



# NOVODOBÝ TREND VÝROBY ČELNÝCH OZUBENÝCH KOLIES PLAZMOU A VYHODNOCOVANIE JEJ TERMICKÉHO VPLYVU NA OZUBENÍ

## MODERN TREND OF MANUFACTURING THE SPUR GEAR WHEELS BY USING PLASMA AND ASSESSMENT OF ITS THERMAL IMPACT ON GEARING

Ľubomír KARAFFA-Vladimír SIMKULET

#### Abstract

The aim of this paper is to provide the readers with information related to the modern trend in manufacturing the spur gear wheels by using plasma. We have been dealing with this issue to search for more effective inovative methods of manufacturing the spur gear with the assistence of plasma technology. By influence of plasma the thermal impact on gear material occurs and this process represents the subject of our research within the metallographic tests. Our research is focused on two types of plasma, that is plasma type Formica Nitra, For CUT 203 WDM and a new generation plasma type Hypertherm Hy Definition HD4070.

#### Key words

analysis, gear-wheel, hardness, plasma, production, structure

## Úvod

Ozubené kolesá, ako jedna zo základných zložiek mechanizmov a častí strojov predstavujú ešte stále dôležitý v mnohých prípadov nezastupiteľný konštrukčný prvok. V posledných rokoch sice nedochádzalo z výrobného hľadiska k výrazným obmenám ich typových tvarov, no začala sa vylepšovať technológia ich výroby. Bolo to hlavne z dôvodu zvyšovania požiadaviek na ich presnosť a objemnosť výroby, pri skrátení výrobného času. Práve z uvedených dôvodov sa konštruktéri a výskumný pracovníci snažia hľadať riešenie, ako to dosiahnuť.

Na Katedre navrhovania technologických zariadení, Fakulty výrobných technológií (FVT) TU v Košiciach momentálne prebieha výskum v rámci dizertačnej práce, ktorý je zameraný na výrobu čelných ozubených kolies plazmou. Tento výskum je v nadväznosti na prácu Ing. Jozefa Maščenika [5], ktorý sa zaoberal optimalizáciou technológie výroby ozubenia nekonvenčnými technológiami. Podľa jeho výsledkov výskumu sa preukázalo, ako najvhodnejšie použitie plazmy pri výrobe čelného ozubenia. Práve z uvedeného dôvodu sa ďalej vo výskume venujeme hlbšej analýze termických vplyvov pri výrobe čelného ozubenia plazmou.

## 1 Spôsoby výroby ozubených kolies a ich dokončovanie

Doterajšie známe spôsoby výroby ozubených kolies predstavujú širokú oblasť uplatnenia rôznorodých technológií, no hlavne členenie je na konvenčné a nekonvenčné technológie výroby ozubenia. [4,10] V rámci konvenčných technológií výroby ozubenia ide o obrábanie, kde patrí frézovanie, preťahovanie a obrážanie ozubených kolies. Ďalej do tejto skupiny zaradzujeme výrobu ozubených kolies plastickou deformáciou, kde ide o valcovanie ozubených kolies; kovanie ozubených kolies za tepla a za studena. Ďalšie metódy výroby





ozubených kolies sú pomocou odlievania ozubených kolies, výroba ozubených kolies práškovou metalurgiou a výroba plastových ozubených kolies. [3,6]

Ak hovoríme o nekonvenčných technológiách výroby ozubenia, máme na mysli použitie nekonvenčných technológií pri výrobe ozubenia v podobe delenia vodným prúdom, delenie laserovým lúčom, elektroiskrové drôtové rezanie a delenie plazmovým oblúkom. Tieto technológie vznikli len nedávno a v histórii výroby ozubených kolies predstavujú nový smer ich uplatnenia. [3, 5]

