

## Štatistická analýza kvality Fe-Zn povlakovaných plechov pre automobilový priemysel

Výboch Jozef, Ing., TU Sjf KTaM, Mäsiarska 74, 040 01 Košice  
 Výrostek Marek, Ing.IWE., Zastrova a.s., SNP 86, 061 01 Spišská Stará Ves  
 Evin Emil, Prof.Ing.CSc., TU Sjf KTaM, Mäsiarska 74, 040 01 Košice

### Anotace

Náročné požiadavky automobilového priemyslu nie len na hodnoty mechanických vlastností, ale aj na charakteristiky mikrogeometrie povrchu pozinkovaných plechov, charakteristiky lisovateľnosti, zvariteľnosti a lakovateľnosti je možné splniť sofistikovanými postupmi. Pri hodnotení spôsobilosti (vhodnosti) Fe-Zn pozinkovaných plechov typu „galvanneal“ na povrchové diely karosérie boli použité princípy metódy Six-Sigma. Spôsobilosť použitých plechov bola posudzovaná z aspektu požiadaviek na parametre mikrogeometrie povrchu (Ra a Pc) spoločnosti ŠKODA AUTO.

Kľúčové slová:

štatistické metódy, povlakované plechy, kvalita, optimalizácia

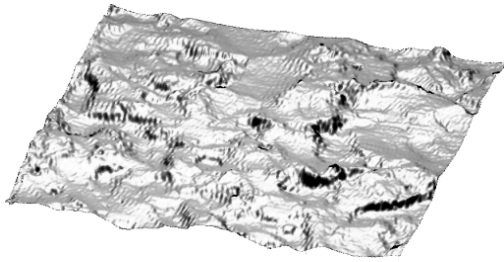
### 1. Úvod

Vzrastajúce požiadavky na protikorózne správanie výliskov z ocelových plechov v automobilovom priemysle podporili vývoj rôznych druhov povlakovaných plechov. Medzi povlakovanými ocelovými plechmi majú vzhľadom na pomer medzi kvalitou (plnením požiadaviek zákazníkov) a cenou svoje nezastupiteľné miesto pozinkované plechy. Na rozdiel od bežných ocelí má vývoj pozinkovaných plechov pre automobilový priemysel svoje špecifiká. Je potrebné splniť požiadavky nie len na mechanické vlastnosti, ale zabezpečiť aj bezchybný povrch zinkového povlaku i jeho priľnavosť k základnému materiálu. Aby sa dosiahol požadovaný vzhľad povrchových dielov karosérie po lisovaní a následne po lakovaní, zákazníci požadujú veľmi úzke tolerancie parametrov mikrogeometrie (Ra) s rovnomernou mikrogeometriou povrchu plechu. Požiadavky zákazníkov na mikrogeometriu povrchu pozinkovaných plechov určených pre povrchové diely sú zamerané hlavne na parametre drsnosti Ra [ $\mu\text{m}$ ] (drsnosť), Pc [ $\text{cm}^{-1}$ ] (počet vrcholkov) – tab.1.

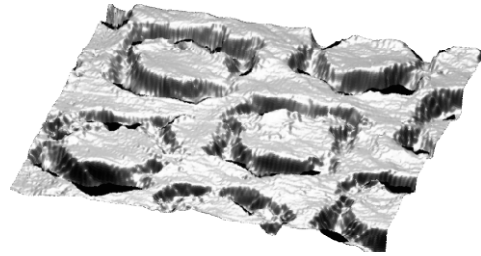
Tab. 1 Požiadavky zákazníkov na mikrogeometriu povrchu plechov [1]

Zákazník	Akosť	Požiadavka Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Požiadavka Pc [ $\text{cm}^{-1}$ ]
ŠKODA AUTO a.s	DX54D	1,1-1,6	40
Renault	DX54D	0,7-1,3	110
Fabryka Samochodow Osobowych	DX54D	0,8-1,4	60

