

Problematika opotrebenia pri 5-osovom frézovaní

Doc. Ing. Peter Pokorný, PhD., Kubek Andrej, Ing. Slovenská technická univerzita,
Materiálovotechnologická fakulta, Trnava.

CNC frézovanie je v súčasnosti jednou z najrozšírenejších technológií obrábania tvarových plôch, pretože ponúka veľmi vysokú mieru efektívnosti. Táto efektívnosť je okrem iného závislá aj na opotrebovaní nástrojov pri obrábaní.

Tento článok sa zaoberá problematikou frézovania tvarových plôch prostredníctvom 5 – tich súvisle riadených osí CNC frézovačky. Je tu načrtnutá problematika opotrebovania nástrojov pri 5 – osovom frézovaní. V závere sú uvedené hlavné smery pokračovania výskumu v oblasti opotrebovania rezných nástrojov pri 5 – osovom frézovaní.

Kľúčové slová: opotrebovanie, 5-osové frézovanie

1. Úvod

CNC frézovanie je v dnešnej dobe jednou z najrozšírenejších technológií výroby FFS (free form surfaces) plôch, keďže zabezpečuje vysokú efektívnosť výroby a kvalitu obrobkov, ktorá je potrebná či už z hľadiska montáže alebo požiadaviek zákazníka. [6] Dnešné nároky na kvalitatívne a výrobné požiadavky tlačia do popredia 5-osové obrábacie centrá, ktoré majú dlhý rad výhod. Efektívnosť týchto systémov je závislá okrem iného aj na trvanlivosti rezných nástrojov.

Jedna cesta zvyšovania trvanlivosti nástrojov, je cesta metalurgie či zmenou technologických parametrov, no ja sa vyberiem menej rozoberanou cestou, cestou vplyvu stratégie frézovania na opotrebovanie nástroja. Pri 5-osových frézovacích strojoch sa pri dokončovacích spôsoboch obrábania využíva frézovanie s polguľovou frézou a práve táto nám ponúka možnosti ďalšieho skúmania vplyvu stratégie na opotrebovanie frézy.

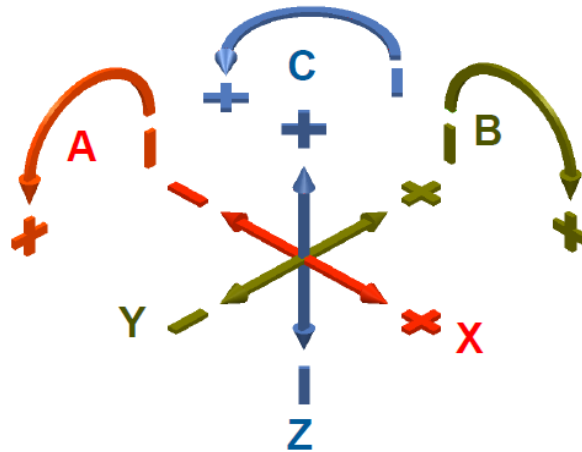
Pri frézovaní polguľovou frézou nastávajú určité špecifiká, ktoré významne ovplyvňujú trvanlivosť nástroja, konkrétne poloha dotykovej krivky nástroja.

2. Frézovanie

Frézovanie je flexibilná a vysokovýkonná metóda výroby rovinných, tvarových plôch a drážok. Predstavuje komplexný spôsob obrábania. Vyniká veľkou rozmanitosťou strojov, nástrojov a vyrobených dielcov. Je to metóda strojného obrábania nástrojmi s viacerými reznými hranami (zubami), pričom každá uberá určité množstvo materiálu. Hlavný pohyb je rotačný pohyb nástroja, vedľajší pohyb je priamočiary, kolmý alebo rovnobežný s osou vretena stroja a koná ho obrobok. Výsledná dráha týchto pohybov, t.j. dráha jedného rezného klína vzhľadom k obrobku je cykloida. Rezný proces je prerušovaný, každý rezný klin odrezáva triesku s priemernou hrúbkou. Podľa spôsobu záberu frézy (nástroja) do materiálu sa rozoznáva frézovanie obvodové a frézovanie čelné. Frézovanie obvodom sa používa pri práci s valcovými a tvarovými frézami. Zuby valcovej frézy sú len po obvode nástroja. Záber frézy vyjadrený záberovou veličinou a_e , je kolmý na os frézy a na smer posuvu v_f . Čelné frézovanie sa používa pri frézovaní frézovacími hlavami.

