

Technologie výroby frézovacích nástrojů broušením

Jakub Gúcky

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jakub GÚCKY

Osobní číslo: T10696

Studijní program: B3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Technologická zařízení

Forma studia: prezenční

Téma práce: Technologie výroby frézovacích nástrojů broušením

Zásady pro vypracování:

- 1. Teoretická studie na dané téma**
- 2. Technologický postup výroby čelních fréz**
- 3. Sestavení part programu pro čelní válcovou frézu**
- 4. Hodnocení jakosti a geometrie vyrobeného nástroje**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

10. února 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

23. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: BŮČEK JAKUB

Obor: TECHNOLOGICKÁ
ZAŘÍZENÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 15.5.2014

.....


¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá moderním způsobem výroby frézovacích nástrojů pomocí obráběcí technologie zvané broušení. Jedná se o komplexní souhrn informací, jak se realizuje výroba řezných nástrojů ze slinutých karbidů, od návrhu tvaru nástroje, sestavením výrobního programu až k samotné realizaci výroby nástroje. Výsledkem je funkční řezný nástroj, který slouží k obrábění ploch budoucích výrobků v různých odvětvích strojírenské výroby.

Klíčová slova: fréza, frézování, broušení, slinuté karbidy, CNC obrábění, metrologie.

ABSTRACT

This work deals a modern methods manufacturing of milling tools by a grinding technology. It is complexive summary of informations how is realized the manufacturing of cutting tools on the base of cemented carbides, from design a shape of tool, create of manufacturing program to the realization manufacturing of the tool. The result is a functional cutting tool, that is used for machining of surfaces for future products in other sectors of engineering..

Keywords: milling cutter, milling, grinding, cemented carbides, CNC machining, metrology.

Poděkování, motto a čestné prohlášení, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická, nahraná do IS/STAG jsou totožné ve znění:

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D., za usměrnění při vypracování celé práce, dále mé velké poděkování patří firmě K-Tools a jejímu majiteli, panu Ing. Zdeňkovi Krátkému, se kterým proběhla spolupráce při výrobě řezného nástroje.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 FRÉZOVÁNÍ	12
1.1 KINEMATIKA ŘEZNÉHO PROCESU	12
1.2 NÁSTROJE PRO FRÉZOVÁNÍ	14
1.2.1 Typy frézovacích nástrojů.....	15
1.2.2 Geometrie zubu frézy	17
1.3 ČELNÍ VÁLCOVÁ FRÉZA	18
2 BROUŠENÍ	20
2.1 CHARAKTERISTIKA PROCESU.....	20
2.1.1 Teplotní vlivy při broušení.....	21
2.2 ZPŮSOBY BROUŠENÍ	22
2.3 NÁSTROJE PRO BROUŠENÍ	24
2.3.1 Broušící materiály.....	27
2.3.2 Zrnitost	29
2.3.3 Tvrdost broušících nástrojů.....	30
2.3.4 Struktura broušících nástrojů	30
2.3.5 Pojivo broušících nástrojů.....	31
2.3.5.1 Pojiva organická.....	31
2.3.5.2 Pojiva anorganická.....	32
2.4 OROVNÁVÁNÍ BROUSICÍCH KOTOUČŮ	33
2.5 POUŽITÍ ŘEZNÝCH KAPALIN PŘI BROUŠENÍ.....	33
2.5.1 Používaná chladicí média při broušení supertvrdými materiály.....	35
2.6 BROUŠENÍ TVAROVĚ SLOŽITÝCH NÁSTROJŮ	35
2.6.1 Nástroje pro tvarové broušení	35
3 SLINUTÉ KARBIDY	37
3.1 ROZDĚLENÍ A ZNAČENÍ	38
3.2 VÝROBA	38
3.3 VÝROBA POVLAKOVANÝCH SLINUTÝCH KARBIDŮ	39
4 CNC OBRÁBĚNÍ	42
4.1 PRINCIP A ŘÍZENÍ.....	43
4.2 SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM STROJE.....	43
4.2.1 Pojem interpolace a inkrement	45
4.3 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ	46
4.3.1 Použití nejdůležitějších funkcí G, M.....	47
4.3.2 Cykly pro obrábění	49
4.3.3 Podprogramy.....	50
4.4 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ POMOCÍ CAD/CAM SYSTÉMŮ	50
4.5 TESTY PROGRAMŮ A SIMULACE.....	52
5 METROLOGIE	54

5.1	MĚŘÍCÍ METODY A MĚŘÍCÍ PROSTŘEDKY PRO KONTROLU DÉLEK.....	55
5.2	DRSNOST POVRCHU.....	56
5.2.1	Povrch a jeho parametry.....	57
II	PRAKTICKÁ ČÁST	60
6	STANOVENÍ POŽADAVKU NÁSTROJE	61
6.1	POPIS PLOCH NÁSTROJE	62
6.2	TECHNOLOGICKÝ POSTUP	63
7	PŘÍPRAVA PROGRAMU A PROGRAMOVÁNÍ	65
7.1	PROVEDENÍ SIMULACE VÝROBNÍHO PROGRAMU	68
8	VÝROBA FRÉZY	71
8.1	SEŘÍZENÍ STROJE A ZAMĚŘOVÁNÍ VÝROBNÍCH KOTOUČŮ.....	72
8.1.1	Zaměření kotoučů	72
8.1.2	Seřízení stroje před zahájením výroby	76
8.2	VÝROBA NÁSTROJE	77
9	MĚŘENÍ VYROBENÉHO NÁSTROJE.....	82
9.1	MĚŘENÍ GEOMETRIE NÁSTROJE	82
9.2	MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU.....	87
	ZÁVĚR	90
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	91
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	92
	SEZNAM OBRÁZKŮ	93
	SEZNAM TABULEK.....	95
	SEZNAM PŘÍLOH.....	96

ÚVOD

Frézovací nástroje jsou nedílnou součástí obráběcích nástrojů jak již v minulosti, tak i v moderním způsobu obrábění. Jsou neustále zdokonalovány k provádění řezných úkonů s cílem dosažení co nejkratších časů obrábění různých materiálů a zároveň je také kladen vysoký důraz na maximální trvanlivost břitů nástroje, aby se dosáhlo co nejehospodárnějšího způsobu výroby. Moderním způsobem výroby se rozumí využití dnešních technologií, ke kterým samozřejmě patří CNC obrábění a HSC obrábění.

Aby bylo možné vysokorychlostně obrábět materiál budoucích součástí, musí být dnešní řezné nástroje vyrobeny z nejlepších řezných materiálů, ke kterým patří povlakované slinuté karbidy, dále i řezná keramika či cermety. Zvolením správné geometrie řezného nástroje lze docílit optimální řezivosti a způsobů odebrání materiálů i za vysokých řezných rychlostí a posuvů. K výrobě takhle kvalitních řezných nástrojů se musí zvolit adekvátní způsob výroby.

K výrobě fréz ze slinutých karbidů se používá technologie broušení. Tato technologie má své pevné kořeny i na území České republiky. Aby bylo možné tyto materiály přetvářet v řezné nástroje, musí se zvolit dalších nejtvrděších řezných materiálů, kterými jsou brousící kotouče z diamantu a vhodně zvolené druhy pojiva. V minulosti se frézy odlévaly jako odlitky a poté se jejich ostří brousilo na manuálních bruskách, což vyžadovalo šikovnost brusičů. Dnešním moderním způsobem výroby fréz ze slinutých karbidů je užití moderní technologie pomocí CNC brusek. Způsob výroby spočívá v návržení geometrie frézy, sestavením výrobních programů pomocí CAD/CAM metody a poté převedením dat do CNC brusky. Dnešní obsluha těchto strojů již nezasahuje do prostoru, kde je materiál broušen.

Frézy se vyrábí z monolitních karbidů, jsou precizně vyrobeny s dosažením hladkých povrchů řezných ploch a spolu s nanášením povlaků, také z nejtvrděších materiálů, se docílí komplexního řezného nástroje s vysokou trvanlivostí břitů i při vystavení vysokých řezných rychlostí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

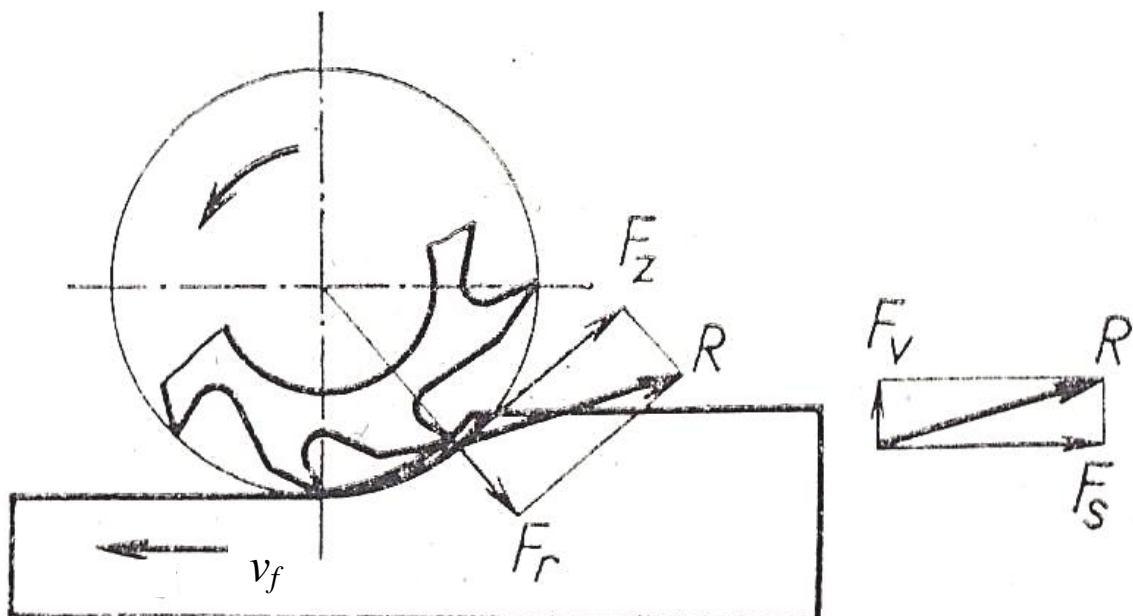
1 FRÉZOVÁNÍ

Frézování je obráběcí metoda, při které se materiál obrobku odebrává břitý otáčejícího se nástroje. Posuv nejčastěji koná součást, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních frézovacích strojů jsou posuvné pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech (obráběcí centra, víceré CNC frézky). Řezný proces je přerušovaný, každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky.[1]

1.1 Kinematika řezného procesu

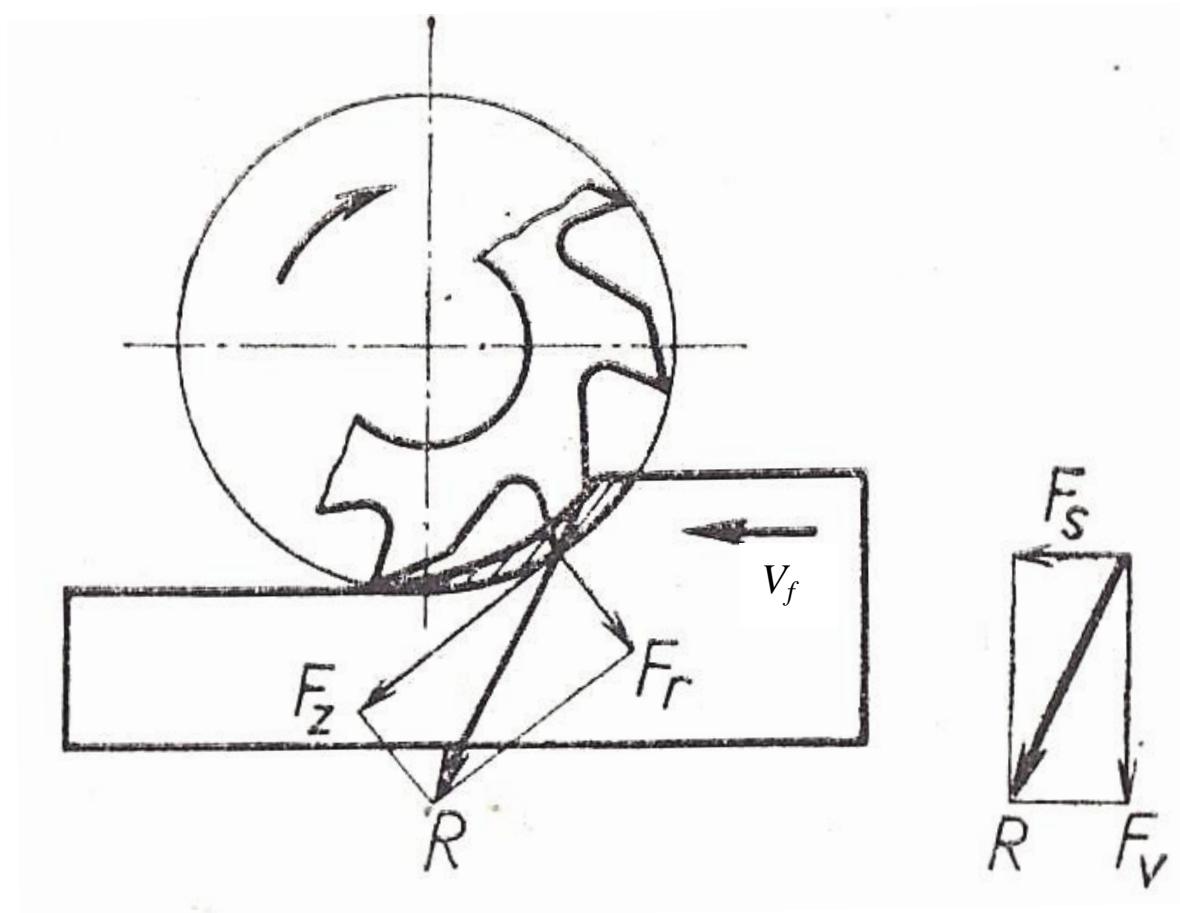
V závislosti na kinematice obráběcího procesu se rozlišuje frézování nesousledné (protisměrné) a sousledné (sousměrné).

Při **nesousledném frézování** je smysl rotace nástroje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Tloušťka třísky se postupně mění z nulové hodnoty na hodnotu maximální. K oddělování třísky nedochází v okamžiku její nulové tloušťky, ale po určitém skluzu břitu po ploše vytvořené předcházejícím zubem. Přitom vznikají silové účinky a deformace způsobující zvýšené opotřebení břitu. Řezná síla při protisměrném frézování má složku, která působí směrem nahoru a odtahuje obrobek od stolu. [1]



Obr. 1 - Kinematika nesousledného frézování [2]

Při **sousledném frézování** je smysl rotace nástroje ve směru posuvu obrobku. Maximální tloušťka třísky vzniká při vnikání zubu frézy do obrobku. Obrobená plocha se vytváří, když zub vychází ze záběru. Řezné síly působí obvykle směrem dolů. Sousedné frézování může probíhat pouze na přizpůsobeném stroji při vymezené vůli a předpětí mezi posuvovým šroubem a maticí stolu frézky. V opačném případě způsobuje vůle nestejnsměrný posuv, při němž může dojít k poškození nástroje, popř. i stroje. Při vzájemném porovnání lze shrnout hlavní výhody obou způsobů. [1]



Obr. 2 - Kinematika sousledného frézování [2]

Nesousledné frézování:

- Trvanlivost nástroje nezávisí na okujích, písčitém povrchu obrobku apod.
- Není zapotřebí vymezovat vůle mezi posuvovým šroubem a maticí stolu stroje.
- Menší opotřebení šroubu a matice.
- Záběr zubů frézy při jejich vřezávání nezávisí na hloubce řezu.

Sousledné frézování:

- Vyšší trvanlivost břitů, což umožňuje použití vyšších řezných rychlostí a posuvů.

- Menší potřebný řezný výkon.
- Řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu, takže lze použít jednodušších upínacích přípravků.
- Menší sklon ke chvění.
- Obvykle menší sklon k vytvoření nárůstku.
- Menší drsnost obrobeného povrchu.

1.2 Nástroje pro frézování

Existuje spousta typů fréz a frézovacích hlav, které se liší jednak tvarem a účelem. Rozhodující v tomto směru jsou volba nástrojového materiálu, průměr nástroje, délka řezné části, způsob pracovního upnutí, počet zubů, velikost břitových úhlů, úhlu šroubovice a jejího stoupání, a v neposlední řadě tvarem rotačního nástroje vzhledem k požadovanému tvaru obrobené plochy.

V důsledku rychle se vyvíjejícímu trendu v oblasti obrábění a náročnosti výroby a požadovaných tvarů produktů se zvyšuje náročnost na tyto nástroje, a to zejména na rychlost posuvu nástroje, přesnost obrobené plochy, drsnost jejího povrchu a také dosahování vyšších řezných rychlostí. Při správném zvážení jednotlivých aspektů lze navrhnout a vyrobit nástroje, díky kterým vhodnou kombinací geometrie a materiálu nástroje dosáhneme jak ideální trvanlivosti břitů nástroje, tak i ekonomického způsobu výroby.

Frézy rozdělujeme dle několika kritérií:

- 1) Podle ploch, na kterých jsou zuby vytvořeny:
 - a) válcové (zuby jsou na válcové ploše),
 - b) válcové čelní (zuby jsou na válcové a čelní ploše),
 - c) kotoučové (průměr frézy je podstatně větší než šířka frézy),
 - d) tvarové (profil frézy různých tvarů),
 - e) speciální (např. gravírovací, odvalovací,...).
- 2) Podle způsobu upínání:
 - a) frézy stopkové se stopkou válcovou nebo kuželovou,
 - b) frézy nástrčné – mají otvor.
- 3) Podle způsobu výroby:
 - a) frézy se zuby frézovanými,
 - b) frézy broušené,

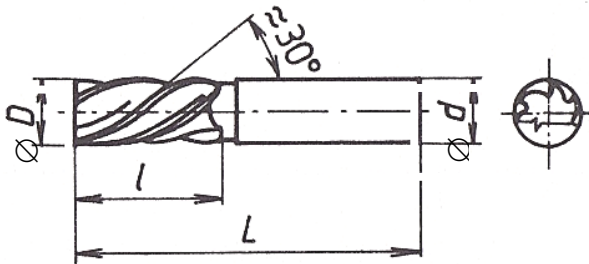
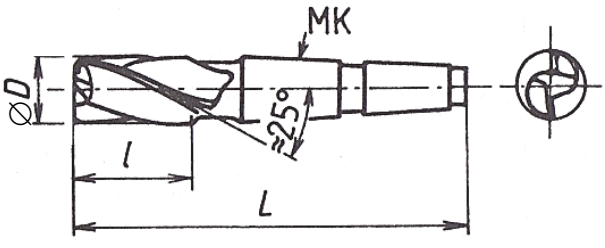
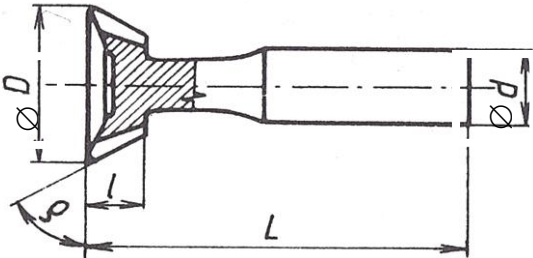
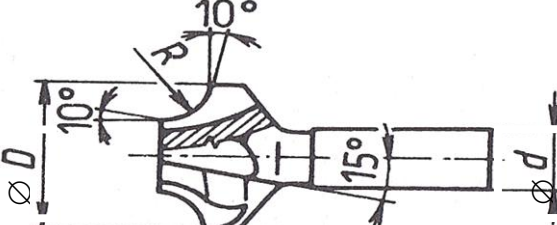
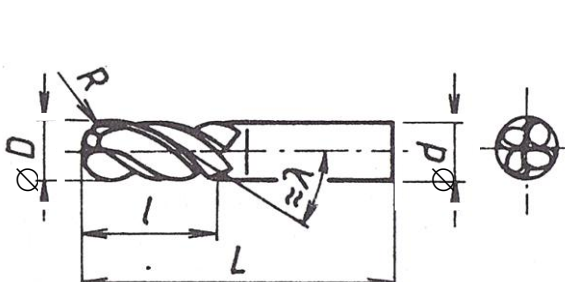
- c) lité – zuby vzniknou odstředivým litím, čela a drážka jsou nabroušeny.
- 4) Podle počtu zubů vzhledem k průměru frézy:
- jemnozubé,
 - polohrubozubé,
 - hrubozubé.
- 5) Podle tvaru břitů:
- frézy s břity přímými – břity jsou rovnoběžné s osou frézy,
 - frézy s břity šikmými,
 - frézy s břity ve šroubovici,
 - frézy se střídavými zuby – vyskytují se u kotoučových fréz.
- 6) Podle řezného materiálu:
- frézy z nástrojové legované oceli,
 - frézy ze slinutých karbidů,
 - frézy s břitovými destičkami z keramických řezných materiálů nebo slinutého karbidu.
- 7) Podle smyslu otáčení:
- pravotočivé – směr otáčení nástroje vzhledem k ose nástroje je dle hodinových ručiček,
 - levotočivé – směr opačný dle hodinových ručiček.

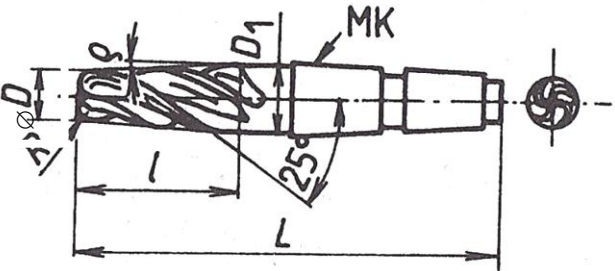
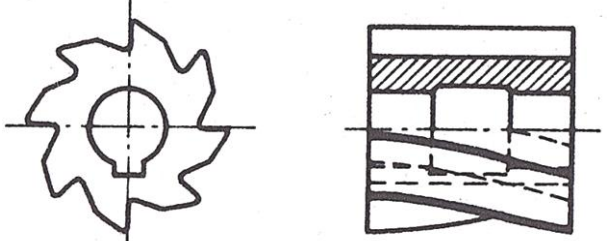
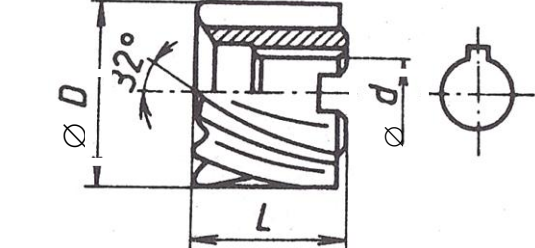
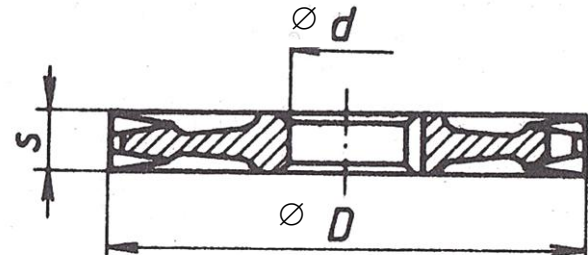
1.2.1 Typy frézovacích nástrojů

Břity fréz jsou rozloženy na povrchu válce, kužele nebo jiné rotační plochy. Podle rozložení břitů rozeznáváme druhy fréz uvedené v tabulce (v tabulce jsou uvedeny pouze některé druhy a provedení). [2]

Tab. 1. Přehled některých druhů fréz a jejich provedení [9]

Název	Vyobrazení	ČSN
Stopkové frézy		
Frézy válcové čelní pravořezné (levořezné), hrubozubé, polohrubozubé, jemnozubé, krátké a dlouhé.		22 2130, 22 2132, 22 2133, 22 2134, 22 2137, 22 2142, 22 2143, 22 2146, 22 2147, 22 2148, 22 2149

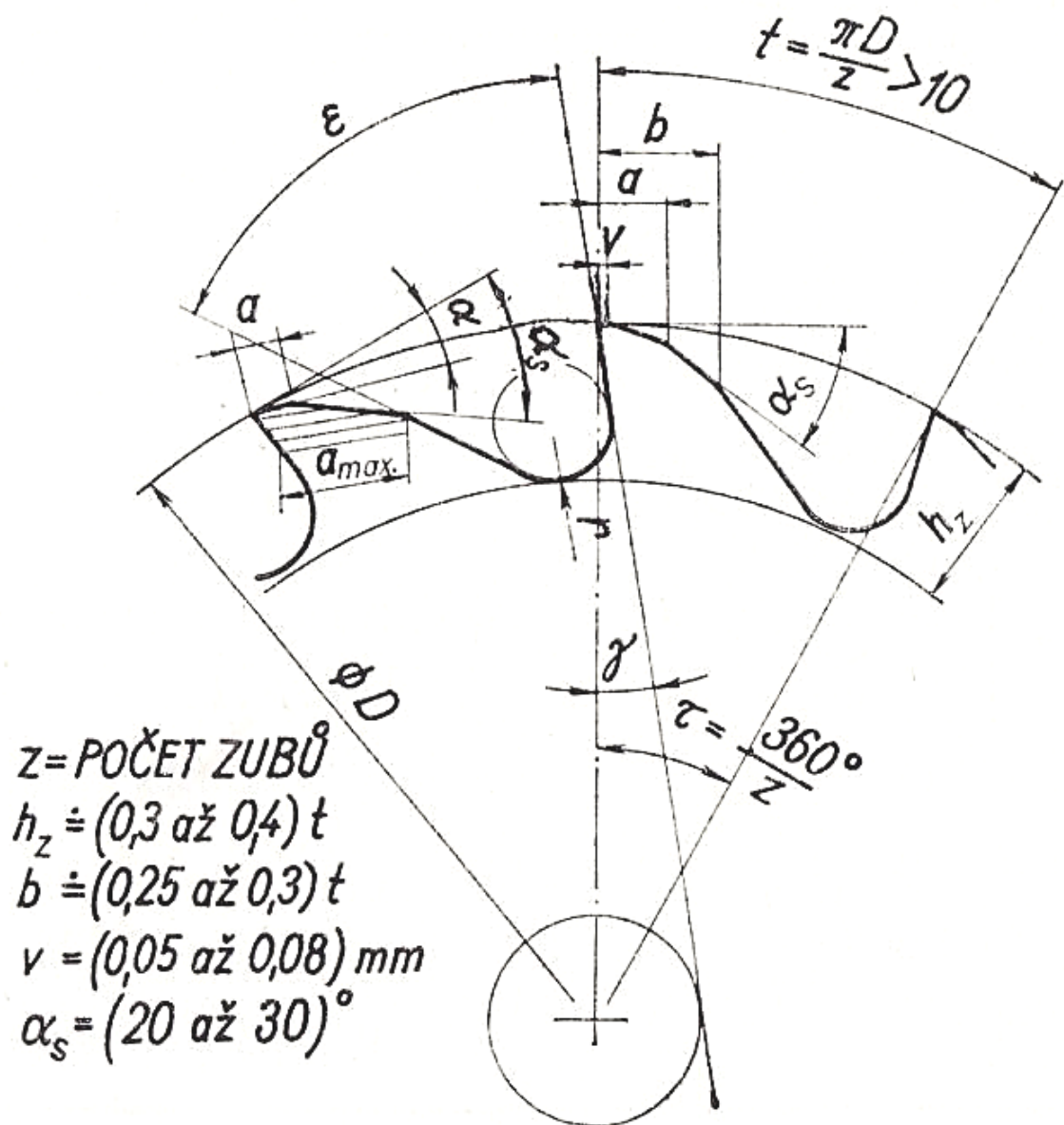
<p>Frézy válcové se zuby v pravé nebo levé šroubovici, krátké a dlouhé</p>		<p>22 2110, 22 2114</p>
<p>Frézy pro drážky per, s válcovou nebo kuželovou stopkou</p>		<p>22 2192, 22 2194</p>
<p>Frézy úhlově čelní</p>		<p>22 2260, 22 2268</p>
<p>Frézy čtvrtkruhové vyduté</p>		<p>22 2226, 22 2227</p>
<p>Frézy s kulovým čelem pro kopírovací frézy</p>		<p>22 2291, 22 2292, 22 2294</p>

Frézy kopírovací kuželové		22 2814, 22 2816
Frézy nástrčné válcové		
Válcové frézy		22 2120, 22 2121, 22 2124, 22 2125, 22 2128
Frézy válcové čelní		22 2154, 22 2155, 22 2156, 22 2157, 22 2158, 22 2159
Kotoučové frézy		
Frézy kotoučové hrubozubé, polohrubozubé a jemnozubé		22 2161, 22 2165, 22 2168

1.2.2 Geometrie zubu frézy

Každý zub frézy je v podstatě samostatný jednoduchý nůž, který je vždy po určitou část otáčky ve styku s obráběným materiálem. Základní tvar zubu frézy závisí na způsobu jeho výroby - tj. na tom, zda byl vyroben frézováním nebo podsoustružením na hřbetě. Čelo zubu frézy může být rovné nebo lomené. Stejně tak hřbet zubu. Zábřit je úzká, jemně zbroušená část hřbetu frézovaného zubu za ostřím. Zubová drážka je prostor mezi jednotlivými zuby, kudy odcházejí odříznuté třísky. Geometrie zubů frézy je dána úhlem čela γ , hřbetu α , úhlem břitu β . [10]

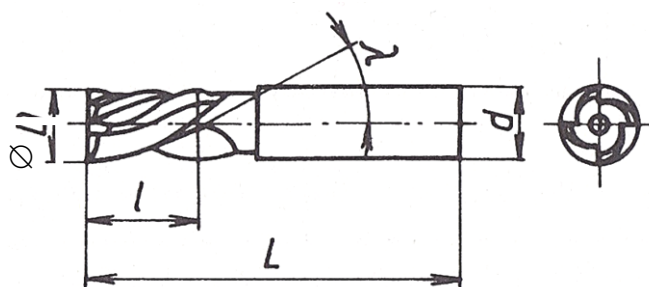
Mezi základními úhly tvořícími geometrii rezného nástroje platí vztah: $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$. [10]



Obr. 3 - Geometrie zubů frézy [2]

1.3 Čelní válcová fréza

Čelní válcové frézy se používají zejména při frézování na frézkách vertikálních; mohou se však používat i na frézkách s vřetenem vodorovným. [10]



Obr. 4. Čelní válcová fréza se stopkou [9]

Při čelním frézování je osa frézy kolmá k frézované ploše. Jednotlivé zuby frézy odřezávají třísky téměř stejného průřezu. Zatížení nástroje i stroje po dobu řezání je prakticky stálé, chod stroje je plynulý a rovnoměrný. Materiál odřezávají zuby na obvodě frézy, čelní zuby obrobenou plochu vyhlazují. Kvalita obrobené plochy je lepší než při frézování válcovou frézou. [10]

V porovnání s frézováním rovinných ploch válcovými frézami má frézování čelními frézami tyto výhody: [10]

- je produktivnější, běžně se používají frézy většího průměru (zejména frézovací hlavy),
- upnutí čelní frézy je tužší,
- frézování je klidnější, neboť v záběru je vždy několik zubů současně.

