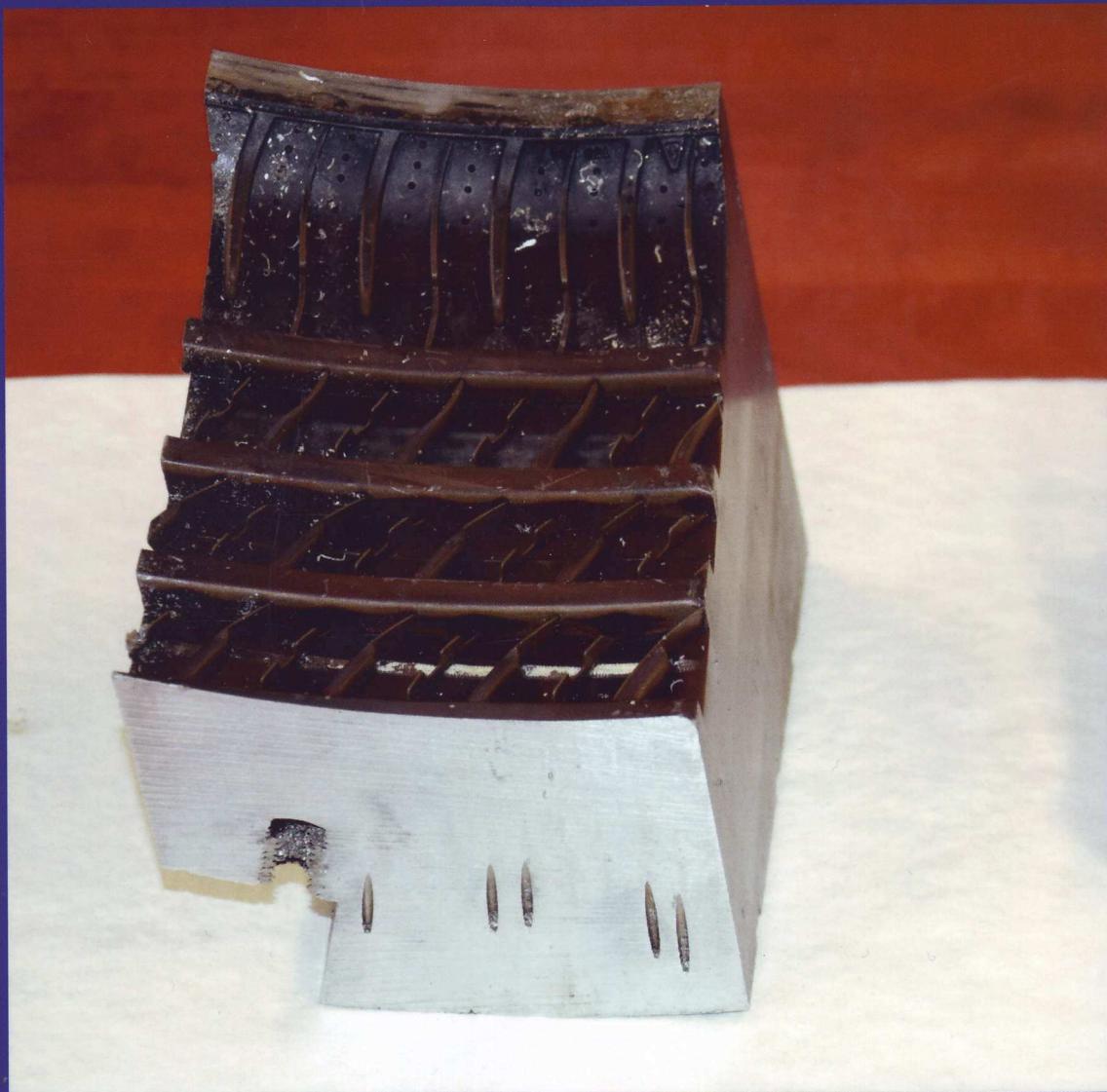


# STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE

ČASOPIS PRO VĚDU, VÝZKUM A VÝROBU

<http://casopis.strojirenskatechnologie.cz>



Časopis je zařazen Radou vlády pro výzkum, vývoj a inovace do seznamu  
recenzovaných, neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR.

prosinec 2018, číslo 2  
ročník XXIII  
ISSN 1211 - 4162

Vydává Univerzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem  
Fakulta strojního inženýrství

Strojírenská  
TECHNOLOGIE

# STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE

prosinec 2018, ročník XXIII, číslo 2 | December 2018, Vol. XXIII, No. 2

## Obsah | Content

58 – 64

### Analýza intermetalických fází hliníkové slitiny AA 6050

Matiúš Bajcura, Ivan Skalický, Vladivoj Očenášek, Jan Luštinec

65 – 69

### Geometrická přesnost obecné tvarové plochy po broušení na 5-ti osé brusce při změně řezných podmínek

Jindřich Farský, Miroslava Zetek, Tomáš Bakša, Pavel Adámek

70 – 74

### Vliv řezných podmínek při broušení nástrojové oceli VACO 180 na zatížení a opotřebení brousicího kotouče

Jindřich Farský, Tomáš Bakša, Miroslava Zetek, Pavel Adámek

75 – 80

### Metody eliminace železa v Al-Si slitinách

Lubomír Hodinář, Jaroslava Svobodová

81 – 87

### Methodology for Prediction of Stiffness Reduction of Composite Structures under Fatigue Loading

Michal Král, Bohuslav Cabrnoch, Stanislav Holý

87 – 92

### Korelace nelinéarity ultrazvukové odezvy s degradací betonu

Jan Patera, Jindřich Jansa, Zbyněk Hlaváč

93 – 97

### Vliv různých metod míchání taveniny na strukturu polokontinuálně odlévaných odlitků Al slitin

Ivan Skalický, Matúš Bajcura, Radek Borusík

98 – 104

### Metody pro zjišťování výkonnosti produktů na zjemňování zrna a jejich aplikace ve výrobním procesu polokontinuálně odlévaných odlitků Al slitin pro tváření

