



SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
MATERIÁLOVOTECHNOLOGICKÁ FAKULTA SO SÍDLOM V TRNAVE

Ing. Boris Pätoprstý

Autoreferát dizertačnej práce

Úprava mikrogeometrie rezných hrán na prototype omieľacieho zariadenia

na získanie akademického titulu doktor (philosophiae doctor, PhD.)

v doktorandskom študijnom programe: Strojárske technológie a materiály

v študijnom odbore: 5.2.7 Strojárske technológie a materiály

Forma štúdia: denná

Miesto a dátum: Trnava, dňa 28.5.2022



Dizertačná práca bola vypracovaná na na Ústave výrobných technológií Materiálovotechnologickej fakulty so sídlom v Trnave Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.

Predkladateľ: Ing. Boris Pätoprstý
Ústav výrobných technológií
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, Slovenská
technická univerzita v Bratislave
Jána Bottu 2781/25
917 24 Trnava

Školiteľ: doc. Ing. Peter Pokorný, PhD.
Ústav výrobných technológií
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave Slovenská
technická univerzita v Bratislave
Jána Bottu 2781/25
917 24 Trnava

Oponenti:
.....
.....
.....
.....
.....

Autoreferát bol rozoslaný:

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa **o****h.**
na

.....

OBSAH

ÚVOD	4
1 TEORETICKÁ ANALÝZA V OBLASTI ÚPRAVY MIKROGEOMETRIE REZNÝCH HRÁN	5
2 STANOVENIE CIEĽOV DIZERTAČNEJ PRÁCE	8
3 NÁVRH A ZOSTROJENIE PROTOTYPU OMIEĽACIEHO ZARADENIA	9
4 NÁVRH EXPERIMENTOV	12
4.1 Výber geometrie a brúsenie monolitných karbidových fréz	12
4.2 Omieľanie rezných nástrojov	13
4.3 Meranie mikrogeometrie rezných nástrojov	13
5 VÝSLEDKY A DISKUSIA	15
5.1 Vplyv kinematickej štruktúry	15
5.2 Vplyv smeru otáčania nástroja	16
5.3 Vplyv uhlu sklonu nástroja	17
5.4 Vplyv frekvencie otáčania, hĺbky ponoru a procesného času	19
5.5 Rovnomernosť polomeru zaoblenia pozdĺž reznej hrany	22
5.6 Zhodnotenie	24
6 PRÍNOSY	26
Prínosy dizertačnej práce pre vedný odbor	26
Prínosy dizertačnej práce pre pedagogickú prax	26
Prínosy dizertačnej práce pre technickú prax	26
ZÁVER	27
ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV	28
ZOZNAM PUBLIKAČNEJ ČINNOSTI	30

ÚVOD

Úprava mikrogeometrie rezných hrán je vysoko aktuálna téma zvyšovania trvanlivosti rezných nástrojov. Existuje viacero možností ako zvýšiť trvanlivosť nástroja pri obrábaní. Predovšetkým je to voľba vhodného rezného materiálu, geometrie nástroja a rezných podmienok. Použitie materiálov ako sú rezná keramika, cermenty alebo veľmi tvrdé materiály je finančne veľmi náročné. Vhodnou úpravou mikrogeometrie reznej hrany, je možné dosiahnuť uspokojivé výsledky trvanlivosti aj pri obrábaní použitím spekaného karbidu. Úprava geometrie reznej hrany sa nevyužíva iba pri spekaných karbidoch, ale pri všetkých rezných materiáloch. Mikrogeometria reznej hrany sa zaoberá reznou hranou, jej tvarom, veľkosťou a tiež kvalitou povrchu. Vytvorením zaoblenia alebo zrazenia reznej hrany sa rezná hrana stáva pevnejšou, odolnejšou a odstraňujú sa defekty reznej hrany po brúsení, ako mikrotrhliny a vyštípenia. Úpravou mikrogeometrie reznej hrany tiež vzniká lepšia kvalita povrchu, ktorá je vhodnejšia z hľadiska priľnavosti a adhézie povlakov. Na úpravu mikrogeometrie reznej hrany sa využívajú viaceré metódy, ktoré je možné vo všeobecnosti rozdeliť na mechanické, termálne a chemické. Pri mechanických sa materiál z reznej hrany odoberá pomocou abrazívnych častíc obsiahnutých vo vhodnom médiu. Pri termálnych sa využíva tepelná energia a pri chemických je to chemická reakcia z rezným materiálom. Jednou z mechanických metód je aj omieľanie v abrazívnom médiu. Pri tejto metódy sa rezné nástroje pohybujú v abrazívnom médiu, ktoré obteká a naráža na povrch nástrojov, pričom vzniká zaoblenie reznej hrany. Pri použití vhodného abrazívneho média sa zlepšuje aj drsnosť povrchu celého nástroja. Proces nie je natoľko skúmaný, aby bolo možné na základe prieskumu literatúry povedať, ako parametre procesu vplývajú na mikrogeometriu reznej hrany a aké parametre je vhodné použiť na dosiahnutie požadovaného zaoblenia reznej hrany. Zaoblenie reznej hrany je definované okrem veľkosti aj tvarom, alebo symetrickosťou. Asymetrické zaoblenie je vhodnejšie z hľadiska rezných síl a pozitívne vplýva na trvanlivosť reznej hrany. Cieľom práce je experimentálne skúmať vplyv parametrov procesu na mikrogeometriu reznej hrany. Tiež zistiť, či je možné a akým spôsobom je možné vytvárať asymetrické zaoblenia rotačných nástrojov. Všetky experimenty budú vykonávané na prototypovom zariadení, ktorého návrh a výroba je súčasťou práce.

1 TEORETICKÁ ANALÝZA V OBLASTI ÚPRAVY MIKROGEOMETRIE REZNÝCH HRÁN

Podstata procesu rezania materiálov je obtekanie rezného materiálu obrábaným materiálom prostredníctvom plastickej deformácie. Materiál je odrezávaný vo forme triesky pomocou reznej hrany (Vasilko 2007). Počas rezania sa rezná hrana opotrebovávajú, pričom vo všeobecnosti poznáme mechanické opotrebovanie a tepelné opotrebovanie (Hoier 2017). Na opotrebovanie vplyva mnoho faktorov, v prvom rade je to samotný tvar a materiál rezného nástroja, obrábaný materiál, rezné podmienky, rezné prostredie, chvenie v procese rezania, tuhosť sústavy SNOF atď. Okrem tvaru rezného nástroja, resp. geometrie rezného nástroja poznáme aj mikrogeometriu rezného nástroja.

Rezná hrana pred úpravou mikrogeometrie reznej hrany sa nazýva ako ostrá, avšak brúsením nie je možné dosiahnuť dokonale ostrú hranu. Úprava mikrogeometrie reznej hrany má niekoľko výrazných efektov na reznú hranu a rezný nástroj ako taký. Prvým efektom využívania úpravy mikrogeometrie reznej hrany je odstránenie vyštiepenia reznej hrany po brúsení a taktiež odstránenie ostrapov po spekaní (v prípade spekaných rezných materiálov) (Denkena 2009). Zlepšuje sa integrita povrchu a stopy po brúsení je možné vhodným spôsobom odstrániť a docieľiť zlepšenie drsnosti povrchu rezných nástrojov. Toto všetko zlepšuje stabilitu reznej hrany a tým zvyšuje výkon rezných nástrojov pri obrábaní. Ďalší výrazný faktor je vytvorenie vhodného tvaru reznej hrany, čo má za následok znižovanie možnosti vyštiepenia reznej hrany a tiež vzniku trhlín na reznej hrane. V neposlednom rade je úprava mikrogeometrie vhodná pri povlakovaní nástrojov z dôvodu zvýšenia adhézie povlaku na nástroj, čo spôsobujú práve predchádzajúce spomenuté dôsledky úpravy reznej hrany. Úpravu reznej hrany je možné použiť pred povlakovaním, po povlakovaní a tiež na nástroje, ktoré budú používané bez povlakovania (Denkena 2014). Rezná hrana po úprave mikrogeometrie môže mať viaceré tvary. Rezná hrana môže byť zaoblená, zrazená alebo môže byť tvorená kombináciou týchto dvoch tvarov.

Na úpravu mikrogeometrie rezných hrán sa používajú viaceré metódy ako napríklad: kefovanie, omieľanie, mikrotryskanie, laserový lúč atď. Metódy je možné rozdeliť na základe energie použitej na úber materiálu na mechanické, termálne a chemické. Podstata mechanických metód je v odoberaní materiálu pôsobením abrazívnych častíc. Tieto častice sú prenášané vhodným médiom. Ako médium môže byť vzduch, tekutina, vlákno atď. Výsledne zaoblenie alebo zrazenie reznej hrany je docieľené rýchlosťou procesu a dobou trvania pôsobenia abrazívnych častí na reznú hranu. Termálne metódy sú založené na pôsobení

termálnej energie, ktorá má vysokú intenzitu a tým nastáva tavenie alebo odparovanie materiálu z reznej hrany. Termálna energia môže byť vo forme laserového lúča, plazmového lúča, alebo vplyvom elektroerózie. Chemická reakcia alebo elektrochemická reakcia sú základom pre chemické metódy úpravy mikrogeometrie rezných hrán (Fulemová 2015).

Jednou z metód úpravy mikrogeometrie reznej hrany je omieľanie rezných nástrojov. Výhodou tejto metódy je, že je možné upravovať aj komplexné tvarovo zložené nástroje a aj nástroje veľmi malých rozmerov. Pri tejto metóde dochádza k ovplyvneniu celého povrchu rezného nástroja, tým je možné napríklad okrem zlepšenia drsnosti reznej hrany zlepšiť aj drsnosť na čelnej ploche alebo drsnosť zubovej medzery, čo má za následok lepšiu odvod triesky. Pri omieľaní sú rezné nástroje vložené do nádoby, v ktorej je voľne umiestnené abrazívne médium, ktoré môže pozostávať z rôznych materiálov. Na väčšine zariadení pohyb nástroja vykonáva planétová prevodovka. Držiaky nástrojov sú umiestnené na satelitoch planétovej prevodovky. Rotáciou prevodovky potom dochádza k pohybu nástrojov v abrazívnom médiu. Abrazívne média narážajú a trú sa o rezný nástroj a teda aj reznú hranu a tým dochádza k úberu materiálu z reznej hrany. Množstvo odobraného materiálu je ovplyvnené použitím abrazívneho média, materiálom rezného nástroja, rýchlosťou rotácie nástrojov v abrazívnom médiu, hĺbkou ponoru nástrojov v abrazívnom médiu a samozrejme dĺžkou trvania procesu (Denkena² 2014).