Ozubené kolesá pre vyššie presnosti sa dokončujú ševingovaním – použitie je hlavne pre nekalené kolesá; brúsením – ako nasledujúca operácia po obrábaní, alebo tepelnom spracovaní; lapovaním – použitie hlavne pre ozubené kolesá po tepelnom spracovaní; zabehávaním – uplatnenie pre kolesá, ktoré nie je možné dokončovať inak. Pre zlepšenie akosti povrchu ozubených kolies, prevažne zubov ozubených kolies sa často používa tepelné spracovanie ozubených kolies v podobe cementácie, nitridácie a kalením. V prípade kalenia sa u ozubených kolies výhradne používa: indukčné kalenie postupné; kalenie plameňom postupné; indukčné kalenie jednorazové a kalenie plameňom jednorazové. [7,10]

#### 2 Výroba čelného ozubenia plazmou

Výroba ozubených kolies prebiehala v Prešovských firmách a to vo firme Weldex, s.r.o. a vo firme Tomark, s.r.o. Tieto firmy majú dlhoročné tradície a skúsenosti okrem iného aj v oblasti delenia materiálov plazmou a práve preto sme sa obrátili na nich s pomocou pri realizácií výskumu. Deliaci plán čelných ozubených kolies vychádzal z koncepcie ozubeného kolesa z modulom m=12 a počtom zubov z=17, vyrábaného firmou ZŤS Sabinov. Pre deliace zariadenia bolo potrebné pripraviť plán delenia, ktorý mal ako predlohu výkres nakreslený v AutoCade. Na danom výkrese ozubeného kolesa sme už počítali aj s experimentálnym prídavkom materiálu o 0,8 mm a teda aj celkové rozmery pre ozubené koleso boli upravené (zväčšené) o tento rozmer.

Vo výskume si kladieme, ako jeden z hlavných cieľov určiť presne potrebný prídavok materiálu na ozubení, ktorý predstavuje vrstvu materiálu ovplyvnenú teplom plazmy. Túto vrstvu je ďalej potrebné odstrániť pre dosiahnutie požadovaného presného rozmeru ozubenia. Predpokladom je, že práve táto vrstva bude obsahovať tepelne ovplyvnenú zónu v ktorej sa môžu nachádzať povrchové a podpovrchové poruchy materiálu, ktoré sú nežiaduce pri ďalšom opracovaní ozubenia, rovnako aj premenlivá tvrdosť povrchu materiálu. Práve preto sme prídavok na výkrese stanovili na 0,8 mm.

Takto upravený výkres sme nemohli hneď vložiť do páliaceho zariadenia, pretože by ho zariadenie nevedelo spracovať a preto výkres bolo potrebné pretransformovať do podoby deliaceho plánu.

Pomocou programu "AsperWin-Basic" bola upravená predloha plánu delenia pre plazmové zariadenie Formica Nitra, For CUT 203 WDM, kde bolo potrebné z dôvodu šírky reznej medzery upraviť rozmer ozubeného kolesa ešte o korekciu 2 mm. Táto šírka reznej medzery, je v podstate vznikajúca medzera pri odbere materiálu plazmou, s ktorou je potrebné rátať pri delení plazmou. V prípade plazmového zariadenia Hypertherm HyDefinition HD 4070 nebolo už možné použiť tento deliaci plán, pretože ho toto zariadenie nepodporuje. Nový deliaci plán bol zostavený pomocou programu "WinPlasma CR Elektronic", kde sme opäť volili korekciu 2 mm. Táto korekcia bola uplatnená aj z ohľadom na hrúbku ozubenia, ktorá bola 25 mm. Ako materiál ozubených kolies bola zvolená oceľ 16MnCr5 používaná tiež výrobcom takýchto kolies, aby ich bolo možné navzájom po výrobe porovnať.

Prvú vzorku ozubeného kolesa sme delili vo firme Weldex, s.r.o., kde používajú plazmu typu Formica Nitra, For CUT 203 WDM. Na tomto deliacom zariadením sme použili





dýzu pre horák CENTRICUT C55-033, Typ 225A o priemeru 2,1 mm. Priemer dýzy bol zvolený podľa deliaceho prúdu 180A, napätia 165V a deliaceho plynu  $O_2$ . Rýchlosť delenia bola 820 mm/min a doba delenia cca 56 sekúnd.

