



Profil frézovaného povrchu pri zmene počtu zubov nástroja

Eva ČIRČOVÁ, Peter IŽOL

Katedra technológií a materiálov, Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach,
Mäsiarska 74, 040 01 Košice

Tel.: (+041 55) 6023527, E-mail: Eva.Circova@tuke.sk

Abstrakt: Predkladaný článok má experimentálny charakter. Pojednáva o stave drsnosti povrchu pri frézovaní materiálu s rozdielnou tvrdosťou. Stav povrchu bol sledovaný hodnotami R_a a R_z po frézovaní jednozubovou a viaczubovou frézov. Pri sledovaní stavu povrchu boli dosiahnuté namerané hodnoty drsnosti porovnávané s vypočítanými podľa uvádzaných vzťahov v literatúre. Okrem drsnosti povrchu bolo sledované utváranie triesky, tvary vznikajúcich triesok a stopy, ktoré zanecháva nástroj na vznikajúcom povrchu a vytvára drsnosť povrchu kopírovaním hrotu nástroja.

Kľúčové slová: frézovanie, drsnosť povrchu, tvar triesky, tvar povrchu.

Úvod

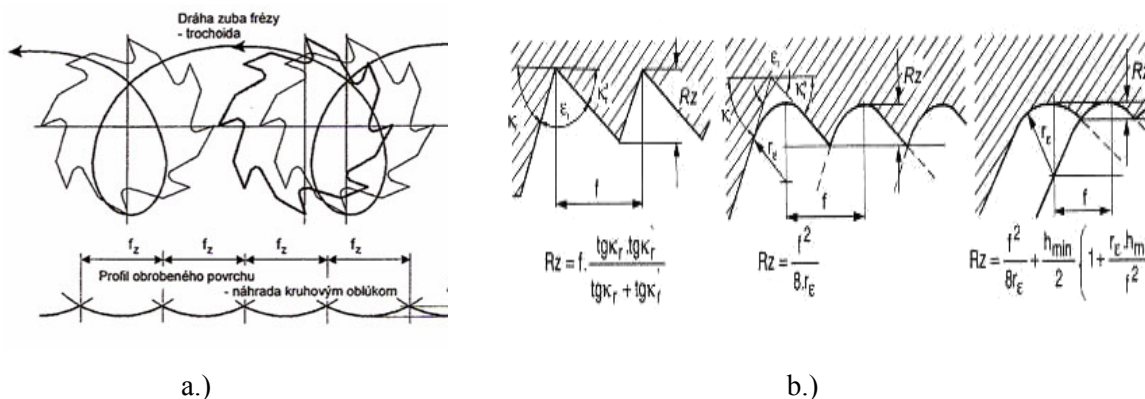
Tvorba povrchu pri rezaní závisí metódy obrábania. Na vlastnosti obrobeného povrchu vplýva obrábaný materiál, rezné podmienky, stupeň opotrebenia reznej hrany, statická a dynamická tuhosťou použitého stroja nástroja obrobku.

Súbor charakteristík, ktoré určujú stav obrobeného povrchu, jeho vlastnosti a funkčnosť, nazývame technologickou dedičnosťou. Ovplynvenie funkčných vlastností povrchu výrobnými metódami vyjadrujeme pojmom integrita povrchu. Tento pojem zahŕňa podmienky za ktorých bola obrobená plocha vytvorená a použité technologické metódy. Vlastnosti obrobenej plochy sú vo vzťahu s funkčnými požiadavkami kladenými na súčiastku. Povrch pri rezaní je vytváraný nástrojom, ktorý odovzdáva svoj tvar povrchu obrobku. Stav povrchu je najčastejšie sledovaný drsnosťou povrchu, stopami po prechode nástroja, vznikajúcimi trieskami a ostrapami, ktoré vznikali po prechode viac klinového nástroja na hranách obrobku [1].

