Hodnocení výrobní přesnosti CNC strojů

Martin Nedoma

Bakalářská práce
2005

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Vložit oficiální zadání bakalářské práce

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 06. 06. 2005 .....

podpis

ABSTRAKT

Abstrakt česky

Tato bakalářská práce je zaměřena na oblast číslicově řízených strojů, zejména na zjišťování přesnosti CNC fréz pomocí zkušebního vzorku. Podle přesnosti výroby tohoto vzorku na jednotlivých strojích a z různých materiálů budeme moci stanovit přesnost těchto strojů. Tato práce také obsahuje základní informace o číslicově řízených strojích, jejich vývoji, ovládání a také základní informace o programování CNC strojů.

Abstrakt ve světovém jazyce

This work is dealing with a computer-aided manufacturing, namely about precision CNC milling machines. This precision is ascertained with a help of an experimental part. According with precision of this part, we can assess the precision of the CNC milling machines. This work contents basic information about the computer-aided manufacturing and CNC machines, about their control and also basic information about programs for their control.

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce Ing. Lukáši Seďovi, za odborné vedení práce, poskytování rad a materiálových podkladů k práci.

OBSAH

1 TEORETICKÁ ČÁST 8
1.1 Úvod 8
1.1.1 Vývojové stupně číslicově řízených strojů 9
1.1.2 Rozdělení číslicově řízených obráběcích strojů 9
1.1.3 Výhody a přednosti číslicově řízených strojů 10
1.1.4 Základní pojmy číslicového ovládání 10
1.2 Technologická příprava výroby 11
1.2.1 Etapy technologické přípravy výrobku 12
1.2.2 Simulace obrábění 13
1.3 Programování CNC strojů 14
1.3.1 Souřadné systémy 14
1.3.2 Vztažné body 14
1.3.3 Stavba CNC programu 15
1.3.4 Základní rozdělení programování 16
1.3.5 Struktura věty 16
1.4 Ovládání CNC stroje 17
1.4.1 Vstupní informace systému 17
1.4.2 Základní pracovní režimy CNC stroje 18
1.4.3 Funkce pro programování CNC stroje 19
1.4.4 Upínání obrobku 20
1.5 ŘEZNÉ NÁSTROJE PRO NC OBRÁBĚNÍ STROJE 20
1.5.1 Materiály nástrojů 21
1.5.2 Upínání nástrojů 22
1.5.3 Korekce nástroje 23
1.6 Přesnost CNC strojů 23
1.6.1 Kontrola přesnosti CNC obráběcího centra 26
1.6.2 Stanovení cílů pro praktickou část bakalářské práce. 30

2 PRAKTICKÁ ČÁST 31
2.1 Technické parametry měřených frézek 31
2.1.1 Vertikální a horizontální frézka FC 16 CNC 31
2.1.2 Frézka HWT C-442 CNC Profi 32
2.2 Použitý software 33
2.2.1 Autodesk Inventor 33
2.2.2 Surfcam 33
2.3 Postup výroby 33
2.3.1 Popis vzorku 34
2.4 Postup měření 35
2.4.1 Použité měřící přístroje 36

2.4.2 Naměřené hodnoty ... 36
2.4.3 Měření drsnosti povrchu ... 45
2.4.4 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu ... 47
2.4.5 Diskuse výsledků ... 51

3 ZÁVĚR ... 53

4 LITERATURA ... 55
4.1 Seznam použité literatury ... 55
4.2 Seznam pramenů ... 55
4.3 Seznam příloh ... 55

5 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK ... 56

6 SEZNAM OBRÁZKŮ ... 57

7 SEZNAM TABULEK ... 58

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Úvod

V průběhu dvacátého století došlo k masivní náhradě lidské práce prací strojů. Na počátku padesátých let byly v Americe vyvinuty první NC stroje. Od roku 1966 začali postupně všichni světoví výrobci přecházet na systémy třetí generace CNC systémy.

Dlouhodobým směrem rozvoje se stala automatizace výrobního procesu ve všech výrobních odvětvích, tedy i ve strojírenství. Automatizace sebou přináší řadu výhod, zejména zvyšování produktivity práce, která je samozřejmě spojena se snižováním nákladů.

Číslicovým řízením strojů rozumíme činnost počítače pro řízení fyzikálních veličin. Číslicově řízené stroje jsou stroje s vysokým stupněm automatizace pružně přizpůsobitelné změnám výroby. Data potřebná pro řízení stroje jsou předem připravena ve formě řídícího programu a zaznamenána na nositeli informací, nebo uložena přímo v počítači. Tyto stroje jsou dnes nosným prvkem pružné automatizace obráběcích procesů v středně a malosériové výrobě. Číslicově řízené stroje se prosazují téměř ve všech oblastech strojírenské výroby a jejich podíl dále poroste, tak jak roste tlak na snižování nákladů ve výrobě. Číslicové stroje se uplatňují při obrábění, tváření, měření, manipulační technice, svařování, montáži a dalších oblastech strojírenské výroby. Z tohoto neúplného výčtu patří mezi nejvýznamnější oblast právě oblast obrábění.

Dnes se vývojem a výrobou řídících CNC-systémů zabývá celá řada firem. Mezi nejznámější patří Siemens, Bosch, AEG, Gildemeister, Philips, IBM, Grundig a další.Technické parametry těchto strojů se neustále zlepšují a dosahují dříve nevídaných parametrů.

1.1.1 Vývojové stupně číslicově řízených strojů

V minulosti lze rozeznat a charakterizovat určité etapy vývoje, které můžeme označit za vývojové stupně, nebo vývojové generace. V podstatě lze vývoj NC strojů rozčlenit do čtyř vývojových stupňů.

NC stroje 1. generace

Jde o stroje s nejjednodušší koncepcí, která je založena na konstrukci konvenčních strojů. Tyto stroje jsou upraveny a je k nim přiřazen číslicově řídící systém. Tato generace umožňovala řízení v pravoúhlých cyklech a dnes již nevyhovují s ohledem na přesnost výroby, spolehlivosti a technologických možností.

NC stroje 2. generace

Tato generace strojů je již přizpůsobena požadavkům číslicového řízení. Jsou vybaveny servosystémy a revolverovými hlavami nástrojů. To umožňuje řízení v obecných cyklech za použití více nástrojů.

NC stroje 3. generace

Konstrukce těchto strojů bývá podřízena použití ve výrobních soustavách. U těchto strojů jsou řízeny funkce od vstupů výrobků a výrobních pomůcek až po jejich výstup z výrobní soustavy. jednotlivé operace jsou rozděleny mezi technologická pracoviště.

NC stroje 4. generace

Vyznačují se vlastní realizací vědeckých poznatků. Jde zejména o typy strojů u kterých se zavádějí progresivnější metody v konstrukci a využití, například využití laserových paprsků zejména v měření .

1.1.2 Rozdělení číslicově řízených obráběcích strojů

Číslicově řízené stroje lze rozdělit podle počtu operací, které jsou schopné provádět při jednom upnutí obrobku. První skupinou jsou stroje *jednoprofesní.* Ty mohou na

obrobku vykonat při jednom upnutí pouze jeden druh operace. Do této skupiny patří číslicově ovládané soustruhy, frézky, vrtačky atd.

Další skupinou číslicově řízených strojů jsou stroje *víceprofesní.* Tyto stroj slouží pro více druhů operací na obrobku při jednom upnutí. Nazývají se obráběcí centra a podle tvaru součásti je lze rozdělit na:

- Obráběcí centra pro výrobu rotačních obrobků
- Obráběcí centra pro výrobu skříňových obrobků
- Obráběcí centra umožňující výrobu rotačních i nerotačních obrobků

1.1.3 Výhody a přednosti číslicově řízených strojů

Mezi hlavní výhody číslicově řízených strojů patří zvyšování kvality výrobků , ale také zvyšování produktivity práce a hospodárnosti výroby. výrobní čas je předem přesně stanoven a není závislý na obsluze stroje. Použitím číslicově řízených strojů také odpadají chyby způsobené nepozorností, nebo únavou pracovníků. mezi další výhody patří zmenšující se požadavky na kvalifikaci obsluhy, ale zároveň rostou požadavky na kvalifikaci pracovníků zabezpečujících výrobu, servis, údržbu a seřizování stroje. Číslicově řízené stroje také umožňují výrobu součástí, jejichž tvar je zadám matematickou funkcí a dovolují rychlé zavedení nových typů strojů do výroby. Lze také velmi rychle měnit výrobní programy. U těchto strojů také odpadá výroba, skladování, údržba a obsluha různých rýsovacích, vrtacích a jiných přípravků. Lze také zmenšit sklady náhradních dílů, protože požadovaná součást lze velmi rychle vyrobit pomocí programu uloženém na paměťovém médiu.

1.1.4 Základní pojmy číslicového ovládání

AC (Adaptive control)

Jde o řídící systém, který upravuje odezvy podle podmínek zjištěných během práce.

CAD (Computer-aided design)

Jde o programy používané při navrhování nástrojových, architektonických a vědeckých modelů. Různé programy CAD umožňují vytvářet dvou až třírozměrné objekty

od „koster“ objektů složených z čar přes stínované modely až po kutečné zobrazení objektů.

CAM (Computer aided manufacturing)

Jde o aplikaci počítačů v automatizaci ve výrobě, technologické přípravě výroby a kontrole za pomocí robotů a automatizovaných linek.

CAD/CAM

Jde o sloučení obou předchozích pojmů. Spočívá v tom, že součást navržená v programu CAD a konečný tvar se přeloží do soustavy instrukcí. Ty je možné použít jako řídící program při výrobě této součásti na číslicově řízeném stroji.

CNC (Computer numerical control)

Je to systém, jehož počítač s programem je určený k provádění základních funkcí číslicového řízení.

NC (Numerical control)

Jde o číslicově ovládaný obráběcí stroj u něhož je průběh pracovního procesu řízen číslicově vyjádřenými informacemi o dráze, smyslu a směru pohybu pracovního nástroje, řezných podmínkách a dalších pomocných funkcích.

Systém DNC (Direct numerical control)

Jde o systém přímého řízení skupiny NC strojů v reálném čase. Hlavním úkolem DNC je uchovávat v paměti programy pro jednotlivé NC stroje a ve vhodnou dobu jim je předávat.

1.2 Technologická příprava výroby

Technologický postup výroby na číslicově řízeném stroji musí být již od úvodních operací důsledně promyšlen. Správně stanovená technologie je základním předpokladem hospodárného využití strojů.

1.2.1 Etapy technologické přípravy výrobku

Zařazení výrobku do součástkové základny:

O výběru součástí vhodných pro obrábění na číslicově řízených strojích rozhodne technolog po posouzení tvaru součásti, požadované přesnosti a požadavků na doplňkové konvenční obrábění. Technolog také zvolí vhodný obráběcí stroj. Hlavním ukazatelem na převedení daného obrobku do součástkové základny musí být ekonomická výhodnost.

Vypracování technologického postupu:

Technolog vypracuje návrh technologického postupu, který obsahuje základní přípravné operace, hlavní operace prováděné na CMC strojích a dokončovací práce. Ve spolupráci s programátorem je potřeba stanovit základní technologické plochy pro upnutí obrobku a navrhnout speciální řezné nástroje. Po vypracování tohoto technologického postupu pro potřeby programátora a seřizovače jej doplní schematickou sestavou upnutí obrobku. Konstrukci speciálních upínačů a nástrojů navrhuje technická příprava výroby.

Vypracování řídícího programu:

Práce programátora při ručním sestavování programu pro CNC stroj se skládá obecně z následujících činností:

a) určení způsobu upnutí – Je potřeba zajistit požadavek pevného a bezpečného držení obrobku i při maximální síle vyskytující se v průběhu obrábění a zároveň minimální deformaci obrobku. Upnutí také nesmí bránit v přístupu nástrojů k obráběným plochám. Rovněž nesmí bránit přístupu pomocným operacím, jako je měření, chlazení, odstraňování třísek atd.
b) vypracování technologického postupu pro obrábění na CNC stroji.
c) provedení náčrtu součásti pro účely programování. Výchozím podkladem je výrobní výkres součásti. Náčrt je situován takovým způsobem, jakým je provedeno upnutí součásti na stroji. Dále vyznačí dorazové plochy , souřadnice výchozího bodu, konečného bodu i všech ostatních důležitých bodů
d) sestavení nástrojového listu. Jsou v něm uvedeny tyto údaje:
    - druh nástroje, obsazení nástrojů v zásobnících, automatické výměny nástrojů, nebo ruční výměny
    - specifikace nástroje a druh držáku z knihovny nástrojů

- korekce nástroje a stručný popis práce, pro níž je korekce určená
- určení řezných podmínek
- schematický náčrt spec. nástrojů
- poznámky nutné pro obrábění součásti

e) sestavení souřadnicového listu – slouží k snazší orientaci a kontrole při sestavování bloků programu

f) zápis do programového listu – jde o převedení všech údajů do číselné formy a definování každého úseku obrábění samostatným blokem. Je nutné určit velikosti drah nástrojů, souřadnice konečných bodů, místo výměny nástroje a veškeré technologické informace

g) ověření řídícího programu na stroji – zhotovený program se ověřuje na stroji za přítomnosti programátora a obsluhy stroje. Spolu s programem se ověřuje vhodnost nástrojů, řezné podmínky a upnutí obrobku. Po ověření a opravách programátor zhotoví konečné provedení originálu řídícího programu a dokumentace a zajistí archivaci

1.2.2 Simulace obrábění

V současnosti máme k dispozici graficko-simulační NC programovací systémy umožňující už v průběhu přípravy NC programu odhalit zdroje možných kolizí v pracovním prostoru obráběcího stroje, a tak předejít škodám způsobených havárií nástroje, nebo poškození obrobku. Při simulaci klademe zejména důraz na sledování kolizí v co nejpřesnějším modelu obráběcího stroje. Dále je možno kontrolovat geometrii hotového „výrobku“ měřením počítačově obrobených ploch s možností kontroly rozměrů, tvarů a teoretické drsnosti.