Při frézování rovinných ploch je třeba dodržet: [10]

- rozměry udané na výkrese,
- rovinnost obrobené plochy (kontrola nožovým pravítkem),
- předepsanou jakost povrchu obrobené plochy.

2 BROUŠENÍ

Broušení patří mezi nejstarší metody obrábění materiálu, které člověk znal a využíval již v předhistorických dobách k výrobě nebo úpravě životně důležitých pomůcek a zbraní. Broušení bylo kromě sekání prvním způsobem, kterého člověk použil ke zpracování svého nářadí. Jako brousící nástroje používal některé volně se v přírodě vyskytující nerosty a horniny, například pískovec, křemen, lávové kameny, smírek, břidlici, apod. Ostření nástrojů představovalo hlavní náplň broušení prakticky až do konce 19. století. [4]

První umělý brousící materiál byl karbid křemíku – karborundum, který byl vynalezen v roce 1891. Koncem 19. století byl objeven další umělý materiál, tavený kysličník hlinitý – elektrokorund. Prudký rozvoj technologie broušení, který nastal počátkem minulého století, byl vyvolán stupňujícími se požadavky na vysokou přesnost součástí, dovolující jejich vzájemnou vyměnitelnost, a byl umožněn objevem umělých brousících materiálů s rovnoměrnou a lepší kvalitou, než měly běžné materiály přírodní. [4]

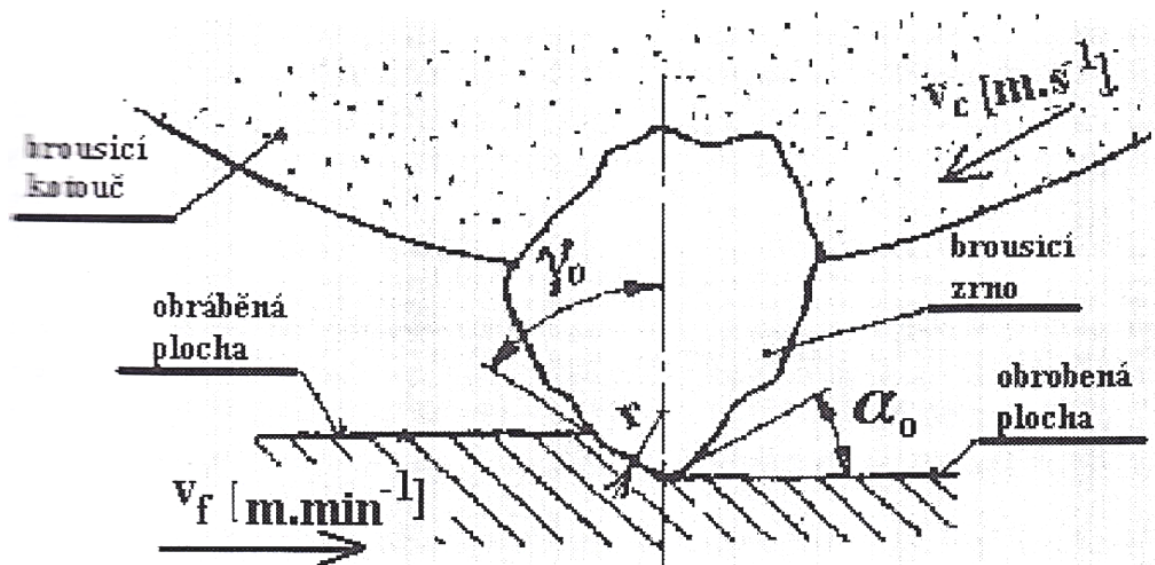
Brusičská tradice na českém území se datuje do doby Rakouska-Uherska. V roce 1893 vznikla v Benátkách nad Jizerou první česká společnost, která se začala zabývat produkcí karbidu křemíku (SiC), což byl světový patent dovezený z Ameriky, který vynalezl Američan Ing. Acheson v roce 1891. Práva pro využití patentu v evropských zemích zakoupil při návštěvě světové výstavy v Chicagu pražský obchodník Vilém Kauffman. Nejdynamičtější rozvoj proběhl za první republiky, kdy došlo k vytvoření celé řady afilací v Evropě i ve světě. Po druhé světové válce byl tento obor zestátněn, což vedlo k sjednocení obchodních aktivit a následnému snížení dynamického rozvoje. V 60. letech nastala v tomto oboru prudká stagnace. V době privatizace, po roce 1989, došlo k přerozdělení struktur mnoha podniků a začala nová éra přibližování se moderní evropské úrovni, čemuž pomáhaly bohaté kořeny brusičské tradice u nás. [4]

2.1 Charakteristika procesu

Brousící proces má základní charakteristiky podobné jako jiné obráběcí procesy a zvláště je blízký frézování. Při broušení však dochází ke kvantitativním i kvalitativním odlišnostem, které souvisí zejména s vlastnostmi brousícího kotouče a řeznými podmínkami. [4]

Broušení se používá zejména pro obrábění součástí s vyššími požadavky na přesnost rozměrů a tvarů a jakost povrchu. Dále se broušení uplatňuje při obrábění materiálů, které

není možné jinými obráběcími metodami obrobit nebo je brousící metoda hospodárnější než jiné. [4]



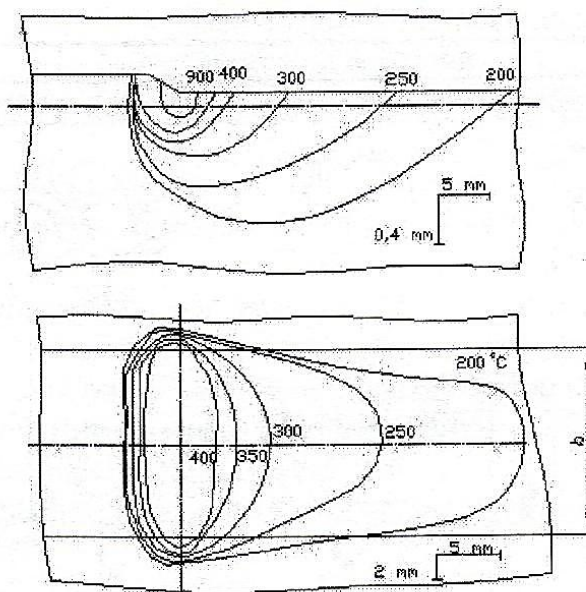
Obr. 5 – Princip úběru materiálu při broušení [4]

Při velkých rychlostech broušení, které jsou 50krát až 100krát větší než je rychlost obrábění nástrojovými ocelmi, vzniká značné teplo, kterým se odtrhované částice zahřívají a taví. Hrany vyčnívajících ostrých zrn jsou více vystaveny nárazům než hrany méně vyčnívající a zaoblené. Ostré hrany se otupují, přičemž se prostory mezi zrny ucpávají třískami. Otupená zrna spotřebují více síly při řezání, tlak na ně vzrůstá a zrno se konečně vylomí ze svého podkladu, čímž nová neotupená zrna přicházejí samočinně v činnost. Tato samoostřicí schopnost brusných kotoučů je důležitá pro udržení řezivosti kotoučů. [2]

2.1.1 Teplotní vlivy při broušení

Vznik třísky při obrábění a její odvod z místa řezu je doprovázen vznikem určitého množství tepla. Ke vzniku tepla dochází transformací vynaložené práce. K vývinu tepla dochází transformací práce primární plastické deformace při vzniku třísky na styčné ploše čela nástroje a třísky, transformací práce sekundární plastické deformace a transformací práce tření na styčné ploše hřbetu a plochy řezu. Největší složkou celkového množství tepla je teplo z tření hřbetu o plochu řezu. [4]

Teplotní pole je pole izoterm proměnlivé s časem řezání a má několik částí. Teplotní pole v třísce ovlivňuje utváření třísky, avšak při broušení je málo významné, teplotní pole v břitu ovlivňuje otupování břitu. Brousící zrna mají totiž velmi malou tepelnou vodivost. [4]



Obr. 6 – Příklad rozložení teplotního pole
v obrobku při broušení [4]

Teplotní pole v obrobku (viz obr. 6) ovlivňuje přesnost a stav obráběného povrchu. To má rozhodující význam zejména pro výrobu a broušení řezných nástrojů. V tepelně ovlivněné vrstvě se mění struktura materiálu a tím i řezivost a trvanlivost. [4]

Teplota řezání vzniká v místě styku nástroje s obrobkem, její velikost závisí na řezných podmínkách, druhu brusiva a chladícího média. Vlivem této teploty vznikají v povrchových vrstvách obrobku strukturní změny a zbytková napětí. Napětí souvisí jednak se silami vznikajícími v průběhu styku brusného zrna a třískou, a jednak se vznikem teplotního gradientu mezi jednotlivými povrchovými vrstvami ostřeného nástroje. Existence napětí má za následek křehké porušení broušeného povrchu, které se projeví mikrotrhlinami a vylamováním břitu řezného nástroje. Ke změně tvrdosti dochází vlivem popouštění a sekundárního kalení, které probíhají při prudkém ohřátí povrchu po překročení teploty 910°C a v důsledku následného prudkého chlazení proudem vzduchu nebo řezné kapaliny. Intenzita změn závisí na teplotě a času při průběhu procesu. [4]

2.2 Způsoby broušení

Jednotlivé metody broušení lze dělit:

Podle tvaru obrobeného povrchu a způsobu jeho vytváření:

- Rovinné broušení (výsledkem je rovinná plocha);

- Rotační broušení (výsledkem je rotační plocha);
- Broušení na otáčivém stole (broušení s rotačním pohybem);
- Tvarovací broušení (broušení závitů, ozubených kol apod.);
- Kopírovací broušení (broušení s řízenou změnou posuvu, NC stroje);
- Broušení tvarovými brousícími kotouči (profil brousícího kotouče určuje konečný profil obrobku).

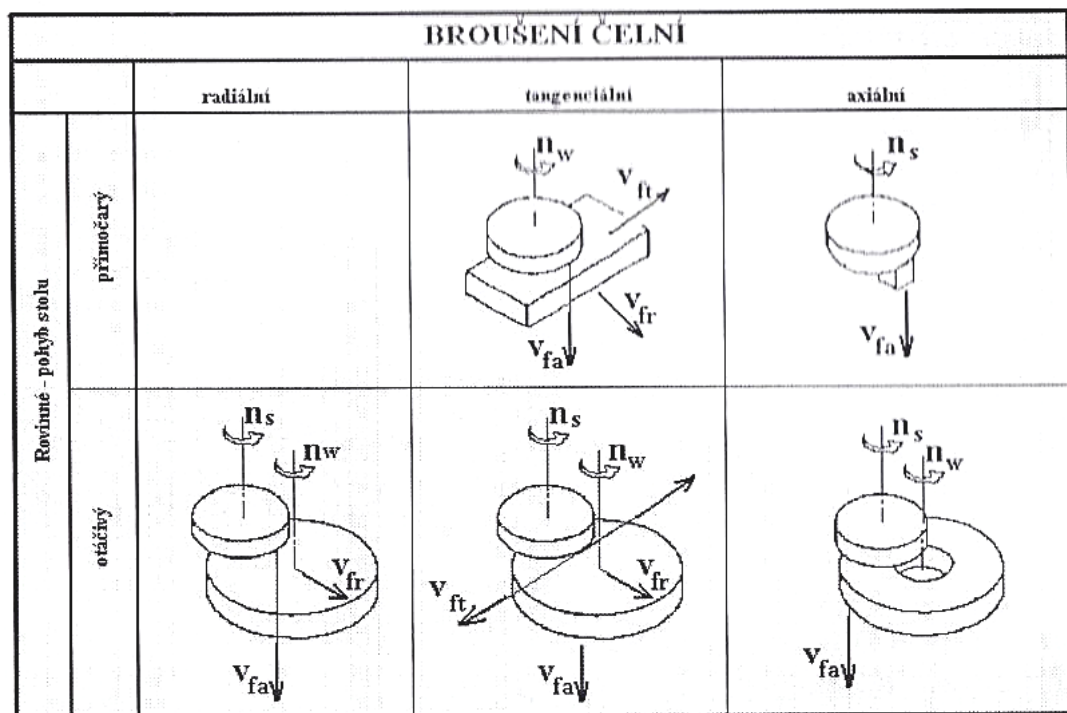
Podle aktivní části brousícího kotouče:

- Obvodové broušení (broušením obvodem kotoučem),

		BROUŠENÍ OBVODOVÉ		
		radiální	tangenciální	axiální
Dvouválcový pohyb stuhu	přímý			
	otáčivý			
Do kuličky	vnější			
	vnitřní			

Obr. 7 – Typy obvodového broušení[1]

- Čelní broušení (broušení čelem kotouče kolmým k jeho ose).



Obr. 8 – Typy čelního broušení [2]

Podle vzájemné polohy brousícího kotouče a obrobku:

- Vnější broušení (broušení vnějšího povrchu obrobku);
- Vnitřní broušení (broušení vnitřního povrchu obrobku).

Podle hlavního pohybu obrobku vzhledem k brousícímu kotouči:

- Axiální broušení (hlavní posuv stolu rovnoběžný s osou kotouče);
- Tangenciální broušení (hlavní posuv stolu rovnoběžný s vektorem obvodové rychlosti kotouče ve zvoleném hlavním bodě broušení);
- Radiální broušení (hlavní posuv stolu ve zvoleném hlavním bodě broušení je radiální vzhledem ke kotouči);
- Obvodové zapichovací broušení (posuv stolu je plynulý radiální);
- Čelní zapichovací broušení (posuv stolu je plynulý axiální).[4]

2.3 Nástroje pro broušení

Brusnými nástroji (kotouči, segmenty, kameny aj.) se brusného účinku dosahuje ostrými hranami zrn velmi tvrdých brusných materiálů. Tyto materiály jsou drženy pojivem buď neorganickým (keramickým, polymerním), nebo organickým (pryží, šelakem, bakelitem aj.). Brusná zrna jsou krystalické úlomky korundu (kysličníku hlinitého Al_2O_3), karbidu

křemíku (SiC), diamantu aj., která mají nepravidelný tvar, charakteristické pro drcené krystaly. Krystaly se štípou ve smykových plochách a mají pak různě zaostřené hrany, jež působí jako miniaturní nože s kladným nebo záporným úhlem čela γ . Tvrdost zrna a jeho brusná schopnost (brusivost), tj. množství materiálu odebraného za jinak stejných podmínek v jednotce času, jsou největší u diamantového zrna. Za řeznou rychlost při broušení se považuje obvodová rychlost brousícího kotouče v_c , která je vzhledem k ostatním metodám obrábění relativně vysoká. [4]

Kotouče se vyrábějí lisováním nebo litím. Při lisování se směs brusiva s pojivem navlhčí a slisuje se do požadovaného tvaru. Při lití se směs brusiva s pojivem rozředí na řídkou kaši a nechá se ztuhnout ve formě žádaného tvaru. Vysušené kotouče se následně vypalují, pojivo se z části taví, obaluje zrna a vzájemně se spojuje. Lité kotouče mají lepší homogenitu v celém svém objemu, jsou kvalitnější. [4]

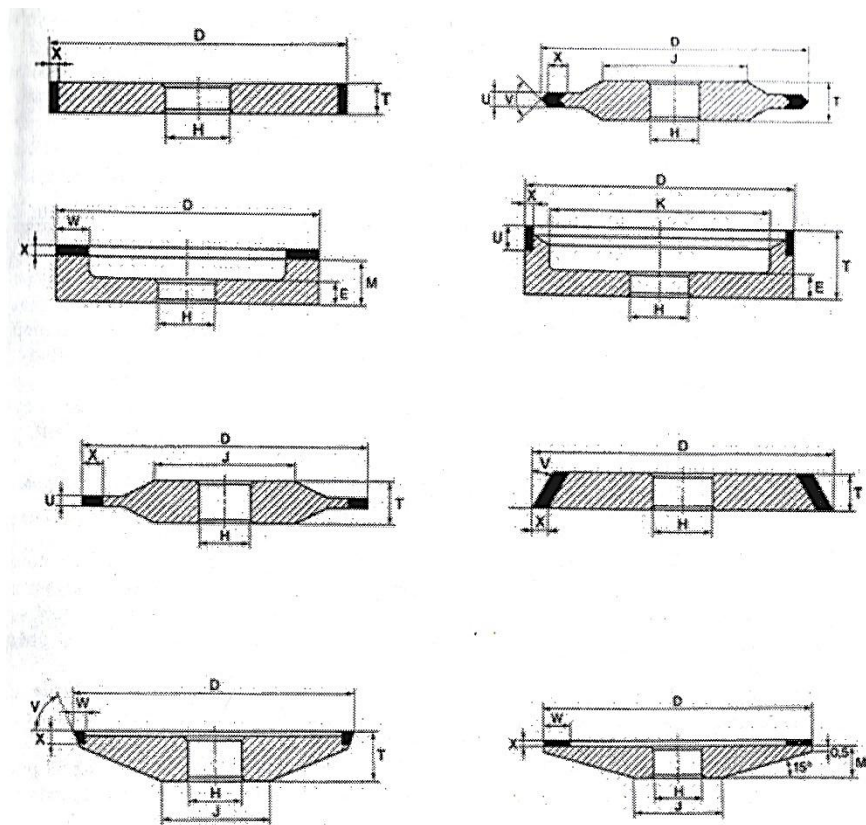
Tvrdost kotouče závisí na složení a množství pojiva v poměru k množství zrn a také na teplotě, při které se kotouče vypalují. Závady způsobené nevhodnou tvrdostí brusného nástroje se projeví tím, že kotouč má buď malou samoostřicí schopnost a že se nadměrně zahřívá, pálí a zanáší, čímž se jakost broušeného povrchu zhorší a spotřeba síly roste, nebo že se příliš měkký kotouč rychle opotřebuje. Jemná zrna mají relativně velký povrch a potřebují k dosažení stejné tvrdosti více pojiva. [4]

Tlak na zrno závisí na velikosti styčné plochy mezi kotoučem a broušeným nástrojem. Při větší styčné ploše je zrno poměrně delší dobu v záběru a otupuje se více. Je proto nutno volit měkčí kotouče, které mají lepší schopnost samoostření. [4]

Druhy brousících nástrojů:

- Řezací a drážkovací kotouče
- Brousící a řezací kotouče „FLEX“
- Kotouče pro broušení zubů pil
- Speciální kotouče pro broušení ozubení
- Keramické brousící kotouče ploché
- Brousící a leštící kotouče v gumové vazbě
- Žáruvzdorné výrobky
- Brousící segmenty
- Keramické brousící kotouče tvarové
- Sklářské kotouče

- Vysoce porézní brousící kotouče
- Kotouče pro broušení otvorů
- Brousící tělíska se stopkou
- Brousící a hrubovací kotouče s pryskyřičným pojivem
- Brousící plátna a papíry
- Brousící kameny, ostříče a ocílky
- Brousící pilníky
- Brousící pomůcky (oživovače, orovnávače, omílací tělíska)
- Brousící zrna



Obr. 9 – Tvary brousících kotoučů [4]

Jakost brousících nástrojů se označuje v tomto pořadí:

1. Druh brusiva
2. Zrnitost
3. Tvrdost
4. Struktura

5. Pojivo

2.3.1 Broušící materiály

Podle původu lze rozdělit používané brusivo na přírodní (diamant, křemičitý písek, pís-kovec) a umělé (umělý korund, karbid křemíku, karbid bóru, umělý diamant, kubický nit-rid bóru). Brusivo se drtí na brusná zrna, jež se třídí na měrnou velikost. Měrným rozmě-rem je šířka zrna a udává se v mikrometrech. V současné době se, vzhledem k výhodnějším vlastnostem, používají brusiva umělá.

Brusivo je tedy rozděleno podle původu. Jakost je určena tvrdostí a houževnatostí zrn jednotlivých druhů brusiva, označuje se dle ČSN 22 4010 (viz tab. 2).

Tab. 2 – Přehled brusných materiálů dle jakosti [2]

Druh brusiva		Původ	Označení dle ČSN	Tvrdost podle Mohse
Pazourek		přírodní	P	7
Granát			G	6,5 - 7,5
Smírek			S	7,5 - 8,5
Umělý korund Al_2O_3	bílý	umělý	A99	9 - 9,2
	růžový		A98	9,1 - 9,2
	hnědý		A96	9,1 - 9,3
Karbid křemíku SiC	zelený		C49	9,3 - 9,5
	černý		C47	
Karbid bóru B_4C			B	9,5 - 9,7
Diamant		přírodní/umělý	D	10

Umělý korund Al_2O_3

- **Hnědý** – vysoce houževnatý materiál, obsahuje 95-96% Al_2O_3 , 1,5-3% TiO_2 a 1-2% ostatních přírodních látek. Vyrábí se tavením bauxitu v obloukové peci při teplotě 2000-2400°C. Je určen pro všestranné použití. Je velice tvrdý a houževnatý. Je nejběž-nějším používaným typem brusiva. Kotouče z něho vyrobené se používají k brouše-ní nízcí legovaných ocelí a kovových materiálů střední a vysoké pevnosti. Je zvláště vhodný pro velké hrubovací práce
- **Bílý** – obsah Al_2O_3 nad 99,5%, čistý materiál používaný pro kotouče s keramickou vazbou. Výroba tavbou chemicky vysoce čistého kyslíčnicku hlinitého v elektrické ob-loukové peci. Je tvrdý a křehký. Používá se na broušení náradí z nástrojových a rychlo-řezných ocelí a broušení kalených a nerezových ocelí.

- **Růžový** – legovaný bílý korund kyslíčnickem chromitým (Cr_2O_3). Chrom vstupuje do krystalické mřížky a zvyšuje houževnatost. Je velice tvrdý a houževnatý, je odolný proti opotřebení hrany a proti nárazu. Je proto vhodný pro broušení nerezových a vysoce legovaných ocelí velké pevnosti.
- **Monokrystalický** – speciální korund s velkými krystaly. Užití jak pro řezání, tak i pro broušení tvrdých ocelí.
- **Mikrokrystalický** – speciální korund vyráběný keramickou cestou s vysokou samoostřicí schopností. Užití pro broušení vysoce tvrdých ocelí (58 HRC a výše) a těžko obrobitelných materiálů. Zvyšuje produktivitu broušení a snižuje nebezpečí propalu.
- **Zirkonový** – speciální zrna pro razantní hrubovací operace s vysokým výkonem.

Karbid křemíku SiC (karborundum)

- **Černý** – vyrábí se redukcí oxidu křemíku uhlíkem, která probíhá za dostatečně vysokých teplot (asi 1800-2200°C) v elektrické odporové peci. Obsah SiC nad 96%. Je velmi tvrdý, méně křehký než zelený. Používá se pro broušení kovových i nekovových materiálů nízké pevnosti, šedé litiny, temperované litiny před žíháním, předvalků, svarů, výkovků, mosazí, bronzu, hliníku, jakož i organických, minerálních a keramických materiálů.
- **Zelený** – vyšší čistota, použití stejné jako u černého, především v oblasti středních a jemných zrn. Velmi tvrdý materiál, křehký a citlivý na nárazy a údery. Používá se hlavně na broušení slinutých karbidů a keramických řezacích hmot, skla a částečně také na broušení kyselinovzdorných ocelí s austenitickou strukturou.

Karbid bóru B₄C

- Vyrábí se z kyseliny borité (HBO_2) a koksu a obsahuje až 94% krystalického karbidu bóru. Nejčastěji se používá jako brusivo do lapovacích past.

Umělý diamant

- Výroba syntézou z grafitu za přítomnosti katalyzátoru. Vzniklé krystalky se používají jako brusiva na kotouče i jako volné brusivo. Použití především pro broušení tvrdých a těžko obrobitelných materiálů, pro jemné dokončovací broušení a ostření řezných nástrojů ze slinutých karbidů, pro dokončovací broušení a lapování.

Kubický nitrid bóru CBN

- Vysoce tvrdý materiál ležící svou funkčností mezi korundy a diamantem. Užití pro materiály o tvrdosti nad 60 HRC, pro ostření řezných nástrojů, broušení tvrdých a těžko obrobitelných materiálů, tvarové broušení. Tepelně stálejší a chemicky neutrální oproti diamantu.

2.3.2 Zrnitost

Všechny brusné materiály jsou charakterizovány svojí zrnitostí, která ovlivňuje kvalitu obrobené plochy a možnost volby úběru materiálu. Proto je tedy zrnitost brousícího materiálu přímo úměrná drsnosti broušeného povrchu. Je určena měrným rozměrem zrna, čímž se považuje jeho šířka. Čím hrubší zrna, tím horší kvalita broušeného povrchu. Pro větší úběr materiálu se volí hrubší zrnitost.

Závislost drsnosti povrchu obrobené plochy na velikosti zrna brousícího materiálu je uvedena v následující tabulce:

Tab. 3 – Závislost velikosti zrn na drsnosti obrobené plochy[4]

Zrnitost (μm)		Použití	Drsnost povrchu Ra (μm)
Diamant	CBN		
200/160 160/125	250/200 200/160	Účinné broušení a hrubování, kde je požadován především vysoký výkon broušení	1,2
125/100 100/80	160/125 125/100	Účinné broušení Hrubovací operace	0,8
80/63 63/50	100/80 80/63	Dokončovací broušení, ostření řezných nástrojů	0,4
50/40	63/50	Dokončovací broušení	0,2
40/36 36/25 40/28		Lapování	0,1

Surové brousící materiály se drtí v mlýnech a třídí na sítích podle velikosti zrn. Menší zrna se třídí podle počtu minut potřebných k jejich usazení, jsou-li rozptýlena ve vodě. Malá zrna se také třídí proudem vzduchu. Velikost zrn v rozmezí 53 až 3000 μm se označují jako brousící zrna, v rozmezí 3 až 53 μm se označují jako optické prášky. V současné době se pro určení zrnitosti používá jako měrný rozměr šířka zrna v mikrometrech.

Podle velikosti zrna lze zrnitost kotoučů dělit na:

- Velmi hrubou (označení 160 – 400 pro šířku zrna 1600 – 4000 μm);
- Hrubou;
- Střední;
- Jemnou;
- Velmi jemnou;
- Zvlášť jemnou (označení 3 – 4 pro šířku zrna 32 – 40 μm);

2.3.3 Tvrdost brousicích nástrojů

Důležitou vlastností je tvrdost brousicího nástroje, která nejvíce ovlivňuje průběh a výsledky procesu broušení. Nevyjadřuje tvrdost brusiva, ale je určena soudržností zrn a pojiva. Definiuje se jako odpor kladený pojivem proti vylomení zrn. Zrno uvolňující se lehce znamená měkký kotouč, opačný případ znamená kotouč tvrdý (Tab. 4). Tvrdost brusných nástrojů se označuje velkými písmeny.

Tab. 4 – Stupně tvrdosti brusného kotouče[2]

Stupeň tvrdosti	Označení
Velmi měkký	E, F, G
Měkký	H, I, J, K
Střední	L, M, N, O
Tvrký	P, Q, R, S
Velmi tvrdý	T, U, V
Zvlášť tvrdý	W, X, Y, Z

2.3.4 Struktura brousicích nástrojů

Struktura brusných nástrojů je označována pořadovými čísly. Strukturou se rozumí hutnost brousicích nástrojů, tj. objem pórů v % z celkového objemu. Pórovité kotouče mají velké prostory mezi zrny, nezanášejí se a dobře se chladí, protože přijímají mezi zrny řeznou kapalinu (Tab. 5).

Tab. 5 – Struktura brousicích nástrojů [2]

Označení	Struktura	Objem pórů [%] (± 4%)
1	velmi hutná	3
2		8
3	hutná	13
4		18
5	polohutná	23
6		28
7	pórovitá	33
8		38
9	velmi pórovitá	43
10		48
11	zvlášť pórovitá	53
12		58
13		63

2.3.5 Pojivo brousicích nástrojů

Pojivo vytváří můstky mezi brousícími zrny a jeho vlastnosti významně ovlivňují tzv. samoostření brousícího nástroje. Účelem pojiva je držet zrna brusiva v brusném nástroji pokud jsou ostrá. Při dobře voleném pojivu se zrna po otupení začnou samočinně vytrhávat z brusného kotouče, čímž se uvolní ostrá, hlouběji položená zrna k činnosti. Rozlišujeme pojiva organická a anorganická. Při výrobě a údržbě nástrojů se nejčastěji používá pojiva keramického, které má dostatečně velkou pevnost v tahu a připouští rychlost broušení do $45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Nevýhodou keramického pojiva je jeho křehkost. Z organických pojiv je výhodné pojivo bakelitové, které je pružné a zároveň odolné proti tahu, takže připouští rychlost do $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Ještě větší rychlostí se může brousit kotouči s pryžovým pojivem, kterými se dosáhne velké hladkosti povrchu, popř. kotouči s bakelitovými pojivy s textilní vložkou.

