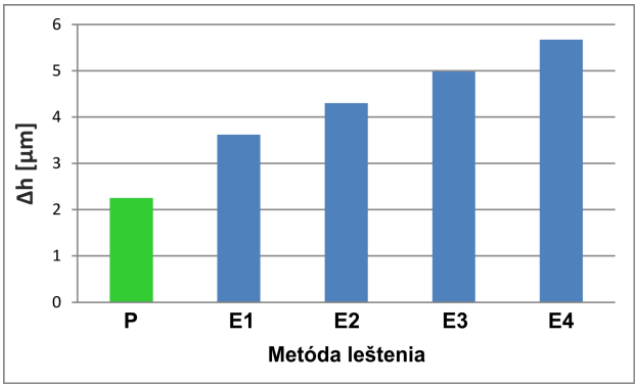
Výsledné namerané hodnoty ukazujú, že plazmové leštenie v elektrolyte je alternatíva k elektrochemickému spôsobu leštenia a z hľadiska niektorých skúmaných parametrov povrchu sa táto technológia javí výhodnejšia. Obrázok 2 graficky znázorňuje percentuálny pokles drsnosti po leštení v porovnaní s pôvodnou drsnosťou povrchu pred leštením. Je zrejmé, že drsnosť vzorky počas leštenia mala vo všetkých prípadoch klesajúcu tendenciu a najväčší pokles Ra sa dosiahol po leštení plazmovým výbojom v elektrolyte, keď drsnosť klesla z pôvodnej hodnoty 1,7 µm na hodnotu 0,98 µm, čo je 43 percentný pokles po čase leštenia 3 minúty. Pri elektrochemickom leštení pokles drsnosti nebol až tak výrazný a jej najväčšia miera sa dosiahla pri aplikácii najvyššej prúdovej hustoty 71,1 A/dm^2, keď drsnosť poklesla oproti pôvodnej hodnote o 27%.
Z nameraných hodnôt lesku (Obr. 3) je zrejmé, že jeho dosahované hodnoty boli pre obe metódy leštenia porovnateľné a výrazne sa od seba nelíšili. Najvyššia hodnota lesku bola dosiahnutá pri elektrochemickom leštení (až 184 GU), avšak až pri najvyššej aplikovanej prúdovej hustote 71,1 A/dm^2. Dosiahnutý lesk po troch minútach plazmového leštenia bol 177,0 GU.
Hrúbka odobratej vrstvy materiálu z lešteného povrchu (Obr. 4) bola najväčšia počas elektrochemického leštenia a jej nárast bol závislý od aplikovanej zvyšujúcej sa prúdovej hustoty. Najväčšia odobratá vrstva bola pri aplikovanej prúdovej hustote 70,1 A/dm^2, keď jej hodnota bola až 5,67 µm za jednu minútu leštenia. Naopak najtenšia odobratá vrstva sa dosiahla po leštení plazmovým výbojom v elektrolyte, kedy sa po jednej minúte odobrala vrstva s hrúbkou asi 2,25 µm pre danú oceľ.



Obr.2 – Percentuálny pokles povrchovej drsností počas experimentu po 3 minútach leštenia.



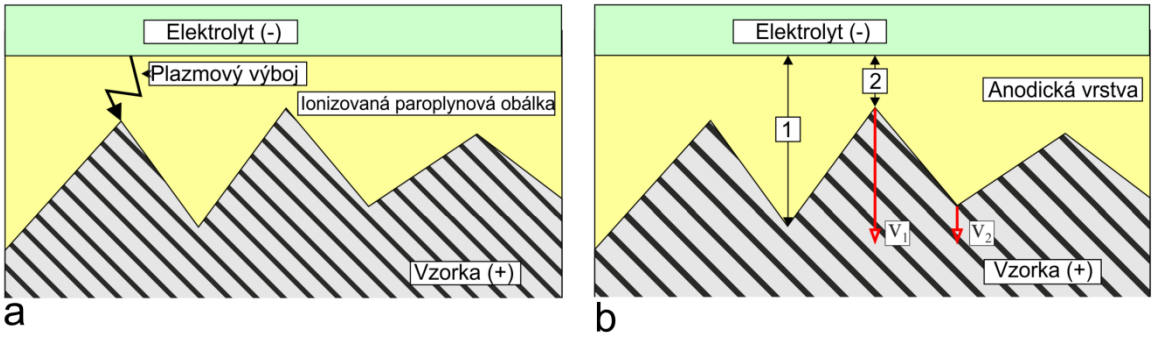
Obr.3 – Dosiahnuté úrovne povrchového lesku vzoriek, leštené obomi metódami časom 3 minúty, pôvodný lesk pred leštením 8,8 GU.



