Analýza odolnosti pozinkovaných plechov proti korózii po plastickej deformácii

Analysis of the galvanised steel sheets resistance to corrosion after plastic deformation

Evin E.¹, Tomáš M.², Graban J.³, Tóth M.³

¹ Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra automobilovej výroby

² Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra počítačovej podpory technológií

³ U.S.Steel Košice, s.r.o., Výskumný a skúšobný ústav

E-mail: emil.evin@tuke.sk

Automobilový priemysel je vystavený viacerým požiadavkám zákazníkov, ktoré súvisia so zvyšovaním ich bezpečnosti, so znižovaním ich hmotnosti, emisií a životnosti. V tomto príspevku sú prezentované možnosti zlepšenia koróznej odolnosti komponentov karosérií aplikáciou pozinkovaných plechov povlakmi na báze Zn–Al–Mg a tým aj životnosti komponentov karosérií. Vzorky so zinkovým povlakom HDG a zinkovým povlakom na báze Zn–Al–Mg boli deformované vypínaním Erichsenovou skúškou, skúškou trojbodovým ohybom o uhol 90° a 180° a následne podrobené pôsobeniu agresívneho prostredia soľnej hmly v koróznej komore. Získané výsledky testovania povlakov na báze Zn–Al–Mg v koróznej atmosfére v porovnaní so zinkovým povlakom HDG naznačujú, že korózna odolnosť týchto povlakov je výrazne lepšia.

Nowadays, number of customer and environmental requirements are laid to the automotive industry. These are related to safety increase, the weight and emission reduction as well as the life-time improvement. The article presents the way to improve the corrosion resistance of the car-body components when coated steel sheets are used based on Zn–Al–Mg coatings. Thus, the life-time of the car-body is improved. Samples with conventional Zn coating and samples with advanced Zn–Al–Mg coatings were deformed by stretching and 3-point bending to 90° and 180° tests. Consequently, the samples were exposed to salt spray in the corrosion chamber. Time to red corrosion appearance and adequate percentage of corroded surface was evaluated. The results showed the better corrosion protection of Zn–Al–Mg coatings when compared to the conventional Zn coating.

ÚVOD

Životnosť automobilu je do značnej miery limitovaná životnosťou karosérie. Snahou výrobcov automobilov je zabrániť vzniku perforačnej korózie po dobu desiatich rokov a po dobu piatich rokov vzniku kozmetickkej korózie karosérie automobilu. Za účelom naplnenia týchto požiadaviek sú vyvíjané materiály s viacfunkčnými povlakmi zinku, cínu, hliníka, olova, niklu a chrómu a v mnohých prípadoch ešte aj v kombinácii s organickými povlakmi. Vzhľadom na pomer medzi plnením požiadaviek zákazníkov a cenou majú medzi povlakovanými oceľovými plechmi v automobilovom priemysle svoje nezastupiteľné miesto plechy s povlakmi na báze zinku [1,2], ktoré je možné zhotoviť rôznymi postupmi.

Zlepšenie protikorózných vlastností zinkovej vrstvy je možné dosiahnuť úpravou chemického zloženia (Zn–Al–Mg povlaky) alebo žiňaním zinkového povlaku (GA – galvaannealed povlaky). [3,4]. V krajinách Európy sa najčastejšie sa používajú technológie žiarového (hot deep galvanizing – HDG) a elektrolytického pozinko-

vania (electro galvanizing – EG) – Obr. 1. Oproti tomu v krajinách Severoamerickej zóny voľného obchodu NAFTA veľký podiel predstavujú železo-zinkové povlaky – Obr. 2.