Ivan Skalický, Matúš Bajcura, Petr Váberer, Radek Borusík

105 – 112

### Obnova funkčních plôch nástrojov využitím technológie navárania

Miroslava Čárovová, Daniela Kalincová

113 – 117

### Hodnotenie mikroštruktúry tvrdého zinku vznikajúceho pri žiarovom zinkovaní

Jarmila Trpčevská, Marek Matiscsák, Martina Laubertová, Katarína Blašková

118 – 123

### Obrobiteľnosť konvenčného Inconelu 718 vs. 3D tišteneho metódou DMLS pri vrtaní

Miroslav Zetek, Ivana Zetková, Ludmila Kučerová, Miloslav Kepka, Jiří Šimeček, Ivo Černý, Jan Kec

Casopis je zařazen Radou vlády ČR pro výzkum, vývoj a inovace do seznamu recenzovaných, neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR

Casopis a všechny v něm obsažené příspěvky a obrázky jsou chráněny autorským právem. S výjimkou případů, které zákon připouští, je využití bez svolení vydavatele trestné. Redakce si vyhrazuje právo zveřejnit v elektronické podobě na webových stránkách časopisu český a anglický název příspěvku, klíčová slova, abstrakt a použitou literaturu k jednotlivým příspěvkům.

Korektury českého jazyka se řídí platnými pravidly českého pravopisu.

Inzerci vyřizuje redakce.

## Příspěvky recenzovali | Reviewers

Iva Nová  
Miroslav Müller  
Karol Vasilko  
Ivan Lukáč  
Jaromír Roučka  
Eva Tillová  
Štefan Michna  
Nataša Náprstková  
Jan Mádl

## Redakční rada | Advisory Board

prof. Dr. hab. Inž. Stanislav Adamczak

Politechnika Kielce, Polsko

prof. Ing. Dana Bolibruchová, PhD.

ŽU v Žilině, Slovensko

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

ČZU v Praze

prof. Dr. Ing. František Holešovský  
předseda, UJEP v Ústí n. Labem

prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.  
VŠB TU v Ostravě

prof. Ing. Karel Kocman, DrSc.  
UTB ve Zlíně

prof. Dr. hab. Ing. János Kundrák, Sc.D.  
University of Miskolc, Maďarsko

prof. Ing. Ivan Kuric, CSc.  
Žilinská univerzita, Slovensko

prof. Ing. Jan Mádl, CSc.  
ČVUT v Praze

prof. Ing. Štefan Michna, PhD.  
UJEP v Ústí n. Labem

prof. Dr. Ing. Ivan Mrkvica  
VŠB TU v Ostravě

prof. Ing. Iva Nová, CSc.  
TU v Liberci

prof. Ing. Ľubomír Šooš, PhD.  
SF, STU v Bratislavě, Slovensko

prof. Dr. Ing. Dalibor Vojtěch  
VŠCHT v Praze

doc. Ing. Rudolf Dvořák, CSc.  
ČVUT v Praze

plk. doc. Ing. Milan Chalupa, CSc.  
FVT, Univerzita obrany v Brně

doc. Ing. Jan Jersák, CSc.  
TU v Liberci

doc. Ing. Pavel Novák, Ph.D.  
VŠCHT v Praze

doc. Ing. Iveta Vasková, PhD.  
HF, Technická univerzita v Košiciach, SK

Šéfredaktor | Editor-in-Chief  
doc. Ing. Martin Novák, Ph.D.

Redaktor | Editor  
Ing. Jaroslava Svobodová, Ph.D.

Adresa redakce | Editors Office  
Univerzita J. E. Purkyně  
FSI, kampus UJEP, budova F

Pasteurova 3334/7, 400 01 Ústí nad Labem

Tel.: +420 475 285 534

Fax: +420 475 285 560

e-mail: redakce@ujep.cz

<http://casopis.strojirenskatechnologie.cz>

## Tisk | Print

PrintPoint s. r. o., Praha

## Vydavatel | Publisher

Univerzita J. E. Purkyně, FS

Pasteurova 1, 400 96 Ústí nad Labem

[www.ujep.cz](http://www.ujep.cz)

IČ: 44555601 | DIČ: CZ4455560

vychází 2x ročně | náklad 300 k

do sazby 12/2018

do tisku 12/2018

68 stran

povolení MK ČR E 1874

ISSN 1211-4162

материалов на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные

частицы <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/4066/>.