2.3.5.1 Pojiva organická

- kotouče s těmito pojivy jsou pevné a pružné

- **Šelaková pojiva (E)** – kotouče jsou velmi pružné a dají se vyrobit velmi tenké. Vhodné pro kotouče na jemnou práci, na ozubení, pro leštění kamene.
- **Pryžová pojiva (R), s výztuží (RF)** – vyrábí se z přírodního nebo umělého kaučuku, síry a urychlovače k vytvrzování. Vykazují vysokou pevnost a pružnost a používají se na výrobu řezacích a drážkovacích kotoučů, podávajících kotoučů u bezhrotého broušení, na jemné ostření nástrojů a zvláště elastické nástroje pro čištění a leštění.
- **Umělá pryskyřice bakelitová (B), s výztuží (BF)** – vyztužená skleněnými vlákny, umělými textilními vlákny nebo papírem. Zejména pro výrobu řezacích kotoučů. Kotouče jsou méně citlivé vůči nárazům a bočním tlakům, zejména kotouče se sklotextilní výztuží. Slouží k hrubování, broušení vnějších i vnitřních válcových ploch, rovinných ploch, řezání kovů, kamene a keramiky.

2.3.5.2 *Pojiva anorganická*

- **Keramická pojiva (V)** – nejpoužívanější druh pojiva, pokrývá přibližně 80% výroby brousících nástrojů. Lze jimi pojit umělý korund a karbid křemíku, dobře splňují požadavek ideálního uložení zrn, jsou proto vhodná pro tvarové kotouče. Vyrábí se převážně ze směsi ohnivzdorných hlín, kaolínu a živce. Snášejí vodu, chemické působení řezných kapalin i působení vysokých teplot. Nevýhodou je nižší pevnost v tahu, díky níž lze s kotouči pracovat jen do rychlosti $80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Brousící nástroje jsou křehké, citlivé vůči nárazům a bočnímu tlaku.
- **Silikátová pojiva (S)** – jsou směsí hlíny, křemičitého prachu a vodního skla. Brousící kotouče jsou méně pevné ve srovnání s keramickým pojivem, jsou však pružnější. Vyznačují se malou odolností vůči vyšší teplotě a působením vody ztrácejí pevnost. Jsou vhodná pro broušení za sucha.
- **Magnezitová pojiva (O)** – skládají se z magnezitu a chloridu vápenatého (CaCl_2). Pevnost se skladováním snižuje, škodí mu vlhko, kyselé i zásadité prostředí. Kotouče jsou křehké, používají se pro jemný výbrus bez tepelného ovlivnění součástí, pro obrábění za sucha.
- **Kovová pojiva** – je tvrdší než pryskyřičné, používá se především u nástrojů s brusivem z diamantu a kubického nitridu bóru. Kovové částice se obvykle spékají k podkladu jiných kovů, např. na měděný podklad, železný podklad, na wolframovém a molybdenovém podkladě, na podkladě z tvrdokovu (WC, TiC + Co, ...).

- **Kovová pojiva galvanická** – zrna brusiva jsou velmi pevně ukotvena v jedné vrstvě k ocelovému tělesu galvanicky nanášeným povlakem niklu. Většinou se jedná o tvarově složité kotouče. Vysoké rychlosti broušení jsou u těchto kotoučů umožněny tím, že 1/3 povrchu zrn brusiva vystupuje z kovového pojiva, čímž brusivo tvoří ze 100 % efektivní brousící plochu kotouče. Teplo vznikající při broušení je z pracovní plochy odváděno přes kovové pojivo na mosazný kruh a přes vlastní ocelové těleso kotouče do okolí. Díky této konstrukci prakticky nemůže i při vysokých rychlostech obrábění dojít k přehřívání kotouče. Kotouče si díky tomu dlouho udržují původní tvar a po celou dobu životnosti nevyžadují orovnávaní.

2.4 Orovnávaní brousících kotoučů

U rotačně symetrických obrobků z tvrdých materiálů broušených s celkově složitou geometrií, jako jsou např. tvrdokovový stupňovitý vrták, tvarové frézy, jsou zapotřebí tvarové a přesně orovnané diamantové nebo CBN brusné kotouče. S těmito kotouči můžeme na CNC bruskách velmi přesně brousit malé rádiusy, radiální a tangenciální přechody, drážky a úhly břitů nástrojů.

Orovnávat a brousit kotouče lze dvěma způsoby – přímo na CNC brusce nebo na speciálních strojích pro orovnávaní. Až donedávna dávala většinou obsluha při orovnávaní a profilovém broušení diamantových a CBN brusných kotoučů přednost ručně nastavovaným strojům. Výhoda těchto orovnávacích a profilových brusek je v jejich vysoké flexibilitě. Ručně ovládané stroje mají však také nevýhody. Přesnost nastavení, především při opakovaném obrábění stejných brusných kotoučů, závisí především na zručnosti a pečlivosti obsluhy. Při broušení a výrobě vysoce hodnotných nástrojů a obrobků pomocí diamantových a CBN brusných kotoučů je potřeba, aby kotouče měly shodně orovnaný profil.

Podstatně vhodnější je použití CNC řízené orovnávací a profilové brusky. Řízené a regulované pohony zde vykonávají přísuvné, oscilační a výklopné pohyby. Na těchto posuvech zásadně závisí přesnost profilovaného brousícího kotouče. Potřebné parametry zadává obsluha pomocí dotykového ovládání.[4]

2.5 Použití řezných kapalin při broušení

Nejlepších výbrusů se dosahuje pod chlazením a mazáním prostředky, které nejsou mísitelné vodou (čistý minerální olej nebo bio-olej). Oleje jsou příznivější i k samotnému výkonu brusných kotoučů a chodu stroje. Podle zkušeností se ukázalo, že stroje, které pracují

s oleji jako chladícími prostředky, vykazují podstatně delší životnost ve srovnání se stroji pracujícími s chladícími emulzemi. Používání vodou mísitelných emulzí je spojené s dalšími problémy, např. s ošetřováním inhibitory koroze, prostředky zabraňujícími tvorbě pěny a stabilizátory. Je tedy kladen důraz na eliminaci vlivů chladících a mazacích medií na stroj (vodou mísitelné emulze – nebezpečí koroze – životnost). [4]

Dostatečný a intenzivní přívod chladícího prostředku je bezpodmínečně nutný. Cílem je ochlazování místa broušení a ovlivňování tření mezi brusným kotoučem a obrobkem, minimalizace opotřebení brusné vrstvy kotouče a zlepšení jakosti obrobené plochy. Další funkcí je vyplachování třísek a nečistot z povrchu brusné vrstvy kotouče. Chladící médium by mělo být přiváděno přes automatické ventily tak, aby každý kotouč byl opatřen alespoň jedním svým vlastním přívodem kapaliny. Směr proudu chladícího média by měl být shodný se směrem otáčení brousícího kotouče, aby docházelo k co nejlepšímu chlazení a odvádění třísek z místa broušení. [4]

Nástrojařské CNC brusky mají většinou uzavřený oběh chladícího média s filtrací odvedené třísky do sběrných nádob přes vzduchotechniku. Volba technologie filtrace závisí na zrnitosti brousícího kotouče a průřezu třísek. Při broušení nástrojové oceli je dostačující filtrační papír o příslušné propustnosti, při broušení slinutých karbidů jsou nutné lamelové filtry. Interval čištění lamel je daný dle hustoty zanášení, v praxi je ideální cyklus 8 hodin. [4]

Použitím technologie rychlostního broušení kotouči s CBN nebo diamantem je zde další problém. V důsledku vysoké obvodové rychlosti kotouče vzniká vzduchový polštář na obvodu brusného kotouče, který brání přístupu chladícího média. Čím vyšší obvodová rychlost, tím větší je tlak vzduchového polštáře. Tlak proudu chladícího média musí být tak vysoký, aby překonal odpor vzduchového polštáře na obvodu kotouče. [4]

Při nedodržení některých zásad broušení s chladícím médiem může dojít ke vznícení chladícího média nebo k poškození zdraví. Nebezpečí vznícení nebo vzplanutí nehrozí u chladících medií nebo emulzí na minerální (ne syntetické) bázi, které jsou mísitelné vodou. Nebezpečí vznícení nevzniká v samotném chladícím médiu, ale ve směsi a vzduchu, tzv. olejové mlze. Zdrojem vzplanutí nebývají jiskry v oblasti broušení, ale většinou je to přehřáté a rozžhavené místo broušení. Čím větší množství oleje je dodáno a čím lépe je směřován proud chladícího média do místa dotyku brusného kotouče s broušeným nástrojem, tím menší je riziko vzplanutí olejové mlhy. Pomocí dostatečně dimenzovaného odsávacího

zařízení chladicího média lze rychle odvést vzniklou olejovou mlhu a zabránit tak jejímu nashromáždění v pracovním prostoru stroje. Bod vzplanutí chladicího oleje je minimálně 180°-200°C. Pokud je chladicí a odsávací systém výrobcem vybaven vhodnými konstrukčními úpravami, lze použít i oleje s nižším bodem vzplanutí. [4]

2.5.1 Používaná chladicí média při broušení supertvrdými materiály

1. Aditivované oleje pro broušení – jsou doporučovány zejména pro broušení kotouči CBN, jejich mazací účinek přispívá k dobré jakosti broušených povrchů a životnosti kotoučů.
2. Emulze – zajistí dobrý odvod tepla při broušení kotouči DIA a CBN. Pro broušení s CBN je vhodnější užití emulzí s vyšší koncentrací. Emulze jsou doporučovány pro operace s velkým úběrem materiálu a běžnými požadavky na jakost materiálu. Rozpustné emulze mohou nepříznivě ovlivnit stálost pryskyřičných pojiv kotoučů.

2.6 Broušení tvarově složitých nástrojů

Rozmach používání NC technologií, především v oblastech frézování, soustružení a vrtnání, nabývá v současné době na intenzitě. Aby se tyto metody mohly i nadále rozvíjet, je nutné, aby se řezné nástroje vyráběly a ostřily ve vysoké kvalitě. Při výrobě i při ostření nástrojů ovlivňuje výrazně užité vlastnosti nástroje, tj. přesnost tvaru, jakost funkčních ploch a trvanlivost břítu, použitá výrobní technologie. Důležitost použité technologie vystupuje do popředí zejména při výrobě a ostření výkonných, tvarově složitých nástrojů. [4]

Řešení této úlohy vyžaduje kromě jiného nasazení kvalitních a výkonných nástrojařských brusek s CNC řízením, které umožní provádět jak kompletní výrobu nových nástrojů, tak přeastřování nástrojů otupených. [4]

2.6.1 Nástroje pro tvarové broušení

Využití vlastností supertvrdých řezných materiálů (diamantu a CBN), a to zejména jejich tvrdosti a tepelné odolnosti, umožňuje ve výrobě brousících kotoučů připravit řezné nástroje s vynikající charakteristikou: jemnou strukturou, vysokou odolností proti opotřebení a mimořádnou stálostí tvaru i řezných vlastností. [4]

Brousící kotouče ze supertvrdých brousících materiálů se vyrábějí ve velmi širokém sortimentu a jsou charakterizovány následujícími základními znaky:

- Druh brusiva, tvar kotouče, rozměry kotouče, druh pojiva.

- Zrnitost brusiva a koncentrace brusiva

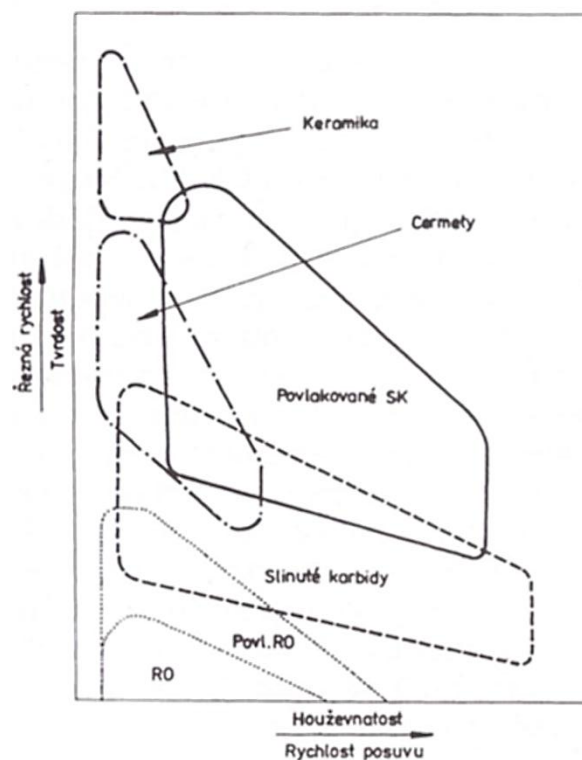
Tvary kotoučů jsou popsány typovou značkou, která určuje základní tvar (tj. kotouče obvodové, čelní, úhlové apod.). Toto značení vychází ze standardu ISO a bývá někdy doplněno vlastní značkou výrobce. [4]

Jednotlivé typy obsahují základní rozměry kotouče i jeho upínacích elementů (průměr a šířka kotouče, úhel zkosení, rozměr upínacího otvoru apod.) a brousící vrstvy (šířku a tloušťku). Volba průměru kotouče závisí na typu brusky, která by měla zaručit dosažení doporučených řezných podmínek. Obecně se doporučuje volba co největšího průměru brousícího kotouče, poněvadž se zvětšujícím se průměrem se zlepšují tepelné i kinematické podmínky broušení. [4]

Volba šířky brousící vrstvy je spojována s velikostí kontaktu kotouče s obrobkem při broušení. Doporučuje se volit kontaktní plochu co nejmenší. Úzká brousící vrstva umožní vyšší výkon broušení s malým vývinem tepla. Příliš široká vrstva způsobuje vysoké tepelné zatížení v místě řezu, což může vést ke snížení výkonu broušení. Důležité je, aby byla při broušení využívána celá šířka brousící vrstvy. Tloušťka vrstvy se pohybuje převážně v rozmezí 1,5 až 4 mm, v závislosti na typu pojiva a kotouče. Zvýšení tloušťky sice poněkud zvýší cenu kotouče, ale celkově sníží náklady na broušení. [4]

3 SLINUTÉ KARBIDY

Současný poměrně široký sortiment materiálů pro řezné nástroje, od nástrojových ocelí až po syntetický diamant, je důsledkem celosvětového dlouholetého a intenzivního výzkumu a vývoje v dané oblasti a má úzkou souvislost s rozvojem konstrukčních materiálů určených pro obrábění, i s vývojem nových obráběcích strojů, zejména s číslicovým řízením. Hlavním problémem dnešní doby tedy není hledání absolutně nových, dosud nepoužívaných řezných materiálů, ale spíše optimální využití již známých materiálů, s velmi přesným vymezením oblastí jejich aplikace.[3]



Obr. 10 – Graf nástrojových materiálů [3]

Slinuté karbidy (SK) jsou nejpevnějšími materiály mezi tvrdými nástrojovými materiály a mohou být použity pro obrábění vysokými posuvovými rychlostmi a pro těžké přerušované řezy. Nemohou být ale použity pro vysoké řezné rychlosti, zejména v důsledku své nízké termochemické stability. [3]

Povlakované slinuté karbidy jsou složeny z pevného karbidového podkladu a termochemicky stabilního tvrdého povlaku (karbidy, nitridy, oxidy a jejich kombinace). Výsledkem jsou nejlepší materiály pro vysoké řezné i posuvové rychlosti, vysoký úběr materiálu a přerušované řezy. [3]

3.1 Rozdělení a značení

Současné standardní (běžné, nepovlakované) slinuté karbidy pro řezné aplikace jsou na základě svého užití rozdělovány normou ISO do třech skupin – P (barva značení modrá), M (barva značení žlutá), K (barva značení červená), s dalším dělením např. P10, M30, K20 (vyšší číslo vyjadřuje vyšší obsah pojícího kovu, vyšší houževnatost a pevnost v ohybu a nižší tvrdost a otěruvzdornost materiálu a vymezuje oblast jeho aplikací pro nižší řezné a vyšší posuvové rychlosti). [3]

Základními karbidy pro výrobu všech běžných druhů slinutých karbidů pro obrábění jsou karbid wolframu (WC) a karbid titanu (TiC), pojícím kovem je kobalt (Co), jako další přísady se nejčastěji používají karbidy tantalu (TaC), niobu (NbC) a chromu (Cr_3C_2). Vzhledem ke svému složení jsou běžné SK někdy též označovány jako jednodobidové (K), dvojdobidové (P) a vícedobidové (M). Z tohoto hlediska lze proto k jednotlivým skupinám podle ISO přiřadit obvykle následující složení: [3]

- skupina K: WC + Co + (TaC.NbC)
- skupina P: WC + TiC + Co + (TaC.NbC)
- skupina M: WC + TiC + TaC.NbC + Co

3.2 Výroba

Výroba slinutých karbidů představuje typickou metodu oboru, nazývaného prášková metalurgie, který se zabývá přípravou prášků odpovídajících karbidů a pojících kovů, jejich mísením v patřičných poměrech, lisováním směsi a slinováním výlisků. [3]

Podstatou procesu výroby slinutých karbidů je lisování směsi práškových karbidických částic s práškem pojícího kovu, nejčastěji kobaltu a následné slinování při teplotě blízké bodu tavení pojiva. Tím vzniká kompaktní materiál, jehož tvrdost se blíží tvrdosti výchozích karbidů a který vyniká poměrně vysokou pevností (zejména v tlaku, současné produkty předních výrobců i pevností v ohybu), protože jeho struktura je tvořena pevnou kostrou pojícího kovu, která obklopuje zrna relativně křehkých karbidů. [3]

Obecný postup výroby slinutých karbidů lze rozdělit do následujících základních operací: [3]

- výroba práškového wolframu,
- výroba práškových karbidů (WC, TiC, TaC.NbC) a kobaltu,

- příprava směsí uvedených prášků,
- formování směsí,
- předslinování sformovaných směsí (kolem 1000°C),
- úprava tvaru předslinutého tělesa (v případě potřeby),
- slinování (1350-1650 °C),
- vysokoteplotní izostatické lisování (HIP – Hot Isostatic Pressing), kdy probíhá slinování za vysokých teplot a působení tlakového plynu, který zajistí rovnoměrný tlak na slinovaný výrobek ze všech směrů. Takto vyrobené slinuté karbidy mají vysokou hustotu, která se blíží teoretické hodnotě, s minimálním objemem pórů a jiných vad a při aplikacích pro řezné nástroje proto dosahují nejvyšších hodnot trvanlivosti.

Výrobní procesy práškové metalurgie dovolují s velkou přesností řídit a kontrolovat jak složení slinutých karbidů, tak jejich zrnitost. Pojící fáze umožňuje slinování daleko pod bodem tavení karbidické fáze (např. pro systém WC-Co je to 1500°C, zatímco teplota tavení WC je 2750°C) a dodává slinutému karbidu potřebnou houževnatost a tepelnou vodivost. [3]

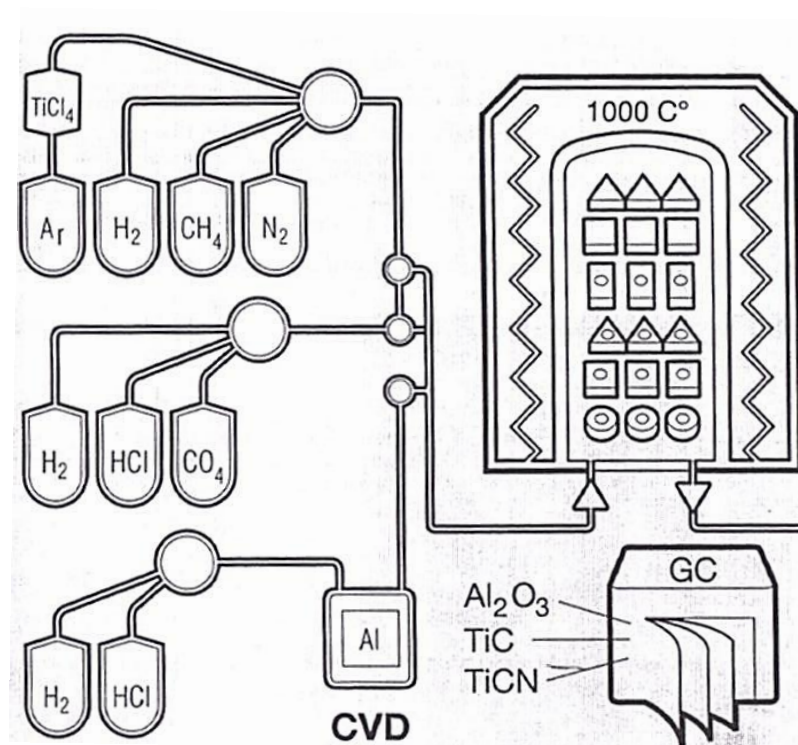
3.3 Výroba povlakovaných slinutých karbidů

Zlepšení přilnavosti mezi různými povlaky a základním substrátem řezných nástrojů a břitových destiček dalo vzniknout novým generacím slinutých karbidů. Tyto nové generace jsou opatřeny jednoduchými, dvojnásobnými, trojnásobnými a dokonce vícenásobnými vrstvami, které slučují rozdílné vlastnosti každého typu vrstvy povlaku. Tloušťka vrstev se u řezných nástrojů ze slinutého karbidu pohybuje mezi 2 až 15 μm (průměrný lidský vlas má 75 μm). Povlakované slinuté karbidy se vyrábějí tak, že se na těleso řezného nástroje pomocí moderních technologií povlakování (např. metodou chemického nanášení povlaků CVD – chemical vapour deposition) nanášejí tenké vrstvy. Kombinace optimalizovaných složení substrátů a vyvinutých CVD technologií jsou pro současné výrobce slinutých karbidů základem při vývoji nové generace řezných nástrojů ze slinutých karbidů pro soustružení, frézování a vrtání.

Povlakování technologií CVD se v podstatě provádí formou chemické reakce různých plynů. V případě povlaku z karbidu titanu to jsou: vodík, chlorid titanu a metan. Řezné nástroje se zahřejí na cca 1000°C. Podobně jako při slinování, probíhá proces pod pečlivou kontrolou, přičemž musí být před zahájením samotného povlakování zvlášť přesně nastá-

ven obsah uhlíku. Podobně se provádí povlakování oxidem hlinitým a nitridem titanu, při nichž je používán chlorid hlinitý nebo plynný dusík. Technologie CVD je zvláště vhodná pro vytváření vícevrstvých povlaků, protože v jeho průběhu je možné relativně jednoduše regulovat množství různých přiváděných plynů. Ve stejném povlakovacím zařízení lze vytvářet různé druhy povlaků.[6]

Technologie CVD se mezitím stala vyzrálým automatizovaným postupem, který je možné ve velkém rozsahu použít k nanášení vrstev na téměř každý substrát řezných nástrojů a pomocí něhož lze dosáhnout stejnoměrných homogenních povlaků a vynikající adheze mezi nanesenou vrstvou a substrátem. Aplikací oxidu hlinitého může být na houževnatém substrátu vytvořena vrstva, která zaručuje hotovému řeznému nástroji vysokou výkonnost a spolehlivost.



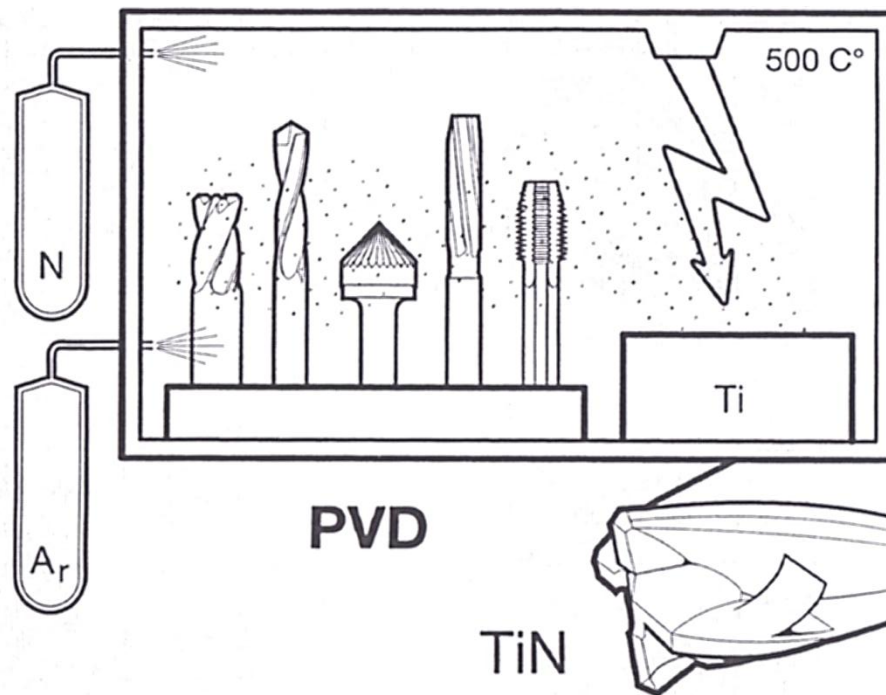
Obr. 11 - Povlakování technologií CVD [6]

Doplňující technologií povlakování, která se u slinutých karbidů používá v podstatně menším rozsahu, jsou metody fyzikálního nanášení povlaků (PVD – physical vapour deposition). Tato, v širokém rozsahu používaná technologie nanášení vrstev na rychlořeznou ocel, může být ve speciálních případech použita rovněž pro povlakování slinutých karbidů, přičemž tento proces musí být pečlivě sladěn s řezným materiálem nástroje. Teploty při

této technologii jsou zhruba poloviční proti teplotám u technologie CVD (500°C). Technologie PVD se zvláště dobře osvědčila k nanášení povlaků na složité profily a na velmi ostré nástroje, například na stopkové frézy a vrtáky. [6]

U technologie PVD se při nanášení povlaku TiN uvede titan do plynné fáze. V povlakovací peci je plyn N_2 , takže z $2Ti + N_2$ vznikne $2TiN$. Tato sloučenina se působením napětí (~50 až 400 V) vylučuje na nástroji, který má být opatřen povlakem. [6]

Obvykle je vrstva nanesená technologií PVD, jejíž tloušťka činí 3 až 5 μm , tenčí než srovnatelná vrstva nanesená technologií CVD. Vrstvy větší tloušťky, vznikající při technologiích CVD, znamenají zlepšení odolnosti proti opotřebení zejména v případě, jsou-li tvořeny oxidem hlinitým o tloušťce 12 až 15 μm . [6]



Obr. 12 - Povlakování technologií PVD [6]

4 CNC OBRÁBĚNÍ

Vývoj v oblasti výrobních strojů ve strojírenství je v současnosti z velké části dán využitím výpočetní techniky. Řízení a automatizace strojů při použití PC a příslušných softwarů zvyšuje zásadním způsobem jejich technickou hodnotu tím, že provádí rychle, přesně a spolehlivě opakované činnosti, nahrazuje člověka, tedy zvyšuje produktivitu práce.[5]

První programovatelné stroje, označované jako NC stroje, byly řízeny programem, který byl vyznačen na děrném štítku nebo na děrné pásce. V této podobě se prosadily ve výrobě zejména složitějších součástí při odpovídající opakovatelnosti. I když v některých dílnách tyto stroje můžeme ještě v současnosti nalézt, vývoj šel dále a postupem doby byly NC stroje vybavovány počítačem, což znamenalo zrod CNC strojů. Počítač podstatně zjednodušil a urychlil programování, řízení stroje a uchovávání dat pro jejich opětovné použití. Výkony počítačů a stále vylepšované softwarové vybavení rostou velmi rychlým tempem, též konstrukce strojů prošly značným vývojem, přece už i na pohled se liší od tzv. konvenčních strojů a zastanou více technologických operací. Relativně produkováných výrobků stoupá, a tak se staly tyto stroje nezbytností v každé dílně. Dochází i k ekonomickému efektu díky produktivitě práce, úspoře pracovníků a výrobních ploch. [5]

Konstruktéři strojů postupují modulárně tak, aby mohli stavebnicovým způsobem co nejrychleji a nejlépe uspokojit požadavky zákazníků a snížit náklady, tedy i cenu prodáváného stroje. CNC stroje pokrývají dnes široký rozsah různých technologií obrábění, dále i oblasti tváření a řezání materiálu (např. vodním paprskem, plamenem, laserem) a další. CNC obráběcí centrum je vlastně jeden stroj, který obsahuje rozličné technologie výroby. Znamená to tedy, že lze na jednom stroji provést více technologických operací. Vznikají též jednoúčelové specializované stroje, CNC automaty pro hromadnou a sériovou výrobu, stroje s vícerym řízením, CNC měřicí stroje a další, které se přizpůsobí požadavkům zákazníka. [5]

Tyto automatizované stroje doplněné manipulačními prostředky, prostředky kontroly kvality a případně dalšími jinými moduly tvoří pružné výrobní linky. Jsou vhodné pro výrobu menší série podobných výrobků či technologií, které se vyrábějí současně. Jsou na rozdíl od tvrdých linek snadno naprogramovatelné na jiný typ výrobku. Tento proces se nazývá výroba integrovaná počítačem – CIM (Computer Integrated Manufacturing).

Klasické obráběcí stroje se postupně z dílen vytrácejí, uplatnění najdou výhledově pouze u opravárenství. Tím vznikají i nové požadavky na kvalifikaci a rekvalifikaci pracovníků.