Význam těchto simulačních prostředků značně narůstá při testování NC strojů pro vícesuportové, vícevřetenové a víceosé CNC obráběcí stroje, u kterých jsou nároky na prostorovou představivost a znalost interakcí pracovních prvků stroje podstatně vyšší než při programování klasických CNC strojů.

1.3 Programování CNC strojů

1.3.1 Souřadné systémy

Pohyby uzlů stroje se určují v soustavě pravoúhlých souřadnic pravotočivých. Osy souřadného systému jsou rovnoběžné s hlavními vodícími plochami stroje. Souřadnice jsou vztaženy k obrobku tak, že kladný smysl pohybu v určité ose je směr narůstání obrobku. Osa **Z** je vždy rovnoběžná s osou hlavního vřetena. Osa **X** je kolmá na osu Z a rovnoběžná s povrchem upínací plochy stolu. Osa **Y** doplňuje osy X a Z.
Poloha počátku souřadného systému je libovolná a definuje se v rámci řídícího programu.

1.3.2 Vztažné body

Aby bylo možno určit polohu obrobku a polohu nástroje v souřadné soustavě stroje jsou v pracovním prostoru stroje definovány příslušné body. V závislosti na poloze bodů je potom určována a kontrolována poloha nástroje.

Referenční bod

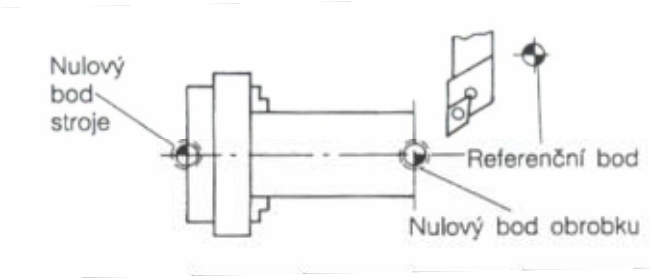
Tento bod je pevně stanoven v systému stroje. Poloha tohoto bodu cejchuje systém odměřování dráhy.

Nulový bod stroje

Je určen výrobcem při konstrukci stroje. tento bod je počátkem souřadnicového systému stroje. Uživatel nemůže tento bod změnit, ale může jej podle potřeby posunout na jím zvolené polohy.

Nulový bod obrobku

Je pomocným bodem programátora. Programátor si tento bod zvolí jako nejvýhodnější místo na obrobku a od tohoto místa počítá tvar součásti.



Obr.1: Vztažné body obráběcího stroje

1.3.3 Stavba CNC programu

Řídící program v sobě obsahuje informace, které popisují činnost stroje, vyjádřené číslicově. Je zachována jednoduchá stavba slov a použití omezeného počtu znaků. Struktura NC programu je tvořena jednotlivými skupinami řídících bloků a jejich obsah je závislý na konkrétním řídícím systému a NC obráběcím stroji. Určuje ji mezinárodní norma ISO 1058.

Členění programu:

1) Začátek programu
2) Standardní věty pro daný řídící systém a obráběcí stroj, jako je volba nulového bodu obrobku, volba pracovní roviny
3) Věty pro opracování dané součásti
    - technologické věty – naprogramování nástrojů, otáček, posuvů atd.
    - geometrické věty – souřadnice popisující dráhu nástroje v jednotlivých řízených osách
    - smíšené věty
    - cykly – hrubovací, závitovaní, pro vrtání hlubokých otvorů, pro frézování kapes, různých tvarů apod. Tyto cykly usnadňují programování a zkracují NC programy
4) Podprogramy. Mají stejnou strukturu jako program hlavní. mohou být vyvolány příslušnou adresou hlavním programem, nebo jiným podprogramem. Využívají se například pro opakované technologické rutiny.

Program obsahuje:

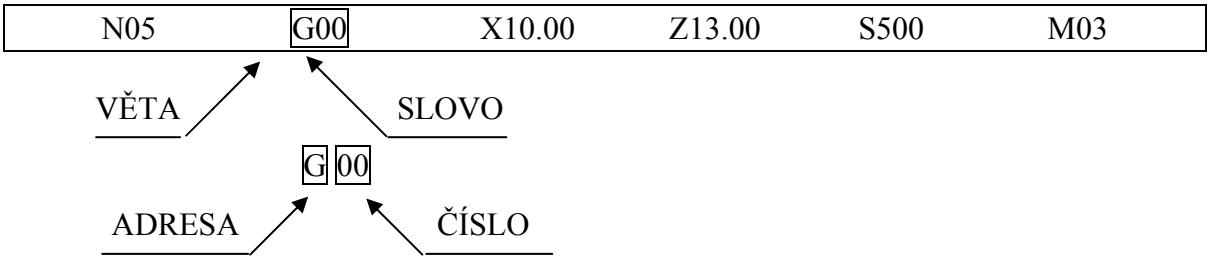
a) **technologické informace** – zabývají se technologií obrábění tj. volbou optimálních řezných podmínek.
b) **geometrické informace** – určují tvar součásti

c) **pomocné a přípravné informace** – zahrnují všechny ostatní informace potřebné pro vlastní výrobu součásti na CNC stroji.

1.3.4 Základní rozdělení programování

Programování lze rozdělit podle způsobu na programování ruční a programování strojní. dále se programování dělí podle způsobu vyjadřování souřadnic a to na *řídící systémy s absolutním programováním*, kdy jsou všechny programované souřadnice bodů dráhy nástroje vztaženy k předem zvolenému počátku souřadného systému, zatímco u *řídících systémů s přírůstkovým (inkrementálním) programováním* se všechny souřadnice programovaných bodů udávají vzhledem k předchozímu bodu, to znamená že každý předchozí bod je považován za výchozí bod. Programuje se po přírůstku – inkrementu. U většiny číslicově řízených strojů lze zvolit mezi těmito způsoby programování podle vhodnosti pro daný výrobek.

1.3.5 Struktura věty



Každý program pro CNC stroj se skládá z vět (jinak nazývaných blok). Tyto věty se skládají ze slov. Každé slovo obsahuje jeden příkaz a má adresový znak, který jej přiřazuje ke skupině příkazů.

Velikost bloku je udaná takzvaným formátem bloku. podle něj se dělí bloky na dva typy:

a) Formát s konstantní délkou bloku
b) Formát proměnnou délkou bloku

Rozdíl mezi nimi spočívá v tom, že u formátu s pevnou délkou bloku má každé slovo stanovenou přesnou polohu, i když se funkce nevyskytuje, nebo se opakuje, zatímco

u formátu s proměnnou délkou bloku lze vynechat slova, která se nevyskytují, nebo nemění.

Podle významu slov je lze rozlišit na slova rozměrová a bezrozměrová. Rozměrové slovo vyjadřuje sled adresného znaku, jednoho znaménka a určitého počtu číslic. Číslice mohou mít význam například požadované polohy, nebo jím mohou být zadány další parametry jako například řezná rychlost.

Bezrozměrová slova lze řadit podle významu do skupin, které se nazývají funkce. můžeme rozeznat tři základní skupiny:

a) **Přípravné funkce** – číselný údaj bývá dvoumístný a sděluje řízení za jakých podmínek bude provádět relativní pohyb nástroje a obrobku. Mezi tyto funkce patří například funkce: G 00 - rychloposuv, G 90 – absolutní programování …
b) **Pomocné funkce** – číselný údaj bývá dvoumístný. Tyto funkce bývají specifické pro každý stroj a vyjadřují převážně technologické informace. patří mezi ně například: M 02 – konec programu, M 03 – otáčení vřetene vpravo …
c) **Ostatní technologické funkce** – Jde například o nastavení rychlosti posuvu, nebo nastavení otáček vřetene …

Některé důležité funkce budou dále uvedeny v tabulce.

1.4 Ovládání CNC stroje

Ke spojení mezi obsluhou a systémem CNC slouží ovládací panel systému. ten má umožnit snadné a přehledné ovládání systému a předávání zpráv řídícího systému obsluhujícímu pracovníkovi. Ovládací panely se liší podle typu stroje, přesto musí všechny obsahovat několik základních částí. Jde zejména o monitor, klávesnici a ostatní ovládací prvky, dále signalizační prvky a vstupy a výstupy systému.

1.4.1 Vstupní informace systému

Řídící programy lze zadávat přímo, nebo prostřednictvím nosičů informací. Jak se stroje vyvíjely vystřídala se celá řada těchto nosičů. Dnes už mezi překonané nosiče patří děrné štítky a děrné pásky. Ty byly vystřídány magnetickými páskami a dnes jako hlavní

nosiče informací slouží diskety a CD disky, nebo je možné požadovaný program poslat na požadovaný stroj přes počítačovou síť.

1.4.2 Základní pracovní režimy CNC stroje

a) **Automatický režim** – vykonává postupně bloky programu dílce a provádí všechny operace, které jsou na daném stroji automatizovány.
b) **Ruční režim** – obsahuje několik dalších režimů a umožňuje například spuštění a zastavení otáček vřetena, pohyb do referenčního bodu, nebo trvalý pohyb po dobu držení příslušného tlačítka.
c) **Editační režim** – umožňuje načtení, nebo uložení programu, dále ruční zadávání, opravy, změny a doplňky
d) **Modifikovaný automatický režim** – umožňuje zastavení po příkazu M 01, vypuštění označených bloků
e) **poloautomatický režim** – po každém odstartování je vykonán vždy jen jeden blok programu
f) **Testovací režim** – Zrychleným pohybem je vykonán program dílce zpravidla s vypnutými otáčkami vřetena a bez upnutého dílce
g) **Ruční předvolba** – příkazy jednotlivých bloků je možné ručně zadávat, zadané bloky vykonat, nebo uložit
h) **Centrální anulace** - zruší všechny rozpracované operace a uvede systém se strojem do klidového stavu
i) **Servisní a diagnostický režim** – dovolují zkontrolovat neporušenost systému,nebo lokalizovat vzniklou závadu

1.4.3 Funkce pro programování CNC stroje

Tab.1. Specifikace některých základních funkcí pro programování CNC strojů

Funkce	Rozměr funkce	Text
G00	X, Z	Rychloposuv
G01	X, Z, F	Lineární interpolace
G02	X, Z, R, F	Kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G03	X, Z, R, F	Kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
G04	T	Časová prodleva
G21		Prázdný blok, zrušení daného bloku
G24		Poloměrová programování
G25	L	Skok do podprogramu
G26	L, J	Programový cyklus
G27	L	Programový skok
G29		Textová poznámka
G33	Z, K	Řezání závitu K= stoupání
G64-G85		Pevné cykly
G64	X, Z, H, F	Podélné hrubování
G66	X, Z, H, F	Zapichovací cyklus
G68	X ,Z, H, F	Čelní hrubování
G73	Z, H, F	Vrtání s přerušením
G78	X, Z, H, K	Řezání závitu
G79	X, Z, H, K	Řezání metrického závitu se šikmým přísunem
G81	Z, F	Vrtání
G83	Z, H, F	Vrtání s výplachem
G85	Z, F	Vystružování
G90		Absolutní programování
G91		Inkrementální programování
G92	X, Z	Nastavení hodnot souřadnic X, Z
G94		Posuv za minutu
G95		Posuv na otáčku
G96		Konstantní řezná rychlost, ruší se příkazy M3, M4,
		M5, G92, G98
G98	X, Z	Nájezd do referenčního bodu
M0		Programový stop
M3	S	Start otáček ve směru hodinových ručiček
M4	S	Start otáček proti směru hodinových ručiček
M5		Stop otáček
M6	X, Y, T	Výměna nástroje
M17		Návrat z podprogramu
M30		Konec programu
M99	F	Definice rychlosti posuvu

Tab. 2. Parametry funkcí pro CNC programování

X	Souřadnice x
Y	Souřadnice y
Z	Souřadnice z
R	Poloměr kruhového oblouku
F	Rychlost posuvu
L	Adresa skoku
J	Počet opakování cyklu
T	Číslo nástroje
H	Hloubka třísky
K	Stoupání závitu
S	Otáčky vřetena

1.4.4 Upínání obrobku

Upnutí obrobku musí zajistit pro každou obráběnou součást stejnou polohu , dostatečnou pevnost tak, aby zároveň nedocházelo k nežádoucím deformacím obrobků. Obrobek musí být upnut tak, aby umožňoval přístup nástrojům a jeho poloha vyhovovala i z hlediska programování. U CNC strojů se používá obdobných upínacích pomůcek, jako u konvenčních strojů. U CNC soustruhů se obrobek nejčastěji upíná do vřetene, u CNC frézovacích strojů se ožívá několik způsobů upnutí obrobku. Nejjednodušší je upnutí pomocí mechanických prostředků, například stolního svěráku, nebo pomocí upínacích opěrek. Větší obrobky je nutné upínat přímo na stůl. Dále se užívá takzvaných technologických palet, které mají svou přesně vymezenou polohu vůči stroji. Obrobky je také možno upnout pomocí stavebnicových upínacích přípravků, nebo pomocí pneumatických a hydraulických upínacích přípravků.

1.5 ŘEZNÉ NÁSTROJE PRO NC OBRÁBĚNÍ STROJE

Řezné nástroje významně ovlivňují dosahované kvalitativní parametry obrobených součástí a ekonomii řezného procesu. Proto je nutné vytvořit nástrojové vybavení, které odpovídá svou úrovní požadavkům NC stroje.

