

Drsnost' povrchu pri frézovaní nástrojom s rôznym sklonom hlavnej reznej hrany

Vladimír Šimna¹, Peter Pokorný¹, Ivan Buranský¹, Štefan Václav¹

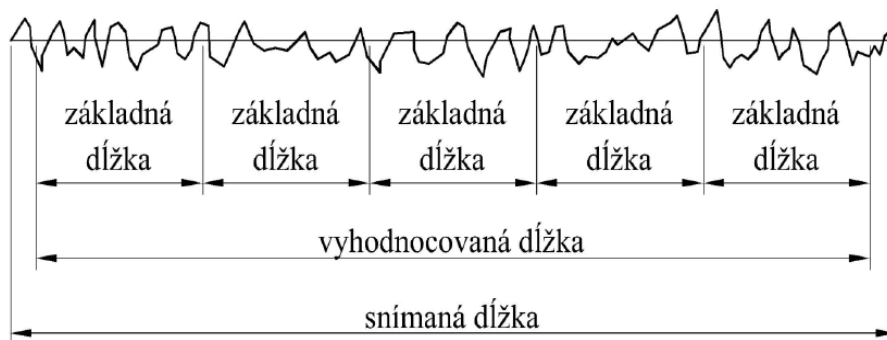
¹Slovenská technická univerzita, Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, Paulínska 16, 917 24, Trnava, Email: vladimir.simna@stuba.sk, peter.pokorny@stuba.sk, ivan.buransky@stuba.sk, stefan.vaclav@stuba.sk

Príspevok sa zaoberá problematikou merania strednej aritmetickej odchýlky povrchu pri frézovaní nástrojom s rôznym sklonom hlavnej reznej hrany. Na realizáciu daného problému bol vykonaný viacfaktorový experiment s cieľom nájsť vhodný uhol stúpania skrutkovice frézy pre dosiahnutie čo najlepšej kvality povrchu pri frézovaní hliníkovej zliatiny. Boli vyrobené nástroje s uhlami stúpania 10°, 20° a 30° z materiálu PCG GMBH F10 typ K. Ako obrábaný materiál bola zvolená hliníková zliatina EN 6082 a na meranie strednej aritmetickej odchýlky bol použitý prístroj Tylor-Hobson Surtronic 3+. Experiment prebiehal na 5-osovom vysokorýchlostnom obrábacom centre DMG HSC 105 Linear. Frézovacie nástroje boli vyrobené na 5-osej CNC brúske Reinecker WZS 60.

Kľúčové slová: Kvalita povrchu, sklon hlavnej reznej hrany, stredná aritmetická odchýlka

1 ÚVOD

Predpokladom k správnej funkcii výrobkov je optimálna kvalita povrchu súčiastok, ktorá ovplyvňuje pomery pri trení, opotrebení, únavovej pevnosti, čo má veľký vplyv na životnosť a tiež určuje vzhľad konštrukčných častí a súčiastok. Stav a kvalita povrchovej vrstvy sú dôležitými aspektmi, hlavne pre súčiastky, ktoré sú namáhané dynamicky, pretože sa začínajú porušovať od povrchu [6]. Pri meraní drsnosti sa používajú tri dĺžky: snímaná dĺžka, vyhodnocovaná dĺžka a základná dĺžka (obr. 1) [1]



Obr. 1 Zosnímaná, vyhodnocovaná a základná dĺžka [1]

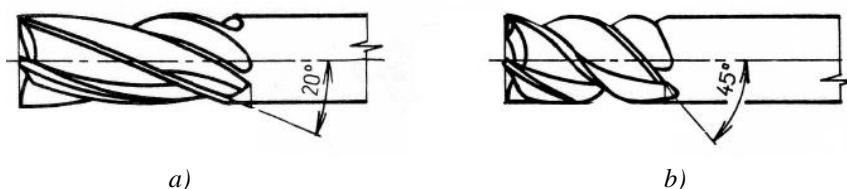
Fig. 2 The scanned, evaluated and a base length [1]

Snímaná dĺžka je celková dĺžka pohybu snímacieho dotyku po meraní povrchu. Pre výpočet parametrov drsnosti sa používajú údaje z vyhodnocovanej dĺžky, ktorá môže obsahovať niekoľko základných dĺžok (najčastejšie päť). Základná dĺžka l [mm] je dĺžka základnej čiary používaná na oddelenie nerovností charakterizujúcich drsnosť povrchu. Meria sa v hlavnom smere profilu. Vyhodnocovaná dĺžka l_n [mm] je dĺžka na ktorej sa vyhodnocujú hodnoty parametrov drsnosti povrchu a môže obsahovať jednu alebo niekoľko základných dĺžok [1].