Vznik povrchu pri rezaní

Obrobená plocha pri rezaní je vytvorená ako obalová plocha trajektórií pracovného pohybu reznej hrany nástroja a základných geometrických plôch obrobku. Obrobená plocha je charakterizovaná mikrogeometriou, ktorá má vplyv na jej mechanické vlastnosti. Predpísaná kvalita obrobenej plochy je tvorená teoretickou drsnosťou, ktorá zodpovedá vzájomným geometrickým a kinematickým pohybom nástroja a obrobku. Z geometrického hľadiska je obrobený povrch určený stopami hrotu rezného nástroja, ktorý sa pri obrábaní pohybuje po obrobku s definovaným polomerom zaoblenia hrotu nástroja r_e a dochádza k jeho kopírovaniu na obrobok – obr. 1a.

Ideálny profil obrobenej plochy je vytvorený prenosom tvaru hrotu nástroja alebo reznej hrany. Takýto povrch je zobrazovaný podľa zásad geometrickej podobnosti a odvodených matematických vzťahov [2]. Pre teoreticky najvyššiu výšku nerovnosti profilu R_m sú odvodené matematické vzťahy. Vypočítaná hodnota R_m je približná veličina a komplexný pohľad na profil obrobeného povrchu umožňuje meranie a topografické znázornenie vyrobeného povrchu.



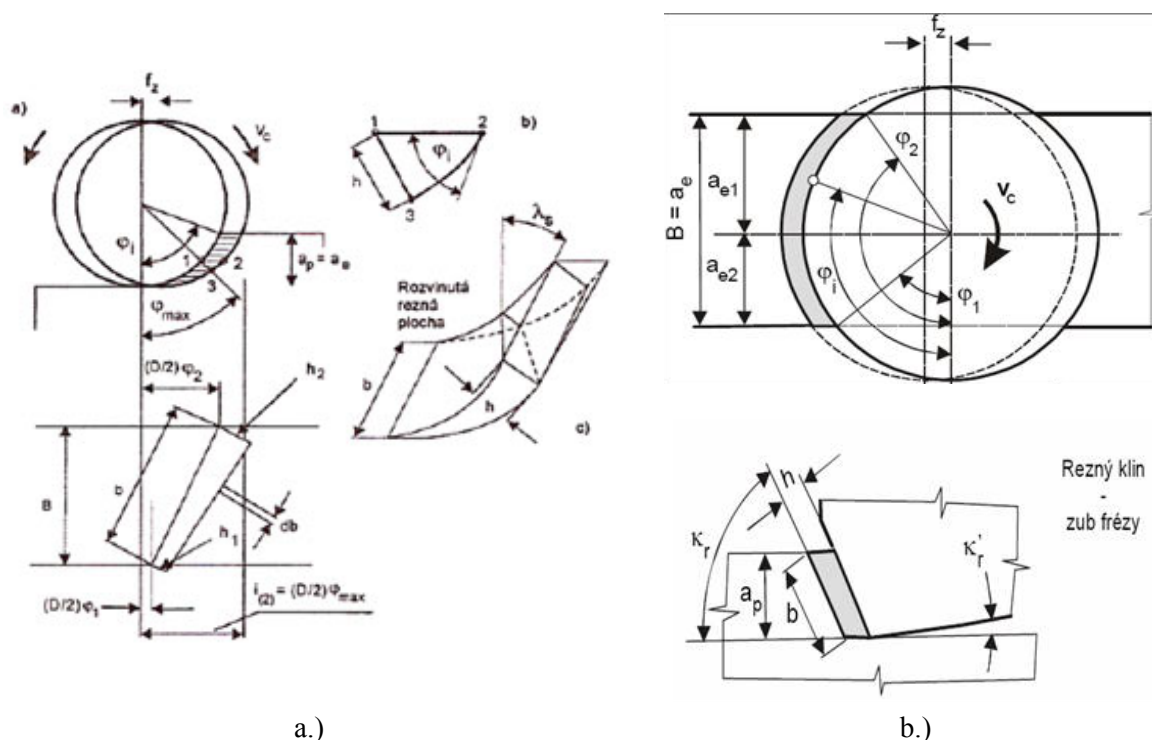
Obr. 1 Vznik povrchu pri rezaní nástrojom s definovanou geometriou [3]