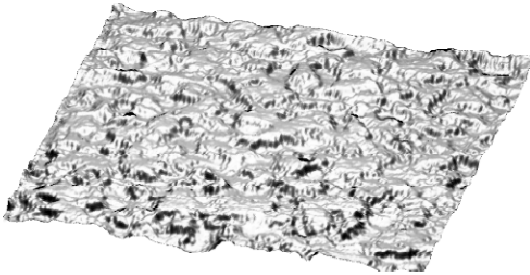
Z tab. 1 je vidieť, že požiadavky zákazníkov sa rôznia. Čoraz náročnejšie požiadavky zákazníkov je možné splniť využitím sofistikovaných technológií výroby pozinkovaných plechov pre diely karosérie. Prechádza sa od zdršňovania povrchu pracovných valcov mechanickým otryskávaním jemnozrnným granulátom (*SBT-Shot Blast Texturing*) k zdršňovaniu pracovných valcov vyiskrovaním (*EDT-Electric Discharge Texturing*, laserovým lúčom (*LBT-Laser Beam Texturing*), elektrónovým lúčom (*EBT-Electron Beam Texturing*) a elektrolytickým chrómovaním (*PRETEX Preussag Texturing*) - obr. 1 až obr. 4 [2,3]. Z tab. 2 je vidieť, že pri EDT (Electro Discharge Texturing) je dobrá reprodukovateľnosť výsledkov i prenos parametrov mikrogeometrie povrchu valcov na povrch plechu. Drsnosť pracovných valcov je rozhodujúcim parametrom, ktorým je možné riadiť konečné hodnoty Ra, Pc na povrchu pozinkovaného plechu. Čím je väčšia Ra povrchu valca, tým bude väčšia Ra na povrchu plechu pri rovnakom úbere valcovacej stolice. Pri výrobe valcov spôsobom EDT platí, že čím sú hodnoty Ra väčšie tým je menší počet Pc [1].



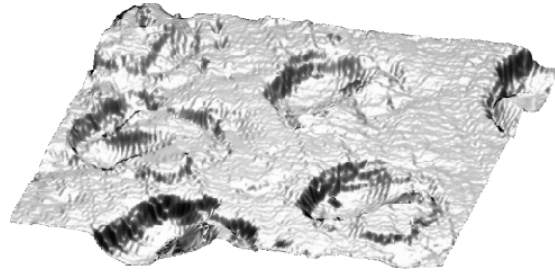
Obr.1 Reliéf povrchu plechu po valcovaní valcom opracovaným otryskaním [2,3]



Obr. 2 Reliéf povrchu plechu po valcovaní valcom opracovaným elektrónovým lúčom [2,3]



Obr.3 Reliéf povrchu plechu po valcovaní valcom opracovaným elektroiskrovým spôsobom [2,3]



Obr. 4 Reliéf povrchu plechu po valcovaní valcom opracovaným laserovým lúčom [2,3]

Tab. 2 Porovnanie reliéfov povrchov vytvorených jednotlivými metódami [2,3]

Metóda	SBT	EDT	LT	EBT
Pravidelnosť reliéfu povrchu	Stochastická	Stochastická	semi-deterministická	Deterministická
Počet vrcholkov Pc	Malý	Veľký	malý, veľký pre pseudostochastický	Veľký
Drsnosť valcov Ra [ $\mu m$ ]	1-6	0,8-10	0,8 – 10	priemer krátera 90-530
Vzťah Pc/Ra	Pc zreteľne závislý na Ra	Pc závislý na Ra	Pc málo závislý na Ra	Pc málo závislý na Ra
Prenos štruktúry textúry- suché valcovanie	Obmedzený	Dobry	podstatne obmedzený	Dobry
Prenos štruktúry textúry- mokré valcovanie	Obmedzený	Obmedzený	podstatne obmedzený	podstatne obmedzený
Reprodukovateľnosť	Zlá	Dobrá	Dobrá	Dobrá

## 2. Metodika experimentálneho výskumu

### 2.1 Použitý materiál a skúšky

Pre experimentálny výskum boli použité extra hlbokoťažné pozinkované plechy z IF ocele (Interstitial-free steel podľa EN 10327). Žiháním pozinkovaných plechov z IF ocele (GA1) boli získané plechy z Fe-Zn povlaky typu „galvanneal“ s rôznym stupňom legovania povlaku (nedolegovaný-GA1, optimálne legovaný – GA2 a prelegovaný – GA3) boli získané žiháním pozinkovaného plechu z IF ocele (materiál GA1). Pri žihaní dochádza aj k zmene (stupňa plnenia požiadavky zákazníkov) parametrov Ra a Pc použitých plechov s Fe-Zn povlakmi. Plnenie požiadaviek bolo posudzované jednak z hľadiska zmeny parametrov Ra a Pc a priľnavosti laku. Zmena parametrov Ra, Pc a % obsahu Fe v povlaku môže byť príčinou zlepšenia alebo zhoršenia lisovateľnosti Fe-Zn povlakovaných ocelových plechov. Obsah Fe v povlaku v skúmaných materiáloch bol stanovený titračnou metódou a fázové zloženie povlakov bolo stanovené rastrovacou elektrónovou mikroskopiou (REM) s EDX analyzátorom. Jednotlivé fázy boli identifikované na základe percentuálneho obsahu Fe a Zn, ktoré je dané stechiometrickým zložením fázy - tab. 3 [4].