Obr.4 – Vyjadrenie hrúbky odobratej vrstvy materiálu z povrchu vzorky Δh za čas 1 minúta pri počiatočnej povrchovej drsnosti Ra = 1,7 µm.
(P – plazmové leštenie; E1 – elektrochemické leštenie prúdovou hustou I_1; E2 – elektrochemické leštenie prúdovou hustotou I_2 atď.).*

DISKUSIA A ZÁVER

Vyhodnotenie a porovnanie výsledkov zvolených parametrov povrchu po plazmovom a elektrochemickom leštení v elektrolyte ukázalo, že niektoré merané parametre dosahovali po plazmovom leštení lepšie hodnoty – najmä zmena drsnosti, ktorá poklesla až o 43 % v porovnaní s pôvodnou drsnosťou pred leštením. Bolo to zapríčinené základným princípom tohto spôsobu leštenia, kedy k odoberaniu materiálu dochádza len na mikroskopických výčnelkoch povrchového reliéfu (ako to znázorňuje Obr.5a). Najväčší pokles drsnosti po elektrochemickom leštení bol dosiahnutý pri najvyššej použitej prúdovej hustote I_4 = 71,1 A/dm^2 a jej hodnota poklesla len o 27 % voči pôvodnej drsnosti pred leštením. Tento výsledok je zapríčinený podstatou elektrochemického leštenia, založeného na princípe anódového rozpúšťania materiálu, ktorého rýchlosť (v_1) je najväčšia v miestach najmenšej hrúbky anodickej vrstvy, teda nad výčnelkami povrchového reliéfu. S narastajúcou hrúbkou anodickej vrstvy (nad priehlbinami povrchového reliéfu) sa rýchlosť anodického rozpúšťania zmenšuje (v_2 na Obr. 5b). Táto rozdielna rýchlosť rozpúšťania vedie k postupnému vyhladzovaniu povrchu, avšak materiálu z povrchu súčiastky sa za rovnaký čas leštenia odoberie väčšie množstvo, ale vplyv na pokles drsnosti povrchu je menší [5].
Hrúbka odobratej vrstvy bola najväčšia po elektrochemickom leštení pri všetkých aplikovaných prúdových hustotách a jej maximálna hodnota bola 5,67 µm za minútu pri prúdovej hustote I_4 = 71,1 A/dm^2. To je takmer 2,5 násobne viac ako pri plazmovom leštení, kde odobratá hrúbka bola len 2,25 µm za minútu. Treba však brať do úvahy, že experiment elektrochemického leštenia bol vykonávaný v novom elektrolyte. Je predpoklad, že chemické zloženie tohto elektrolytu sa bude s časom leštenia meniť, čo môže mať negatívny vplyv na hodnoty dosahovaných parametrov lešteného povrchu. Preskúmanie tohto javu bude cieľom budúcich experimentov.



Obr.5 – Princíp úberu materiálu z povrchu počas plazmového leštenia (a) a počas elektrochemického leštenia, kde 1 je hrúbka anodickej vrstvy nad „údolkom" povrchového reliéfu a 2 je hrúka anodickej vrstvy nad výčnelkom povrchového reliefu (b).

Záverom možno skonštatovať, že plazmové leštenie vykazuje lepšie parametre lešteného povrchu, či už z hľadiska poklesu povrchovej drsnosti, úrovne lesku a to pri výrazne menšom úbere materiálu z lešteného povrchu. Okrem toho má tento spôsob výrazné prednosti aj z hľadiska ekológie a hygieny práce. Nahradenie technológie klasického elektrochemického leštenia technológiou plazmového leštenia antikoróznych ocelí má pozitívny prínos nielen z technologického hľadiska, ale aj z ekologického a hygienického hľadiska, najmä v dnešnej dobe, keď je toto hľadisko považované za jedno z najprioritnejších.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

[1] Murgaš, M., Solár, J., Podhorský, Š.,Novotný, I.,: Boundary of possibilities of electrolytic – plasma technology at reducing of a metal surface roughness. In: CO – MAT – TECH 2000: 8. Medzinárodnávedeckákonferencia.Časť 2: Strojárskevýrobnétechnológie a zariadenia. – Bratislava: STU v Bratislave, 2000. ISBN 80-227-1413-5. – S. 183-188.

[2] Vaňa, D., Podhorský, Š.: Electrolytic-plasma polishing of stainless steel in electrolyte, IN: TEAM, Trnava, 2011.

[3] Tóth R., Podhorský, Š.: Electrolytic-plasma cleaning and surface conditioning of casting, IN: ActaMetallurgica, 5, 1999, (192-196).

[4] Podhorský, Š., Šuba, R., Tóth, R.,: Kovové povrchy upravené upravené plazmovým výbojom v elektrolyte. Metalic
surfaces treated by plasma discharge in electrolyte. In: Funkčné povrchy v strojárstve 2007 v krajinách V4 : Medzinárodná vedecká konferencia, Trenčín, Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka v Trenčíne, 2007. – ISBN 978 – 80 – 8075 – 217 – 0. – S. 138÷143.

[5] R. KeithRaney: Optimization of high purity product contact surfaces on nickel alloys via electropolishing, Ultra Clean Electropolish, Inc. 03-01-06.

ADRESY AUTOROV

Dušan VAŇA, Ing., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta, Ústav výrobných technológií, Slovenská republika, e-mail: >xvana@stuba.sk<
Štefan PODHORSKÝ, doc. Ing. PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta STU, Ústav výrobných technológií, Slovenská republika, e-mail: >stefan.podhorsky@stuba.sk<
Marek HURAJT, Ing., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta STU, Ústav výrobných technológií, Slovenská republika, e-mail: >xhurajt@stuba.sk<
Roland ŠUBA, Ing. PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta STU, Ústav výrobných technológií, Slovenská republika, e-mail: >roland.suba@stuba.sk<

RECENZENT

Ružena KRÁLIKOVÁ, Doc. Ing. PhD., Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra environmentalistiky, Park Komenského 5, 042 00 Košice, Slovenská republika, e-mail: ruzena.kralikova@tuke.sk.