Výpalok ozubeného kolesa po delení plazmou je na obr. 1 a detail zuba ozubenia na obr. 2.



Obr. 1 Ozubené koleso delené plazmou typu Formica Nitra, For CUT 203 WDM



Obr. 2 Detail zuba ozubenia deleného plazmou typu Formica Nitra, For CUT 203 WDM

Druhú vzorku ozubeného kolesa sme delili vo firme Tomark, s.r.o., kde používajú plazmu novej generácie typu HYPERTHERM HyDefinition HD4070. Na tomto deliacom zariadením sme použili dýzu z modrým označením, ktorá je dimenzovaná pre prúd 200A. Túto vlastnosť sme využili práve pre náš prípad, keďže hodnota deliaceho prúdu bola 200A. Deliace napätie malo hodnotu 180V. Ako plyn predzápalu plazmového lúča a ochranný plyn bol zvolený N<sub>2</sub>. Rezací plyn bol O<sub>2</sub>. Rýchlosť delenia materiálu bola 1060 mm/min a doba delenia cca 45 sekúnd. Na obr. 3 je zobrazený výpalok kolesa deleného plazmou novej generácie typu Hypertherm HyDefinition HD4070 a na obr. 4 je znázornený detail zubov ozubenia.



Obr. 3 Výpalok ozubeného kolesa deleného plazmou typu Hypertherm HyDefinition HD4070







Obr. 4 Detail zubov ozubenia deleného plazmou novej generácie typu Hypertherm HyDefinition HD4070

Pre výskumné účely boli v oboch prípadoch experimentu použité nové spotrebné diely v podobe elektródy a dýzy. Toto riešenie sme volili z dôvodu vylúčenia možnej chyby pri opotrebení týchto dielov, ktorá by sa odzrkadlila na kvalite rezu.

#### 3. Metalografická analýza ozubenia

V rámci metalografických skúšok sme sa zamerali v prvopočiatku výskumu hlavne na metalografickú skúšku optickým mikroskopom, a mechanickú skúšku tvrdosti materiálu podľa Vickersa (STN EN ISO 6507-1), čo je náplňou príspevku. Predpokladom ďalšieho smerovania výskumu bude aj realizácia ďalších skúšok v rámci metalografie, ako napr. skúšky elektrónovým mikroskopom, skúšky röntgenovou a elektrónovou difraktografiou atď.

#### 3.1 Metalografická skúška optickým mikroskopom

Na mikroskopickú analýzu sme si potrebovali pripraviť vhodné vzorky v podobe mikrovýbrusov. Všeobecne príprava mikrovýbrusov zahrňuje operáciu odberu vzorky, úpravu vzorky, brúsenie vzorky, leštenie vzorky a následne vyvolanie štruktúry pomocou krátkeho leptania povrchu vzorky 2% roztokom nitanolu, opláchnutím tečúcou vodou a následne opláchnutím etylalkoholom pri intenzívnom sušení vzduchom sušiča, až kým povrch nevyschne úplne. Potom je už vzorka pripravená na pozorovanie pod mikroskopom. [1,8]

V našom prípade tomu nebolo inak, len s tým rozdielom, že sme museli pri odbere vzoriek dbať na to, aby samotný odber materiálu nespôsobil tepelné ovplyvnenie vzoriek navyše. To by v konečnom dôsledku zapríčinilo skreslenie výsledkov merania. [2,9] Na odrezanie zubov ozubenia v oboch prípadoch, teda u ozubenia vyrobeného plazmou typu Formica Nitra, For CUT 203 WDM a plazmou novej generácie typu Hypertherm Hy Definition HD4070, sme použili pásovú pílu na kov ergonomic 275.230 DG s chladením pásu emulziou (obr.5).