Tab. 3. Vlastnosti Fe-Zn povlakov použitých materiálov

Materiál	Hrúbka povlaku [μm]	Celkový obsah Fe v povlaku [%]	Charakter Fe-Zn Povlaku	Fázové zloženie povlaku		Mikrotvrdosť povrchových fáz HV
				Prierez	Povrch	
GA 1	11,6	5,5	nedolegovaný	η, ζ, δ	η	η=52-72 δ=240-300
GA 2	7,6	12,6	optimálne legovaný	δ, Γ	δ	
GA 3	8,0	14,4	mierne prelegovaný	δ, Γ	δ	

Parametre mikrogeometrie (stredná aritmetická odchýlka profilu Ra [μm] a počet vrcholkov Pc [cm<sup>-1</sup>]) povrchu plechov boli vyhodnocované z hľadiska požiadaviek spoločnosti ŠKODA na povrchové diely karosérie. Hodnoty parametrov mikrogeometrie Ra a Pc použitých plechov boli určované na zariadení Hommel Tester 1000 v smere 90 ° vzhľadom k smeru valcovania.

Štatistické metódy sa stávajú bežným nástrojom pri riadení kvality výroby. Bola vyvinutá celá rada postupov aplikácií štatistických metód pre definovanie, analýzu a riešenie problémov vo výrobe. Tieto metódy poskytujú racionálne vstupné a výstupné údaje potrebné pre rozhodovanie [6]. Výsledky regresnej analýzy nameraných hodnôt parametrov mikrogeometrie Ra a Pc pri materiáli GA2 sú uvedené v tab. 4 a priemerné hodnoty týchto parametrov sú uvedené tab. 5.

Tab. 4 Výsledok regresnej analýzy pri materiáli GA2

Materiál GA 2-Ra 90°		Materiál GA2-RPc 90°	
<i>Sloupec1</i>		<i>Sloupec1</i>	
Stř. Hodnota	1,25	Stř. Hodnota	113
Chyba stř. hodnoty	0,011	Chyba stř. hodnoty	6,034
Medián	1,25	Medián	110,2
Směr. Odchylka	0,0356	Směr. Odchylka	19,08
Rozptyl výběru	0,00127	Rozptyl výběru	364,1
Špičatost	-1,78	Špičatost	1,31
Šikmost	-0,0555	Šikmost	-0,514
Rozdíl max-min	0,1	Rozdíl max-min	68
Minimum	1,2	Minimum	74,4
Maximum	1,3	Maximum	142,4
Součet	12,5	Součet	1139,6
Počet	10	Počet	10
Největší (1)	1,3	Největší (1)	142,4
Nejmenší (1)	1,2	Nejmenší (1)	74,4
Hladina spolehlivosti (95,0%)	0,0255	Hladina spolehlivosti (95,0%)	13,65

### 3. Dosiahnuté výsledky a ich diskusia

Z tab. 5 je vidieť, že aplikované režimy žihania viedli k poklesu parametrov drsnosti Ra a Pc. Vhodnosť analyzovaných Fe-Zn povlakovaných plechov z hľadiska požiadaviek spoločnosti ŠKODA auto (tab.1) bola posudzovaná indexom spôsobilosti  $C_{pk}$ . Spoločnosťou ŠKODA auto je špecifikovaná dolná a horná medza parametra Ra, index spôsobilosti bol vypočítaný:

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right\} = \min \{C_{pL}, C_{pU}\}; \quad (1)$$

a v prípade Pc je špecifikovaná len dolná medza, index spôsobilosti bol vypočítaný:

$$C_{pL(lower)} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}; \quad (2)$$

Kde  $\mu$  je stredná hodnota parametra dosahovaná výrobcom plechov,  
T - stredná hodnota požadovaná zákazníkom,

USL –upper specification limit  
 LSL –lower specification limit  
 $\sigma$  – smerodajná odchýlka