Železo-zinkové povlaky (galvannealed – GA) sa získavajú niekoľkosekundovým žiňaním pozinkovaných oceľových plechov pri teplote 500–565°C v peci umiestnenej na výstupe z pozinkovacej vane [5,6]. Zinkovo-horčíkovo-hliníkové povlaky sa vyrábajú žiarovým pozinkovaním ocelí v zinkovej zliatine, obsahujúcej 0,8 ÷ 1,0 % Mg a 0,8 ÷ 1,0 % Al. Prvky Mg a Al vytvárajú na povrchu povlaku ochrannú stabilizujúcu vrstvu, čím umožňujú prirodzenú ochranu povlakovaného materiálu a spomaľujú tak proces korózie materiálu. Železo-zinkové a zinkovo-horčíkovo-hliníkové povlaky v porovnaní s čisto zinkovými povlakmi sú tvrdšie, odolnejšie proti poškrabaniu, majú lepšiu zvariteľnosť, lisovateľnosť, lakovateľnosť a redukujú spotrebu zinku [7,8,9]. Zvariteľnosť a tvárnosť sú zvlášť dôležitými charakteristikami pri laserom zváraných prístrihov na mieru (Tailored Welded Blanks), ktoré sa používajú pri výrobe dielov karosérií [10].

Obr. 1. Podiel jednotlivých druhov zinkových povlakov používaných pri výrobe karosérii v Európe (%) [11]
Fig. 1. Share of zinc coatings used at the car-body production in Europe [11]

Obr. 2. Podiel jednotlivých druhov zinkových povlakov používaných pri výrobe karosérii v Severoamerickej zóne voľného obchodu - NAFTA (%) [11]
Fig. 2. Share of zinc coatings used at the car-body production in North America Free Trade Agreement (%) [11]

Pri výrobe dielov karosérie (kapota, strecha, dvere, kufr, podlaha a pod.) z pozinkovaných oceľových plechov ohýbaním a vypínaním hlbokým ťahaním dochádza k zhoršeniu ochrannej funkcie povlaku, pretože pri plastickej deformácii dochádza k: [12]

- stenčeniu hrúbky základného materiálu i povlaku,
- porušeniu celistvosti povlaku v miestach kontaktu nástroja s povrchom prístrihu plechu,
- vzniku trhlín v povlaku pri jeho nedostatočnej plastickejšti,
- jeho odlupovaniu pri nedokonalom spojení so základným materiálom. [12]

POUŽITÝ MATERIÁL A METÓDY

Pre experimentálny výskum boli použité vzorky ZnAlMg-1 a ZnAlMg-2 z plechov so zinkovo-hliníkovohorčíkovým povlakom a vzorky HDG z konvenčných žiarovo pozinkovaných plechov. Zloženie povlakov a ďalšie parametre sú uvedené v Tab. 1.

Pri výrobe dielov karosérie technológiami ohýbania a vypínania sú tieto namáhané ťahovými a tlakovými napätiami, ktorých dôsledkom sú deformácie ťahom alebo tlakom. Na Obr. 3 sú znázornené pomery prvej a druhej hlavnej deformácie pri výrobe vybraných komponentov karosérie automobilu a rozsahy príslušných deformácií pri výrobe komponentu izolíniami. Pri výrobe kapoty kufru a strechy prevládajúcim namáhaním je jednosový

Obr. 3. Deformačné schémy pri výrobe komponentov karosérie
Fig. 3. Strain schemes at car-body production

Tab. 1. Zloženie povlakov experimentálneho oceľového plechu / Chemical composition of coatings

	Al [hm %]	Mg [hm %]	Pasivácia Cr ³⁺ [mg/m ²]	Jednostranná plošná hmotnosť povlaku [g/m ²]
ZnAlMg-1	1,53	1,26	40 ÷ 50	70
ZnAlMg-2	1,85	1,68	40 ÷ 50	68
HDG	0,63%	—	40 ÷ 50	82

Obr. 4. Tvary skúmaných vzoriek: a) bez deformácie, b) po ohybe 90°, c) po ohybe 180°, d) po vypínaní Erichsenovou skúškou

Fig. 4. The specimens shape: a) no deformation, b) bending 90°, c) bending 180°, d) stretching by Erichsen test