Je možné dohľadať množstvo publikácií, ktoré potvrdzujú účinnosť tejto metódy a jej pozitívny vplyv na trvanlivosť rezných nástrojov. Autori Priarone a kol. porovnávali trvanlivosť rezných nástrojov, ktorých mikrogeometria bola upravená omieľaním a neupravené rezné nástroje. Zistili, že úpravou mikrogeometrie reznej hrany omieľaním došlo k zvýšeniu trvanlivosti o 75% (Priarone 2012). Podobný výskum robili aj Uhlmann a kol. ktorí porovnávali nástroje omieľané rôznym druhom abrazívneho média. Výsledky boli podobné a zistili, že úpravou mikrogeometrie je možné zvýšiť trvanlivosť reznej hrany, pričom najlepšie výsledky dosahovala rezná hrana, ktorá mala najnižšiu drsnosť (Uhlmann 2014). Autori Bordin a kol. zistili že omieľaním vrtákov je možné zlepšiť drsnosť povrchu vrtaného otvoru (Bordin 2014).

Spomínané publikácie hovoria o tom, že úprava mikrogeometrie reznej hrany zlepšuje trvanlivosť reznej hrany a tým aký polomer zaoblenia reznej hrany bol najvhodnejší pri obrábaní konkrétnych materiálov. Nehovoria však o tom, že je možné polomer zaoblenia dosiahnuť, resp. ako parametre procesu omieľania vplyvajú na polomer zaoblenia reznej hrany rezného nástroja. Väčšina publikácií sa zaoberá vplyvom abrazívneho média. Omieľania

vychádza z podstaty brúsenia a teda platia pre neho všetky zákonitosti ako pre brúsenie z hľadiska materiálu a veľkosti zrna abrazívneho média. V publikácií autorov Uhlmann-a a kol. sa porovnávali rôzne druhy abrazívneho média z hľadiska materiálu, pričom potvrdili že rôznym materiálom abrazívneho média je možné dosiahnuť rôznu drsnosť povrchu reznej hrany (Uhlmann 2014). Princíp úberu materiálu z reznej hrany je ovplyvnený použitím rôzneho abrazívneho média, jeho tvrdosťou a veľkosťou zrna (Lv 2022)

Okrem abrazívneho média na proces omieľania pôsobia aj parametre omieľania ako frekvencia otáčania, procesný čas, hĺbka ponoru, smer otáčania, sklon nástroja a kinematická štruktúra. Je jasné že zvyšovaním procesného času a frekvencie otáčania sa bude zväčšovať polomer zaoblenia. Tak isto je možné dohľadať, že hĺbka ponoru má vplyv na veľkosť polomeru zaoblenia reznej hrany (Hronek 2017). Nie je však úplne známe ako vplýva kombinácia týchto parametrov a ktoré parametre majú najväčší vplyv.

2 STANOVENIE CIEĽOV DIZERTAČNEJ PRÁCE

Na základe teoretickej analýzy v oblasti úpravy mikrogeometrie reznej hrany je možné konštatovať, že úpravou mikrogeometrie reznej hrany je možné pozitívne ovplyvniť trvanlivosť rezných nástrojov. Vytvorením zaoblenia alebo zrazenia reznej hrany sa odstraňujú defekty, nedostatky a trhliny na reznej hrane, čo zvyšuje pevnosť a odolnosť reznej hrany. Zväčšovať polomer nie je možné do nekonečna, pretože príliš veľký polomer zaoblenia reznej hrany negatívne vplyva na rezné sily, teplo vznikajúce v procese rezania atď. Neexistuje žiadna publikácia, ktorá by hovorila o ideálnom polomere zaoblenia reznej hrany pre všetky obrábané materiály. Jednou z možností ako eliminovať negatívny vplyv príliš veľkého zaoblenia reznej hrany je vytvorenie asymetrického zaoblenia. Vytvoriť na nástroji asymetrické zaoblenie, nie je možné každou metódou úpravy mikrogeometrie a je pomerne obtiažne nájsť vhodné parametre na vytvorenie požadovaného asymetrického zaoblenia. Síce existuje množstvo publikácií, ktoré sa zaoberajú vplyvom mikrogeometrie na samotný proces obrábania materiálov, ale len malé množstvo publikácií sa zaoberá ako je možné požadovanú mikrogeometriu získať. Omieľanie je jednou z metód, ktorá nie je predurčená na vytváranie asymetrického zaoblenia reznej hrany. Zmenou kinematiky a upnutia nástrojov pri omieľaní predpokladáme, že je možné asymetrické zaoblenia reznej hrany dosiahnuť.

V práci je stanovených šesť hlavných cieľov, ktoré na seba navzájom nadväzujú. Výsledok by malo byť poznanie procesu omieľania natoľko, že bude možné povedať ako jednotlivé parametre procesu omieľania vplyvajú na vybrané charakteristiky reznej hrany a aké parametre je vhodné používať pri omieľaní vybranej monolitnej karbidovej frézy.

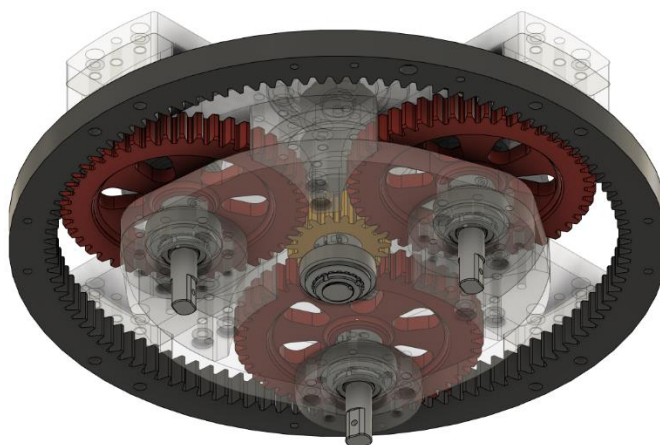
- 1. Návrh a výroba prototypu omieľacieho zariadenia*
- 2. Zistiť vplyv kinematickej štruktúry na polomer zaoblenia reznej hrany*
- 3. Zistiť vplyv smeru otáčania nástroja a uhlu sklonu nástroja v abrazívnom médiu na polomer zaoblenia reznej hrany a symetrickosť reznej hrany (K – faktor)*
- 4. Zistiť vplyv rýchlosti rotácie, hĺbku ponoru a procesného času na polomer zaoblenia reznej hrany a symetrickosť reznej hrany (K – faktor) a štatisticky tento vplyv vyhodnotiť*
- 5. Zistiť ako vplyvajú vybrané parametre na rovnomernosť polomeru zaoblenia pozdĺž reznej hrany*

3 NÁVRH A ZOSTROJENIE PROTOTYPU OMIEĽACIEHO ZARIADENIA

Na splnenie cieľov a overenia vyslovených predpokladov je nutné navrhnuť zariadenie na omieľanie. V nadväznosti na zariadení vykonať experimenty, aby bolo možné vyhodnotiť vplyv parametrov omieľania na veľkosť polomeru reznej hrany a symetrickosť reznej hrany.

V rámci dizertačnej práce bol navrhnutý prototyp zariadenia pre omieľanie nástrojov, ktorý bol na pôde Materiálovotechnologickej fakulty skonštruovaný a vyrobený. Návrh zariadenia bol jedným z cieľov projektov APVV-16-0057 a VEGA 1/0097/17, na ktorom pracoval kolektív riešiteľov. Preto aj návrh zariadenia bol tímovou prácou niekoľkých riešiteľov týchto projektov. Z konštrukčného hľadiska je možné zariadenie rozdeliť na mechanickú časť a elektrickú časť. Mechanická časť pozostáva z viacerých hlavných častí. Nosného rámu, ktorý je tvorený z hliníkových montážnych profilov. Planétovej prevodovky, ktorá zabezpečuje pohyb nástrojov v abrazívnom médiu. Držiakov nástrojov, ktoré sú vo viacerých vyhotoveniach, podľa požadovanej kinematickej štruktúry. Mechanizmu pohybu planétovej prevodovky vo vertikálnom smere a nádoby na abrazívne médiu spolu s komponentami, ktoré sú potrebné pre umožnenie vibrácie nádoby. Do elektrickej časti sú zahrnuté elektromotory, istenie stroja a riadenie.

Rám zariadenia je skonštruovaný z hliníkových montážnych profilov prierezu 40×40 a 80×80 mm. Na najviac namáhaných miestach je spevnený oceľovými zvaranými konštrukciami, ktoré sú priskrutkované na rám pomocou T – matíc a skrutiek.



Obrázok 1 Ozubenie planétovej prevodovky

Najzložitejšou a najdôležitejšou časťou je planétová prevodovka, ktorá je špeciálne navrhnutá pre prototyp zariadenia. Pozostáva z ozubeného korunového koleša, troch ozubených kolies tvoriacich satelity prevodovky a jedného ozubeného koleša tvoriaceho

centrále koleso. Návrh prevodovky prebiehal v softvéri MITcalc. Vzájomnú polohu satelitných ozubených kolies a centrálného kolesa zabezpečujú dva unášače, ktoré sú spojené pomocou vymedzovacích komponentov. Prenos síl medzi ozubenými kolesami je umožnený pomocou kuželíkových ložísk, ktorých vôľu je možné nastavovať pomocou KM matice a MB podložky. Kuželíkové ložiská boli použité preto, že ich je možné namáhať v radiálnom aj axiálnom smere.

Kryty prevodovky pozostávajú z troch častí. Vrchná časť je pevne priskrutkovaná k opornému krížu a je nepohyblivá. Stredná časť plní funkciu dosadacej plochy pre tesnenie vo forme V –krúžku. Styčná plocha pre V – krúžok sa nachádza na poslednom spodnom kryte, ktorý je priskrutkovaný pomocou podložiek k spodnému unášaču. Táto časť krytu pri používaní prevodovky rotuje spolu s prevodovkou. Na uchytenie nástrojov boli vyrobené držiaky, ktoré sú vo viacerých vyhotoveniach. Držiak nástrojov určuje či sa jedná dvoj alebo trojosovú kinematickú štruktúru. Pri trojosovej kinematickej štruktúre dochádza okrem rotácie prevodovky, držiakov nástrojov aj k rotácií samotného rezného nástroja, čo je práve zabezpečené držiakom nástrojov.

Pohyb planétovej prevodovky zo vertikálnom smere zabezpečuje guľôčková skrutka spolu s vodiacimi tyčami kruhového prierezu. Otáčaním guľôčkovej skrutky okolo vlastnej osi dochádza k pohybu konštrukcií po vodiacich tyčiach vo vertikálnom smere. Abrazívne médium je voľne vložené do nádoby z koróziivzdornej ocele. Nádoba sa prichytáva na konštrukciu ku ktorej je priskrutkovaný vibračný motor. Použitím vibračného motora dochádza k pomalej rotácií abrazívneho média okolo osi nádoby a kmitaniu abrazívnych zrn.