Tab. 5 Požiadavky zákazníkov na parametre drsnosti Ra, Pc a vypočítané hodnoty indexov spôsobilosti pre jednotlivé materiály

	Požiadavky ŠKODA auto				Parametre Ra, Pc a ich smerodajné odchýlky				Indexy spoľahlivosti	
	LSL <sub>Ra</sub> [μm]	USL <sub>Ra</sub> [μm]	T <sub>Ra</sub> [μm]	LSL <sub>Pc</sub> [μm]	μ <sub>Ra</sub> [μm]	Pc [1/cm]	σ <sub>Ra</sub> [μm]	σ <sub>Pc</sub> [μm]	Cpk <sub>Ra</sub>	Cpk <sub>Pc</sub>
<b>DX 54 D+Z (GA1)</b>	1.1	1.6	1.35	40	1,3	140	0.04	11	2.5	3.03
<b>DX 54 D+Z (GA2)</b>					1,25	120	0.07	19	1.66	1.4
<b>DX 54 D+Z (GA3)</b>					1,18	114	0.06	14	2.33	1.76

Z tab. 5 je vidieť, že hodnoty indexov Cpk parametrov Ra a Pc skúmaných materiálov sú väčšie ako 1,25. Znamená to, že aplikované režimy valcovania a žihania sú spôsobilé zabezpečiť plnenie požiadaviek spoločnosti ŠKODA auto na parametre mikrogeometrie povrchu Ra a Pc pozinkovaných plechov. Na základe indexov spôsobilosti Cpk je možné tiež konštatovať, že rozdiely parametrov mikrogeometrie povrchu Ra a Pc použitých plechov by nemali byť príčinou zhoršenia vzhľadu laku povrchových dielov karosérie a zhoršenia lisovateľnosti (z dôvodu nárastu súčiniteľa trenia) [4].

Cieľom aplikácie pozinkovaných plechov na povrchové diely karosérie je v prvom rade dosiahnutie kategórie ich koróznej odolnosti C4, C5-M, C4-I. Pri Zn-Fe povlakovaných plechov s koróznou odolnosťou veľmi úzko súvisí príľnavosť a oteruvzdornosť povlaku pri lisovaní. Z výsledkov prác [4,5] vyplýva, že optimálne legované Fe-Zn povlaky obsahujú od 8 do 14 % Fe. Uvedené limitné hodnoty % obsahu Fe v Fe-Zn povlakoch je možné na základe stupňa exponovateľnosti diela karosérie jemnejšie rozdeliť: pre koróziu zvlášť exponované diely povlaky s obsahom 0 až 8 %Fe (nelegované resp. nedolegované), pretože majú výbornú príľnavosť k základnému materiálu a je predpoklad, že aj ich korózna odolnosť bude výborná – 5 bodov, príľnavosť povlaku k základnému materiálu pri povlakoch s obsahom 8 až 10 % Fe je veľmi dobrá (veľmi dobrá korózna odolnosť – 4 body), príľnavosť povlakov s obsahom 10 až 12% Fe k základnému materiálu je dobrá (korózna odolnosť dobrá - 3body), príľnavosť povlaku k základnému materiálu malá (korózna odolnosť nízka-2body) – tab.6.

Tab.6 Bodové hodnotenie koróznej odolnosti

Kritérium	Príľnavosť (korózna odolnosť) Fe-Zn povlakov				Index zmeny I=HPi/HPe
	Výborná 5 bodov	Veľmi dobrá 4 body	Dobrá 3 body	Nízka 2 body	
<b>Špecifikácia dolnej medze obsahu %Fe</b>	0	8	10	12	
<b>Špecifikácia hornej medze obsahu %Fe</b>	8	10	12	14	
<b>Materiál GA1 etalón [body]</b>	5				1
<b>Materiál Ga2 [body]</b>				2	0,4
<b>Materiál GA3 [body]</b>		-	-		0,2
<b>Materiál s optimálne legovaným povlakom [body]</b>		4	3		0,8 alebo 0,6

S vzhľadom laku po lisovaní úzko súvisí oter povlaku na kontaktné plochy nástroja. Odolnosť voči oteru bola kvantifikovaná na základe mikrotvrdoosti povrchových fáz ( $\eta=52-72$  a  $\delta=240-300$ ) povlaku.  $\eta$  fáza je v podstate čistý Zn, ktorý sa oterom (vznik mikro návarov povlaku za studena) veľmi rýchlo prenáša na kontaktné plochy pridržiavača a na ťažnú hranu (nízka oteruvzdornosť - 2body). Tento proces bol v menšej miere pozorovaný pri povlakoch materiálov GA2 a GA3, ktorých

povlaky sú tvorené  $\delta$  fázou (FeZn10, resp. FeZn7) s mikrotvrdosťou cca 300 HV (veľmi dobrá oteruvzdornosť – 4body) [4,5].