ťah, pri výrobe predných dverí a blatníka je prevládajúcim namáhaním dvojosový ťah. Súčasne dochádza pri ohýbaní a vypínaní dielov karosérie k stenčeniu hrúbky povlaku, k oteru povlaku na kontaktných plochách, k vzniku trhlín v povlaku pri nedostatočnej plastickejšťi povlaku a k odlupovaniu povlaku. Pri experimentálnych skúškach bolo namáhanie vzoriek vypínaním modelované Erichsenovou skúškou (Obr. 4d) a namáhanie ohybom bolo modelované trojbodovým ohybom o uhol 90° a 180° – Obr. 4b,c.

Korózná odolnosť povlakovaných vzoriek pred deformáciou a po deformácii bola testovaná podľa STN EN ISO 9227 v koróznej komore SKBWF - 1000A TR a použítí soľnej hmly (roztoku chloridu sodného s koncentráciou 50 g/l) pri teplote 35 °C. Vzorky v koróznej komore boli uložené tak, aby neboli vystavené priamemu postrekovaniu roztoku soľnej hmly. Korózná odolnosť skúmaných povlakov bola sledovaná v závislosti na:

- dobe vzniku červenej hrdze,
- ploche skorodovaného povrchu po 24, 48, 72, 120, 144, 216, 312, 408, 624, 724 a 864 hodinách pobytu vzoriek v koróznej komore.

Pri výrobe komponentov karosérií technológiami plošného tvárnenia dochádza k rôznym napäťovo-deformačným schémam. Medzné hodnoty deformácií v rovine plechov pri rôznych napäťovo-deformačných stavoch sa stanovujú pomocou kriviek medzných deformácií (Forming Limiting Diagram) – Obr. 5. Zo simulácií

Obr. 5. Znázornenie deformácií v diagrame medzných deformácií pre základný materiál DX54D

Fig. 5. Strains shown in the Forming Limit Diagram for base material DX54D

Obr. 6. Deformácie pri vypínaní pri Erichsenovej skúške – kritická prvá/druhá hlavná deformácia [0.33;0.15]

Fig. 6. Strains when stretching by Erichsen test – critical major/minor strain [0.33;0.15]

Obr. 7. Deformácie pri ohybe o uhol 90° – kritická prvá/druhá hlavná deformácia [0.07;0.0002]

Fig. 7. Strains when 90° bending test – critical major/minor strain [0.07;0.0002]

Obr. 8. Deformácie pri ohybe o uhol 180° – kritická prvá/druhá hlavná deformácia [0.07;0.0007]

Fig. 8. Strains when 180° bending test – critical major/minor strain [0.07;0.0007]

vypínania Obr. 6 vyplýva, že v prípade Erichsenovej skúšky došlo k lokalizácii plastickej deformácie a strate stability procesu porušením v dôsledku pôsobenia ťahových napätí v kritickom priereze. Kombinácia prvej hlavnej deformácie (major strain) a druhej hlavnej deformácie (minor strain) v kritickom priereze sa nachádza v oblasti medzných deformácií ($\epsilon_1 = 0.33$, plasticke vlastnosti boli využité na 100 %) – Obr. 5. Zo simulácii ohýbania Obr. 7 a Obr. 8 vyplýva, že v prípade ohybu o uhol 90° i o uhol 180° došlo k malým deformáciám ($\epsilon_1 = 0.07$) v oblasti rovnomernej deformácie (plasticke vlastnosti boli využité len na cca 23 %) – Obr. 5. Avšak pri ohybe o 180° bola deformáciou zasiahnutá väčšia oblasť ako pri uhle ohybu 90°.

DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY A DISKUSIA

Korózna odolnosť vzoriek ZnAlMg-1 a ZnAlMg-2 bola porovnávaná s koróznou odolnosťou konvenčného zinkového povlaku HDG. Vzorky ZnAlMg-1 obsahovali

menej Al a Mg v povlaku ako vzorky ZnAlMg-2. Vzorky po vybratí z koróznej komory boli očistené od nánosov solí opláchnutím. Plocha povrchu vzoriek zasiahnutá koróziou bola vyhodnocovaná pomocou obrazových štandardov a fotografií. Počas celého procesu testovania v koróznej komore bola zaznamenávaná doba do vzniku prvej korózie (červenej hrdze) a plocha skorodovaného povrchu v percentách po 24, 48, 72, 120, 144, 216, 312, 408, 624, 724, 864 hodinách.

Výsledky testovania do vzniku prvej červenej hrdze sú uvedené v Tab. 2. Percentuálny podiel skorodovaného povrchu v závislosti na dobe pobytu vzoriek v koróznej atmosfére je znázornený na Obr. 8, 10, a 12 a stav povrchu po 72 hodinách a po 864 hodinách je uvedený na Obr. 9, 11 a 13.

Kinetika rastu červenej hrdze na zinkovom povlaku bez deformácie a po deformácii je znázornená na Obr. 9, 11, a 13 a stav povrchu vzoriek po 72 hodinách a po 864 hodinách je uvedený na Obr. 10, 12 a 14.

Tab. 2. Čas do vzniku červenej korózie a zodpovedajúce % skorodovaného povrchu skúmaných povlakov pri jednotlivých deformačných stavoch / Time to red corrosion appearance and adequate corroded surface of experimental coatings when evaluated for different strain conditions

Deformačný stav	Čas do vzniku červenej hrdze a podiel skorodovaného povrchu [h] / [%]		
	HDG	ZnAlMg-1	ZnAlMg-2
Vzorky bez deformácie	216 / 2	624 / 1	864 / 1
Vzorky po ohybe o uhol 90°	72 / 2	624 / 3	864 / 2
Vzorky po ohybe o uhol 180°	72 / 4	408 / 2	724 / 1
Vzorky po vypínaní – Erichsenova skúška	48 / 2	72 / 3	216 / 2

Obr. 9. Závislosť skorodovaného povrchu vzorky s povlakom HDG na dobe pobytu vzorky v koróznej atmosfére
Fig. 9. Dependence corroded surface-time for HDG coating

Z Obr. 9 a 11 vyplýva, že kinetiku rastu korózie má tvar S kriviek a je možné ju rozdeliť do troch fáz. Intenzívnejší je nárast korózie v druhej fáze, pri napadnutí od cca 10 % do cca 80 % plochy vzoriek koróziou, ako v prvej fáze pri napadnutí do cca 10 % plochy vzoriek a tretej fáze pri napadnutí 80 až 100% plochy koróziou.

Z Obr. 9 je vidieť, že začiatok vzniku červenej hrdze na nedeformovaných vzorkách HDG s čistým zinkom bol zaznamenaný cca na 2 % plochy vzorky po 216 hodinách pobytu vzoriek v koróznej komore. So vzrastajúcou dobou od 216 hodín do 408 hodín dochádza k intenzívnejšiemu rastu červenej hrdze z 2% až na 60 % a od 408 do 864 intenzita rastu sa postupne znižuje. Podobná tendencia bola zaznamenaná aj u vzoriek po deformácii. U vzoriek po ohybe o 90° a o uhol 180° bol začiatok rastu červenej hrdze zaznamenaný po 72 hodi-

Obr. 10. Stav povrchu vzoriek s povlakom HDG po pobyte v koróznej atmosfére 72 a 864 hodín
Fig. 10. Surface of specimens with HDG coating after 72 and 864 hours in corrosion atmosphere

nách, pričom u vzoriek po ohybe o 90° plocha napadnutá koróziou tvorila cca 2 % a pri ohybe o uhol 180° tvorila cca 4 %. V druhej fáze korózie pri pobyte vzoriek v koróznej komore v rozmedzí od 144 do 408 hodín sa intenzívnejšie šíрила korózia na vzorkách pri uhle ohybu o 180° a pri vypínaní Erichsenovou skúškou ako pri ohybe o uhol ohybu 90° . Plocha vzoriek po vypínaní Erichsenovou skúškou už po 312 hodinách bola na 100 % napadnutá koróziou, pri ohybe o uhol 180° bola na 100% napadnutá plocha vzoriek po 408 hodinách, pri uhle ohybu o 180° bola na 100 % skorodovaná plocha vzoriek po 864 hodinách a u nedeformovaných vzoriek ani po 864 nedošlo k 100 % korózii povrchu vzoriek. To