Je požadována znalost obsluhy moderních obráběcích strojů, kde je nutné používat výpočetní techniku pro řízení CNC obráběcího stroje. Nelze však zapomínat ani na znalosti technologické. U obráběčů je to zejména správná strategie obrábění, volba nástrojů a volba řezných podmínek. Bez těchto znalostí je též nemožné dosáhnout požadovaných výsledků. [5]

4.1 Princip a řízení

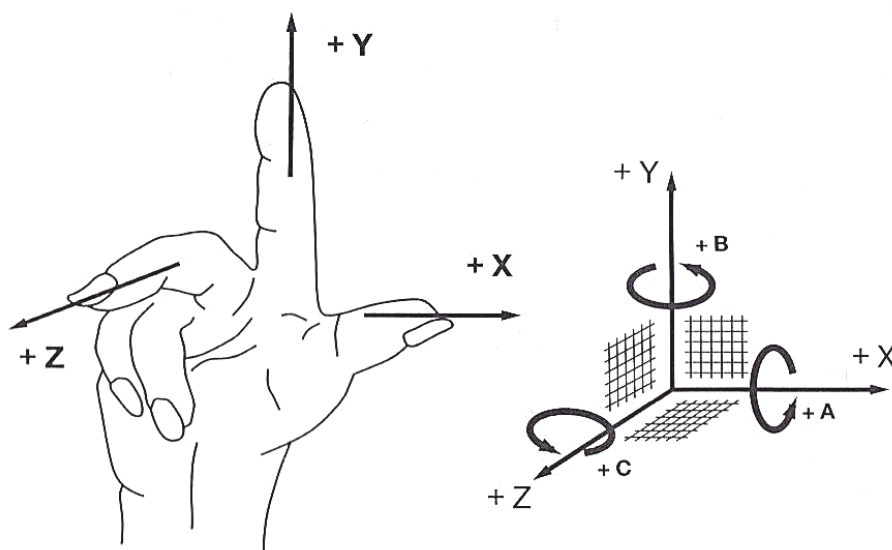
Číslicově řízené výrobní stroje (CNC – Computer Numerical Control) jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapsány v programu pomocí alfanumerických znaků. Vlastní program je dán posloupností oddělených skupin znaků, které se nazývají bloky nebo věty. Program je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součástí. Tyto stroje jsou „pružné“, lze je rychle přizpůsobit jiné výrobě a pracují v automatizovaném cyklu, který je zajištěn číslicovým řízením. Stroje CNC se uplatňují ve všech oblastech strojírenské výroby (obráběcí, tvářecí, montážní, měřicí) a jejich typickými představiteli, které se používají pro výcvik programátorů a obsluhy. Informace, které program obsahuje, lze rozdělit na:

- **Geometrické** – Popisují dráhy nástroje, které jsou dány rozměry obráběné součásti, způsoby jejího obrábění a popisují příjezd a odjezd nástroje k obrobku a od něho. Jde tedy o popis drah nástroje v kartézských souřadnicích, kdy pro tvorbu programu potřebujeme rozměry z výrobního výkresu. V programu je uveden popis v osách stroje (X, Z u soustruhu; X, Y, Z u frézky a často i v dalších osách dle konstrukce stroje a náročnosti výrobku), danými funkcemi, které stanoví norma ISO a také jednotliví výrobci řídicích systémů.
- **Technologické** – Stanovují technologii obrábění z hlediska řezných podmínek (zejména otáčky nebo řezná rychlost, posuv, případně hloubka třísky).
- **Pomocné** – Jsou to informace, povely pro stroj pro určité pomocné funkce (např. zapnutí čerpadla chladicí kapaliny, směr otáček vřetene atd.). [5]

4.2 Souřadnicový systém stroje

Výrobní stroje používají kartézský systém souřadnic. Defínice je dána normou ČSN ISO Terminologie os a pohybu. Systém je pravotočivý, pravoúhlý s osami X,Y,Z, otáčivé pohyby, jejichž osy jsou rovnoběžné s osami X,Y,Z, se označují jako A,B,C (viz obr. 13).

Platí, že osa Z je rovnoběžná s osou pracovního vřetene, přičemž kladný smysl probíhá od obrobku k nástroji. Hodnoty se vyskytují i v záporném poli souřadnic. [5]



Obr. 13 – Definování kartézských souřadnic – pravotočivá soustava [5]

Kartézský systém souřadnic je nutný pro řízení stroje, nástroj se v něm pohybuje podle zadaných příkazů z řídicího panelu CNC stroje nebo dle příkazů uvedených ve spuštěném CNC programu. Je nutný pro měření nástrojů. Podle potřeby lze souřadnicový systém posunovat a otáčet. V případě měření nástrojů (zjišťování korekcí) je umístěn v bodě výměny nástrojů nebo na špičce nástrojů. [5]

Programátor se s kartézským souřadnicovým systémem nejčastěji setkává při tvorbě programů, kdy v osách souřadnic popisuje výrobek. Počátek souřadnic kartézského systému programátoři vkládají do nejvýhodnějšího místa obrobku, který se nazývá Nulový bod obrobku. Nulový bod obrobku je výhodné umístit do takového místa, aby se co nejvíce zjednodušil výpočet jednotlivých geometrických bodů na obrobku. Konstruktor může napomoci technologovi-programátorovi, když bude respektovat zásady technologičnosti např. kótování z jednoho místa (od základny). Tím ulehčí práci při programování a sníží se možnost vzniku chyb při výpočtu souřadnic z kót na výkrese.

V programech CNC se v závislosti na technickém řešení použitého stroje CNC a náročnosti vyráběné součásti používá pro rozličné účely (normou) dané značení dalších os (doplňkových) souřadnicových systémů. [5]

Tab. 6 – Souřadnicový systém CNC strojů – značení a použití jednotlivých os [5]

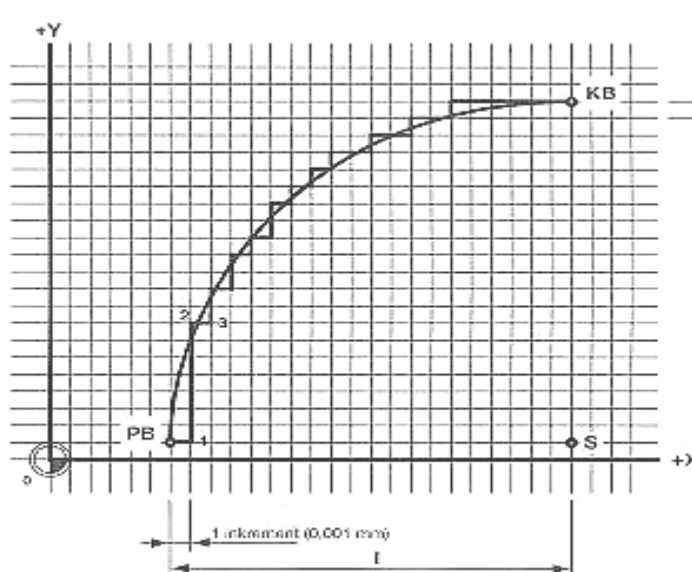
DRUHÝ OS	ZNAČENÍ	URČENO PRO
Základní osy	X,Y,Z	Geometrie pohybu nástroje
Rotační osy	A,B,C	Pokud konstrukce stroje umožňuje provádět pří- datné rotační pohyby v osách, jsou tyto označeny jako A,B,C
Doplňkové osy	I,J,K	Parametry interpolace, které vyjadřují např. určení středu poloměru kontury oblouku na obrobku v souřadnicích. Stoupání závitu v jednotlivých osách
Sekundární, terci- ální doplňkové osy	U,V,W,P,Q,R	Přídavné pohyby v osách, např. hloubka třísky. Většinou však slouží pro programování manipula- torů u strojů.

4.2.1 Pojem interpolace a inkrement

Skutečná dráha nástroje vyplývá z dráhy bodu výměny nástroje, která je korigována zadanými korekcemi nástroje. Tyto informace jsou zpracovány v interpolátoru. Interpolátor zpracovává interpolace lineární. Jedná se o pohyb mezi dvěma body, který musí být přímkový (funkce G01 pracovní posuv, G00 rychloposuv). Dále interpolátor zpracovává interpolace kruhové, kdy pohyb mezi dvěma body musí probíhat po kruhovém oblouku. Jsou zde dvě řešení, jak se dostat z jednoho bodu do druhého – ve směru (vpravo), nebo proti (vlevo) směru hodinových ručiček (funkce G02, G03). To vše může probíhat v rovině (X, Z – soustruh; X, Y - frézka) nebo v prostoru (X, Y, Z – frézování a další víceosé obrábění – bruska). Z lineárních a rádiusových elementů se skládá jakákoli dráha nástroje.

Interpolátor a odměřovací zařízení nedávají spojitý signál, ale řadu pulzů. Regulační odchylka je rozdíl mezi signálem o požadované dráze (generuje interpolátor) a signálem o skutečné ujeté dráze (generuje odměřování) – oba signály se porovnávají a jejich rozdíl po zesílení se stává akční veličinou a slouží k provedení dráhy. Oba pracují po nenulových „skocích“, kterým se říká přírůstky, neboli inkrementy. Každý pulz je signálem pro ujetí jednoho inkrementu (přírůstku) dráhy. Inkrement je nejmenší programovatelná (měřitelná) dráha. Body, do kterých vede řídicí systém nástroje, nejsou úsečky nebo oblouky, ale schodkovité čáry jednotlivých inkrementů mezi počátečním a koncovým bodem dráhy ná-

stroje. Tyto schodkovité čáry a oblouky aproximují, nahrazují teoretické zadané křivky. Na přesnost geometrie má vliv velikost inkrementu – čím menší, tím lepší nahrazení. [5]



Obr. 14 – Interpolace dráhy kontury – inkrementy [5]

4.3 Programování CNC strojů

Na začátku programu je před prvním řádkem (blokem) uveden znak %, za znakem je uvedeno číslo programu – platí pro většinu řídicích systémů. Před tímto znakem lze uvádět informace, které stroj nezpracovává, např. poznámky, jako je název součásti atd. Poznámky lze uvést i za znakem v programu, ale je nutné je dát do závorky. Jsou řídicí systémy, které tento znak nepožadují, potřebné poznámky se obvykle uvádějí v programu. [5]

Složení programu (v bloku):

Tab. 7 – Typové rozdělení adres CNC příkazu [5]

Příklad				Název	Poznámka
N40 G00 X100 Z-50				blok (věta)	Doporučené pořadí adres jednotlivých slov ve větě je: N G (M) X Y Z F S T D, nemusí se dodržovat, záleží na řídicím systému. Doporučuje se dodržovat pro přehlednost a kontrolu.
N40	G00	X100	Z-50	příkaz (slovo)	
N	G	X	Z	adresa	
40	00			významová část	
100	50			rozměrová část	

Význam nejpoužívanějších adres:

Tab. 8 – Přehled nejpoužívanějších adres [5]

Písmeno	Význam	Poznámka	
X Y Z	Základní osy souřadného systému - pohyb v osách	Některá z uvedených písmen abecedy jsou pro výrobce závazná, některá doporučena.	
A B C	Rotace kolem základních os		
I J K	Parametry interpolace nebo stoupání závitu ve směru os		
P Q R	Pohyb paralelně podél základních os		
R	Některé systémy používají R jako parametr v podprogramech		
U V W	Druhý pohyb paralelně se základními osami, manipulační osy		Neobsazená písmena abecedy jsou volná, výrobci je obsazují dle specifik svých řídicích systémů, podle možností daných stroji, pro které jsou především určena.
T	Nástroj		
D	Paměť korekce nástrojů.		
G	Přípravná (geometrická) funkce		
M	Pomocná (přídavná) (strojní) funkce		
N	Číslo bloku (věty)		
F	Posuv		
S	Otáčky vřetene. Konstantní řezná rychlost		
L	Volání podprogramu		

4.3.1 Použití nejdůležitějších funkcí G, M

Dle ČSN ISO 6983

Tab. 9 – Přehled a použití základních funkcí G, M. [5]

Označení funkce	Název funkce	Použití	
G00	Lineární interpolace	Rychloposuvy	
G01		Pracovní posuvy	
G02	Kruhová interpolace (zhotovení rádiusů)	Ve směru hodinových ručiček	
G03		Protí směru hodinových ručiček	
G17	Pracovní rovina	X-Y	
G18		Z-X	
G19		Y-Z	
G33	Řezání závitu		Určuje se proměnlivá hloubka třísky a počet hlazení bez pří-

			davku.
G40	Zrušení korekcí		Vypnutí výpočtu ekvidistanty.
G41	Zapnutí korekce rádiusů	Výpočet dráhy nástroje (její ekvidistanty)	Ekvidistanta, nástroj vlevo od kontury.
G42			Ekvidistanta, nástroj vpravo od kontury.
G45, G46, G47	Nájezdy nástrojem		Realizují se po přímce, rádiusu, oblouku - pokud se požaduje plynulý přechod nástroje do řezu nebo z řezu.
G54-59	Posuny nulového bodu		Posuny absolutně nebo přírůstkově, na začátku i v průběhu programu.
G90	Absolutní		Programování - popis drah nástroje v souřadnicové soustavě.
G91	Přírůstkové		Programování - popis dráhy nástroje, o kolik se posune v osách.
G92 (G50)	Omezení otáček (dle řídicího systému)		Stanoví velikost otáček, které neohrozí bezpečný chod stroje - to v závislosti na konkrétním stroji, obrobku - použití spolu s G96.
G96	Konstantní řezná rychlost		Je zadána řezná rychlost - mění se otáčky vřetene se změnou průměru, na kterém je špička nástroje (užití při soustružení).
M03	Otáčky vřetene	Ve směru hodinových ručiček	Při pohledu do vřetene stroje,
M04		Proti směru hodinových ruči-	

		ček	nikoli ze strany obsluhy.
M05	Zastavení vřetene		
M06	Výměna nástroje		Použití při ruční výměně nástroje, do funkce se doplňují délkové korekce.
M07-08	Zapnutí čerpadla		Chlazení, mazání obrobku při ob- rábění (možnost více čerpadel).
M09	Vypnutí čerpadla		
M17	Konec podprogramu		Vrací se do hlav- ního programu (hlavní programy mohou používat podprogramy, v těchto je odvolá- ní, které vyvolá podprogram.
M30	Konec hlavního pro- gramu		Návrat na začá- tek hlavního pro- gramu.

Uvedená písmena, struktura věty a také funkce G, M nemusí být vždy stejné – záleží na softwarové firmě, která vytvořila daný řídicí systém. Není pevně stanovená norma – je tvořeno dle potřeb jednotlivých výrobců.

Každý software obsahuje „Help“, který pomáhá programátorovi v této oblasti a objasní mu další funkce i případné rozdíly vůči uvedenému. [5]

4.3.2 Cykly pro obrábění

V uvedené tabulce nejdůležitějších funkcí G, M nejsou uvedeny obráběcí cykly. Ty jsou řešeny a značeny různým způsobem dle potřeb výrobců a dle možností daných strojů. Používají se funkce G s číslem, které není obsazeno číslem daným normou (jako jsou např. G01, G90 atd.). Cykly usnadňují práci programátora tím, že nemusí programovat např. několik třisek (např. použít opakovaně G00, G01 při hrubování povrchu), ale stačí zadat funkci G s číslem požadovaného cyklu a další potřebné adresy k této funkci. Obecně se jedná o podprogramy (makra) parametricky programované a upravené pro vyvolání daných funkcí. Cykly končí v bodě, ve kterém byly spuštěny.

4.3.3 Podprogramy

Podprogramy zjednodušují a snižují pracnost tvorby hlavního programu zejména tam, kde se vícenásobně opakují stejné tvary. Podprogramy na rozdíl od cyklů si vytvářejí programátoři podle svých potřeb při tvorbě programu. Vytvořený hlavní program vyvolává podprogram v té části, kde je uvedena adresa L (s číslem podprogramu). Aktivuje se podprogram, který musí být ukončen funkcí M17 (navrací činnost do hlavního programu). Podprogram lze několikrát opakovat např. zadáním hodnoty P s číslem, které vyjadřuje počet opakování. Je i v podprogramu popsán způsobem vyvolat další podprogram. Tyto procesy se nazývají vnořování.

4.4 Programování CNC strojů pomocí CAD/CAM systémů

Nabídka trhu poskytuje CAD/CAM systémy pro stejnou technologii výroby od různých softwarových firem v různém rozsahu a komfortu. Obsluha softwaru podle panelů nabídky je řešena různým způsobem, nemůže být dána žádná norma, která by sjednotila postup práce a obsah příkazů. Příkazy jsou často vyjádřeny na obrazovce jedním, dvěma slovy. Softwary pokrývají různé strojírenské technologie výroby, které lze automatizovat. Dále jsou v modulech CAM řešeny sdružené technologie, které obsahují obráběcí centra, to značí, že na jednom stroji je možné např. soustružit i frézovat. [5]

CAD/CAM systémy realizují vyšší stupeň počítačové podpory než klasické (ruční) CNC programování. Výkres vytvořený v systému CAD se kopíruje pro další práci v modulu CAM. Programátorské rutinní vědomosti (funkce G, M, popis dráhy, možnosti cyklů atd.) není třeba uvádět. Vygenerují se automatizovaně pomocí zadávaných příkazů z převzaté kontury CAD ve 2D výkresu nebo z modelu ve 3D. Je výhodné před programováním očistit výkresy CAD od zbytečných prvků (např. kóty, razítka apod.). [5]

CAD/CAM programování vyžaduje od uživatele vyšší znalosti obsluhy modulu CAM (často i znalosti obsluhy CAD, konstruktéři též mají znát možnosti programování CNC strojů a jejich obsluhy včetně technologie). Výše znalostí programátora CAM zaručuje kvalitu výsledného programu. Při náročném programování programátor často vyhotoví více variant programů daného obrobku a rozhoduje mezi nimi, vybírá takový program, jehož výroba je časově méně náročná, aniž by docházelo k ničení nástroje a stroje a byla zaručena požadována kvalita výroby. Modul CAM pracuje v dialogu s programátorem, který odpovídá na kladné dotazy a na nabízené možnosti dle typu činnosti. Nabídka v mo-

dulu CAM je směřována na body, jak je uvedeno následně, často i v jiném pořadí, což závisí na použitém softwaru: [5]

1. Celková strategie obrábění, to značí jak postupovat pro zhotovení dílce – které operační úseky volit a jejich pořadí (hrubování, hlazení, závity atd., u výroby forem je to také např. rampování, rastrování, ofsetování). [5]
2. Volba nástroje (tvar a rozměry) a bod výměny nástroje – řezné podmínky vztažené na nástroj a na obrobek pro danou strategii obrábění (programátor řezné podmínky aplikuje a upravuje pro daný stroj v dílně). [5]
3. Podmínky vlastního obrábění (při ručním programování řešeno funkcemi G, M):
 - a. Strategie obrábění daného operačního úseku vázaný na jeden nástroj;
 - b. Poloha obrábění ke kontuře (G41, G42);
 - c. Způsob obrábění (podél kontury, lineárně atd.);
 - d. Chlazení, mazání nástroje;
 - e. Případně další (ochrana proti možné kolizi s držákem nástroje atd.). [5]
4. Následně procesor automatizovaně vyhotoví data pro odsimulování programu. Provede se simulace zhotoveného programu – zde se jedná o zjištění možných vyskytujících se chyb, nejčastěji jsou to neobrobené nebo podřezané plochy. Zde programátor doplní a opraví již zhotovený program. [5]
5. Výběr postprocesoru („překladače“) pro daný řídicí systém CNC stroje, na kterém se zhotoví daný výrobek. [5]
6. Následuje automatizované vyhotovení programu CNC v modulu CAM, který se zapisuje v blocích v kódu ISO jako při ručním programování se specificky daného řídicího systému. Program se archivuje a posléze přenáší na určený stroj. [5]
7. Program do stroje je nahrán v kódu ISO a lze ho z tohoto pohledu v řídicím systému stroje číst a případně opravovat. [5]

Kvalita vyhotoveného programu je dána zkušeností a použitým programem. Z hlediska programátora jsou dány:

- Znalost daného softwaru, který poskytuje různé možnosti řešení a jejich správné aplikování do daného programu. [5]
- Znalost technických parametrů obráběcího stroje, pro který se programuje a znalost jeho technického stavu. [5]

- Technologie výroby, znalosti použitých nástrojů a optimální aplikace řezných podmínek na použitý nástroj a stroj atd. [5]

Z hlediska použitého softwaru jsou dány:

- Spolehlivost („padání“ softwaru, bourání nástrojem nebo obrobkem do části stroje, zbytečné přejezdy rychloposuvem), příjemnost a snadnost obsluhy softwaru. [5]
- Možnosti školení a doškolení, servisu, obnovování vyšších verzí daného softwaru. [5]

4.5 Testy programů a simulace

Pod pojmem test CNC programu se rozumí testování napsaného programu, kdy se nesimulují pohyby. Test upozorní na geometrické nesrovnalosti, neproveditelné programové kroky a případné narušení pracovního prostoru. [5]

Simulace obrábění je součástí práce programátora, a to včetně testu – upozorní na chybný blok v programu. Každý software ručního a automatizovaného (CAD/CAM systémy) programování umožňuje provést simulaci obrábění. Simulaci nelze odstranit všechny možné chyby v CNC programu, záleží na použitém řídicím systému, případně na použitém simulačním programu. Simulace snižují pravděpodobnost havárie stroje s obrobkem, snižují možné procento zmetků, poškození nebo zničení nástroje, případně poškození stroje. Umožňují možnost kontroly dráhy pohybu nástroje, rozměrů obrobku, kontrolu strategie obrábění. Nelze simulovat upínání obrobku a řezné podmínky. Nastavené řezné podmínky v programu (otáčky, posuv, hloubka třísky) při pohybu nástroje na obrazovce napoví, jak při zadaných řezných podmínkách bude probíhat obrábění na reálném stroji. Tedy řezné podmínky a dále tvar třísky, výkon stroje, síly, které drží obrobek a nástroj je nutné si ověřit v praxi. [5]

Simulace obrábění dle CNC programu poskytuje následující možnosti (možnosti závisejí na použitém softwaru):

- Slouží k ověření správnosti vytvořeného programu pohybem nástroje při obrábění. Pracovní pohyb i rychloposuv může být zrychlen či zpomalen, nebo prováděn v režimu Blok po Bloku (B-B), aby měl programátor (nebo pracovník obsluhy, operátor) možnost sledovat dráhu nástroje. V případě nalezené chyby se program opravuje. Simulace programů je možné provádět mimo stroj na PC s daným softwarem (při tvorbě programu) a také přímo na CNC stroji. [5]

- Slouží k vykreslení dráhy nástroje na obrazovce, pro případné jejich úpravy, vyhodnocení, zda je zvolen správný způsob obrábění (strategie). [5]
- V případě, že software poskytuje pohled ve 2D – zobrazuje se výrobek jako na technickém výkresu v nárýsu, půdorysu a bokorysu. Ve 3D – zobrazuje se výrobek v axonometrickém pohledu prostorově, což umožňuje obrobek natáčet nebo v něm provádět řezy, popřípadě provádět i měření. Vše probíhá tak, aby programátor mohl ověřit kvalitu technologie výroby. [5]
- Pro odstranění možné kolize nástroje s upínačem (upínacím přípravkem), dávají současné software programování možnost nakreslení těchto překážek na obrazovku pro simulaci obrábění. Dále lze vykreslit držák s nástrojem, kde mimo řezné hrany by též mohlo dojít k nežádoucí kolizi. Realizace uvedených možností napomáhá ke snížení pravděpodobnosti havárie a tím zkrácení přípravných časů a snížení nákladů, které by bylo nutno vynaložit na prevenci. [5]

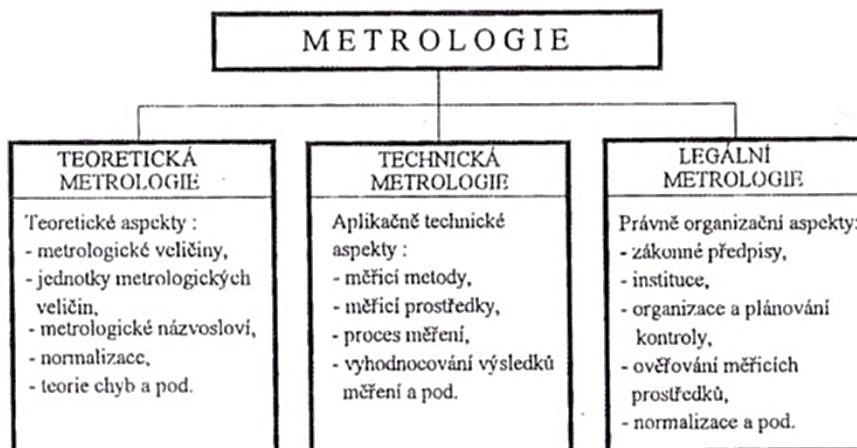
5 METROLOGIE

Metrologie pochází z řeckých slov metron=míra a logos=slovo a je souhrnem znalostí souvisejících s měřením. V současnosti se s rozvojem moderní techniky kladou nové požadavky na jednotlivá měření. Zvyšuje se přesnost výrobních strojů a zařízení a tím i používaná měřidla s chybou měření řádově v mikrometrech. Úplně nové možnosti přináší rozvoj moderních technologií, především laserové měřicí techniky. Pokrok v mikroelektronice a nanotechnologiích postavil na kvalitativně novou úroveň i klasická měřidla délek (mikrometry, posuvné měřidla apod.), která v současnosti patří do běžné výbavy výrobních podniků. Hlavní oblastí použití měřidel délek je měření rozměrů v prostoru definovaných těles, proto v mnohých průmyslových odvětvích patří měření délek k základním atributům výroby.

Cílevědomé řízení je možné jen tam, kde jsou k dispozici dostatečné množství objektivních poznatků, a ty je možné získat jen měřením. Při hromadné výrobě dochází k sledování funkčních rozměrů, přičemž se nahrazuje pasivní úkol měření aktivním úkolem. Statistické zpracování naměřených údajů umožňuje přímo zasahovat do výrobního procesu a tento proces řídit.

Měření představuje souhrn činností za účelem stanovení hodnoty měřené veličiny a je součástí širokého vědného a technického oboru zvaným metrologie. Charakteristickým rysem rozvoje současné metrologie je použití přesné měřicí techniky, těsný vztah s pokrokem v aplikované fyzice a trend ke vzájemnému uznávání výsledků měření a zkoušek v mezinárodním měřídle, který si kromě technické kompetentnosti vyžaduje i posílení vzájemné důvěry na základě zavedených systémů kvality, akreditace a certifikace. Metrologie a její výzkum zabezpečuje potřební kvalitu výroby a konkurenční schopnost.

Členění metrologie na oblast teoretické (vědecké) metrologie, technické metrologie a legální (legislativní) metrologie ve schématu:



Obr. 15 - Rozdělení metrologie [7]

5.1 Měřicí metody a měřicí prostředky pro kontrolu délek

Pro kontrolu splnění předpisu přesnosti rozměru jsou obvykle aplikovány následující způsoby měření: [7]

- absolutní
- komparační
- toleranční.

