

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Strojírenská technologie-technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Preparace břitu monolitních fréz pomocí vlečného omílání

Autor: **Bc. Vojtěch Švarc**
Vedoucí práce: **Ing. Miroslav Zetek, Ph.D.**

Akademický rok 2012/2013

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Autorská práva

Podle Zákona o právu autorském. č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků bakalářské práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat pedagogickým pracovníkům Katedry technologie obrábění za jejich pomoc, odborné rady a konzultace při řešení diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat společnostem Hofmeister s.r.o. a OTEC Präzisionsfinish GmbH, že mi umožnily využít jejich zázemí pro řešení diplomové práce.

Zvláštní poděkování pak patří Ing. Miroslavu Zetkovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce, Ing. Pavlu Kožmínovi, Ph.D. za odborné konzultace a Ing. Ivaně Česákové za cenné rady v oblasti hodnocení drsnosti povrchů.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Švarc	Jméno Vojtěch	
STUDIJNÍ OBOR	N2301 Strojírenská technologie – technologie obrábění		
VEDOUČÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Zetek, Ph.D	Jméno Miroslav	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Preparace břitu monolitních fréz pomocí vlečného omílání		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2013
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	65	TEXTOVÁ ČÁST	51	GRAFICKÁ ČÁST	2
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Tato diplomová práce se zabývá možnostmi preparace břitu monolitních frézovacích nástrojů pomocí technologie vlečného omílání, při použití rozdílných médií a procesních časů preparace břitu. Dále se zabývá kvalitativními výsledky drsnosti povrchu dosažených pomocí vlečného omílání. Takto připravené nástroje dále poslouží pro testování trvanlivosti</p>
KLÍČOVÁ SLOVA	<p>Vlečné omílání, preparace břitu, mikrogeometrie, drsnost povrchu, K faktor</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Švarc	Name Vojtěch	
FIELD OF STUDY	N2301 Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Zetek, Ph.D	Name Miroslav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Preparation cutting edge of solid milling tools by the means of drag-finishing process		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Technology	SUBMITTED IN	2013
----------------	------------------------	-------------------	--------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	65	TEXT PART	51	GRAPHICAL PART	2
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis deals with the possibilities of cutting edge preparations of solid milling tools by the means of drag finishing technology, using different media and their relation to procedural times of the cutting edge preparing. It also deals with qualitative outcomes of the roughness of the tool surface achieved by drag finishing. These tools will be further used for endurance testing.
KEY WORDS	Drag finishing, preparing of the cutting edge, microgeometry, surface roughness, K factor

Obsah

Seznam použitých veličin a symbolů.....	4
1 Úvod.....	5
2 Zhodnocení současného stavu.....	6
2.1 Výroba monolitních fréz broušením.....	8
2.2 Možnosti úpravy břitu	10
2.3 Technologie omílání.....	12
2.3.1 Vibrační omílání.....	14
2.3.2 Odstředivé omílání.....	15
2.3.3 Proudové omílání	16
3 Vlečné omílání	17
4 Mikrogeometrie řezné hrany.....	22
4.1 K faktor a zaoblení břitu.....	22
4.2 Způsoby měření zaoblení břitu a struktury povrchu	24
5 Návrh experimentu.....	26
5.1 Použité stroje, zařízení a vzorky.....	26
5.1.1 Omílací zařízení OTEC DF6 Tools	26
5.1.2 Omílací zařízení OTEC SF 1/1-68.....	29
5.1.3 Alicona Infinite focus [25].....	31
5.1.4 Dvoubřítá fréza z SK.....	32
6 Experiment	33
6.1 Zaoblení řezné hrany v závislosti na čase omílání.....	33
6.1.1 Průběh růstu zaoblení řezné hrany	38
6.1.2 Porovnání různých typů médií.....	39
6.1.3 Porovnání technologie vlečného a proudového omílání.....	39
6.1.4 Opatření média	41
6.2 Drsnost povrchu.....	41
6.2.1 Měření drsnosti [27].....	41

Katedra technologie obrábění

6.2.2	Drsnost jednotlivých rádiusů	42
6.2.3	Porovnání drsností jednotlivých variant	45
6.2.4	Použité médium a jeho vliv na drsnost povrchu	46
6.2.5	Použitá technologie omílání a její vliv na drsnost povrchu	47
6.3	Tvar profilu bříty	48
6.4	K faktor.....	48
7	Technicko – ekonomické zhodnocení výsledků	50
8	Závěr	52
9	Seznam použité literatury.....	53
10	Seznam obrázků	55
11	Seznam tabulek	56
12	Seznam grafů.....	56
13	Přílohy	58

Katedra technologie obrábění

Seznam použitých veličin a symbolů

Al		hliník
Al ₂ O ₃		oxid hlinitý
B		bor
C		uhlík
CNC		computer numeric control
Co		kobalt
Cr		chrom
Cu		měď
Fe		železo
HB	[-]	tvrdost ve stupních Brinella
HSS		High speed steel
K	[-]	K faktor
Mn		mangan
Mo		molybden
Nb		niob
Ni		nikl
P		fosfor
R _a	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnost
R _t	[μm]	největší hloubka drsnosti
R _z	[μm]	maximální výška profilu
Rz	[μm]	největší výška profilu
S		síra
Si		křemík
SiC		karbid křemíku
SK		slinutý karbid
S-N-O		soustava stroj nástroj obrobek
S _α	[μm]	velikost zaoblení na hřbetu
S _γ	[μm]	velikost zaoblení na čele
\bar{S}	[μm]	střední velikost zaoblení bříty
Ti		titan
VBD		vyměnitelná břitová destička

1 Úvod

Monolitní nástroje ze slinutých karbidů mají nejrůznější uplatnění v rozličných aplikacích. Jejich využití v praxi generuje neustále nové požadavky na vlastnosti nástrojů a jejich výrobci jsou nuceni na tyto požadavky zareagovat. Obecně nejčastějšími požadavky jsou trvanlivost břitu a dobré výsledky procesu obrábění, jako je hospodárný úběr materiálu nebo častěji kvalita obrobeného povrchu. Velmi často jsou také od výrobců požadovány nástroje pro obrábění materiálů, jejichž obrábění standardními nástroji není možné. Konstrukce takovýchto nástrojů vyžaduje širší znalosti z teorie obrábění a nástroje samotné pak specifický přístup během výroby.

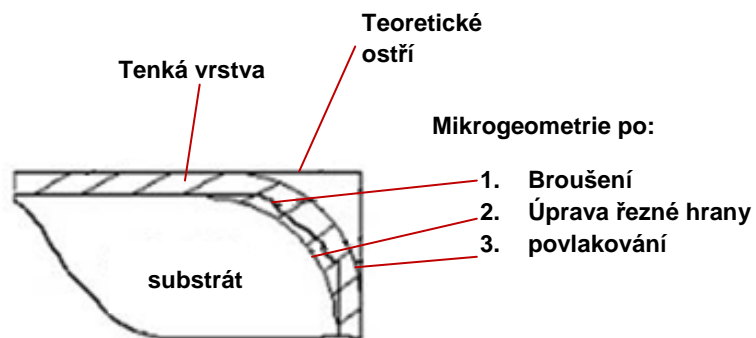
V současnosti již nestačí vyrobit nástroj s vhodnými parametry řezných úhlů, tzv. makrogeometrií, a popř. jej doplnit vhodnou tenkou vrstvou. Je nutné zaměřit se i na tzv. mikrogeometrii nástroje, kdy je kladen důraz na jakost povrchu nástroje, drsnost, strukturní změny, kvalitu řezné hrany a přítomnost mikrotrhlin. Některé z těchto jevů, jako např. mikrotrhliny jsou naprosto nepřijatelné a je nutné jim předcházet. Naproti tomu drsnost povrchu a nedokonalosti řezné hrany jsou vlastnosti úzce spjaté s výrobou, které se budou vždy projevovat na konečné kvalitě vyrobeného nástroje. Na základě výzkumu a znalostí můžeme vhodnými metodami zlepšit jejich parametry, a tím ovlivnit i celkové vlastnosti nástroje.

Jednou z metod, jak zlepšit kvalitu řezné hrany a drsnost na složité tvarové ploše nástroje, je vlečné omílání.

Tato práce si klade za cíl popsat výrobu monolitních frézovacích nástrojů a především prozkoumat možnosti úpravy řezné hrany při využití vlečného omílání, jaké jsou možnosti při volbě parametrů procesu vlečného omílání a jejich vliv na výslednou mikrogeometrii řezné hrany. Součástí práce je také provedení experimentu na reálných nástrojích a ověření teoretických poznatků z procesu omílání i po praktické stránce.

2 Zhodnocení současného stavu

Při návrhu monolitního frézovacího nástroje je nutné vhodně zvolit postup výroby tak, aby byl komplexní a ve výsledku bylo využito všech předností, které nám nabízí dostupná technologie výroby. Při výrobě monolitního nástroje dochází k vytváření jeho požadovaného geometrického tvaru. Z hlediska geometrie lze na nástroji hodnotit makrogeometrii a mikrogeometrii. Makrogeometrie zahrnuje vytváření požadovaných nástrojových úhlů, především výchozí profil břitu nástroje. Profil břitu nástroje je závislý na konstrukci nástroje, jeho parametry jsou voleny na základě použití nástroje, materiálu břitu nástroje, řezném prostředí, popř. dalších parametrech. Mikrogeometrie nástroje pak reprezentuje zejména výsledný stav povrchu nástroje a zaoblení ostří. Hodnotí kvalitu povrchu, drsnost, defekty substrátu způsobené předchozím broušením. Mikrogeometrické útvary mají rozměry v řádu mikrometrů. Při broušení nástrojů nelze nikdy vytvořit dokonalou a ideální řeznou hranu, tak jak je reprezentována teoretickým ostřím na obrázku 2-1.



Obrázek 2-1: břit nástroje [6]

Prvotní volba vhodného substrátu však ovlivňuje chování nástroje v procesu výroby a náročnost tohoto procesu. Proto je nutné při volbě materiálu substrátu najít nejvhodnější materiál, který bude svými vlastnostmi spolehlivě plnit požadavky na něj kladené, ale zároveň bude možné vyrobit vysoce jakostní ostří s přiměřenými ekonomickými náklady a technologickými požadavky.

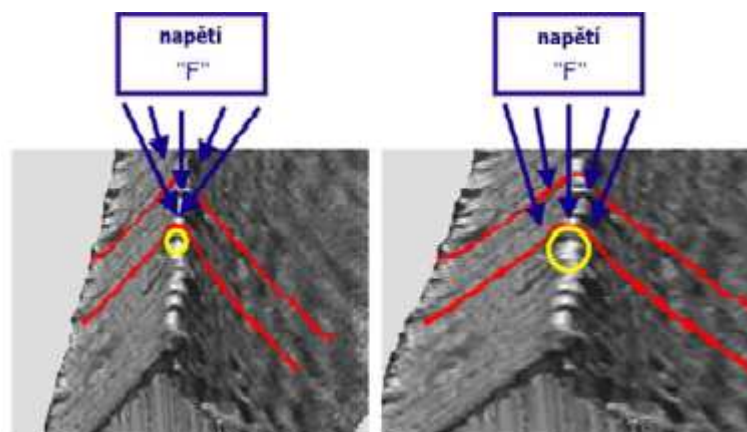
Skutečná řezná hrana se od teoretické liší a je tvořena přechodovou plochou mezi čelem a hřbetem nástroje, kterou lze charakterizovat její velikostí. Velikost této plochy, kterou nazýváme zaoblení ostří, je ovlivněna zejména použitou technologií výroby, materiálem polotovaru, tzv. substrátu, ze kterého je nástroj vyroben, a technologií finální úpravy břitu. Nedokonalosti a vady řezné hrany lze ovšem cíleně upravit a významně tak ovlivnit vlastnosti

Katedra technologie obrábění

nástroje a jeho chování v procesu obrábění. Úprava mikrogeometrie řezné hrany se provádí obvykle před depozicí a po depozici tenké vrstvy a existuje na ni několik technologických metod, které budou podrobněji vysvětleny později. Předdepoziční úpravy povrchu nástroje a mikrogeometrie mají za cíl zlepšit kohezní vlastnosti mezi tenkou vrstvou a substrátem.

Odstranění nečistot, povrchových vad a stop po brousícím nástroji jsou předpoklady pro vyšší kohezi mezi vrstvou a substrátem. Lze tak zabránit odlupování tenké vrstvy při zatížení břitu nástroje v řezném procesu. Předdepoziční úpravy také zahrnují cílené zaoblení řezné hrany. Toto zaoblení má vliv na celkovou řezivost nástroje. Dokáže ovlivnit tepelné a silové namáhání nástroje díky změně rozložení tlaku na řezné hraně do větší plochy. Velikost a tvar zaoblení řezné hrany dokáže ovlivnit rozložení řezných sil do jednotlivých směrů nástrojových rovin a celkové silové namáhání nástroje.

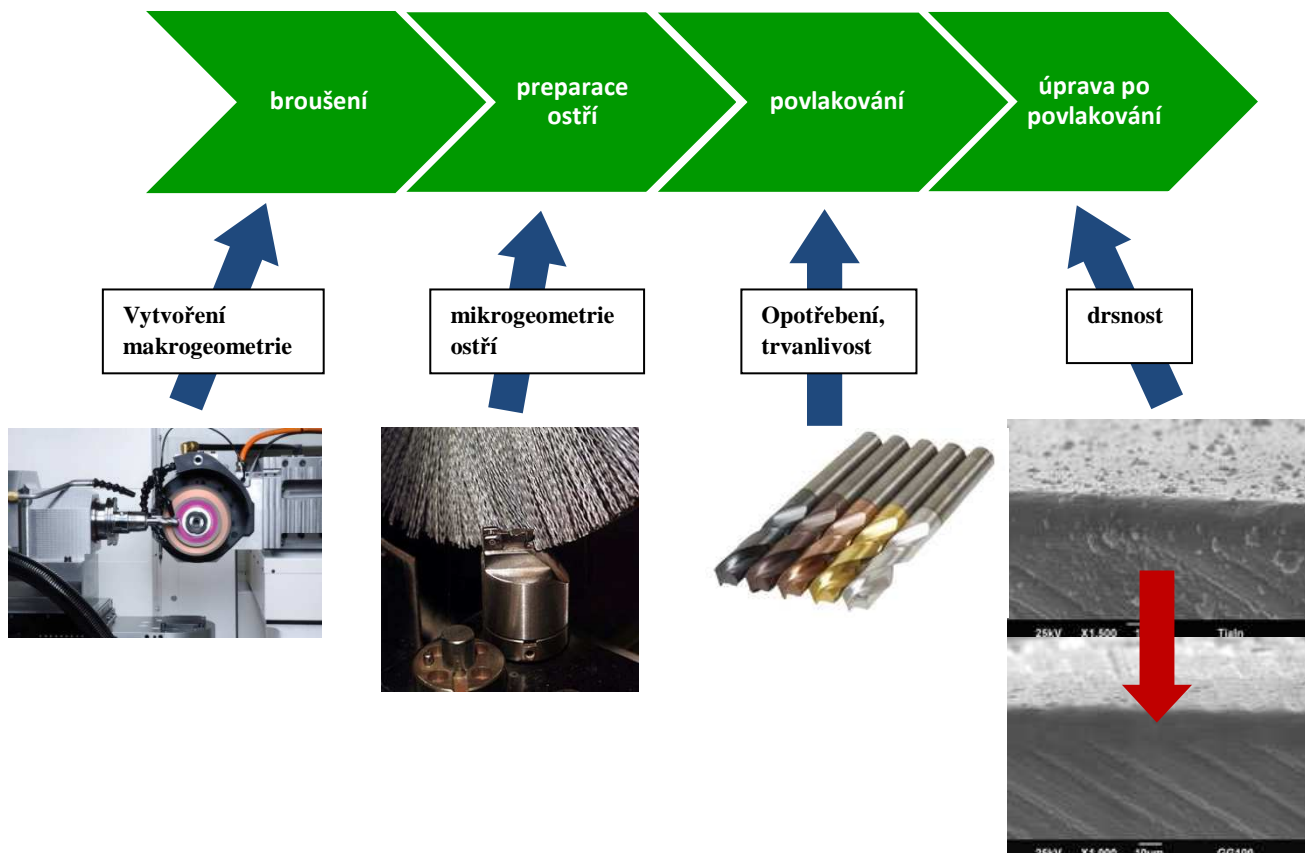
Cílem úprav po depozici je pak získání vysoce kvalitního povrchu nástroje s velmi nízkým stupněm drsnosti povrchu R_a nebo R_z . Úprava povrchu nástroje po depozici tenké vrstvy má příznivý vliv na snížení tepelného namáhání nástroje a abrazivní opotřebení. Díky nižší drsnosti povrchu dochází k menšímu váznutí materiálu třísky na povrchu nástroje, snižuje se tření, a tím i vznik tepla a jeho přestup do nástroje. Povrch nástrojů po depozici tenké vrstvy je plný kapkovitých útvarů materiálu tenké vrstvy, tzv. dropletů. Tyto droplety mají velikost několika μm a jejich význam by se mohl zdát jako zanedbatelný. Právě na nich může váznout materiál odcházející třísky, nebo mohou být droplety vytrhávány i s částí tenké vrstvy.



Obrázek 2-2: rozložení napětí na řezné hraně [6]

2.1 Výroba monolitních fréz broušením

Proces výroby monolitního frézovacího nástroje lze rozdělit na čtyři fáze:



Obrázek 2-3: postup výroby monolitního nástroje [6]

Výroba monolitních nástrojů probíhá na číslicově řízených vícevřetenových nástrojařských bruskách, které umožňují výrobu nástroje na jedno upnutí, což má příznivý vliv na vyšší přesnost vyráběného nástroje a také na celkovou produktivitu výroby.

Pro výrobu monolitních frézovacích nástrojů se používají slinuté karbidy, které jsou dodávány ve tvaru kruhových tyčí. Tyto tyče jsou před samotným vybroušením požadovaného tvaru nástroje naděleny na vhodnou délku.