## Abstract

**Article:** Using of Weld Overlaying Technology to Restore Functional Surfaces of Tools

**Authors:** Miroslava Ťavodová  
Daniela Kalincová

**Workplace:** Department of Manufacturing Technology and Management Quality, Faculty of Environmental and Manufacturing Technology, Technical University in Zvolen

**Keywords:** Hardfacing, Mulcher Tools, Abrasive Wear, Microstructure, Hardness

Applying hard surfaces to functional surfaces of tools and components is a common way of extending their service life. The article describes the laboratory results of the hardness and microstructure assessment of selected hard surfaces materials applied to 16CrMn5 material samples, taken from tools for mulching. These tools work in heterogeneous soil environment and are exposed to abrasive action, particularly by hard mineral particles (Fig. 1). This results in their early decommissioning (Fig. 2). For the experiment, two materials were selected, namely the EDUR 600 and WEARTRODE 62 electrodes, applied in two layers on the samples (Fig. 3). By measuring the HRC of hard surfaces the hardness value was found. These were compared with those listed in the electrode technical sheet. The hardness of the base material (18HRC) is exceeded by more than three times (Table 2). HV10 Hardness measurement was performed from hard surface to base material. As expected, a higher hardness was measured, on average 720HV10, than the hardness in the base material (Fig. 4). A similar result was achieved with WEARTRODE 62 (Fig. 5). Luminous and electron microscopy associated with EDX analysis was followed by mixing of the hard surface with the base material as well as the intermixing of the hardening layers. This was observed to find sufficient cohesiveness of layers that would better resist abrasion as the underlying ferritic-pearlitic structure of the body of the mulcher tools. The microstructure of Fig. 6 indicates sufficient diffusion of the base material with the first layer. We can say that the interfaces are free of pores, cracks and other defects that would reduce the quality of the interconnection of the individual layers. The applied welding may well reduce the wear and tear of the tool. Fig. 7 shows the overall weld deposit of WEARTRODE 62 welding. There are visible layers of welds as well as the connection of the base material with the first coat having a sharper line. Inclusions, cracks and pores are observed in the welds. The WEARTRODE 62 on the base material does not need to meet the requirements for increased resistance to tool load under abrasion. The state described in the SEM and EDX analysis (Figures 8, 9, 10, 11 and 12) corresponds to the results of light microscopy on both welding materials. The percentages of the chemical elements present, as determined by EDX surface and point analysis, are documented in Tables 3, 4 and 5. For more accurate information on the abrasion resistance of abrasive environment, abrasive wear tests under Russian GOST 23.208-79 are currently underway. The price of the new tool is 70.00 Eur. This would be increased to 73.33 Eur after the EDUR 600 material. Applying the WEARTRODE 62 electrode material would increase to 74.15 Eur. Verifying the suitability and correctness of the choice of materials for application to functional surfaces will be ensured in the near future by deploying modified mulcher tools into plant. The subsequent evaluation of the results will give a clear answer whether the application has the advantage and ensures the extension of life tools.

Příspěvek č.: 201819

Paper number: 201819

Copyright © 2018 Strojírenská technologie. Všechna práva vyhrazena.

Copyright © 2018 by Strojirenska technologie. All rights reserved.

## Hodnotenie mikroštruktúry tvrdého zinku vznikajúceho pri žiarovom zinkovaní

Jarmila Trpčevská, Marek Matiscsák, Martina Laubertová, Katarína Blašková  
Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie, Technická univerzita v Košiciach, 042 00 Košice, Slovensko.  
E-mail: jarmila.trpcevska@tuke.sk, martina.laubertova@tuke.sk, katarina.blaskova@tuke.sk

Práca je zameraná na hodnotenie dodaných vzoriek spodného steru, resp. tvrdého zinku z prevádzok realizujúcich kusové žiarové zinkovanie na Slovensku a v Českej republike. Tvrď zinok je zlátina zinku a železa, ktorá vzniká rozpúšťaním ocele v zinkovej tavenine. V dodaných vzorkách bolo hodnotené chemické zloženie a mikroštruktúra. Mikroštruktúra bola hodnotená využitím svetelnej mikroskopie. Chemickou analýzou bol v tvrdom zinku stanovený obsah železa v rozsahu 2,3-3,5 hm %. V mikroštruktúre dodaných vzoriek bola pozorovaná prítomnosť

**intermetalických fáz Fe-Zn rôznych tvarov a veľkostí a zinková matrica. Pre kvantifikáciu mikroštruktúr bol využitý program FIJI ImageJ. Použitie uvedených metód umožnilo určiť rozdiely v chemickom zložení a mikroštruktúre vzoriek tvrdého zinku pochádzajúcich z rôznych zinkovní.**

**Kľúčové slová:** tvrdý zinok, ster, žiarové zinkovanie, obrazová analýza, mikroštruktúra

## 1 Úvod

Najrozšírenejšou technológiou povrchovej úpravy ocele pred koróziou je žiarové zinkovanie (ŽZ). Žiarové zinkovanie je metóda, pri ktorej dochádza k aplikácii Zn alebo Fe-Zn zliatinových povlakov ponorom pred-úpravenej ocele do roztaveného zinku pri teplote najčastejšie v rozsahu 445-465 °C. Priebeh reakcií spojenej so vznikom povlaku závisí od zloženia kúpeľa a chemického zloženia ocele. Pri danej reakcii vznikajú postupne zliatinové fázy železa a zinku.

Proces žiarového zinkovania je významný nielen z hľadiska rozsahu jeho použitia, ale aj z hľadiska vzniku odpadov s obsahom zinku. Pri procese ŽZ vznikajú odpady s vysokým obsahom zinku, ktoré predstavujú cenný zdroj sekundárneho zinku. Proces kusového ŽZ a kontinuálneho ŽZ sú dve základné technológie tejto metódy. Lišia sa nielen spôsobom pred-úpravy substrátu, požadovanou hrúbkou povlaku a celkovou technológiou procesu, ale aj chemickým zložením zinkovej taveniny. Tieto rozdiely sa prejavujú aj pri vzniku odpadov [1,2].