Metódy vyhodnotenia drsnosti povrchu vzhľadom na určenie jej hodnoty, rozdeľujeme na:

- kvalitatívne a subjektívne porovnanie plôch so vzorovými povrchmi bez akéhokoľvek číselného merania – v praxi v dnešnej dobe prakticky nepoužívaná metóda, ktorej výsledky slúžia len ako približne informatívne,
- kvantitatívne určenie číselných hodnôt parametrov drsnosti povrchu podľa ich normalizovaných definícií. [2]

Všetky frézy, okrem fréz s priamymi zubmi, majú uhol stúpania skrutkovice zubov. Tento uhol môže byť buď pravý alebo ľavý. Pravý uhol stúpania znamená, že fréza odstráni triesku v stúpajúcom pohybe od obrobníka. Pri obrábaní má tendenciu zdvihnúť obrobník z upnutia, čo je typické pre viacero nástrojov. Pri ľavom uhle bude nástroj tlačíť triesku smerom k obrobníku výhodou pri ľavej skrutkovici je oveľa väčšia tuhosť nástroja pri rezaní, ale je potrebné zabezpečiť dobrý odvod triesky. Frézy s ľavotočivou spirálou sa používajú pri kruhovej interpolácii pri vŕtaní, pretože proces vŕtania je stabilnejší. Taktiež nemá sklon k zdvíhaniu obrobníka. Tieto frézy sa tiež delia na frézy s vysokým uhlom stúpania skrutkovice a s nízkym uhlom. Frézy s nízkym uhlom majú zvyčajne do 35° (obr. 2 a). Frézy s vysokým stupňom majú uhol nad 35° (obr. 2 b). Niektoré nástroje pre hrubovanie a dokončovanie používajú uhol stúpania skrutkovice 38°. Tým sa dá dosiahnuť vyvážených výhod dostatočne nízkeho uhla pre zníženie chvenia a dostatočného uhla pre dokončovacie operácie [3].



Obr. 2 Uhol stúpania skrutkovice[4]:

a) nízky stupeň stúpania skrutkovice, b) vysoký stupeň stúpania skrutkovice.

Fig. 2 Inclination of the cutting edge [4]:

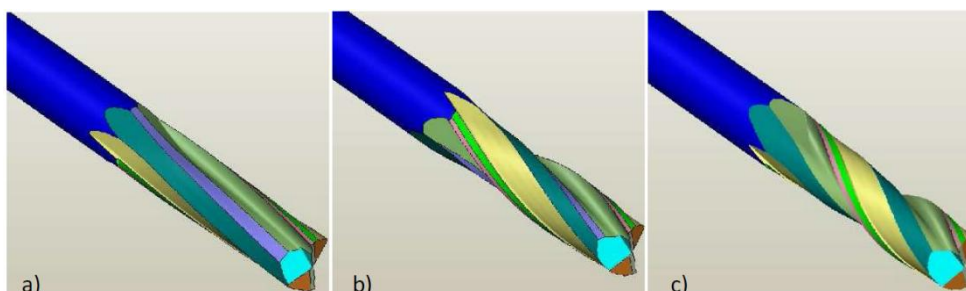
a) low inclination of the cutting edge, b) high inclination of the cutting edge

Neodmysliteľným rozdielom fréz s vysokým a nízkym uhlom stúpania skrutkovice je zosilnené stredové jadro stopkovej frézy. Vďaka silnejšiemu jadru sa zvyšuje tuhosť nástroja, vplyvom čoho sa eliminuje chvenie [5].