Pozinkované plechy s povlakom Fe-Zn typu „galvanneal“ predstavuje po viacerých stránkach progresívny materiál, aby boli efektívne využité jeho jedinečné vlastnosti, je potrebné voľbu optimalizovať z hľadiska požiadaviek na konkrétny diel karosérie. účelovú funkciu optimalizácie úžitkových vlastností dielov karosérie na pozinkované plechy je možné popísať nasledovne:

$$\sum_{i=j}^n I_{i,j} = \sum_{i=j}^n \frac{H_{i,j}}{H_{ie}} \cdot q_j = \max ; \quad (3)$$

potom

$$\sum_{i=j}^n I_{ij} = \left( \frac{Cpk_{1,j}}{Cpk_{1,e}} + \frac{Cpk_{2,j}}{Cpk_{2,e}} + \frac{Hf_{3,e}}{Hf_{3,j}} \cdot q_j + \frac{HW_{4,j}}{HW_{4,e}} \cdot q_j + \frac{HV_{5,j}}{HV_{5,e}} \cdot q_j + \frac{HC_{6,j}}{HC_{6,e}} \cdot q_j \right) = \max ; \quad (4)$$

Kde  $\sum_{i=j}^n I_{ij}$  vyjadruje úžitkové vlastnosti analyzovaného dielu karosérie,

$H_{ij}$  je hodnota i-tého parametra ( $i=1$ -odolnosť voči korózii na základe príľnavosti povlaku k základnému materiálu,  $i=2$ -odolnosť voči oteru na základe mikrotvrdosti povlaku HV,  $i=3$ -vzhľad laku na základe  $Cpk_{Ra}$ ,  $i=4$ -vzhľad laku na základe  $Cpk_{Pc}$ ), j-tého analyzovaného materiálu,

$H_{ie}$  - hodnota i-tého parametra etalónového materiálu (GA1),

$q_j$  – váha významnosti j-tého analyzovaného materiálu.

Tab. 7 Matica plnenia požiadaviek automobilového priemyslu kladených na pozinkované plechy s Zn-Fe povlakmi

Materiál	Index $I_{i,j}$ zmeny príľnavosti resp. korozivzdornosti	Index $I_{i,j}$ zmeny oteru- Vzdornosti i	Index $I_{ij}$ zmeny vzhľadu laku Ra	Index $I_{ij}$ zmeny vzhľadu laku Pc	$\sum_{i=j}^n I_{ij}$	Plnenie požiadaviek zákazníka [%]
Vyhodnotenie s váhou významnosti $q=0,2 \cdot v+0,8$ $q_1=0,2 \cdot 4+0,8=1,4$ ; $q_3=0,2 \cdot 0+0,8=0,8$ ; $q_4=0,2 \cdot 0+0,8=0,8$ ; $q_2=0,2 \cdot 2+0,8=1,2$ ;						
Materiál	1	2	3	4		
	$I_{i1} \cdot q_1$	$I_{i1} \cdot q_2$	$I_{i1} \cdot q_3$	$I_{i1} \cdot q_4$		
GA 1	$1 \cdot 1,4=1,4$	$1 \cdot 1,2=1,2$	$1 \cdot 0,8=0,8$	$1 \cdot 0,8=0,8$	4,2	$4,2/4,2 \cdot 100=100$
GA 2	$0,4 \cdot 1,4=0,56$	$2 \cdot 1,2=2,2$	$1 \cdot 0,8=0,8$	$1 \cdot 0,8=0,8$	4,36	$4,22/4,2 \cdot 100=104$
GA 3	$0,2 \cdot 1,4=0,28$	$2 \cdot 1,2=2,2$	$1 \cdot 0,8=0,8$	$1 \cdot 0,8=0,8$	3,94	$4,08/4,2 \cdot 100=97$
Optimálne legovaný povlak	$0,8 \cdot 1,4=1,12$ $0,6 \cdot 1,4=0,84$	$2 \cdot 1,2=2,2$	$1 \cdot 0,8=0,8$ $1 \cdot 0,8=0,8$	$1 \cdot 0,8=0,8$ $1 \cdot 0,8=0,8$	4,92 4,64	$4,92/4,2=117$ $4,64/4,2=110$