Najväčším zdrojom zinkových odpadov v prevádzkach ŽZ sú stery. Zbierajú sa zo spodku (spodný ster) alebo z povrchu galvanizačného kúpeľa (vrchný ster). V prípade kusového ŽZ sa z povrchu zinkového kúpeľa zbiera ster, ktorý nazývame zinkový popol. Jeho vznik súvisí s oxidáciou Zn kúpeľa s okolitou atmosférou a v dôsledku reakcie tavidlových zložiek so zinkovou taveninou. Stery vznikajú v dôsledku reakcie medzi zinkovou taveninou a železom pochádzajúcim najmä z dielcov, ktoré sa povrchovo upravujú. Ich tvorba úzko súvisí s rozpustnosťou železa v roztavenom zinku. Ak obsah železa prekročí maximálnu rozpustnosť v tekutom zinku, dochádza k tvorbe sterov vo forme intermetalických zlúčenín [2-7].

Vzhľadom na počet prevádzok realizujúcich proces kusového ŽZ známejšie sú odpady vnikajúce pri tomto procese. Ide predovšetkým o nasledovné odpady: spodný ster (známy ako „tvrdý zinok“) a zinkový popol. Spodný ster (tvrdý zinok) vzniká rozpúšťaním železa v zinku, pričom pri prekročení rozpustnosti pri danej teplote dochádza k vzniku intermetalických fáz. V tvrdom zinku vzniká intermetalická fáza typu  $\text{FeZn}_{13}$ . Tvrď zinok má väčšiu mernú hmotnosť ako roztavený zinok. Usadzuje sa na dne vane. Treba ho v pravidelných intervaloch odstraňovať. Keďže obsahuje viac ako 90 % Zn je významným zdrojom druhotného zinku. Existuje niekoľko možností, ako spodný ster spracovať. Najrozšírenejším spôsobom spracovania je nepriamy, tzv. francúzssky pyrometalurgický spôsob, pri ktorom sa získava oxid zinočnatý.

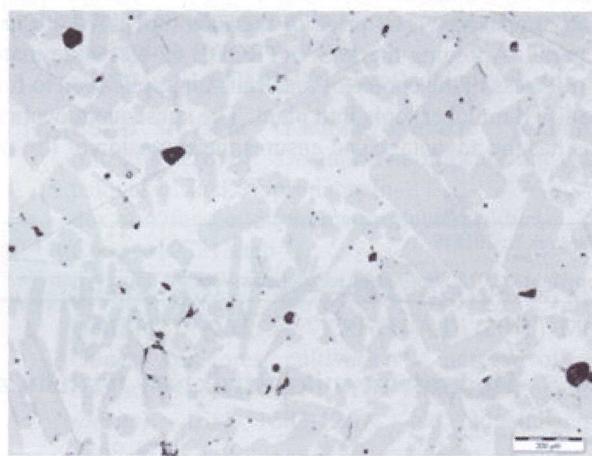
## 2 Materiál a metódy hodnotenia

Cieľom práce bolo vykonať chemickú a mikroštrukturálnu analýzu vzoriek spodného steru (tvrdého zinku) a

uskutočniť kvantitatívnu analýzu mikroštruktúry. Na účely experimentálneho štúdia boli poskytnuté prostredníctvom AČSZ (Asociácia českých a slovenských zinkovní) vzorky spodných sterov. Dodaných bolo 14 vzoriek z 13 prevádzok realizujúcich proces kusového ŽZ v SR a ČR. Z celkovo dodaných 14 vzoriek, 7 vzoriek pochádzalo z rôznych prevádzok patriacich jednej spoločnosti. Ďalších 7 vzoriek pochádzalo z iných prevádzok, pričom jedna prevádzka dodala 2 vzorky. Sledovaný bol vplyv teploty zinkovania a interval odberu tvrdého zinku zo zinkovacej vane. Teplota zinkovania sa pohybovala v rozsahu 440 až 460°C. Tvrď zinok sa z vane vyberal raz za mesiac. Tri prevádzky mali iný interval vyberania.

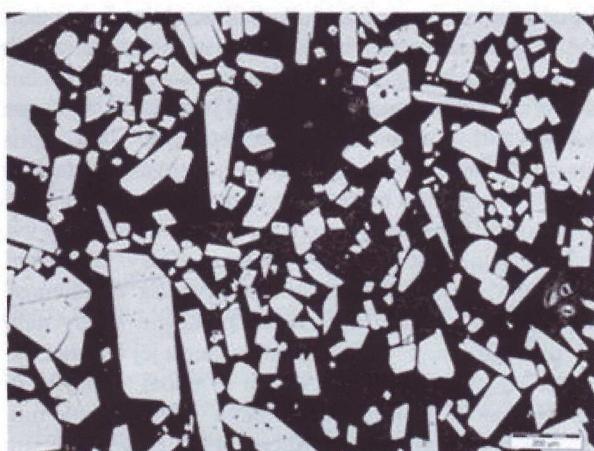
Z dodaných spodných sterov boli odobrané vzorky vo forme triesok za účelom určenia ich chemickej analýzy. Keďže hlavnou nečistotou v zinkovom kúpeľi a zložkou intermetalickej fázy tvoriacej tvrdý zinok je železo, chemická analýza bola zameraná na stanovenie jeho obsahu. Typ intermetalickej fázy ( $\text{FeZn}_{13}$ ) v tvrdom zinku bol potvrdený rtg. difrákčnou analýzou v predchádzajúcom štúdiu [8]. Zinkový kúpeľ obsahuje aj veľmi malé množstvá iných prísad, ich obsahy neboli určované. Analýza bola vykonaná pomocou atómovej absorpcnej spektrometrie (AAS).