2 Príprava experimentálnej časti

Cieľom experimentálnej časti bude meranie strednej aritmetickej odchýlky povrchu pri rôznych uhloch stúpania skrutkovice. Toto meranie bude rozdelené do troch skupín, pričom každej skupine prislúcha jeden z troch rôznych uhlov stúpania skrutkovice. V každej zo skupín sa budú meniť dva faktory (x_1 , x_2), ktoré vplyvajú na hodnotu drsnosti R_a . Každému z týchto faktorov budú pridelené dve úrovne hodnôt. Vo výsledku to bude experiment typu 2^2 , čo znamená experiment o dvoch faktoroch s dvomi úrovňami, ktorý sa bude vyhodnocovať zvlášť pre každý z troch skupín. Výsledkom čoho budú tri lineárne funkcie vyjadrujúce vplyv jednotlivých faktorov.

V prvom kroku bolo potrebné navrhnuť jednotlivé uhly skrutkovice nástrojov. Podľa najčastejšie používaných uhlov z rôznych katalógov boli zvolené uhly stúpania skrutkovice 10° , 20° a 30° , priemer $D = 8$ mm, dĺžka reznej časti $l = 40$ mm atď. Všetky tieto parametre frézy boli navrhnuté v programe NUMROTOplus®, kde na obr. 3 je možné vidieť jednotlivé plochy rezných častí nástrojov.

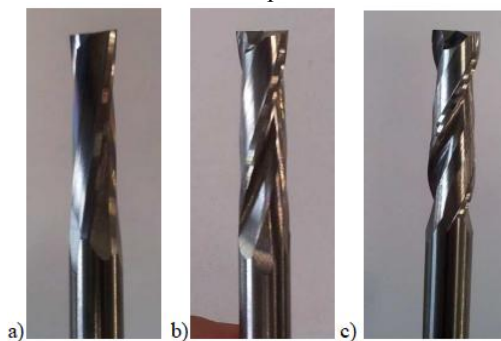


Obr. 3 Navrhnuté frézy v programe NUMROTOplus® s uhlom stúpania reznej hrany a) 10° , b) 20° , c) 30° .

Fig. 3 Proposed milling tools in NUMROTOplus® with cutting edge angles a) 10° , b) 20° , c) 30° .

Taktiež bolo potrebné vybrať materiál nástrojov, ktorým bol spekaný karbid PCG GMBH F10 typu K. Spekaný karbid typu K je vhodný pre obrábanie materiálov tvoriace krátku triesku, neželezné materiály a nekovové materiály. Tieto nástroje boli vybrúsené na 5 osovej nástrojovej brúske WZS 60 Reinecker.

Výsledkom boli valcové stopkové frézy s uhlami stúpania skrutkovice 10° , 20° a 30° . Tieto nástroje neboli vyleštené ani inak dokončované pre zníženie ich drsnosti povrchu, ani neboli iným spôsobom povrchovo upravené, či povlakované, čo by znížilo opotrebenie. Nástroje neboli ani rektifikované. Na meranie nástrojov bol použitý optický merací prístroj ZOLLER genius, kde sa okrem iných rozmerov meral aj uhol stúpania skrutkovice frézovacích nástrojov. Namerané odchýlky na skrutkoviči sa pohybovali rádovo v stotínach stupňa.



Obr. 4 Vybrúsené frézy s uhlom stúpania reznej hrany a) 10° , b) 20° , c) 30° .

Fig. 4 Milling tools made by grinding with cutting edge angles a) 10° , b) 20° , c) 30° .

Ako materiál bola zvolená hliníková zliatina EN 6082, ktorá je stredne tvrdá zliatina, s výbornou odolnosťou voči korózii. Taktiež je vhodná pre obrábanie s nástrojmi zo spekaných karbidov typu K, z ktorého je vyrobený nástroj pre experiment. Má najväčšiu tvrdosť zo série všetkých 6000 zliatin. Je známa ako štruktúrna zliatina. Veľké množstvo pridaného mangánu riadi štruktúru zrn, ktoré z nej robia tvrdšiu zliatinu. Prvým faktorom, ktorý priamo vplyva na drsnosť je posuv na zub. Druhým faktorom je rezná rýchlosť, ktorá nemá výrazný vplyv na teoretickú drsnosť ale ovplyvňuje proces rezania. V katalógoch pre stopkové valcové monolitné frézy zo spekaného karbidu sa nachádzali intervaly rezných rýchlostí pre hliník a jeho zliatiny od 300 m.min⁻¹ do 700 m.min⁻¹. Tieto rezné rýchlosti boli uvedené pre nástroje, ktoré boli rektifikované. Z dôvodu chýbajúcej rektifikácie rezných hrán vyrobených nástrojov, boli zvolené konzervatívnejšie hodnoty rezných rýchlostí $v_c = 200$ a 400 m.min⁻¹ a posuvov na zub $f_z = 0,05$ a $0,1$ mm. Z týchto hodnôt bolo potrebné vypočítať frekvenciu otáčania vretena a posuvové rýchlosti. Ďalej bola zvolená hĺbka rezu $a_p = 10$ mm a šírka záberu $a_e = 0,2$ mm. Na obrábanie bolo použité 5-osové vysokorýchlostné frézovacie centrum DMG HSC 105 Linear. Vyrobené nástroje boli upnuté pomocou tepelných upínačov. Na meranie drsnosti bol použitý drsnomer Surtronic 3+.