Okrem vyššie spomenutých mechanických častí, zariadenie pozostáva z mnoho iných nemenej dôležitých súčiastok. Elektrická časť stroja pozostáva okrem elektromotorov a snímačov z riadenia stroja, istenia a napájania. Riadenie stroja je zabezpečené PLC modulom a HMI zobrazovačom. Všetky prvky, ktoré sú ovládané alebo spínané sú pripojené do PLC modulu. Tento modul je potom ovládaný pomocou HMI zobrazovača, ktorý je umiestnený v prednej časti stroja. Medzi ďalšie časti stroja patria aj krycie plechy stroja. Krycie plechy boli navrhnuté v CAD softvéri Autodesk Fusion 360. Tento softvér bol použitý pre modelovanie celého stroja. Po vyrezaní týchto plechov sa tieto plechy ohýbali na ohraňovacom lise. Povrchová úprava plechov bola formou práškovej farby. Krycie plechy sú zo všetkých 4 strán stroja, pričom v prednej časti sa nachádzajú dvere, tvorené s hliníkových profilov. Medzi profilmí je vložená priehľadná polykarbonátová doska. Dvere sú dodatočne

spevnené plechovým rámom. Okrem vonkajších krycích plechov sa krycie plechy nachádzajú aj vo vnútornom priestore, aby bol oddelený priestor v ktorom je nádoba a prebieha tu samotný proces omieľania od ostatných častí. Systém zdvihu planétovej prevodovky je oddelený od priestoru kde prebieha omieľanie pomocou krycieho vaku.



Obrázok 2 3D model zostavy celého zariadenia

4 NÁVRH EXPERIMENTOV

Kapitola hovorí o tom, akým spôsobom sa postupovalo pri návrhu experimentov a aké metódy a nástroje sa používali pri experimentoch.

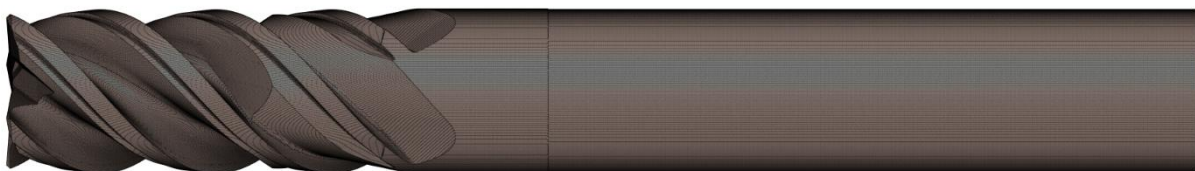
4.1 Výber geometrie a brúsenie monolitných karbidových fréz

Na vykonanie experimentov omieľania je najprv potrebné mať rezné nástroje, ktoré sa budú omieľať. Prvým krokom bol výber rezného nástroja, jeho geometrie a rezného materiálu. Ako rezný nástroj bola zvolená monolitná fréza, ktorá je určená na obrábanie koróziivzdorných ocelí. Táto geometria nástroja bola zvolená na základe toho, že koróziivzdorná oceľ AISI 316L patrí medzi ťažkoobrobiteľné materiály, kde sa predpokladá, že polomer zaoblenia reznej hrany bude mať výrazný vplyv na trvanlivosť reznej hrany.

Tabuľka 1 Geometria monolitnej karbidovej frézy

Parameter	Hodnota
Priemer frézy	9,98 mm
Priemer jadra	5,6 mm
Uhol stúpania skrutkovice [λ]	48°
Uhol chrbta na skrutkovici [α_1]	12°
Šírka fazetky na skrutkovici	1,7 mm
Uhol čela skrutkovici [γ]	15,5°
Uhol chrbta na čele nástroja [α_1]	8,5 mm
Uhol chrbta na čele nástroja [α_2]	17 mm
Šírka fazetky na čele	0,8 mm
Uhol čela na čele nástroja [γ]	0°

Ako rezný materiál bol použitý spekaný karbid od výrobcu CERATIZIT s označením CTS20D. Jeho chemické zloženie pozostáva z karbidu volfrámu spolu s 10% kobaltu, takže sa zaraduje medzi jednozložkové spekané karbidy. Podľa klasifikácie ISO patrí do skupiny K20 – K40. Tvrdosť toho spekaného karbidu je na úrovni 1600 HV. Z polotovarov zo spekaného karbidu, boli pomocou nástrojárskej brúsky Reincker WZS 60 vybrúsené nástroje. Geometria týchto nástrojov je uvedená v tabuľke 1.



Obrázok 3 3D model vybranej monolitnej karbidovej frézy

4.2 Omieľanie rezných nástrojov

Omieľanie rezných nástrojov prebiehalo na prototypy omieľacieho zariadenia, ktorého návrh a zostrojenie bolo jedným z cieľom tejto dizertačnej práce. Návrh a zostrojenie zariadenia je podrobne popísaný v kapitole 3. Pri omieľaní bol sledovaný vplyv všetkých parametrov omieľania, ktoré je možné na tomto zariadení nastaviť. Pri všetkých experimentoch bol použitý rovnaký rezný nástroj a rovnaké abrazívne médium. Technologické parametre, ktorých vplyv sa sledoval boli frekvencia otáčania, hĺbka ponoru a procesný čas. Rozsah frekvencií otáčania rotora planétovej prevodovky je $32 - 96 \text{ min}^{-1}$, rozsah frekvencií otáčania držiaka nástrojov je $77 - 231 \text{ min}^{-1}$ a rozsah frekvencií otáčania samotného nástroja je rovnaký ako v prípade držiaku nástrojov. Samotný nástroj rotuje pri omieľaní rovnakou frekvenciou otáčania ako držiak nástrojov. Frekvencia otáčania držiaka nástrojov je 2,4 väčšia ako frekvencia otáčania rotora prevodovky. Okrem technologických parametrov sa sledoval vplyv použitého držiaka nástrojov, ktorý určuje či sa jedná o dvoj alebo trojosovú kinematickú štruktúru. Sledoval sa tiež vplyv smeru otáčania a sklonu nástroja v abrazívnom médium, pretože rotačný držiak umožňuje sklon nástroj pod uhlom až 45° . Posledný parameter, ktorý sa sledoval bolo použitie vibrácií pri omieľaní. Vibračný motor, ktorý generoval vibrácie má frekvenciu vibrácií 50 Hz. Amplitúda vibrácií vibračného motora je 0,8 mm.

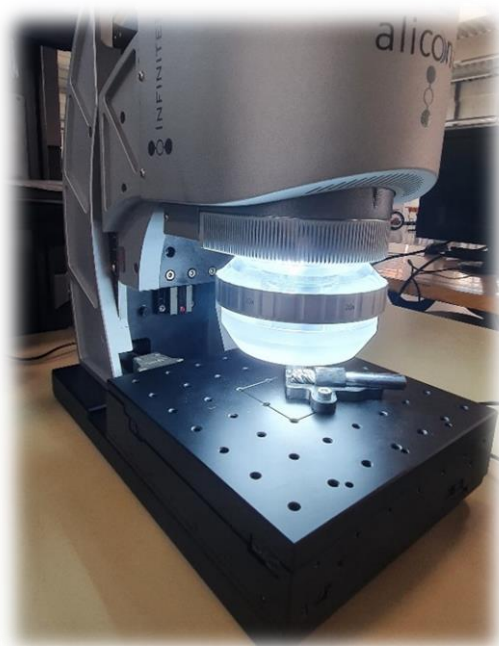
Pri omieľaní bolo použité abrazívne médium od výrobcu OTEC s označením QZ 1 – 3 W. Toto abrazívne médium pozostáva z oxidu hlinitého Al_2O_3 s priemernou hrúbkou častíc 1 – 3 mm. Výrobca tohto média označuje, že je použiteľné pre dosiahnutie polomeru zaoblenia r_n nad $30 \mu\text{m}$.

4.3 Meranie mikrogeometrie rezných nástrojov

Meranie mikrogeometrie monolitných karbidových fréz prebiehalo na optickom 3D meracom zariadení Alicona InfiniteFocusSL. Alicona InfiniteFocusSL je zariadenie schopné merať tvar aj integritu povrchu mikro-štrukturovaných plôch. Zariadenie obsahuje aj softvérový modul EdgeMaster, ktorý slúži na meranie mikrogeometrie rezných nástrojov.

Nástroje boli pred každým meraním čistené v ultrazvukovej čističke s označením Elmasonic P. Čistenie prebiehalo z dôvodu aby boli odstránené zvyšky oleja, ktoré sa na nástroje dostali počas brúsenia a zvyšky abrazívnych častíc. Ako čistiaci prostriedok bol použitý 99,9 % Isopropylalkohol.

Aby bola zabezpečená rovnaká poloha nástroja bol použitý prípravok, ktorý bol navrhnutý špeciálne na monolitné karbidové frézy, ktoré boli merané v tejto dizertačnej práci.



Obrázok 4 Meranie rezných hrán na zariadení Alicona

Pre potreby merania bol vytvorený referenčný typ merania. Boli zadané potrebné informácie o reznom nástroji. Na meranie bol vybraný objektív s 20 násobným zväčšením, pri ktorom je meracia vzdialenosť 16 mm, vertikálne rozlíšenie 50 nm a maximálna meraná oblasť 2500 mm². Minimálny polomer zaoblenia reznej hrany r_n pri tomto objektíve je 3 μm . Pri meraní bol naskenovaný úsek reznej hrany rozdelený na 50 rezov a v každom jednom reze zariadenie vypočítalo všetky zadané charakteristiky reznej hrany. Výsledný polomer zaoblenia reznej hrany r_n softvér vypočíta na základe algoritmu ktorý nepoznáme zo všetkých 50 rezov. Jednou z dôležitých nastavení merania je osvetlenie meraného objektu, v tomto prípade rezného nástroja. Na základe testovania bolo zvolené vhodné osvetlenie. Po správnom nastavení referenčného typu merania bol tento typ použitý pri všetkých meraniach rezných nástrojov pred aj po omieľaní.

5 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Kapitola hovorí o výsledkoch jednotlivých experimentov na prototype omieľacieho zariadenia navrhnutého a zostrojeného na pôde Materiálovotechnologickej fakulty. Pri experimentoch bol sledovaný vplyv jednotlivých parametrov procesu omieľania na vybrané charakteristiky reznej hrany, ktoré sú veľkosť polomeru zaoblenia reznej hrany, variačné rozpätie polomeru zaoblenia jednotlivých rezných hrán jedného nástroja, symetrickosť reznej hrany (K - faktor) a rovnomernosť zaoblenia reznej hrany pozdĺž reznej časti.