Pre účely hodnotenia mikroštruktúry boli dodané vzorky spodných sterov podrobenej metalografickej analýze. Pre zvýšenie kontrastu boli pripravené vzorky podrobene leptaniu (leptadlo: 100ml destilovanej vody + 5ml HCl, doba leptania: 5 minút). Mikroštruktúra vzorky tvrdého zinku bez leptania a v stave po naleptaní je zobrazená na obr. 1 a 2.



Obr. 1 Mikroštruktúra vzorky tvrdého zinku, nena-leptaný stav

Fig. 1 Microstructure of hard zinc sample, non-etched



Obr. 2 Mikroštruktúra vzorky tvrdého zinku po naleptaní  
Fig. 2 Microstructure of hard zinc after etching

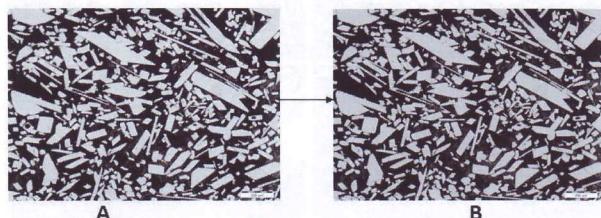
Mikroštruktúra vzoriek bola následne analyzovaná. Na tento účel bol použitý voľne dostupný program FIJI ImageJ. Tento program je určený na spracovanie obrazových údajov a analýzu obrazu. Program FIJI ImageJ je založený na programovacom jazyku Java. Program dokáže zobrazovať, spracovať, uložiť a tlačiť 8, 16 a 32-bitové obrazy. Taktiež môže pracovať s rôznymi obrazovými formátm – TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM, atď. Program dokáže počítať plošné a pixelové štatistiky v definovanom výbere. Umožňuje merat' vzdialenosť a uhly, vytvárať histogramy a čiarové profily. Podporuje štandardné funkcie spracovania obrazu, ako sú logické a aritmetické operácie medzi obrazmi, manipuláciu s kontrastom, Fourierove analýzy, ostrenie, vyhladzovanie, detekciu hrán a medianové filtrovanie [9-12]. Program FIJI ImageJ dokáže analyzovať iba čierno-biele fotografie. Preto pred samotnou analýzou je potrebná úprava RGB (farebných) snímok do čierno-bielej (Threshold) verzie. Úprava bola dosiahnutá pomocou zmeny nastavenia typu obrazu na 8-bitovú verziu. Úprava RGB snímky do 8-bitovej verzie je zobrazená na obr. 3.

Po úprave RGB snímky na 8-bitovú verziu (odtiene sivej) bolo potrebné urobiť samotný prevod na čierno-bielu verziu. Pre tento účel sa používa funkcia Threshold. Úprava 8-bitovej verzie na čierno-bielu je zobrazená na obr. 4.

Po konverzii RBG na čierno-bielu verziu bolo možné danú verziu snímky analyzovať. Analyzovaný bol plošný podiel intermetalických fáz  $\text{FeZn}_{13}$  v zinkovej matrici (funkcia Measure) a veľkosť jednotlivých fáz (funkcia Analyze Particles). Analýza merania veľkosti bola robená pomocou dvoch premenných, a to pomocou Feretovho priemeru (jednorozmerný priemer vyjadrený ohraničením častíc dvomi rovnobežnými čiarami v náhodne zvolenom smere) a merania priemeru elipsy. Program dovoľuje meranie veľkosti v dvoch jednotkách, a to buď v pixely alebo v jednotkách SI sústavy.

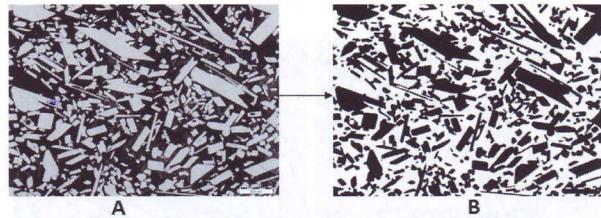
Pre nastavenie merania veľkosti sa používa funkcia Set Scale. Program dokáže z obrázku odstrániť najmenšie objekty, ktorých výskyt nie je vhodné zahrnúť do analýzy. Pomocou funkcie Median (Process – Filters – Median) možno nastaviť najmenšiu hodnotu (počet) pixelov, ktoré má program zobrazovať, resp. zahrnúť do analýzy

obrazu. Po úprave obrazu (odstránení najmenších objektov) bol obraz pripravený pre samotnú analýzu. Výsledky analýzy program automaticky vygeneruje do tabuľky. Z nameraných výsledkov je možné pomocou programu vygenerovať histogramy alebo grafy.