3 Realizácia experimentu

Realizácia experimentu bola uskutočnená v centre päťosového obrábania, na ústave výrobných technológií Materiálovotechnologickej fakulty. Rezné podmienky boli rozdelené do štyroch skupín podľa navrhnutého experimentu. Každou zo skupín bola obrábaná jedna strana vzorky:

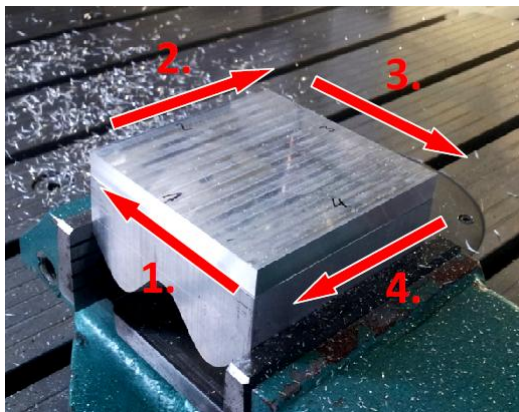
$$f_z = 0,05 \text{ mm}, v_c = 200 \text{ m.min}^{-1}$$

$$f_z = 0,1 \text{ mm}, v_c = 200 \text{ m.min}^{-1}$$

$$f_z = 0,05 \text{ mm}, v_c = 400 \text{ m.min}^{-1}$$

$$f_z = 0,1 \text{ mm}, v_c = 400 \text{ m.min}^{-1}$$

Vo všetkých prípadoch bolo použité súbežné frézovanie s použitím reznej kvapaliny.



Obr. 5 Vzorka použitá pri realizácii experimentu

Fig. 5 The experimental sample

Na Obr. 5 je možné vidieť obrobene plochy pre ktoré platia rovnaké rezné podmienky $f_z = 0,05$ mm, $v_c = 200$ m.min⁻¹. Na týchto plochách sa mení textúra povrchu vplyvom zmeny uhlov stúpania skrutkovice. Na prvej ploche je vidieť navzájom takmer rovnobežné stopy po nástroji, z čoho vyplýva, že kvalita povrchu nie je ideálna. Pri uhle $\lambda_s = 20^\circ$ nie sú vidieť stopy po nástroji a obrobenej povrch má takmer zrkadlový lesk.



Obr. 6 Obrobene plochy vzorky pri $v_c = 200$ m.min⁻¹, $f_z = 0,05$ mm: a) $\lambda_s = 10^\circ$, b) $\lambda_s = 20^\circ$, c) $\lambda_s = 30^\circ$

Fig. 6 Machined surfaces when $v_c = 200$ m.min⁻¹, $f_z = 0,05$ mm: a) $\lambda_s = 10^\circ$, b) $\lambda_s = 20^\circ$, c) $\lambda_s = 30^\circ$

Pri zvýšení posuvu na zub na hodnotu $f_z = 0,1$ (Obr.6) je možné vidieť podobnú textúru povrchu ako

v predchádzajúcom prípade. Pri uhle $\lambda_s=10^\circ$ vznikla pravidelne sa opakujúca sa textúra na ktorej je tiež možné vidieť nerovnosti povrchu. Pri uhle stúpania $\lambda_s=20^\circ$ nie sú vidieť stopy po nástroji a povrch vykazuje takmer zrkadlový lesk.