Požadavky na řezné nástroje zahrnují snadnou, rychlou a bezpečnou vyměnitelnost, dále také dostatečnou tuhost nástroje. Upnutí nástroje musí probíhat pomocí jednotných držáků, jejichž upnutí musí být také jednoduché, bezpečné a přesné. V neposlední řadě je vhodné omezit na co nejnižší míru potřebu speciálních nástrojů.

Tyto podmínky nejlépe splňují nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami. Jsou vysoce produktivní a umožňují použití vysokých řezných rychlostí. jsou vyrobeny ze slinutých karbidů, oxidové keramiky, nebo nitridů.

1.5.1 Materiály nástrojů

Používají se *nástrojové oceli* , což jsou oceli třídy 19. Ve třídách 19 0XX, 19 1XX a 19 2XX jsou zařazeny uhlíkové oceli, třídou 19 3XX začínají legované oceli a se vzrůstajícím číslem (až do 9) vzrůstá stupeň legování jak počtem prvků tak i jejich obsahem.

Pro menší řezné rychlosti a nástroje, jimiž se oddělují pouze malé rozměry třísek se používají nástrojové oceli uhlíkové, nebo s nižšími obsahy legujících prvků. Pro vysoké řezné rychlosti a velké průměry třísek (výkonnostní obrábění) je třeba ocelí s vysokým obsahem legujících prvků, které mají v nástrojových ocelích dvojí význam. Karbidotvorné prvky (např. Cr, W, V, Mo)vytvářejí zčásti ve struktuře zpravidla komplexní karbidy, které jsou velmi tvrdé a zlepšují řezivost. Zbývající podíl těchto prvků je součástí tuhého roztoku základní struktury ocelí zvaný matrice, v níž zlepšují kalitelnost a odolnost proti popouštění.Pro náročnější obrábění a tváření se používají rychlořezné oceli, které mají kolem 1 % uhlíkua jsou legovány Cr, W, V, Mo, Co. Chrom zajišťuje dobrou kalitelnost, ostatní prvky stálost ostří při vyšších teplotách.

Další skupinou materiálů pro výrobu nástrojů jsou *slinuté karbidy*. Používají se pro břitové destičky nástrojů pro obrábění a také pro nejnamáhanější části tvářecích nástrojů (průvlaky, pěchovací nástroje, ...).

Hlavní strukturní složkou slinutých karbidů je velmi stálý karbid wolframu a titanu o tvrdosti 2000 až 3200 HV. Spojení částic karbidu je zprostředkováno přísadou kobaltu, který při slinování vytváří kapalnou fázi . Tím zanikají póry a vzniká kompaktní struktura. Slinuté karbidy nelze tepelně zpracovávat jako oceli a není možné je tvářet za studena ani za tepla. Obrábění je možné jenom broušením a elektroerozivními způsoby. Brousí se

kotouči z karbidu křemíku, kubického nitridu bóru a k dokončení přesných tvarů a vyleštění povrchu slouží diamantové brusivo.

Základní řadu vyráběných slinutých karbidů představují typy G a H obsahující pouze karbid wolframu a kobalt. se zvyšováním obsahu kobaltu vzrůstá pevnost v ohybu a klesá tvrdost.Tyto karbidy se používají pro obrábění materiálů s nižší tvrdostí. Karbidy typu WC – TiC – Co tvoří řadu S a Fa jsou určeny pro obrábění oceli.Dále se vyrábějí karbidy typu U které navíc obsahují karbid chromu. Používají se na součásti strojů vystavených otěru při vysokých teplotách.

1.5.2 Upínání nástrojů

Při soustružení je třeba upínat nástroje pro obrábění vnějších ploch a nástroje pro obrábění otvoru. k jejich upínání slouží různé nožové držáky, vrtačková sklíčidla, redukční pouzdra a podobně. Nástroje lze upínat přímo do drážek revolverových hlav, nebo do nástrojových držáků.

U obráběcích strojů se prosadily systémy automatické výměny nástrojů, které mají za úkol, během pracovního procesu, měnit, upínat a správně nastavovat nástroje. Základní rozdělení je možné podle druhu použitého zásobníku.

Systémy se zásobníky, které přenášejí řezné síly

Jde nejčastěji o otočné (revolverové) nástrojové hlavy, kde jsou nástroje pevně upnuty v hlavě a konají pouze vedlejší pohyby, hlavní řezný pohyb koná obrobek. Tento systém se používá u NC soustruhů. Výhodou je jednoduchá konstrukce, snadná obsluha , velmi krátký čas potřebný na výměnu nástroje a menší náklady. Naopak mezi nevýhody patří omezený počet nástrojů a větší zatížení suportu, nebo vřeteníku.Další možností je použití nožové hlavy.

Systémy automatické výměny nástrojů s výměnou celých vřeten nebo vřeteníku

Tento systém se používá nejčastěji u číslicově řízených frézovacích strojů. Jejich rozdělení je možné podle kapacity zásobníku. maloobjemové zásobníky mají kapacitu 10 – 40 nástrojových míst. umísťují se nejčastěji na vřeteníku nebo základním stojanu stroje.

Mohou být bubnové, kotoučové atd... velkoobjemové zásobníky mají více než 40 nástrojových míst. Nejčastěji bývají řazené jako bubnové, kotoučové, nebo řetězové. Vzhledem k velké hmotnosti a rozměrům jsou zásobníky umístěny mimo stroj na zvláštním stojanu

Všechny tyto systémy mají řadu předností ale i nevýhod. Zejména dosažení velmi krátkých časů výměny a možnost skladování velkého množství nástrojů. Možnost výměny opotřebovaného nástroje, nebo jejich doplňování během automatického cyklu a snadnější změnu nástrojového osazení při změně výrobního programu. Na druhou stranu jsou tyto systémy komplikovanější a rozměrnější. nákladnější je také jejich výroba a také se u nich vyskytuje větší množství poruch. Složitější a náročnější je také jejich obsluha, údržba a oprava. Je také nutný požadavek jednotnosti držáků nástrojů.

1.5.3 Korekce nástroje

Při každé výměně nástroje během obrábění je nutné provést korekci. Tato korekce se vztahuje k prvnímu základnímu nástroji a slouží ke kompenzaci poloměru špičky soustružnického nože, nebo průměru frézy. Pro všechny nástroje se zjistí rozdíly poloh vůči nástroji základnímu. Korekce se počítá podle obecných vztahů:

$$\begin{aligned} \Delta X_{Tn} &= X_{T1} - X_{Tn} \\ \Delta Z_{Tn} &= Z_{T1} - Z_{Tn} \end{aligned} \qquad (1)$$

Tyto rozdíly se zapíší s funkcí M6 k příslušným nástrojům. Po obrobení prvního kusu ze zjistí rozdíly mezi hodnotami požadovanými a skutečnými a přičtou se s ohledem na znaménka k původním hodnotám korekcí příslušných nástrojů.

1.6 Přesnost CNC strojů

Pracovní přesnost CNC strojů je ovlivněna chybami polohování, chybami přímosti, pravoúhlosti, úhlovými chybami a chybami vyplývajícími z poddajnosti strojů, nástrojů a obrobků. V každé ose existuje 6 chyb. Jsou to 3 lineární chyby (chyba polohování na dané ose, chyba přímosti osy horizontální a vertikální). Dále jsou to sklon nebo úklon osy

(pitch), vybočení či odklon (yaw) a rotace či natočení osy (roll). Na tříosém obráběcím stroji naměříme 3 x 6 = 18 chyb plus 3 chyby pravoúhlosti, celkem tedy 21 chyb.

Požadavky moderního průmyslu dosahovat co nejužších tolerancí a požadavky mezinárodních norem kvality mají za následek neustále vzrůstající nároky na parametry strojů. Jako odpověď na tyto požadavky byly vyvinuty měřicí systémy umožňující hodnocení monitorování a na základě tohoto zlepšování stavu stroje.

Tyto systémy kombinují nejlepší mechanické, elektronické a optické technologie a jsou vytvořeny pro snadné použití, flexibilitu a mobilitu. Systémy běžně vyhrazené pro laboratorní měření se nyní častěji zapracovávají jako účinný systém k zefektivnění údržby v dílenském prostředí.

Kvalita jednotlivých dílců vyráběných na CNC stroji do značné míry závisí na přesnosti stroje. Problémy se strojem vedou nevyhnutelně k negativním výsledkům kontrol, zmetkovitosti a neočekávaným prostojům stroje. Velmi často se stává, že se problémy zjišťují až po vyrobení dílců při prohlídkách a kontrole jakosti. V té době je však již obvykle pozdě zabránit produkci zmetků nebo nákladům vzniklým z důvodu odstavení stroje. Z tohoto důvodu vzniká zásadní potřeba kontrolovat přesnost stroje průběžně a znát jeho skutečný stav (trend vývoje jednotlivých chyb).

Vyjma klasického měření geometrie stroje dle Schläzingera – ČSN ISO 230-1 se v dnešní době nejčastěji pro diagnostiku (sledování trendu vývoje chyb) numericky řízených obráběcích strojů užívají kalibrační a monitorovací systémy společností RENISHAW a HEIDENHAIN.

Toto zajišťují měřící systémy řady QUICK CHECK 10 (spol. RENISHAW) a DBB 110 (spol HEIDENHAIN). Monitorování je prováděno vždy na nezatíženém stroji v úhlu evidence dat po směru, resp. proti směru chodu hodinových ručiček po referenční kružnici definované středem a poloměrem R. Teleskopická měřící tyč s kulovými klouby je na stroj připevněna pomocí magnetických objímek. Jedna objímka je přichycena na loži stroje, druhá na suportu, jenž se pohybuje po relativní kruhové dráze. Během pohybu je nepřetržitě zaznamenávána změna vzdálenosti R mezi oběma konci. Měřený signál je zaznamenáván a převáděn na kruhový diagram, jenž je vyhodnocován speciálním softwarem od výrobce měřícího systému, který naměřené data zanalyzuje a vyhodnotí procentuálně závislost jednotlivých chyb, jako jsou např. mrtvé chody v osách (příčinou může být např. vůle v uložení vodícího šroubu, vůle ve spojce), příčné vůle v osách (vůle

ve vedení dané osy), stav seřízení pohonů, seřízení odměřování, seřízení řídícího systému atd.

Pro určení kruhové hystereze jsou skutečné dráhy měřeny v nepřetržitém sledu při různých rychlostech posuvu (tyto rychlosti se blíží skutečným rychlostem posuvu stroje při obrábění) v několika na sobě nezávislých bodech (tyto body nesmí být shodné s referenčními body stroje). Výsledky měření odpovídají standardu – analýza kruhovitosti dle ISO 230-4.

Užívá se pro zjištění skutečného stavu stroje a popř. pro specifikaci uzlu, ve kterém je nejpravděpodobněji příčina závady. Výsledkem měření je jak graf kruhové interpolace, tak tabulka jednotlivých naměřených hodnot. Na základě vyhodnocení hodnot nejistot a získaného tvaru kruhové hystereze se zpracovává protokol, ve kterém je určena diagnóza, nejpravděpodobnější příčina a řešení identifikovaného problému. Protokol z tohoto měření je uznáván jako mezinárodní doklad o přesnosti stroje dle normy ČSN ISO 230-4.

Na diagnostikování CNC strojů se více a více využívá systém KGM 181 (původně určen výrobcům CNC strojů), který se využívá pro provedení testů kruhovitosti malých poloměrů a libovolných tvarů, obzvláště pro ověření dynamického chování regulace řídícího systému. Princip měření spočívá v tom, že se do vřetene upevní vysílač laserových paprsků a na pracovní plochu stolu obráběcího stolu se ustaví speciální dvousouřadnicová fázová mřížka pro snímání plošného pohybu. Vysílač kopíruje předem tvar naprogramovaný v řídícím sytému 0,8mm nad průmětem mřížky. Vše je propojeno s PC a ten přes k tomuto dodávaný software vyhodnocuje interferenci (rozdíl mezi skutečnou polohou a polohou požadovanou). U tohoto sytému nejsme svázáni využívat pro zkoušku pouze tvar kruhu, ale můžeme test a následné seřízení provést na jakémkoliv tvaru v dané rovině (je omezeno pouze velikostí mřížky).

Systém lze propojit s řídícím systémem a ihned jej seřizovat. Systém KGM 181 dokáže analyzovat stejné nejistoty jako systémy QC 10 a DBB 110, navíc s ním lze pružněji a lépe specifikovat jednotlivé chyby v nastavení odměřování v řídícím systému. Umožňuje navíc nelineární seřízení odměřování (na jednotlivých bodech ne globálně). Výše popsané systémy se užívají jako účinný nástroj prediktivní a proaktivní údržby. Při zavedení periodické klasifikace numericky řízených obráběcích strojů lze po čase výrazně snížit počet neplánovaných odstávek důsledkem poruch na stroji a tím i snížit náklady na údržbu až o 80 procent.

1.6.1 Kontrola přesnosti CNC obráběcího centra

Jakost je obecně chápána jako schopnost souboru inherentních znaků (rozlišujících vlastností) výrobku, systému nebo procesu plnit požadavky zákazníka a jiných zainteresovaných stran. Aby byl obráběcí stroj uveden do stavu, který je použitelný pro výrobu obrobků v požadovaných tolerancích, je nutné provést kontrolní úkony, které jsou shrnuty v následujících odstavcích.