Tyto polotovary jsou nazývány jako roubíky. Vlastnosti samotného materiálu polotovaru hrají roli při vybrušování ostří do dokonalé ostrosti. Důležitým faktorem pro výrobu kvalitního nástroje je dostatečná přesnost a tuhost upnutí roubíku ve vřetení stroje. Přesnost upnutí má toleranci radiálního házení do 0,002 mm. Proto se nejčastěji na nástrojařských bruskách používá pro upnutí hydroplastických kleštinových upínání nebo upínání do přesných kleštin. Pro broušení monolitických nástrojů ze SK se nejčastěji používají diamantové brousící

Katedra technologie obrábění

kotouče, které mohou být sestavené do sady na trnu. Chování kotoučů v procesu broušení je podstatně ovlivněno vlastnostmi brusného kotouče, jako je tvar kotouče, rozměry kotouče, použité pojivo a brusivo. Vliv hrají také řezné podmínky. Přesnost souososti trnu a kotouče může významně ovlivnit výslednou kvalitu vyráběného nástroje.



Obrázek 2-4: CNC nástrojařská bruska Walter Helitronic [26]

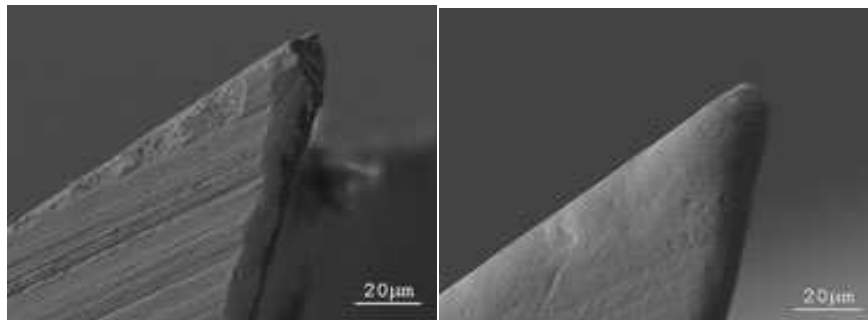
Výstupem procesu broušení při výrobě monolitních nástrojů by měl být geometricky přesný nástroj, který odpovídá zadaným požadavkům a je geometricky přesný v daných tolerancích výroby. Povrch nástroje po broušení vykazuje drsnost okolo Ra 0,4 až 0,8.

Řezná hrana není kvalitní a vykazuje defekty v podobě členitého povrchu, výstupků a vyštípnutí břítu velikosti několika μm , které vznikly při procesu vybrušování tvaru nástroje na brusce. Ovlivňujícími faktory jsou zde především správná volba strategie broušení z hlediska vzájemného pohybu kotouče vůči obrobku, druh brusného kotouče – zrnitost, materiál, a pak nastavení řezných parametrů posuvů, přísuvů a hloubky řezu. Tyto defekty břítu tvoří jeho diskontinuitu a v procesu obrábění by sloužily jako zárodky dalších poškození, neboť by sloužily jako koncentrátoři napětí, na kterých by se posléze začaly tvořit poruchy. Výsledkem by byl rychlý nárůst opotřebení nástroje. Cílem je však získat nástroj, který bude opotřebení odolávat co nejdéle. Je proto nutné tyto ovlivňující faktory z procesu výroby nástroje odstranit, popř. eliminovat jejich vliv. Řezná hrana je v bezprostředním kontaktu s odřezávaným materiálem obrobku. Její tvar, velikost a uspořádání ovlivňuje proces utváření třísky, ovlivňuje velikost oblasti primární a terciální plastické deformace. S tím je následně spojeno rozložení sil od řezného odporu na břítu nástroje.

Proto je nutné po broušení dále řeznou hranu a povrch nástroje upravit. Řeznou hranu zbavit defektů a zlepšit drsnost povrchu, který hraje roli v celkovém silovém a tepelném namáhání

Katedra technologie obrábění

nástroje při řezání. Pro úpravu mikrogeometrie nástrojů se dnes používá několik metod založených na různých principech, ale se stejným cílem, zlepšit celkovou integritu povrchu nástroje.



Obrázek 2-5: řezná hrana před a po úpravě povrchu [24]

2.2 Možnosti úpravy břitu

V první fázi broušení dochází k vytváření makrogeometrie nástroje, vzniku požadovaných nástrojových řezných úhlů. Takovýto nástroj však vyžaduje ještě další úpravu břitu, kdy dochází ke zlepšení kvality a kontinuity řezné hrany, drsnosti povrchu a úpravě mikrogeometrie. V současné době se pro úpravu mikrogeometrie nejvíce používají následující metody:

- **Tryskání**
- **Kartáčování**
- **Omílání**
- **Magnetické dokončování**
- **Obrábění laserovým paprskem**

Tryskání – Při tryskání břitu je využito mechanického účinku soustředěného proudu brusiva unášeného inertním plynem, který dopadá na povrch nástroje a materiál břitu je tak rovnoměrně vylamován z povrchu. Rychlost dopadajících částic je 150 až 300 m/s, velikost 10 až 50 μm a jsou nejčastěji tvořeny korundem Al_2O_3 nebo karbidem křemíku SiC. Intenzita procesu tryskání je ovlivněna, použitým typem brusiva, jeho zrnitostí, vzdáleností trysky od tryskaného povrchu a rychlost dopadu částic na povrch.

Kartáčování – Je mechanická úprava řezné hrany pomocí vzájemného pohybu mezi leštícím kotoučem a řeznou hranou. Pro úpravu kartáčováním se používá nejčastěji kartáčů

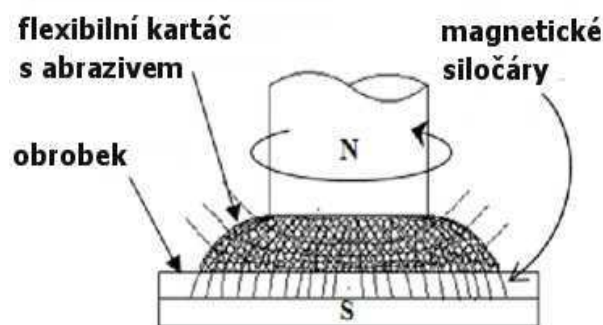
Katedra technologie obrábění

z nylonových vláken. Jako brusivo se používá diamantová pasta. Intenzitu kartáčování ovlivňuje velikost brusných zrn pasty a tvrdost vláken použitého kartáče.



Obrázek 2-6: kartáčování VBD [14]

Magnetické dokončování – Mechanická úprava řezné hrany. Síla působí na obrobek přes magnetická brusná zrna, která zaujmou svoji polohu ve směru magnetických siločar mezi rotorem a pracovní deskou, na které je obrobek. Rotující magnetické pole s sebou unáší magnetická brusná zrna, která obrušují obrobek. Ovládání rychlosti úběru se děje pomocí změny intenzity magnetického toku.



Obrázek 2-7: Princip magnetického dokončování [15]

Obrábění laserovým paprskem – Tento typ obrábění je tepelně založený bezkontaktní proces, který je použitelný pro celou řadu obráběných materiálů. Laserový paprsek je zaostřován na obráběný povrch, kde dochází k natavování materiálu a jeho následnému odstranění. Takto lze vytvořit komplexní tvar profilu. Při obrábění laserem nezůstávají na povrchu nataveniny, nedochází k tepelnému ovlivnění materiálu obrobku a změně jeho

Katedra technologie obrábění

vlastností. Velikost a tvar zaoblení je ovlivňován polohou laserového paprsku vůči povrchu a jeho výkonem.

Omílání – mechanická úprava řezné hrany pomocí brusných částic, které jsou volně rozptýleny v pracovní nádobě stroje. Relativní pohyb částic vůči obrobku je zajištěn vzájemnou kombinací několika pohybů, které koná stroj a obrobek. Tyto pohyby jsou různé a závisí na typu omílacího stroje.

2.3 Technologie omílání

Technologie omílání je ve své podstatě zvláštním případem technologie broušení. Při běžném broušení jsou brusná zrna zformována do tvaru brusného nástroje, např. kotouče. U vlečného omílání jsou brusné částice volně rozptýlena resp. nasypána v pracovní nádobě stroje a je zajištěn jejich relativní pohyb vůči obrobku. Analogii omílání lze najít např. v přírodě, kdy jsou skály na mořském pobřeží formovány přílivovými proudy, které unášejí písek a drobné kamení. Ty pak omílají pobřežní skály a formují tak jejich tvar a povrch. Toto zjednodušené přirovnání umožní lépe si představit princip metody omílání.

Omílání je v drtivé většině případů používáno jako dokončovací technologie. Po obrábění součástí zůstávají na povrchu stopy nástroje po předchozí technologii obrábění, na hranách zůstávají otřepy po výběhu nástroje z řezu, nebo jsou součásti znečištěny.

Možné použití technologie omílání:

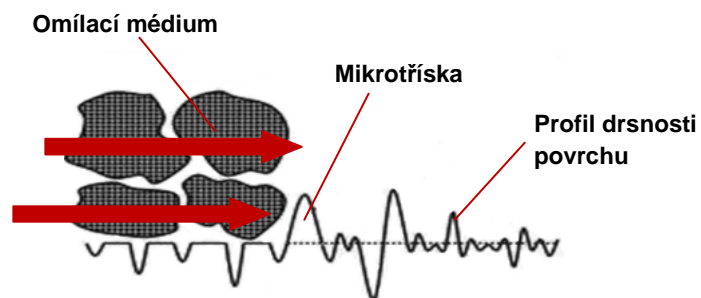
- **Odhrotování**
- **Broušení**
- **Leštění**
- **Odmašťování a čištění**
- **Protikorozní ochrana**

Technologií omílání lze nedostatky povrchu odstranit, a to v krátkém čase a s nízkými náklady v porovnání s jinými technologiemi. Omílání může často nahradit zdlouhavou ruční práci jemného broušení nebo leštění se stejnými nebo lepšími výsledky. Při omílání na povrch obrobku působí omílací tělíska nebo zrna a v závislosti na nastavení procesu povrch obrobku

Katedra technologie obrábění

obrušují, nebo leští. Výsledný povrch pak vykazuje velmi dobrou drsnost a velmi snadno lze dosáhnout zrcadlového lesku.

Při použití technologie broušení tvarových ploch brusným kotoučem v závislosti na tuhosti soustavy S-N-O může docházet k různému tlaku nástroje na obrobek a možnému vzniku tlakových napětí v různých místech povrchu obrobku, nebo vzniku geometrických nepřesností. Naproti tomu při omílání je omílací médium fluidní a těsně obtéká povrch obrobku. Zrna omílacího média pak obrušují mikronerovnosti povrchu, které odebírají v mikrotřískách.



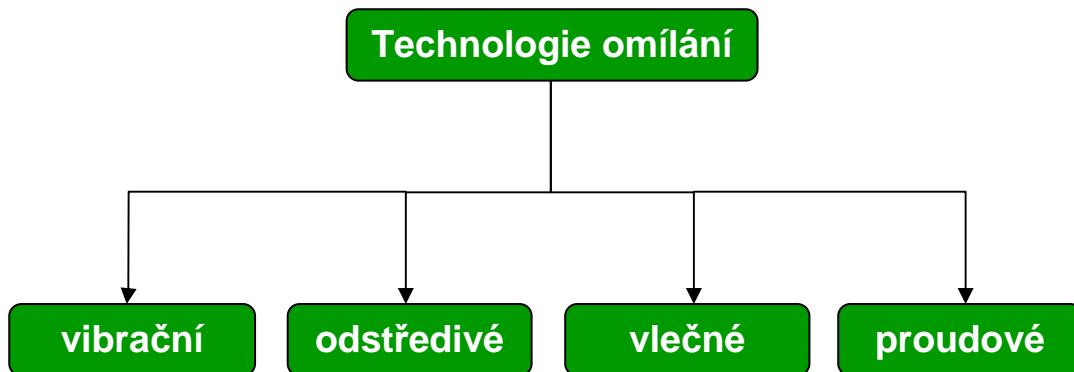
Obrázek 2-8: působení omílacího média na povrch obrobku [13]

Při omílání nejsou difference tlaku působícího na povrch tak velké jako u výše zmíněného broušení. Výsledný povrch tak lépe odpovídá tvaru povrchu před omíláním a jeho drsnost a povrchové vlastnosti jsou v porovnání komplexnější.

V současnosti nachází technologie omílání vysoké uplatnění ve velkém množství výrobních procesů. Omílání je velmi produktivní metoda a lze jí dosahovat velmi kvalitních povrchů součástí ve velmi krátkém čase v porovnání s jinými metodami úpravy povrchu. Navíc díky stálým parametrům procesu omílání jsou výsledky procesu omílání opakovatelné a lze je tak úspěšně použít pro sériovou a hromadnou výrobu.

Katedra technologie obrábění

Technologie omílání lze podle způsobu vyvození relativního pohybu mezi obrobkem a brusným materiálem-granulátem rozdělit následovně:



Obrázek 2-9: rozdělení technologie omílání

Vyvození relativního pohybu mezi obrobkem a granulátem je dáno konstrukcí omílacího zařízení. Každý z výše uvedených typů omílání je specifický a používá se pro různé aplikace.

2.3.1 Vibrační omílání

U vibračního omílání jsou obrobky nasypány v pracovní nádobě stroje spolu s pracovním médiem. Celý tento prostor je rozkmitáván vibrátorem. Díky vibračním dochází k relativnímu pohybu mezi obrobky a granulátem, který upravuje jejich povrch díky brusnému otěru. Vibrační omílání lze použít i pro obrobky s větší hmotností v řádu desítek gramů.

Příklady použití vibračního omílání:

- drobné součásti
- pc komponenty
- elektrosoučástky
- ozubená kola
- ortopedické implantáty



Obrázek 2-10: vibrační omílací stroj [20]

Katedra technologie obrábění

2.3.2 Odstředivé omílání

Stroje pro odstředivé omílání jsou vybaveny nádobou s rotujícím dnem, která je naplněna obrobky a granulátem. Díky rotaci a vzniklým odstředivým silám dochází k pohybu granulátu a obrobků v pracovní nádobě - bubnu. Obrobky se pohybují po toroidní dráze. Tato metoda je vhodná zejména pro hromadné opracování drobnějších dílů.

Příklady použití odstředivého omílání:

- elektrosoučástky
- spojovací materiál
- šperky



Obrázek 2-11: odstředivé omílací stroj v chodu

Obě tyto metody jsou vhodné zejména pro drobnější součásti. Nevýhodou této metody je kontakt mezi jednotlivými obrobky, které se tak mohou vzájemně poškodit. Aby bylo zamezeno kontaktu mezi obrobky, lze použít vibrační a odstředivé zařízení tak, že do pracovního prostoru vložíme pouze jeden obrobek. Z ekonomického hlediska však toto řešení není příliš vhodné a pro další možné problémy se pro úpravu řezných hran nástrojů nepoužívá.

Nejefektivnější metodou je vlečné omílání. Při vlečném omílání je omílaná součást uchycená ve speciálním držáku, takže nemůže dojít ke styku jednotlivých součástí jako u metod vibračního a odstředivého omílání, a tím k jejich vzájemnému poškození. Vlečného omílání je

Katedra technologie obrábění

používáno velmi často pro úpravu povrchu obráběcích nástrojů nebo pro úpravu povrchu medicínských implantátů. [24]

2.3.3 Proudové omílání

Zvláštním případem vlečného omílání je tzv. proudové omílání. Při vlečném omílání je pracovní medium v klidu a pracovní pohyb koná rotor s upnutými obrobky. U proudového omílání koná hlavní pracovní rotační pohyb nádoba s médiem a obrobek je do rotujícího média ponořen. Výsledný tlak působící na nástroj je dán odstředivou silou média v kontejneru, rychlostí rotace kontejneru a hloubkou zanoření nástroje.

Obrobek může být nakloněn pod různými úhly a může rotovat kolem své osy. Proudového omílání se využívá zejména pro omílání dlouhých vrtacích nástrojů, kdy je problematické omílit povrch šroubové drážky rovnoměrně v celé její délce.



Obrázek 2-12: stroj OTEC pro proudové omílání [24]

3 Vlečné omílání

Metoda vlečného omílání je vhodná zejména pro ty součásti, u nichž by mohlo dojít jejich vzájemným kontaktem k jejich poškození. Používá se zejména pro jemné broušení a leštění. Součásti jsou upevněny ve speciálních držácích, které zabraňují jejich kontaktu. Držáky jsou ponořeny do nádoby s mlecím granulátem a jsou unášeny vysokou rychlostí a vykonávají planetový pohyb. Tento pohyb zaručuje stejné podmínky pro všechny obrobky. Při tomto pohybu vzniká mezi omílacím médiem a obrobkem vysoký měrný tlak a dochází k abrazivnímu obrábění povrchu. Na intenzitu a výsledky procesu vlečného omílání má vliv hned několik parametrů. Jejich vzájemnou kombinací lze dosáhnout různých výsledků procesu omílání.

Příklady použití vlečného omílání:

- ortopedické implantáty
- frézovací nástroje
- vrtací nástroje
- kulové čepy
- hodinková pouzdra

Hlavní vliv na výsledný povrch po omílání mají tyto parametry:

- typ média
- doba omílání
- rychlost
- dráha vlečení a rotace
- hloubka ponoření
- natočení držáku nástroje



Obrázek 3-1: stroj pro vlečné omílání [24]

Typ média – Správně zvolené médium pro proces omílání je důležitým parametrem, který dokáže výrazně ovlivnit čas omílání a jeho výsledky. Základní rozdělení médií je na brousící a leštící. Platí obecné pravidlo, že čím je menší zrnitost média, tím má větší leštící účinky a naopak menší brusné účinky. Základními ovlivňujícími faktory jsou velikost zrna, tvrdost a hustota média. Médium se skládá z vlastních zrn granulátu a ve většině případů bývá doplněno o další přísady, jako jsou drobné částice SiC, leštící diamantová pasta nebo přísady pro protikorozi ochranu obrobku. Poměr a druh těchto přísad je rozdílný v závislosti na granulátu a vlastní aplikaci omílacího procesu.

TZM médium

Toto médium je tvořeno polyurethanovými tělísky definovaného tvaru, které obsahují jako abrazivo prášek SiC. Používá se pro zaoblení řezné hrany nástrojů, má vyšší schopnost úběru oproti jiným mediím a výsledný povrch má vyšší drsnost.



Obrázek 3-2: TZM médium [24]

Katedra technologie obrábění

QZ W médium

Médium z bílého korundu, který se vyrábí v několika zrnitostech od 0,5 do 3mm. Je velmi abrazivní, používá se pro větší úběr materiálu, zejména pro úpravu slinutých karbidů, kdy je požadováno větší zaoblení řezné hrany.