Pri štruktúrach frézovacích strojov budeme označením „D“ rozumieť smer (z angl. direction). Spolu s číslom dostávame označenie, v koľkých smeroch možno súvisle riadiť všetky osi stroja. Podľa toho, koľko osí CNC frézovacieho stroja môžeme súvisle riadiť je možné štruktúry týchto strojov rozdeliť na: 2-osové (2D), 3-osové (3D), 4-osové (4D) a 5-osové (5D) štruktúry.

Ak vychádzame z geometrie a uvažujeme ortogonálny súradnicový systém môžeme vo všeobecnosti riadiť maximálne osi X, Y, Z translačne v kladnom aj zápornom smere a rotačné pohyby okolo týchto osí sú označované písmenami A, B, C. Kladný zmysel otáčania týchto rotačných pohybov je zhodný so smerom a zmyslom posuvu pravotočivých skrutiek v kladných osiach X,Y,Z (Obr. 1). [1]

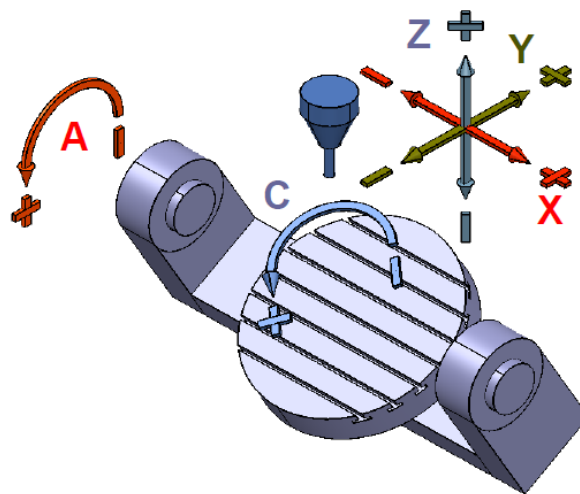


Obr. 1 Možnosti riadenia osí v ortogonálnom systéme.
 Fig. 1 Options of control in orthogonal axis system.

Ak ide o obrábanie, kde nezávisle riadime 3 a viac osí, môžeme ho nazvať obrábaním voľných tvarových plôch. Svojim používateľom nesporne prináša rad výhod, medzi ktoré patrí:

- redukcia strojového času komplexným obrobením súčiastky na jedno upnutie. Zvyšuje sa presnosť výroby vďaka eliminácii potenciálnych chýb pri nastavovaní stroja.
- vysoká kvalita dokončeného povrchu vďaka plynulému naklápaniu nástroja, ktorý tak neustále udržiava optimálny kontaktný bod s obrábanou plochou.
- možnosť ľahkého prístupu k negatívnym stenám alebo do hlbokých dutín pomocou naklonenia nástroja alebo súčiastky, ktoré tak umožní použitie kratších nástrojov než pri obrábaní v 3-och osiach.
- schopnosť komplexného obrobenia modelov, ktoré by inak museli byť odlievané. Táto možnosť je vysokým prínosom hlavne pri výrobe prototypov a malých sérií výrobkov.

V praxi sú najviac využívané práve 5-osové štruktúry CNC frézovacích strojov, pretože poskytujú najlepšie možnosti komplexného obrábania rôznych plôch. Päťosová štruktúra umožňuje súvislé riadenie troch súradnicových osí X,Y,Z a naklonenie nástroja okolo dvoch rotačných osí alebo namiesto natočenia nástroja je inštalovaný pomocný otočný stôl s dvoma rotačnými osami (Obr.2). Nástroj sa pohybuje medzi dvoma priestorovo definovanými bodmi. Tento spôsob riadenia nástroja umožňuje obrábanie otvorených priestorových útvarov z piatich strán objektu. 5-osové stratégie zahŕňajú napríklad obrábanie rotorov, turbínových lopatiek a motorov. [2]



Obr. 2 Príklad štruktúry 5-osovej frézovačky. [2]
 Fig. 2 Example of structure of 5-axis milling machine. [2]

3. Opatrebovanie nástrojov

Opatrebovanie vzniká vplyvom trenia odrezávanej triesky a plôch obrobku o nástroj. Mechanizmus opotrebenia je charakterizovaný otieraním drobných častí hraničných dotkových vrstiev a och odstraňovania vo forme produktov opotrebovania zo zóny rezania. [4] Opatrebovanie je strata pôvodného geometrického tvaru rezného klina a môže byť spojené aj so zmenou mechanických vlastností. Každé opotrebovanie sprevádzajú javy, zmeny rozmeru trecej dvojice a straty hmotnosti zaťaženého prvku trecej dvojice.