Rovnoběžnost upínací plochy stolu s jeho pohybem (EPAa)

Při měření pravítkem ve svislé rovině má být pravítko ustaveno na dvou podložkách umístěných, pokud je to možné, v bodech odpovídajících nejmenšímu průhybu vlastní hmotností. Podél pravítka se posouvá držák číselníkového úchylkoměru s třemi opěrnými body. Jeden z těchto opěrných bodů spočívá na čáře plochy, která má být měřena, a dotek číselníkového úchylkoměru je na kolmici k této ploše, procházející uvedeným opěrným bodem. Přitom se dotýká se pravítka. Musí být zajištěn pohyb držáku po přímce (vodicí pravítko). Je-li to požadováno, mohou být při zpracování výsledků vzaty v úvahu známé odchylky přímosti pravítka.

V případě měření pravítkem ve vodorovné rovině se doporučuje použití pravítka s rovnoběžnými plochami a jeho položení naplocho. Číselníkový úchylkoměr se dotýká základní plochy pravítka a pohybuje se v kontaktu s měřenou plochou. Pravítko je ustaveno tak, aby na obou koncích čáry byly odečteny stejné odchylky čáry oproti přímce spojující oba koncové body čáry, které lze odečítat přímo.

Je nutno poznamenat, že ať je průhyb pravítka na opěrách jakýkoliv, není přímost základní plochy tímto průhybem vlastní hmotností prakticky ovlivněna. Další vlastností metody měření přímosti pravítkem ve vodorovné rovině je, že umožňuje měření odchylek přímosti jak měřené plochy, tak základní plochy pravítka.

Měření rovnoběžnosti stolu probíhá tak, že se do vřetene upne číselníkový úchylkoměr a na otočný stůl se položí mostové pravítko ve směru osy X. Číselníkový úchylkoměr se v počátečním bodě vynuluje a po přesunutí otočného stolu do koncového bodu se odečte odchylka.

Rovnoběžnost upínací plochy stolu a pohybu sloupu (EPAb)

U měření rovnoběžnosti upínací plochy stolu a pohybu sloupu lze využít stejné metody jako u měření rovnoběžnosti upínací plochy stolu s jeho pohybem. Do vřetene se opět upne úchylkoměr a na otočný stůl se položí mostové pravítko. Úchylkoměr se v počátečním bodě vynuluje a po přesunutí stojanu do koncového bodu se odečte příslušná odchylka.

Rovnoběžnost osy vřetene s plochou otočného stolu (EPAc)

Při měření se do vřetene upne číselníkový úchylkoměr na rameni délky 150 mm a na otočný stůl se položí žulová kostka. Na číselníkovém úchylkoměru se odečte hodnota a vřetenem se otočí o 180°. Odchylka je pak rozdílem naměřených hodnot.

Rovnoběžnost vřetene s pohybem otočného stolu (EPAd)

U měření rovnoběžnosti os musí být tyto osy představovány válcovými plochami velmi přesného tvaru, vhodného opracování a dostatečné délky. Jestliže povrch vřetene nesplňuje tyto požadavky nebo jde-li o vnitřní plochu, na kterou nelze umístit čidlo, použije se pomocná válcová plocha (měřicí trn).

Upevnění a vystředění měřicího trnu musí být provedeno na konci hřídele nebo ve válcovém či kuželovém otvoru, určeném pro umístění nástroje či jiných přídavných zařízení. Při vkládání měřicího tmu do vřetene tak, aby představoval osu otáčení, je nutno vzít v úvahu skutečnost, že trn nelze vystředit s osou otáčení přesně. Při otáčení vřetene opisuje osa trnu hyperboloid nebo kužel (když osa trnu protíná osu otáčení) a v rovině měření zaujímá dvě polohy B - B'.

Měření rovnoběžnosti může být za těchto podmínek provedeno v kterékoliv poloze vřetene, mělo by však být opakováno po pootočení vřetene o 180°. Aritmetický průměr obou měření je odchylkou rovnoběžnosti v dané rovině. Trn může být rovněž uveden do střední polohy A, nazývané "střední poloha obvodového házení. Měření se pak provede pouze pro tuto polohu. První metoda se zdá být stejně rychlá jako druhá, je však přesnější. Číselníkový úchylkoměr je přitom upnut na otočném stole a pro zjištění druhé hodnoty měření se přesune v ose Z do vzdálenosti 300 mm. Odchylka je rozdíl naměřených hodnot.

Kolmost pohybu stolu a pohybu sloupu (EPRa)

Do vřetene se upne indikátor a na otočný stůl se položí žulová kostka. Jedna strana kostky se vyrovná podle osy X. Posuvem sloupu se odečte odchylka na kolmé straně žulové kostky. Měření se provádí na žulové kostce délkou hrany 500 mm.

Kolmost upínací plochy otočného stolu a sloupu - čelně (EPRb)

Měření probíhá tak, že se do vřetene upne číselníkový úchylkoměr a na otočný stůl se položí žulová kostka ve směru osy Z. Pojezdem vřeteníku v ose Y se odečte úchylka kolmosti. Měření se provádí na žulové kostce s délkou hrany 500 mm.

Kolmost upínací plochy otočného stolu a sloupu - bočně (EPRc)

Úchylkoměr je v tomto případě upevněn na vhodnou základnu, dovolující jeho dosednutí na protínajících se rovinách. Rovnoběžnost volného ramene úhelníku se třetí rovinou je měřena ve dvou vzájemně kolmých rovinách Pojem kolmost pohybu se u obráběcích strojů vztahuje na postupné polohy na dráze bodu pohybující se části stroje vůči rovině (opěrné nebo vodicí ploše), přímce (ose nebo průsečnici dvou rovin) a dráze bodu jiné pohybující se části.

Měření kolmého pohybu je měřením rovnoběžnosti při použití úhelníku vhodného pro daný případ.Pohybující se část je poháněna obvyklým způsobem, aby se projevil vliv vůle a nepřesností vodicích ploch.Měření probíhá tak, že se do vřetene upne číselníkový úchylkoměr a na otočný stůl se položí žulová kostka. Jedna strana kostky se vyrovná podle osy X. Pojezdem sloupu se odečte úchylka na kolmé straně žulové kostky. Měření se provádí na žulové kostce s hranou délky 500 mm.

Kolmost osy vřetene k vedení pohybu otočného stolu (EPRd)

Při tomto měření je úchylkoměr upnut na rameno upevněné na vřetenu, dotek úchylkoměru se opírá o prizmatický blok spočívající na obou protínajících se rovných plochách. Vřeteno se pootočí o půl otáčky a prizmatický blok se přesune tak, aby se dotek opíral o stejný bod na jeho povrchu.

Měření probíhá tak, že se do vřetene upne číselníkový úchylkoměr na rameně délky 150 mm a na otočný stůl se položí žulová kostka. Jedna její strana se vyrovná podle osy X.

Na úchylkoměru se odečte hodnota a vřetenem se otočí o 180°. Odchylka je rozdíl naměřených hodnot.

Radiální házení vřetene (ECR)

V případě, že geometrická osa součásti není totožná s osou otáčení, nazývá se vzdálenost mezi těmito dvěma osami radiálním házením. Předtím než je měření provedeno, musí se vřeteno otáčet dostatečně dlouho, aby bylo zaručeno, že se olejový film během měření nebude měnit a že dosažená teplota může být považována za normální pracovní teplotu stroje.

Dotek úchylkoměru se uvede do styku s měřenou otáčející se plochou a pozorují se údaje měřidla, zatímco se vřeteno pomalu otáčí. Na kuželové ploše se dotek nastaví kolmo k povrchové přímce a vypočte se vliv kužele na výsledky. Navíc se v případě axiálního pohybu vřetene bude měnit průměr kružnice, na které se měří. To způsobí, že obvodové házení bude větší, než ve skutečnosti je. Proto se má kuželová plocha využívat pro měření obvodového házení jen tehdy, není-li kužel strmý. Naměřené výsledky mohou být ovlivněny boční silou, působící na dotek úchylkoměru. Aby se zamezilo vzniku chyb, musí být dotek přesně vyrovnán do osy otáčející se plochy.

Výsledky a jejich vyhodnocení

U všech uvedených dílčích měření se při hodnocení porovnává naměřená hodnosta s hodnotou přípustnou, která je uvedena v příslušné normě. Je-li naměřená hodnota nižší nebo rovna hodnotě přípustné, stroj v daném měření vyhovuje.

Ačkoliv pro zachování jednoduchosti jsou metody měření vybírány systematicky z těch, které používají pouze základní měřidla, jako pravítka, úhelníky, trny, měřicí válce, vodováhy a úchylkoměry, je nutno podotknout, že ve skutečnosti jsou při montáži a kontrole obráběcích strojů všeobecně používány i jiné metody, zejména ty, které využívají optické přístroje. Měření částí obráběcích strojů velkých rozměrů vyžaduje pro usnadnění a zrychlení měření použití speciálních zařízení.

1.6.2 Stanovení cílů pro praktickou část bakalářské práce.

1. Návrh a naprogramování výroby zkušebního vzorku pro CNC frézky.
2. Výroba tohoto zkušebního vzorku.
3. Porovnání rozměrů vyrobených vzorků s požadovanými rozměry a vyhodnocení přesnosti CNC fréz.

2 PRAKTICKÁ ČÁST

K hodnocení výrobní přesnosti CNC frézek jsem si vybral nejjednodušší možnou metodu, která spočívá v obrobení zkušebního vzorku. Kontrolou rozměrů tohoto vzorku se zjistí odchylka od požadovaného rozměru a tím i přesnost stroje.

Také výběr tvaru vzorku není náhodný. Z důvodu nedostatku materiálu byly použity již jednou obrobené vzorky. Proto je také řídící program napsán pouze na „zmenšení“ rozměrů existujícího vzorku a nikoliv na výrobu vzorku z polotovaru.

Ke zhodnocení výrobní přesnosti jsem kromě kontroly rozměrů použil také zhodnocení drsnosti povrchu v závislosti na použitém nástroji. Kromě klasických čtyř a dvoubřitých nástrojů bude použit také tříbřitý nástroj ze slinutých karbidů.

2.1 Technické parametry měřených frézek

2.1.1 Vertikální a horizontální frézka FC 16 CNC

Tato frézka vznikla ve spolupráci firem NCT – Budapest a mechanická část stroje byla vyrobena v TOS Jasová a.s.

Obr. 2. Frézka FC 16 CNC

Tento stroj je určený pro obrábění základních druhů materiálů frézováním a vyvrtáváním. Koncepčním znakem frézky je neměnná výška pracovního stolu , uchycení vřeteníku umožňuje jeho natočení do polohy ± 90°. Výměna nástrojů je ruční s pomocí

rychloupínače. Maximální obráběcí prostor je v ose X 300 mm, v ose Y 160 mm a v ose Z 350 mm. Rozměry stolu jsou 160 x 450 mm. Otáčky lze regulovat v rozmezí 50-3600 ot/min. Posuv lze regulovat v rozmezí 4-3000 mm/min. Maximální hmotnost obrobku je 50 kg.

2.1.2 Frézka HWT C-442 CNC Profi

Výrobcem této frézky je Ing. Zbyněk Kaisler – AZK. Frézka byla vyrobena v roce 2004

Obr. 3. Frézka HWT C-442 CNC Profi

Frézka HWT C je CNC frézka určená k frézování měkkých materiálů jako například dřeva, grafitu, neželezných kovů apod. Frézování je řízené řídícím počítačem podle NC programu. Pomocí digitalizačních sond lze provádět prostorovou digitalizaci modelů.

Maximální obráběcí prostor je v ose X 400mm, v ose Y 400 mm a v ose Z 200 mm. velikost upínací plochy je 500 x 500 mm. Rychlost posuvu je max 3000 mm/min, programovatelný skok je 0,00625 mm, celková přesnost udávaná výrobcem je ± 0,02mm. Tato hodnota je měřena staticky za stabilní teploty s ustálenou tepelnou dilatací a platí pouze pro verzi profi. Otáčky vřetene se pohybují v rozmezí 2000-25000 ot/min. výkon motoru je 1000 W. Maximální zatížení stolu je 20 kg. Pojezdy jsou poháněny krokovými motory s kuličkovými šrouby. Na všech osách jsou optické kalibry pro definici

referenčních bodů, což umožňuje opakovaný nájezd do požadovaného místa i po vypnutí stroje. Nástroje se upínají do kleštin ER-16 s upínacím průměrem 1 až 10 mm.

2.2 Použitý software

2.2.1 Autodesk Inventor

Autodesk Inventor je světově nejprodávanější CAD aplikace pro strojírenskou 3D konstrukci. Je to hlavní strojírenská 3D aplikace Autodesku, která umožňuje adaptivní modelování složitých objemových i povrchových součástí a sestav. Ve verzi Profesional je doplněna o profesní funkce z oblasti elektromechaniky a potrubních systémů.

2.2.2 Surfcam

Je CAD/CAM systém zaměřený především do výroby s použitím CNC technologií. SURFCAM obsahuje modelovací a obráběcí část. Je vybaven pro vlastní tvorbu 2D modelu (pro obrábění kontur, kapes), 3D drátového modelu (obrábění 3D kontur, 3D kapsování) a pro tvorbu 3D plošného modelu. Součástí instalace je objemový parametrický modelář SURFCAM SOLIDS. SURFCAM disponuje řadou převodníků, které dokáží převzít model z většiny nejznámějších produktů pomocí některého z výměnných formátů (IGES, VDA-FS, CADL, DXF atd.). Dále umožňuje zpracování digitalizovaných dat do bodů, spline křivek nebo ploch. Obráběcí funkce jsou dostupné od 2-osých do 5-osých.