Obrázek 3-3: QZ W médium [24]

H médium

Médium je tvořeno drcenými ořechovými skořápkami různé velikosti zrna od 0,2 do 6mm. Granulát je impregnován brusnou pastou, nebo leštící pastou. Pro jeho nízký úběr materiálu je vhodný zejména pro malá zaoblení hrany, leštění nástrojů z HSS.



Obrázek 3-4: H médium [24]

HSC médium

Médium je tvořeno drcenými ořechovými skořápkami o velikosti zrna od 0,2 do 5mm.

Je impregnovaný práškem SiC o zrnitosti cca 212 μ m. Používá se pro leštění nástrojů z HSS, SiC, nástrojů po depozici na odstranění dropletů, úpravu mikrogeometrie a zaoblování řezné hrany do 20 μ m. Výsledný povrch má drsnost R_z0,5. Rychlost procesu omílání je ovlivněna zrnitostí zvoleného média.



Obrázek 3-5: HSC médium [24]

M médium

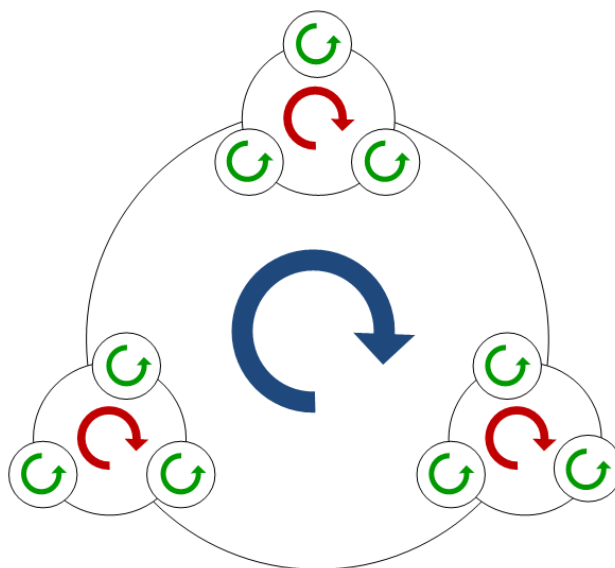
Médium je tvořeno mletými kukuřičnými obálkami velikosti zrna 0,8 až 1,3mm a přísadou leštícího prášku. Má velmi nízký úběr materiálu. Používá se pro dosažení zrcadlového lesku a pro finální dokončení nástrojů a medicínských implantátů. [23]

Katedra technologie obrábění

Doba omílání – Čas, který stráví nástroj v procesu omílání, ovlivňuje výslednou velikost zaoblení břitu a také výsledný stav povrchu. Průběh času, po který je nutné břit omílat pro dosažení požadovaného zaoblení, nemá lineární charakter. Zatímco pro dosažení malého rádiusů do 6 μm postačí čas okolo 1 minuty, tak pro zaoblení 20 μm a větší je potřeba čas v řádu desítek minut. Toto tvrzení platí za předpokladu, že je použito stejné médium. Pro snížení omítacího času při požadavcích velkého zaoblení hrany lze použít jiný typ média s větší schopností úběru.

Rychlost – Rychlost, jakou je obrobek vlečen médiem, má vliv na intenzitu omílání a na rovnoměrnost omletí. Obecně platí, že větší rychlosti mají za následek rychlejší omletí zejména na exponovaných hranách. Avšak vysoká rychlost obrobku vůči médiu nemusí umožnit médiu dostatečně proniknout do všech míst obrobku, jako jsou např. drážky nebo rohové oblasti. Rychlost pohybu obrobku je tedy nutné volit s ohledem na požadovanou rovnoměrnost omletí a čas trvání procesu omílání.

Dráha vlečení a rotace – Při vlečném omílání se obrobek pohybuje po planetových drahách. Kombinací různých směrů a rychlostí rotace vzniká rozdílná výsledná dráha relativního pohybu obrobku vůči médiu. Médium tak působí na obrobek v rozdílných místech s rozdílným měrným tlakem a intenzitou brusného nebo leštícího účinku. Volba správné kombinace směru rotace a rychlosti má vliv na výsledek procesu omílání. Zejména při omílání řezných hran nástrojů lze kombinací pohybu a rychlosti ovlivnit velikost K faktoru řezné hrany.

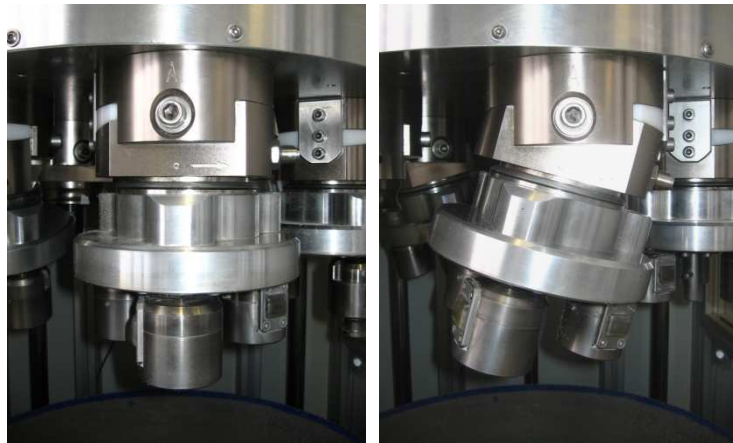


Obrázek 3-6: schéma rotačních pohybů stroje OTEC

Katedra technologie obrábění

Hloubka ponoření – Hloubka ponoření obrobku do média ovlivňuje významně celkovou dobu omílání. Ačkoliv se jedná o sypké médium, lze uplatnit zákonitosti hydrostatického tlaku. Pokud je obrobek ponořen až ke dnu pracovního bubnu, působí na jeho povrchu větší měrný tlak, než kdyby byl ponořen do malé hloubky několika cm. Tento tlak je dále zvýšen o tlak, který vzniká pohybem obrobku v mediu.

Natočení držáku nástroje – Natočení držáku nástroje z tangenciálního směru o definovaný úhel usnadní pohyb média v méně přístupných místech obrobku, neboť může umožnit jeho lepší proudění po povrchu nástroje, a tím zintenzivnit brusný otěr. Tento účinek se využívá zejména u leštění drážek monolitních obráběcích nástrojů např. vrtáků nebo fréz.



Obrázek 3-7: natočení držáku nástrojů

4 Mikrogeometrie řezné hrany

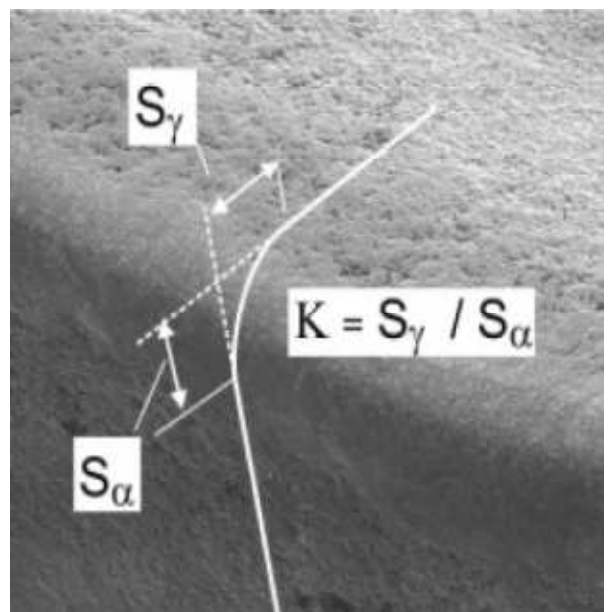
Mikrogeometrie řezné hrany je pojem, který se začal používat až v posledních deseti letech. Před výrobce nástrojů byly kladeny požadavky na výkonnější obráběcí nástroje pro stále náročnější aplikace, a proto bylo nutné hledat nová řešení. Na základě mnoha testů trvanlivosti nástrojů a sledování mechanismu otupování břitu bylo zjištěno, že výsledný stav povrchu nástroje je významný faktor ovlivňující trvanlivost. Na základě tohoto zjištění byla pozornost zaměřena také na samotnou řeznou hranu. Možnosti výzkumu mikrogeometrie řezné hrany také umožnil obrovský rozmach v oblasti měřicí techniky, díky které bylo možné začít odpovědně vyhodnocovat mikrogeometrii v řádech μm .

Skutečný geometrický tvar břitu nástroje, tak jak je vyroben, neodpovídá svému teoretickému modelu a řezná hrana není dokonale ostrá, ale je tvořena členitým povrchem s defekty. Takováto plocha na řezné hraně nemůže dlouhodobě snášet zatížení řezným odporem a dříve nebo později dojde k rozvoji poškození. Avšak díky procesu úpravy břitu nástroje lze tyto defektní tvarové plochy vyhladit při vzniku spojitě tvarové zaoblení plochy, která plynule přechází v plochu čela a hřbetu. Tuto plochu lze charakterizovat jejími rozměry. Komplexně se toto hodnocení geometrického tvaru řezné hrany nástroje nazývá K faktor.

4.1 K faktor a zaoblení břitu

K faktor je bezrozměrný a vyjadřuje symetrii profilu ostří. Je popsán velikostí zaoblení na čele a na hřbetu pomocí hodnot S_γ a S_α .

Tyto hodnoty v μm udávají vzdálenost počátku zaoblení břitu od teoretické řezné hrany. S_γ je vzdálenost na čele nástroje, S_α pak na hřbetě. V praxi mohou nastat tři varianty zaoblení břitu. Pokud je K faktor roven 1, potom se jedná o symetrické ostří, tzv. "100% rádius". Pokud S_γ větší než S_α , pak zaoblení zasahuje více na plochu čela břitu a K faktor je větší než 1. Tento typ zaoblení je v literatuře nazýván jako "trumpetovitý". V opačném případě, kdy zaoblení zasahuje více na plochu hřbetu, je poměr menší než 1 a je označován jako "vodopád".



Obrázek 4-1: K faktor na řezné hraně [2]

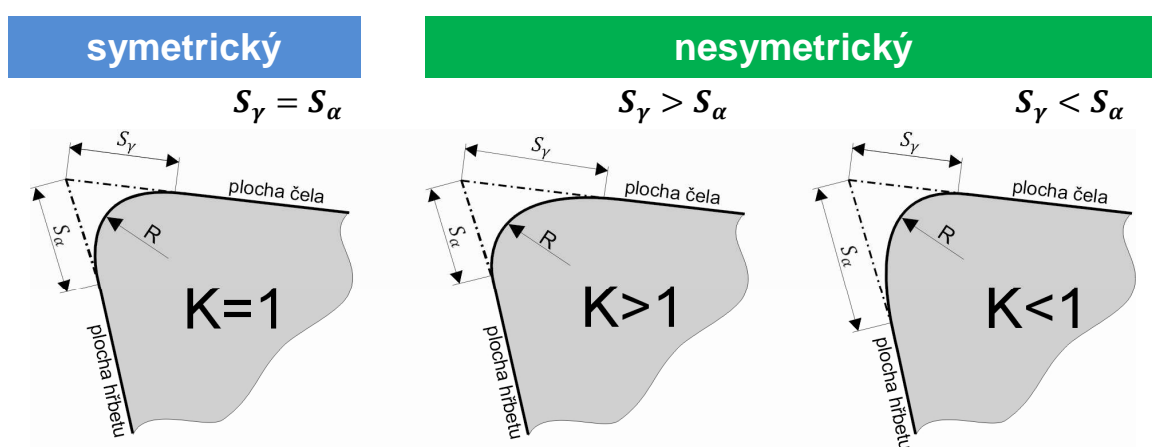
Katedra technologie obrábění

K faktor vypočteme podle následujícího vztahu:

$$K = \frac{S_\gamma}{S_\alpha} [-] \quad [2] \quad (1)$$

Symetrický rádius řezné hrany je popsán Střední velikostí zaoblení břitu \bar{S} , která je aritmetickým průměrem z hodnot S_γ a S_α .

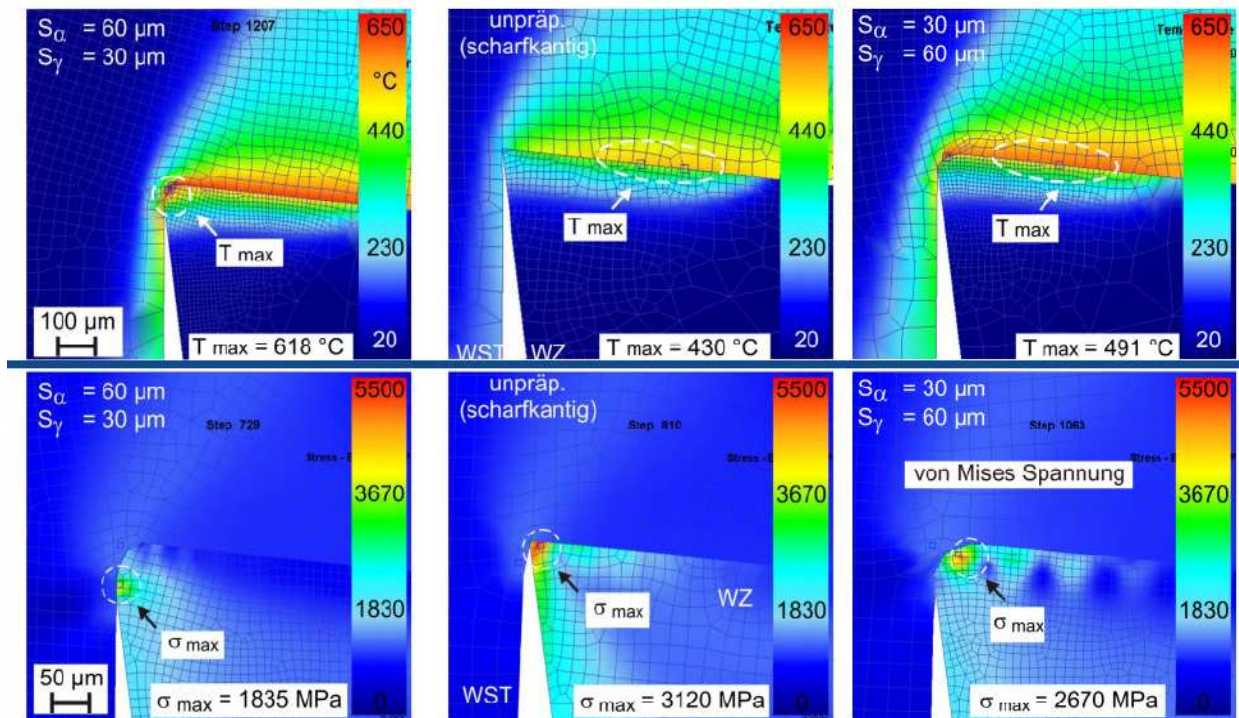
$$\bar{S} = (S_\gamma + S_\alpha) / 2 [\mu m] \quad [2] \quad (2)$$



Obrázek 4-2: Varianty zaoblení břitu

Rozdílná velikost a tvar zaoblení řezné hrany má vliv na proces obrábění a to v kladném i záporném smyslu. Tyto vlivy byly zkoumány pomocí numerických simulací. Bylo zjištěno, že K faktor je závislý na typu nástroje dle způsobu obrábění, na vlastnostech substrátu nástroje a na tom, zda se jedná o přerušovaný nebo nepřerušovaný řez. [2]

Dále bylo zjištěno, že K faktor má přímý vliv na teplotní a silové zatížení nástroje. Pokud je $K < 1$, tak vzrůstá teplota na špičce nástroje a oblast maximálního napětí v nástroji se přesouvá směrem od špičky nástroje na plochu hřbetu. Dochází tak k většímu opotřebení na hřbetě VB. Naproti tomu, pokud je $K > 1$, tak největšího teplotního zatížení je dosaženo na čele nástroje a silově je nejvíce namáhána oblast na čele břitu těsně u špičky a dochází zde k intenzivnějšímu opotřebení čela KT. [2]



Obrázek 4-3: simulace teplotního a silového zatížení břitu [2]

V porovnání s neupravenou mikrogeometrií břitu je největší silové zatížení právě neupraveného břitu, kdy se napětí koncentruje na malé ploše řezné hrany. Zároveň je však neupravený břit nejméně teplotně zatížen, neboť odřezávaný materiál není tolik protvářen vlivem malého zaoblení řezné hrany. Takovýto břit však nemůže snést dlouhodobé silové zatížení a musí dojít k jeho poškození.

4.2 Způsoby měření zaoblení břitu a struktury povrchu

Měření struktury povrchu a zaoblení břitu představuje specifickou oblast v oboru metrologie, kdy jsou tyto parametry měřeny zvláštní metodikou pomocí jednoúčelových měřících zařízení. Toto měření je natolik specifické, že sami výrobci měřících zařízení se často podílejí na tvorbě metodiky měření, vyhodnocování a velmi často jsou zákazníkem požadovány aplikace přímo na konkrétní případ.

Základem měření drsnosti povrchu je měření pomocí tzv. profilové metody, kdy snímač snímá profil měřeného povrchu, který je převáděn na digitální data na výstupu z měřícího zařízení. Tato data představují hodnoty v jednom řezu měřeného povrchu. V závislosti na konstrukci měřícího zařízení a jeho příslušenství a použitého softwaru je možné s daty dále pracovat a dále vyhodnocovat měřený povrch.

Katedra technologie obrábění

Kvalitu povrchu lze hodnotit z hlediska jeho prostorového geometrického uspořádání, které je vyjádřeno právě drsností. Dále lze povrch hodnotit z hlediska chemických a fyzikálních vlastností povrchové vrstvy. V oblasti výroby řezných nástrojů však bude mít vždy největší význam drsnost povrchu, neboť ta má přímý vliv na kohezní vlastnosti substrátu a tenké vrstvy a adhezní vlastnosti povrchu nástroje materiálu obrobku.

Pro měření zaoblení řezné hrany a měření drsnosti povrchu je nutné mít k dispozici vhodné měřicí zařízení. Pro měření drsnosti povrchu jsou to tzv. drsnoměry. Měření drsnosti lze rozdělit na dotykové a bezdotykové měření. Při dotykovém měření se po měřeném povrchu pohybuje tzv. dotyk drsnoměru, který svým hrotem snímá povrch. Signál ze snímače je zpracován pomocí softwaru měřicí sestavy a výsledkem jsou hodnoty drsnosti, popř. grafické znázornění profilu drsnosti. Pro měření kvality povrchu jsou k dispozici přenosné přístroje, stacionární přístroje i přístroje se širokou variabilitou nastavení a příslušenství na bázi PC.