Pri 5-osovom frézovaní sa uplatňujú základné princípy opotrebenia nástroja tak ako pri ostatných druhoch obrábania. Moderná tribológia rozlišuje 4 základné mechanizmy opotrebovania podľa DIN 50 320: abráziu, adhéziu, únavu povrchu a tribochemickú reakciu.

Mechanizmus opotrebovania abráziou predstavuje prenos materiálu v trecej dvojici vyvolaný prítomnosťou "tvrdých častíc".

Mechanizmus opotrebovania adhéziou sa vyskytuje pri pohybe dvoch klzných plôch, ak pôsobením normálových síl nastáva deformácia v oblasti výšky nerovností. Dôsledkom je vytvorenie mikrozvarov (resp. mikronávarov), ktoré sú okamžite porušené pohybom medzi dvomi kontaktnými plochami.

Mechanizmus opotrebovania únavou povrchu pôsobí vždy s mechanizmom abrázie a adhézie. Únava povrchu pri trení je dôsledkom sekvenčného účinku pružnej a plastickej deformácie, spevnenia povrchu trecej dvojice sprevádzaného tvorbou a šírením únavových (mikro)trhlín na alebo pod zaťaženým povrchom.

Mechanizmus opotrebovania tribochemickú reakciu je spojený s javom záderu (ang. termín *the seizure*) medzi trecími plochami. Záderom sú vytvorené nové a súčasne chemicky čisté povrchy na oboch trecích plochách, po ktorom dochádza ku reakcii s prostredím. Reakcia chemicky čistého povrchu s prostredím vedie k tvorbe tzv. oxidických vrstiev. [5]

V konkrétnych podmienkach rezania nepôsobia vždy všetky mechanizmy opotrebovania rovnakou mierou. Mechanizmy opotrebovania v rôznych bodoch dotyku rezného klina a materiálu môžu byť rôzne. To, ktorý mechanizmus s akou mierou sa prejaví v danom bode, závisí okrem konkrétnych vlastností obrábaného a rezného materiálu, od prítomnosti rezného prostredia, od teploty povrchu rezného klina a od vzájomnej rýchlosti pohybu.

Medzi hlavné faktory, ktoré vplyvajú na veľkosť opotrebovania pri obrábaní sú:

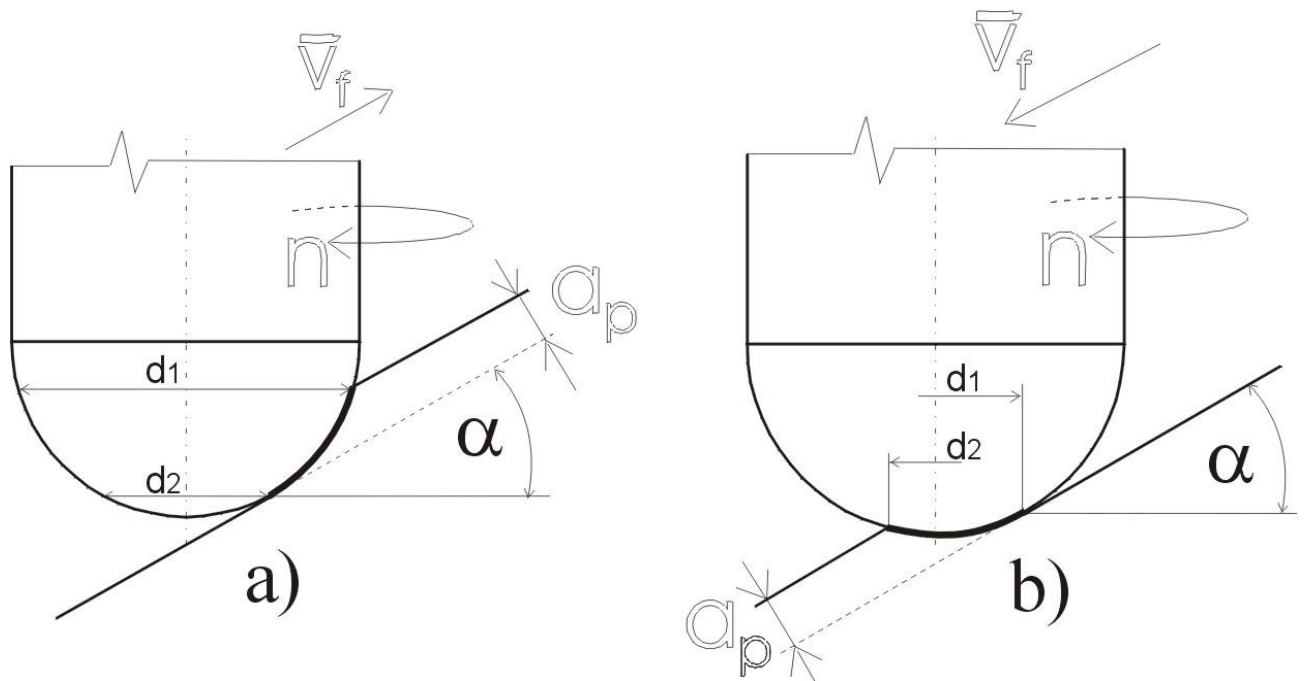
- Kombinácia materiálov nástroja a obrobku
- Technologické parametre obrábania
- Stabilita procesu obrábania
- **Stratégia frézovania**