5.1 Vplyv kinematickej štruktúry

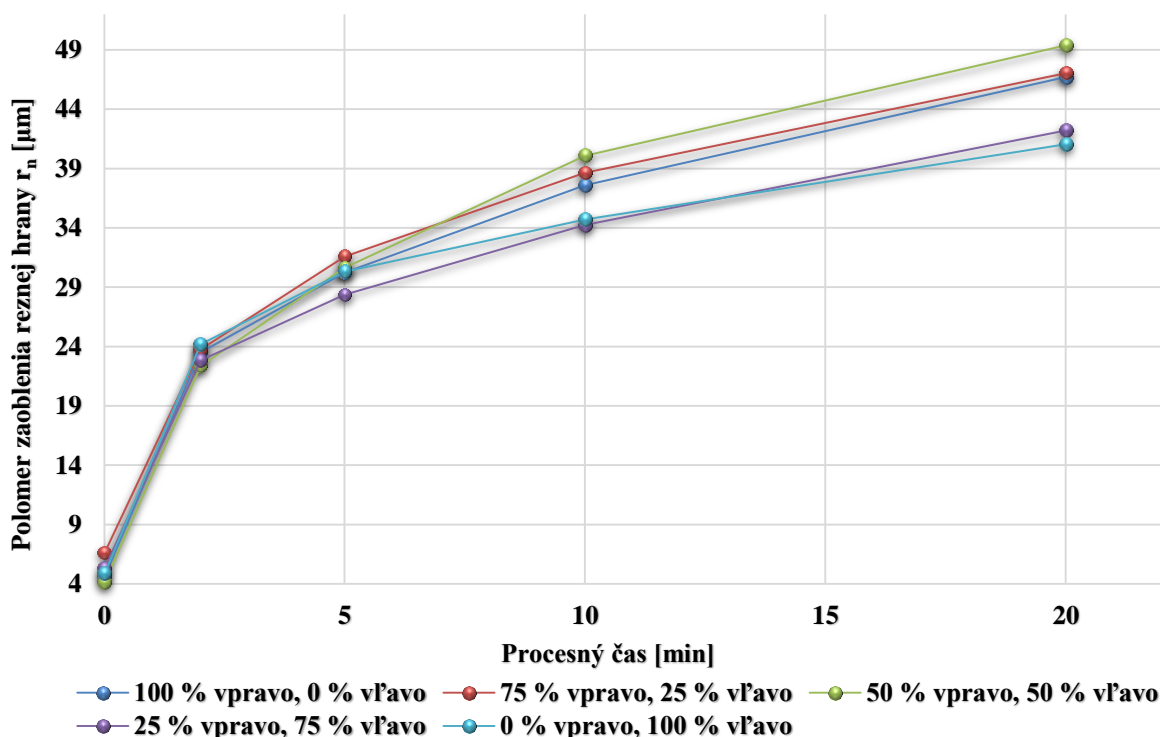
Ako prvý bol sledovaný vplyv rotácie nástrojov okolo vlastnej osi pri omieľaní. Z literatúry poznáme že existujú dvoj a trojosové kinematické štruktúry omieľacích zariadení. V prvom experimente bolo sledované, ktorá kinematická štruktúra je vhodnejšia na omieľanie monolitných fréz. To o akú kinematickú štruktúra sa jedná určuje použitý držiak nástrojov. V prípade trojosovej štruktúry dochádza k rotácii nástrojov okolo vlastnej osi, naopak v prípade dvojosovej nástroj v držiaku nevykonáva žiaden pohyb a je pevný. Pri tomto experimente boli merané tri monolitné karbidové frézy. Na každej jednej fréze bola nameraná každá zo 4 rezných hrán. Meraná bola rezná hrana na skrutkovici nástroja vo vzdialenosti 3 mm od hrotu nástroja. Z hľadiska veľkosti polomeru zaoblenia reznej hrany boli dosahované väčšie hodnoty pri použití trojosovej kinematickej štruktúry. Veľký rozdiel bol v prípade variačného rozpätia polomeru zaoblenia reznej hrany. Variačné rozpätie bolo vypočítané ako rozdiel maximálnej hodnoty polomeru zaoblenia reznej hrany v prípade jeden frézy a minimálnej hodnoty polomeru zaoblenia. Do tabuľky 2 bola vložená priemerná hodnota variačného rozpätia z troch nástrojov. Z tabuľky je možné vidieť že pri použití dvojosovej štruktúry bola hodnota variačného rozpätia veľmi veľká.

Tabuľka 2 Variačné rozpätie polomeru zaoblenia reznej hrany pri rôznej použití kinematickej štruktúry

Procesný čas [min]	Dvojsová kinematická štruktúra		Trojosová kinematická štruktúra	
	Polomer zaoblenia reznej hrany [μm]	Variačné rozpätie [μm]	Polomer zaoblenia reznej hrany [μm]	Variačné rozpätie [μm]
0	4,842	0,903	4,131	0,964
5	23,441	9,442	30,626	1,644
10	28,570	11,975	40,075	2,033
15	32,846	14,073	49,370	2,150

5.2 Vplyv smeru otáčania nástroja

Ďalším parametrom, ktorého vplyv sa sledoval bol smer otáčania nástroja v abrazívnom médiu. Menil sa pomer, koľko času sa nástroja otáčal v smere hodinových ručičiek (smerom vpravo) a koľko času proti smeru hodinových ručičiek (smerom vľavo). Meraná monolitná fréza je pravotočivá. Pri každej jednej fréze bol meraný polomer zaoblenia všetkých štyroch rezných hrán. Z týchto údajov sa vypočítala stredná hodnota pre každú jednu frézu. Následne sa vypočítala stredná hodnota zo všetkých troch nástrojov a hodnoty sa vložili do grafu (obr. 3), ako závislosť polomeru zaoblenia reznej hrany r_n od procesného času.



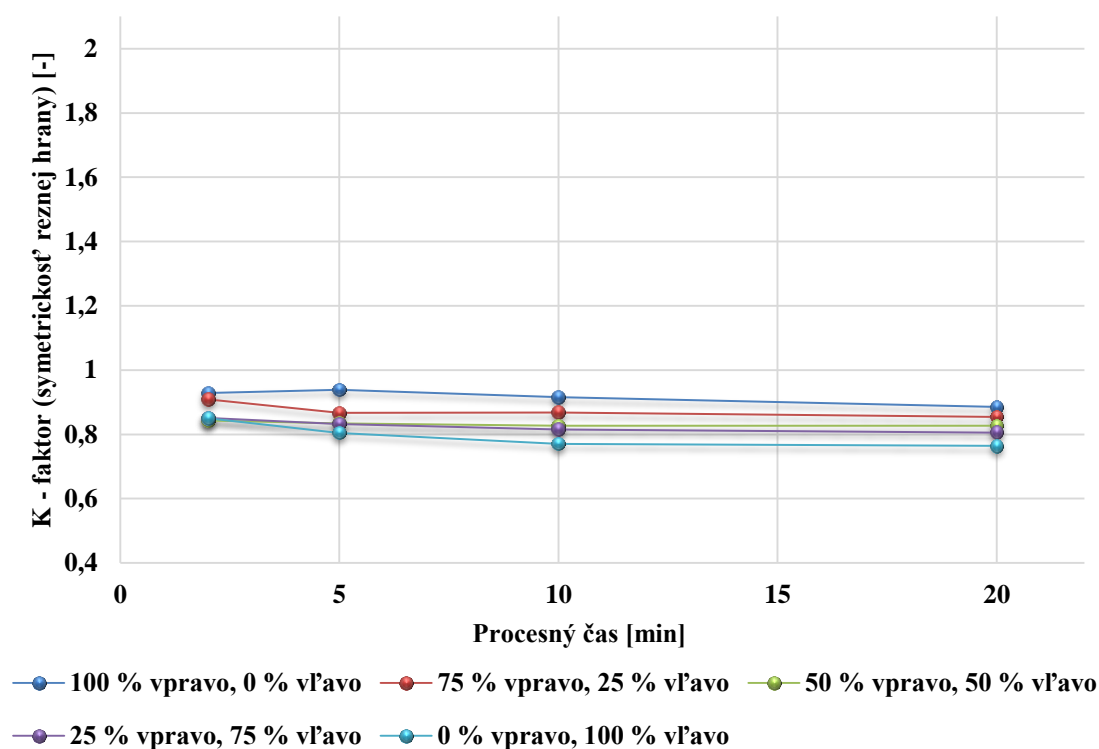
Obrázok 5 Graf závislosti polomeru zaoblenia r_n od procesného času pri rôznych smeroch otáčania

Pomer rotácie nemal vplyv iba na výslednú strednú hodnotu polomeru zaoblenia reznej hrany ale aj na variačné rozpätie, ktoré vzniklo pri medzi jednotlivými reznými hranami jednotlivých nástrojov. Variačné rozpätie pre každý pomer je uvedené v tabuľke 3.

Tabuľka 3 Variačné rozpätie polomeru zaoblenia reznej hrany pre rôzny pomer smeru otáčania nástroja

Procesný čas [min]	Variačné rozpätie [μm] – 100 % vs. 0 %	Variačné rozpätie [μm] – 75 % vs. 25 %	Variačné rozpätie [μm] – 50 % vs. 50 %	Variačné rozpätie [μm] – 25 % vs. 75 %	Variačné rozpätie [μm] – 0 % vs. 100 %
0	0,528	1,495	0,964	0,895	0,811
2	5,154	1,929	1,195	1,559	8,495
5	3,478	1,950	1,644	1,251	5,674
10	4,370	2,111	2,033	1,993	5,775
20	5,671	2,477	2,150	2,513	6,092

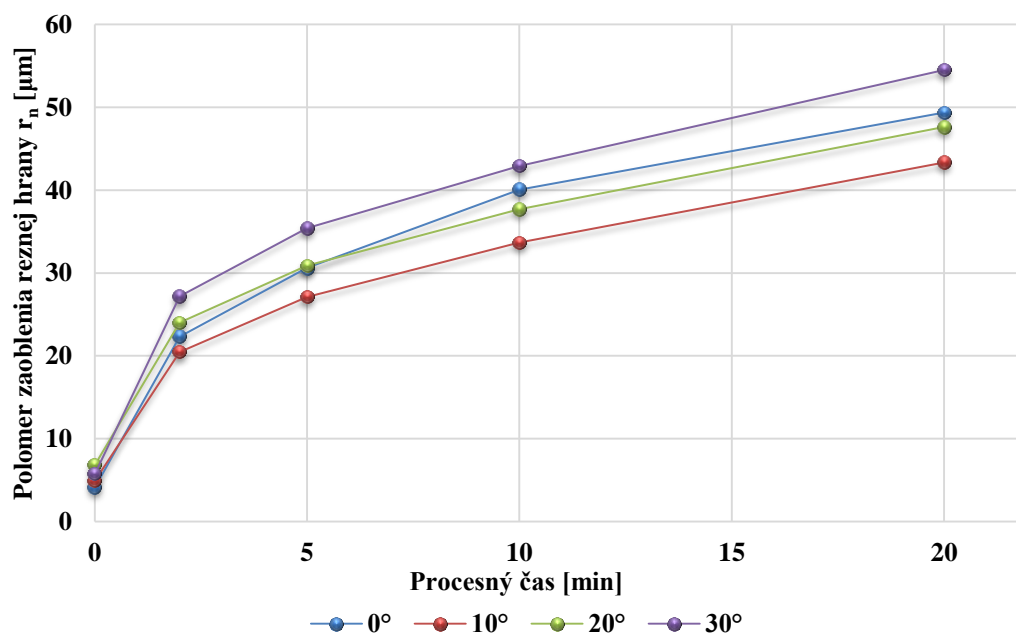
Okrem toho že sa sledovalo ako vplýva smer otáčania na polomer zaoblenia reznej hrany a variačné rozpätie, tak sa sledovalo ako vplýva smer otáčania na symetričnosť reznej hrany. Predpokladalo sa, že bude možné smerom otáčania ovplyvniť symetričnosť reznej hrany a vytvoriť aj asymetričké zaoblenie reznej hrany.