Při bezdotykovém měření drsnosti je měřený povrch snímán zaostřenou měřicí hlavou. Bezdotykovým snímáním lze nahradit dotykové snímání zejména při měření povrchů citlivých na mechanické poškození, nebo při měření tvarově složitých komponent. Bezdotykové optické měřicí přístroje mají velmi vysokou přesnost a využívají specializovaný vyhodnocovací software, díky kterému lze také vytvořit model řezné hrany a zjistit zaoblení v libovolném počtu řezů.

Bezdotykové 3D měření nachází své uplatnění právě při měření mikrogeometrie řezné hrany, kdy lze při použití speciálního softwaru získat snadno a rychle jak charakteristiky drsnosti povrchu, tak informace o tvaru zaoblení řezné hrany, které může být pro ideální představu o stavu řezné hrany doplněno 3D modelem.

5 Návrh experimentu

Cílem experimentu je zjistit chování omílacího procesu při změně jeho parametrů a vliv změny parametrů na kvalitativní a kvantitativní výsledky tohoto procesu. Sledovány byly především tyto parametry:

- zaoblení řezné hrany
- velikost zaoblení v závislosti na čase omílání
- vliv nastavení parametrů procesu omílání na změnu K faktoru
- porovnání různých typů médií z hlediska dosažené drsnosti povrchu
- porovnání technologie vlečného a proudového omílání

V rámci řešení diplomové práce proběhla návštěva ve firmě OTEC Präzisionsfinish GmbH v Německu, která je předním světovým výrobcem zařízení pro omílání. Vzorky, na kterých byly testy prováděny, poskytla firma HOFMEISTER s.r.o.

5.1 Použité stroje, zařízení a vzorky

Jako vzorky nástrojů, na kterých probíhalo testování vlečného omílání, posloužily dvoubřité frézy z SK. Pro omílání byla využita zařízení OTEC DF 6 Tools a SF 1/1-68. Zaoblení řezné hrany a velikost K faktoru byly měřeny na 3D optickém mikroskopu Alicona Infinite focus.

5.1.1 Omílací zařízení OTEC DF6 Tools

Omílací zařízení DF6 Tools od společnosti OTEC Präzisionsfinish GmbH je zařízení určené pro vlečné omílání nástrojů (tzv. dragfinishing). Hlavní oblastí využití tohoto omílacího zařízení je úprava zaoblení řezné hrany, leštění povrchu frézovacích a vrtacích nástrojů, odstranění dropletů po povlakování, odstranění otřepů u nástrojů z HSS. Stroj je tvořen nosnou konstrukcí rámu, řídicí jednotkou, uzavřeným pracovním prostorem, ve kterém se nachází buben s pracovním médiem a rotor s držáky.

Tabulka 5-1: Technické parametry DF6 [23]

rozměry	1300*1150*2010
objem pracovního bubnu	114 l
hmotnost	810 kg
maximální hloubka ponoření	250 mm
počet držáků	6
maximální průměr nástroje	210 mm
maximální hmotnost obrobku	6*15 kg
počet upínačů	24/36
maximální průměr nástroje v upínači	82 mm 55mm
maximální hmotnost nástroje v upínači	0,5 kg 2,0 kg
napětí	400 V
výkon	3,5 kW

Katedra technologie obrábění

Stroj je vybaven řídicí jednotkou Siemens S7/200, která je vybavena dotykovou obrazovkou pro zadávání parametrů nastavení stroje. Nastavené programy lze uložit do paměti řídicí jednotky. Základní nejdůležitější parametry nastavení stroje jsou zobrazeny v přehledu na obrazovce řídicí jednotky.

základní parametry:

- procesní čas rotace celkový [min, sec]
- procesní čas rotace doprava [min, sec]
- procesní čas rotace doleva [min, sec]
- rychlost rotoru
- rychlost držáku
- provozní režim
- hloubka zanoření
- Pozn.: U zařízení lze mechanicky nastavit naklopení osy držáků o úhel 0 – 15°



Obrázek 5-1: přehledové zobrazení nastavených parametrů



- | | |
|-------------------------------|----------------------------|
| 1- Spínací skříň | 5- Rotor |
| 2- Dotyková obrazovka | 6- Držák nástrojů |
| 3- Hlavní vypínač | 7- Adaptéry s nástroji |
| 4- Hlavní motor s převodovkou | 8- Pracovní buben s médiem |

Obrázek 5-2: omílací zařízení DF5 [24]

Katedra technologie obrábění

5.1.2 Omílací zařízení OTEC SF 1/1-68

Omílací zařízení SF 1/1-68 od společnosti OTEC Präzisionsfinish GmbH je zařízení určené pro proudové omílání nástrojů (tzv. streamfinishing), kde je nástroj omílán proudem média, které je unášeno pomocí odstředivé síly. Hlavní oblastí využití tohoto omítacího odstředivého zařízení je úprava zaoblení řezné hrany, leštění povrchu frézovacích a vrtacích nástrojů, odstranění dropletů po povlakování. Lze jej však uplatnit i na jiné obrobky než je úprava řezných nástrojů. Stroj je tvořen

nosnou konstrukcí rámu, která tvoří skříň celého stroje, řídicí jednotkou, uzavřeným pracovním prostorem ve kterém se nachází rotující buben s pracovním médiem a rotující držák. Stroj je vybaven jedním hlavním pohonem a dvěma pomocnými. Hlavní pohon pohání rotaci kontejneru s médiem. Vedlejší pohony pak zajišťují rotaci držáku a vertikální pohyb držáku, který zanořuje obrobek do média. Stroj je vybaven řídicí jednotkou Siemens S7-1200 s dotykovou obrazovkou.

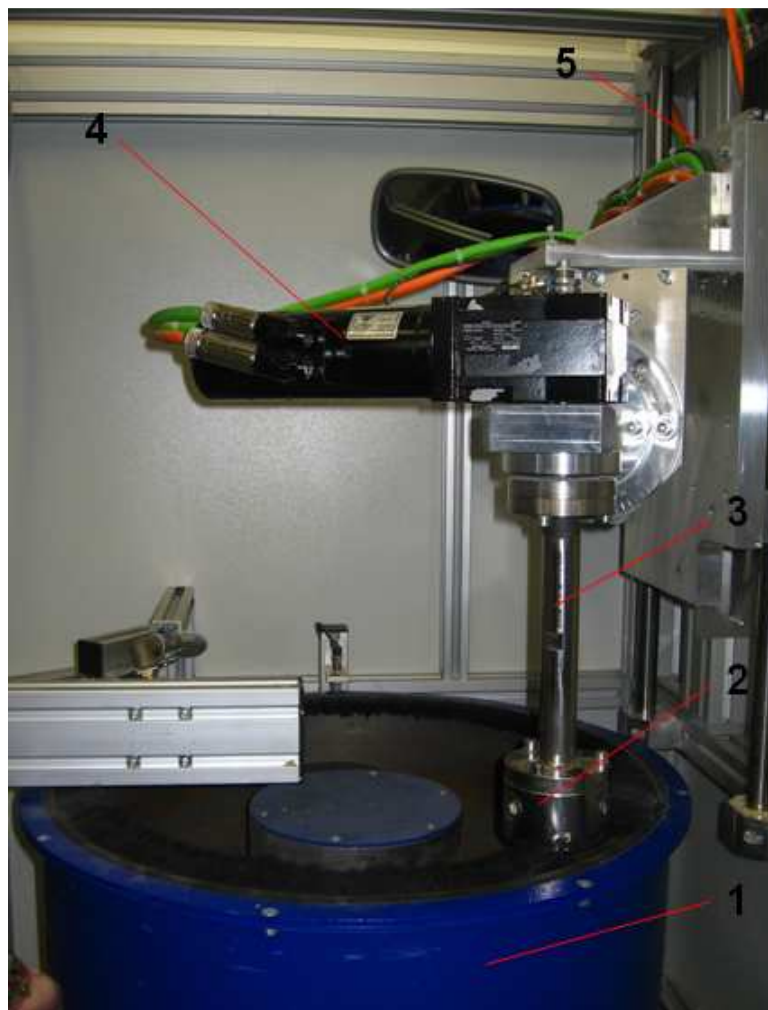
Tabulka 5-2: Technické parametry SF 1/1-68 [24]

rozměry	1622*1210*2100 mm
hmotnost	600 kg
napětí	400 V
počet držáků	1
průměr bubnu	680 mm
maximální délka nástroje v upínači	400 mm
maximální délka nástroje s bubnem výšky 350 mm	250 mm
maximální hmotnost nástroje i s upínačem	12 kg
maximální průměr upínacího pouzdra	max. 13mm
max. průměr tříčelistového sklíčidla	max. 50 mm
výkon	4,2 W

základní parametry:

- procesní čas rotace celkový [min, sec]
- procesní čas rotace doprava [min, sec]
- procesní čas rotace doleva [min, sec]
- rychlost rotace bubnu
- rychlost rotace držáku
- rychlost zanoření
- provozní režim
- hloubka zanoření

Pozn.: U zařízení lze mechanicky nastavit naklopení osy držáku o úhel 0 – 35°



Obrázek 5-3: proudové omílací zařízení SF 1/1-68

- | | |
|----------------------------|------------------------|
| 1- pracovní bubna s médiem | 4- pohon držáku |
| 2- sklíčidlo s nástrojem | 5- pohon zdvihu držáku |
| 3- držák | |



Obrázek 5-4: proudové omílací zařízení SF 1/1-68 v chodu

Katedra technologie obrábění

5.1.3 Alicona Infinite focus [25]

Alicona Infinite Focus je optický 3D měřicí přístroj pro zajišťování kvality v oblasti mikro a nano rozsahu. Poskytuje všechny funkce pro měření rozměru, povrchové analýzy a charakterizace. Umožňuje měření geometrie se strmými boky, povrchů s vysoce reflexními vlastnostmi, drsnost povrchu a to s vertikálním rozlišením až 10 nm, takže přístroj je ideální pro studium povrchu materiálů. 3D měření se provádí přímo v optickém obrazu.

3D optický mikroskop Infinite focus pracuje na principu změny ohniskové vzdálenosti. Kombinuje malou hloubku ostrosti optického systému při vertikálním pohybu a změnu topografické a barevné informace při změně zaostření. Pomocí algoritmů jsou pak tyto informace přeneseny do formy 3D dat s přesným topografickým umístěním.

Zařízení je schopno měřit nástrojové úhly (úhel čela, úhel hřbetu, úhel břitu), zaoblení řezné hrany, drsnost povrchu řezné hrany, drsnost povrchu.

Zařízení není citlivé na pracovní prostředí, nepotřebuje dodatečné stínění světla z okolí. Výstup naměřených dat může být v podobě grafiky zobrazené na obrazovce, nebo automaticky tištěného protokolu. [25]



Obrázek 5-5: 3D měřicí zařízení Alicona Infinite focus [25]

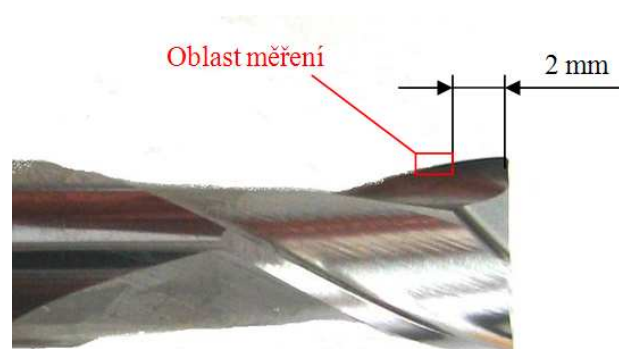
Katedra technologie obrábění

5.1.4 Dvoubřitá fréza z SK

Testování procesu omílání řezných nástrojů bylo prováděno na vzorcích, které dodala firma Hofmeister s.r.o. Jako vzorky posloužily monolitní dvoubřité čelní válcové frézy z SK o průměru $D=8\text{mm}$. Geometrie fréz byla zvolena pozitivní s ohledem na jejich použití pro frézování slitiny Inconel 718. Tato superslitina se vyznačuje vysokým obsahem Ni a Cr a díky jejich vysokému obsahu se při teplotním zatížení povrchu vytvoří pasivační vrstva, která chrání povrch slitiny před nepříznivými vlivy prostředí. Inconelové slitiny jsou velmi obtížně obrobitelné konvenčními metodami kvůli svým vynikajícím mechanickým vlastnostem a zejména díky zpevňování obrobeného povrchu, vlivem působení tepla vzniklého při obrábění. Na obrázku 6-9 je znázorněna oblast na břitu nástroje kde probíhalo měření drsnosti funkčních plocha zaoblání řezné hrany. Tato oblast je vybrána záměrně s ohledem na řezné podmínky, při kterých budou nástroje testovány, kdy bude hloubka řezu a_p právě 3mm.



Obrázek 5-7: dvoubřitá monolitní fréza z SK $D=8\text{mm}$



Obrázek 5-8: oblast měření břitu nástroje

6 Experiment

Vlastní provedení experimentu je rozděleno do několika částí., které se zabývají jednotlivými aspekty procesu omílání. Výsledky těchto dílčích testů je ovšem nutné chápat v kontextu s ostatními testy, neboť spolu vzájemně souvisí.

Rozdělení experimentu:

- Velikost zaoblení řezné hrany v závislosti na čase omílání
- Vliv nastavení parametrů procesu omílání na K faktor
- Porovnání různých médií z hlediska dosažené drsnosti povrchu
- Porovnání technologií vlečného a proudového omílání

6.1 Zaoblení řezné hrany v závislosti na čase omílání

Na začátku experimentu je nutné zvolit počet nástrojů. Který bude pro testování potřebný. Pro testování vlivu nastavení procesu omílání bylo použito celkem 32 nástrojů a dvě varianty nastavení. Počet nástrojů byl volen s ohledem na počty kusů potřebných pro testy vlečného omílání, ale také s ohledem na testy řezivosti, pro které jsou vyrobené nástroje podkladem a některé z nich budou dále ještě upravovány depozicí tenké vrstvy.

Tabulka 6-1 :počet nástrojů

	varianta 1	varianta 2
velikost zaoblení [μm]	počet nástrojů	počet nástrojů
5	2	2
10	2	2
15	8	8
20	2	2
25	2	2
Σ	32	

Volba parametrů procesu omílání závisí na konkrétní aplikaci. Je ovšem nutné zajistit dostatečný relativní pohyb mezi médii a omílaným povrchem a zároveň dostatečný tlak mezi médii a povrchem. Intenzitu omílání lze tedy posuzovat z hlediska dynamického a statického. Kdy dynamickou složkou je vzájemný relativní pohyb mezi médii a povrchem, statickou složkou pak tlak mezi částicemi média a povrchem daný hloubkou zanoření nástroje do média.

Katedra technologie obrábění

Pro testování vlivu nastavení řezného procesu bylo použito dvou variant nastavení viz. tabulka 6-2 a 6-3. Parametry varianty 1 byly zvoleny na základě jejich obvyklého použití v průmyslové praxi. Parametry varianty 2 pak byly zvoleny na základě doporučení výrobce omílací technologie. Parametry varianty 1 a 2 se tedy odlišují pouze v hloubce zanoření nástroje do média. Vždy po uplynutí procesního času 5 minut byl nástroj změřen, aby bylo možné mapovat průběh procesu omílání.

Tabulka 6-2 :Nastavení procesních parametrů varianta 1

	směr otáčení		
	doleva	doprava	
Rychlost rotoru	45	45	ot/min
Rychlost rotoru	8	22	ot/min
Hloubka zanoření	390		mm
Procesní čas	5		min

Tabulka 6-3 :Nastavení procesních parametrů varianta 2

	směr otáčení		
	doleva	doprava	
Rychlost rotoru	45	45	ot/min
Rychlost rotoru	8	22	ot/min
Hloubka zanoření	440		mm
Procesní čas	5		min

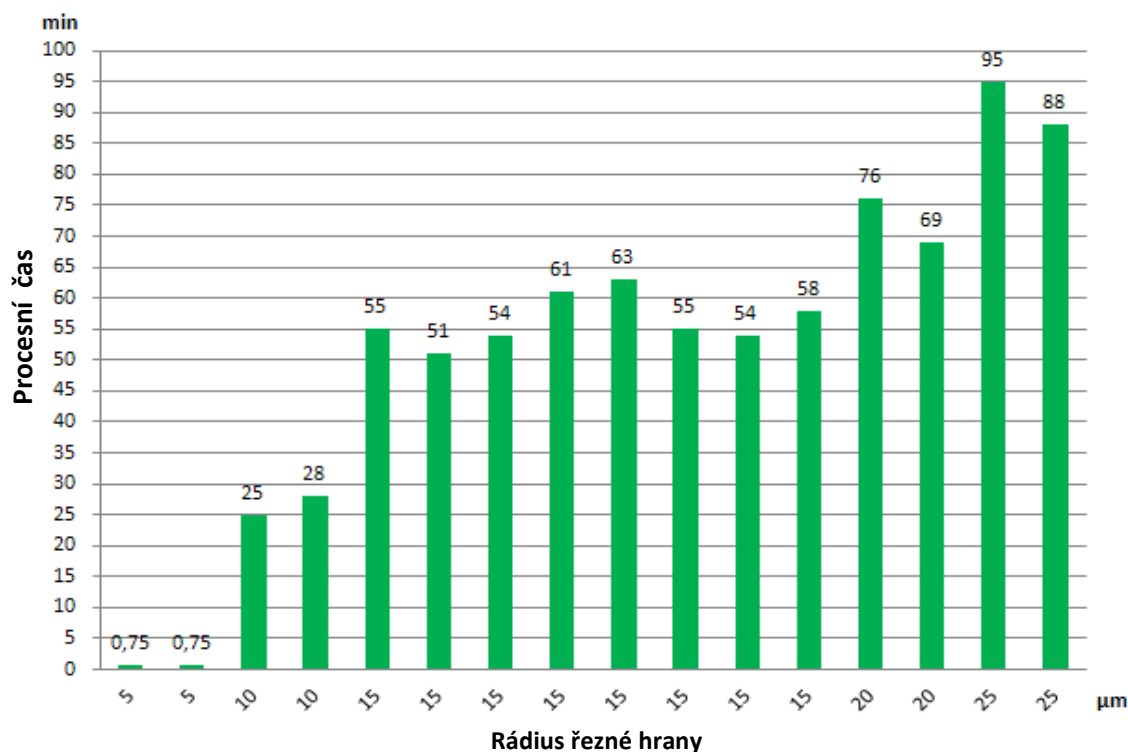
Hodnoty hloubky zanoření ve výše uvedených tabulkách jsou hodnoty nastavení stroje a jedná se o celkovou dráhu pohybu rotoru s nástroji. Reálná hloubka zanoření do média pro variantu 1 je cca 10 cm a pro variantu 2 pak cca 15 cm. Reálná hloubka zanoření je pouze přibližnou hodnotou, neboť závisí na správném množství média v kontejneru.