Obr. 5 Pásová píla na kov ergonomic 275.230 DG a v pravo odber vzorky boku zuba PP





Celkovo pre výskumné účely boli v oboch prípadoch odobraté vzorky ozubenia v oblasti hlavy zuba obr. 6, boku zuba a päty zuba. V tomto článku sa venujeme len výlučne vzorkám z hlavy zuba a to u obyčajnej plazmy (skratka OP), ktorou sme pomenovali plazmu typu Formica Nitra, For CUT 203 WDM, pre jej bežné a obľúbené použitie v praxy.

Plazmu novej generácie typu Hypertherm Hy Definition HD4070 sme pomenovali názvom presná plazma (skratka PP), kvôli jej učínnosti a šírke rezu.

Vzorky pre hlavu zuba u PP a OP boli odrezaná na rozstupovej kružnici ozubenia teda vo vzdialenosti 12mm od povrchu hlavy zuba. Vzniknutá plocha pre pozorovanie bola podstatne väčšia, ako sa používa u mikrovýbrusov, kde je štandard plochy 10 x 10 x 10 mm. V našom prípade sme potrebovali získať práve takúto rozsiahlu plochu, aby sme ju mohli podrobne prebádať a zistiť, čo všetko sa deje v jednotlivých časti ozubenia pôsobením tepla plazmy.

Odobraté vzorky sme pre lepšiu manipuláciu zaliali do hmoty dentakrylu, a nechali ich zatvrdnúť. Potom sme ich brúsili brúsnym papierom v tvare kruhu. Postupnosti boli volené podľa hrúbky zrna papiera: 80, 120, 240, 400, 600, 800, 1200. Brúsenie prebiehalo na laboratórnej brúske Metasinex tak, že pri každej výmene nového papiera prechodom na jemnejšie zrno sme vzorku najprv opláchli vodou a potom následne pootočili o 90° a pokračovali pri jej brúsení. Po dosiahnutí požadovaného povrchu sme kontrolou pod mikroskopom EPITYP 2 od firmy CARL ZEISS (DDR) prešli na leštenie vzoriek. Leštenie prebiehalo na leštičke Struers LaboPol-5 s nástavcom pre automatickú prípravu vzoriek. Pre leštenie sme použili leštiacu modrú pastu na vzorky MetaDi 1µm firmy BUEHLER. Potom nasledovalo po kontrole pod mikroskopom EPITYP 2 leptanie vzorky. Vzorky určené k leptaniu museli mať pekný lesklý povrch bez akýchkoľvek rýh či škrabancov. Vyvolanie štruktúry sme docielili krátkym leptaním povrchu vzorky 2% roztokom nitanolu Mi1Fe (5cm<sup>3</sup> HNO<sub>3</sub>, 100cm<sup>3</sup> Etanol 96% C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>OH). Doba leptania bola naozaj krátka, prirovnaná času ponorenia vzorky do roztoku a okamžitým opláchnutím pod prúdom tečúcej vody. Následne nasledovalo opláchnutie vzorky v čistom neriedenom etylalkohole a intenzívnym sušením teplým vzduchom sušiča do doby, až kým povrch nevyschol úplne. Potom už vzorka bola pripravená na pozorovanie pod mikroskopom.



Obr. 6 Tvar vzoriek ozubenia PP a OP, ktoré boli odobraté z hláv zubov pred ich zaliatím do dentakrylu a v pravo už zaliate vzorky ozubenia do dentakrylu

Prvotné pozorovanie štruktúry oboch vzoriek ozubenia u PP a OP sme prevádzali pomocou zariadenia pre meranie Micro-Vickers hardness tester, Model: 400DAT (2008). Na tomto zariadení bol upevnený digitálny fotoaparát pomocou špeciálneho nadstavca pre objektív, aby sme mohli zdokumentovať vzhľad pozorovanej štruktúry. Zariadenie disponuje objektívom s 10x a 40x zväčšením.