2.3 Postup výroby

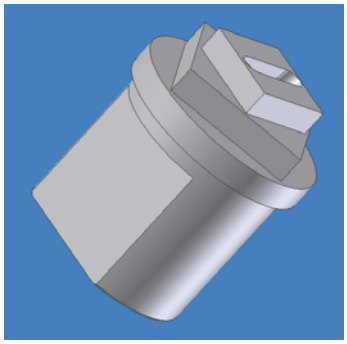
Postup získání programu pro obrobení zkušebního vzorku se liší u obou porovnávaných frézek. Tento dalo by se říci propastný rozdíl odráží rychlost vývoje CNC obrábění, zejména programování těchto strojů. U frézky FC 16 CNC bylo nutno nejprve ručně sepsat program. Hodnoty potřebných souřadnic, kterými se řídí dráha nástroje, bylo nutno dopočítat. Takto získaný program bylo nutné přepsat přímo do řídícího počítače. Program lze také napsat na jakémkoliv osobním počítači a přenést jej do řídícího počítače

frézky pomocí diskety, ale musí být v ISO kódu, který je schopen řídící počítač přečíst. Například je možno použít poznámkový blok operačního systému Windows. Tento program je samozřejmě potřeba odladit a zbavit ho chyb, které programátor mohl při psaní přehlédnout. Tento postup je samozřejmě velmi časově náročný a tím pádem i neefektivní. Také tento způsob klade větší nároky na znalosti a především zkušenosti programátora zejména u tvarově složitějších obrobků.

U Frézky HWT C-442 CNC Profi je tento postup jednodušší. Řídící program pro tuto frézku je možno vytvořit v programu SURFCAM. Jednodušší výrobky lze v tomto programu přímo namodelovat, nebo je možné požadovaný výrobek namodelovat v jiném programu pro vytváření 3D aplikací, jako jsou například, *Autodesk Inventor* a *Catia*, a importovat ho do programu SURFCAM. Opět je pouze potřeba použít vhodný formát. Nám se osvědčil při importování modelu vytvořeného v programu *Inventor* formát SAT. Dále už program SURFCAM na základě našich požadavků (např. druh nástroje, rychlostí posuvů, hloubky záběru apod.) vygeneruje dráhu nástroje. Tuto dráhu potom využívá řídící systém frézky. Výhodou tohoto postupu je možnost odladění řídícího programu pomocí vizualizace, kdy na obrazovce vidíme pohyb nástroje. Díky této vizualizaci lze objevit případné kolizní stavy a tím zabránit poškození stroje, případně dalším následkům v podobě výpadku výroby. Tento program omezuje možnosti selhání lidského faktoru při programování CNC strojů.

2.3.1 Popis vzorku

Na zkušebním vzorku je potřeba ověřit přesnost lineárního posuvu ve všech třech osách. K tomuto účelu slouží dvě čtvercová osazení vzájemně pootočená o 45° tak abychom mohli zjišťovat přesnost interpolace v osách X a Ya také přesnost interpolace pod úhlem 45°. Přesnost interpolace v ose z se bude zjišťovat na drážce, respektive na její hloubce.



Obr. 4. Zkušební vzorek

Dále je zde další tentokrát kruhové osazení, na kterém se bude ověřovat přesnost kruhové interpolace. Spodní válcová část vzorku slouží k uchycení vzorku do upínacího svěráku stroje.

Materiál vzorku je *dural*. Je to bezesporu nejznámější slitina hliníku s hořčíkem, mědí a manganem. Tento materiál má oproti samotnému hliníku mnohem větší pevnost a tvrdost při zachování velmi malé měrné hmotnosti. Všechny uvedené vlastnosti předurčují dural jako ideální materiál pro letecký a automobilový průmysl, ale setkáme se s ním při výrobě výtahů, jízdních kol, lehkých žebříků a podobných aplikacích.

2.4 Postup měření

Všechny následující hodnoty byly změřeny pomocí digitálních mikrometrů s přesností 0,001 mm. Digitální přístroje byly použity z důvodu vyloučení chyby při odečítání ze stupnice klasického přístroje.

Obr.5. Mikrometr Mitutoyo 0-25 mm, 0,001 mm

Tyto měřící přístroje byly použity i pro měření přesnosti kruhové interpolace. Uvědomuji si, že tento způsob měření není pro mé potřeby nejvhodnější, ale tato metoda byla použita z důvodu nedostupnosti vhodnějších měřících přístrojů. Pouze použitý

hloubkoměr není digitální přístroj a také nedosahuje takové přesnosti jako ostatní digitální přístroje.

Obr. 6. Hloubkoměr

Každý rozměr byl změřen desetkrát a jako výslednou hodnotu beru průměr vypočtený z těchto hodnot podle vzorce (2). Dále jsem pro naměřené hodnoty spočítal směrodatnou odchylku podle vzorce (3).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (2)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i-1}^{n} \left(x_i - \bar{x}\right)^2} \qquad (3)$$

2.4.1 Použité měřící přístroje

Mikrometr Mitutoyo	0 – 25 mm	0,001 mm
Mikrometr Mitutoyo	25 – 50 mm	0,001 mm
Hloubkoměr Mitutoyo	0 -25 mm	0,01 mm

Měřič drsnosti povrchu (Surftester) Mitutoyo SJ-301

2.4.2 Naměřené hodnoty

Naměřené hodnoty jsem se rozhodl rozdělit do dvou podkapitol podle toho, na kterém stroji byl vzorek obroben. U každého vzorku naleznete informaci jakým nástrojem

byl obroben a dále tabulky pro každý měřený rozměr a výslednou hodnotu tohoto rozměru. Měření drsnosti povrchu jsem zahrnul do samostatné podkapitoly.

Vzorky obrobené na frézce FC 16 CNC:

Vzorek č. 1: Tento vzorek byl obroben čtyřbřitou válcovou frézou o průměru 5 mm

Tab. 3. Naměřené hodnoty rozměru 20 x 20 mm pro vzorek č. 1

Rozměr 20 x 20 mm										**Průměr**	**Sm. Od.**
20,134	20,091	20,055	20,103	20,108	20,099	20,041	20,085	20,037	20,044	**20,080**	**0,032**
20,067	20,080	20,062	20,041	20,050	20,036	20,081	20,116	20,091	20,109	**20,073**	**0,026**

Výsledné hodnoty jsou: 20,08 ± 0,03 mm

20,07 ± 0,03 mm

Tab. 4. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30 mm pro vzorek č. 1

Rozměr 30 x 30 mm										**Průměr**	**Sm. Od.**
30,069	30,138	30,190	30,121	30,130	30,159	30,161	30,147	30,189	30,168	**30,147**	**0,034**
30,176	30,226	30,124	30,190	30,135	30,189	30,161	30,147	30,189	30,168	**30,171**	**0,029**

Výsledné hodnoty jsou: 30,15 ± 0,03 mm

30,17 ± 0,03 mm

Tab. 5. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č. 1

Hloubka drážky 6 mm										**Průměr**	**Sm. Od.**
6,08	6,08	6,09	6,07	6,08	6,08	6,09	6,08	6,07	6,07	**6,08**	**0,01**

Výsledná hodnota je: 6,08 ± 0,01 mm

Tab. 6. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č. 1

Průměr 45 mm										**Průměr**	**Sm. Od.**
45,082	45,090	45,032	45,092	45,073	45,006	45,026	45,094	45,106	45,110	**45,071**	**0,035**

Výsledná hodnota je: 45,07 ± 0,04 mm

Vzorek č.2: Tento vzorek byl obroben tříbřitou frézou 5mm ze slinutých karbidů .

Tab. 7. Naměřené hodnoty rozměru20 x 20 mm pro vzorek č. 2

Rozměr 20 x 20 mm										Průměr	Sm. Od.
20,019	20,021	20,019	20,017	20,015	20,040	20,031	20,016	20,041	20,017	**20,024**	**0,009**
20,010	20,008	20,008	20,016	20,017	20,019	20,017	20,011	20,019	20,031	**20,016**	**0,007**

Výsledné hodnoty jsou: 20,024 ± 0,009 mm

20,016 ± 0,007 mm

Tab. 8. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30 mm pro vzorek č. 2

Rozměr 30 x 30 mm										Průměr	Sm. Od.
30,037	30,035	30,038	30,039	30,035	30,033	30,035	30,033	30,035	30,035	**30,036**	**0,002**
30,038	30,038	30,041	30,035	30,039	30,039	30,041	30,042	30,036	30,038	**30,039**	**0,002**

Výsledné hodnoty jsou: 30,036 ± 0,002 mm

30,039 ± 0,002 mm

Tab. 9. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č. 2

Hloubka drážky 6 mm										Průměr	Sm. Od.
6,08	6,09	6,08	6,08	6,08	6,07	6,07	6,08	6,07	6,08	**6,08**	**0,01**

Výsledná hodnota je: 6,08 ± 0,01 mm

Tab. 10. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č. 2

Průměr 45 mm										Průměr	Sm. Od.
44,998	44,999	45,003	44,995	45,008	44,989	44,991	44,992	45,016	45,010	**45,000**	**0,009**

Výsledná hodnota je: 45,00 ± 0,009 mm

Vzorek č. 3: Tento vzorek byl obroben tříbřitou frézou 5 mm ze slinutých karbidů.

Tab. 11. Naměřené hodnoty rozměru 20 x 20 mm pro vzorek č. 3

Rozměr 20 x 20 mm										Průměr	Sm. Od.
19,987	19,980	20,100	20,010	19,997	19,993	19,994	19,995	20,004	20,007	**20,007**	**0,032**
20,000	19,994	20,004	20,013	20,000	20,011	19,988	19,999	19,995	19,993	**20,000**	**0,007**

Výsledné hodnoty jsou: 20,01 ± 0,03 mm

20,00 ± 0,007 mm

Tab. 12. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30 mm pro vzorek č. 3

Rozměr 30 x 30 mm										Průměr	Sm. Od.
30,015	30,001	30,002	30,004	30,001	30,002	29,996	30,002	30,001	30,004	**30,003**	**0,005**
29,997	30,002	30,003	29,993	30,001	29,994	30,001	29,994	29,998	29,997	**29,998**	**0,003**

Výsledné hodnoty jsou: 30,003 ± 0,005 mm

29,998 ± 0,003 mm

Tab. 13. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č. 3

Hloubka drážky 6 mm										Průměr	Sm. Od.
6,09	6,08	6,07	6,09	6,08	6,08	6,07	6,09	6,08	6,08	**6,08**	**0,01**

Výsledná hodnota je: 6,08 ± 0,01 mm

Tab. 14. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č. 3

Průměr 45 mm										Průměr	Sm. Od.
44,993	44,998	44,980	45,002	44,989	44,980	44,973	44,972	44,983	44,995	**44,987**	**0,010**

Výsledná hodnota je: 44,99 ± 0,01 mm

Vzorek č. 4: Tento vzorek byl obroben dvoubřitou frézou o průměru 5 mm.

Tab. 15. Naměřené hodnoty rozměru 20 x 20 mm pro vzorek č. 4

Rozměr 20 x 20 mm										Průměr	Sm. Od.
20,200	20,043	20,048	20,042	20,035	20,050	20,026	20,037	20,093	20,171	**20,075**	**0,058**
20,088	20,078	20,109	20,087	20,132	20,085	20,101	20,026	20,085	20,034	**20,083**	**0,030**

Výsledné hodnoty jsou: 20,06 ± 0,06 mm

20,08 ± 0,03 mm

Tab. 16. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30 mm pro vzorek č. 4

Rozměr 30 x 30 mm										Průměr	Sm. Od.
30,135	30,190	30,163	30,180	30,157	30,160	30,174	30,188	30,174	30,165	**30,169**	**0,016**
30,194	30,183	30,178	30,135	30,135	30,166	30,171	30,175	30,166	30,186	**30,169**	**0,019**

Výsledné hodnoty jsou: 30,17 ± 0,02 mm

30,17 ± 0,02 mm

Tab. 17. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č. 4

Hloubka drážky 6 mm										Průměr	Sm. Od.
6,01	5,89	6,02	5,99	6,01	6,01	6,02	5,99	5,98	6,01	**5,99**	**0,04**

Výsledná hodnota je: 5,99 ± 0,04 mm

Tab. 18. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č. 4

Průměr 45 mm										Průměr	Sm. Od.
45,166	45,142	45,135	45,126	45,165	45,172	45,178	45,184	45,112	45,123	**45,150**	**0,024**

Výsledná hodnota je: 45,15 ± 0,02 mm

Vzorek č. 5: Tento vzorek byl obroben dvoubřitou frézou o průměru 5 mm.

Tab. 19. Naměřené hodnoty rozměru 20 x 20 mm pro vzorek č. 5

Rozměr 20 x 20 mm										Průměr	Sm. Od.
20,138	20,129	20,134	20,156	20,227	20,127	20,113	20,149	20,110	20,132	**20,142**	**0,031**
20,113	20,112	20,087	20,102	20,125	20,101	20,114	20,092	20,086	20,088	**20,102**	**0,013**

Výsledné hodnoty jsou: 20,14 ± 0,03 mm

20,10 ± 0,01 mm

Tab. 20. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30 mm pro vzorek č. 5

Rozměr 30 x 30 mm										Průměr	Sm. Od.
30,142	30,123	30,144	30,137	30,140	30,150	30,131	30,176	30,143	30,154	**30,144**	**0,014**
30,171	30,176	30,182	30,185	30,205	30,132	30,194	30,180	30,140	30,128	**30,169**	**0,025**

Výsledné hodnoty jsou: 30,14 ± 0,01 mm

30,17 ± 0,03 mm

Tab. 21. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č. 5

Hloubka drážky 6 mm										Průměr	Sm. Od.
5,97	5,98	6,01	5,99	5,99	6,01	6,00	6,02	6,00	6,00	**6,00**	**0,01**

Výsledná hodnota je: 6,00 ± 0,01 mm

Tab. 22. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č. 5

Průměr 45 mm										Průměr	Sm. Od.
45,155	45,143	45,095	45,070	45,176	45,140	45,075	45,150	45,132	45,121	**45,126**	**0,033**

Výsledná hodnota je: 45,13 ± 0,03 mm

Vzorky obrobené na frézce HWT C-442 CNC Profi:

Vzorek č. 6: Tento vzorek byl obroben čtyřbřitou frézou o průměru 5 mm.