Obrázok 6 Vplyv smeru otáčania na K – faktor

5.3 Vplyv uhlu sklonu nástroja

Prototypové zariadenie disponuje držiakom nástrojov, ktorý umožňuje nastaviť uhol sklonu rezného nástroja v abrazívnom médiu v rozsahu 0 – 45°, pričom sklon je možný po 5°. Táto možnosť bola pridaná na základe prieskumu literatúry. Prvou sledovanou charakteristikou reznej hrany bol polomer zaoblenia reznej hrany r_n , ktorý bol sledovaný v čase. Z grafu závislosti polomeru zaoblenia r_n od času je možné vidieť, že zväčšujúcim časom sa zväčšoval aj polomer zaoblenia a tiež je možné vidieť že sa zväčšujúcim časom zväčšovalo aj variačné rozpätie polomeru zaoblenia r_n medzi nástrojmi, ktoré mali rôzny uhol sklonu v abrazívnom médiu.



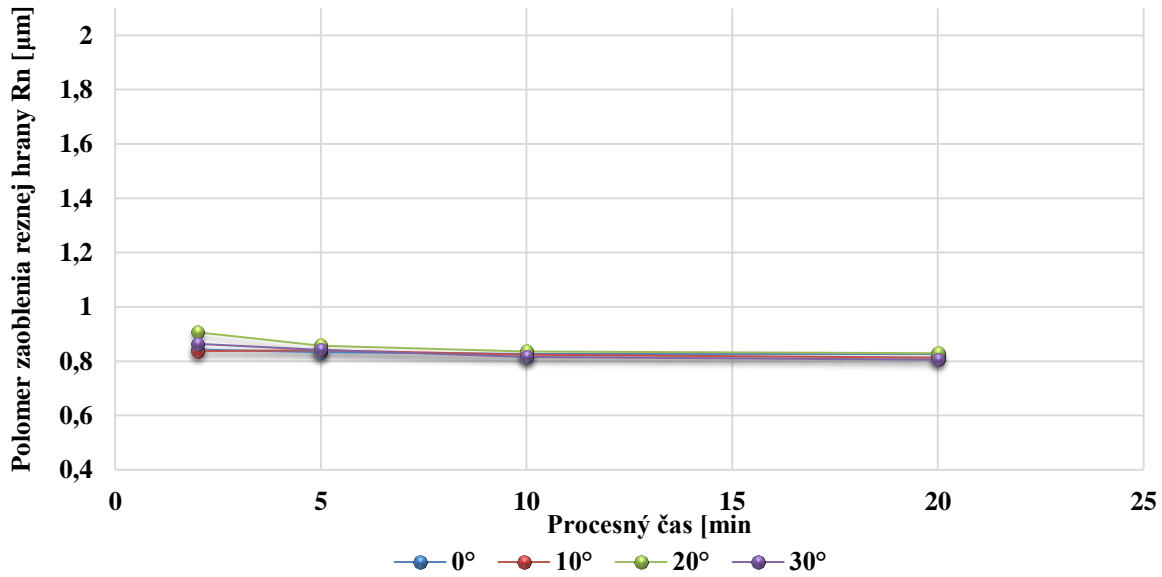
Obrázok 7 Graf závislosti polomeru zaoblenia r_n od času pri rôznych sklonoch nástroja

Rovnako ako v prípade smeru otáčania sa sledoval vplyv sklonu nástroja na variačné rozpätie polomeru zaoblenia reznej hrany pre každý jeden meraný nástroj pri rôznom uhle sklonu nástroja v abrazívnom médiu. Hodnoty variačného rozpätia sú v tabuľke 4

Tabuľka 4 Variačné rozpätie polomeru zaoblenia reznej hrany pre rôzny uhol sklonu nástroja

Procesný čas [min]	Variačné rozpätie [μm] – 0°	Variačné rozpätie [μm] – 10°	Variačné rozpätie [μm] – 20°	Variačné rozpätie [μm] – 30°
0	0,964	1,085	1,866	6,534
2	1,195	3,873	5,266	5,662
5	1,644	5,005	3,273	5,660
10	2,033	3,380	6,101	8,640
20	2,150	2,488	7,351	6,534

Opäť bol posudzovaný aj vplyv sklonu n K – faktor, pričom sa opakuje situácia, ktorá vznikla aj v prípade vplyvu smeru otáčania. Obrázok vplyv uhlu sklonu nástroja na symetrickosť reznej hrany (K – faktor) je možné vidieť na obrázku 8.



Obrázok 8 Vplyv uhlu sklonu nástroja na K – faktor

5.4 Vplyv frekvencie otáčania, hĺbky ponoru a procesného času

Aby bolo možné správne nastaviť parametre procesu pre štatistickú analýzu vykonali sa prvotné experimenty, kedy sa sledoval vplyv frekvencie otáčania, hĺbky ponoru a procesného času. Z hľadiska frekvencie otáčania bola vybraná minimálna, maximálna a stredná hodnota frekvencie otáčania. Tieto hodnoty sú naviazané na hodnoty frekvencie otáčania motora, ktorý poháňa planétovú prevodovku. Bezpečný rozsah frekvencií striedavého napätia motora je 20 – 60 Hz. Nastavenie frekvencií striedavého napätia motora bolo teda 20, 40 a 60 Hz. Pri nastavení hĺbky ponoru sa postupovalo tak, že sa zvolila najmenšia možná hĺbka ponoru. Rezná časť omieľanej monolitnej karbidovej frézy má 23 mm. Na základe tejto hodnoty bola nastavená minimálna hodnota hĺbky ponoru 30 mm. Ostatné hodnoty hĺbky ponoru boli zvolené ako násobok minimálnej hĺbky ponoru. Na základe vyššie popísaných hodnôt boli zvolené tri experimenty, pri najmenších, stredných a najvyšších hodnotách hĺbky ponoru a frekvencie otáčania. Pri tomto experimente nebol zvolený explicitne procesný čas, ale polomer zaoblenia reznej hrany sa meral po 2 minútach, čím boli získaná závislosť polomer zaoblenia reznej hrany od procesného času pri konkrétnych nastavených hodnotách frekvencie otáčania a hĺbky ponoru.

Po vykonaní prvotných experimentov vplyvu technologických parametrov na polomer zaoblenia reznej hrany, bolo možné pristúpiť k návrhu experimentu pomocou metódy DOE. Následne bolo možné vyhodnotiť analýzu ANOVA pomocou p – hodnoty, ktorá sa využíva na percentuálne vyjadrenie vplyvu parametrov. P – hodnoty boli vložené do tabuľky 30.

Z týchto hodnôt je možné konštatovať, že najväčší vplyv na polomer zaoblenia reznej hrany má hĺbka ponoru. Frekvencia otáčania a procesný čas majú takmer totožný vplyv, avšak menší ako má hĺbka ponoru. Zároveň je možné vidieť že všetky faktory sú štatisticky významne. Chyba p – hodnoty bola až na úrovni 50,12 %. Bolo to pravdepodobne spôsobené tým, že hodnota polomeru zaoblenia reznej hrany bola vypočítaná z troch nástrojov, pričom každý mal 4 rezné hrany, teda dokopy z 12 hodnôt.

Tabuľka 5 Vyhodnotenie ANOVY podľa P - hodnoty

P - hodnota	Pi (frekvencia otáčania)	Pi (hĺbka ponoru)	Pi (procesný čas)	Pi chyba
Hodnota [%]	7,79	32,97	9,13	50,12

Rovnaký experiment bol vykonaný pri totožných hodnotách technologických parametrov, avšak pri každom pokuse bola použitá vibrácia abrazívneho média. Percentuálne vyjadrenie vplyvu jednotlivých faktorov je možné vidieť v tabuľke 6. Je možné pozorovať rovnaký vplyv faktorov, teda najväčší vplyv má hĺbka ponoru. Menší vplyv má frekvencia otáčania a procesný čas. Vplyv týchto dvoch faktorov je takmer rovnaký.

Tabuľka 6 Vyhodnotenie ANOVY podľa P - hodnoty

P - hodnota	Pi (frekvencia otáčania)	Pi (hĺbka ponoru)	Pi (procesný čas)	Pi chyba
Hodnota [%]	17,16	22,64	16,64	43,56

Popri tom ako sa pri vykonávaných experimentoch sledoval polomer zaoblenia reznej hrany, ta sa sledovala aj symetrickosť reznej hrany a aký vplyv majú technologické parametre na symetrickosť reznej hrany (K – faktor). Hodnoty sú v rozpätí od 0,783 do 0,884 z čoho je možné vypočítať variačné rozpätie, ktoré má hodnotu 0,101. Z týchto údajov je možné konštatovať, že nastáva rovnaká situácia ako v prípade vplyvu smeru otáčania a uhlu sklonu nástroja. Zmena technologických parametrov omieľania nemá žiadny vplyv na symetrickosť reznej hrany (K –faktor)

Keďže sa pri štatistickom vyhodnotení meral polomer zaoblenia reznej hrany pre každú jednu so štyroch rezných hrán, tak bolo možné vypočítať aj variačné rozpätie polomeru zaoblenia reznej hrany pri rôznych parametroch. Hodnoty variačného rozpätia sú uvedené v tabuľke 7 spolu s parametrami omieľania, ktoré boli pri omieľaní použité.