Obrázek 6-1: nástroj s držákem zanořený do média

V grafu 6-1 jsou zobrazeny procesní časy v minutách omílání při použití varianty 1. Je zřejmé, že s narůstající velikostí rádiusu narůstá procesní čas. Pro omílání bylo zvoleno médium HSC 1/300, které je určeno právě pro omílání nástrojů z SK a pro velikost rádiusu od 5 do 20 μm .

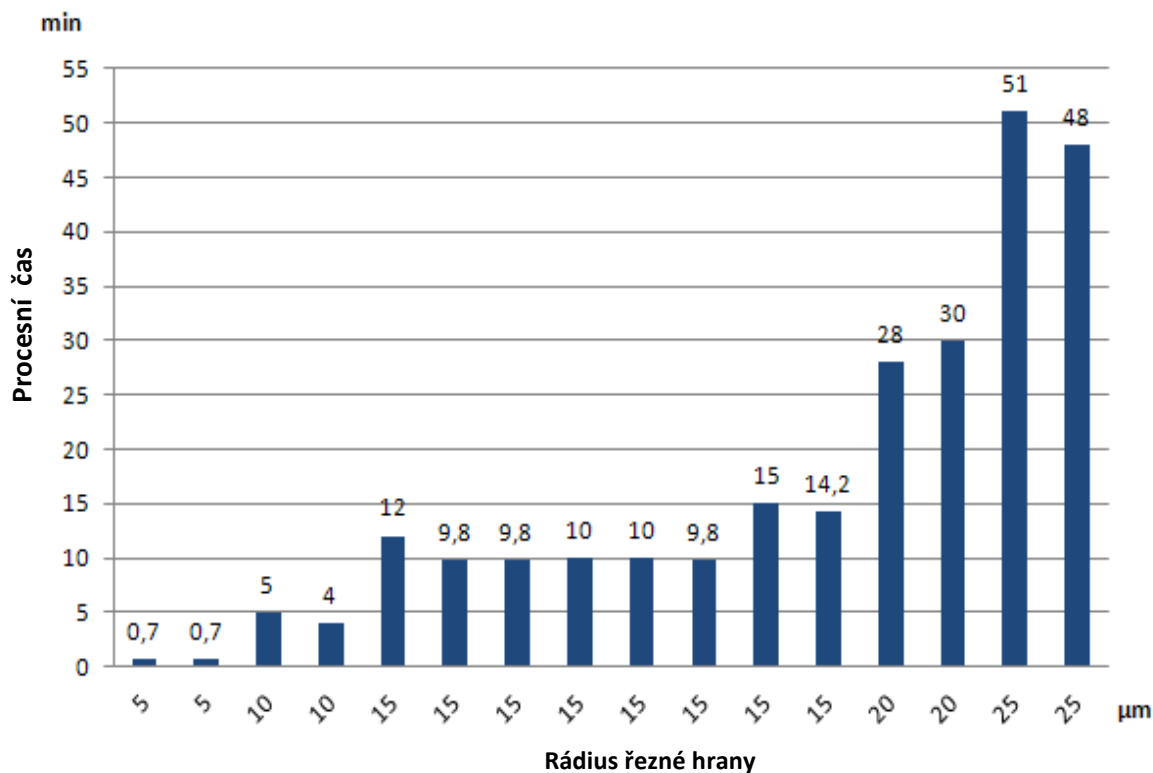
V těchto mezích velikosti rádiusu řezné hrany je použití média nejefektivnější. Avšak pro větší zaoblení řezné hrany (nad 20 μm a více) již ztrácí schopnost úběru a dochází k neúměrnému nárůstu procesních časů. Cílem je ovšem dosáhnout požadovaného zaoblení v co nekratším čase a v požadované kvalitě.



Graf 6-1: procesní časy pro nastavení varianty 1

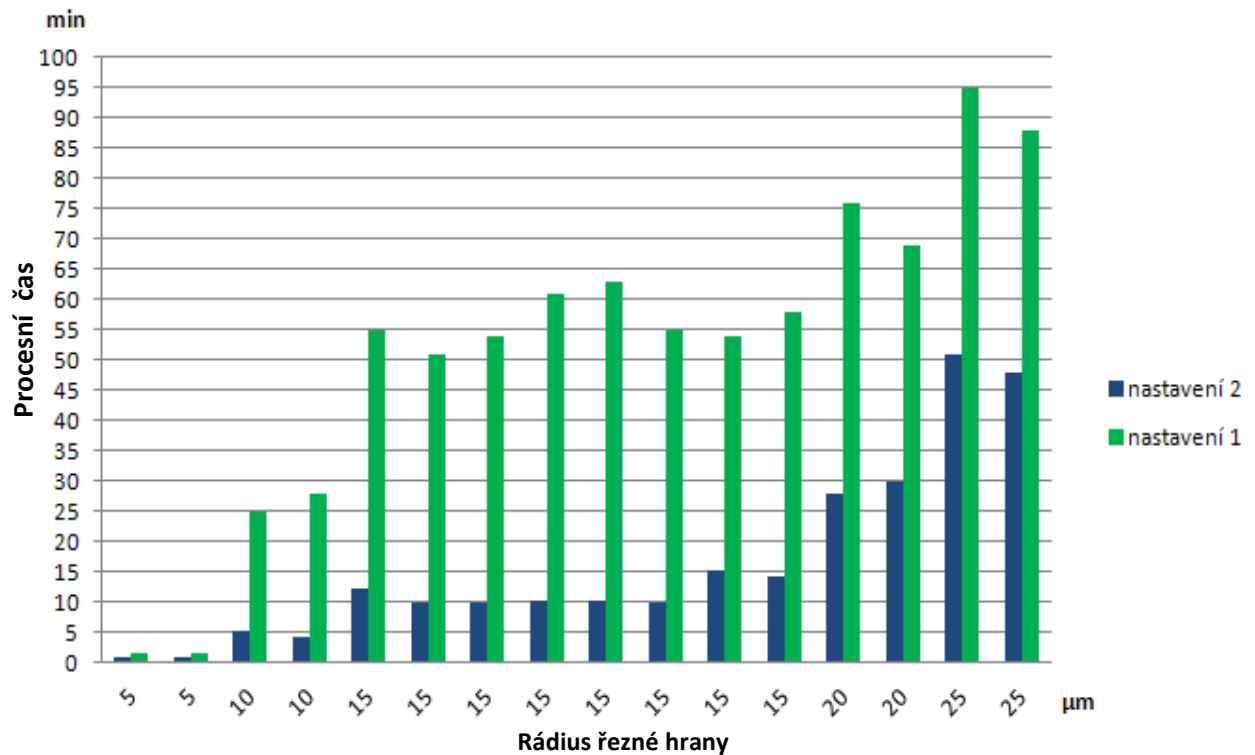
Katedra technologie obrábění

V grafu 6-2 jsou zobrazeny procesní časy omílání v minutách při použití varianty 2, která se liší pouze hloubkou zanoření nástroje do média. Díky větší hloubce zanoření působí na nástroj větší hydrostatický tlak média. Tlak mezi povrchem nástroje a částicemi média je tedy větší a proces omílání povrchu intenzivnější. Z kvalitativního hlediska je pak omletí povrchu rovnoměrnější a to při nižších procesních časech.



Graf 6-2: procesní časy pro nastavení varianty 2

Graf 6-3 zobrazuje porovnání varianty 1 a varianty 2 z hlediska procesních časů. U varianty dva je zřetelně vidět míra časové úspory při omílání. Ta je dána větší hloubkou zanoření do média a tedy intenzivnějším omíláním díky většímu působícímu tlaku.



Graf 6-3: procesní časy pro nastavení varianty

Tabulka 7-1 zobrazuje průměrné snížení procesního času pro každou velikost rádiusu. Největšího snížení bylo dosaženo pro rádiusy 10 a 15μm, kdy bylo dosaženo snížení času o 83 a 80%. V minutách se jedná o snížení procesních časů o 45 a 52,5 minut.

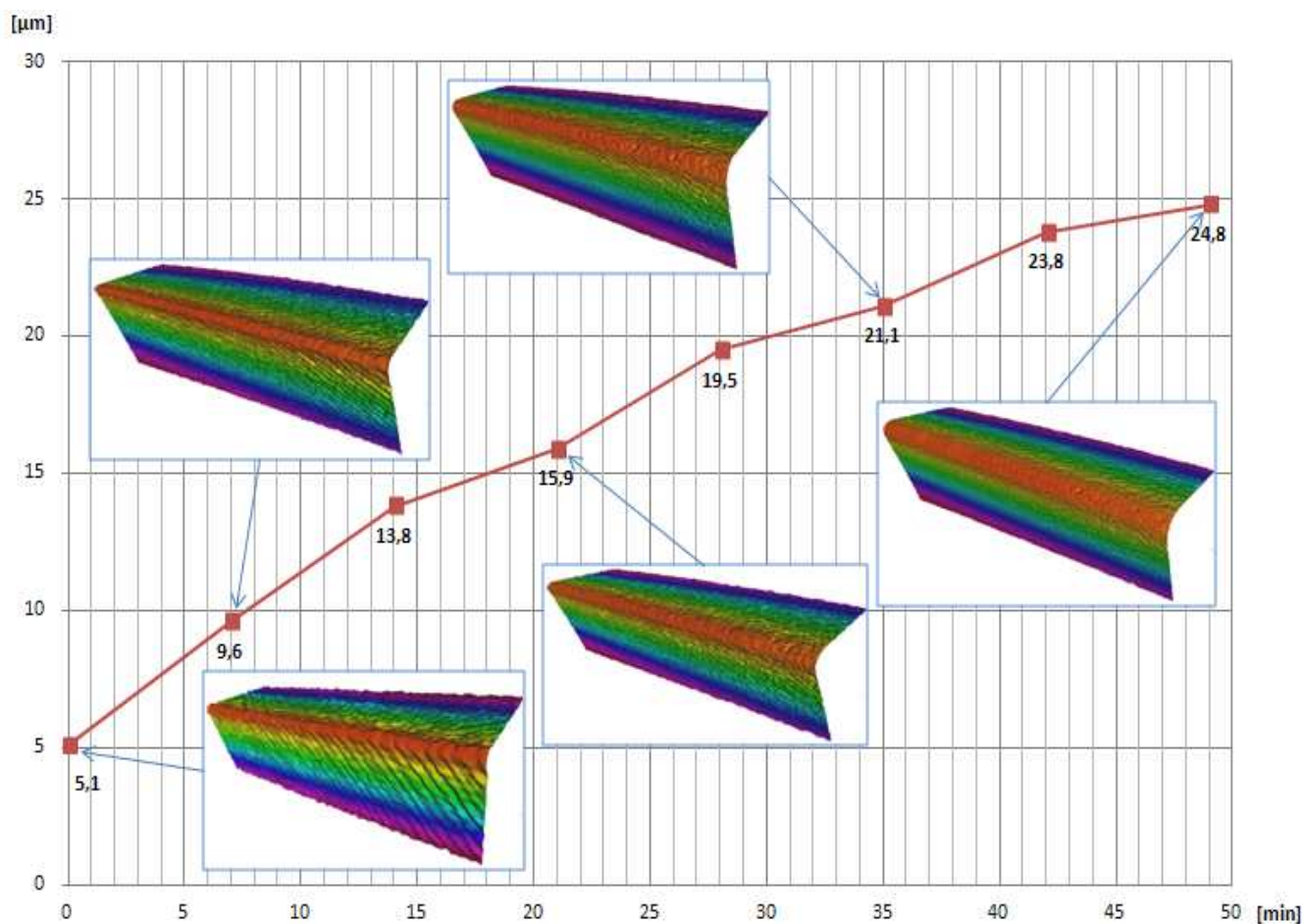
Tabulka 6-4 :Porovnání procesních časů

rádus [μm]	průměrný procesní čas [min]		snížení času [%]	snížení času [min]
	varianta 1	varianta 2		
5	0,75	0,7	-6,7	-0,1
10	26,5	4,5	-83,0	-22,0
15	56,4	11,3	-80,0	-45,1
20	72,5	20,0	-72,4	-52,5
25	91,5	49,5	-45,9	-42,0

Katedra technologie obrábění

6.1.1 Průběh růstu zaoblení řezné hrany

Na vybraném vzorku byl pozorován průběh zaoblení břítu nástroje. Jako výchozí vzorek byl použit nástroj s broušeným a lapovaným povrchem se vstupním rádiusem 5,1 μm . V grafu je patrný strmý nárůst velikosti rádiusu na začátku procesu omílání, v jeho konečné fázi je naopak vidět pokles intenzity omílání a snížení rychlosti růstu zaoblení. Z příložených obrázků v grafu je vidět průběh růstu zaoblení a také vyhlazování stop na povrchu břítu, které vznikly při předchozí technologii broušení. Na obrázku břítu se zaoblením 5,1 μm je možné rozpoznat členitost řezné hrany tvořenou různě vysokými výstupky, které vznikly díky rozdílné hloubce stop po procesu broušení a jejich vzájemnému průniku na řezné hraně. V průběhu omílání dochází postupně k obrušování těchto výstupků přímo na řezné hraně, ale také k zahlazování stop na ploše čela a hřbetu a tedy ke zlepšení drsnosti těchto ploch.

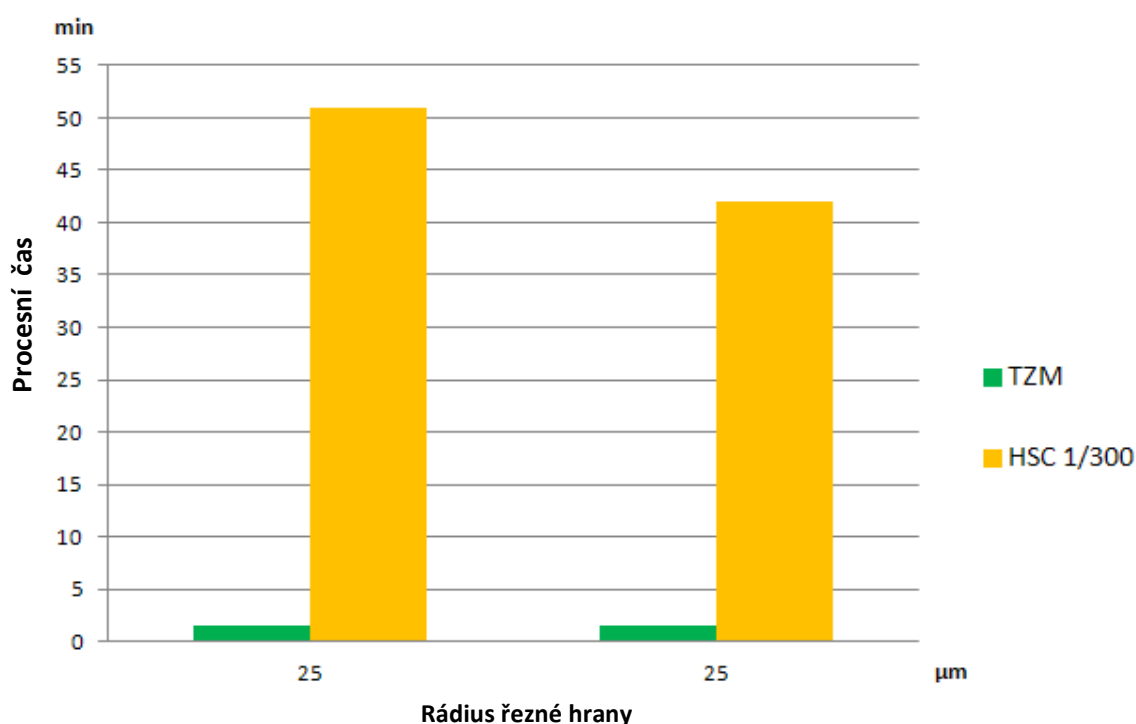


Graf 6-4: časový průběh zaoblení břítu

Katedra technologie obrábění

6.1.2 Porovnání různých typů médií

Pro omílání řezných hran nástrojů z SK je primárně určeno médium HSC 1/300 tvořené drcenými ořechovými skořápkami o velikosti 0,8 až 1,3 mm a částicemi SiC. Toto médium je určeno pro zaoblování hran do velikosti rádiusu 20 až 25 μm . Při jeho použití pro větší zaoblení dochází k neúměrnému nárůstu procesního času a rychlost růstu zaoblení klesá. Jeho vhodnou alternativou při požadavku většího zaoblení řezné hrany je médium TZM, které je tvořeno cylindrickými polyethanovými částicemi plněnými práškem SiC. Tato dvě média byla porovnána z hlediska času potřebného pro vytvoření požadovaného zaoblení řezné hrany. Pro testování byly použity parametry nastavení varianty 2. Proměnnou procesu bylo zvolené médium a sledovaným parametrem procesní čas potřebný pro vytvoření rádiusu 25 μm . Graf 7-5 ukazuje výrazný rozdíl v procesních časech omílání. Při použití média TZM došlo k průměrnému snížení procesního času o 45 minut, což je časová úspora 96,7 %.