#### 4. Závěry

V tomto príspevku je prezentovaný komplexný prístup k hodnoteniu požiadaviek zákazníkov na pozinkované plechy pre povrchové diely karosérie. Pozinkované plechy boli posudzované z hľadiska požadovaných parametrov mikrogeometrie povrchu Ra a Pc, fázové zloženie Fe-Zn povlakov, ich príľnavosti a oteruvzdornosti. Pozinkované plechy s Fe-Zn povlakmi typu „galvanneal“ predstavuje po viacerých stránkach progresívny materiál, pre čo najlepšie využitie jeho vlastností, je ešte potrebné postupy valcovania a lisovania optimalizovať. Na základe získaných výsledkov bola popísaná účelová funkcia, pomocou ktorej by bolo možné optimalizovať proces výroby pozinkovaných plechov tak, aby boli splnené aj najnáročnejšie požiadavky zákazníkov. Z procesnej matice tab.7 vyplýva, že optimálne legované povlaky v porovnaní s povlakmi s čistým zinkom resp. s nedolegovaným povlakom a pozinkované plechy s Fe-Zn optimálne legovanými povlakmi predstavujú po viacerých stránkach progresívny materiál pre povrchové diely karosérie.

## Podakovanie

Tento článok bol vytvorený realizáciou projektu „Centrum výskumu riadenia technických, environmentálnych a humánnych rizík pre trvalý rozvoj produkcie a výrobkov v strojárstve“ (ITMS:26220120060), na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Autori práce ďakujú za finančnú podporu projektov Vedeckej grantovej agentúry Slovenskej republiky (VEGA 10890/09).

## LITERATÚRA

- [1] KUNDRACIK, V.: Mikrogeometria povrchu pásu na povrchové diely automobilov. In.:Pozinkovaný materiál pre automobilový priemysel. Zborník prednášok z 66. pracovného seminára Spoločnosti OCELOVÉ PÁSY, Jahodná, 2009.
- [2] KUZMAN, K. et al.: Environmentalfriendly lubricants in deep drawing of steel sheets metal. Report Enform project, Cejle, 2000.
- [3] HRIVŇÁK, A. – EVIN, E.: Lisovateľnosť plechov: Predikcia lisovateľnosti ocelových plechov s vyššími pevnostnými vlastnosťami. 1.vydanie. Košice: ELFA, 2004. 223s. ISBN 80-89066-93-3.
- [4] EVIN, E. a kol.: Vplyv fázového zloženia povlakov Fe-Zn na charakteristiky trenia pri lisovaní, Metal 2008, Ostrava: Tanger, 2008, ISBN 9788025419878.
- [5] LINDSEY, J.H.- Paluch, R.F. – Nine, H.D.: The interaction between electrogalvanized zinc deposit structure and the forming properties of sheet steel. Plating and Surface Finishing, 76, s. 62-69, 1989.
- [6] SEMIATIN, S.L. at all:Metals Handbook. Forming and Forging. Vol. 14. ASM International, 1993.
- [7] SOLFRONK, P.: Vliv morfologie povrchu plechu na rozvoj deformace při tažení výlisků z plechu, Disertační práce, Liberec, 2001.

## Statistical analysis of the quality of Fe-Zn coated sheets for automotive industry

Výboch Jozef, Ing., TU SjF KTaM, Mäsiarska 74, 040 01 Košice  
Výrostek Marek, Ing.IWE., Zastrova a.s., SNP 86, 061 01 Spišská Stará Ves  
Evin Emil, Prof.Ing.CSc., TU SjF KTaM, Mäsiarska 74, 040 01 Košice

### Anotace

**The demands of the automobile industry for the formability, weldability and lacquering of galvanized steel sheet for exterior body panels are constantly growing. To meet these requirements "tailored production of galvanized sheets" can be achieved by sophisticated optimization procedures not only mechanical properties but also the phase composition of coatings, coating thickness and surface microgeometry of sheet metal. In evaluating the capacity (suitability) of Fe-Zn galvanized sheets type "galvanneal" on the surface body parts the principles of Six Sigma methods were applied. The character of used sheet metals has been assessed from the perspective of requirements required by the Skoda Auto company for microgeometry surface parameters (Ra and Pc).**

Keywords:

statistical methods, coated sheets, quality, optimalization