Při aplikaci absolutní metody jsou zjišťovány celkové rozměry, při aplikaci komparační metody hodnoty úchylek od jmenovitého rozměru a při aplikaci toleranční metody jen skutečnost, zda je předpisu přesnosti vyhověno (zda nejsou překročeny hodnoty mezních rozměrů, případně mezních úchylek). [7]

Klasické způsoby měření délek využívají dotkovou metodu, kdy povrch mechanického doteku je v přímém kontaktu s povrchem měřeného objektu. Pro zabezpečení přesnosti měření se obvykle žádá bodový styk, který pro daný tvar měřeného povrchu vyžaduje volbu příslušného tvaru doteku (rovinný, kulovitý, kapkovitý, nožový apod.) [7]

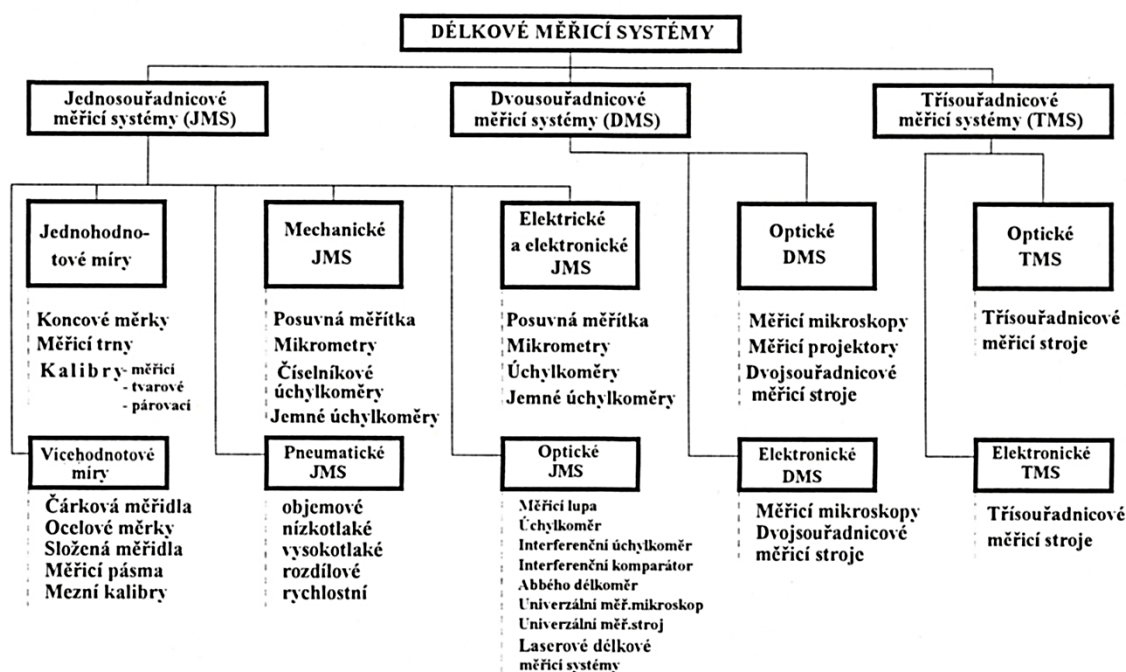
Kontrola hodnot velké přesnosti rozměrů absolutním způsobem klade vysoké nároky na měřicí techniku (jedná se o nutnost zabezpečit vysoký poměr měřicího rozsahu vůči rozlišitelnosti – rozlišovací schopnosti). [7]

Měřicí technika pro komparační měření vystačí s nepoměrně menším poměrem měřicího rozsahu vůči rozlišovací schopnosti. [7]

Měřicí prostředky pro toleranční měření mohou být buď pevná měřidla (kalibry), nebo elektronické přístroje umožňující světelnou (nebo jinou) indikaci. [7]

V souvislosti s prudkým vzestupem produktivity práce využíváním prostředků pružné automatizace (číslicově řízených strojů s vysokou technologickou stabilitou a statistickým řízením jakosti) bylo nutno pro kontrolu geometrických parametrů tvarově značně složitých součástí vybudovat a aplikovat nový způsob měření délek – souřadnicové měření. Jedná se o metodu měření, kdy jsou odměřovány prostorové souřadnice jednotlivých bodů na povrchu součásti a geometrická vazba bodů vyjádřená geometrickými prvky (bod, přímka, rovina, kružnice, válec, koule, kužel apod.) je určována výpočtem. [7]

Aplikace souřadnicové metody měření délek vyžaduje použití příslušné měřicí techniky (souřadnicové měřicí stroje; jejich organickou částí je výpočetní systém). Výsledky měření délek souřadnicovým způsobem jsou v řadě případů zcela originální, nedosažitelné žádným jiným způsobem. [7]



Obr. 16 - Schéma rozdělení délkových měřících systémů [7]

5.2 Drsnost povrchu

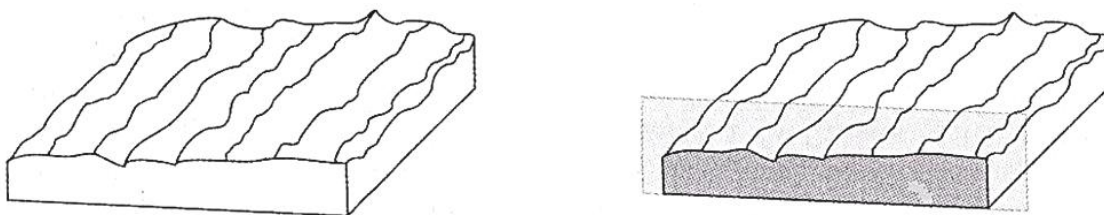
Současná strojírenská praxe je v období výroby sofistikované produkce charakterizována nárůstem požadavků na přesnost a reprodukovatelnost výroby. Kontrola struktury povrchu je obecně poměrně složitá a správnost dosažených výsledků kontroly je podmíněná splně-

ním souhrnu předpokladů. Optimální kvalita povrchu součástek je jedním z předpokladů správné funkce výrobků (strojů, přístrojů, nástrojů) a významně ovlivňuje životnost součástek. Drsnost povrchu představuje výšku nerovností reálné plochy vzhledem k dokonalé a ideální hladké ploše, přičemž je souhrnem nerovností povrchu s relativně malými vzdálenostmi, které obvykle obsahují nerovnosti, vzniknuté následkem použité metody výroby anebo jiných vlivů. Rozumí se jako část geometrických odchylek s relativně malou vzdáleností nerovností (ostatní jsou vlnitost a geometrická tolerance). Chyby materiálu způsobené náhodným poškozením nebo vadami materiálu se do drsnosti povrchu nezahrnují. [8]

Drsnost povrchu je geometrická vlastnost povrchu a neexistují metody a prostředky na její přímé měření. Měří se vhodné charakteristiky a parametry, které se považují za kritéria drsnosti povrchu, přičemž jednotky parametrů jsou definovány v normách ČSN, EN, ISO a jsou to μm nebo nm . [8]

5.2.1 Povrch a jeho parametry

Normy vycházejí při hodnocení charakteru povrchu z profilové metody, tj. hodnota povrchu z profilu povrchu, tj. čára, která vznikne řezem skutečného povrchu definovanou plochou. V praxi se zvykne vybírat rovina, které normála je rovnoběžná se skutečným povrchem a má vhodný směr. Vhodný směr je ten, ve kterém zjistíme větší hodnoty parametrů charakteru povrchu (příčný profil), pokud na výkrese součástky není při předepsaných parametrech drsnosti uvedený i směr. [8]



Obr. 17 - Profil řezu [8]

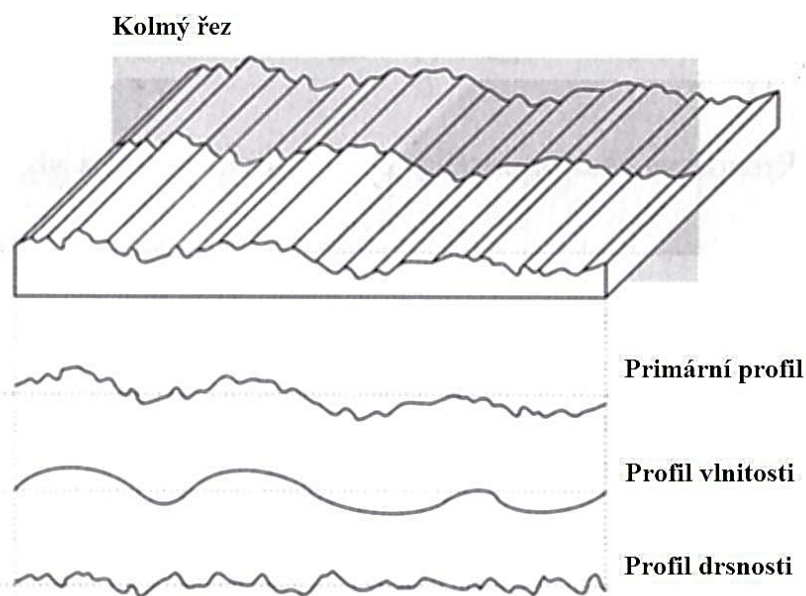
U měřidel na měření drsnosti se používají tři délky, snímaná délka, vyhodnocovací délka a základní délka. Snímaná délka je celková délka pohybu snímacího doteku po měřeném povrchu. Na výpočet statistických parametrů se používají údaje obsažené ve vyhodnocovací délce, která může obsahovat jednu nebo několik základních délek. [8]

ČSN EN ISO 4287 rozšiřuje možnosti hodnocení povrchu tím, že skoro všechny parametry v ní definované je možné aplikovat na primární profil, profil drsnosti a profil vlnitosti.

Vztahy pro jejich výpočet jsou stejné, pouze se aplikují na jiný profil. Při označování se pak tyto parametry odlišují prvním znakem, např. střední aritmetická odchylka primárního profilu Pa, profil drsnosti Ra a profil vlnitosti Wa. [8]

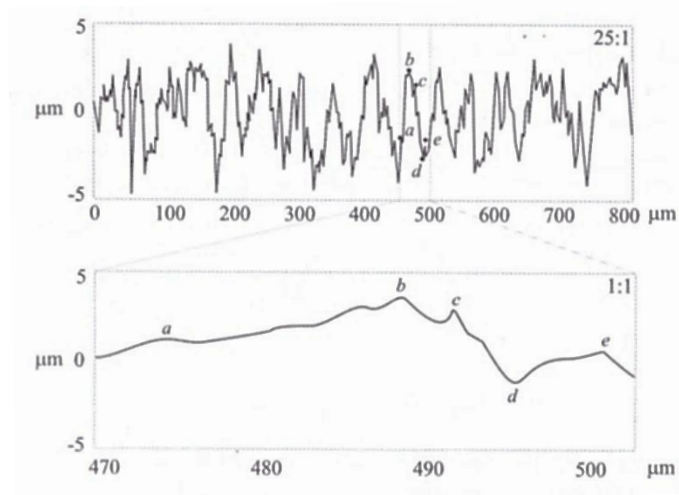
Některé významné úpravy definic, které přináší norma ČSN EN ISO 3274:2000, upřesňují definice různých profilů povrchu, které jsou potřebné při zpracování a vyhodnocování nasnímaného profilu: [8]

- nasnímaný profil,
- úplný profil,
- primární profil,
- profil drsnosti,
- profil vlnitosti.



Obr. 18 - Zobrazení profilů drsnosti povrchu [8]

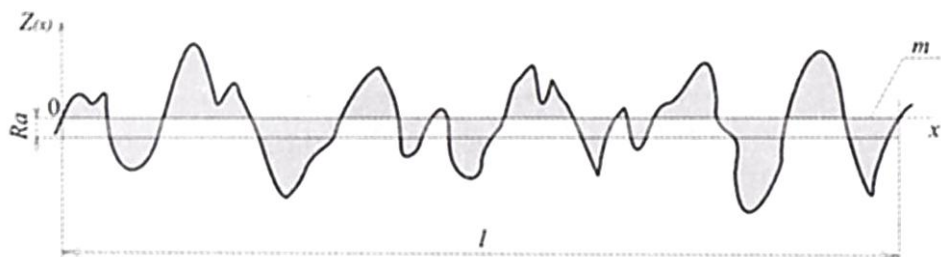
Po získání profilu drsnosti je důležité poznat horizontální a vertikální stupnici, např. horizontální stupnice může být udávána v milimetrech, vertikální stupnice v mikrometrech a také i samotné zvětšení může být rozdílné. Situace, kdy po zvětšení původního (primárního) profilu dochází ke změně ostrého vrcholu (body a, b, c, d, e) na mírně zvlněný vrchol, je uveden na obr. 19. Rozlišování odlišností poměru šířky k výšce mezi stupnicemi je důležité při pohledu na nasnímaný profil. [8]



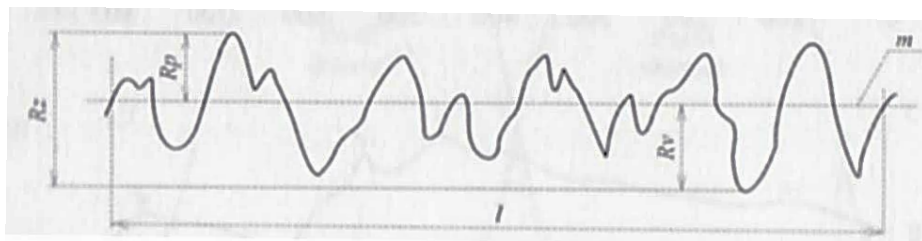
Obr. 19 - Rozeznávání odlišností poměru šířky
k výšce mezi stupnicemi [8]

Parametry drsnosti povrchu se určují podle charakteristik: [8]

- nerovností profilu ve směru výšky (např. R_z , R_a , R_q , atd),



Obr. 20 – Střední aritmetická odchylka profilu R_a [8]



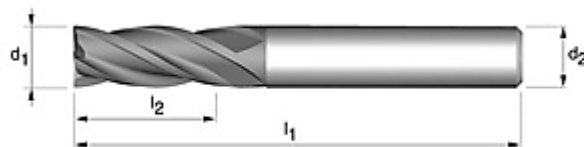
Obr. 21 – Největší výška profilu R_z [8]

- nerovností profilu ve směru délky (např. R_{Sm} , P_{Sm} , W_{Sm} , atd),
- tvaru nerovností profilu (např. R_{sk} , R_{ku} , $R_{\Delta q}$, atd).



PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ POŽADAVKU NÁSTROJE

Pro stanovení požadavku nástroje je potřeba si uvědomit, co je potřeba obrábět. V tomto případě je potřeba obrábět rovinné plochy součásti, která je z hliníku. Tyto rovinné plochy budou nejprve nahrubovány, a pak požadovaným nástrojem obrobeny na konečné rozměry. Dle tohoto požadavku se tedy provede návrh na čtyřzubou čelní válcovou frézu. Provedení požadavku na nástroj a jeho výroba byla ve spolupráci s firmou K-Tools se sídlem ve Zlíně. Návrh nástroje a jeho parametry jsou uvedeny na následujících obrázcích:



Obr. 22 – Čelní válcová fréza [11]

$\gamma 8^\circ$ $\lambda 30^\circ$	$z=4\div 6$	\varnothing 3÷32
		
HM MG10	TiAlSiN	DIN 6535 HA

Obr. 23 – Základní
informace o nástroji
[11]



Úhel čela pracovní části a úhel šroubovice



Počet zubů



Rozsah průměrů nástroje



Tvar čela nástroje



Válcová fréza s ochranným sražením



Způsob frézování



Materiál nástroje



Typ povlaku nástroje



Stopka nástroje dle DIN 6535 HA

Poté se stanoví požadovaný průměr řezné části a délka řezné části. Z nabídky firmy se rozhodlo, že požadovaný průměr a délka řezné části bude následující:

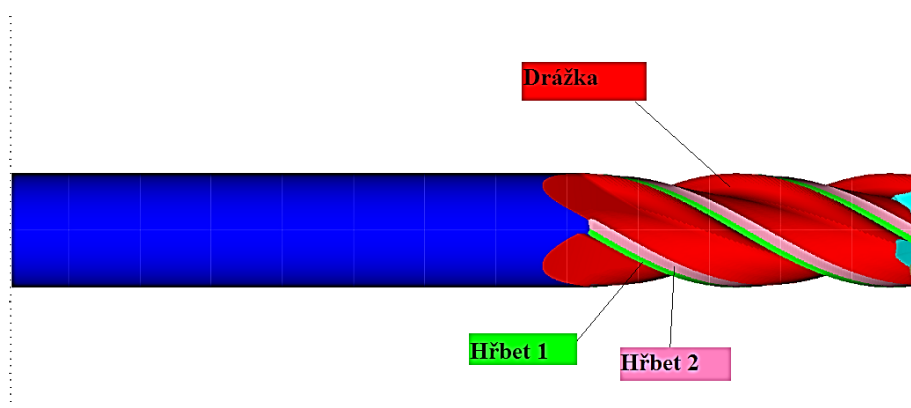
ød1	l2	l1	ød2	z	Obj. číslo	€	Kč
h10			h6		Order no.		
8	19	63	8	4	113230A.080	18,07	434

Obr. 24 – Průměr a délky dle katalogu firmy včetně ceny nástroje. [11]

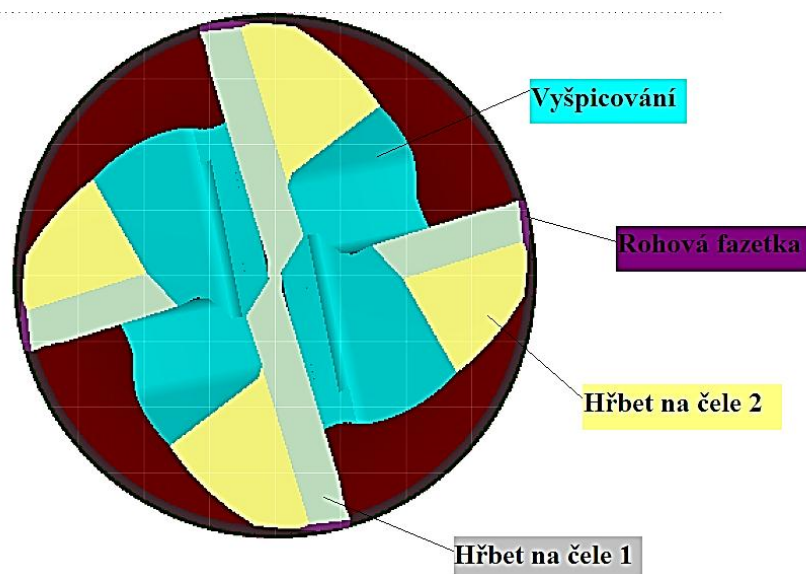
Uvedené parametry jsou vyhovující pro dané obrábění, a tedy se může přistoupit k dalším krokům pro jeho zhotovení. Výsledek požadavku tedy je čelní válcová fréza se stopkou, ø8x19 mm, úhel čela γ 8°, úhel šroubovice 30°, 4 zuby (2 do středu), polotovar slinutý karbid HM MG10 ø8x63 mm, s povlakem TiAlSiN.

6.1 Popis ploch nástroje

Kvůli lepšímu přehledu výrobních operací jsou na obr. 25-26 uvedeny obráběné plochy a jejich názvy:



Obr. 25 - Popis ploch nástroje - boční pohled



Obr. 26 - Popis ploch nástroje - čelo

6.2 Technologický postup

Pro zhotovení nástroje (čelní válcové frézy) se musí stanovit technologický postup. Ten obsahuje název a parametry výrobního dílu, polotovaru a veškeré výrobní operace – od zhotovení výrobního programu, popisu výrobních operací, až po měření rozměrů hotového nástroje, povlakování a následné expedice k zákazníkovi. Technologický postup pro zhotovení požadovaného nástroje je uveden v Tabulce 10.

Tab. 10 – Technologický postup

Druh frézy	Čelní válcová fréza SK $\varnothing 8 \times 19 \text{mm}$, $8^\circ/30^\circ$, polotovar HM MG10 $\varnothing 8 \times 63 \text{mm}$, TiAlSiN	
Název operace	Popis operace	Pracoviště
Příprava programu	Připravit výrobní program 113230-080. Úkon provádí technolog výroby.	Technologie výroby
Výdej materiálu	Výdej materiálu pro výrobu – polotovar HM MG10 $\varnothing 8 \times 63 \text{mm}$ se sražením stopky.	Sklad materiálu

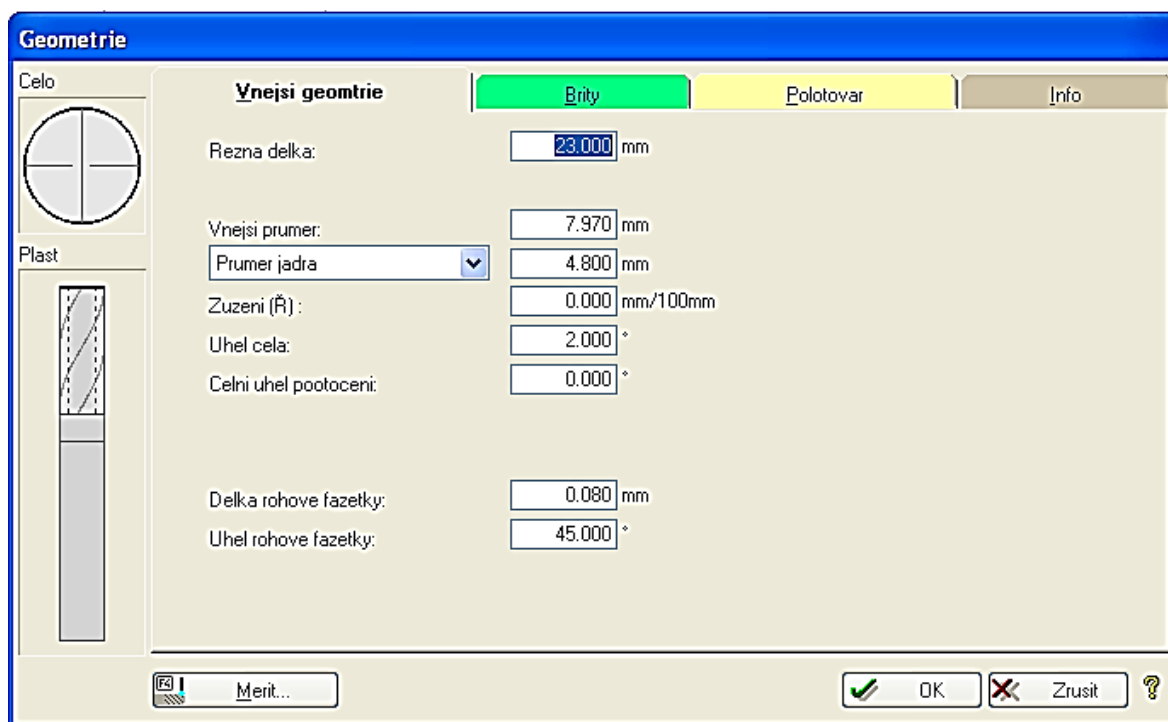
Broušení frézy	<p>Brousit frézu dle výrobního programu 113230-080:</p> <p>1) Drážka – brousit drážku v pravotočivé spirále – $\lambda 30^\circ$ - délka 19 mm, jádro nástroje a zubovou mezeru. Úhel čela drážky $\gamma 8^\circ$.</p> <p>2) Hřbet 1 – brousit hřbetní plochu na válci (průměr nástroje) po celé řezné délce, úhel hřbetu $\alpha 8^\circ$.</p> <p>3) Hřbet 2 – brousit odlehčení.</p> <p>4) Vyšpicování – brousit čelo nástroje, 2 zuby do středu.</p> <p>5) Hřbet na čele nástroje 1 – brousit hlavní hřbetní plochu zubů na čele nástroje.</p> <p>6) Hřbet na čele nástroje 2 – brousit vedlejší hřbetní plochu zubů na čele nástroje.</p> <p>7) Rohová řezanka – brousit rohové sražení zubů na čele nástroje. Úhel rohového sražení 45°.</p>	Saacke I UWIE
Kontrola rozměrů a vizuální kontrola	Kontrola geometrie nástroje, vizuální kontrola vzhledu nástroje.	Měřicí centrum Zoller Genius 3
Popis nástroje laserem	<p>Popis nástroje laserem na stopce:</p> <p>JAKUB GÜCKY Bakalářská práce 2013/2014</p>	Laserové centrum
Omílání	Omlet břity nástroje R 10 μ m \pm 2 μ m, HSC 1/330	Centrum omílání OTEC
Měřit drsnost	Měřit drsnost povrchu řezné části.	Měřicí centrum
Povlakování	Nanést povlak TiAlSiN na řeznou část.	HSM Šumperk
Leštění	Leštit nástroj po povlaku, HSC 1/330	Centrum omílání OTEC
Balení	Balit nástroj do ochranného pouzdra.	Balírna
Expedice	Expedice výrobku.	Expedice

7 PŘÍPRAVA PROGRAMU A PROGRAMOVÁNÍ

Příprava programu zahrnuje návrh geometrie nástroje, který se bude vyrábět, a sestavení operací, jenž budou použity pro broušení tvaru a rozměrů frézy. K tomuto úkonu se použije software od firmy Saacke - Numroto. Software je přímo určen k výrobě a ostření nástrojů. Navrhne se požadovaný tvar nástroje a následně při výrobě je přes postprocesor převeden do CNC brusky. Pracovní prostředí softwaru je inteligentní a navíc je dodán i v české verzi, což usnadňuje práci konstruktérovi.

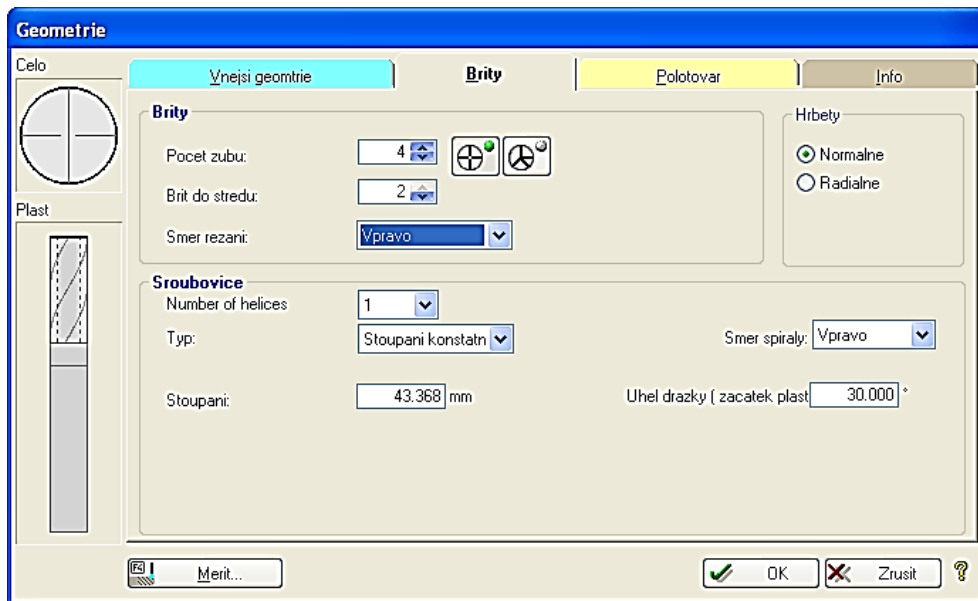
V první fázi programu se zvolí pracovní modul, ve kterém se určí co je potřeba vyrábět – vrták, frézu, tvarovou frézu. Nástroj se bude navrhovat v modulu „Fréza“, jelikož se jedná o čelní válcovou frézu. Stanovení počáteční geometrie nástroje se volí následovně:

- Určení vnější geometrie nástroje – zde se vyplní parametry vnější geometrie nástroje, počínaje délkou řezné části, průměr nástroje, průměr jádra, axiální úhel čela a velikost rohové fazetky.



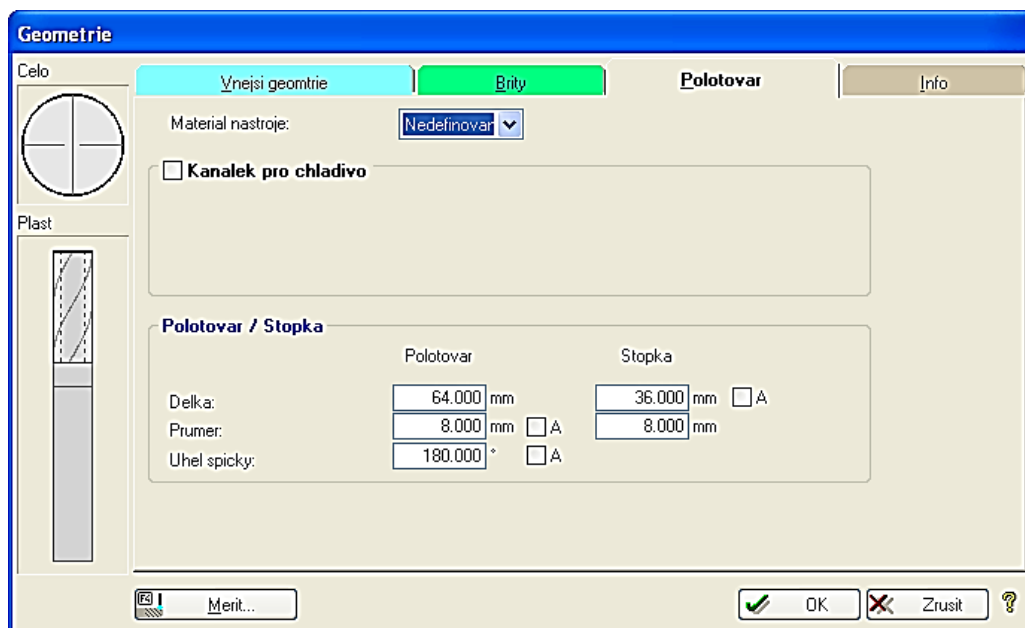
Obr. 27 - Stanovení vnější geometrie nástroje

- V dalším kroku musí konstruktér navrhnout počet zubů frézy, jejich rozložení na čele nástroje, počet šroubovic a jejich úhel stoupání. Dále se zde stanovuje, jakým způsobem mají být vybroušeny hřbety na plášti nástroje – normálně nebo radiálně.



Obr. 28 - Stanovení břitů frézy

- Poté stačí už jen určit polotovár, který se bude brousit – průměr polotovaru a jeho délka, požadována délka stopky a materiál polotovaru.



Obr. 29 - Určení polotovaru

V těchto jednoduchých krocích se tedy stanovila základní geometrie nástroje. Pokud je potřeba nějaké změny, může se konstruktér kdykoliv během navrhování vrátit do této geometrie a provést případné změny. Uvedené hodnoty jsou tedy korektní s rozměry standardního nástroje tohoto typu frézy a poté, jakmile jsou všechny rozměry potvrzeny konstruktérem, software navrhne vhodné operace pro vybroušení zadaného nástroje. Sled ope-

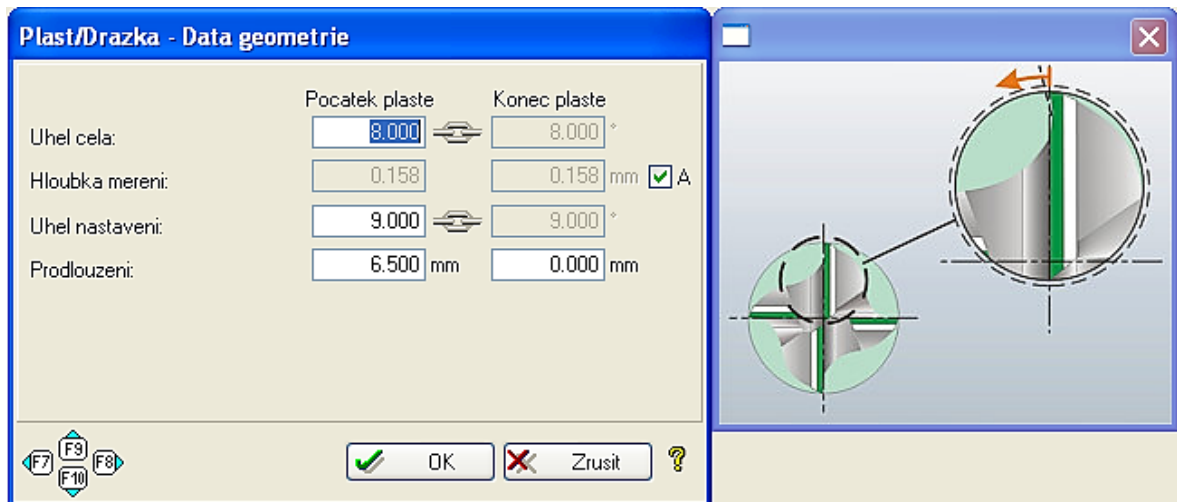
rací je analogický, sestaveny postupně tak, jak budou uváděny v činnost. Poté konstruktér ke každé z operací přiřadí typ kotouče, kterým bude daná operace prováděna, a vřeteno stroje, na kterém bude sada s kotouči umístěna. Software vyhodnotí i další operace, které mohou být provedeny při výrobě nástroje, ale pokud nejsou potřebné, konstruktér je může ze sledu operací vyjmout, nebo je pouze zablokuje, aby nebyly prováděny.