Tab. 23. Naměřené hodnoty rozměru 20 x 20 mm pro vzorek č. 6

Rozměr 20 x 20 mm										Průměr	Sm. Od.
20,068	20,132	20,112	20,128	20,065	20,096	20,107	20,091	20,116	20,062	**20,098**	**0,024**
20,071	20,073	20,094	20,082	20,136	20,062	20,075	20,090	20,089	20,126	**20,090**	**0,023**

Výsledné hodnoty jsou: 20,10 ± 0,02 mm

20,09 ± 0,02 mm

Tab. 24. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30mm pro vzorek č. 6

Rozměr 30 x 30 mm										Průměr	Sm. Od.
30,174	30,197	30,129	30,185	30,124	30,131	30,161	30,209	30,165	30,229	**30,170**	**0,034**
30,191	30,172	30,209	30,165	30,139	30,189	30,166	30,118	30,117	30,136	**30,160**	**0,030**

Výsledné hodnoty jsou: 30,17 ± 0,03 mm

30,16 ± 0,03 mm

Tab. 25. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č. 6

Hloubka drážky 6 mm										Průměr	Sm. Od.
6,05	6,04	6,05	6,05	6,06	6,05	6,05	6,06	6,05	6,05	**6,05**	**0,01**

Výsledná hodnota je: 6,05 ± 0,01 mm

Tab. 26. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č.6

Průměr 45 mm										Průměr	Sm. Od.
45,071	45,073	45,094	45,082	45,136	45,062	45,075	45,090	45,089	45,120	**45,089**	**0,022**

Výsledná hodnota je: 45,09 ± 0,02 mm

Vzorek č.7: Tento vzorek byl obroben tříbřitou frézou 5 mm ze slinutých karbidů

Tab. 27. Naměřené hodnoty rozměru 20 x 20 mm pro vzorek č. 7

Rozměr 20 x 20 mm										Průměr	Sm. Od.
20,002	20,012	20,003	19,998	19,997	20,004	20,003	20,007	20,008	19,996	**20,003**	**0,005**
20,003	20,007	19,999	20,002	20,007	20,002	19,993	20,005	19,994	20,011	**20,002**	**0,005**

Výsledné hodnoty jsou : 20,003 ± 0,005 mm

20,002 ± 0,005 mm

Tab. 28. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30mm pro vzorek č. 7

Rozměr 30 x 30 mm										Průměr	Sm. Od.
30,014	30,017	30,020	30,024	30,019	30,014	30,013	30,016	30,015	30,017	**30,017**	**0,003**
30,022	30,025	30,024	30,025	30,025	30,021	30,012	30,019	30,020	30,025	**30,022**	**0,004**

Výsledné hodnoty jsou : 30,017 ± 0,003 mm

30,022 ± 0,004 mm

Tab. 29. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č. 7

Hloubka drážky 6 mm										Průměr	Sm. Od.
5,96	5,96	5,97	5,96	5,96	5,99	5,98	5,96	5,96	5,96	**5,97**	**0,01**

Výsledná hodnota je: 5,97 ± 0,01 mm

Tab. 30. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č.7

Průměr 45 mm										Průměr	Sm. Od.
45,022	45,012	45,003	44,998	44,997	45,004	45,003	45,007	45,008	44,996	**45,005**	**0,007**

Výsledná hodnota je: 45,005 ± 0,007 mm

Vzorek č. 8: Tento vzorek byl obroben tříbřitou frézou o průměru 5 mm ze slinutých karbidů

Tab. 31. Naměřené hodnoty rozměru 20 x 20 mm pro vzorek č. 8

Rozměr 20 x 20 mm										Průměr	Sm. O.
19,999	20,003	19,998	20,005	20,013	20,016	20,008	20,012	20,004	20,003	**20,006**	**0,006**
20,007	20,009	19,998	20,008	20,012	20,007	20,011	19,997	20,006	20,011	**20,007**	**0,005**

Výsledné hodnoty jsou : 20,006 ± 0,006 mm

20,007 ± 0,005 mm

Tab. 32. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30mm pro vzorek č. 8

Rozměr 30 x 30 mm										Průměr	Sm. Od.
30,020	30,022	30,015	30,007	30,012	30,011	30,018	30,016	30,009	30,012	**30,014**	**0,005**
30,027	30,019	30,028	30,018	30,026	30,029	30,018	30,016	30,021	30,013	**30,022**	**0,005**

Výsledné hodnoty jsou: 30,014 ± 0,005 mm

30,022 ± 0,005 mm

Tab. 33. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č. 8

Hloubka drážky 6 mm										Průměr	Sm. Od.
5,98	5,99	6,02	5,99	5,98	5,98	5,98	5,98	5,99	5,97	**5,99**	**0,01**

Výsledná hodnota je: 5,99 ± 0,01 mm

Tab. 34. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č.8

Průměr 45 mm										Průměr	Sm. O.
45,007	45,016	45,013	45,011	45,013	45,006	45,016	45,009	45,007	45,001	**45,010**	**0,005**

Výsledná hodnota je: 45,01 ± 0,005 mm

Vzorek č. 9: Tento vzorek byl obroben dvoubřitou frézou o průměru 5 mm.

Tab. 35. Naměřené hodnoty rozměru 20 x 20 mm pro vzorek č. 9

Rozměr 20 x 20 mm										Průměr	Sm. Od.
20,039	20,044	20,045	20,025	20,036	20,066	20,077	20,068	20,048	20,036	**20,048**	**0,016**
19,989	19,999	19,988	20,006	20,012	19,997	19,989	20,007	19,999	20,005	**19,999**	**0,008**

Výsledné hodnoty jsou: 20,05 ± 0,02 mm

20,00 ± 0,008 mm

Tab. 36. Naměřené hodnoty rozměru 30x 30mm pro vzorek č. 9

Rozměr 30 x 30 mm										Průměr	Sm. Od.
30,079	30,124	30,096	30,112	30,118	30,122	30,118	30,142	30,102	30,107	**30,112**	**0,016**
30,094	30,101	30,117	30,115	30,096	30,116	30,114	30,097	30,118	30,093	**30,106**	**0,010**

Výsledné hodnoty jsou: 30,11 ± 0,02 mm

30,12 ± 0,01 mm

Tab. 37. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č.9

Hloubka drážky 6 mm										Průměr	Sm. Od.
5,95	5,96	6,02	5,96	5,98	5,94	5,96	5,98	5,96	5,96	**5,97**	**0,02**

Výsledná hodnota je: 5,97 ± 0,02 mm

Tab. 38. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č.9

Průměr 45 mm										Průměr	Sm. Od.
45,149	45,162	45,090	45,081	45,093	45,119	45,126	45,096	45,138	45,072	**45,113**	**0,029**

Výsledná hodnota je: 45,11 ± 0,03 mm

Vzorek č. 10: Tento vzorek byl obroben dvoubřitou frézou o průměru 5 mm.

Tab. 39. Naměřené hodnoty rozměru 20 x 20 mm pro vzorek č. 10

Rozměr 20 x 20 mm										Průměr	Sm. Od.
20,120	20,118	20,095	20,112	20,089	20,136	20,115	20,093	20,059	20,131	**20,107**	**0,022**
20,105	20,133	20,128	20,107	20,098	20,099	20,112	20,129	20,107	20,116	**20,113**	**0,012**

Výsledné hodnoty jsou: 20,11 ± 0,02 mm

20,11 ± 0,01 mm

Tab. 40. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30mm pro vzorek č. 10

Rozměr 30 x 30 mm										Průměr	Sm. Od.
30,120	30,122	30,118	30,122	30,121	30,098	30,124	30,118	30,100	30,102	**30,115**	**0,010**
30,129	30,134	30,122	30,118	30,096	30,135	30,131	30,128	30,130	30,098	**30,122**	**0,013**

Výsledné hodnoty jsou: 30,12 ± 0,01 mm

30,12 ± 0,01 mm

Tab. 41. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č.10

Hloubka drážky 6 mm										Průměr	Sm. Od.
5,94	5,95	5,94	5,95	5,96	5,96	5,96	5,94	5,94	5,96	**5,95**	**0,01**

Výsledná hodnota je: 5,95 ± 0,01 mm

Tab. 42. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č.10

Průměr 45 mm										Průměr	Sm. O.
45,122	45,116	45,098	45,112	45,118	45,112	45,109	45,096	45,132	45,089	**45,110**	**0,012**

Výsledná hodnota je: 45,11 ± 0,01 mm

Tab.43. Výsledné hodnoty pro vzorky obrobené na frézce FC 16 CNC

Vzorek	20x20mm		30 x 30 mm		Ø 45 mm		drážka 6 mm	
	Průměr	Sm. Od.	Průměr	Sm. Od.	Průměr	Sm. Od.	Průměr	Sm. Od.
1	20,080	0,032	30,147	0,034	45,071	0,035	6,08	0,01
	20,073	0,026	30,171	0,029				
2	20,024	0,009	30,036	0,002	45,000	0,009	6,08	0,01
	20,016	0,007	30,039	0,002				
3	20,007	0,032	30,003	0,005	44,987	0,010	6,08	0,01
	20,000	0,007	29,998	0,003				
4	20,075	0,058	30,169	0,016	45,150	0,024	5,99	0,04
	20,083	0,030	30,169	0,019				
5	20,142	0,031	30,144	0,014	45,126	0,033	6,00	0,01
	20,102	0,013	30,169	0,025				

Tab.44. Výsledné hodnoty pro vzorky obrobené na frézce HWT C-442 Profi

Vzorek	20x20mm		30 x 30 mm		Ø 45 mm		drážka 6 mm	
	Průměr	Sm. Od.	Průměr	Sm. Od.	Průměr	Sm. Od.	Průměr	Sm. Od.
6	20,098	0,024	30,170	0,034	45,089	0,022	6,05	0,01
	20,090	0,023	30,160	0,030				
7	20,003	0,005	30,017	0,003	45,005	0,007	5,97	0,01
	20,002	0,005	30,022	0,004				
8	20,006	0,006	30,014	0,005	45,010	0,005	5,99	0,01
	20,007	0,005	30,022	0,005				
9	20,048	0,016	30,112	0,016	45,113	0,029	5,97	0,02
	19,999	0,008	30,106	0,010				
10	20,107	0,022	30,115	0,010	45,110	0,012	5,95	0,01
	20,113	0,012	30,122	0,013				

2.4.3 Měření drsnosti povrchu

Vlastnosti struktury obrobené plochy patří k základním parametrům strojírenských součástí. Povrch obrobené plochy lze identifikovat celou řadou charakteristik, z nichž pro praxi mají rozhodující význam parametry drsnosti povrchu. Funkční požadavky na drsnost povrchu obrobené plochy se specifikují v příslušné výrobní dokumentaci. Realizované parametry na obrobené ploše reálné součásti závisí na mnoha technologických faktorech jako jsou řezné podmínky, geometrie břitu, vlastnosti obráběného materiálu, stabilita řezného procesu apod.

Drsnost (mikrogeometrie) povrchu lze definovat zjednodušeně jako souhrn nerovností s relativně malými vzdálenostmi, které obvykle obsahují nerovnosti, vzniklé následkem použité metody výroby a/nebo jiných vlivů. Drsnost se hodnotí v řezech kolmých a podélných vzhledem k pohybu řezného nástroje, vytvářejícího obrobenou plochu.

Obr. 7. Měřič drsnosti povrchu Mitutoyo SJ-301

Při měření drsnosti se nepočítají vady povrchu, tj. náhodné nepravidelné nerovnosti, které se vyskytují jen ojediněle (rysky, trhlinky, důlky apod.) a které vznikají vadami materiálu, poškozením aj.

Dnešní hodnocení drsnosti povrchu předepisuje norma ČSN EN ISO 4287 resp. 4288 vydané v roce1999. V této novelizované normě došlo ke sjednocení s normami ISO a EN, tím došlo i ke změnám v názvosloví, značení a pohledu na součást. O tom napovídá už název této sady norem „Geometrické požadavky na výrobky (GPS)“. O změně názvosloví svědčí např.parametry *Ra, Rz, Rmr(c)* a o doplnění parametrů např. *Rsk, Rku*.

Použité parametry drsnosti povrchu:

- **Ra-průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu** (ČSN EN ISO 4287): aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic *Z(x)* v rozsahu základní délky. U povrchů členitých, porušených póry apod. selhává a vede k omylům. Měřítkem platnosti charakteristiky *Ra* bývá hodnota šikmosti posuzovaného profilu *Rsk*. Charakteristika *Ra* neumožňuje představu o tvaru profilu povrchu, přesto je široce používána a obhajována. Lze totiž dokázat, že povrchy se stejnou hodnotou *Ra* se mohou při funkčním zatížení chovat zcela rozdílně.

- **Rz-největší výška profilu** (ČSN EN ISO 4287): součet výšky *Zp* největšího výstupku profilu a hloubky *Zv* nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky. V některých případech skýtá zkreslenou informaci o profilu povrchu a může být ovlivněna subjektivní chybou. Je vhodná pro hodnocení hrubých profilů.
  Některé starší přístroje udávají *Rz* jako výšku nerovností profilu z deseti bodů, podle již neplatné normy ČSN 01 4451.