Frézovanie je najrozšírenejšia metóda obrábania rovinných a tvarových plôch, ktoré patrí medzi flexibilné a vysoko výkonné metódy obrábania. Pri frézovaní používame viacklinové rezné nástroje, pričom každá rezná hrana odoberá iba určité množstvo obrábaného materiálu. Výsledná dráha hlavného a vedľajšieho pohybu rezného klna vzhľadom k obrobku je cykloida - obr.1b. Rezný proces je prerušovaný a prierez odrezávanej vrstvy pri frézovaní obvodom alebo čelom nástroja musí zohľadňovať špecifické podmienky dané širokou variabilitou operácií frézovania :

1. na reznej ploche obrobku je súčasne v zábere viac rezných klnov (zubov frézy),
2. dĺžka reznej hrany v zábere je premenlivá,
3. pri zábere reznej hrany je hrúbka odrezávanej vrstvy premenlivá.

Polohu zubov frézy vzhľadom k obrobku určujú záberové uhly φ_i , a φ_{max} . Hrúbka vrstvy (obr.2a), odrezávaná jedným zubom frézy, dáva rozvinutú skutočnú reznú plochu s dĺžkou $i_{(2)} = (D/2) \cdot \varphi_{max}$, ktorej veľkosť:

$$S_{(2)} = B \cdot i_{(2)} = B \cdot \frac{D}{2} \cdot \varphi_{max} \quad [\text{mm}] \quad (1)$$



Obr. 2. Prierez odrezávanej vrstvy pri frézovaní - a.) plocha rezu, - b.) čelné frézovanie

Uhol výstupu zuba frézy na obrábanej, resp. obrobenej ploche podľa spôsobu frézovania odpovedá :

$$\varphi_{\max} = \cos^{-1} \left(1 - \frac{2 \cdot a_p}{D} \right) \quad [^\circ] \quad (2)$$

Pri obrábaní viacklinovým nástrojom je obrobený povrch vytvorený sústavou stôp po jednotlivých rezných klinoch. Maximálna nerovnosť na obrobenej ploche R_z závisí na:

1. posuve rezného klina (obrobku), udávaného na jednu otáčku alebo na jeden zub nástroja [mm],
2. uhle nastavenia reznej hrany (κ_r , κ_r' , ψ_r),
3. polomere zaoblenia hrotu nástroja r_e [mm], priemere nástroja D [mm].

Pri frézovaní valcovou frézou je obrobený povrch vytváraný postupne každou reznou hranou a bod reznej hrany opisuje trochoidnú krivku - obr.1a. Časti trochoidy sú kopírované rezným klinom na obrobenú plochu, pre ktorú Martelotti odvodil pre maximálnu výšku nerovností vzťah:

$$R_m = \frac{f_z^2}{8 \cdot \left(\frac{D}{2} + \frac{f_z \cdot z}{\pi} \right)} \quad [\mu\text{m}] \quad (3)$$

čomu odpovedá:

$$R_m \approx \frac{f_z^2}{4 \cdot D} \quad [\mu\text{m}] \quad (4)$$

Pri posuve na otáčku frézy sú hodnoty R_m rozložené v tvare vlny s dĺžkou odpovedajúcou $f = f_z \cdot z$ [mm]. Profil povrchu vzniká prekrytím trochoíd a hodnota R_m určuje profil povrchu len v koncových bodoch vlny $f = f_z \cdot z$. Pri čelnom frézovaní je profil obrobenej plochy závislý na uhloch κ_r' a ψ_r podľa vzťahu

$$R_m = \frac{f_z}{\operatorname{tg} \psi_r + \cot g \kappa'_r} \quad [\mu\text{m}] \quad (5)$$

Ďalšími parametrami, ktoré ovplyvňujú profil obrobenej plochy pri frézovaní sú:

- sklon zubov frézy λ_s ,
- počet zubov frézy na rozvinutej reznej ploche,
- premenlivá hrúbka odrezávanej vrstvy $a_e = f(\varphi_i)$.