Obr. 7 Obrobené plochy vzorky pri $v_c = 200 \text{ m.min}^{-1}$, $f_z = 0,1 \text{ mm}$: a) $\lambda_s=10^\circ$, b) $\lambda_s=20^\circ$, c) $\lambda_s=30^\circ$
 Fig. 7 Machined surfaces when $v_c = 200 \text{ m.min}^{-1}$, $f_z = 0,1 \text{ mm}$: a) $\lambda_s=10^\circ$, b) $\lambda_s=20^\circ$, c) $\lambda_s=30^\circ$

Obdobnú textúru povrchu je možné pozorovať aj pri reznej rýchlosti $v_c = 400 \text{ m.min}^{-1}$ a $f_z = 0,05 \text{ mm}$.



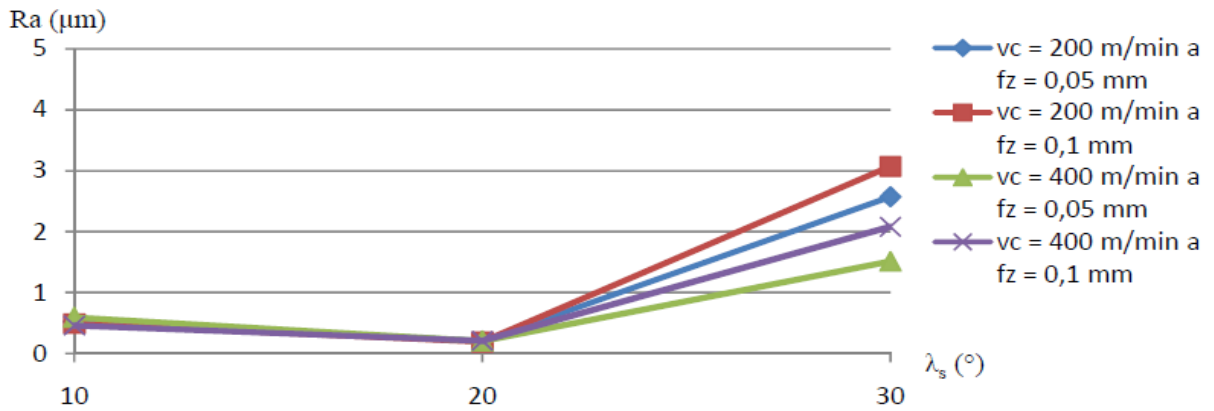
Obr. 8 Obrobené plochy vzorky pri $v_c = 400 \text{ m.min}^{-1}$, $f_z = 0,05 \text{ mm}$: a) $\lambda_s=10^\circ$, b) $\lambda_s=20^\circ$, c) $\lambda_s=30^\circ$
 Fig. 8 Machined surfaces when $v_c = 400 \text{ m.min}^{-1}$, $f_z = 0,05 \text{ mm}$: a) $\lambda_s=10^\circ$, b) $\lambda_s=20^\circ$, c) $\lambda_s=30^\circ$

Pri obrábaní poslednej skupiny plôch pri $v_c = 400 \text{ m.min}^{-1}$ a $f_z = 0,1 \text{ mm}$ sa výrazne prejavilo chvenie, kde okrem rovnobežných stôp po nástroji je možné vidieť aj stopy po nástroji vo vertikálnom smere. Tieto vertikálne stopy po nástroji sa nachádzajú aj na obrobenej ploche $\lambda_s=30^\circ$, okrem ktorých je možné vidieť aj oblúkovité stopy po nástroji v horizontálnom smere spôsobené chvením nástroja.