Obr. 11. Závislosť skorodovaného povrchu vzorky s povlakom ZnAlMg-1 na dobe pobytu vzorky v koróznej atmosfére
Fig. 11. Dependence corroded surface-time for ZnAlMg-1 coating

znamená, že korózna odolnosť žiarovo pozinkovaných plechov HDG závisí na čase, deformácii a na deformovanej ploche pri porovnateľnej hrúbke povlaku.

Z Obr. 11 je vidieť, že začiatok vzniku červenej hrdze na nedeformovaných vzorkách ZnAlMg-1 bol zaznamenaný cca na 2 % plochy vzorky po 624 hodinách pobytu vzoriek v koróznej komore. So vzrastajúcou dobou od 624 hodín do 864 hodín dochádza k intenzívnejšiemu rastu červenej hrdze z 2% na 8 %. Podobná tendencia bola zaznamenaná aj u vzoriek po ohybe o uhol 90° a 180° , len s tým rozdielom, že u vzoriek po ohybe o 180° bola intenzita rastu červenej hrdze intenzívnejšia ako u vzoriek bez deformácii a po ohybe o uhol 90° . U vzoriek po vypínaní Erichsenovou skúškou bol zaznamenaný začiatok korózneho napadnutie po 72 hodinách a po 624 hodinách došlo k 100% napadnutiu vzoriek koróziou.

Z Obr. 13 je vidieť, že začiatok vzniku červenej hrdze na nedeformovaných vzorkách ZnAlMg-2 pri ohybe o uhol 90° a 180° bol zaznamenaný začiatok vzniku červenej hrdze až po 864 hodinách pobytu vzoriek v koróznej komore a pri ohybe o uhol 180° po 724 hodinách. Pri vypínaní Erichsenovou skúškou začiatok vzniku červenej hrdze bol zaznamenaný po 216 hodinách a po 864 hodinách bola napadnutá plocha vzoriek cca 75 %. To znamená, že korózna odolnosť pozinkovaných plechov ZnAlMg závisí na čase, deformácii, na deformovanej ploche pri porovnateľnej hrúbke povlaku i na obsahu Al a Mg v povlaku.

Obr. 12. Stav povrchu vzoriek s povlakom ZnAlMg-1 po pobyte v koróznej atmosfére 72 a 864 hodín
Fig. 12. Surface of specimens ZnAlMg-1 coating after 72 and 864 hours in corrosion atmosphere

ZÁVER

Vplyv deformácie na koróznú odolnosť vzoriek so zinkovým a vzoriek so zinkovo-horčíkovo-hliníkovými povlakmi s rôznymi obsahmi Al a Mg bola testovaná v laboratórnych podmienkach v agresívnej atmosfére neutrálnej soľnej hmly podľa medzinárodnej normy STN EN ISO 9227. Prvým kritériom pri porovnávaní koróznej odolnosti skúmaných povlakov po deformácii vypínaním Erichsenovou skúškou a trojbodovým ohybom o uhol 90° a 180° bola doba vzniku červenej hrdze a druhým kritériom plocha skorodovaného povrchu v % po absolvovaní jednotlivých cyklov (24, 48, 72,

Obr. 13. Závislosť skorodovaného povrchu vzorky s povlakom ZnAlMg-2 na dobe pobytu vzorky v koróznej atmosfére
Fig. 13. Dependence corroded surface-time for ZnAlMg-2 coating

120, 144, 216, 312, 408, 624, 724 a 864) pobytu v koróznej komore.