Čelne frézovaný povrch má náhodný profil a líši sa od predpokladaného pravidelného profilu povrchu. Príčinou je strhávanie nerovností profilu povrchu vplyvom oblasti primárnej plastickej deformácie pri podmienkach malých posuvov a vlastnou kinematikou úberu materiálu reznými hranami čelnej frézy.

Vybrané výsledky experimentálnych skúšok

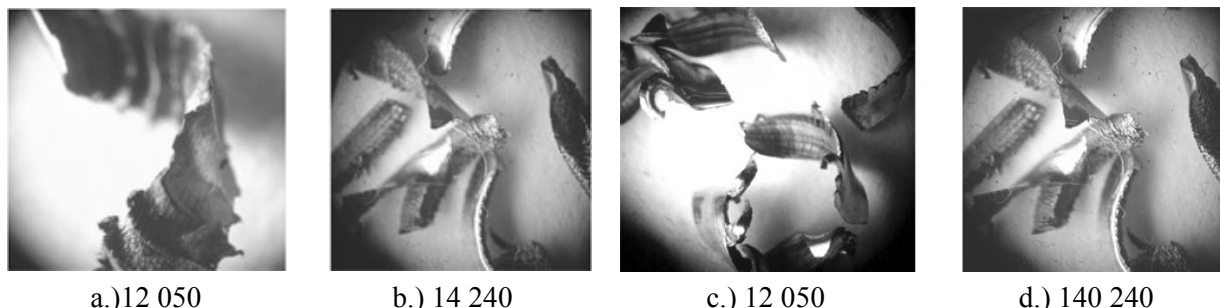
Experimentálne skúšky boli vykonané čelným frézovaním (obr. 2b) a bol sledovaný vplyv zmeny rezných podmienok a počtu zubov frézy na drsnosť povrchu, vznikajúcu triesku a vznikajúce ostrapy obrábaného materiálu 12 050.1 a 14 240. Boli použité nasledovné rezné podmienky :

- Rezná rýchlosť: $v_c = 80 \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}]$
- Hĺbka rezu: $a_p = 0,5 - 1,0 - 1,5 \text{ [mm]}$
- Posuv na zub: $f_z = 0,05 - 0,08 - 0,10 - 0,12 - 0,15 \text{ [mm]}$

Experimenty boli realizované na CNC frézovačke EMCO MILL 155. Použité boli nástroje firmy Korloy :

- AMS2010S $\varnothing 10$ - čelná valcová fréza s jednou vymeniteľnou platničkou.
- AMS2018S $\varnothing 18$ - čelná valcová fréza s dvoma vymeniteľnými platničkami.
- Vymeniteľné platničky APXT11T3 PDSRR-MM

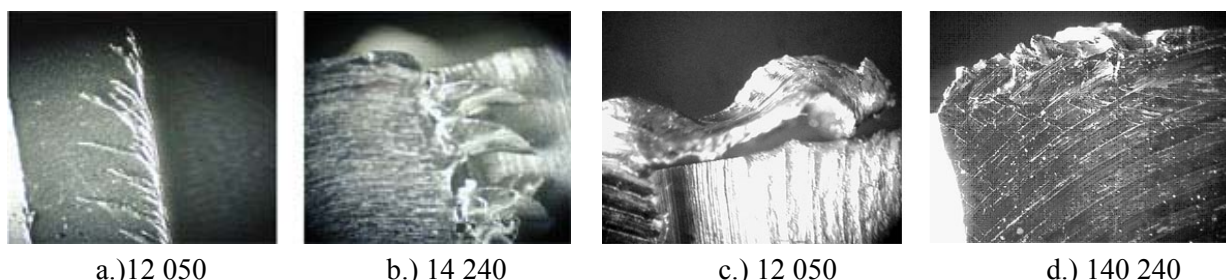
Tvar vznikajúcej triesky pri zmene rezných podmienok (obr.3a, b) odpovedá rezaniu jedným zubom frézy, jeho vníkaním a výstupom z obrábaného materiálu. Získané triesky podľa triednika EN ISO 3685 majú oblúkovitý, delený tvar. Jednotlivé časti triesky odpovedajú prerušovanému rezaniu. V odchádzajúcej trieske je výrazná plastická deformácia, ktorá vytvára jej člankovanie. Voľné časti triesky obsahujú zvyšky po roztečenom kove v tvare pravidelných rozstupov. Na obr. 3c, d sú triesky, získané pri rezaní dvojzubovou frézou.