3 Opatrebovanie nástroja v procese 5-osového frézovania

Špecifikum čo sa 5-osového frézovania a opotrebenia týka sú isté faktory, ktoré sa pri iných metódach obrábania nevyskytujú. Jedným z faktorov pri obrábaní na CNC frézovacích strojoch, ktorý nezanedbateľne vplyva na opotrebenie nástroja a ktorý sa často prehliada je voľba vhodnej stratégie frézovania a práve tomuto problému sa budem venovať v mojom ďalšom výskume.

3.1 Teória obrábania polguľovou frézou

Pri dokončovacích stratégiách tvarových plôch pri frézovaní sa najčastejšie využíva polguľová fréza. Avšak obrábanie týmto nástrojom so sebou prináša určité zvláštnosti vyplývajúce z tvaru samotného nástroja. Tvarové plochy je možné frézovať buď klesaním alebo stúpaním polguľovej frézy (Obr. 3).



Obr. 3 Spôsoby frézovania polguľovou frézou:
 a.) Stúpanie, b.) klesanie. [3]
 Fig. 3 Possibilities of machining with ball end cutter:
 a.) Rising, b.) decreasing. [3]

Sú známe tieto analýzy procesu frézovania polguľovoufrézou:

- rezná hrana v zábere – je tá časť reznej hrany, ktorá je spoločná medzi nástrojom a obrobkom. Je to časť reznej hrany, ktorá reže v danom momente obrábaný materiál.
- efektívny priemer frézovania – Efektívny priemer frézovania D_{ef} je priemer, ktorý zodpovedá efektívnej reznej rýchlosti. Je to najväčšia rezná rýchlosť frézovania.
- klasifikácia prípadov frézovania polguľovoufrézou.