Skúmaním bolo zistené, že základný materiál ozubenia tvorí feriticko – perlitická oceľ. Podľa štruktúry ocele sa nedalo s istotou presne odhadnúť obsah uhlíka, no podľa





materiálového listu ocele vieme, že ide o Mn - Cr oceľ k cementovaniu s maximálnym obsahom uhlíka 0,14 až 0,19 % C. Viac nám napovie hlbšia analýza elektrónovým mikroskopom, ktorú budeme realizovať v rámci pokračovania vo výskume.

O presnom chemickom zložení ocele sa vieme dozvedieť tiež pomocou röntgenového kvantometra v laboratóriách ARL(Applied Research Laboratories), alebo pomocou Scanning mikroskopu, kde je možné zistiť na základe analýz zloženie ocele. Metóda Micro Scanning, nám žiaľ neumožňuje zistiť presný obsah uhlíka, ale len obsah niektorých prvkov, ako: Fe, Al, Si, Cr, Mn.

Na obr.7 je znázornená celková štruktúra vzorky hlavy zuba u OP od okraja vzorky smerom do stredu materiálu, zväčšenie je 50,4 x. Ako je bádať na obrázku, z ľavej strany hore, na čele zuba došlo ku pretvoreniu štruktúry materiálu vplyvom vysokého tepla plazmy. Toto pretvorenie má zo začiatku intenzívnejší rozsah o veľkosti zhruba 500µm do hĺbky materiálu od okraja povrchu zuba a postupne sa zužuje na hodnotu do 200µm, smerom dole, kde už lúč plazmového horáka prejde skrz delený materiál. Tento pás je najintenzívnejší a predstavuje priamy kontakt materiálu s lúčom plazmového horáka pri delení. Zmenu hrúbky tepelného ovplyvnenia v tomto poli si vieme vysvetliť tým, že počas delenia je na čelnej ploche ozubenia teplota plazmového lúča intenzívnejšia a teda aj pôsobenie na materiál v mieste rezu dlhšie, kým nedôjde ku úplnému oddeleniu materiálu. Celkovo táto vrstva odoberie aj viac tepla sálaním a dochádza ku premene štruktúry materiálu v závislosti od času expozície.

Po tejto vrstve nasleduje ďalšia vrstva materiálu, tzv. medzivrstva. Je to vrstva medzi základným materiálom a prvou, najviac tepelne ovplyvnenou vrstvou. Určiť presne jej rozsah je trocha komplikovanejšie, pretože pri pohľade naň je vidieť, že táto vrstva nemá prechodový charakter rovnaký, ako prvá vrstva. Teda neprebieha od širšej plochy ku užšej, ale naopak od užšej ku širšej. Dôvodom je, že táto plocha už zasahuje na dolnom okraji vzorky do oblasti, kde by teoreticky, aspoň podľa tepelného ovplyvnenia na čelnej ploche mala byť tiež intenzívna vrstva ovplyvnenia, ale nie je. To je spôsobené práve nerovnomerným ohrevom materiálu pri delení plazmou, najviac je ovplyvnený na mieste začatia rezu. Len odhadom môžeme hovoriť, že ide na čelnej hornej ploche ozubenia o vrstvu cca 400 µm a potom sa rozširuje zhruba na 700 µm. Viac nám napovie meranie tvrdosti materiálu v týchto oblastiach, ktoré by mali byť zhodné s odhalenou štruktúrou materiálu.

Poslednú vrstvou tvorí už spomínaný základný materiál, teda materiál u ktorého nedošlo ku výraznej zmene, resp. žiadnej, ktorá by bola alarmujúcou. V podstate táto vrstva by mala mať štruktúru identickú, ako materiál pred delením plazmou, teda bez porušenia štruktúry.