Obr. 3 Úprava RGB snímky na 8-bitovú. A-RGB, B-8-bitová

Fig. 3 Conversion of RGB image to 8-bit, A-RGB, B-8-bit



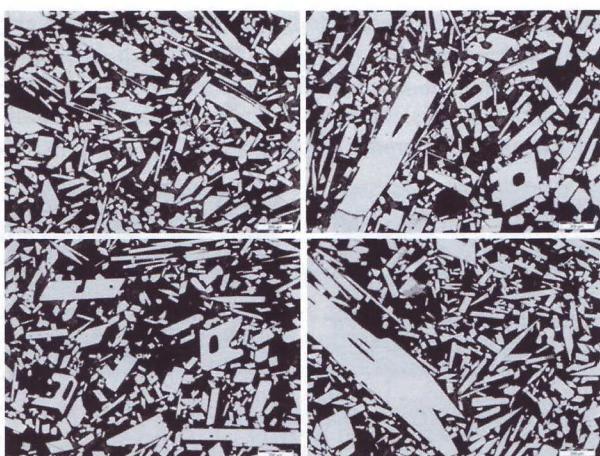
Obr. 4 Úprava 8-bitovej verzie na čierno-bielu. A-8-bitová, B-ČB

Fig. 4 Conversion of 8-bit to B&W, A-8-bit, B-B&W

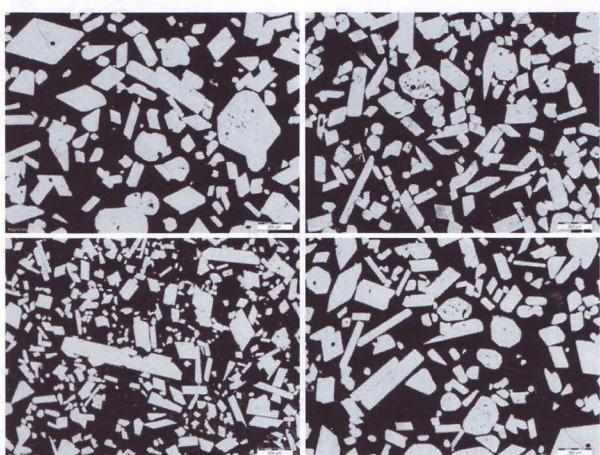
### 3 Výsledky a ich diskusia

Chemickou analýzou bol stanovený obsah železa v jednotlivých vzorkách od 2,33 % do 3,49 %. Hodnotené vzorky sa teda významne neodlišovali obsahom železa. Na obr. 5 až 7 sú dokumentované mikroštruktúry troch vzoriek z troch prevádzok, ktoré sa najviac odlišovali charakterom mikroštruktúry, resp. morfológiou intermetalických fáz. Pre každú vzorku boli zvolené 4 snímky pre dosiahnutie lepšej reprezentatívnosti.

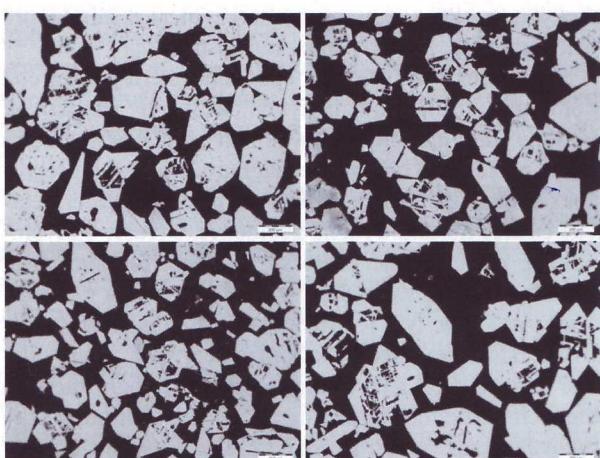
Mikroštruktúra vzoriek spodného steru je tvorená dvomi fázami-intermetalickými časticami a zinkovou matricou. Intermetalická fáza je zlúčenina  $\text{FeZn}_{13}$ , ktorá vzniká na základe binárneho diagramu Zn-Fe po prekročení rozpustnosti železa v rozttavenom zinku. Intermetalické časticie dosahujú rôzne geometrické tvary, od tyčinkovitého až po takmer sférický tvar. Morfológiu častic nemožno uvádzat' v súvislosti s obsahom železa v jednotlivých vzorkách. Nie je pozorovaná ani závislosť od intervalu odoberania steru zo zinkovacej vane. Najvýraznejší rozdiel v mikroštruktúre, resp. morfológii intermetalických častic možno pozorovať v závislosti od teploty zinkového kúpeľa. Vo vzorke 12, kde bola použitá najvyššia teplota zinkovania, je pozorovaný odlišný tvar častic, ktorý sa najviac približuje sférickému. V mikroštruktúre možno pozorovať aj rozdiely vo veľkosti intermetalických častic, resp. distribúcii častic podľa veľkosti. Chemické zloženie zinkovej taveniny jednotlivé zinkovne neuvádzajú, ide o ich firemné tajomstvo. Najväčšia podobnosť v mikroštruktúre bola pozorovaná vo vzorkach, ktoré pochádzajú od jedného prevádzkovateľa a sú odobrané v rôznych obdobiah prevádzky, čo naznačuje, že charakter mikroštruktúry spodných sterov súvisí s chemickým zložením zinkového kúpeľa.



Obr. 5 Mikroštruktúra vzorky 3  
Fig. 5 Microstructure of the sample 3



Obr. 6 Mikroštruktúra vzorky 14  
Fig. 6 Microstructure of the sample 14



Obr. 7 Mikroštruktúra vzorky 12  
Fig. 7 Microstructure of the sample 12

Plošný podiel fáz neprekázať výrazne rozdiely vo vzorkach spodných sterov. Plošný podiel intermetalických fáz vo vzorkach sa pohyboval v rozmedzí 44,17-60,21 %. Vo vzorkach, ktoré pochádzali z jednej spoločnosti, ale z iného časového obdobia, bol plošný podiel takmer rovnaký (44,31 %, resp. 46,67 %). Vzorka 12, pri ktorej bol pozorovaný takmer sférický tvar fáz, mala

plošné zastúpenie fáz 53,38 %. Pri metalografickej analýze sa preukázal rozdiel aj vo veľkosti intermetalických fáz vo vzorkách.