0	Element	Komponent	Kotouč	Vřeteno	Posuv	Různé	Zalozky
1	Plast	Drážka	1A1-100-10-DM-D64-01	1	80.0	Různé	P
2	Plast	Odtah při zp.chodu	1A1-100-10-DM-D64-01	1	120.0	Různé	O
3	Plast	Hřbet 1	11V9-100-HP-D46-04_K	2	60.0	Různé	P
4	Plast	Hřbet 2	11V9-100-HP-D46-04_K	2	60.0	Různé	U
5	Celo	Vyspíkování cela	12V9-125-HP-D46-05	2	30.0	Různé	P
6	Celo	Kapsa na cele V2	12V9-125-HP-D46-05	2	10.0	Různé	O
7	Celo	Hřbet na cele nástroje 1	11V9-100-HP-D46-04	2	100.0	Různé	P
8	Celo	Hřbet na cele nástroje 2	11V9-100-HP-D46-04	2	100.0	Různé	U
9	Celo	Rohova fazetka 1	11V9-100-HP-D46-04	2	150.0	Různé	P

Obr. 30 – Vyhodnocený sled operací pro broušení nástroje

Zde je vidět, jak budou jednotlivé operace po sobě následovat. Ke každé operaci je přiřazený typ kotouče (obsahuje směr a velikost otáček, geometrií kotouče a jeho polohu na upínacím trnu), jeho umístění na vřetenu stroje, posuvy (najížděcí posuvy směrem k obrobku a pracovní posuv) a dále ještě záložka „Různé“, kde se například určují informace o chlazení.

Každá z operací se může rozkliknout a otevře se okno s názvem dané operace, kde se můžou definovat prováděné úkony operace. Například při rozkliknutí operace „Drážka“ – viz. obr. 31 - se objeví dialogové okno, kde je uvedený úhel čela γ , hloubka měření úhlu čela, úhel nastavení (koriguje šířku hřbetu na plášti), velikosti nájezdu a výjezdu kotouče při broušení drážky. Takhle se můžou všechny operace přenastavit a specifikovat na broušení požadovaných rozměrů délek a úhlů.



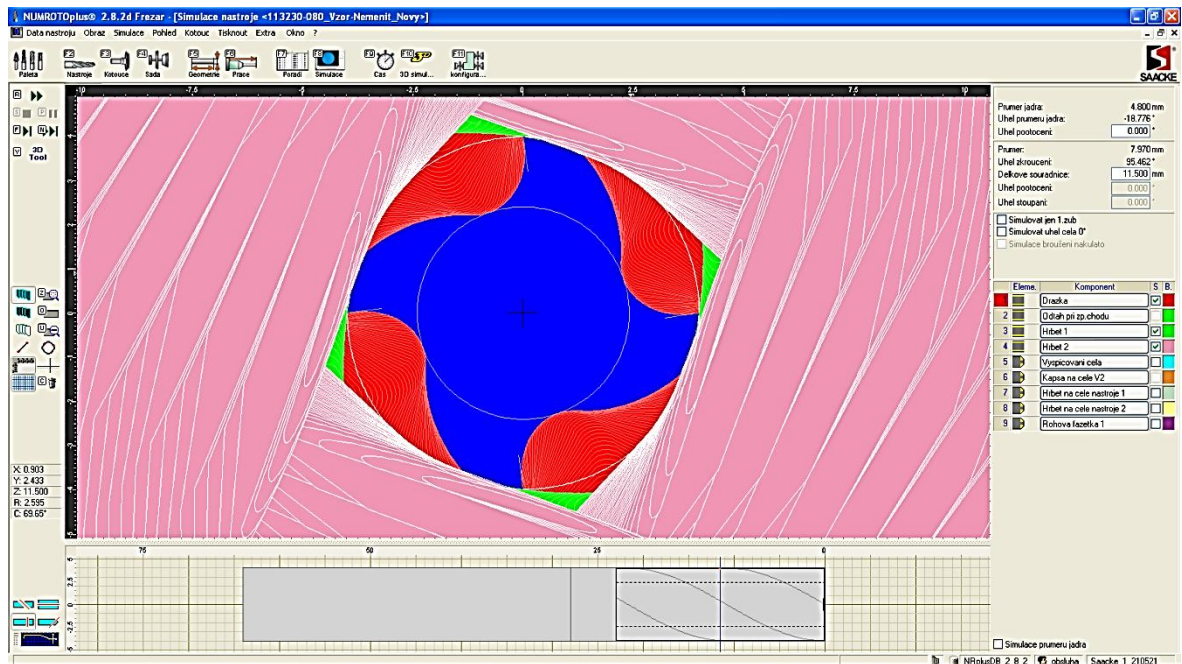
Obr. 31 - Dialogové okno operace drážka

Je tedy důležité, aby konstruktér každou z jednotlivých operací zkontroloval k požadovaným rozměrům nástrojem a popřípadě je jednotlivě dokorigoval na požadované míry. Tímto způsobem se projede celková geometrie nástroje.

7.1 Provedení simulace výrobního programu

Po definování veškerých parametrů obrábění a geometrie nástroje, se provede test obrábění – tedy simulace. Na výběr je zde 2D simulace a 3D simulace.

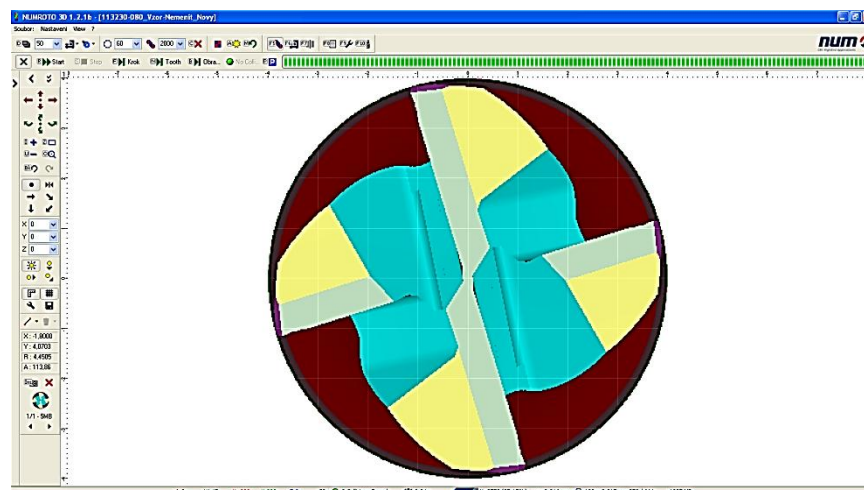
Ve 2D simulaci je možné pracovat v různé délce broušeného nástroje pomocí řezů, kdy jsou vidět v místě řezu provedené úkony jednotlivých operací. Kontroluje se zde hloubka brusu drážky (musí být dostatečně hluboká k vybroušení požadovaného průměru jádra frézy), velikosti (šířky) hřbetů na válci (koriguje se úhlem nastavení drážky) a možné nežádoucí zápichy brusů. Pokud se tedy objeví nějaké nežádoucí aspekty, upraví je konstruktér v dialogových oknech operací ke korektnímu stavu broušení. Jednotlivé operace jsou zde barevně rozlišeny, takže pohyb kotoučů a jejich opracování jsou přehledné. Ke kontrole jednotlivých rozměrů ve 2D simulaci slouží nástroje měření – měření pomocí přímky, kružnice (buď chycením středu kružnice a poloměru, nebo pomocí tří bodů).



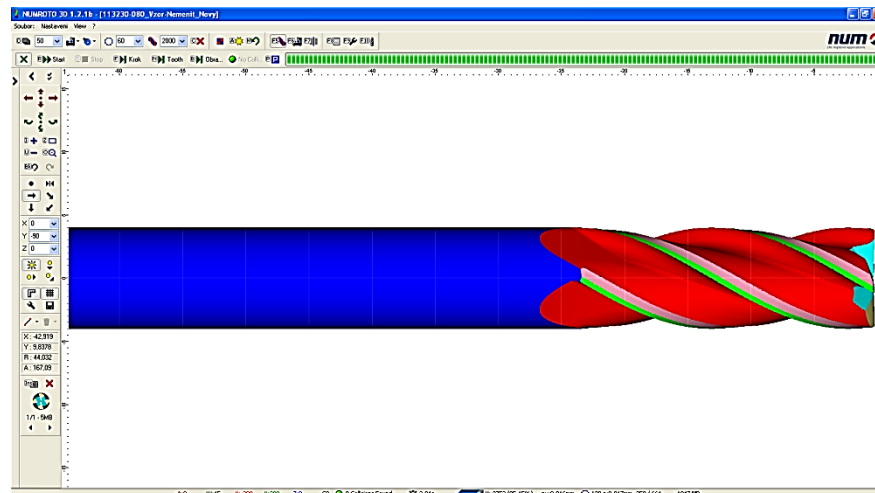
Obr. 32 – Ukázka 2D simulace broušení frézy

Ve 3D simulaci konstruktér sleduje reálné broušení tak, jak bude probíhat při výrobě. Zde je možné sledovat jak pohyby stroje při obrábění, tak samotný obrobek jak jsou na něm jednotlivé operace prováděny. V této fázi je možné vysledovat možné kolize stroje s obrobkem a také i možné kolize stroje s vlastními součástmi. Opět jsou zde jednotlivé operace rozlišeny barevně a i stopy jejich brusů na obráběném obrobku.

3D simulace ukáže výsledný tvar broušeného nástroje. Po odsimulování broušení konstruktér, opět díky nástrojům měření, zkontroluje požadované rozměry a to i místa brusů, které na 2D simulaci nebylo možné vidět. Zabrání i případným kolizím a zaručí bezpečný chod stroje během průběhu výroby frézy.



Obr. 33 - 3D simulace - čelo nástroje



Obr. 34 - 3D simulace – boční pohled

Během simulace a po jejím konci se může s obrazem na obrazovce libovolně natáčet do různých úhlů, přibližovat a oddalovat pomocí tlačítek a pohybu myši, což slouží k detailnímu pohledu na výsledný (průběžný) stav broušeného nástroje. Video s 3D simulací je k nalezení na CD jako příloha.

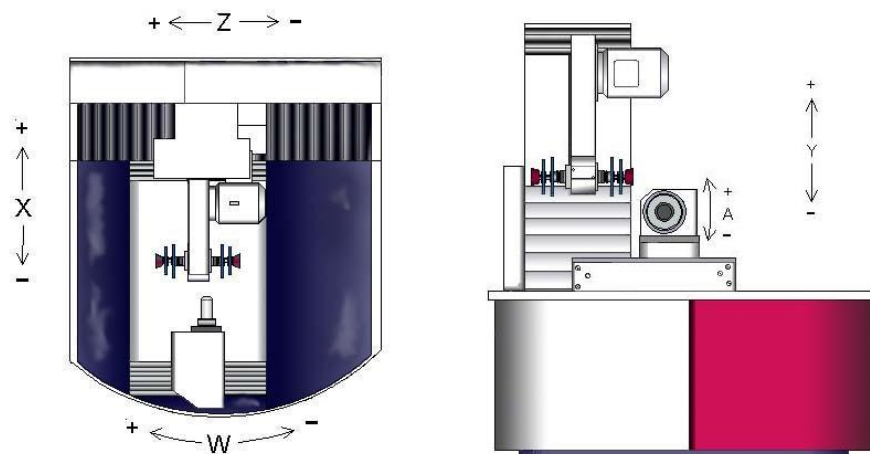
8 VÝROBA FRÉZY

Poté co je připraven program konstruktérem, je vydán materiál o požadovaných rozměrech k výrobě frézy spolu s technologickým postupem, která obsahuje sled úkonů od přípravy programu, přes výrobu nástroje, až po jeho balení a odeslání zákazníkovi.

Výroba zvoleného nástroje – čelní válcové frézy ($\varnothing 8 \times 19$ mm) – bude probíhat na 5-osé CNC brusce Saacke UWIE. Schéma pracovních os stroje je uvedeno na následujících obrázcích:



Obr. 35 – 5-osá CNC bruska od firmy Saacke



Obr. 36 - Pohled na pracovní osy stroje Saacke

Stroj disponuje zakrytováním výrobního prostoru, ovládacím panelem, na kterém jsou ovládací prvky stroje (upínání a odepínání obrobku, názvy os s možností pohybu os v klidovém stavu stroje, směr otáček vřeten, chlazení vřeten atd.), obrazovkou a počítačem.

8.1 Seřízení stroje a zaměřování výrobních kotoučů

Před zahájením samotné výroby frézy je potřeba správné seřízení stroje a zaměření sad kotoučů použitých k výrobě nástroje. Tyto úkony již provádí pracovník obsluhy stroje, který také dohlíží i na optimální chod výroby.

Pracovník si otevře daný výrobní program k výrobě frézy, který je uvedený na průvodce, zkontroluje si rozměry uvedené v programu s rozměry v příloze rozměrů přiložených k průvodce (pokud se tedy jedná o katalogový nástroj). Provede simulace, aby si zkontroloval naprogramovaný tvar nástroje, a jeho rozměry prověří pomocí nástrojů měření. Práce probíhá ve stejném softwaru jako i při přípravě programu – tedy v Numrotu. Poté si obsluha vezme přiřazené sady kotoučů a jednotlivé pracovní kotouče si zaměří.

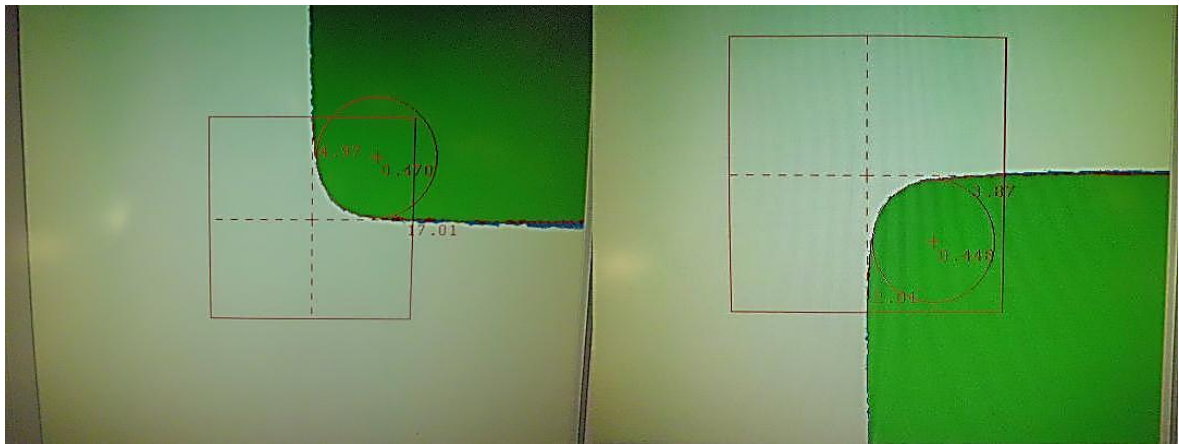
8.1.1 Zaměření kotoučů

Zaměření sad s výrobními kotouči probíhá na laserovém měřícím centru Zoller. Obvykle sadu kotoučů tvoří 2-3 kotouče různých tvarů a šířek. K výrobě nástroje jsou použity sady kotoučů SDS1-002B (sada obsahuje kotouč 1A1 D54 MXPP od výrobce kotoučů TYROLIT) a sada SDS1-063A (sada obsahuje kotouče 11V9 D46 C125 M727 a 12V9 DN46 3MC, oba od výrobce TYROLIT). Volbu kotoučů k výrobě nástroje určuje konstruktér a technolog výroby.



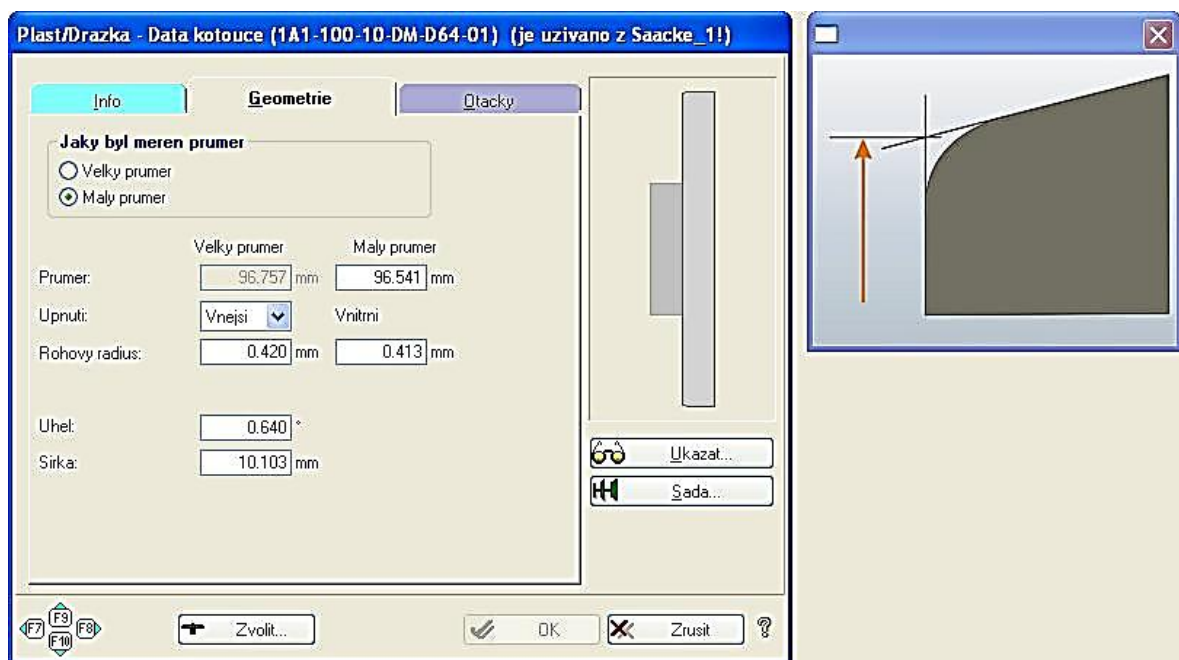
Obr. 37 - Zaměření sady SDS1-002B – 1A1

Zaměření kotoučů před výrobou nástroje je důležitou součástí výroby, je potřeba znát průměr kotouče, velikost rádiusů na kotouči a vzdálenost spodní hrany kotouče od příruby. Nejprve se zaměří poloha spodní hrany kotouče 1A1 – zjistí se průměr kotouče a jeho vzdálenost od příruby společně s rádiusem. V dalším kroku se zaměří horní hrana kotouče – změří se průměr kotouče na vzdálenější hraně od příruby, rádius a jeho vzdálenost horní hrany kotouče od příruby. Rozdílem vzdáleností horní a spodní hrany kotouče se spočítá šířka kotouče. Změřené hodnoty se zapíší a posléze po zaměření se hodnoty zapsané přepíší do geometrie kotouče v připraveném programu.



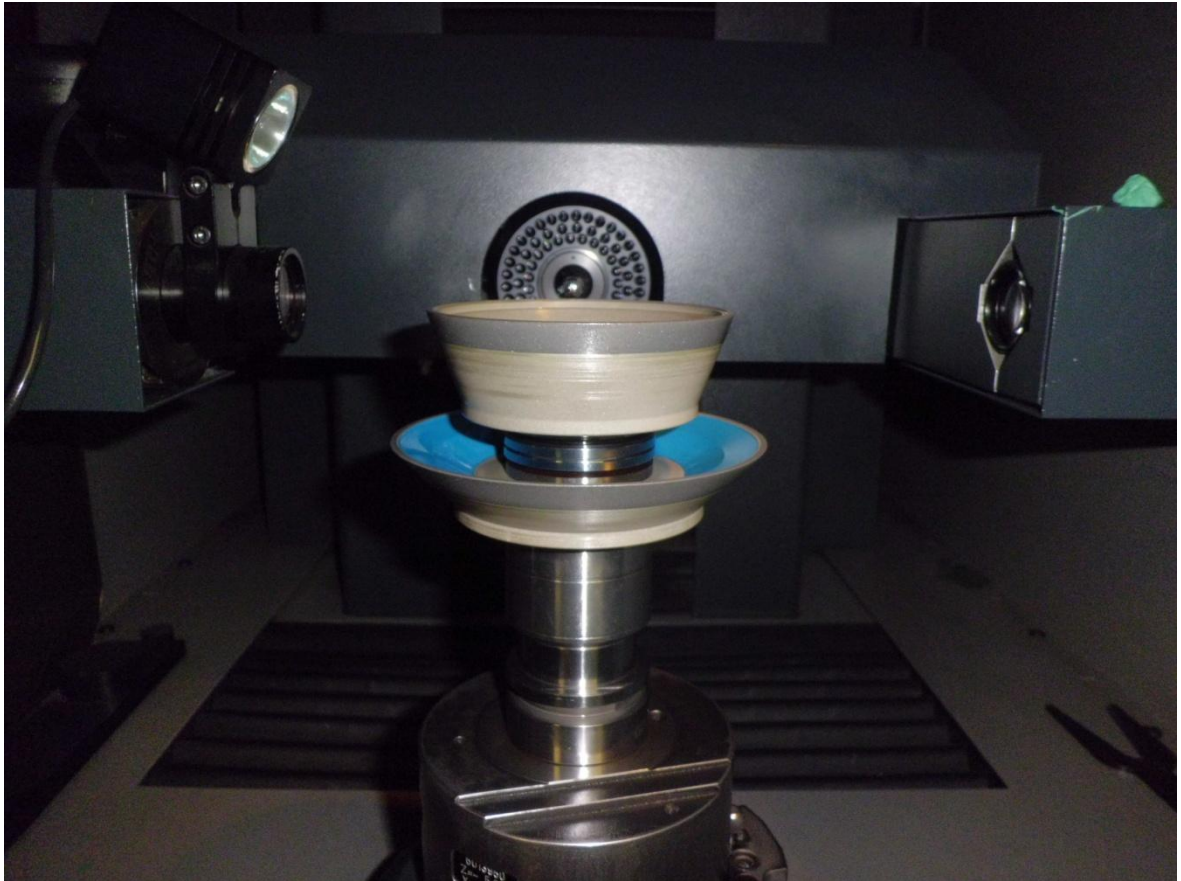
Obr. 38 - Zaměření kotouče 1A1

Pro přepsání aktuální geometrie kotouče se klikne na okno v programu příslušné operace, která daný typ kotouče využívá k provedení operace. Kotouč 1A1 brousí šroubovici nástroje, proto se tedy vedle názvu operace „Drážka“ rozklikne příslušný kotouč a zaměřené hodnoty se přepíší do jeho geometrie.



Obr. 39 – Okno s geometrií kotouče 1A1

Stejným způsobem probíhá i zaměření kotoučů sady SDS1-063A -> 12V9 a 11V9. Rozdíl způsobu zaměření této sady je pouze v tom, že se již nezaměřují šířky kotoučů, ale pouze jejich průměr, vzdálenost od příruby a rádius na kotouči.



Obr. 40 - Zaměření sady kotoučů SDS1-063A

Zjištěné hodnoty kotoučů se opět zapíší a po zaměření se tyto hodnoty opět přepíší do geometrie kotoučů v programu. Je důležité dbát na to, aby přepisování geometrie bylo vždy k příslušnému kotouči dané operace.



Obr. 41 - Zaměření kotoučů 12V9 a 11V9

8.1.2 Seřízení stroje před zahájením výroby

Před zahájením samotné výroby nástroje se musí řádně seřídit stroj, na kterém výroba proběhne. Seřízení stroje provádí obsluha stroje. Samotné seřizování spočívá v jednoduchých krocích, počínaje ověřením výrobního programu (obsluha se ujistí dle technologického postupu, že otevřený výrobní program je totožný s výrobním programem uvedeným v technologickém postupu), nasazením správných výrobních sad brousících kotoučů na vřetena stroje dle výrobního programu, tak jak je určil technolog výroby. Poté se provede nasazení správného upínače dle potřeby a vzhledem k průměru polotovaru. Plochy styku upínače a otvoru pro upínač musí být řádně očištěny, kvůli korektnímu seřízení házivosti upínače.

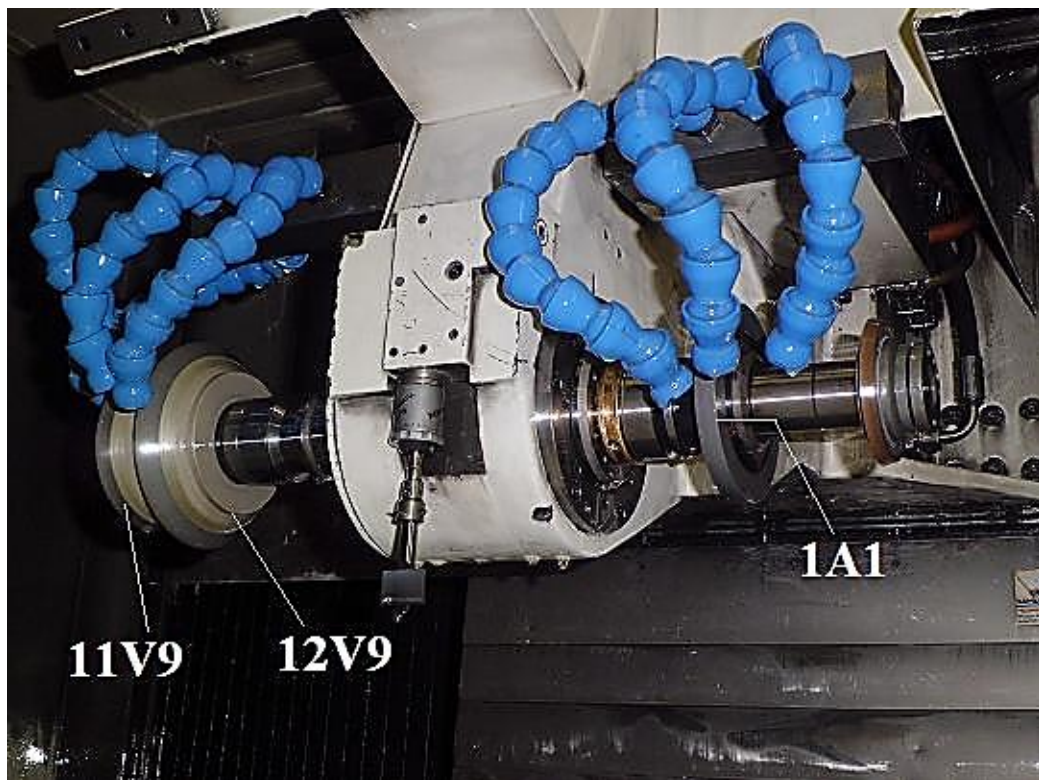
Seřízení házivosti upínače se provede v následujících krocích:

- Do očištěného otvoru upínače se vloží kleština s otvorem dle průměru polotovaru.
- Do kleštiny se vsune polotovar a zasune se co nehloub tak, aby trčela jen malá část polotovaru.
- Na vyčnívající část polotovaru se umístí špička úchylkoměru tak, aby byla co nejbliže ke kleštině, ale zároveň se nesmí dotýkat kleštiny (dle obr. 42).
- Poté se polotovar upne stisknutím tlačítka upínání na ovládacím panelu stroje.
- Pohybem osy rotace A se pak zkouší házení upínače, kdy obsluha sleduje ručičku úchylkoměru. Pokud ručička úchylkoměru vlivem otáčení koná pohyb po stupnici úchylkoměru, tak se postupně utahují šrouby matice držící upínač s vřetenem.
- Tenhle postup se opakuje do doby, kdy se ručička úchylkoměru ustálí v jedné poloze.