Tabuľka 7 Vplyv technologických parametrov omielania na variačné rozpätie polomeru zaoblenia reznej hrany

Frekvencia otáčania rotora/držiaka [min^{-1}]	Hĺbka ponoru [mm]	Procesný čas [min]	Variačné rozpätie [μm] – Fréza 1	Variačné rozpätie [μm] – Fréza 2	Variačné rozpätie [μm] – Fréza 3
32/74	30	5	0,901	0,085	0,597
32/74	30	10	0,751	0,798	0,685
32/74	30	15	1,836	0,686	1,452
32/74	60	5	3,551	4,520	3,117
32/74	60	10	3,017	4,793	3,177
32/74	60	15	3,879	5,088	5,217
32/74	90	5	10,685	10,700	10,489
32/74	90	10	12,292	4,531	7,189
32/74	90	15	6,936	3,908	3,999
48/115	30	5	1,876	0,651	1,09
48/115	30	10	0,546	1,563	1,089
48/115	30	15	1,886	1,543	1,532
48/115	60	5	5,352	4,910	4,302
48/115	60	10	4,468	4,931	4,418
48/115	60	15	4,504	4,042	4,51
48/115	90	5	13,333	12,667	13,566
48/115	90	10	3,576	5,086	4,202
48/115	90	15	5,409	5,466	5,135
64/154	30	5	5,077	3,992	3,768
64/154	30	10	4,469	4,303	4,476
64/154	30	15	4,385	3,004	3,046
64/154	60	5	3,656	1,652	3,997
64/154	60	10	0,829	3,695	1,952
64/154	60	15	1,415	3,642	2,286
64/154	90	5	12,876	12,431	9,387
64/154	90	10	5,755	9,047	8,203
64/154	90	15	9,774	7,029	8,536

S tabuľky 7 je možné vidieť, že zvyšujúcou sa frekvenciou otáčania nástroja v abrazívnom médiu sa zväčšuje aj hodnota variačného rozpätia. Najviac avšak vplyva na variačné rozpätie hĺbka ponoru. Čím väčšia je hĺbka ponoru, tým je väčšia hodnota variačného rozpätia. Pri hĺbke ponoru 90 mm hodnota variačného rozpätia dosahuje až 12 μm . Procesný čas má naopak priaznivý vplyv na variačné rozpätie. Čím dlhšie proces trvá, tým sa hodnota variačného rozpätia znižuje.

Hodnoty variačného rozpätia polomeru zaoblenia reznej hrany boli vyhodnotené aj pri použití vibrácie abrazívneho média, namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 8.

Tabuľka 8 Vplyv technologických parametrov omieľania na variačné rozpätie polomeru zaoblenia reznej hrany s použitím vibrácie nádoby s abrazívnym médiom

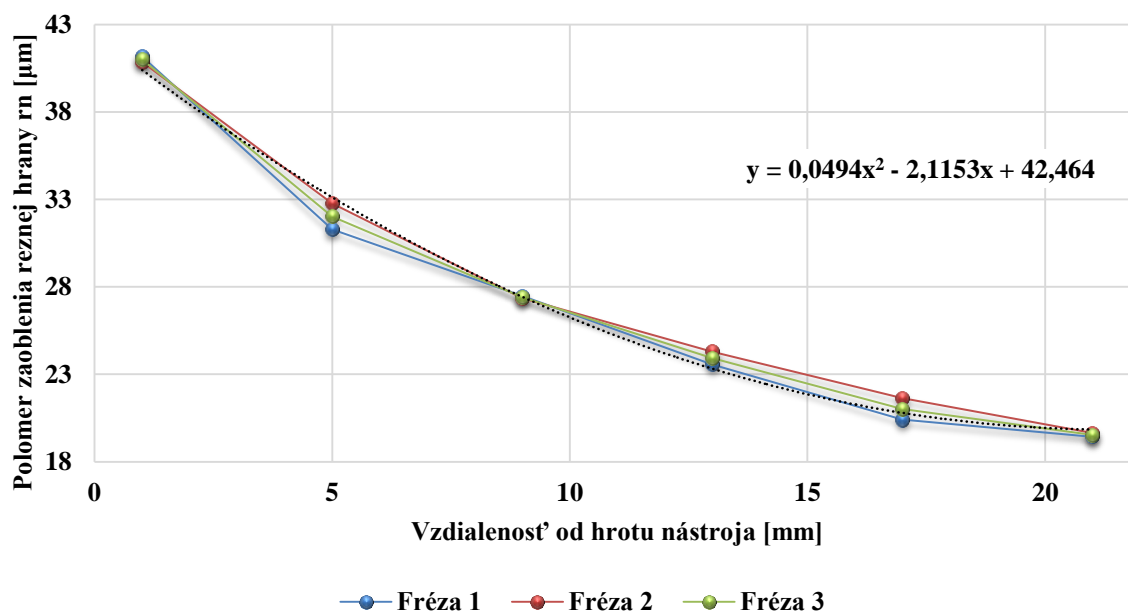
Frekvencia otáčania rotora/držiaka [min^{-1}]	Hĺbka ponoru [mm]	Procesný čas [min]	Variačné rozpätie [μm] – Fréza 1	Variačné rozpätie [μm] – Fréza 2	Variačné rozpätie [μm] – Fréza 3
32/74	30	5	2,146	3,587	1,821
32/74	30	10	0,996	2,588	1,653
32/74	30	15	1,447	1,896	1,537
32/74	60	5	2,554	3,433	2,572
32/74	60	10	1,564	3,652	2,181
32/74	60	15	1,188	3,141	1,888
32/74	90	5	3,241	4,363	3,389
32/74	90	10	1,820	3,229	2,661
32/74	90	15	3,242	4,916	2,93
48/115	30	5	3,406	4,445	4,817
48/115	30	10	1,646	2,166	1,703
48/115	30	15	0,488	2,301	1,878
48/115	60	5	2,772	4,091	3,283
48/115	60	10	0,646	2,220	1,342
48/115	60	15	2,014	2,905	2,246
48/115	90	5	4,045	1,853	1,78
48/115	90	10	2,163	5,127	2,474
48/115	90	15	0,571	3,867	1,83
64/154	30	5	5,237	5,137	5,199
64/154	30	10	5,280	4,347	3,552
64/154	30	15	7,430	3,250	6,474
64/154	60	5	6,641	6,117	5,742
64/154	60	10	3,011	2,640	2,942
64/154	60	15	3,336	2,953	3,465
64/154	90	5	4,679	4,140	3,172
64/154	90	10	3,418	4,805	3,656
64/154	90	15	4,912	4,853	5,632

S vypočítaných hodnôt variačného rozpätia je možné konštatovať, že vibrácia má priaznivý vplyv na variačné rozpätia. Hodnoty sú v určitých prípadoch aj trojnásobne menšie. Zmenšil sa vplyv hĺbky ponoru aj frekvencie otáčania, naopak procesný čas v prípade pridanej vibrácie nemá výrazný vplyv a zo zväčšujúcim časom sa hodnota variačného rozpätia nezmenšuje.

5.5 Rovnomernosť polomeru zaoblenia pozdĺž reznej hrany

Okrem vplyvu parametrov omieľania na polomer zaoblenia reznej hrany v 3 mm od čela nástroja sa zisťovalo aký majú parametre omieľania vplyv na polomer zaoblenia reznej hrany pozdĺž reznej hrany. V ideálnom prípade by mal byť polomer zaoblenia reznej hrany

rovnaký bez ohľadu na vzdialenosť od čela nástroja. Skutočnosť bude avšak asi iná a polomer zaoblenia reznej hrany sa bude meniť s rastúcou vzdialenosťou od čela nástroja. Na zistenie ako sa polomer zaoblenia vyvíja sa vykonali experimenty, pri ktorých sa menila frekvencia otáčania, hĺbka ponoru a použitie vibrácie. Na obrázku 9 je možné vidieť príklad toho ako vyzerá tvar krivky vývoju polomeru pozdĺž reznej hrany.

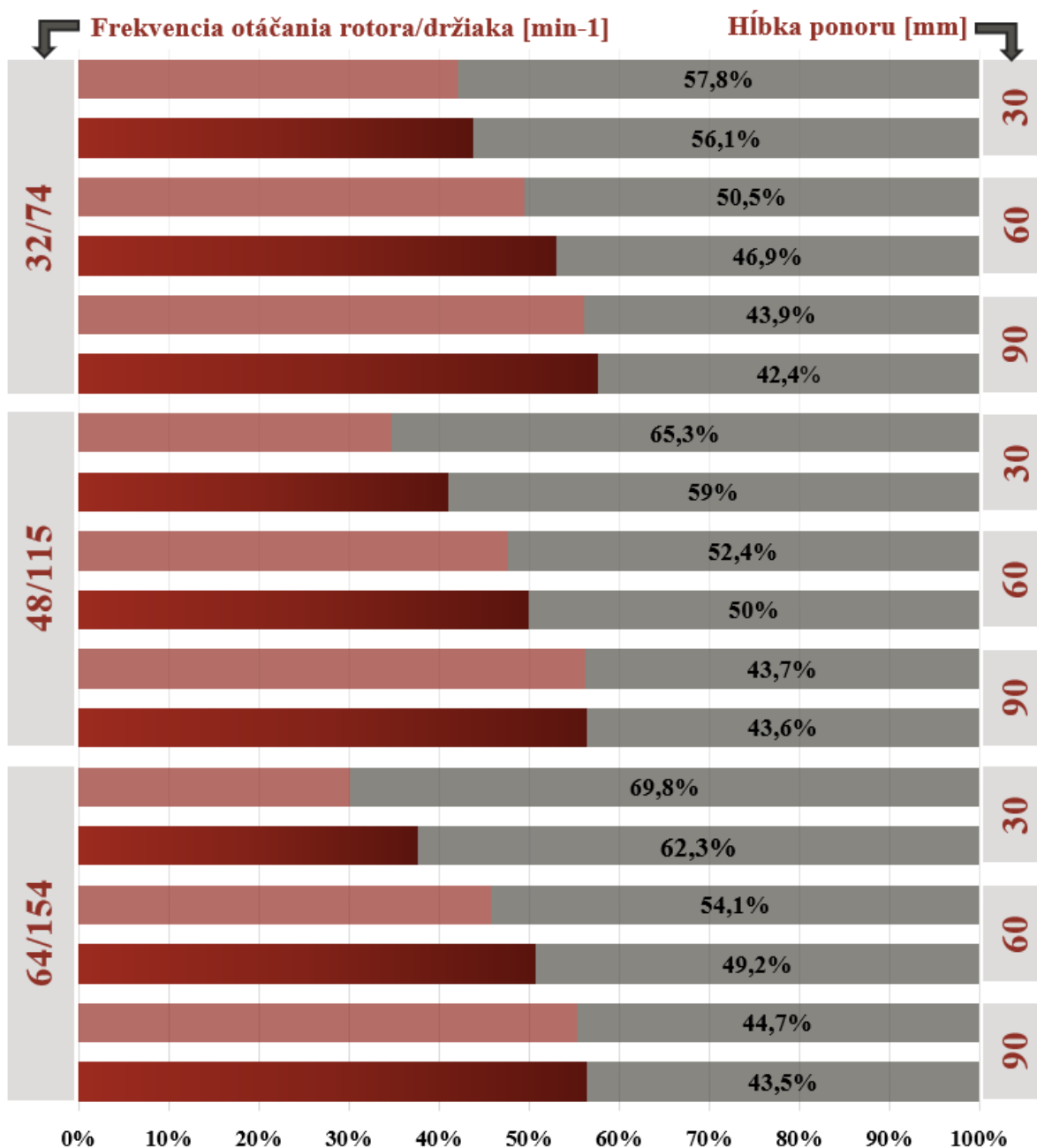


Obrázok 9 Polomer reznej hrany v rôznej vzdialenosti od hrotu nástroja (Frekvencia otáčania rotora = 48 ot.min-1, frekvencia otáčania držiaka a nástroja = 115 ot.min-1, hĺbka ponoru = 60 mm)