2.4.4 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu

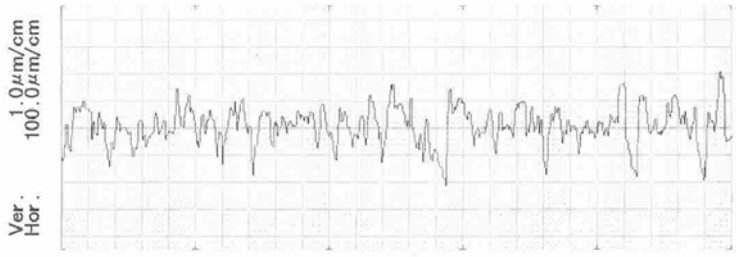
Drsnost povrchu byla měřena pomocí přístroje Mitutoyo SJ-301.Měření bylo provedeno podle normy ISO 1997. Měření bylo provedeno na dráze 0,25 mm rychlostí 0,25mm/s. Tento přístroj vždy provedl 5 měření z nichž každé na dráze 0,25 mm a výsledné hodnoty Ra a Rz jsou průměrné hodnoty z těchto měření. tento přístroj je také schopen vykreslit křivku profilu.

Podmínky měření: λc = 0,25 mm, N = 5, rychlost měření 0,25 mm/s

Drsnost povrchu pro vzorky obrobené na frézce FC 16 CNC :

Tab. 45. Drsnost povrchu pro vzorek č.1

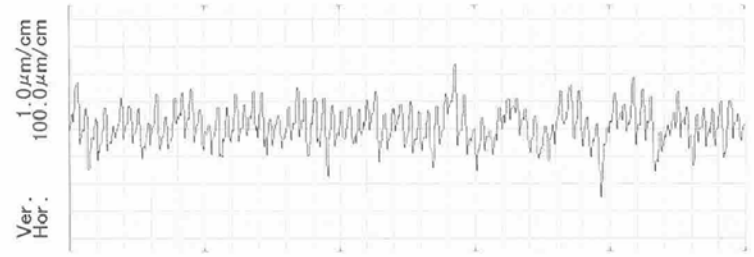
Drsnost povrchu											Průměr	Sm. Od.
Ra [µm]	0,28	0,30	0,29	0,33	0,34	0,23	0,26	0,28	0,32	0,26	**0,29**	**0,03**
Rz [µm]	1,86	2,04	1,93	2,13	2,11	1,41	1,65	1,74	2,15	1,63	**1,87**	**0,24**



Obr. 8. Profil drsnosti povrchu vzorku č.1

Tab. 46. Drsnost povrchu pro vzorek č.2

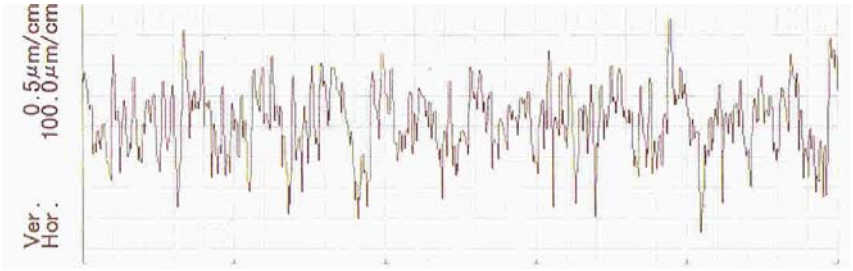
Drsnost povrchu											Průměr	Sm. Od.
Ra [µm]	0,19	0,19	0,23	0,21	0,21	0,26	0,28	0,25	0,25	0,26	**0,23**	**0,03**
Rz [µm]	1,30	1,23	1,56	1,35	1,30	1,77	1,68	1,58	1,46	1,81	**1,50**	**0,20**



Obr. 9. Profil drsnosti povrchu vzorku č.2

Tab. 47. Drsnost povrchu pro vzorek č.3

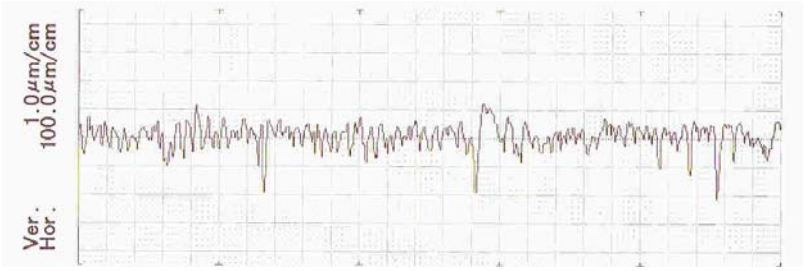
Drsnost povrchu											Průměr	Sm. Od.
Ra [µm]	0,24	0,26	0,25	0,22	0,20	0,23	0,21	0,22	0,22	0,22	**0,23**	**0,02**
Rz [µm]	2,12	2,13	1,75	1,52	1,36	1,58	1,39	1,46	1,51	1,46	**1,63**	**0,27**



Obr. 10. Profil drsnosti povrchu vzorku č.3

Tab. 48. Drsnost povrchu pro vzorek č.4

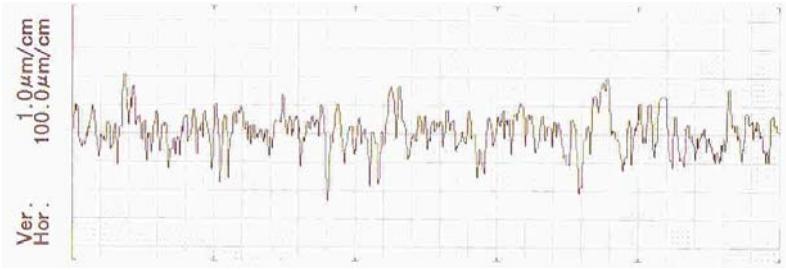
Drsnost povrchu											Průměr	Sm. Od.
Ra [µm]	0,23	0,22	0,17	0,18	0,17	0,18	0,18	0,19	0,17	0,16	**0,19**	**0,02**
Rz [µm]	1,45	1,40	1,44	1,31	1,21	1,03	1,38	1,38	1,23	1,25	**1,31**	**0,12**



Obr. 11. Profil drsnosti povrchu vzorku č.4

Tab. 49. Drsnost povrchu pro vzorek č.5

Drsnost povrchu											Průměr	Sm. Od.
Ra [µm]	0,26	0,24	0,23	0,23	0,22	0,29	0,28	0,23	0,22	0,23	**0,24**	**0,02**
Rz [µm]	1,78	1,60	1,86	1,68	1,81	1,75	2,42	1,67	1,59	1,89	**1,81**	**0,23**

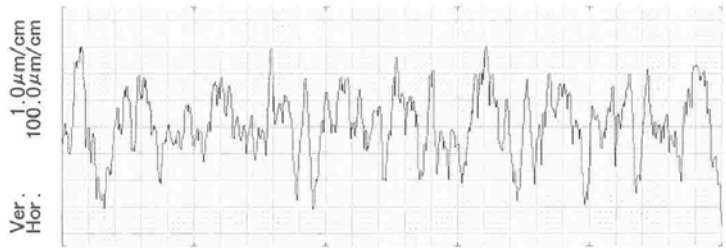


Obr. 12. Profil drsnosti povrchu vzorku č.5

Drsnost povrchu pro vzorky obrobené na frézce HWT C-442 CNC Profi :

Tab. 50. Drsnost povrchu pro vzorek č.6

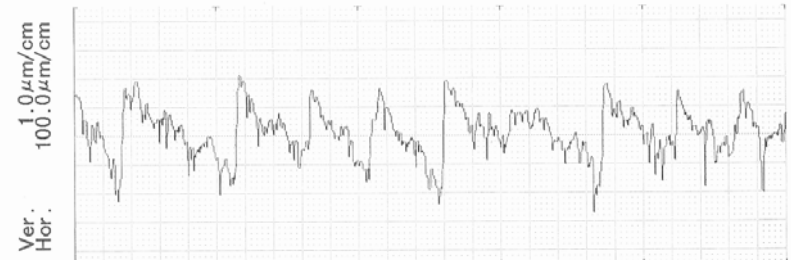
Drsnost povrchu											Průměr	Sm. Od.
Ra [µm]	0,46	0,72	0,47	0,49	0,49	0,54	0,46	0,48	0,48	0,47	**0,51**	**0,07**
Rz [µm]	2,29	3,89	2,81	3,05	2,94	2,74	2,83	2,94	2,88	2,85	**2,92**	**0,38**



Obr. 13. Profil drsnosti povrchu vzorku č.6

Tab. 51. Drsnost povrchu pro vzorek č.7

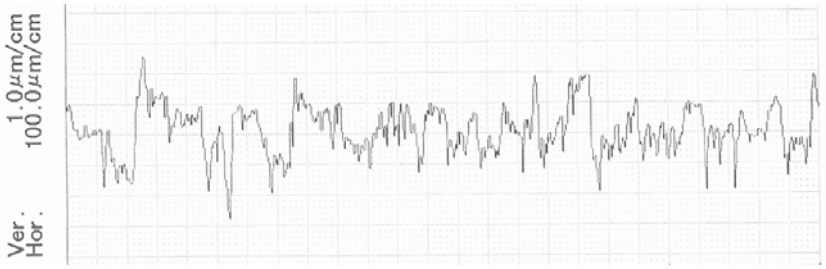
Drsnost povrchu											Průměr	Sm. Od.
Ra [µm]	0,24	0,25	0,25	0,33	0,32	0,35	0,30	0,29	0,25	0,34	**0,29**	**0,04**
Rz [µm]	1,53	1,56	1,59	1,85	1,94	2,29	1,94	1,78	1,62	2,11	**1,82**	**0,24**



Obr. 14. Profil drsnosti povrchu vzorku č.7

Tab. 52. Drsnost povrchu pro vzorek č.8

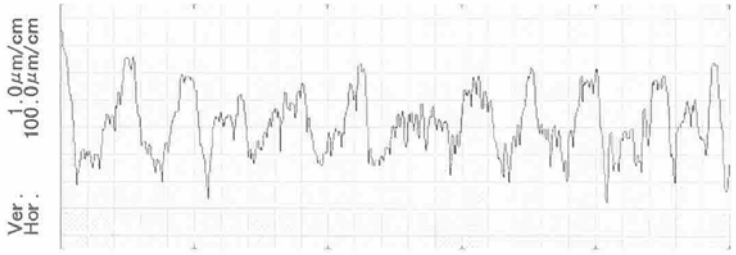
Drsnost povrchu											Průměr	Sm. Od.
Ra [μm]	0,32	0,29	0,28	0,35	0,34	0,23	0,30	0,25	0,38	0,31	**0,31**	**0,04**
Rz [μm]	2,18	1,95	1,76	1,96	1,90	1,61	1,95	1,67	2,38	1,93	**1,93**	**0,22**



Obr. 15. Profil drsnosti povrchu vzorku č.8

Tab. 53. Drsnost povrchu pro vzorek č.9

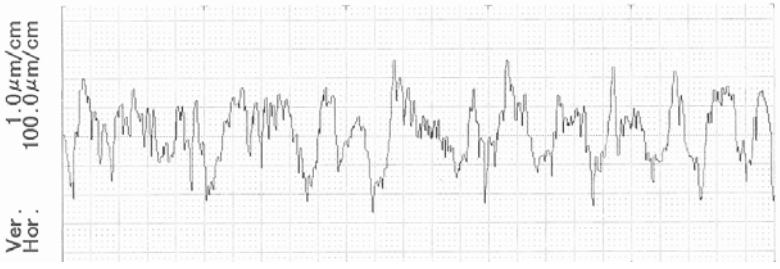
Drsnost povrchu											Průměr	Sm. Od.
Ra [μm]	0,46	0,49	0,54	0,42	0,44	0,44	0,55	0,64	0,46	0,54	**0,50**	**0,06**
Rz [μm]	2,88	2,84	2,94	2,61	2,72	2,71	3,17	3,64	2,40	2,72	**2,86**	**0,32**



Obr. 16. Profil drsnosti povrchu vzorku č.9

Tab. 54. Drsnost povrchu pro vzorek č.10

Drsnost povrchu											Průměr	Sm. Od.
Ra [μm]	0,40	0,49	0,30	0,40	0,47	0,44	0,44	0,46	0,58	0,42	**0,44**	**0,07**
Rz [μm]	2,59	3,03	1,97	2,40	2,57	2,86	2,64	2,67	2,94	2,37	**2,60**	**0,29**



Obr. 17. Profil drsnosti povrchu vzorku č.10

2.4.5 Diskuse výsledků

Výsledné odchylky od námi požadovaných rozměrů se velmi liší v závislosti na použitém nástroji. Rozdíly jsou nejvíce patrné mezi klasickými nástroji a nástrojem vyrobeným ze slinutých karbidů. Výsledné rozměry pro čtyřbřitou frézu se liší dokonce i v řádu desetin milimetrů u obou fréz. Například u lineární interpolace na rozměru 20 x 20 mm u vzorku č. 1, který byl obroben na frézce FC 16 CNC (dále FC), jsou skutečné rozměry 20,08 ± 0,03 mm a 20,07 ± 0,03 mm. U interpolace pod úhlem 45° jsou odchylky dokonce ještě větší. A to na rozměru 30 x 30 mm jsou skutečné hodnoty 30,15 ± 0,03 mm a 30,17 ± 0,03 mm. Kruhová interpolace u tohoto vzorku také vykazuje značnou nepřesnost. Oproti požadovaným 45 mm je průměr 45,07 ± 0,04 mm a u hloubky drážky je rozměr 6,08 ± 0,01 mm.