Obr. 7 Štruktúra hlavy zuba OP, zv.50,4 x

Pomerne zaujímavé bolo sledovať štruktúru vzorky hlavy zuba, ktorá bola delená PP. Na tejto vzorke bolo pozorovateľne tiež pretvorenie materiálu, ale už nie v takom rozsahu, ako u predchádzajúcej vzorky (obr.8). Pohľadom na vzorku by sme mohli tvrdiť, že tu vznikli len dve vrstvy. Prvou je, tak ako v predchádzajúcom prípade vrstva s najväčším tepelným ovplyvnením materiálu. Jej rozsah je na ľavej hornej strane vzorky okolo 300  $\mu$ m a postupne sa zužuje na asi 200  $\mu$ m. Znamená to, že čas tepelného pôsobenia plazmového lúča na materiál bol podstatne nižší a aj rýchlosť delenia vyššia, čo je pravdou. U PP je aj zaručený sklon rezu na 3°, čo je celkovo výhodne pri presnejšom delení materiálu, ako aj na kvalite rezu.

Podrobnejším skúmaním oboch vzoriek sme došli k názoru, že v prvej oblasti a to u oboch vzoriek dochádza ku intenzívnejšiemu pretvoreniu materiálu a je tu predpoklad vzniku bájnitickej, poprípade martenzitickej, alebo zmiešanej, aj bájnitickej aj martenzitickej štruktúry súčasne. Viac nám napovie ďalšia analýza v rámci mikroskopie, pomocou elektrónového mikroskopu, kde je možné dosiahnuť mimoriadne veľké zväčšenie až 1000x.



Obr. 8 Štruktúra hlavy zuba PP, zv.50,4 x





## 3.2 Meranie tvrdosti ozubenia

Tvrdosť materiálu sme merali pomocou Vickersovej skúšky na zariadení typu Micro-Vickers hardness tester, Model: 400DAT (2008). Výhodou použitia tejto skúšky je v tom, že výsledky tvrdosti nie sú teoreticky závisle od sily zaťažujúceho telesa. Citlivosť skúšky závisí hlavne od presnosti prístroja, od drsnosti povrchu a homogenity skúšaného materiálu. Meranie sa uskutočnilo na oboch vzorkách čelných ozubených kolesách delených OP a PP pri zaťažujúcej sile 1,961N, dobe pôsobenia záťaže 10s. Vzdialenosť od jednotlivých vpichov bola 10 µm a počet meraní pre každú vzorku 25 krát. Meranie bolo zahájene vo vzdialenosti 12,5 mm, teda v strede vzorky od ľavého okraja, pri zobrazení tak, ako pozeráme na obrázok Obr. 7-8. Celková hrúbka ozubenia bola 25mm. Meranie tvrdosti sme realizovali len na jednej strane plochy zuba, l'avej a v budúcnosti budeme meranie realizovať aj na pravej strane plochy, aby sme vedeli posúdiť, či dochádza ku zmene aj v tejto oblasti symetricky rovnako. Viac o nameraných hodnotách tvrdosti prezrádza tab.1 a tab.2. Z nameraných hodnôt môžeme konštatovať, že existuje tu závislosť meniacej sa tvrdosti spolu s meniacou sa štruktúrou v materiály. Ďalším zistením je aj fakt, že volený experimentálny prídavok materiálu je potrebné upraviť na vyššiu hodnotu, ktorú presne potvrdí ďalšie podrobnejšie meranie a pozorovanie vzoriek v rámci metalografie.

Tab. 1	Namerané	hodnoty	tvrdosti	zuba OF	)
--------	----------	---------	----------	---------	---

						-						
l[mm]	0,05 0.0	)15	0,025	0,035	0,045 0	,055 0,0	65 0,07	5 0,085	0,095	0,105	0,115	0,125
Tvrdosť v [HV0,2]	554,9	465,9	419	575,9	288,1 2	13,8 4	19 34	7 275,9	228,9	199	197,2	207,1
Poradie	1	2	3	4 5	56	7	8	9	10	11	12	13
l[mm]	0,135	0,145	0,155	0,165	0,175	0,185	0,195	0,205	0,215	0,225	0,235	0,245
Tvrdosť v [HV0,2]	169,6	170,6	192,6	209	174	176,4	205,3	200,2	166,2	173,8	204,1	200,2
Poradie	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