Graf 6-5: porovnání procesních časů médií TZM a HSC 1/300

6.1.3 Porovnání technologie vlečného a proudového omílání

V rámci výzkumu procesu omílání bylo přistoupeno k porovnání jednotlivých technologií omílání. Vlečnému omílání je nejvíce podobné omílání proudové. U obou technologií se používají stejná média, přesto však díky kinematice jednotlivých zařízení mohou být výsledky rozdílné. Proto bylo přistoupeno k porovnání těchto technologií a to z hlediska procesních

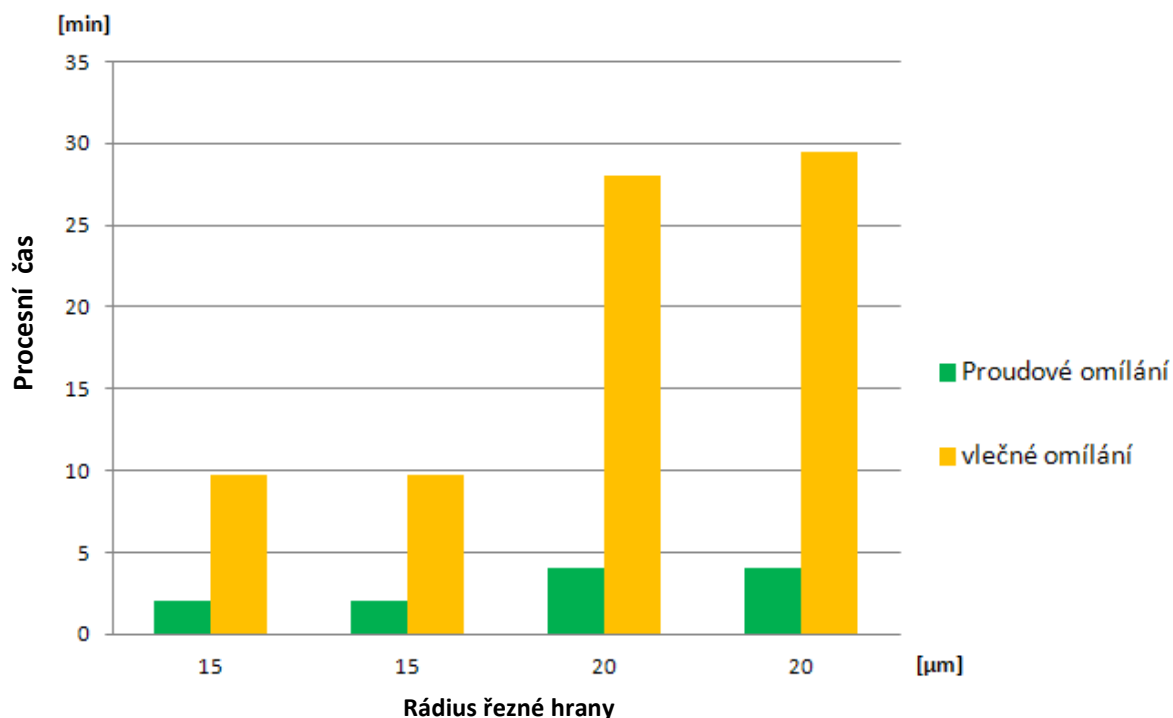
Katedra technologie obrábění

časů a výsledků omílání. Jako omílací médium bylo zvoleno již výše popsané HSC 1/300. Testování proběhlo na strojích DF5 Tools a SF 1/1-68 od firmy OTEC. Pro nastavení procesu byly použity parametry uvedené v tabulce 6-5.

Tabulka 6-5: parametry nastavení procesu vlečného a proudového omílání

Vlečné omílání			proudové omílání		
Hloubka zanoření	270	mm	Hloubka zanoření	440	mm
Procesní čas	2	min	Procesní čas	5	min

Výsledky testů jsou uvedeny v grafu 6-6. Na nástrojích bylo požadováno zaoblení řezné hrany 15 a 20 μm . Od každé varianty byly vždy zhotoveny dva vzorky pro každou velikost rádiusu a použitou technologii. Technologie proudového omílání se ukázala jako progresivnější při zaoblování řezné hrany. Při požadavku rádiusu 15 μm došlo k úspoře času o 7,75 minut a tedy 79 % procesního času, u rádiusu 20 pak došlo k úspoře času 24,7 minut, tedy 86 % procesního času.

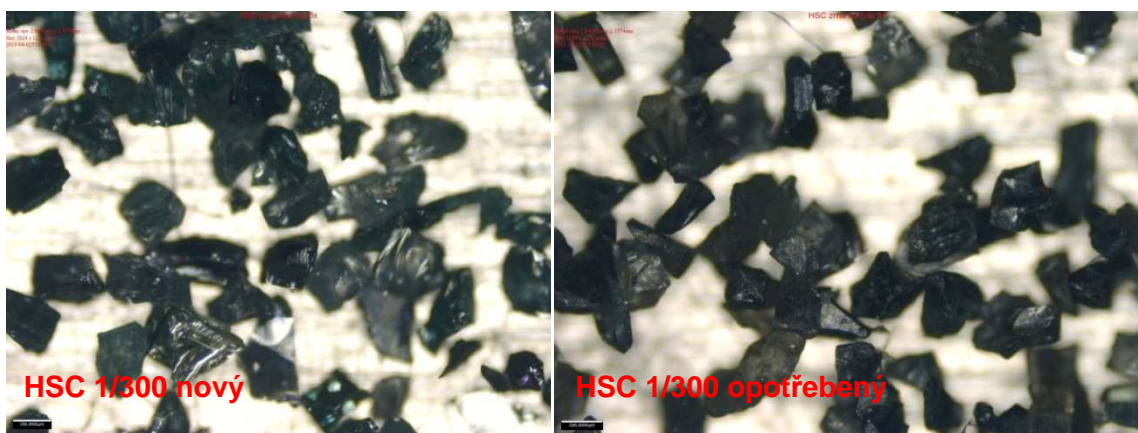


Graf 6-6: porovnání procesních časů proudového a vlečného omílání

Katedra technologie obrábění

6.1.4 Opotřebení média

Každé omílací médium má stanovenou svoji přibližnou dobu životnosti, neboť omíláním dochází k postupnému otupování řezných hran na karbidických částicích a médium tak ztrácí svoji řezivost. Životnost média je udávána v procesních hodinách a informace o uplynulých procesních hodinách jsou zobrazovány na řídicím panelu stroje. Doba životnosti je pouze přibližná doporučená hodnota a skutečný stav opotřebení média se může lišit v závislosti na tom, na jaké aplikaci je používán. Na obrázku 6-2 jsou vyobrazena karbidická zrna média HSC 1/300 při zvětšení 5x. Na opotřebovaných zrnech je vidět otupení řezných hran, které jsou naopak na nových zrnech jasně zřetelné.



Obrázek 6-2: porovnání opotřebení médií

6.2 Drsnost povrchu

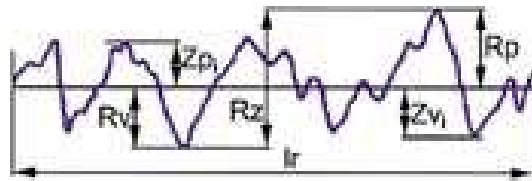
Při omílání zrna brusného média obrousují povrch nástroje a odebírají materiál v mikrotřískách. Dochází tak ke změně drsnosti povrchu a zahlazování stop po brousícím nástroji. Cílem omílání z hlediska drsnosti je dosáhnout co nejnižší drsnosti povrchu. Výsledná drsnost povrchu má vliv na kohezní vlastnosti substrátu a tenké vrstvy a také na abrazivní opotřebení nástroje při procesu obrábění.

6.2.1 Měření drsnosti [27]

Při testech hodnocení drsnosti povrchu byly sledovány dva parametry drsnosti a to Rz a Rt. Drsnost byla měřena na každém nástroji celkem ve 4 oblastech – na čele a hřbetě pravého a levého břitu ve vzdálenosti 2mm od špičky nástroje. Tato oblast byla zvolena s ohledem na řezné podmínky, při kterých bude nástroj pracovat.

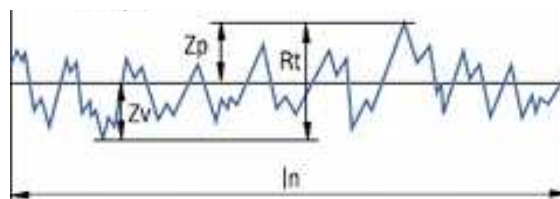
Parametry drsnosti použité pro měření:

Drsnost R_z – největší výška profilu (podle DIN EN ISO 4287). Hodnota drsnosti R_z je vypočítána jako střední vzdálenost mezi n nejvyššími a nejnižšími body měřeného profilu naměřené délce l_n . Měří se kolmo na střední m čáru profilu.



Obrázek 6-3: profil měření drsnosti R_z

Drsnost R_t – největší hloubka drsnosti, (podle DIN EN ISO 4287). Hodnota drsnosti R_t je svislá vzdálenost od nejvyššího bodu k nejnižšímu bodu měřeného profilu drsnosti uvnitř měřené délky l_n .



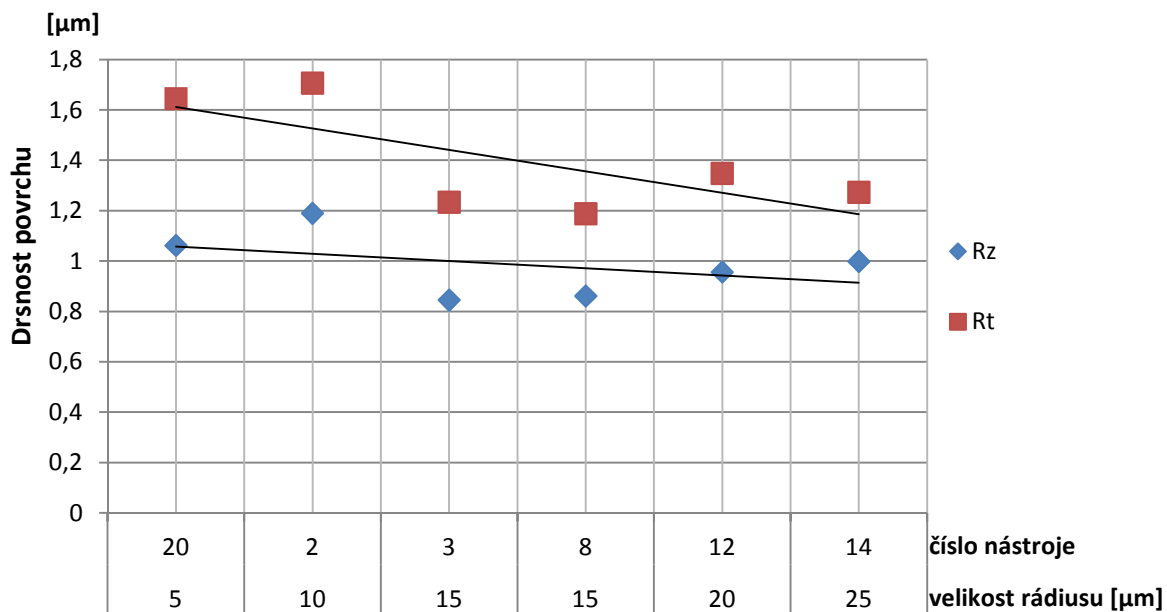
Obrázek 6-4: profil měření drsnosti R_t

6.2.2 Drsnost jednotlivých rádiusů

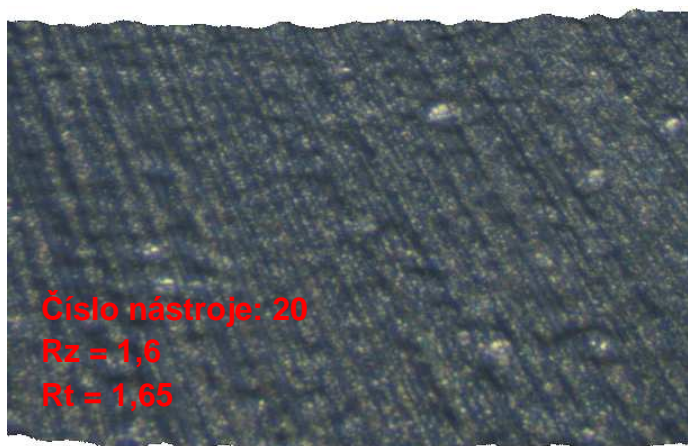
V první fázi proběhly testy s cílem zjistit, jakých hodnot dosahuje drsnost a jak dochází k její změně v závislosti na velikosti rádiusu, jehož velikost je přímo závislá na čase omílání.

Trendy drsnosti grafu 6-6 a 6-7 ukazují, že dochází ke zlepšení hodnot drsnosti v závislosti na čase omílání, přičemž větší rozdíl v drsnosti R_t je na čele břitu. Z hlediska drsnosti R_z není velikost změny hodnoty drsnosti natolik výrazná. Na obrázcích 6-7 a 6-8 jsou příklady omletých povrchů pro rádiusy 5 a 25 μm . Zejména na ploše hřbetu je vidět vliv omílání na stav povrchu. Drsnost R_z zde klesá jen nepatrně, přesto je omletý povrch zcela zbaven orientovaných stop po brousícím nástroji a povrch nese pouze stopy po omílání, které nejsou orientované.