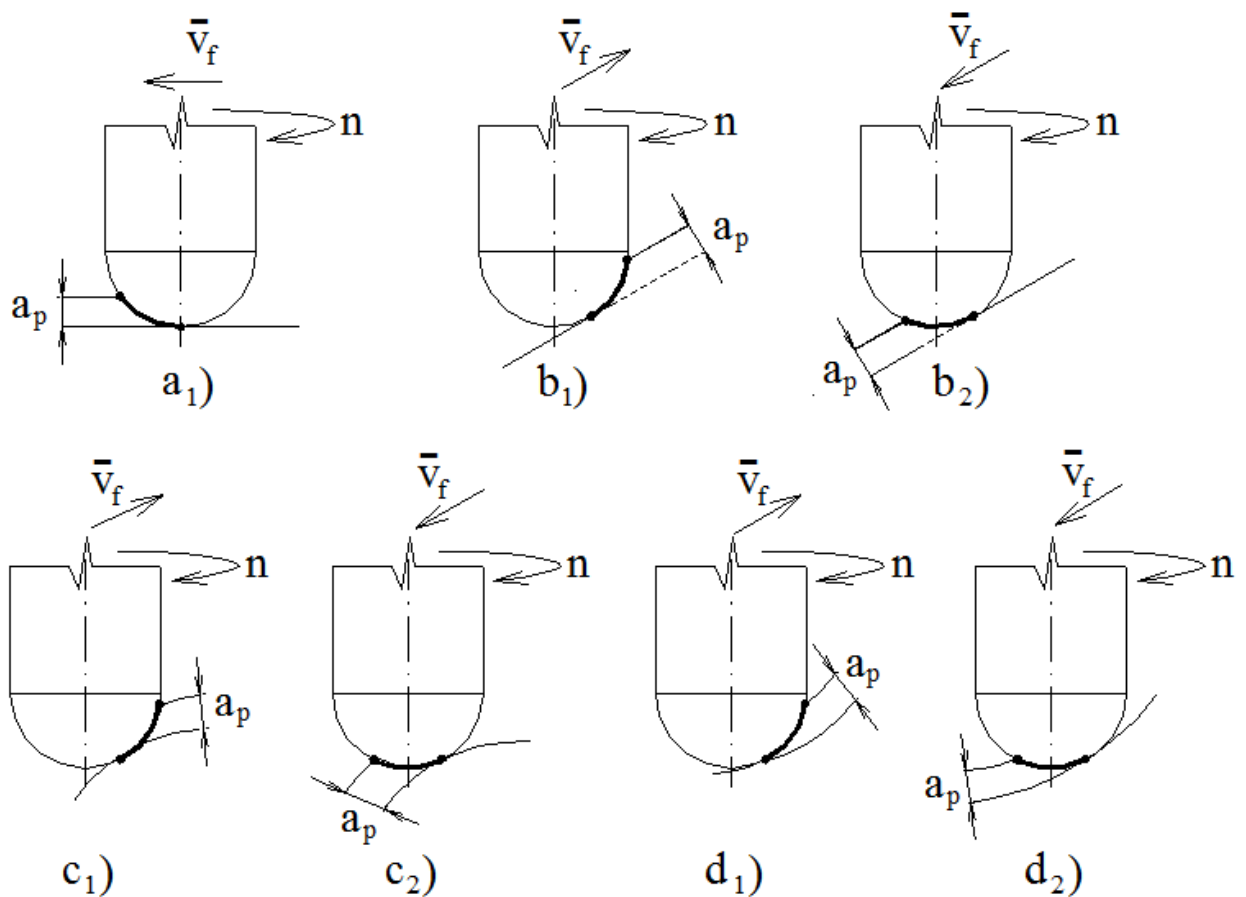
3.2 Rezná hrana v zábere

Keďže zo všetkých spomínaných analýz pri obrábaní polguľovou frézou najviac vplýva na opotrebenie nástroja práve rezná hrana v zábere, zanalyzujem tento problém trochu bližšie. Reznú hranu v zábere nazývame taktiež aj dotyková krivka. Umiestnenie dotykovej krivky je závislé od smeru posuvu frézy a mení sa aj pri rovnakej hodnote hĺbke rezu a_p (Obr. 4).

Prebiehajú na nej aktívne procesy, ako je opotrebenie, teplotné a deformačné javy atď. Umiestnenie dotykovej krivky v zábere pôsobí na veľkosť opotrebenia a trvanlivosť reznej hrany, na veľkosť aktuálneho prierezu odrezávanej vrstvy a tým aj na veľkosť a priebeh rezných síl.

Je možné definovať nasledovné zvláštnosti dotykovej krivky:

- umiestnenie dotykovej krivky v zábere sa pri frézovaní časti voľnej tvarovej plochy polguľovou frézou sa mení so zmenou smeru posuvu vľ aj pri konštantnej hĺbke rezu a_p ,
- pri stúpajúcom frézovaní je dotyková krivka umiestnená na jednej strane od osi otáčania frézy,
- pri klesajúcom frézovaní je dotyková krivka rozmiestnená okolo osi otáčania frézy na jednu a na druhú stranu, ale hlavne prechádza cez stred otáčania frézy. Tento bod vykazuje nulovú reznú rýchlosť, čo je nepriaznivý prípad, kedy element reznej hrany nereže. [3]



Obr. 4 Umiestnenie dotykovej krivky:

- a₁) frézovanie rovinatej plochy, b₁) frézovanie šikmej plochy – stúpanie,
 b₂) frézovanie šikmej plochy – klesanie, c₁) frézovanie konvexnej plochy – stúpanie,
 c₂) frézovanie konvexnej plochy – klesanie, d₁) frézovanie konkávnej plochy – stúpanie,
 d₂) frézovanie konkávnej plochy – klesanie. [3]