Výsledky vykonaných experimentov dokazujú, že vplyvom deformácie sa začiatok S kriviek kinetiky rastu červenej hrdze i doba pri ktorej bola červenou hrdzou napadnutá celá plocha vzorky (100 %) posúva ku kratším dobám pobytu vzoriek v koróznej atmosfére:

- u vzoriek so zinkovým povlakom HDG došlo k zhoršeniu koróznej odolnosti pri ohybe o uhol 90° a 180° o 67% a pri vypínaní Erichsenovou skúškou o 78 % vzhľadom k nedeformovaným vzorkám,
- u vzoriek so zinkovo-horčíkovo-hliníkovými povlakom ZnAlMg-1 došlo k zhoršeniu koróznej odolnosti pri ohybe o uhol 180° o 35% a pri vypínaní Erichsenovou skúškou o 88 % vzhľadom k nedeformovaným vzorkám,
- u vzoriek so zinkovo-horčíkovo-hliníkovými povlakom ZnAlMg-2 došlo k zhoršeniu koróznej odolnosti pri ohybe o uhol 180° o 16% a pri vypínaní Erichsenovou skúškou o 35 % vzhľadom k nedeformovaným vzorkám.

Ešte výraznejšie sa prejavilo zvýšenie odolnosti zinkovo-horčíkovo-hliníkových povlakov ZnAlMg-1 a ZnAlMg-2 pri porovnaní so zinkovým povlakom HDG pri jednotlivých deformačných stavoch:

- u nedeformovaných vzoriek ZnAlMg-1 došlo k zlepšeniu koróznej odolnosti takmer dvojnásobne a u vzoriek s povlakom ZnAlMg-2 trojnásobne,

Obr. 14. Stav povrchu vzoriek s povlakom ZnAlMg-2 po pobyte v koróznej atmosfére 72 a 864 hodín
Fig. 14. Surface of specimens ZnAlMg-2coating after 72 and 864 hours in corrosion atmosphere

- u vzoriek deformovaných o uhol 90° s povlakom ZnAlMg-1 došlo k zlepšeniu korózne odolnosti sedemnásobne a u vzoriek s povlakom ZnAlMg-2 jedenásťnásobne,
- u vzorkách deformovaných o uhol ohybu 180° s povlakom ZnAlMg-1 došlo k zlepšeniu korózne odolnosti takmer päťnásobne a u vzoriek povlakom ZnAlMg-2 deväťnásobne,
- pri vzorkách vypínaných Erichsenovou skúškou došlo u povlaku ZnAlMg-1 k zlepšeniu 0,5 násobne a u povlaku ZnAlMg-2 tri a pol násobne.

Z uvedeného vyplýva, že vplyv deformácie vzoriek sa menej výrazne prejavil u vzoriek so zinkovo-horčíkovo-hliníkovým povlakom. Čím je vyšší obsah Al a Mg v zinkovom povlaku, tým je daný materiál odolnejší voči korózii. Odlišné správanie povlakov Zn–Al–Mg v porovnaní s tradičnými Zn povlakmi v koróznom prostredí je možné vysvetliť tým, že produkty korózie vytvárajú na povrchu veľmi tenkú stabilnú vrstvu na báze hydroxalcitu, ktorej zloženie sa v závislosti na čase mení. Táto ochranná vrstva zabezpečuje zvýšenie korózne odolnosti pozinkovaných plechov na báze Zn–Al–Mg i po ich deformácii v porovnaní s konvenčnými pozinkovanými plechmi s povlakom Zn [9,13,14]. To znamená, že ak sa konštruktéri pri návrhu komponentov karosérii vyvarujú viacnásobným ohybom, minimalizujú počet miest na výliskoch v oblasti medzných deformácií a budú v širšej miere využívať pozinkované plechy s horčíkovo-hliníkovými povlakmi je predpoklad, že sa dosiahne výrazné zvýšenie odolnosti komponentov karosérie voči korózii.