V Tab. 1 sú uvedené sumárne výsledky analýzy pre všetky vzorky, a to počet intermetalických fáz a priemerná hodnota veľkosti častíc analyzovaná pomocou Feretovho priemeru a priemeru elipsy. Meranie veľkosti pomocou Feretovho priemeru poskytuje presnejšie výsledky ako meranie pomocou priemeru elipsy. Pri meraní Feretovým priemerom je meraná najväčšia vzdialenosť dvoch bodov, pričom pri meraní pomocou elipsy nám program uzavrie časticu do elipsy a meria jej priemer.

Vo vzorkách pochádzajúcich z jednej spoločnosti (vzorky 1 až 7) je priemerná hodnota veľkosti častíc meraná pomocou Feretovho priemeru v rozmedzí 77,349 µm až 148,546 µm, pričom priemerná veľkosť meraná pomocou priemeru elipsy je od 66,718 µm do 128,444 µm. Pri analyzovaní veľkosti pomocou Feretovho priemeru je vo vzorkach, ktoré vykazovali podobnú štruktúru (vzorky 2 a 3), priemerná veľkosť častíc: 97,917 µm, resp. 106,182 µm. Mikroštruktúrou podobné vzorky (vzorky 1, 5, 6 a 7) sa odlišujú priemernou veľkosťou častíc. Priemerná veľkosť fáz vo vzorkách je nasledovná: vz. 1-77,349 µm, vz. 7-118,718 µm, vz. 6-119,272 µm, vz. 5-148,546 µm.

V ostatných vzorkach sa priemer veľkosti častíc pomocou Feretovho priemeru pohybuje od 83,451 µm do 183,058 µm a pomocou priemeru elipsy od 71,824 µm do 151,363 µm. Vzorky 13 a 14 majú nielen podobnú mikroštruktúru a plošný podiel fáz, ale aj podobnú veľkosť častíc. Vo vz. 13 je to 120,540 µm a vo vz. 14 je to 114,203 µm.

**Tab. 1** Priemerné hodnoty veľkosti meranej pomocou Feretovho priemeru a priemeru elipsy

**Tab. 1** Average size values measured by Feret's diameter and ellipse diameter

Vzorka	Počet fáz	Feretov priemer [µm]	Priemer elipsy [µm]
1	3009	77,349	66,718
2	2579	97,917	83,714
2	2643	106,182	87,559
4	1622	125,250	107,215
5	1101	148,546	128,444
6	1611	119,272	101,104
7	2003	118,718	101,760
8	513	183,058	151,363
9	1975	110,780	97,799
10	905	178,753	157,144
11	3132	83,451	71,824
12	937	161,068	139,466
13	1812	120,540	105,756
14	1971	114,203	100,126

V dodaných vzorkach spodných sterov tvoria prevažnú časť častice s veľkosťou v rozmedzí od 0,964 µm do 120 µm. Pri pozorovaní mikroštruktúr najväčšie časťice dosahovali veľkosť až 2200 µm. Uvedené výsledky analýz získané na základe FIJI ImageJ sa potvrdili aj pri opakovanej príprave metalografických vzoriek, ktorých

snahou bolo získanie kvalitnejšieho metalografického povrchu. Z uvedeného vyplýva, že úpravou snímky pomocou funkcie Median bolo možné odstrániť nedokonalosti metalografického výbrusu, resp. program FIJI ImageJ umožňoval získať analýzu aj z nedokonalých snímok vzoriek.

#### 4 Záver

Z výsledkov hodnotenia dodaných vzorkiek spodných sterov možno vyhodnotiť nasledovné závery [10]:

- Chemickou analýzou bol stanovený obsah železa v rozmedzí 2,33-3,49 %. Potvrdil sa približne rovnaký obsah železa vo všetkých dodaných vzorkách.
- V mikroštruktúre dodaných vzoriek bola pozorovaná prítomnosť intermetalických fáz  $FeZn_{13}$  rôznych tvarov a veľkostí a zinková matrica. Napriek tomu, že hodnotené mikroštruktúry dodaných vzoriek boli veľmi podobné, boli pozorované aj určité rozdiely.
- Intermetalické častice majú rôzne geometrické tvary, najčastejšie dosahujú tyčinkovitý tvar.
- Vplyv teploty na charakter mikroštruktúry v úzkom intervale teplôt zinkovania (442-455 °C) neboli potvrdené. Zmena v mikroštruktúre a v tvare častic bola pozorovaná vo vzorke spodného steru, ktorá pochádzala z vane, v ktorej teplota zinkovania dosiahla 460°C. Intermetalické častice v tejto vzorke dosahujú takmer sférický tvar. V tejto vzorke bol stanovený aj vyšší plošný podiel intermetalických fáz. Vyšší podiel intermetalických fáz môže súvisieť s viskozitou zinkového kúpeľa, čo sa môže prejaviať pri odoberaní spodného steru z dna zinkovacej vane.
- Obrazovou analýzou bol stanovený plošný podiel fáz, veľkosť intermetalických častic a distribúcia častic podľa veľkosti. Plošný podiel intermetalických fáz v dodaných vzorkách sa pohyboval v rozmedzí 44,17 % - 60,21 %.
- Najväčší podiel častic tvoria častice s veľkosťou od 0,964 μm do 120 μm. Najväčšie častice dosahovali veľkosť 2200 μm.
- Vo vzorkách pochádzajúcich od rovnakého prevádzkovateľa zinkovne sa potvrdila najväčšia zhoda, či už z hľadiska mikroštruktúry, plošného podielu intermetalických fáz, resp. distribúcie fáz podľa veľkosti.
- Z uvedených pozorovaní vyplýva, že na charakter mikroštruktúry má pravdepodobne vplyv chemické zloženie zinkového kúpeľa. Vplyv teploty sa prejavil až nad 460°C.