Okrem tvaru krivky nás predovšetkým zaujíma aký je rozdiel polomeru zaoblenia reznej hrany s rastúcou vzdialenosťou od čela nástroja. Čím menší tento rozdiel bude, tým je rezná hrana zaoblená rovnomernejšie. Percentuálne vyjadrenie úbytku hodnoty polomeru zaoblenia medzi polomerom zaoblenia vo vzdialenosti 1 mm od čela a vzdialenosti 21 mm od čela nástroja v zobrazené v tabuľke 38.

Z tabuľky 9 je možné vidieť, že parametrami procesu je možné ovplyvniť ako sa bude vyvíjať polomer zaoblenia pozdĺž reznej hrany. Čím je väčšia hĺbka ponoru rezných nástrojov, tým je rezná hrana zaoblená rovnomernejšie a vzniká menší rozdiel medzi polomerom zaoblenia v 1 mm od čela a polomerom zaoblenia v 21 mm od čela nástroja. Opačný efekt nastáva v prípade frekvencia otáčania nástroja. Čím je frekvencia otáčania nástroja väčšia tým je väčší aj rozdiel medzi reznými hranami. Použitie vibrácie mierne zlepšuje negatívny vplyv frekvencie otáčania.

Tabuľka 9 Vývoj polomeru zaoblenia pozdĺž reznej hrany



5.6 Zhodnotenie

V dizertačnej práci bolo vykonaných niekoľko experimentov, ktorých cieľom bolo zistiť ako parametre procesu omielania ovplyvňujú vybrané charakteristiky reznej hrany, ako je polomer zaoblenia reznej hrany, variačné rozpätia polomeru zaoblenia reznej hrany v rámci jedného nástroja, symetrickosť reznej hrany a rovnomernosť polomeru zaoblenia reznej hrany pozdĺž reznej hrany. Bolo zistené, že všetky parametre procesu vplyvajú na polomer zaoblenia reznej hrany aj variačné rozpätie polomeru zaoblenia reznej hrany. Rovnako parametre vplyvajú na rovnomernosť polomeru zaoblenia reznej hrany pozdĺž reznej hrany.

Bolo zistené že zmenou parametrov omieľania nie je možné ovplyvniť symetrickosť reznej hrany (K – faktor) pri vybranou použitom abrazívnom médiu. Bolo zistené najvhodnejšie parametre, ktoré sú trojosová kinematická štruktúra, pomer smeru otáčania nástroja 50 % času vpravo a 50 % času vľavo alebo 75 % času vpravo a 25 % času vľavo. Najlepšie výsledky boli dosiahnuté pri uhle sklonu nástroja 0° . Čo sa týka technologických parametrov tak bolo zistené, že vo všeobecnosti je vhodnejšie používať menšie hodnoty frekvencie otáčania a vyšší procesný čas omieľania. Z hľadiska hĺbky ponoru bola najvhodnejšia stredná hodnota, kedy nebolo variačné rozpätie polomeru zaoblenia jeden frézy príliš veľké a zároveň bola uspokojivá rovnomernosť polomeru zaoblenia pozdĺž reznej hrany. Vibrácia abrazívneho média mala pozitívny vplyv na variačné rozpätie polomeru zaoblenia reznej hrany a rovnomernosť polomeru zaoblenia reznej hrany pozdĺž reznej hrany.

6 PRÍNOSY

V tejto kapitole sú uvedené prínosy dizertačnej práce pre vedný odbor, pedagogickú oblasť a technickú prax.

Prínosy dizertačnej práce pre vedný odbor

Prínosy danej dizertačnej práce pre vedný odbor je možné zhrnúť nasledovne:

- a) Získanie vedomostí o vplyve parametrov omieľania na polomer zaoblenia reznej hrany monolitných fréz
- b) Overenie vplyvu kinematickej štruktúry na mikrogeometriu reznej hrany
- c) Overenie vplyvu smeru otáčania rezného nástroja a sklonu rezného nástroja pri omieľaní na mikrogeometriu reznej hrany
- d) Overenie vplyvu technologických parametrov (frekvencia otáčania, hĺbka ponoru, procesný čas) na mikrogeometriu reznej hrany
- e) Overenie vplyvu vibrácií abrazívneho média na mikrogeometriu reznej hrany
- f) Vznik výskumných projektov na základe navrhnutého stroja a získaných výsledkov dizertačnej práce
- g) Nový stroj v strojovom parku Materiálovotechnologickej fakulty, pričom teraz fakulta disponuje kompletným strojným vybavením pre výrobu nástrojov

Prínosy dizertačnej práce pre pedagogickú prax

Z hľadiska prínosov dizertačnej práce pre pedagogickú oblasť je dizertačnú prácu možné využiť nasledovne:

- a) Pri riešení bakalársky, diplomových a dizertačných prácach
- b) V predmete Výroba a renovácia nástrojov
- c) V predmetoch Ateliér počítačovej podpory návrhu a výroby
- d) V predmete Obrábacie stroje a nástroje
- e) V predmete Obrábanie na CNC strojoch

Prínosy dizertačnej práce pre technickú prax

Prínosy dizertačnej práce pre technickú prax by sa dali zhrnúť nasledovne:

- a) Možné komerčné využitie navrhnutého omieľacieho zariadenia
- b) Overenie vplyvu parametrov omieľania monolitných rotačných nástrojov
- c) Nové poznatky v aplikácií vibrácie abrazívneho média pri omieľaní rezných nástrojov

ZÁVER

Obrábanie ťažkoobrobiteľných materiálov je vysoko aktuálna téma, pretože tieto materiály sú čoraz viac využívané nielen v leteckom a vesmírnom priemysle. Najväčším problémom je rýchle opotrebovanie nástroja pri obrábaní a je veľmi žiaduce akékoľvek zvýšenie trvanlivosti. Úprava mikrogeometrie reznej hrany a metóda omieľania je jedným z možných spôsobov ako výrazne zvýšiť trvanlivosť rezných nástrojov. Na to aby sme vedeli overiť aký polomer zaoblenia reznej hrany je najvhodnejší z hľadiska trvanlivosti reznej hrany, je nutné najprv vedieť ako tento polomer zaoblenia reznej hrany získame. Preto je potrebné poznať ako jednotlivé parametre procesu omieľania vplyva na mikrogeometriu reznej hrany. Na potreby zistenia týchto vplyvov bol v práci navrhnutý a zostrojený prototyp omieľacieho zariadenia. V práci je detailne popísane z akých častí zariadenia pozostáva a akú funkciu tieto časti zariadenia plnia. Následne boli na zariadení vykonané experimenty, pri ktorých sa sledoval vplyv jednotlivých parametrov omieľania. V práci je podrobne popísane ako jednotlivé parametre vplyvajú na polomer zaoblenia reznej hrany, variačné rozpätie polomeru zaoblenia reznej hrany v prípade jedného rezného nástroja, symetrickosť reznej hrany a rovnomernosť polomeru zaoblenia pozdĺž reznej hrany. V závere práce sú odporúčania, aké parametre a ich hodnoty je vhodné používať pri omieľaní monolitnej karbidovej frézy.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

BORDIN, F. M., ZEILMANN, R. P. 2014. Effect of the cutting edge preparation on the surface integrity after dry drilling. *Procedia CIRP*, 13, 103–107.

DENKENA, B., DE LEON, L., KOHLER, J. 2009. Cutting Edge Preparation for Cemented Carbide Milling Tools. *Advanced Materials Research* 76–78:597–602.

DENKENA, B., BIERMANN, D. 2014. Cutting edge geometries. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 63(2), 631–653.

DENKENA², B., KÖHLER, J., BREIDENSTEIN, B., ABRÃO, A. M., VENTURA, C. E. H. 2014. Influence of the cutting edge preparation method on characteristics and performance of PVD coated carbide inserts in hard turning. *Surface and Coatings Technology*, 254, 447–454.

FULEMOVÁ, J., ŘEHOŘ, J. 2015. Influence of form factor of the cutting edge on tool life during finishing milling. *Procedia Engineering*, 100(January), 682–688.

HOIER, P., KLEMENT, U., TAMIL ALAGAN, N., BENO, T., WRET LAND, A. 2017. Flank wear characteristics of WC-Co tools when turning Alloy 718 with high-pressure coolant supply. *Journal of Manufacturing Processes*, 30, 116–123.

HRONEK, O., ZETEK, M., BAKSA, T., 2017. The Immersion Depth Influences on Cutting Edge Radius During Drag Finishing. *Proceedings of the 28th DAAAM International Symposium*. pp.1030-1036, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-11-2, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria

LV, D., WANG, Y., YU, X., CHEN, H., GAO, Y., 2022. Analysis of abrasives on cutting edge preparation by drag finishing, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2022) 119:3583–3594

PRIARONE, P. C., RIZZUTI, S., SETTINERI, L., VERGNANO, G. 2012. Effects of cutting angle, edge preparation, and nano-structured coating on milling performance of a gamma titanium aluminide. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(12), 2619–2628.

UHLMANN, E., OBERSCHMIDT, D., KUCHE, Y., LÖWENSTEIN, A. 2014. Cutting edge preparation of micro milling tools. *Procedia CIRP*, 14, 349–354.