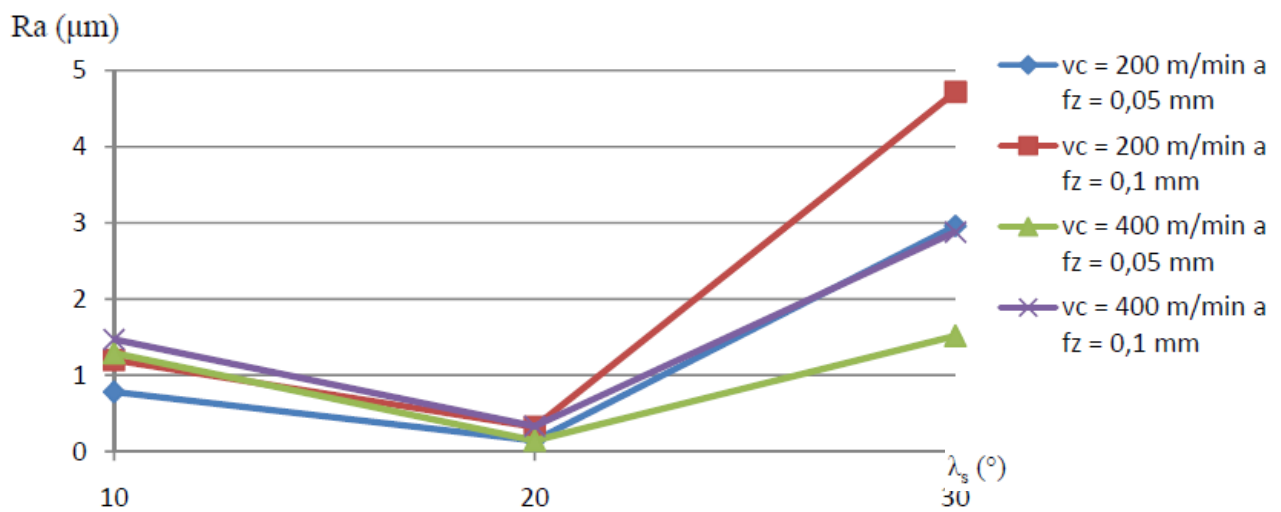


Obr. 9 Obrobené plochy vzorky pri $v_c = 400 \text{ m.min}^{-1}$, $f_z = 0,1 \text{ mm}$: a) $\lambda_s=10^\circ$, b) $\lambda_s=20^\circ$, c) $\lambda_s=30^\circ$
 Fig. 8 Machined surfaces when $v_c = 400 \text{ m.min}^{-1}$, $f_z = 0,1 \text{ mm}$: a) $\lambda_s=10^\circ$, b) $\lambda_s=20^\circ$, c) $\lambda_s=30^\circ$

Za účelom zvýšenia prehľadnosti získaných hodnôt boli namerané hodnoty strednej aritmetickej odchýlky obrobených povrchov z uvedených tabuliek spracované do grafov.



Obr. 10 Závislosť priečnej strednej aritmetickej odchýlky od uhla stúpania
Fig. 10 The dependence of cross arithmetic mean deviation from the angle of climb



Obr. 11 Závislosť pozdĺžnej strednej aritmetickej odchýlky od uhla stúpania
Fig. 11 The dependence of the longitudinal arithmetic mean deviation from the angle of climb

Priemerné hodnoty nameraných drsností sú uvedené v Tab.1.

Tab. 1 Priemerné hodnoty stredných aritmetických odchýliek
Tab. 1 Average values of arithmetic mean deviations

Ra pri $\lambda_s=10^\circ$		Faktor 2 Vc			
		200 m/min		400 m/min	
Faktor 1 fz		prieč na	po-zdĺžna	prieč na	po-zdĺžna
	0,05 mm	0,52	0,78	0,59	1,29
	0,1 mm	0,49	1,2	0,46	1,47
Ra pri $\lambda_s=20^\circ$		Faktor 2 Vc			
		200 m/min		400 m/min	
Faktor 1 fz		prieč na	po-zdĺžna	prieč na	po-zdĺžna
	0,05 mm	0,5	0,14	0,2	0,14
	0,1 mm	0,19	0,32	0,21	0,33

Ra pri $\lambda_s=30^\circ$		Faktor 2 Vc			
		200 m/min		400 m/min	
		prieč na	po- zdĺžna	prieč na	po- zdĺžna
Faktor 1 fz	0,05 mm	2,57	2,96	1,51	1,52
	0,1 mm	3,07	4,72	2,08	2,88

4 Záver

Z výsledkov merania je zrejmé, že najlepšia kvalita povrchu pri všetkých kombináciách zvolených parametrov je dosiahnutá pri fréze s uhlom stúpania skrutkovice reznej hrany $\lambda_s=20^\circ$. Nástroj s $\lambda_s=10^\circ$ má tiež prijateľnú drsnosť povrchu Ra avšak zvolené technologické parametre nie sú pre tento uhol ideálne, čo je zapríčinené zvýšeným chvením nástroja. Najhoršie hodnoty drsnosti Ra boli namerané pri nástroji s uhlom $\lambda_s=30^\circ$, kde pri niektorých technologických parametroch dosahovala hodnoty Ra až 8 μm . Bolo to spôsobené nevhodnými reznými parametrami frézovania pre danú kombináciu materiálu a uhlov stúpania skrutkovice frézy, pri ktorých dochádzalo k značnému chveniu nástroja. Toto chvenie bolo taktiež zreteľné aj na zvýšenej hlučnosti pri frézovaní.