Obr.3 Vznikajúce tvary triesok - a,b) jednozubová fréza - c,d) dvojzubová fréza

V procese rezania bolo zistené pravidelné vytrhávanie častíc obrábaného materiálu v tvare ostrapov (obr. 4), ktoré sú výrazné na hranách obrábaného materiálu a to najmä pri vychádzaní nástroja z obrábanej plochy. Tento jav môže byť spôsobený plasticťou

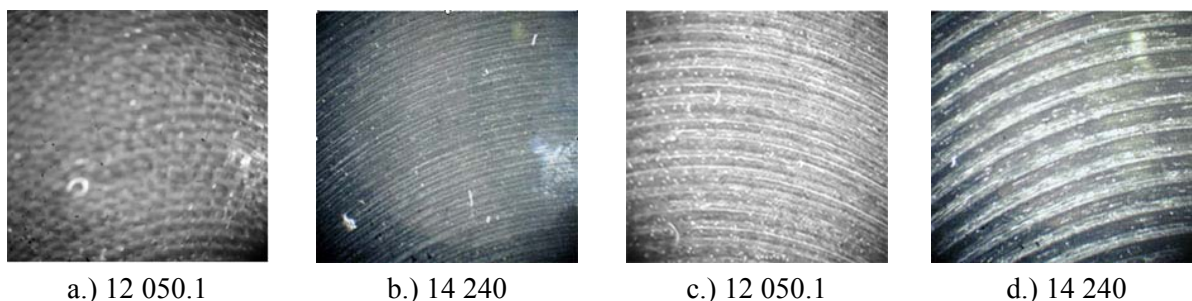
deformáciou a teplom, ktoré vzniká pri obrábaní. Porovnaním hrán obrobku, vznikajúcich pri frézovaní materiálu 12 050.1 a 14 240, sú ostrapy na hrane obrobku z ocele 12 050.1 jemnejšie oproti materiálu 14 240, čo môže byť spôsobené jeho vyššou plastickou deformáciou.



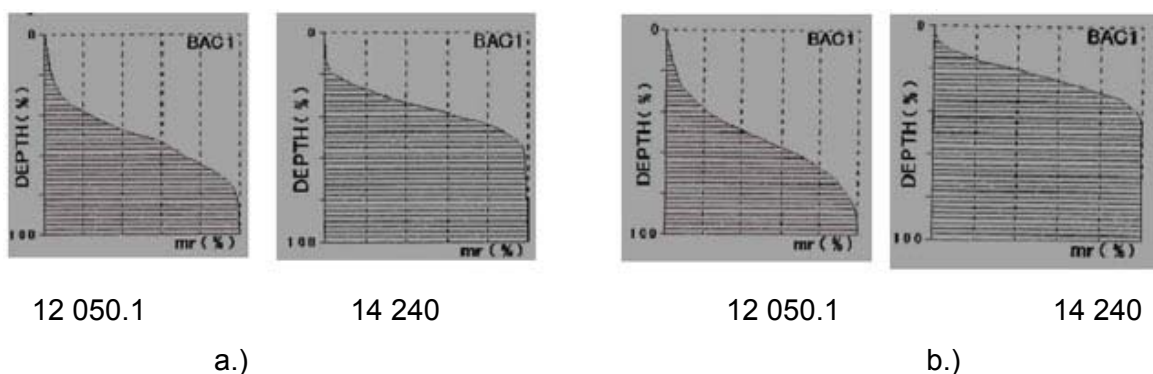
Obr.4 Vznikajúce ostrapy pri frézovaní materiálu 12 050.1, $a_c=1\text{mm}$, $f_z=0,1\text{ mm}$, $v_c=80\text{ m/min}$

Tvar povrchu obrábaného materiálu po frézovaní (obr.5) vykazuje výrazné stopy po zube nástroja a posuve na zub. Vplyv zmeny podmienok na skúšaných materiáloch je výrazný, najmä pri zmene rezných podmienok. Z nameraných hodnôt vyplýva, že zvyšovaním posuvu a hĺbky rezu sa menia stopy po rezných klinoch a tým aj drsnosť povrchu.