PodĎakovanie

Príspevok vznikol s podporou projektu APVV-0273-12 „Podpora inovácií komponentov karosérii z prístrihov ocelových plechov zameraných na bezpečnosť, ekológiu a znižovanie hmotnosti“ a projektu VEGA 2/0113/16 „Vplyv parametrov laserového zvarovania na štruktúru a vlastnosti zvarových spojov moderných ocelí pre AV“.

LITERATÚRA

1. Hagarová M. *Povrchové úpravy v automobilovom priemysle*. 1st ed. **2013**. 104 p. ISBN 978-80-553-1566-9.
2. Chovancová M. et al. *Základy korózie a povrchovej úpravy materiálov*. 1st ed. **2010**. ISBN 978-80-227-3378-6.
3. Graban J. et al. Hodnotenie korózne odolnosti pozinkovaných plechov s tenkými organickými povlakmi s protiotlačkovými vlastnosťami. *Metal 2008: Sborník přednášek ze 17. mezinárodní konference metalurgie a materiálů, 13.-15. 5. 2008, Červený zámek, Hradec nad Moravicí, Česká republika*. TANGER spol. s r.o. **2008**. ISBN 978-80-254-1987-8
4. Kolnerová, M., Solfronk, P. Morfológie plechů se zinkovým povlakem používaných v automobilovém průmyslu. *Metal 2001: Sborník přednášek 10. mezinárodní konference metalurgie a materiálů, 15.-17. 5. 2001, Hotel ATOM, Ostrava, Česká republika*. TANGER spol. s r.o. **2001**.
5. Evin E., Kollárová M. Tribologické vlastnosti pozinkovaných plechov pre karosérie áut. *Chemické listy* **2011**, 105, s465-s467.
6. Evin E., et al. Some Tribological aspects of Fe-Zn Coated steel sheets at Stamping Processes. *Acta Metallurgica Slovaca* **2014**, 2, 189-199.
7. Tanaka S., Honda K., Takahashi A. *Proc. 5th Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet, Verlag Stahleisen GmbH, Dusseldorf*, **2001**, p. 153.
8. Tsujimura T., Komatsu A., Andoh A., *Proc. 5th Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet, Verlag Stahleisen GmbH, Dusseldorf*, **2001**, p. 145.
9. Graban J. et al. Hodnotenie korózne odolnosti pozinkovaných plechov s tenkými organickými povlakmi s protiotlačkovými vlastnosťami. *Metal 2013: Sborník přednášek ze 17. mezinárodní konference metalurgie a materiálů, 13.-15. 5. 2008, Červený zámek, Hradec nad Moravicí, Česká republika*. TANGER spol. s r.o. **2008**. ISBN 978-80-254-1987-8
10. Schrek A. Deformation properties of tailor-welded blank made of dual phase steels. *Acta Mechanica et Automatica* **2016**, 10-1, 38-42
11. Rouet N. Galvanized steel sheet in an automotive sector as a barometer of Zinc market growth. *Metal Bulletin – 18th Zinc & its Markets Seminar, Lisbon October 23rd*, **2014**
12. Kolnerová, M., Sobotka, J., Solfronk, P., Doubek, P.: Properties of Metal Sheets Surfaces by Manufacturing of Car Body Stampings. *Metal 2007: Sborník přednášek 16. mezinárodní konference metalurgie a materiálů, 15.-17. 5. 2001, Hradec nad Moravicí, Ostrava, Česká republika*. TANGER spol. s r.o. **2007**
13. Newman R. Corrosion in sulphuric acid, *Journal of Corrosion* **2010**, 43, 2505-2512
14. Schürz, S., Fleischanderl, M., Mori, G., Stellnberger, K.-H., & Luckeneder, G. H. Corrosion Behavior of Zn-Al-Mg Coated Steel In Different Environments, *CORROSION 2011, 13-17 March, Houston, Texas, NACE International*, **2011**