Obr. 42 - Seřizování házivosti upínače

Po seřízení upínače se musí správně nasadit sady s kotouči na příslušná vřetena stroje dle umístění ve výrobním programu (viz obr. 30). Součástí je i nastavení trysek kvůli chlazení. Nastavení trysek s chlazením lze provést již intuitivně dle 3D simulace, kde je již vidět, která část brousícího kotouče bude konat pracovní činnost broušení. Umístění kotoučů a nastavení trysek je tedy následující (viz obr. 43):



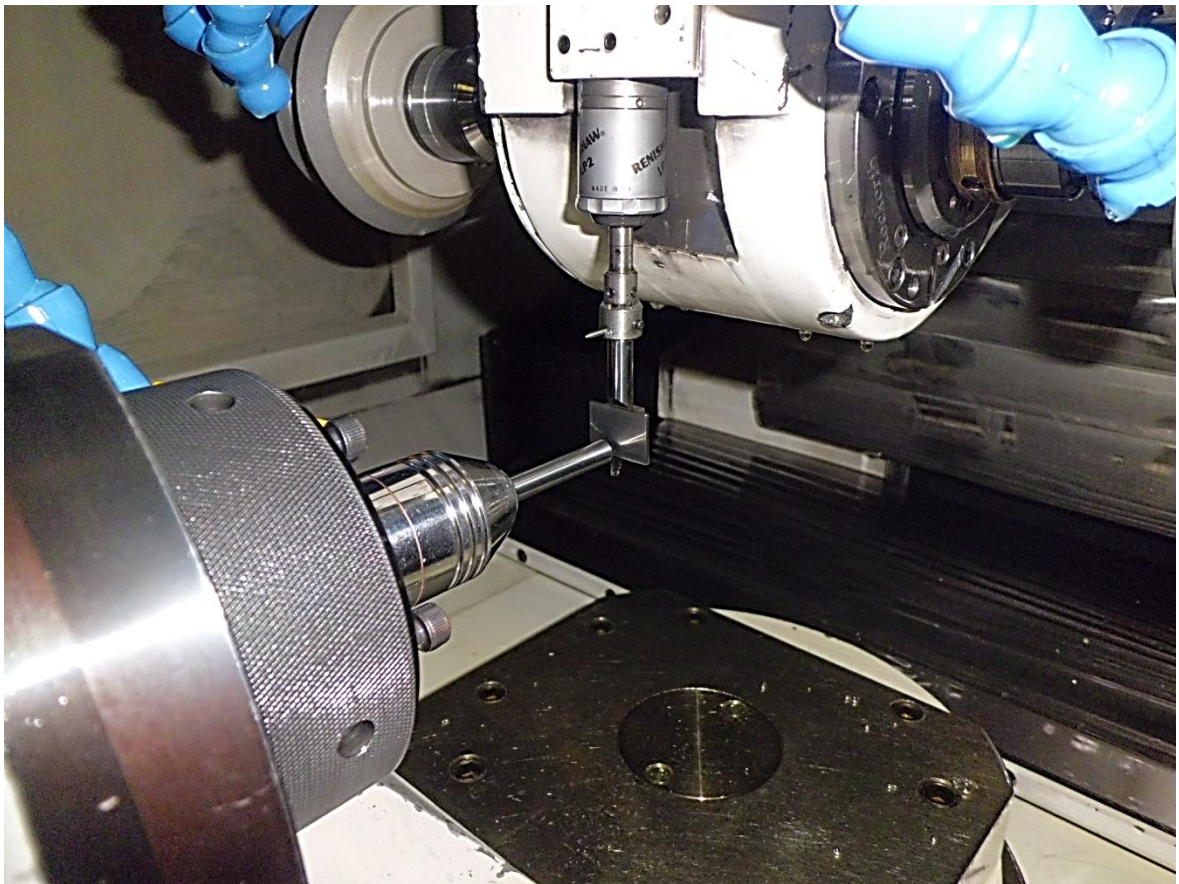
Obr. 43 - Umístění brousících kotoučů na vřetena stroje a nastavení trysek

8.2 Výroba nástroje

Než se zahájí výroba nástroje, musí se nejprve zkalibrovat rozměry na tzv. najížděcím kusu. Rozdíl mezi výrobou řádných kusů a najížděcím kusem je v zkrácení řezné části v záložce „Geometrie“ (viz obr. 27), kvůli šetření materiálu. Zvolí se tedy například délka řezné části 7 mm, tato délka bude dostačující na zkalibrování rozměrů před výrobou řádných nástrojů.

Poté se upne materiál pro najížděcí kus do kleštiny s upínačem, délka vysunutí z kleštiny je dle programu, zkontroluje se házení polotovaru pomocí úchylkoměru pohybem osy rotace A. Povolené házení polotovaru v kleštině je 0,005 mm.

Po kontrole házení polotovaru se zahájí proces broušení dle výrobního programu (se zkrácenou délkou řezné části). Nejprve polotovar najede na sondu stroje (viz obr. 44), kdy si stroj ověří délku vysunutí polotovaru dle hodnoty uvedené ve výrobním programu. Poté již nastává broušení jednotlivých ploch v pořadí, jak jsou uvedeny ve výrobním programu (operace „Drážka“, „Hřbet 1“,....viz technologický postup). U každé operace musí dbát obsluha stroje na optimální chod stroje, sledovat, zda nedochází k žádné kolizi stroje s obrobkem nebo kolize stroje se součásti stroje.



Obr. 44 - Odměrování polotovaru se sondou stroje

Až je ukončena i poslední výrobní operace, obsluha vytáhne vybroušený najížděcí kus, zkontroluje vizuálně kvalitu vybroušených ploch a zkontroluje geometrii nástroje na laserovém měřícím centru. Prioritně se kontrolují rozměry uvedené v tabulce rozměrů (viz Tab. 11), která je přílohou k technologickému postupu:

Tab. 11 – Tabulka rozměrů frézy dle výrobního kódu (pole s černou výplní jsou primární rozměry nástroje, které se kontrolují).

K-TOOLS®	Kontrolní rozměr	Počet zubů: 4 - 6 Čelo - 2 zuby do středu Úhel sklonu šroubovice $\lambda = 30^\circ$ Úhel čela $\gamma = 8^\circ$	
	Obecný popis	Popis	
Materiál druh			EMT210
Materiál rozměr			8h6x63
Počet zubů			4
l_2 - délka řezné části			19
l_1 - celková délka [± 1]			63
Délka stopky			36
Obvodové sražení hrany stopky 45°			0,5
Geometrie válce	Kr d_1 - průměr řezné části ze stroje		8h6
	Kr Průměr jádra frézy [$\pm 0,1$]		4,8
	Úhel sklonu šroubovice		30°
	Kr Úhel čela γ [$\pm 1^\circ$]		8°
	Hloubka měření / délka čela s úhlem γ		0,159
	Kr 1. úhel hřbetu α [$\pm 1^\circ$]		8°
	Kr šířka 1. úhlu hřbetu [$\pm 0,05$]		0,40
	2. úhel hřbetu [$\pm 1^\circ$]		20°
	šířka 2. úhlu hřbetu [$\pm 0,1$]		0,8
	Kr Válcovitost řezné části (povolené zúžení)		0,005max
	Kr Házení na obvodu řezné části		0,01 max
	Geometrie čela	Kr Axiální úhel čela	
1. úhel hřbetu na čele [$\pm 1^\circ$]			8°
Šířka fazetky na čele [$\pm 0,1$]			0,64
2. úhel hřbetu na čele [$\pm 1^\circ$]			20°
Kr Průměr kratších břitů na čele [$\pm 0,5$]			3,00
2 zuby do středu			ano
Kr Vyšpicování před středem [$\pm 0,02$]			0,04
Vyšpicování délka přejetí [$\pm 0,02$]			0,04

Geometrie roh. sražení	Kr	Velikost rohové fazetky (45°)	0,08
	Kr	Tolerance velikosti rohové fazetky [±]	0,02
		1. úhel hřbetu na sražení	13°

Měření geometrie se provádí na laserovém měřicím centru Zoller. Naměřené hodnoty se zapisují do měřicího protokolu. Pokud nějaký z měřených rozměrů není shodný s hodnotou dle tabulky rozměrů, obsluha provede korekci ve výrobním programu. Korekce se může provést buďto v geometrii nástroje nebo rozkliknutím dané výrobní operace, která daný rozměr (hodnotu) vytváří (např. pokud úhel čela γ je rozdílný svou naměřenou hodnotou proti hodnotě požadované, včetně jejího tolerančního rozsahu, provede obsluha korekci rozkliknutím operace „Drážka“ – viz obr. 31 – a tuto hodnotu přímo přepíše o rozdíl naměřené hodnoty proti požadované). Tímto způsobem se provádí veškeré korekce rozměrů. Ovšem pokud se liší rozměr průměru nástroje, korekce se provede v geometrii kotouče, který brousí průměr nástroje. Jelikož průměr nástroje brousí kotouč I1V9, provede obsluha korekci v hodnotě vzdálenosti hrany kotouče od příruby (rozkliknutím ikony s názvem kotouče dané operace a poklikáním na ikonu „Sada“ – viz obr. 39 – kde je tento rozměr uveden).

Provedením veškerých korekcí může obsluha začít s výrobou řádných nástrojů s požadovanou délkou řezné části. Při výrobě prvního řádného nástroje musí obsluha dohlížet na chod stroje, aby byl zaručen optimální chod výroby. Výroba opět začíná upnutím polotovaru do kleštiny upínače na optimální délku vysunutí polotovaru z kleštiny pomocí hloubkoměru. Následně se opět provede kontrola házení pomocí číselníkového úchylkoměru a to na konci vyčnívajícího polotovaru (viz obr. 45). Zkontrolováním házení polotovaru zahájí obsluha výrobu řádných nástrojů. Proces výroby nástroje opět probíhá dle sledu výrobních operací tak, jak jsou v pořadí ve výrobním programu (viz obr. 30).

Výsledný výrobní CNC kód, který je z výrobního programu převeden přes postprocesor do CNC stroje, je k nalezení jako příloha na CD.



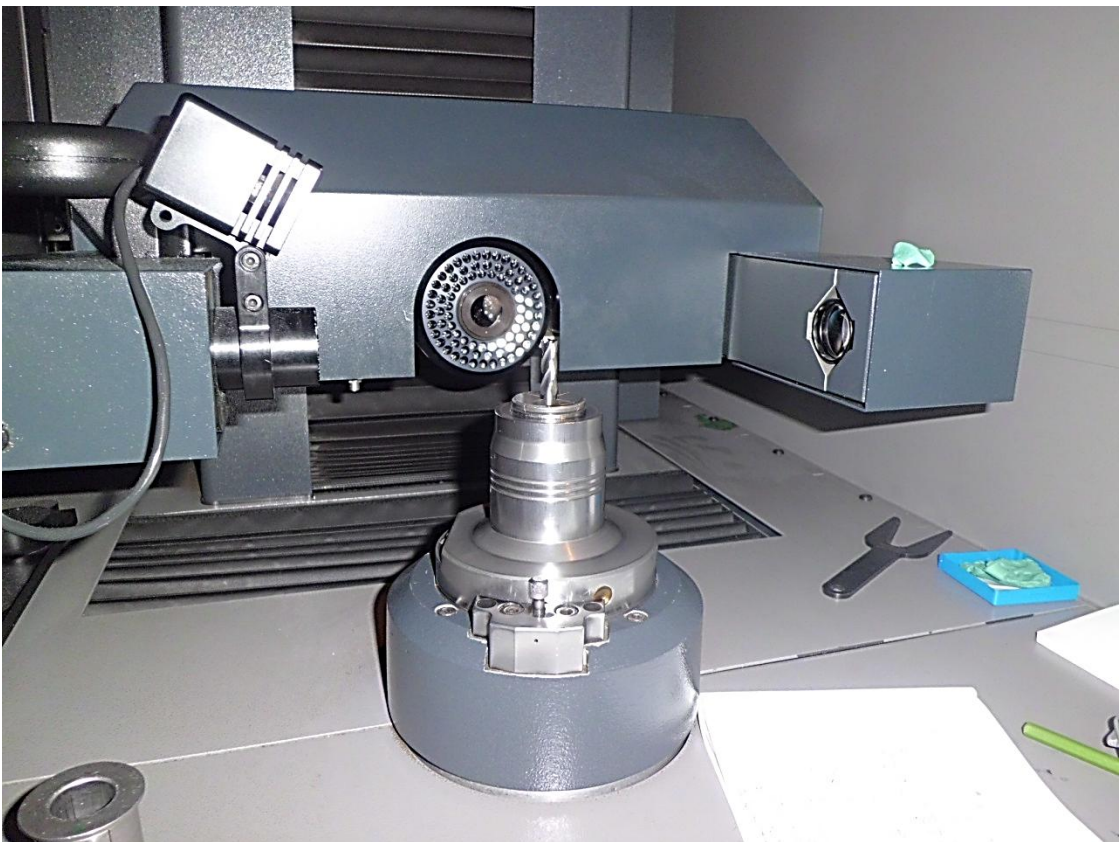
Obr. 45 - Kontrola házení polotovaru v kleštině



Obr. 46 – Vybroušený nástroj

9 MĚŘENÍ VYROBENÉHO NÁSTROJE

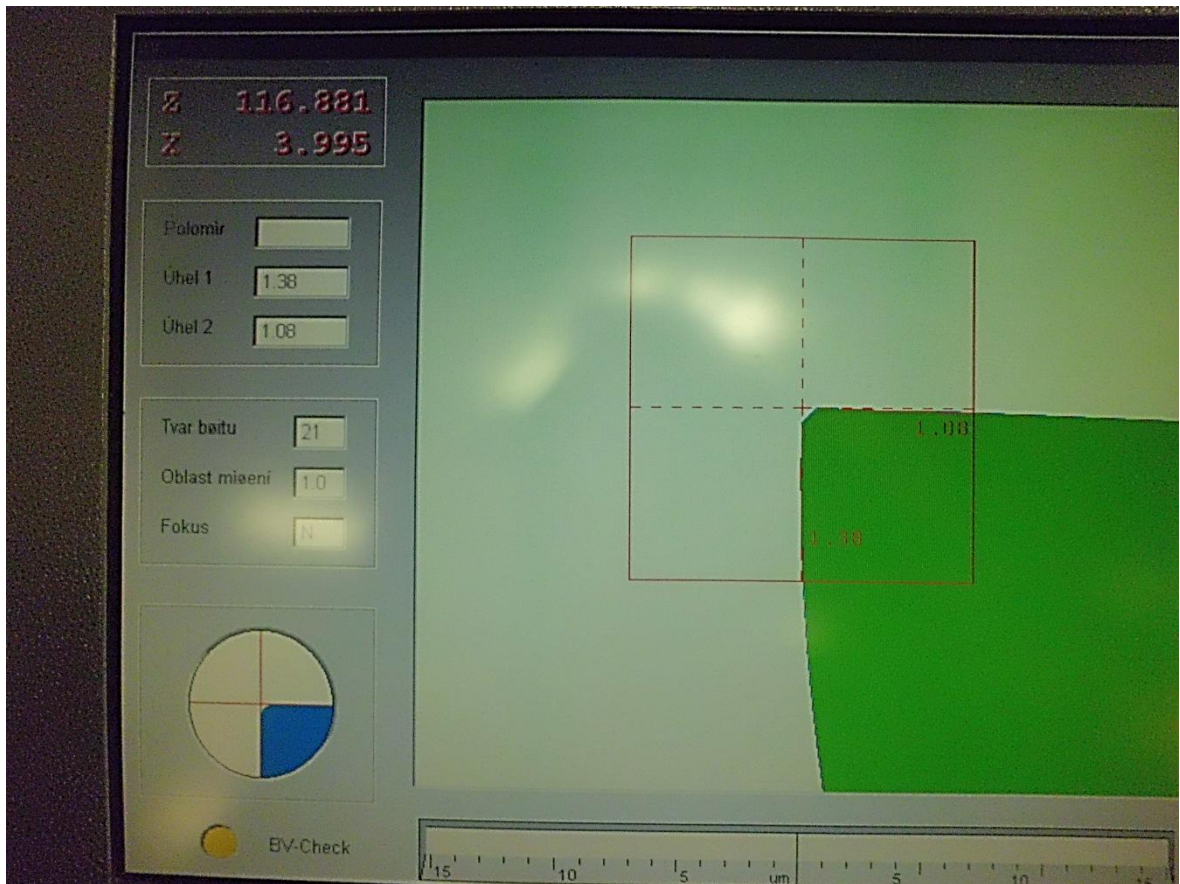
Dokončením výrobního procesu nástroje se provede měření geometrie nástroje. Měření provádí obsluha stroje na laserovém měřicím centru Zoller. Přístroj má 3 osy pohybu (vertikální, horizontální a směrem dopředu a dozadu), díky kterým se dokáže přesunout na optimální místo k provedení úkonu měření daného rozměru a diodami, které zajišťují optimální osvětlení při snímání nástroje. Nástroj se zde upíná do upínače s kleštinou dle průměru stopky nástroje a zasune se do optimální hloubky tak, aby dostatečně vyčnívala řezná část nástroje (viz obr. 47).



Obr. 47 - Měření nástroje na měřicím laserovém centru

9.1 Měření geometrie nástroje

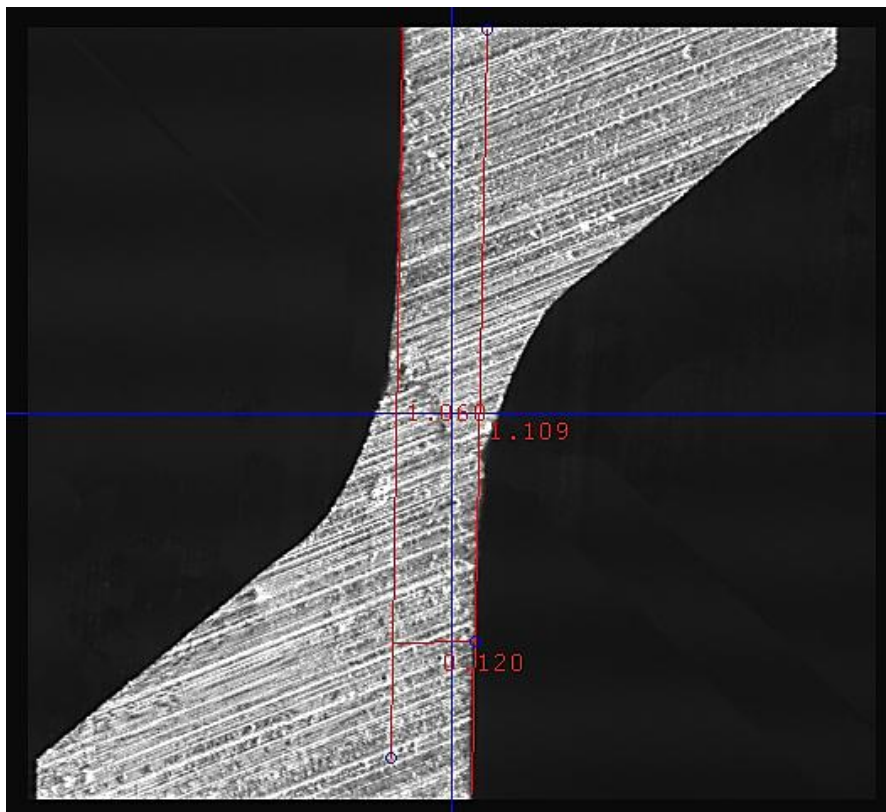
Měření vyrobeného nástroje začíná tím, že se nejprve musí definovat nulový bod měření (nulový bod měření je umístěn v rohu frézy, tzn. nejvyšší bod čela nástroje a průměru – viz obr. 48), od kterého budou měřeny další rozměry frézy.



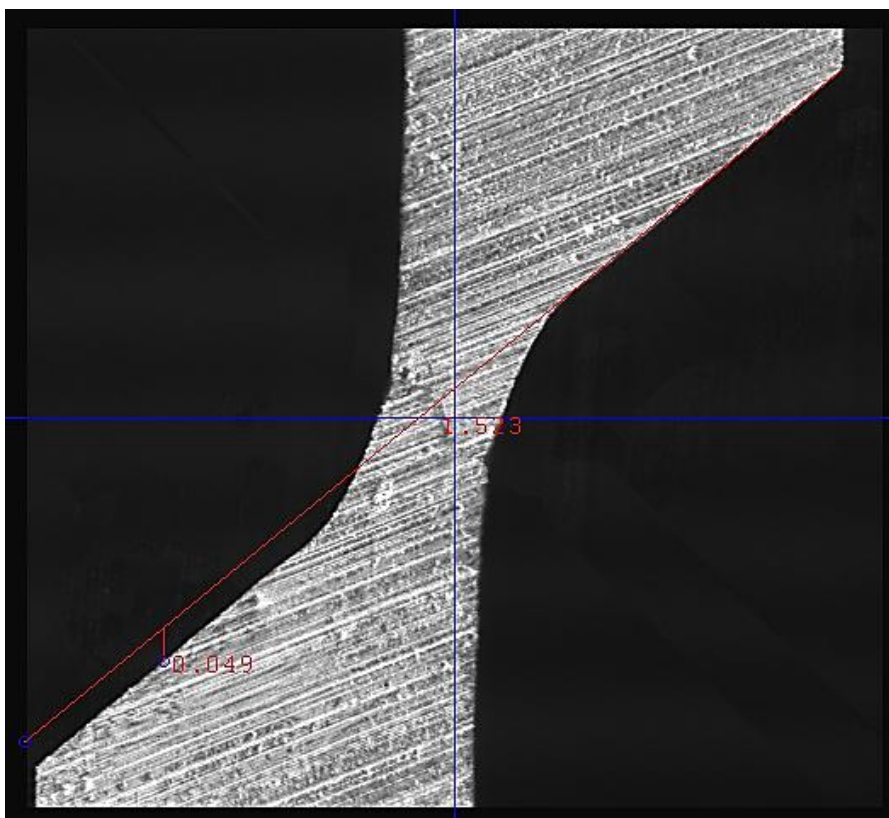
Obr. 48 - Definování nulového bodu

Poté, jakmile je definován nulový bod měření, se změří průměr nástroje u čela nástroje a také průměr nástroje v konečné délce řezné části nástroje. Tím se změří, zda se průměr nástroje směrem k délce řezné části zužuje nebo rozšiřuje, optimální však je, aby průměr nástroje byl po celé řezné délce stejný.

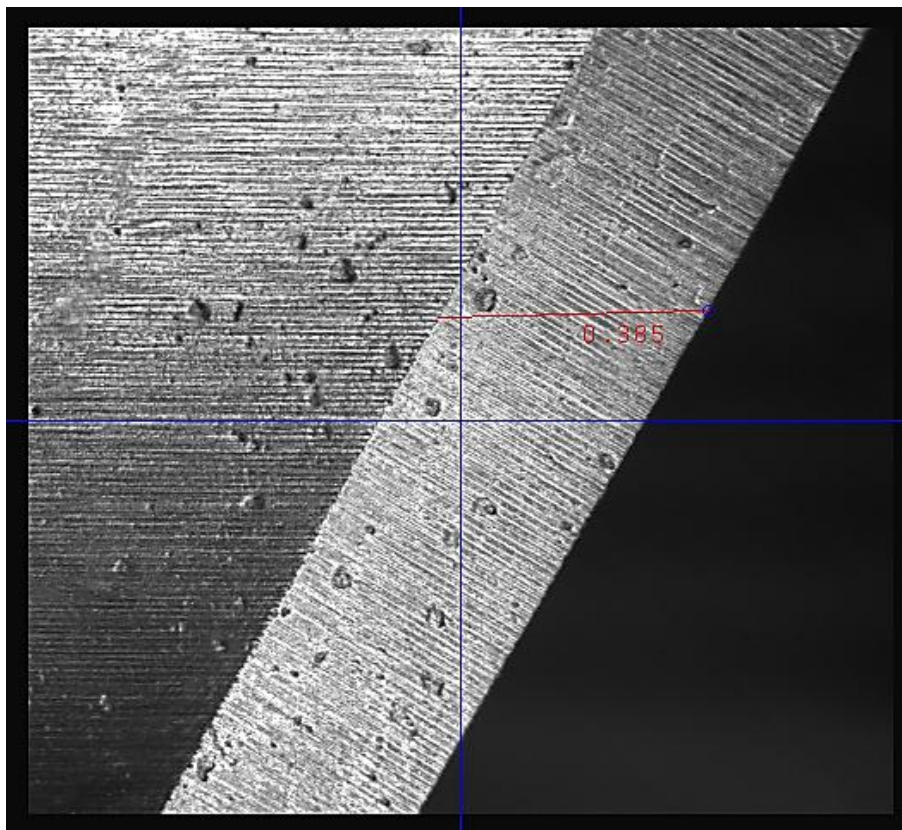
Jako další rozměry se měří úhel čela γ , úhel hřbetu α a šířky hřbetních ploch na válcové části nástroje. Další důležité rozměry, které se měří, jsou velikost rohové fazetky, průměr krátkých zubů frézy na čele nástroje, průměr jádra frézy, geometrie čela nástroje, jež zahrnuje rozměry vyšpicování dlouhých zubů před středem a rozměr vyšpicování dlouhých zubů zanoření. Náhledy měření daných rozměrů jsou uvedeny v následujících obrázcích. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 12.



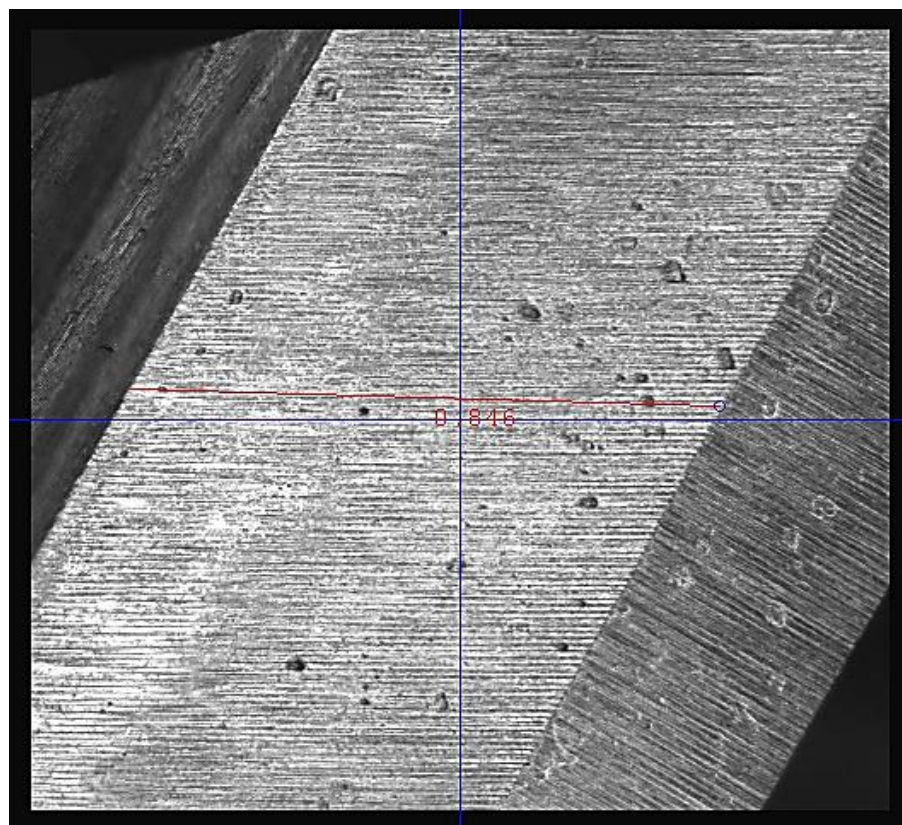
Obr. 49 - Měření rozměru vyšpicování dlouhých zubů před středem



Obr. 50 - Měření rozměru vyšpicování dlouhých zubů míry přes střed



Obr. 51 - Měření šířky hřbetní plochy na průměru nástroje



Obr. 52 - Měření šířky hřbetní plochy 2 na průměru nástroje

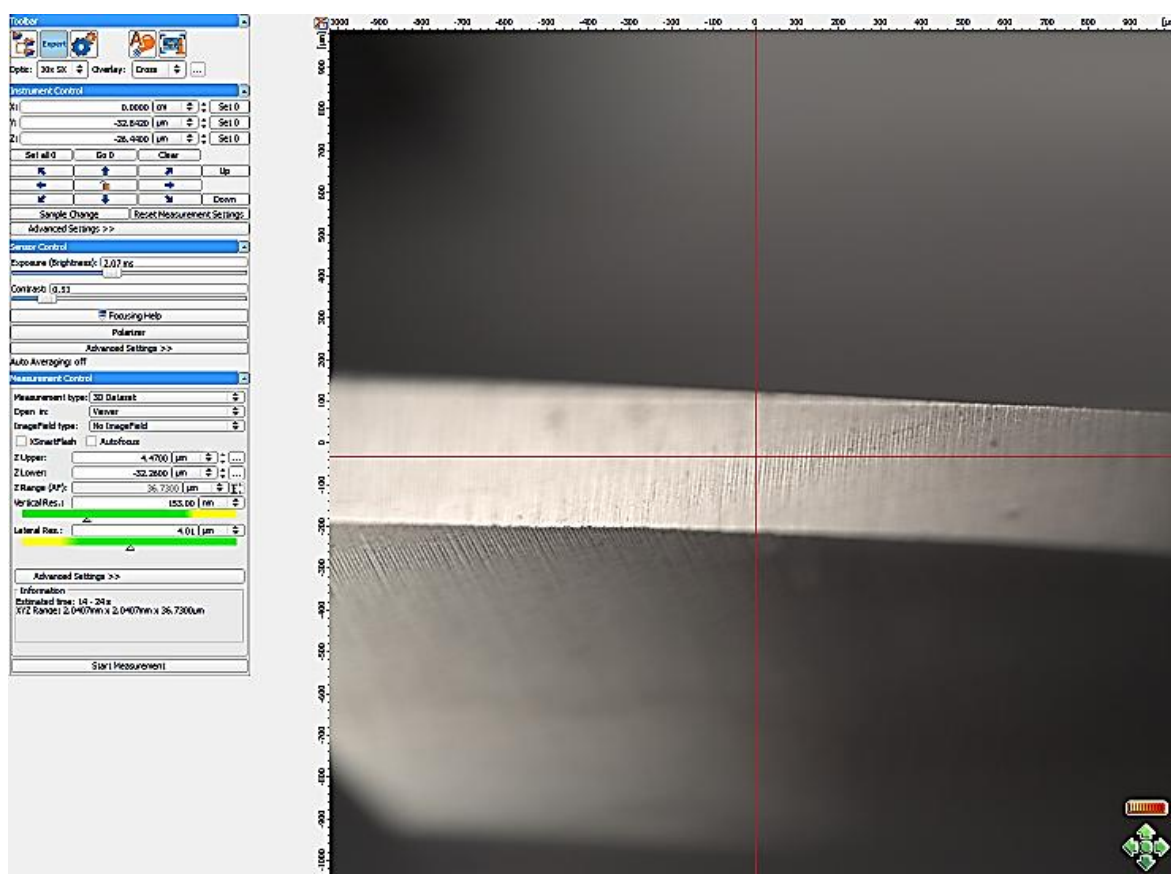
Tab. 12 – Výsledky měření

K-TOOLS®	Kontrolní rozměr		
		Požadované rozměry	Naměřené rozměry
	Počet zubů: 4 - 6 Čelo - 2 zuby do středu Úhel sklonu šroubovice $\lambda = 30^\circ$ Úhel čela $\gamma = 8^\circ$		
Obecný popis	Popis	8x19	
	Materiál druh	EMT210	
	Materiál rozměr	8h6x63	
	l_2 - délka řezné části	19	19,24
	l_1 - celková délka [± 1]	63	
	Délka stopky	36	
	Obvodové sražení hrany stopky 45°	0,5	
Geometrie válce	Kr d_1 - průměr řezné části ze stroje	8h6	7,972
	Kr Průměr jádra frézy [$\pm 0,1$]	4,8	4,84
	Úhel sklonu šroubovice	30°	
	Kr Úhel čela γ [$\pm 1^\circ$]	8°	$8,06^\circ$
	Hloubka měření / délka čela s úhlem γ	0,159	
	Kr 1. úhel hřbetu α [$\pm 1^\circ$]	8°	$7,26^\circ$
	Kr šířka 1. úhlu hřbetu [$\pm 0,05$]	0,40	0,39
	2. úhel hřbetu [$\pm 1^\circ$]	20°	
	šířka 2. úhlu hřbetu [$\pm 0,1$]	0,8	0,846
	Kr Válcovitost řezné části (povolené zúžení)	0,005max	0,003
Kr Házení na obvodu řezné části	0,01 max	0,005	
Kontrolní rozměr	Kr Axiální úhel [$\pm 1^\circ$]	2°	
	1. úhel hřbetu na čele [$\pm 1^\circ$]	8°	
	Šířka fazetky na čele [$\pm 0,1$]	0,64	
	2. úhel hřbetu na čele [$\pm 1^\circ$]	20°	
	Kr Průměr kratších břitů na čele [$\pm 0,5$]	3,00	2,93
	2 zuby do středu	ano	

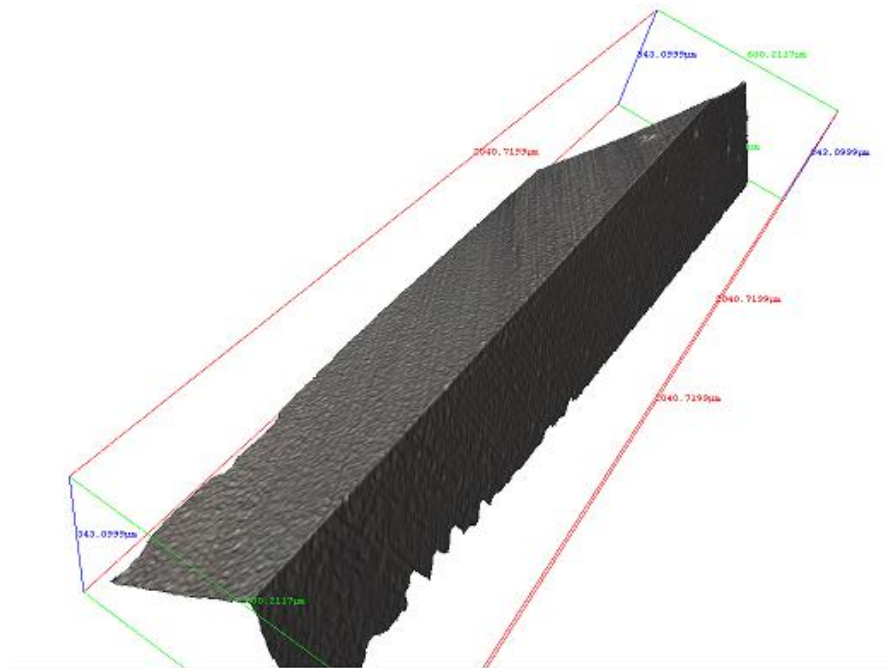
Geometrie roh. sra- žení	Kr Vyšpicování před středem [$\pm 0,02$]	0,04	0,06
	Vyšpicování délka přejetí [$\pm 0,02$]	0,04	0,049
	Kr Velikost rohové fazetky (45°)	0,08	0,082
	Kr Tolerance velikosti rohové fazetky [\pm]	0,02	

9.2 Měření drsnosti povrchu

V další fázi se provádí měření drsnosti povrchu vyrobeného nástroje. Měření probíhá na optickém měřicím přístroji. Měření začíná tak, že se nástroj upne do držáku za stopkovou část, pomocí optické části přístroje se zaostří místo pro měření a provede se snímek s vysokým rozlišením, kdy optika zachytí veškeré nerovnosti povrchu. Na výsledném snímku se provede řez nasnímané částí, která se podrobí konkrétnímu měření (viz obr. 54).