Materiálová krivka povrchu - Abbotova krivka - nám určuje štruktúru profilu povrchu. Z jej priebehu môžeme predpokladať ďalšie vlastnosti a správanie sa obrábaného materiálu napr. pri opotrebení dotkových plôch a pod. Pomalé klesanie krivky charakterizuje plný profil s malým množstvom prehĺbenín (obr.6) pre materiál 14 240. Tento povrch má dobré vlastnosti proti opotrebeniu. Strmo klesajúca krivka materiálu 12 050.1 poukazuje na praskliny na povrchu a tým aj na nepriaznivé vlastnosti opotrebenia.

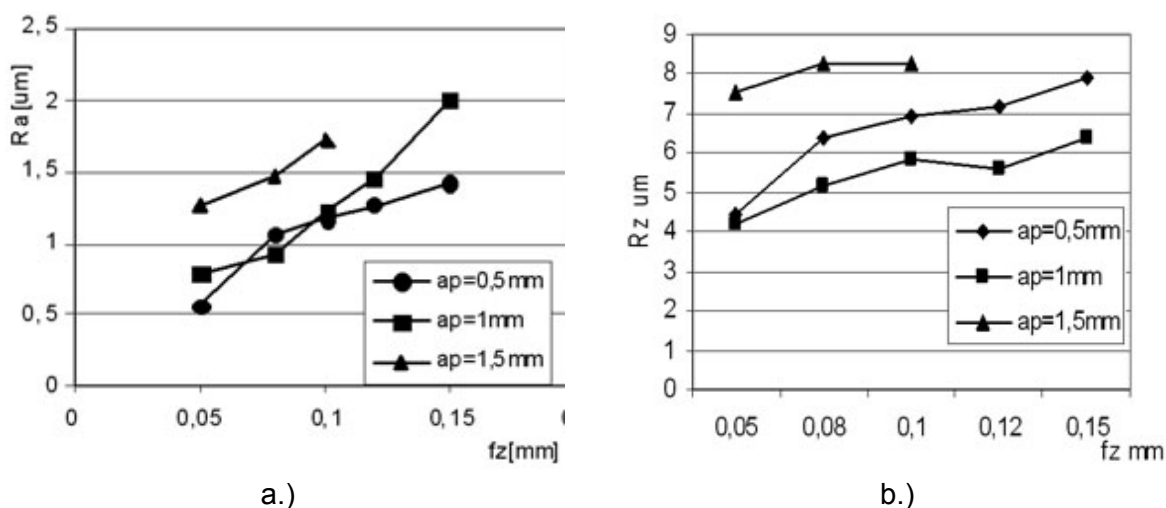


Obr. 5 Stopy po frézovaní pri zmene obrábaného materiálu a počtu rezných klinov – a.) b.) jednozubová fréza, c.) d.) dvozubová fréza



Obr. 6 Tvary Abbotovej krivky získané pri frézovaní ocelí, $v_c = 80\text{m.min}^{-1}$, a.) $a_p = 0,5\text{ mm}$, $f_z = 0,05\text{ mm}$, b.) $a_p = 1\text{ mm}$, $f_z = 0,05\text{ mm}$

Pre komplexné posúdenie kvality povrchovej vrstvy používame súhrn charakteristík, ktorými hodnotíme kvalitu povrchovej vrstvy vo vzťahu k jeho funkčným vlastnostiam a prevádzkovej spoľahlivosti. Okrem geometrického stavu obrobeného povrchu, označovaného ako topografické vlastnosti povrchovej vrstvy, ktorý je charakterizovaný makro a mikronerovnosťami, medzi typické charakteristiky integrity povrchu patrí zmena štruktúry povrchovej vrstvy, priebeh spevnenia, priebeh zvyškového napätia pod obrobeným povrchom a vady v povrchovej vrstve, ktoré sú dôsledkom pôsobiacej technológie.