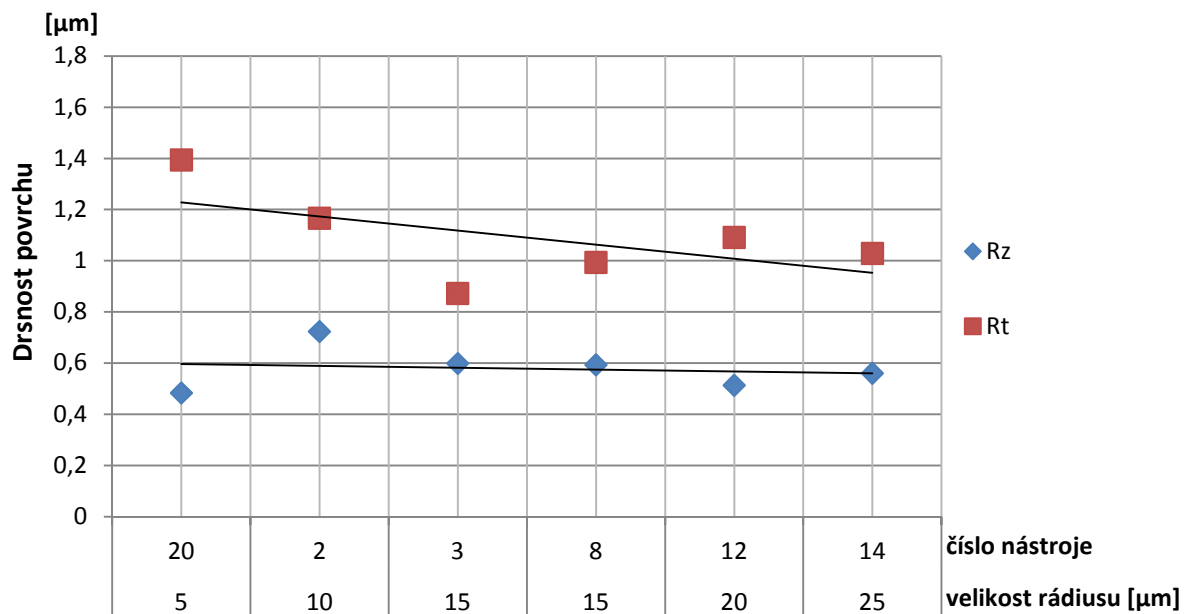
Katedra technologie obrábění



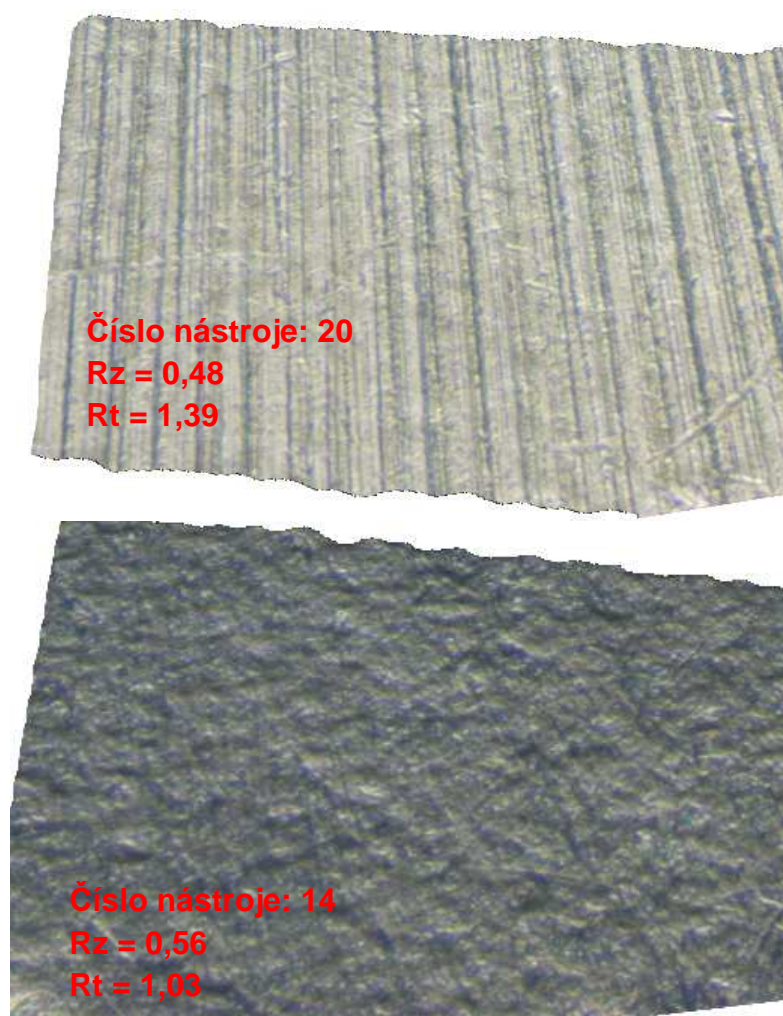
Graf 6-7: drsnost na čele nástroje



Graf 6-7: omletý povrch čela nástroje



Graf 6-8: drsnost na hřbetu nástroje



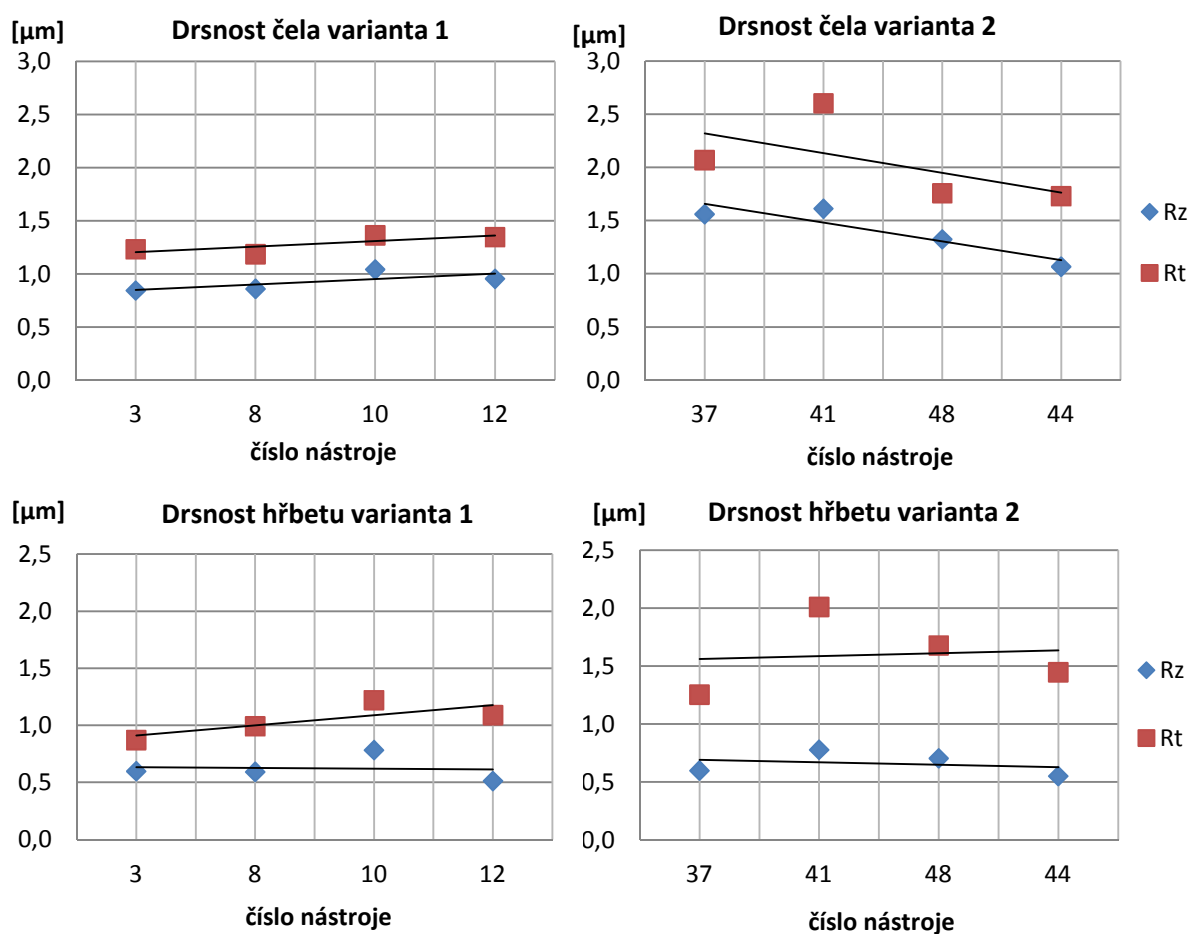
Obrázek 6-6: omletý povrch hřbetu

Katedra technologie obrábění

6.2.3 Porovnání drsností jednotlivých variant

Varianty nastavení procesu omílání 1 a 2 byly mezi sebou porovnány kvalitativně z hlediska drsnosti Rz a Rt. V grafu 6-8 jsou uvedeny hodnoty drsnosti a jejich trendy pro dvě varianty nastavení a plochu čela a hřbetu na každém nástroji. Pro testování bylo využito médium HSC 1/300 a omletím byl na všech nástrojích vytvořen rádius 15 μm .

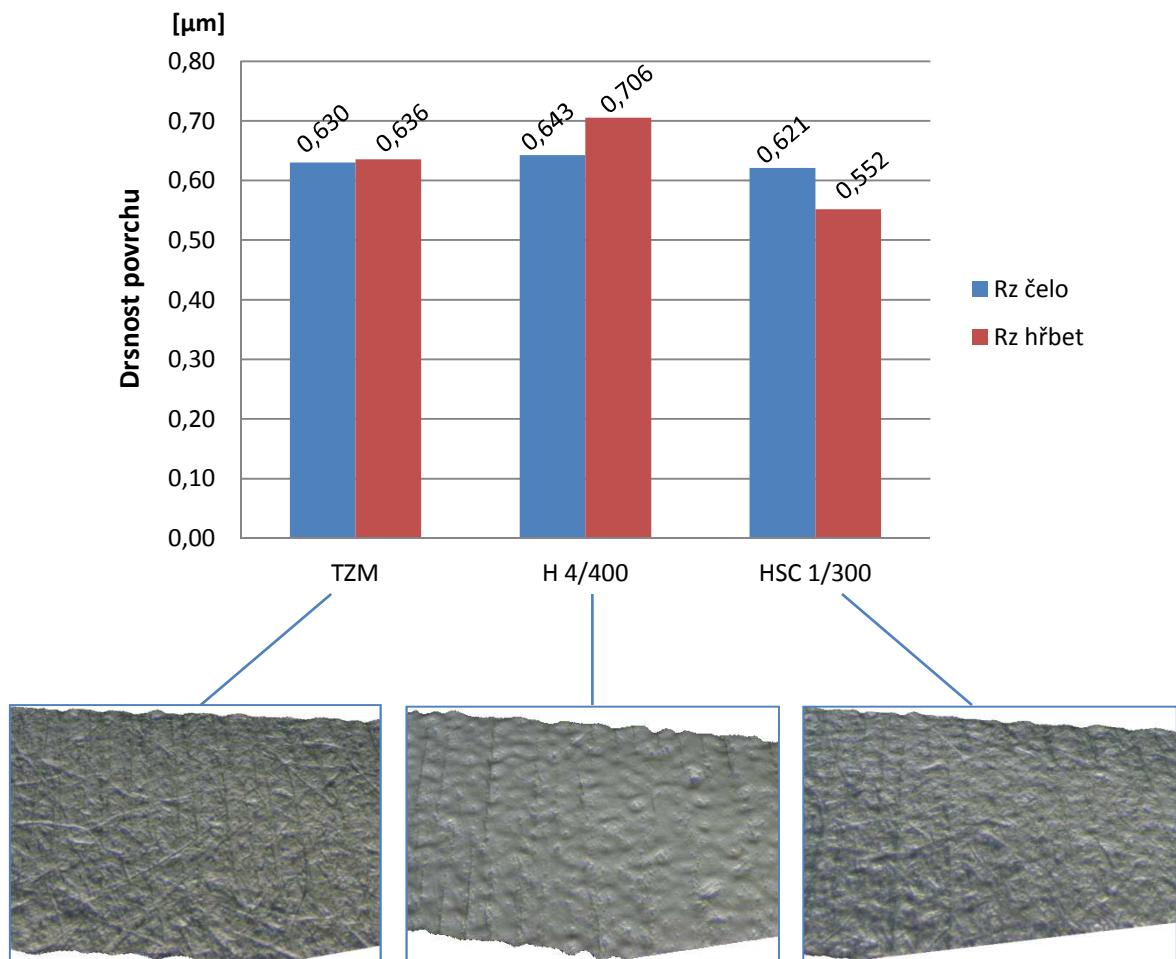
Z uvedených grafů vyplývá, že při použití nastavení varianty 1 nedochází k takovým změnám v drsnosti povrchu jako při použití varianty 2. Při variantě 2 je drsnost povrchu vyšší, zejména pak drsnost Rt. Tato horší drsnost však může být vyvážena nižšími procesními časy omílání.



Graf 6-9: porovnání drsností variant nastavení

6.2.4 Použité médium a jeho vliv na drsnost povrchu

Jak již bylo řečeno, pro omílání řezných nástrojů lze použít různé typy médií, ale volba média má vliv na výslednou topografii povrchu a jeho drsnost. V grafu 6-8 jsou porovnána tři rozdílná média popsaná v předchozích kapitolách. Na přiložených snímcích jsou zobrazeny omleté povrchy hřbetu nástrojů, ze kterých vyplývá, že největší abrazivní účinek má médium TZM. Povrch omletý tímto médiem nese značné množství stop po intenzivním omílání. Vizuálně nejlepší stav povrchu vykazuje nástroj omletý v médiu H 4/400, které je určeno na zalešťování povrchu, ovšem v grafu dosahuje nejvyšších hodnot drsnosti, zejména na hřbetě. Tento rozpor je dán nedostatečným předchozím omletím v HSC 1/300 a na přiloženém obrázku jsou patrné hluboké stopy po brousícím nástroji.

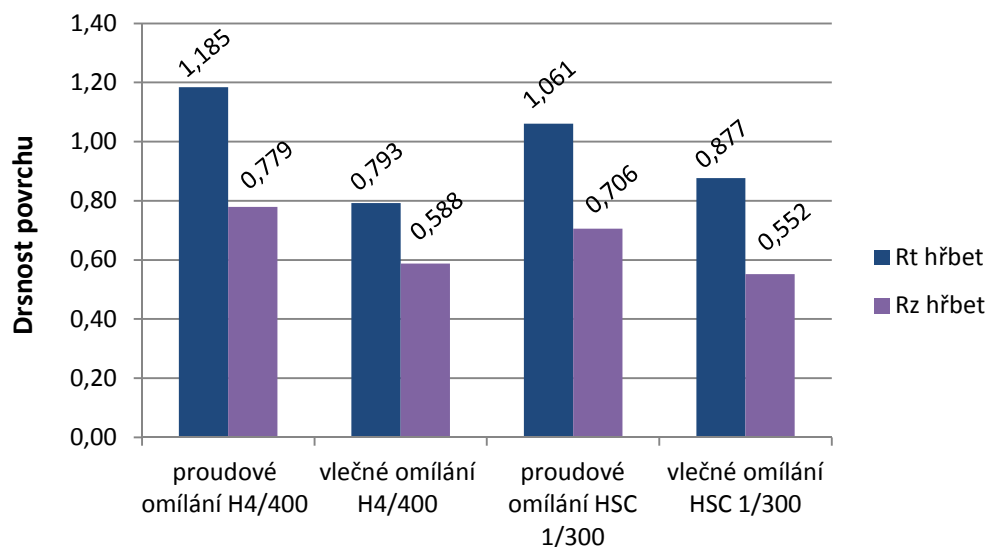


Graf 6-10: porovnání drsnosti dosažené různými médii

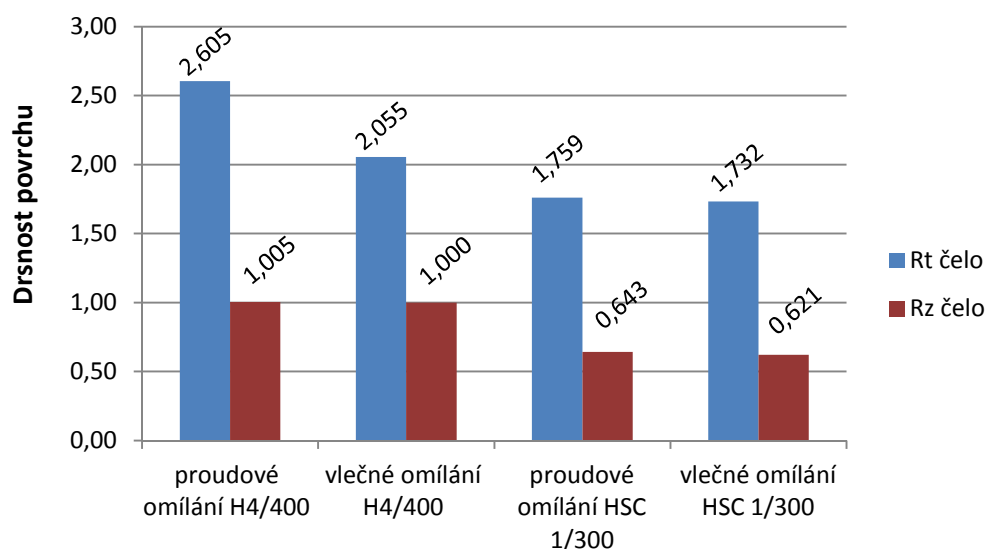
Katedra technologie obrábění

6.2.5 Použitá technologie omílání a její vliv na drsnost povrchu

V grafech 6-11 a 6-12 jsou zobrazeny drsnosti povrchu na ploše čela a hřbetu dosažené pomocí dvou rozdílných technologií – vlečného a proudového omílání. Pro porovnání byly použity dvě různá média. Omílací médium HSSC 1/300 a leštící H4/400. Z hlediska porovnání technologií jsou hodnoty dosažené na ploše čela srovnatelné. Na ploše hřbetu již dochází k výraznějším rozdílům v drsnosti.



Graf 6-11: drsnost povrchu na hřbetě při použití různých médií

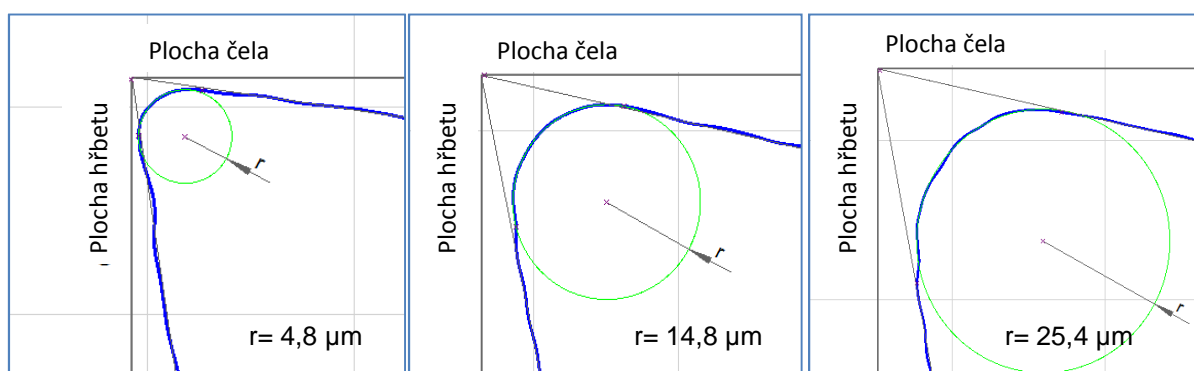


Graf 6-12: drsnost povrchu na čele při použití různých médií

Katedra technologie obrábění

6.3 Tvar profilu břitu

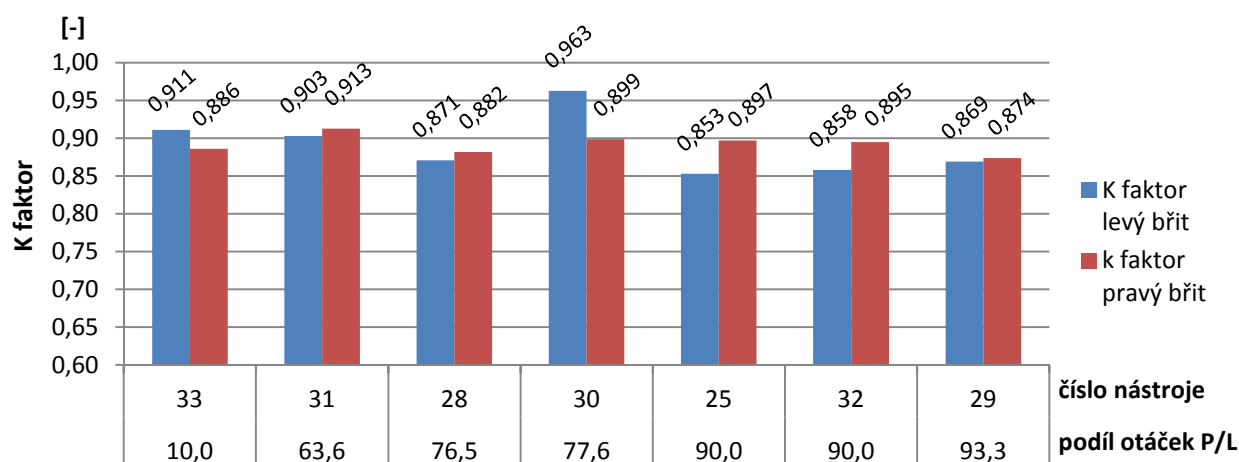
S narůstající velikostí zaoblení řezné hrany dochází také ke změně profilu břitu. Tato změna má určitý průběh, který je znázorněn na obrázku 6-7, kde jsou uvedeny příklady tvaru profilu břitu pro tři velikosti rádiusu řezné hrany. Na prvním obrázku je zobrazen břit s rámusem $4,8 \mu\text{m}$. Je možné rozpoznat, že břit je více zaoblen na plochu čela. Vlnitost na ploše čela a hřbetu je dána řezem provedeným přes stopy po brousícím nástroji. Břit s rádiusem $14,8 \mu\text{m}$ je již více omlet. Tvar zaoblení je plynulejší a je oproti předchozímu více posunut na hřbet břitu. U břitu s rámusem $25,4 \mu\text{m}$ je patrný rozdíl ve velikosti oproti předchozím břitům menším rádiusem. Avšak velikost zaoblené plochy je již značná a dochází k jejímu nerovnoměrnému omílání a vzniku propadlin v řezu. Na skutečném břitu se toto může projevit jako drážka nebo plocha v celé délce zaoblení na ostří.



Obrázek 6-7: změna tvaru profilu břitu při růstu zaoblení

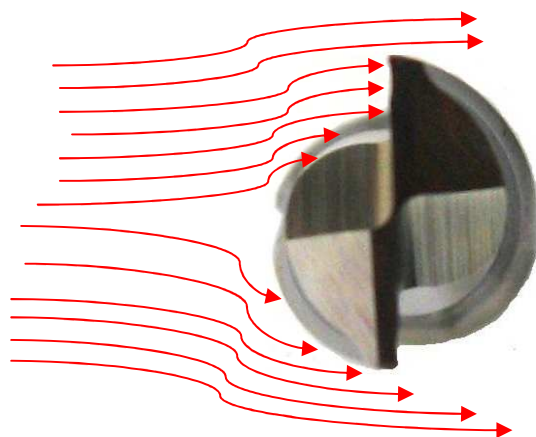
6.4 K faktor

Cílem této fáze experimentu bylo zjistit, jaký vliv má nastavení procesu omílání na výsledný tvar zaoblení řezné hrany. Tvar zaoblení byl hodnocen pomocí K faktoru měření na 3D optickém mikroskopu Infinitefocus v měřicím systému EdgeMaster. Testování bylo provedeno na sadě sedmi nástrojů. Parametry nastavení procesu omílání byly shodné s variantou 2. Jako proměnný faktor byl zvolen poměr otáček doleva a doprava na držáku nástroje a na rotoru stroje. Výsledky tohoto experimentu jsou uvedeny v grafu 6-9, který zobrazuje průběh změny k faktoru v závislosti na vzrůstajícím poměru otáček v levém a pravém směru rotace.