Acknowledgment

The article was written within the project VEGA 1/0477/14. Research of influence of selected characteristics of machining process on achieved quality of machined surface and problem free assembly using high Technologies.

This article was written within the project of European Union Structural funds: „Centre of Excellence 5- axis machining”. , ITMS 26220120013.

Literatúra

- [1] STN EN ISO 4287. (1999). *Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Charakter povrchu: Profilová metóda - Termíny, definície a parametre charakteru povrchu.*
- [2] VOJTEK, R. (2009). *Prednáška kalibračného združenia odprednášaná pre 31. zhromaždenie kalibračného združenia Slovenskej republiky. Stará Turá: Hotel Lipa.*
- [3] FORD, M.A. (2010). *HelixAngle as related to End Mills.* [Cit. 2013-11-25]. Dostupné na internete: <<http://www.maford.com/%5Cpdf%5CEnd%20Mill%20Helix%20Angle%20tech%20040111.pdf>>
- [4] VAŇÁK, A. (2007). *Technologie frézování.* 2007. [Cit. 2013-11-24]. Dostupné na internete: http://www.sossou-spk.cz/stary_web/esf/TEC_fr.pdf
- [5] CSG TOOLS (204), *HI HELIX ANGLE ADVANTAGES.* [cit. 2013-10-15]. Dostupné na internete: <http://www.cgstool.com/TECH-SHEETS/hi-helix-angle.html>
- [6] NESLUŠAN, M., ČILÍKOVÁ, M. (2007). *Teória obrábania.* Žilina: Žilinská univerzita, ISBN: 978-80.8096.048.3

Abstract

Article: Surface roughness by milling with different cutting edge inclination angle

Authors: Vladimír Šimna
Peter Pokorný
Ivan Buranský
Štefan Václav

Workplace: Slovak University of Technology, Faculty of Material Science and Technology in Trnava, Paulínska 16, 917 24, Trnava

Keywords: Surface quality, inclination of the cutting edge, arithmetical mean deviation

The paper deals with the measurement of the arithmetical mean deviation of the surface during milling using a milling tool with a different inclination of the cutting edge. To realize the described problem a multifactor experiment was conducted to find a suitable angle of inclination of the helix cutters to achieve the best possible surface quality for milling of the aluminum alloy. Three milling tools were produced with angle of inclination 10° , 20° and 30° from PCG GMBH F10 type K material. Cemented carbide type K is suitable for machining materials forming short chips, non-ferrous metals and non-metallic materials. Diameter was $D = 8$ mm and cutting length $l = 40$ mm. All these parameters of milling cutters were designed in software NUMROTOplus. These milling tools were made on 5 axial tool grinding machine WZS 60 Reinecker. For measuring of milling tools was used optical measuring system Zoller genius. As the workpiece material was selected aluminum alloy EN 6082 and for measurement of the mean deviation of the arithmetic machine was used Tylor-Hobson Surtronic 3+. The experiment was conducted at 5-axis high-speed machining center DMG HSC 105 linear. The aim of the experimental part will be measurement of the arithmetical mean deviation of the surface at different angles of pitch of the helix. This measurement will be divided into three groups while each group belongs to one of three different pitch angles of the screw. In each of the groups shall be modified two factors (x_1 , x_2) that influence the R_a . The first factor that directly affects the roughness of the feed per tooth. The second factor is the cutting speed, which has no significant effect on the theoretical roughness but affects the cutting process. In catalogs for monolithic cylindrical shank cutters made of sintered carbide were intervals of cutting speed for aluminum and its alloys from $300 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ – $700 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. These cutting speeds are set for instruments, which have been rectified. Due to the lack of rectification cutting edges were selected conservative values of cutting speed.