VASILKO, K. 2007. *Analytická teória trieskového obrábania*. Fakulta výrobných technológií TU v Košiciach, so sídlom v Prešove. ISBN 978-80-8073-759-7

ZOZNAM PUBLIKAČNEJ ČINNOSTI**ADM Vedecké práce v zahraničných časopisoch registrovaných v databázach Web of Science alebo SCOPUS**

ADM01 PETERKA, Jozef - POKORNÝ, Peter - VÁCLAV, Štefan - PÄTOPRSTÝ, Boris - VOZÁR, Marek. Modification of cutting tools by drag finishing. In *MM Science Journal*. Vol. 2020, March (2020), s. 3822-3825. ISSN 1803-1269(P) (2020: 0.195 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.17973/MMSJ.2020_03_2019130 ; SCOPUS: 2-s2.0-85081017020 ; WOS: 000532576800021. [Vnútrofakultná kategória: M*B].

AEC Vedecké práce v zahraničných recenzovaných vedeckých zborníkoch, monografiách

AEC01 VOZÁR, Marek - PÄTOPRSTÝ, Boris - VOPÁT, Tomáš - PETERKA, Jozef. Overview of methods of cutting edge preparation. In *DAAAM International Scientific Book 2019*. 1. vyd. Viedeň : DAAAM International Vienna, 2019, S. 251-264. ISSN 1726-9687. ISBN 978-3-902734-24-2. V databáze: DOI: 10.2507/daaam.scibook.2019.20. [Vnútrofakultná kategória: M*C].

AFC Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách

AFC01 PÄTOPRSTÝ, Boris - POKORNÝ, Peter - VOPÁT, Tomáš - VOZÁR, Marek - ŠIMNA, Vladimír. Influence of cutting edge preparation conditions on the cutting edge radius and surface roughness. In *Manufacturing Technology - Pilsen 2019 [elektronický zdroj] : 8th International Conference , 5. - 6. 2. 2019, Plzeň*. 1. vyd. Plzeň : University of West Bohemia in Pilsen, 2019, S. 86-95. ISBN 978-80-261-0829-0. [Vnútrofakultná kategória: M*C].

AFC02 PÄTOPRSTÝ, Boris - POKORNÝ, Peter - VOZÁR, Marek - VOPÁT, Tomáš - BURANSKÝ, Ivan. The influence of grinding process and drag finishing on the milling tools macro geometry. In *Annals of DAAAM International Symposium 2019 [USB] : Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 20. - 27. 10. 2019, Zadar, Croatia*. 1. vyd. Viedeň : DAAAM International, 2019, S. 1-6. ISSN 2304-1382. ISBN 978-3-902734-23-5. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85077884331. [Vnútrofakultná kategória: M*B].

- AFC03 PÄTOPRSTÝ, Boris - VOZÁR, Marek - POKORNÝ, Peter - VOPÁT, Tomáš - BURANSKÝ, Ivan - ZETEK, Miroslav - CAJTHAMLOVÁ, Šárka - LAUDÁT, Vít. Development of cutting edge radius size of solid carbide mills whenn drag finishing. In *Vehicle and Automotive Engineering 3 : proceedings of the 3rd VAE 2020, Miskolc, Hungary*. 1. vyd. Cham : Springer, 2021, S. 95-100. ISSN 2195-4356. ISBN 978-981-15-9528-8 (print). V databáze: DOI: 10.1007/978-981-15-9529-5_8 ; SCOPUS: 2-s2.0-85096443961. [Vnútrofakultná kategória: M].
- AFC04 PETERKA, Jozef - VOZÁR, Marek - VOPÁT, Tomáš - POKORNÝ, Peter - PÄTOPRSTÝ, Boris. Using multi-criteria analysis to evaluate the impact of drag-finishing technological parameters on the carbide tool radius. In *Materials Today: Proceedings*. Vol. 22, Part 2. (2nd International conference on Nanomaterials and Biomaterials, ICNB 2018, 10. - 12. 12. 2018, Barcelona, Spain (2020), s. 205-211). ISSN 2214-7853 (2020: 0.341 - SJR). V databáze: DOI: 10.1016/j.matpr.2019.08.089 ; WOS: 000514852200010 ; SCOPUS: 2-s2.0-85081952273. [Vnútrofakultná kategória: M*B].
- AFC05 POKORNÝ, Peter - PÄTOPRSTÝ, Boris - VOPÁT, Tomáš - PETERKA, Jozef - VOZÁR, Marek - ŠIMNA, Vladimír. Cutting edge radius preparation. In *Materials Today: Proceedings*. Vol. 22, Part 2. (2nd International conference on Nanomaterials and Biomaterials, ICNB 2018, 10. - 12. 12. 2018, Barcelona, Spain (2020), s. 212-218). ISSN 2214-7853 (2020: 0.341 - SJR). V databáze: DOI: 10.1016/j.matpr.2019.08.090 ; WOS: 000514852200011 ; SCOPUS: 2-s2.0-85081959527. [Vnútrofakultná kategória: M*B].
- AFC06 VOZÁR, Marek - PETERKA, Jozef - VOPÁT, Tomáš - PÄTOPRSTÝ, Boris. Multi-criteria analysis of drag finishing the cutting edges of solid carbide mills. In *Manufacturing Technology - Pilsen 2019 [elektronický zdroj] : 8th International Conference , 5. - 6. 2. 2019, Plzeň*. 1. vyd. Plzeň : University of West Bohemia in Pilsen, 2019, S. 140-149. ISBN 978-80-261-0829-0. [Vnútrofakultná kategória: M*C].

- AFC07 VOZÁR, Marek - PÄTOPRSTÝ, Boris - ŠIMNA, Vladimír - PETERKA, Jozef. Influence of tool clamping on tool wear. In *Annals of DAAAM International Symposium 2019 [USB] : Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 20. - 27. 10. 2019, Zadar, Croatia*. 1. vyd. Viedeň : DAAAM International, 2019, S. 1-5. ISSN 2304-1382. ISBN 978-3-902734-23-5. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85077854515. [Vnútrofakultná kategória: M*B].
- AFC08 VOZÁR, Marek - PÄTOPRSTÝ, Boris - PETERKA, Jozef - POKORNÝ, Peter - VOPÁT, Tomáš - ŠIMNA, Vladimír. Influence of drag finishing parameters on the cutting edge radius of solidcarbide mills. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 749: 12th International Conference of the Carpathian Euro-Region Specialists in Industrial Systems, CEurSIS 2019, Baia Mare, Romania, 11.-12.4.2019, (2020), s. 1-10. ISSN 1757-8981 (2020). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85083015278 ; DOI: 10.1088/1757-899X/749/1/012027. [Vnútrofakultná kategória: M*B].

AGJ Autorské osvedčenia, patenty, objavy

- AGJ01 BURANSKÝ, Ivan - PÄTOPRSTÝ, Boris - VOZÁR, Marek. *Prípravok na upínanie rotačných rezných nástrojov pri optickom 3D skenovaní : prihláška patentu č. 45-2020, dátum podania prihlášky: 24.04.2020, stav: zverejnená patentová prihláška, dátum zverejnenia prihlášky: 27.10.2021, Vestník ÚPV SR č. 20/2021*. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2021. 5 s. Dostupné na internete: <<https://wbr.indprop.gov.sk/WebRegistre/Patent/Detail/45-2020>>. [Vnútrofakultná kategória: M].
- AGJ02 BURANSKÝ, Ivan - PÄTOPRSTÝ, Boris - VOZÁR, Marek. *Prípravok na upínanie rotačných rezných nástrojov pri optickom 3D skenovaní : prihláška úžitkového vzoru č. 65-2020, dátum podania prihlášky: 24.04.2020, dátum zverejnenia prihlášky: 14.07.2021, Vestník ÚPV SR č. 13/2021, stav: platný, zapísaný úžitkový vzor č. 9364, dátum oznámenia o zápise úžitkového vzoru: 10.11.2021, Vestník ÚPV SR č. 21/2021*. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2021. 6 s. Dostupné na internete: <<https://wbr.indprop.gov.sk/WebRegistre/UzitkovyVzor/Detail/65-2020>>. [Vnútrofakultná kategória: M].

- AGJ03 PÄTOPRSTÝ, Boris - JURINA, František - VOZÁR, Marek - ŠIMNA, Vladimír. *Prípravok na nastavenie požadovanej polohy telemetrického snímača rotačného dynamometra upnutého vo vretene obrábacieho stroja : prihláška úžitkového vzoru č. 240-2020, dátum podania prihlášky: 28.12.2020, dátum zverejnenia prihlášky: 12.5.2021, Vestník ÚPV SR č. 09/2021, stav: platný, zapísaný ÚV č. 9313, dátum oznámenia o zápise ÚV: 29.09.2021, Vestník ÚPV SR č. 18/2021. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2021. 7 s. Dostupné na internete: <<https://wbr.indprop.gov.sk/WebRegistre/UzitkovyVzor/Detail/240-2020>>. [Vnútrofakultná kategória: M*A].*

BFA Abstrakty odborných prác zo zahraničných podujatí (konferencie...)

- BFA01 PETERKA, Jozef - VOZÁR, Marek - VOPÁT, Tomáš - POKORNÝ, Peter - PÄTOPRSTÝ, Boris. Using multi-criteria analysis to evaluate the impact of drag-finishing technological parameters on the carbide tool radius. In *ICCPE 2019. 2019 8th International conference on Chemical and Process Engineering. ICIEM 2019. 2019 3rd International Conference on Innovative Engineering Materials : Bali, Indonesia, April 25-27, 2019 : Conference Abstract*. 1. vyd : [CBEES], 2019, S. 17. [Vnútrofakultná kategória: M*D].
- BFA02 POKORNÝ, Peter - PÄTOPRSTÝ, Boris - VOPÁT, Tomáš - PETERKA, Jozef - VOZÁR, Marek - ŠIMNA, Vladimír. Cutting edge radius preparation. In *ICCPE 2019. 2019 8th International conference on Chemical and Process Engineering. ICIEM 2019. 2019 3rd International Conference on Innovative Engineering Materials : Bali, Indonesia, April 25-27, 2019 : Conference Abstract*. 1. vyd : [CBEES], 2019, S. 17. [Vnútrofakultná kategória: M*D].

Štatistika: kategória publikačnej činnosti

ADM	Vedecké práce v zahraničných časopisoch registrovaných v databázach Web of Science alebo SCOPUS	1
AEC	Vedecké práce v zahraničných recenzovaných vedeckých zborníkoch, monografiách	1
AFC	Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách	8
AGJ	Autorské osvedčenia, patenty, objavy	3
BFA	Abstrakty odborných prác zo zahraničných podujatí (konferencie...)	2
Súčet		15