Obr. 7. Porovnanie hodnôt drsnosti povrchu pre materiál 12 050.1 - a.) R_a - b.) R_z

Porovnávaná drsnosť povrchu sa pri zmene posuvovej rýchlosti a hĺbky rezu zväčšuje – obr. 7. Ak porovnáme materiál 12 050 a 14 240 z hľadiska počtu zubov ($z = 1$, $z = 2$), môžeme konštatovať, že rezaním frézou s dvoma zubami sa dosiahla vyššia kvalita povrchu ako pri rezaní s jedným zubom. Zo vzájomného porovnania materiálov 12 050.1 a 14 240 vyplýva, že pri rovnakých rezných podmienkach sa pri materiále 14 240 dosiahli vyššie hodnoty drsnosti pri hĺbke rezu $a_p = 1 \text{ mm}$. Merané hodnoty pri hĺbke rezu $a_p = 0,5 \text{ mm}$ sú nižšie ako pri 12 050.1, čo je pravdepodobne spôsobené zmenou plastických vlastností materiálu.

Záver

Experimentálne bolo dokázané, že zväčšovaním posuvu sa drsnosť obrábaného povrchu zväčšuje. Na drsnosť povrchu vyjadrenú hodnotami R_a a R_z má vplyv počet zubov frézy, pri väčšom počte zubov sa drsnosť povrchu zlepšuje. Z vypočítaných teoretických hodnôt drsnosti povrchu a hodnôt získaných meraním obrobeného povrchu vyplýva, že teoretické hodnoty sú len orientačné, pretože rozdiel medzi teoretickými a meranými hodnotami je veľmi výrazný, v niektorých prípadoch dosahuje až 40%.

Tento rozdiel vyplýva z toho, že pre výpočet teoretických hodnôt drsnosti sa používajú všeobecne platné vzorce, ktoré nezohľadňujú ostatné vplyvy procesu rezania ako sú: tuhosť stroja, nástroja a obrobku, trenie medzi nástrojom a obrobkom, opotrebenie nástroja, tvorenie nárustku, vplyv tepla vznikajúceho pri rezaní a pod.

Zo vzájomného porovnania výsledkov pri frézovaní materiálov 12 050.1 a 14 240 vyplýva, že pri rovnakých rezných podmienkach materiál 14 240 dáva vyššie hodnoty drsnosti povrchu ako materiál 12 050.1. Tento rozdiel hodnôt drsnosti materiálov pri



frézování vyplývá z toho, že se jedná o materiály s rozdielnym chemickým zložením, mechanickými vlastnosťami a tepelnou úpravou.

Zmena rezných podmienok má veľký vplyv na kvalitu opracovaného povrchu a preto treba zvoliť čo najvhodnejšie podmienky obrábania, aby sa dodržala predpísaná kvalita.

Výsledky práce boli dosiahnuté riešením grantového projektu VEGA 1/4159/07 „Počítačová podpora výroby tvarovo zložitých plôch na CNC strojov pre výskum, vývoj a overenie nástrojov a foriem na výrobu plastových automobilových dielcov“.

Literatúra

- [1] BEŇO, J. – MAŇKOVÁ, I.: *Technologické a materiálové činitele*. Košice: Viena, 2004, 418 s. ISBN 80-7099-701-X.
- [2] BEŇO, J.: *Teória rezania kovov*. Košice: Viena, 1999. 255 s. ISBN 80-7099-429-0
- [3] BÁTORA, B., VASILKO, K.: *Obrobené povrchy*, Trenčianska univerzita, Trenčín 2000. ISBN 80-88914-19-1.
- [4] VASILKO, K.: *Technológia zmeny rozmerov*. Prešov: COFIN, 2004, 315 s.