Graf 6-11: změna K faktoru v závislosti na poměru otáček

Na základě těchto výsledků lze říci, že poměr směru otáčení nemá přímou závislost na velikost K faktoru: Velikost se pohybuje v rozpětí 0,83 až 0,96 a během testu se nepodařilo dosáhnout K faktoru, který by překročil hodnotu $K=1$ nebo by naopak klesl k hodnotě $K=0,5$. Tato skutečnost je dána dvěma faktory, kterými jsou tvar samotného nástroje a pak princip technologie vlečného omílání. Pokud má při vlečném omílání dojít k brusnému oter povrchu nástroje, je nutné zajistit tlak a pohyb mezi médiem a nástrojem. Ovšem v oblastech jako jsou drážky na nástroji, dochází ke zpomalení proudění média a oter zde není tak intenzivní. Naopak na hřbetě nástroje nejsou zrna média brzděna a pohybují se po povrchu hřbetu, který obrušují. Tento princip je zobrazen na obrázku 6-8. Vlivem rotace nástroje je břit omílán střídavě ze strany plochy čela a hřbetu podle toho, jak je natočen k směru pohybu média vůči nástroji.



Obrázek 6-8: proudění média okolo nástroje

7 Technicko – ekonomické zhodnocení výsledků

Z pohledu nákladů na výrobu nástroje jsou náklady na omílání v jednotkách procent. Avšak pokud vezmeme v úvahu zvýšení trvanlivosti nástroje, má tato investice své jasné opodstatnění.

Přesto i v cenách za omílání mohou být značné rozdíly. Největší rozdíl v nákladech na omílání tvoří ceny médií, které se mohou značně lišit. Pro porovnání jsou uvedeny ceny médií použitých pro testování.

Ceny médií:	HSC 1/300	784 EUR
	TZM	756 EUR
	H 4/400	2357 EUR

Pozn.: ceny jsou uvedeny bez DPH

Životnost média: 200 – 300 hodin

Doba životnosti média se může lišit v závislosti na jaké aplikaci je použito. Pro výpočet bude uvažována spodní hranice životnosti.

V tabulce 7-1 jsou uvedeny nákladové sazby pro použití omítacího stroje a pro použití různých médií. Extrémní rozdíly v ceně médií jsou dány jejich složením.

sazba stroje		1	Kč/min
sazba médií	HSC 1/300	1,64	Kč/min
	TZM	1,58	Kč/min
	H4/400	4,9	Kč/min

Tabulka 7-1: vypočtené sazby nákladů

V tabulce 7-2 je proveden výpočet sazeb pro dvě varianty nastavení (viz. tab. 6-2 a 6-3) a pro pět velikostí požadovaného zaoblení řezné hrany. Na základě jejich vzájemného porovnání je patrná úspora při použití varianty 2. Náklady jsou vypočteny pro modelový příklad na chod stroje.

		rádius [μm]				
		5	10	15	20	25
čas omílání [min]	varianta 1	0,75	28	55	76	95
	varianta 2	0,7	4	10	30	48
strojní sazba [Kč/min]		1	1	1	1	1
sazba médium [Kč/min]		1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
náklady [Kč]	varianta 1	2,23	46,92	91,20	125,64	156,80
	varianta 2	2,15	7,56	17,40	50,20	79,72
úspora nákladů [Kč/ks]		-0,08	-39,36	-73,80	-75,44	-77,08
úspora nákladů [%]		-3,7	-83,9	-80,9	-60,0	-49,2

Tabulka 7-2: vypočtené nákladové sazby na chod stroje

8 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo získat poznatky o procesu omílání a jeho vlivu na výsledný stav povrchu nástroje po omletí. Bylo provedeno několik typů experimentů, kdy byly porovnávány parametry nastavení procesu omílání z hlediska procesního času. Na základě těchto experimentů byly zjištěny další možnosti v nastavení procesu omílání pro snížení procesního času. Snížení procesního času se děje na základě intenzivnějšího omílání povrchu. Avšak toto intenzivnější omílání povrchu sebou nese také změny ve výsledné kvalitě omletí řezné hrany a změny drsnosti povrchu. V další fázi testování byl proveden detailní rozbor již omletých nástrojů z hlediska výsledné drsnosti jejich povrchu. Předpokladem pro dosažení nízké drsnosti povrchu bez defektů a povrchových vad je kvalitně vybroušený nástroj. Na závěr experimentů bylo porovnáno několik typů omílacích médií z hlediska jejich působení na výslednou drsnost povrchu a stav řezné hrany. Došlo také k porovnání dvou rozdílných technologií omílání, proudového a vlečného. Na závěr je uvedeno vzájemné technicko-ekonomické hodnocení dvou variant nastavení procesu vlečného omílání.

Technologie omílání nachází svoje místo zejména při úpravě mikrogeometrie řezné hrany a při předdepozičních úpravách povrchu. Nástroje zhotovené v rámci řešení experimentu diplomové práce budou dále podrobeny testu trvanlivosti.

9 Seznam použité literatury

Knížní publikace

- [1] ASTAKHOV, Viktor P. *Tribology of metal cutting*. 1st ed. San Diego, CA: Elsevier, 2006, 425 p., [1] leaf of plates. ISBN 978-044-4528-810.
- [2] DENKENA, B a E BASSETT. OTEC GMBH. *Effects of the cutting edge microgeometry on tool wear and its thermomechanical load*. IFW 2011. Leibniz Universität Hannover, 2011.
- [3] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [4] KADLEC, Pavel. *Účinek zaoblení břitu na dynamiku řezného procesu při frézování monolitní frézou z SK*. Plzeň, 2009. Bakalářská. ZČU v Plzni.
- [5] MÁDL, Jan. *Experimentální metody v teorii obrábění*. Praha: Ediční středisko ČVUT, 1988.
- [6] MALÝ, Josef. *Úprava a měření mikrogeometrie břitu nástroje*. Plzeň, 2012. Bakalářská práce. ZČU v Plzni.
- [7] PILEČKOVÁ, Zuzana. *Vliv kvality břitu čelní válčové frézy na trvanlivost při obrábění nástrojové oceli*. Plzeň, 2009. Diplomová práce. ZČU v Plzni.
- [8] STANĚK, Jiří. *Metodika zpracování a úprava diplomových prací*. Plzeň: ZČU v Plzni, 2005.
- [9] OTEC PRÄZISIONSFINISH GMBH. *Operating instructions for the drag-finishing machines DF-6 Tools*. Straubenhardt: OTEC GmbH, 2010.
- [10] STAVIARSKÝ, Miroslav. *Trvanlivost při obrábění slitiny Nimonic 80A*. Plzeň, 2012. Diplomová práce.

Internetové zdroje

- [11] HOLUBÁŘ, Pavel. *Technologie úprav nástrojů před a po povlakování. Technologie úprav nástrojů před a po povlakování* [online]. [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-uprav-nastroju-pred-a-po-povlakovani.html>
- [12] VNOUČEK, Milan. *Nikl a jeho slitiny, titan a jeho slitiny*. [online]. [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/download/nikl-titan-09_10.pdf
- [13] RODRIGUEZ, Carlo Julio Cortes. *Cutting Edge Preparation of Precision Cutting Tools by Applying Micro-abrasive Jet Machining and Brushing* [online]. Kassel: Universität Kassel, 2009 [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: <http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-712-8.volltext.frei.pdf>

[14] Mechanická úprava monolitních nástrojů před PVD povlaky. In: *MM spektrum* [online]. č. 070438. 2007 [cit. 2013-03-22]. Dostupné z:

<http://www.mmspektrum.com/clanek/mechanicka-uprava-monolitnich-nastroju-predpvd-povlaky.html>

[15] Magnetic field assisted abrasive based micro-/nanofinishing. In: *Science direct* [online]. 2009 [cit. 2013-03-22]. Dostupné z:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013609003057>

[16] Vliv tvaru řezné hrany nástroje na průběh řezného procesu. [online]. 2009, Technická univerzita v Košiciach [cit. 2013-03-22]. Dostupné z:

<http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/15-2009/pdf/147-150.pdf>

Webové stránky

[17] SHM, s.r.o. [online]. [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: <http://www.shm-cz.cz/en/news>

[18] Slitiny niklu: inkonel 718. [online]. [cit. 2013-03-22]. Dostupné z:

<http://czech.chtitanium.com/Inconel-718/>

[19] PLATIT AG. [online]. [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: <http://platit.com/breaking-news>

[20] OMÍLBRUS LEDEČ S.R.O. [online]. [cit. 2013-03-22]. Dostupné z:

<http://www.omilbrus.cz/>

[21] OPVK Integrita. [online]. [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: <http://integrita.zcu.cz/>

[22] CERATIZIT S.A. [online]. [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: <http://www.ceratizit.com/>

[23] GFMesstechnik GmbH. [online]. [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: <http://www.gfm3d.com/>

[24] OTEC PRÄZISIONSFINISH GMBH. [online]. [cit. 2013-03-22]. Dostupné z:

<http://www.otec.de/>

[25] ALICONA IMAGING GMBH. [online]. [cit. 2013-03-22]. Dostupné z:

<http://www.aliconat.com/home/>

[26] WALTER MASCHINENBAU GMBH. [online]. [cit. 2013-03-23]. Dostupné z:

<http://www.walter-machines.com/en/products/software/helitronic-toolstudio.html>

[27] HOFMEISTER S.R.O. [online]. [cit. 2013-03-24]. Dostupné z:

<http://www.hofmeister.cz/>

[27] Drsnost povrchu dle DIN EN ISO. [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z:

<http://www.hommel-etamic.cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso>

Katedra technologie obrábění

10 Seznam obrázků

Obrázek 2-1: břit nástroje

Obrázek 2-2: rozložení napětí na řezné hraně

Obrázek 2-3: postup výroby monolitního nástroje

Obrázek 2-4: CNC nástrojařská bruska Walter Helitronic

Obrázek 2-5: řezná hrana před a po úpravě povrchu

Obrázek 2-6: kartáčování VBD

Obrázek 2-7: Princip magnetického dokončování

Obrázek 2-8: působení omítacího média na povrch obrobku

Obrázek 2-9: rozdělení technologie omílání

Obrázek 2-10: vibrační omílací stroj

Obrázek 2-11: odstředivý omílací stroj v chodu

Obrázek 2-12: stroj OTEC pro proudové omílání

Obrázek 3-1: stroj pro vlečné omílání

Obrázek 3-2: TZM médium

Obrázek 3-3: GZW médium

Obrázek 3-5: HSC médium

Obrázek 3-6: schéma rotačních pohybů stroje OTEC

Obrázek 3-7: natočení držáku nástrojů

Obrázek 4-1: K faktor na řezné hraně

Obrázek 4-2: Varianty zaoblení břitu

Obrázek 4-3: simulace teplotního a silového zatížení břitu

Obrázek 5-1: přehledové zobrazení nastavených parametrů

Obrázek 5-2: omílací zařízení DF5 [24]

Obrázek 5-3: proudové omílací zařízení SF 1/1-68

Obrázek 5-4: proudové omílací zařízení SF 1/1-68 v chodu

Obrázek 5-5: 3D měřící zařízení Alicona Infinite focus

Obrázek 5-7: dvoubřitá monolitní fréza z SK D=8mm

Obrázek 5-8: oblast měření břitu nástroje

Obrázek 6-1: nástroj s držákem zanořený do média

Obrázek 6-2: porovnání opotřebení médií

Obrázek 6-3: profil měření drsnosti Rz

Obrázek 6-4: profil měření drsnosti Rt

Obrázek 6-5: příklady omletého povrchu čela

Obrázek 6-6: příklady omletého povrchu hřbetu

Obrázek 6-7: změna tvaru profilu břitu při růstu zaoblení

Obrázek 6-8: proudění média okolo nástroje

11 Seznam tabulek

Tabulka 5-1: Technické parametry DF6

Tabulka 5-2: Technické parametry SF 1/1-6

Tabulka 6-1 : počet nástrojů

Tabulka 6-2 : Nastavení procesních parametrů varianta 1

Tabulka 6-3 : Nastavení procesních parametrů varianta 2

Tabulka 6-4 : Porovnání procesních časů

Tabulka 6-5: parametry nastavené procesu vlečného a proudového omílání

Tabulka 7-1: vypočtené sazby nákladů

Tabulka 7-2: vypočtené nákladové sazby na chod stroje

Katedra technologie obrábění

12 Seznam grafů

Graf 6-1: procesní časy pro nastavení varianty 1

Graf 6-2: procesní časy pro nastavení varianty 2

Graf 6-3: procesní časy pro nastavení varianty

Graf 6-4: časový průběh zaoblení břitu

Graf 6-5: porovnání procesních časů médií TZM a HSC 1/300

Graf 6-6: porovnání procesních časů proudového a vlečného omílání

Graf 6-7: drsnost na čele nástroje

Graf 6-8: drsnost na hřbetu nástroje

Graf 6-9: porovnání drsností variant nastavení

Graf 6-10: porovnání drsnosti dosažené různými médii

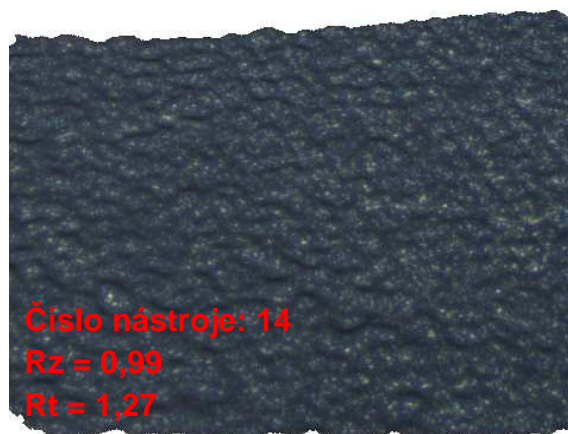
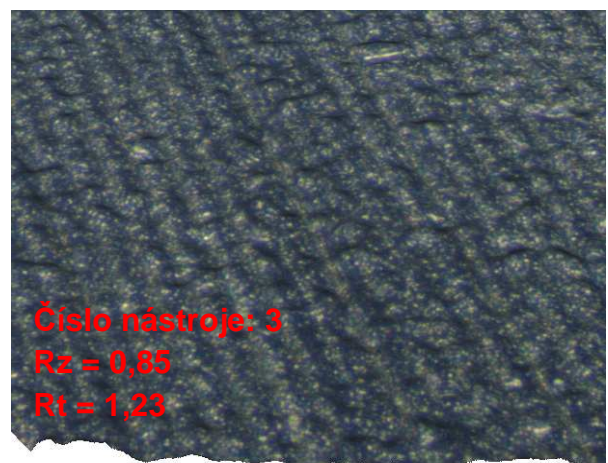
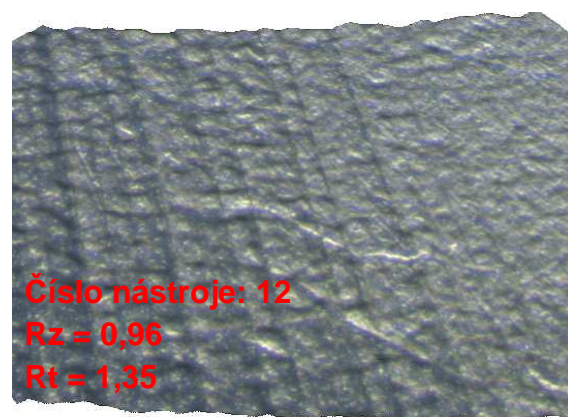
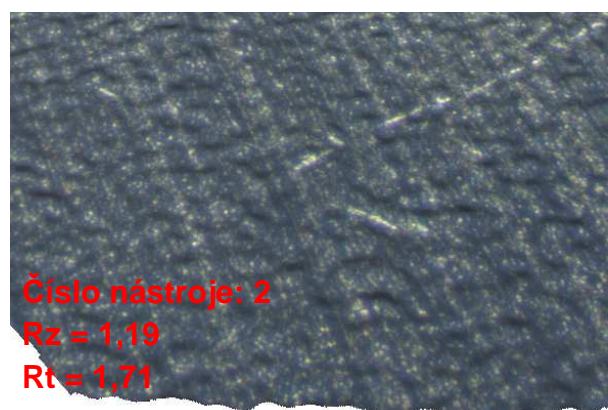
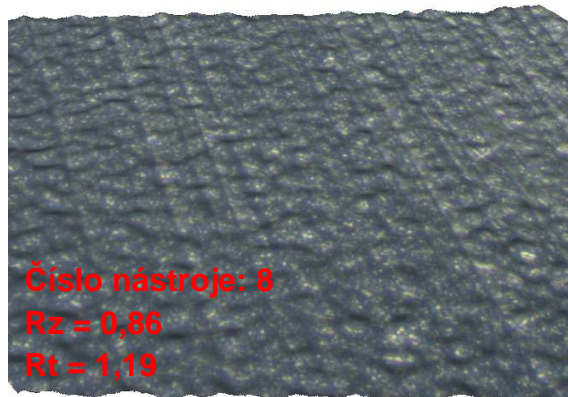
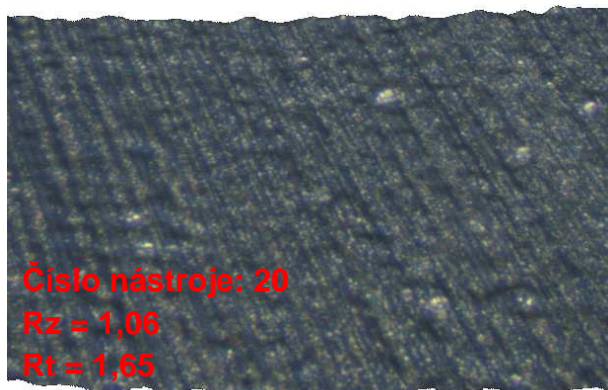
Graf 6-11: drsnost povrchu na hřbetě při použití různých médií

Graf 6-12: drsnost povrchu na čele při použití různých médií

Graf 6-13: změna K faktoru v závislosti na poměru otáček

13 Přílohy

Detaily povrchu, vlečné omílání, HSC 1/300, varianta 1



Detaily povrchu, vlečné omílání, HSC 1/300, varianta 2