							ر							
l[mm]		0,06 0.016		0,026	0,036	0,046	0,056	0,066	0,076	0,086	0,096	0,106	0,116	0,126
Tvrdosť v HV [HV0,2]	413.4	398.6		343,6	286,1	382,8	339	370,7	226,8	233,6	234,7	216,9	233,6	235
Poradie	1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
l[mm]		0,136	0,146	0,156	0,166	50,	176	0,186	0,196	0,206	0,216	0,226	0,236	0,246
Tvrdosť v HV [HV0,2]		191,5	180,1	184,1	188,3	3 18	34,7	210,8	202,9	198,2	197,7	194,9	187,7	204,1
Poradie		14	15	16	17	18	1	.9	20	21	22	23	24	25

#### Súhrn

Novodobou technológiou výroby čelných ozubených kolies plazmou, by bolo možné docieliť skrátenie celkových výrobných časov a zvýšenie objemnosti výroby. Na to, aby sme to docielili potrebujeme poznať ku akým termickým zmenám dochádza v materiály, pôsobením tepla plazmy. Zistené zmeny nám pomôžu pochopiť prebiehajúce procesy v materiály aj v závislosti od použitia typu plazmy, čo celkovo napomôže predurčiť použitie plazmy aj v iných oblasti.

## Kľúčové slová

analýza, ozubenie, tvrdosť, plazma, výroba, štruktúra

#### Použitá literatúra

[1] BENEŠ, A. a kol.: Nauka o kovech. SNTL/ALFA, Praha 1974, 04-403-74

[2] HÍREŠ, O. – HATALA, M. – HLOCH, S.: Delenie kovových materiálov okružnou pílou, vodným prúdom a plazmovým lúčom. Tlač: Jiří Pustina, Ostrava – Poruba 2007, ISBN 978-80-8073-769-6

[3] KARAFFA, Ľ.: *Analýza termických vplyvov pri výrobe ozubenia plazmou:* Písomná práca k dizertačnej skúške. FVT TU v Košiciach so sídlom v Prešove, Prešov 2009





[4] KŘÍŽ, R. – VÁVRA, P.: Strojírenská příručka. SCIENTIA , Praha 1996, ISBN 80-7183-024-0

[5] MAŠČENIK J.: *Príspevok k optimalizácii technológie výroby ozubenia*. Dizertačná práca. FVT TU v Košiciach so sídlom v Prešove, Prešov 2007

[6] MORAVEC, V.: Konstrukce strojů a zařízení II: Čelní ozubená kola. MANTANEX, Ostrava 2007, ISBN 80-7225-051-5

[7] PTÁČEK, L. a kol.: Náuka o materiálu I. CERM, Brno 2003, ISBN 80-7204-283-1
[8] PULC, V. – HRNČIAR, V. – GONDÁR, E.: Náuka o materiáli. STU v Bratislave, Bratislava 2004, ISBN 80-227-2098-4

[9] VASILKO, K. - KMEC, J.: Delenie materiálu. DATAPRESS, Prešov 2003, ISBN 80-7099-903-9

[10] ŠALAMOUN, Č. – SUCHÝ, M.: Čelní a šroubová soukolí s evolventním ozubením. SNTL, Praha 1990, ISBN 80-03-00532-9

## Kontaktná adresa

Ing. Ľubomír Karaffa Fakulta výrobných technológií TU v Košiciach so sídlom v Prešove, Katedra navrhovania technologických zariadení, Štúrova 31, 080 01 Prešov e-mail: lubomir.karaffa@tuke.sk

Ing. Vladimír Simkulet, PhD. Fakulta výrobných technológií TU v Košiciach so sídlom v Prešove, Katedra výrobných technológií, Štúrova 31, 080 01 Prešov e-mail: vladimir.simkulet@tuke.sk