Obr. 53 - Měření hřbetní části břitu frézy



Obr. 54 - Pořízení 3D snímku



Obr. 55 - Provedení řezu

Měření drsnosti povrchu se provádí na hřbetní ploše válcové části frézy, nejčastěji v co nejvyšším místě k čelu nástroje, a dále i drsnost povrchu na hřbetní ploše umístěné na čele frézy.

Tab. 13 – Výsledky měření drsnosti povrchu na hřbetních plochách frézy

	Drsnost povrchu hřbetní plochy 1 na čele nástroje	Drsnost povrchu hřbetní plochy na válcové části nástroje
Ra (μm)	0,652	0,389
Rz (μm)	3,556	2,373

Rozšířené výsledky měřených povrchů a jejich drsností jsou k nalezení jako přílohy.

ZÁVĚR

Předmětem této práce bylo vypracovat návrh a také realizovat výrobu řezného nástroje, který bude vhodný k obrábění rovinných ploch výrobků z hliníku. Navrženým nástrojem je čtyřzubá fréza o průměru 8 mm a délkou řezné části 19 mm. Materiál obrobku je jednodokarbidový slinutý karbid s obsahem pojící složky 10%. Celá realizace proběhla ve spolupráci s firmou K-Tools sídlící ve Zlíně.

Nástroji byla navržena optimální geometrie řezných úhlů, byl vypracován technologický postup a sestaven výrobní program. Broušení frézy proběhlo na 5-osé CNC brusce od firmy Saacke. Poté, co byl nástroj vybroušen, se provedlo měření geometrie na laserovém měřícím centru Zoller a výsledky měření byly zaznamenány. V posledních krocích výroby byla také změřena drsnost povrchů na hřbetních plochách frézy.

Hotový řezný nástroj byl pak odeslán k nanesení vhodného povlaku, který zvyšuje trvanlivost frézy. Nástroj byl vyhodnocen jako vhodný k požadovaným úkonům a posléze zabalen do ochranného pouzdra a je tedy výsledkem práce.

Další možné aplikace obrábění je dle výrobce vhodný k obrábění rovinných ploch z nerezových materiálů, litiny a kalené oceli do 55 HRC. Vhodný je jak k hrubovacím operacím, tak i k operacím dokončovacím. V příloze jsou také výrobcem doporučené řezné podmínky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [3] KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [2] SCHMIDT, Eduard. *Příručka řezných nástrojů*. Vyd. 2. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1974, 578 s. Řada strojírenské literatury. ISBN 04-228-74.
- [3] HUMÁR, Anton. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. 1. vyd. Brno: CCB, 1995, 265 s. ISBN 80-858-2510-4.
- [4] JANDEČKA, Karel. *Úvod k broušení tvarově složitých nástrojů*. Vyd. 1. Plzeň: Fakulta výrobních technologií a managementu UJEP, 2006, 80 s. ISBN 80-704-4857-1.
- [5] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 126 s. ISBN 80-730-0207-8.
- [6] *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. 1. české vyd. Překlad Miroslav Kudela. Praha: Scientia, c1997, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 91-972-2994-6.
- [7] PERNIKÁŘ, Jiří, Miroslav TYKAL a Josef VAČKÁŘ. *Jakost a metrologie*. Brno: CERM, 2001, 151, 4 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-1997-0.
- [8] DOVICA, Miroslav, Peter KAŤUCH, Jozef KOVÁČ a Martin PETRÍK. *Metrológia v strojárstve*. 1. vyd. Strojnícka fakulta TU v Košiciach: EMILENA s.r.o., 2006, 351 s. Edícia vedeckej a odbornej literatúry. ISBN 80-8073-407-0.
- [9] LEINVEBER, Jan, Pavel VÁVRA a Jaroslav ŘASA. *Strojnické tabulky*. 2., zcela přeprac. vyd. Praha: Scientia, 1998, xiii, 911 s. ISBN 80-718-3123-9.
- [10] STROJÍRENSTVÍ - FRÉZOVÁNÍ [online]. [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-frezovani.blogspot.cz/>
- [11] K-TOOLS. *K-TOOLS Ing. Zdeněk Krátký* [online]. 2014 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: <http://www.k-tools.cz/index.php?url=cs/uvod>
- [12] *Katalog nástrojů pro obrábění z tvrdokovu*. Zlín, 2014/01.
- [13] LUKOVICS, I., SÝKOROVÁ, L. „Stanovení řezivosti brousících kotoučů pro vysokovýkonné obrábění.“ In: *Nástroje 99*, Zlín, 1999, p. 96-102, ISBN 80-214-1426-X.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAD	(Computer Aided Design) počítačová podpora navrhování
CAM	(Computer Aided Manufacturing) počítačová podpora výroby
CIM	(Computer Integrated Manufacturing) počítačová integrovaná výroby
CNC	(Computer Numerical Control) číslicové řízení pomocí počítače
CVD	(Chemical Vapour Deposition) chemické nanášení povlaku
D	(Diameter) průměr nástroje [mm]
DIA	(Diamond) diamant
HIP	(Hot Isostatic Pressing) vysokoteplotní izostatické lisování
HRC	Tvrдость obráběného materiálu podle Rockwella
HSC	(High Speed Cutting) vysokorychlostní obrábění
l	Délka [mm]
NC	(Numerical Control) číslicové řízení
Pa	Aritmetická odchylka primárního profilu [μm]
PVD	(Physical Vapour Deposition) fyzikální nanášení povlaku
Ra	Aritmetická odchylka profilu drsnosti [μm]
Rz	Největší výška profilu drsnosti [μm]
SK	Slinutý karbid
v_c	Řezná rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
Wa	Aritmetická odchylka profilu vlnitosti [μm]
z	Počet zubů
α	Nástrojový úhel hřbetu [$^\circ$]
β	Nástrojový úhel řezného klínu [$^\circ$]
γ	Nástrojový úhel čela [$^\circ$]
λ	Nástrojový úhel šroubovice [$^\circ$]

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 - Kinematika nesousledného frézování [2]</i>	12
<i>Obr. 2 - Kinematika sousledného frézování [2]</i>	13
<i>Obr. 3 - Geometrie zubů frézy [2]</i>	18
<i>Obr. 4. Čelní válcová fréza se stopkou [9]</i>	18
<i>Obr. 5 – Princip úběru materiálu při broušení [4]</i>	21
<i>Obr. 6 – Příklad rozložení teplotního pole v obrobku při broušení [4]</i>	22
<i>Obr. 7 – Typy obvodového broušení[1]</i>	23
<i>Obr. 8 – Typy čelního broušení [1]</i>	24
<i>Obr. 9 – Tvary brousících kotoučů [4]</i>	26
<i>Obr. 10 – Graf nástrojových materiálů [3]</i>	37
<i>Obr. 11 - Povlakování technologií CVD [6]</i>	40
<i>Obr. 12 - Povlakování technologií PVD [6]</i>	41
<i>Obr. 13 – Definování kartézských souřadnic – pravotočivá soustava [5]</i>	44
<i>Obr. 14 – Interpolace dráhy kontury – inkrementy [5]</i>	46
<i>Obr. 15 - Rozdělení metrologie [7]</i>	55
<i>Obr. 16 - Schéma rozdělení délkových měřících systémů [7]</i>	56
<i>Obr. 17 - Profil řezu [8]</i>	57
<i>Obr. 18 - Zobrazení profilů drsnosti povrchu [8]</i>	58
<i>Obr. 21 – Největší výška profilu Rz [8]</i>	59
<i>Obr. 20 – Střední aritmetická odchylka profilu Ra [8]</i>	59
<i>Obr. 19 - Rozeznávání odlišností poměru šířky k výšce mezi stupnicemi [8]</i>	59
<i>Obr. 22 – Čelní válcová fréza [11]</i>	61
<i>Obr. 23 – Základní informace o nástroji [11]</i>	61
<i>Obr. 24 – Průměr a délky dle katalogu firmy včetně ceny nástroje. [11]</i>	62
<i>Obr. 25 - Popis ploch nástroje - boční pohled</i>	62
<i>Obr. 26 - Popis ploch nástroje - čelo</i>	63
<i>Obr. 27 - Stanovení vnější geometrie nástroje</i>	65
<i>Obr. 28 - Stanovení břitů frézy</i>	66
<i>Obr. 29 - Určení polotovaru</i>	66
<i>Obr. 30 – Vyhodnocený sled operací pro broušení nástroje</i>	67
<i>Obr. 31 - Dialogové okno operace drážka</i>	68
<i>Obr. 32 – Ukázka 2D simulace broušení frézy</i>	69

<i>Obr. 33 - 3D simulace - čelo nástroje</i>	69
<i>Obr. 34 - 3D simulace – boční pohled</i>	70
<i>Obr. 35 – 5-osá CNC bruska od firmy Saacke</i>	71
<i>Obr. 36 - Pohled na pracovní osy stroje Saacke</i>	71
<i>Obr. 37 - Zaměření sady SDS1-002B – 1A1</i>	73
<i>Obr. 38 - Zaměření kotouče 1A1</i>	74
<i>Obr. 39 – Okno s geometrií kotouče 1A1</i>	74
<i>Obr. 40 - Zaměření sady kotoučů SDS1-063A</i>	75
<i>Obr. 41 - Zaměření kotoučů 12V9 a 11V9</i>	75
<i>Obr. 42 - Seřizování házivosti upínače</i>	76
<i>Obr. 43 - Umístění brousících kotoučů na vřetena stroje a nastavení trysek</i>	77
<i>Obr. 44 - Odměřování polotovaru se sondou stroje</i>	78
<i>Obr. 46 – Vybroušený nástroj</i>	81
<i>Obr. 45 - Kontrola házení polotovaru v kleštině</i>	81
<i>Obr. 47 - Měření nástroje na měřícím laserovém centru</i>	82
<i>Obr. 48 - Definování nulového bodu</i>	83
<i>Obr. 49 - Měření rozměru vyšpicování dlouhých zubů před středem</i>	84
<i>Obr. 50 - Měření rozměru vyšpicování dlouhých zubů míry přes střed</i>	84
<i>Obr. 51 - Měření šířky hřbetní plochy na průměru nástroje</i>	85
<i>Obr. 52 - Měření šířky hřbetní plochy 2 na průměru nástroje</i>	85
<i>Obr. 53 - Měření hřbetní části břitu frézy</i>	87
<i>Obr. 54 - Pořízení 3D snímku</i>	88
<i>Obr. 55 - Provedení řezu</i>	88
<i>Obr. 56 - Primární graf pro měření drsnosti povrchu na hřbetní ploše na válci nástroje</i>	97
<i>Obr. 57 - Graf drsnosti povrchu naměřené hřbetní plochy na válci nástroje</i>	97
<i>Obr. 58 - Graf vlnitosti povrchu naměřené hřbetní plochy na válci nástroje</i>	97
<i>Obr. 59 - Primární graf pro měření drsnosti povrchu na hřbetní ploše na čele nástroje</i>	97
<i>Obr. 61 - Graf vlnitosti povrchu naměřené hřbetní plochy na čele nástroje</i>	97
<i>Obr. 60 - Graf drsnosti povrchu naměřené hřbetní plochy na čele nástroje</i>	97
<i>Obr. 62 - Doporučené řezné podmínky [12]</i>	97

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Přehled některých druhů fréz a jejich provedení [9]</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 2 – Přehled brusných materiálů dle jakosti [2]</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 3 – Závislost velikosti zrn na drsnosti obrobené plochy[4]</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 4 – Stupně tvrdosti brusného kotouče[2]</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 5 – Struktura brousicích nástrojů [2]</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 6 – Souřadnicový systém CNC strojů – značení a použití jednotlivých os [5]</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 7 – Typové rozdělení adres CNC příkazu [5]</i>	<i>46</i>
<i>Tab. 8 – Přehled nepoužívanějších adres[5].....</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 9 – Přehled a použití základních funkcí G, M. [5]</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 10 – Technologický postup.....</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 11 – Tabulka rozměrů frézy dle výrobního kódu (pole s černou výplní jsou primární rozměry nástroje, které se kontrolují).</i>	<i>78</i>
<i>Tab. 12 – Výsledky měření.....</i>	<i>86</i>
<i>Tab. 13 – Výsledky měření drsnosti povrchu na hřbetních plochách frézy</i>	<i>89</i>

SEZNAM PŘÍLOH

- PI Naměřené hodnoty drsnosti povrchu na hřbetní ploše na válci nástroje
- PII Naměřené hodnoty drsnosti povrchu na hřbetní ploše na čele nástroje
- PIII Doporučené řezné podmínky vyrobené frézy

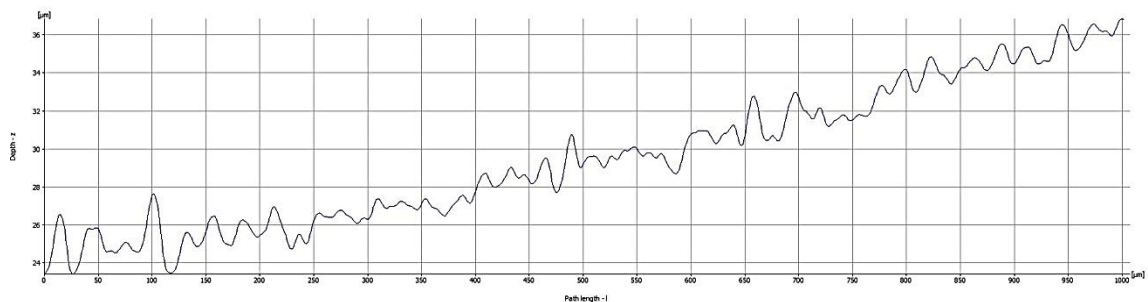
PŘÍLOHA P I: NAMĚŘENÉ HODNOTY DRSNOSTI POVRCHU NA HŘBETNÍ PLOŠE NA VÁLCI NÁSTROJE

Statistics:

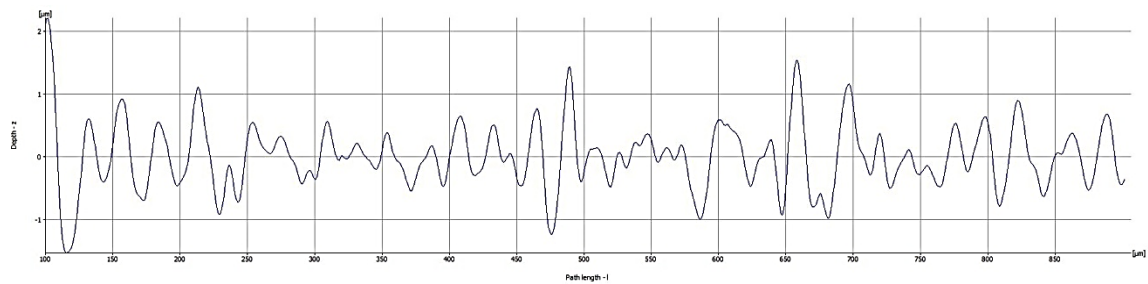
Elements 820
Classes 76
Mean Value 0.0008 μm
Standard Deviation 0.5225 μm

Parameters:

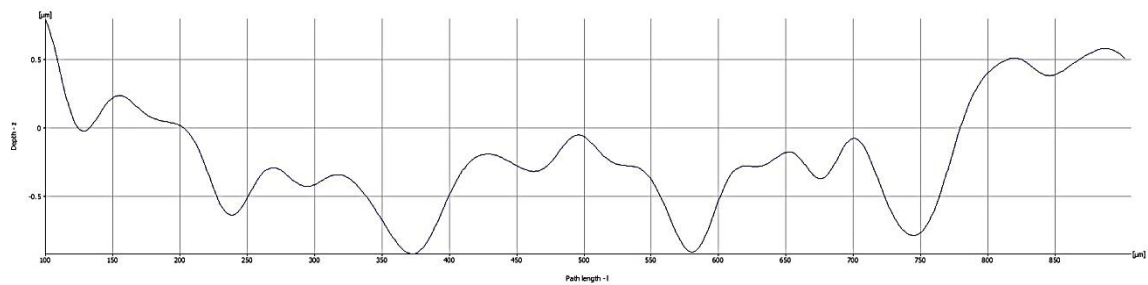
Ra 389.1830 nm
Rq 522.1774 nm
Rt 3.7549 μm
Rz 2.3736 μm
Rmax 3.7549 μm
Rp 2.2161 μm
Rv 1.5389 μm
Rc 1.5052 μm
Rsm 43.6128 μm
Rsk 0.4360
Rku 4.7956
Rdq 0.1165
Rt/Rz 1.5819
l 1.0014 mm
Lc 80.0000 μm



Obr. 56 - Primární graf pro měření drsnosti povrchu na hřbetní ploše na válci nástroje



Obr. 57 - Graf drsnosti povrchu naměřené hřbetní plochy na válci nástroje



Obr. 58 - Graf vlnitosti povrchu naměřené hřbetní plochy na válci nástroje

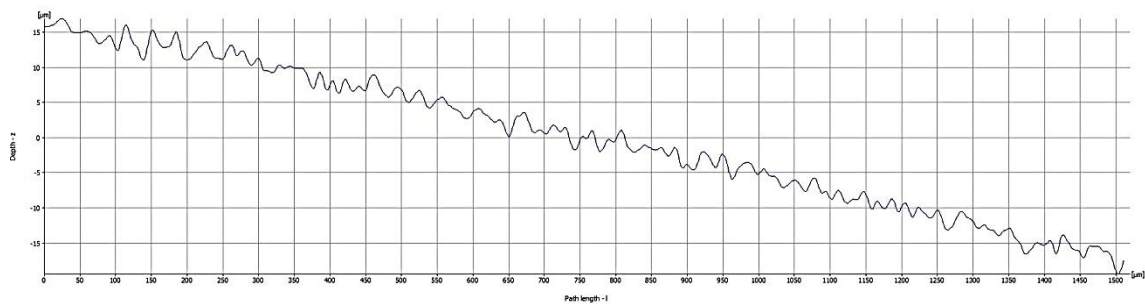
PŘÍLOHA P II: NAMĚŘENÉ HODNOTY DRSNOSTI POVRCHU NA HŘBETNÍ PLOŠE NA ČELE NÁSTROJE

Statistics:

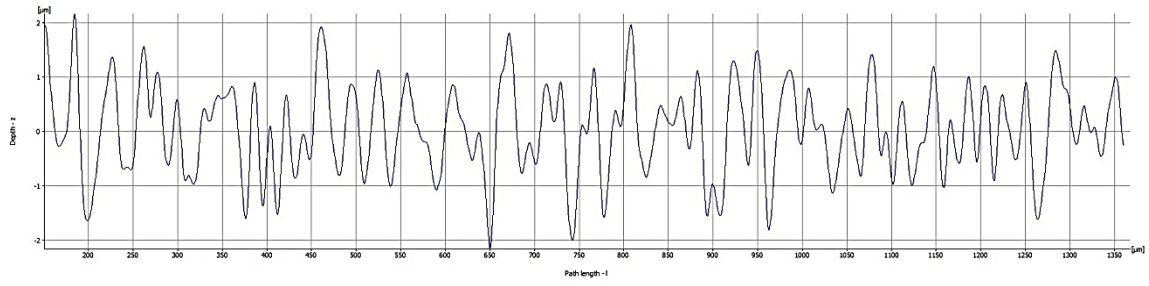
Elements 1640
Classes 217
Mean Value 0.0357 μm
Standard Deviation 0.8046 μm

Parameters:

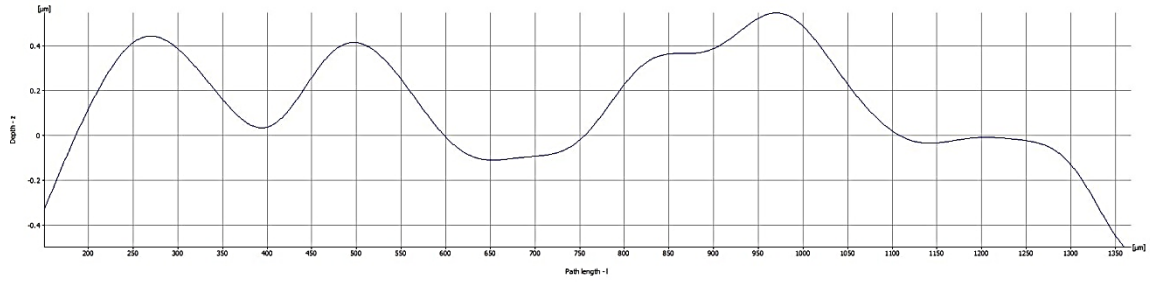
Ra 652.1890 nm
Rq 805.1675 nm
Rt 4.3281 μm
Rz 3.5562 μm
Rmax 4.1240 μm
Rp 2.1590 μm
Rv 2.1691 μm
Rc 2.2530 μm
Rsm 39.2330 μm
Rsk 0.0655
Rku 2.6618
Rdq 0.1613
Rt/Rz 1.2171
l 1.5105 mm
Lc 250.0000 μm



Obr. 59 - Primární graf pro měření drsnosti povrchu na hřbetní ploše na čele nástroje



Obr. 60 - Graf drsnosti povrchu naměřené hřbetní plochy na čele nástroje



Obr. 61 - Graf vlnitosti povrchu naměřené hřbetní plochy na čele nástroje

PŘÍLOHA P III: DOPORUČENÉ ŘEZNÉ PODMÍNKY VYROBENÉ FRÉZY

FRÉZY VÁLCOVÉ ŘEZNÉ PODMÍNKY

tabulka č. 1

1. krok – stanovení v_c a f_z dle obráběného materiálu

skupiny materiálů	pevnost/ tvrdost	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Posuv na zub f_z [mm]	Posuv na zub f_z [mm]						
				\emptyset 2÷3	\emptyset 4÷6	\emptyset 8÷10	\emptyset 12÷16	\emptyset 18÷20	\emptyset 22÷25	
OCELI A LITINY	Automatové oceli, všeobecné konstrukční oceli	≤600 N/mm ²	200	0,007 × d_1	0,018	0,04	0,06	0,10	0,13	0,16
	Automatové oceli, všeobecné konstrukční oceli, nelegované lité oceli, nízkolegované lité oceli	≤850 N/mm ²	180	0,007 × d_1	0,018	0,04	0,06	0,10	0,13	0,16
	Houževnaté konstrukční oceli, žáruvzdorné konstrukční oceli, vysokolegované konstrukční oceli	≤1100 N/mm ²	110	0,005 × d_1	0,013	0,03	0,05	0,07	0,10	0,12
	Cementační oceli, nitridační oceli, oceli k zušlechťování, nástrojové oceli pro práci za studena	≤900 N/mm ²	120	0,006 × d_1	0,015	0,03	0,05	0,08	0,11	0,14
	Nitridační oceli, oceli k zušlechťování, nástrojové oceli pro práci za tepla, rychlořezné oceli	≤1100 N/mm ²	100	0,005 × d_1	0,013	0,03	0,05	0,07	0,10	0,12
	Nitridační oceli, oceli k zušlechťování, nástrojové oceli pro práci za tepla	>1100 N/mm ²	90	0,0025 × d_1	0,006	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06
	Temperovaná litina, šedá litina	≤240 HB	180	0,009 × d_1	0,023	0,05	0,08	0,13	0,17	0,21
	Šedá litina, tvárná litina	>240 HB	150	0,007 × d_1	0,018	0,04	0,06	0,10	0,13	0,16
KOROZIVZDORNÉ OCELI A ŽÁRUVZDORNÉ OCELI A SLITINY	Korozivzdorné oceli, žáruvzdorné oceli	≤850 N/mm ²	90	0,0025 × d_1	0,006	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06
	Žáruvzdorné Cr-Ni slitiny	≤850 N/mm ²	60	0,0025 × d_1	0,006	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06
	Žáruvzdorné Cr-Ni slitiny	≤1200 N/mm ²	45	0,0025 × d_1	0,006	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06
	Žáruvzdorné Cr-Ni slitiny (Nimonic, Inconel)	≤1200 N/mm ²	30	0,0025 × d_1	0,006	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06
TITAN	Titan a titanové slitiny	≤850 N/mm ²	80	0,003 × d_1	0,008	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07
	Titanové slitiny, titanové slitiny tvrzené	≤1200 N/mm ²	50	0,003 × d_1	0,008	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07

2. krok – stanovení koeficientů snižujících v_c a f_z dle způsobu obrábění

A) Koeficient snížení řezné rychlosti – f_{1vc}

DŮVOD:

Eliminace vzniku tepla při obrábění s vyššími šířkami řezu.

PRAVIDLO:

Při vyšších šířkách řezu a_e kontrolujeme chlazení. Pokud nejsme schopni účinně chlázit, snižme řeznou rychlost koeficientem z následující tabulky.

schéma obrábění



tabulka č. 2



a_e (% d_1) =	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	100 %
f_{1vc}	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,61

B) Koeficient snížení posuvu – f_{1tz}

DŮVOD:

Eliminace zatížení nástroje silami, vznikajících při velkých úběrech materiálu.

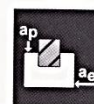
PRAVIDLO:

Při vyšších šířkách a výškách řezu, snižujeme posuv v_f koeficientem z následující tabulky.

schéma obrábění



tabulka č. 3



f_{1tz}	a_e (% d_1)						
	0,1 × d_1	0,2 × d_1	0,3 × d_1	0,4 × d_1	0,5 × d_1	0,6 × d_1	1,0 × d_1
0,5 × d_1	1,0	1,00	1,00	1,00	0,95	0,9	0,80
1,0 × d_1	1,0	1,00	0,95	0,90	0,85	0,8	0,65
1,5 × d_1	1,0	0,92	0,84	0,76	0,68	0,6	0,46
2,0 × d_1	0,9	0,82	0,74	0,66	0,58	0,5	0,30

Obr. 62 - Doporučené řezné podmínky [12]