#### Poděkování

*Príspevok vznikol za podporu Vedeckej grantovej agentúry MŠVVaŠ a SAV (VEGA), v rámci riešenia grantovej úlohy č. 1/0442/17.*

#### Literatúra

- [1] KUKLÍK, V., KUDLÁČEK, J. (2014). Žárové zinkování, AČSZ, 2014, 208 s., ISBN 978-80-905298-2-3.
- [2] SVOBODA, J., KUDLÁČEK, J. (2018). Suitable pre-treatment of hot-dip zinc to increase the adhesion of organic coatings. *Manufacturing Technology*. 18(1), 135-139. ISSN 1213-2489.
- [3] GORDON, R. B. (2003). The characterization of technological zinc cycles, *Resources, Conservation and Recycling*, 39, 2003, p. 107-135.
- [4] BARAKAT, M. A. (2009). Removal of iron from hard zinc for production of refined zinc, *The Open Mineral Processing Journal*, 2009, 2, p. 12-16.
- [5] KOZLOWSKI, J., LASKAVIEC, J. (2000). Refining alloy zinc-iron with intermetallic phases  $Zn_nFe_m$  by formation phases  $Al_nFe_m$ . *Intermetallics*, 2000, 8, p. 1439-1442.
- [6] VOURLIAS, G. et al (2007). Study of the structure of hot-dip galvanizing byproducts. *Journal of optoelectronics and advanced materials*, 2007, 9, p. 2937-2942.
- [7] TRPČEVSKÁ, J. et al. (2012). Microscopical Evaluation of Hard Zinc Refining by Aluminium. *Manufacturing Technology*, 2012, 13, p. 264-267.
- [8] TRPČEVSKÁ, J. et al. (2010). Characterization of the bottom dross formed during batch hot-dip galvanizing and its refining, *Acta Metallurgica Slovaca*, 10, 2010, 3, p. 151-156.
- [9] BANKHEAD, P. (2014). *Analyzing fluorescence microscopy images with ImageJ*, Queen's University Belfast, p. 188.
- [10] ZBONČÁK, R., VOTRUBEC, V., ŠVEC, M. (2018). The alternative procedures of fiber volume ratio determination of long-fiber carbon-epoxy composites. *Manufacturing Technology*. 18(1), 160-164. ISSN 1213-2489.
- [11] COLLINS, T. J. (2007). ImageJ for microscopy. *Biotechniques*, 2007, 43, p. 25-30.
- [12] MATISCSÁK, M. (2016). Hodnotenie spodných sterov vznikajúcich v zinkovniach, Technická univerzita v Košiciach, Hutnícka fakulta, diplomová práca, s. 83.

**Abstract**

**Article:** Microstructure Evaluation of Hard zinc generated during Hot-dip galvanizing

**Authors:** Jarmila Trpčevská  
Marek Maticcsák  
Martina Laubertová  
Katarína Blašková

**Workplace:** Faculty of materials, metallurgy and recycling, Technical University of Košice, Letná 9, 042 00 Košice

**Keywords:** Hard Zinc, Dross, Hot-dip Galvanizing, Image Analysis, Microstructure

Hot dip galvanizing is the most used corrosion protection method for steel and iron substrates. Production of galvanized objects involves the generation of several byproducts. Among them, the galvanizing dross, is one of the most important. Galvanizing dross is formed inside or on top of the molten zinc. The bottom dross generated during batch hot-dip galvanizing process is known as hard zinc. The bottom dross consists of intermetallic compounds  $\text{FeZn}_{13}$  and also large amount of solidified zinc, which is trapped in liquid form in the device used for their removal from the zinc bath (Fig. 1, 2). The paper is focused on the evaluation of supplied samples of hard zinc from the operations of hot-dip galvanizing in the Slovak Republic and in the Czech Republic. The chemical composition and microstructure of the samples were evaluated. Microstructure was observed using light microscopy. Content of iron in the samples was determined by AAS in range of 2,3-3,5 %. The FIJI ImageJ program was used to quantify the microstructure. ImageJ is open source available Java based Image analysing software. Automatic particle analysis requires a “binary”, black and white, image. Microstructure image was converted from RGB to B&W (Fig. 3, 4) Using these methods, it was possible to determine differences in the chemical composition and microstructure in the samples. Intermetallic particles are characterized by various shape and size (Fig. 5-7). Average size values of intermetallic particles in individual samples measured by Feret’s diameter and ellipse diameter is summarized in Tab.1.

---

Příspěvek č.: 201820

Paper number: 201820

Copyright © 2018 Strojírenská technologie. Všechna práva vyhrazena.

Copyright © 2018 by Strojirenska technologie. All rights reserved.

---