Fig. 4 Position of contact curve:

- a₁) milling flat surface, b₁) milling angle surface – rising,
 b₂) milling angle surface – decreasing, c₁) milling convex surface – rising,
 c₂) milling convex surface – decreasing, d₁) milling concave surface – rising,
 d₂) milling concave surface – decreasing. [3]

Pri frézovaní sa snažíme vyhnúť obrábaniu v osi frézy, teda v mieste, kde je nulová rezná rýchlosť a nástroj materiál nereže. Preto pri 5-osovom obrábaní sa tomuto snažíme vyhnúť naklopením nástroja a posunutím dotykovej krivky mimo osi nástroja. V ďalšom skúmaní objasníť vplyv polohy reznej hrany v zábere na veľkosť opotrebenia.

4 Záver:

V dnešnej dobe sa veľká pozornosť venuje odolnosti voči opotrebeniu z hľadiska nástrojových materiálov a technologických parametrov. V tomto príspevku je načrtnutý iný pohľad zvyšovania trvanlivosti nástrojov, a to z hľadiska voľby vhodnej stratégie frézovania, ktorá má určite nezanedbateľný význam.

Pri 5-osovej štruktúre frézovacieho stroja, máme veľa možností výberu stratégie frézovania a mojom ďalšom výskume sa budem venovať práve vhodnosti jednotlivých stratégií s dôrazom na opotrebovanie nástroja. Zameriam sa na vplyv umiestnenia reznej hrany v zábere a jej dôsledkov na trvanlivosť nástroja pri obrábaní voľných tvarových plôch.

Tento článok vznikol v rámci riešenia projektu VEGA 1/0130/08 – Skúmanie vplyvu CAM stratégií na dosahovanú presnosť rozmerov a drsnosť povrchu obrábaných plôch v podmienkach univerzitného Hi-tech laboratória.

- [1] IŽOL, Peter; FABIAN Michal. *CAD/CAM systémy v technologickom procese obrábania*. Košice : TU, 2006. 119 s. ISBN 80-8073-489-5.
- [2] POKORNÝ, Peter. *CNC frézovacie centrá a ich štruktúry*. In: Research papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology in Trnava Č. 25. s. 115--120. ISSN 1336-1589.
- [3] PETERKA, Jozef. *3D frézovanie kopírovacími frézami - rezný proces. Dotyková krivka medzi nástrojom a obrobkom, efektívny priemer frézovania*. In REŠETOVÁ, K. *CO-MAT-TECH 96 : 4. vedecká konferencia s medzinárodnou účasťou. Sekcia 1: materiálové inžinierstvo, strojárské výrobné technológie*. 1. vyd. Bratislava, Trnava: STU v Bratislave, 1996, s. 281--285. ISBN 80-2270901-8.
- [4] POPEOVÁ, Viera. *Monitorovanie opotrebenia rezných nástrojov*. EDIS Žilina, 2001, ISBN 80-7100-700-5
- [5] [online] <<http://www.mmspektrum.com/clanek/opotrebovanie-reznych-nastrojov>> [cit. 11.1.2011]
- [6] SENDERSKÁ K., *Prístupy a nástroje pre podporu hodnotenia konštrukcie výrobku z hľadiska montáže*. In: Transfer inovácií 9/2006. Košice : Inovačné centrum automobilovej výroby SjF TU v Košiciach, 2006. s. 214-215, ISBN 80-8073-701-0

Problems of wear in 5-axis milling

Doc. Ing. Peter Pokorný, PhD., Kubek Andrej, Ing. Slovak University of Technology, Faculty of Material Science and Technology in Trnava.

Keywords: tool wear, 5-axis milling

CNC milling is currently one of the most used technology of FFS (free form surfaces) machining, because it guarantees high effectiveness of production process and quality of workpieces. Current requirements on quality and production are pushing forward 5-axes machining centres, which have long range of advantages. Effectiveness of these systems is dependant, besides other things, on durability of tools. One way of enhancing tool durability is the metallurgy or by change of technological parameters. In my research I will be focusing on much less discussed topic which is possibility of lowering tool wear by choosing appropriate milling strategy. With 5-axes milling machines while considering finishing methods of machining we use milling with ball nose cutters and this particularly gives us options for further researching impact of choosing strategy of milling on wear of the tool.

In this article I describe wear of tools and teoretical aspects of milling with ball nose cutter.