Obdobné výsledky byly dosaženy při použití stejného nástroje na frézce HWT C-442 Profi (dále HWT) u vzorku č.6. Zde je skutečný rozměr oproti požadovaným 30 mm dokonce 30,17 ± 0,04 mm.

Také dvoubřitý nástroj nedopadl ani na jednom stroji zrovna nejlépe. U frézky FC na vzorku č. 5 je místo požadovaných 20 mm rozměr 20,14 ± 0,03 mm, u kruhové interpolace 45,13 ± 0,03 mm a u interpolace pod úhlem 45° pak 30,17 ± 0,03 mm. Při měření interpolace v oce z jsou naopak naměřené hodnoty velmi blízko požadovaným. Jsou to hodnoty 5,99 ± 0,01 mm a 6,00 ± 0,01mm Frézka HWT vykazuje u tohoto nástroje nejvyšší odchylku u vzorku č.10 a to 20,11 ± 0,01 mm namísto požadovaných 20 mm, 30,12 ±0,01 mm , 45,11 ± 0,01 mm a 5,97 ± 0,02 mm.

Záměrně jsem si na závěr ponechal vzorky obrobené frézou ze slinutých karbidů. Tento nástroj vykazoval nejlepší výsledky co se týče přesnosti obrobení. U vzorků obrobených na frézce FC jde u lineární interpolace například o hodnoty 20,024 ± 0,009 mm, jako nejméně přesný, a 20,000 ± 0,007 mm jako nejpřesnější. Interpolace pod úhlem se jeví také jako daleko přesnější. Jde například o hodnoty 30,036 ± 0,002 mm, nebo 29,998 ± 0,003 mm.

Použití tohoto nástroje na frézce HWT přináší dokonce lepší výsledky. U lineárního posuvu nepřekročí odchylka řád tisícin milimetru. U interpolace pod úhlem dosahuje přesnosti kolem 0,02 mm. také kruhová interpolace je mnohem přesnější a odchylka nepřesahuje v průměru 0,01 mm.

Při sledování drsnosti povrchu dosáhla frézka FC daleko nižších drsností povrchů, než frézka HWT a to u všech použitých nástrojů. Tento rozdíl drsností povrchů je někdy až dvojnásobný, jako například rozdíl hodnoty Ra 0,24 ± 0,02 μm u frézky FC a 0,44 ± 0,040 μm u frézky HWT.

3 ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem se přesvědčil o rychlém vývoji výpočetní techniky za několik posledních desetiletí. A tento vývoj samozřejmě ovlivňuje celou řadu oborů včetně NC obrábění. Rozdíl v datu výroby obou frézek je zhruba 10 let a za tuto dobu se zejména způsob přípravy programů pro CNC frézky zrychlil a zjednodušil. Programy pro vytváření 3D aplikací jako například Autodesk Inventor, Catia a další umožňují velmi rychle a efektivně navrhovat součásti i celé sestavy. Takto vytvořené 3D modely lze poté v programu Surfcam použít pro vytvoření řídícího programu pro CNC stroje. Odpadá tedy ruční programování. Programátor již dnes nemusí zdlouhavě propočítávat souřadnice dráhy nástroje, stačí když do programu nadefinuje požadavky jako například rychlost posuvu, otáčky vřetene, druh a rozměry použitého nástroje a další důležité omezující podmínky. Pomocí vizualizace lze vyhledat možné chyby a kolizní stavy v obráběcím prostoru stroje ještě před samotným spuštěním programu na stroji. Vyhledávání těchto kolizních stavů v programu pro starší frézku probíhalo přímo při běhu stroje, pouze místo obrobku jsem do svěráku stroje upnul krychličku napěněného polystyrenu. Ten mi vzhledem k mým malým zkušenostem s programováním CNC strojů umožnil vyzkoušet program bez obavy z poškození nástroje, nebo dokonce celého stroje. Je logické, že vizualizace pomocí programu surfcam samozřejmě celý tento proces zrychluje a zefektivňuje, což vede k tolik žádaným úsporám finančních prostředků. Navíc ovládání ani jednoho z jmenovaných programů není nijak složité, i když pro modelování složitějších obrobků je potřeba mít dostatek zkušeností. Také práce s programem Surfcam předpokládá dostatečné znalosti teorie obrábění a dostatek praktických zkušeností z tohoto oboru. Oproti tomu odpadá u dnešních strojů nutnost znát potřebné příkazy a příslušné parametry funkcí.

Co se týče mého hlavního úkolu, porovnání přesnosti, i zde se projevil již zmiňovaný desetiletý rozdíl v konstrukci obou strojů. S ohledem na použité měřící přístroje mohu konstatovat, že nová frézka HWT C-442 Profi se ukázala jako přesnější než starší výrobek frézka FC 16 CNC. Frézka HWT překonala v přesnosti obrobení téměř ve všech případech starší frézku FC. Přesto se zde ukázalo, že daleko větší vliv na přesnost výroby než stáří stroje má kvalita použitého nástroje, respektive materiál použitý k jeho výrobě. Tato práce ukázala opodstatnění vyšších investic za nákup sice dražších, ale

daleko přesnějších nástrojů ze slinutých karbidů, se kterými se podařilo dosáhnout dokonce vyšší přesnosti, než garantuje výrobce.

4 LITERATURA

4.1 Seznam použité literatury

(1) Adamec, J, Smolková, H. *Příklady programů pro číslicově řízené obráběcí stroje*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 2004. ISBN 80–248–0250-3

(2) Kocman, K, Prokop, J. *Technologie obrábění*. CERM, Brno, 2001. ISBN 80-214-1996-2

(3) Kolektiv autorů. *Měřící technika pro třískové obrábění*. OBIS VTEI INPRO. Praha, 1988.

(4) Lukovics, I. *Konstrukční materiály a technologie*. VUT v Brně, Brno, 1992. ISBN 80-214-0399-3

(5) Rybín, P, Rafaj, J. *Obsluha a programování CNC strojů*. ČVUT, Praha, 1995. ISBN 80-01-01391-X

(6) Svoboda, E. *Technologie a programování CNC strojů*. Fragment, Havlíčkův Brod, 1998. ISBN 80-7200-297-X.

4.2 Seznam pramenů

(1) http://technik.ihned.cz

(2) http://www.cadforum.cz

(3) http://www.3epraha.cz

(4) http://www.azk.cz

(5) http:// www.mitutoyo-czech.cz/

4.3 Seznam příloh

(1) CNC program pro frézku FC 16 CNC

(2) Výkres zkušebního vzorku

5 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CNC	computer numerical control
NC	numerical control
Ra	průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
Rz	největší výška profilu
λc	dráha, na které provádí surftester měření drsnosti

6 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Vztažné body obráběcího stroje 15
Obr. 2. Frézka FC 16 CNC 31
Obr. 3. Frézka HWT C-442 CNC Profi 33
Obr. 4. Zkušební vzorek 35
Obr.3. Mikrometr Mitutoyo 0-25 mm, 0,001 mm 35
Obr. 6. Hloubkoměr Mitutoyo 0-25 mm, 0,01 mm 36
Obr. 7. Měřič drsnosti povrchu Mitutoyo SJ-301 46
Obr. 8. Profil drsnosti povrchu vzorku č.1 47
Obr. 9. Profil drsnosti povrchu vzorku č.2 48
Obr. 10. Profil drsnosti povrchu vzorku č.3 48
Obr. 11. Profil drsnosti povrchu vzorku č.4 48
Obr. 12. Profil drsnosti povrchu vzorku č.5 49
Obr. 13. Profil drsnosti povrchu vzorku č.6 49
Obr. 14. Profil drsnosti povrchu vzorku č.7 49
Obr. 15. Profil drsnosti povrchu vzorku č.8 50
Obr. 16. Profil drsnosti povrchu vzorku č.9 50
Obr. 17. Profil drsnosti povrchu vzorku č.10 50

7 SEZNAM TABULEK

Tab.1. Specifikace některých základních funkcí pro programování CNC strojů 19
Tab. 2. Parametry funkcí pro CNC programování 20
Tab. 3. Naměřené hodnoty rozměru 20 x 20 mm pro vzorek č. 1 37
Tab. 4. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30 mm pro vzorek č. 1 37
Tab. 5. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č. 1 37
Tab. 6. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č. 1 37
Tab. 7. Naměřené hodnoty rozměru20 x 20 mm pro vzorek č. 2 38
Tab. 8. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30 mm pro vzorek č. 2 38
Tab. 9. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č. 2 38
Tab. 10. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č. 2 38
Tab. 11. Naměřené hodnoty rozměru 20 x 20 mm pro vzorek č. 3 38
Tab. 12. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30 mm pro vzorek č. 3 39
Tab. 13. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č. 3 39
Tab. 14. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č. 3 39
Tab. 15. Naměřené hodnoty rozměru 20 x 20 mm pro vzorek č. 4 39
Tab. 16. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30 mm pro vzorek č. 4 39
Tab. 17. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č. 4 40
Tab. 18. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č. 4 40
Tab. 19. Naměřené hodnoty rozměru 20 x 20 mm pro vzorek č. 5 40
Tab. 20. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30 mm pro vzorek č. 5 40
Tab. 21. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č. 5 40
Tab. 22. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č. 5 40
Tab. 23. Naměřené hodnoty rozměru 20 x 20 mm pro vzorek č. 6 41
Tab. 24. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30mm pro vzorek č. 6 41
Tab. 25. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č. 6 41
Tab. 26. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č.6 41
Tab. 27. Naměřené hodnoty rozměru 20 x 20 mm pro vzorek č. 7 41
Tab. 28. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30mm pro vzorek č. 7 42
Tab. 29. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č. 7 42
Tab. 30. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č.7 42
Tab. 31. Naměřené hodnoty rozměru 20 x 20 mm pro vzorek č. 8 42

Tab. 32. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30mm pro vzorek č. 8 42
Tab. 33. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č. 8..... 43
Tab. 34. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č.8 43
Tab. 35. Naměřené hodnoty rozměru 20 x 20 mm pro vzorek č. 9 43
Tab. 36. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30mm pro vzorek č. 9 43
Tab. 37. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č.9..... 43
Tab. 38. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č.9 44
Tab. 39. Naměřené hodnoty rozměru 20 x 20 mm pro vzorek č. 10 44
Tab. 40. Naměřené hodnoty rozměru 30 x 30mm pro vzorek č. 10 44
Tab. 41. Naměřené hodnoty hloubky drážky pro vzorek č.10..... 44
Tab. 42. Naměřené hodnoty průměru 45 mm pro vzorek č.10 44
Tab.43. Výsledné hodnoty pro vzorky obrobené na frézce FC 16 CNC 45
Tab.44. Výsledné hodnoty pro vzorky obrobené na frézce HWT C-442 Profi 45
Tab. 45. Drsnost povrchu pro vzorek č.1..... 47
Tab. 46. Drsnost povrchu pro vzorek č.2..... 47
Tab. 47. Drsnost povrchu pro vzorek č.3..... 48
Tab. 48. Drsnost povrchu pro vzorek č.4..... 48
Tab. 49. Drsnost povrchu pro vzorek č.5..... 48
Tab. 50. Drsnost povrchu pro vzorek č.6..... 49
Tab. 51. Drsnost povrchu pro vzorek č.7..... 49
Tab. 52. Drsnost povrchu pro vzorek č.8..... 50
Tab. 53. Drsnost povrchu pro vzorek č.9..... 50
Tab. 54. Drsnost povrchu pro vzorek č.10..... 50

CNC program pro frézku FC 16 CNC

N1	G90					
N2	M3	S1500				
N3	G01	X0	Y-5.5	Z-0.4	F30	
N4	G01	X23.5	Y-5.5	Z-0.4	F30	
N5	G01	X23.5	Y-9.5	Z-0.4		F30
N6	G01	X2.5	Y-9.5	Z-0.4	F30	
N7	G01	X2.5	Y-13.5	Z-0.4		F30
N8	G01	X23.5	Y-13.5	Z-0.4	F30	
N9	G01	X23.5	Y-17.5	Z-0.4	F30	
N10	G01	X2.5	Y-17.5	Z-0.4	F30	
N11	G01	X2.5	Y-21	Z-0.4	F30	
N12	G01	X23.5	Y-21	Z-0.4	F30	
N13	G00	X23.5	Y-24.5	Z0		
N24	G00	X0	Y-0.5	Z0		
N26	G01	X0	Y-0.5	Z-6.4		F30
N28	G01	X25.5	Y-0.5	Z-6.4		F30
N30	G01	X25.5	Y-25.5	Z-6.4		F30
N32	G01	X0.5	Y-25.5	Z-6.4		F30
N34	G01	X0.5	Y-0.5	Z-6.4		F30
N36	G01	X0.5	Y4	Z-6.4		F30
N38	G01	X25.5	Y4	Z-6.4		F30
N40	G01	X25.5	Y8.5	Z-6.4		F30
N42	G01	X-4	Y8.5	Z-6.4		F30
N44	G01	X-4	Y-25.5	Z-6.4		F30
N46	G01	X-8.5	Y-25.5	Z-6.4		F30
N48	G01	X-8.5	Y0	Z-6.4		F30
N50	G01	X-8.5	Y0	Z0		F30
N52	G00	X30	Y-30.5	Z0		
N54	G01	X30	Y-30.5	Z-6.4		F30
N56	G01	X30	Y0	Z-6.4		F30
N58	G01	X34.5	Y0	Z-6.4		F30
N60	G01	X34.5	Y-30	Z-6.4		F30

```
N62  G01  X0      Y-30     Z-6.4       F30
N64  G01  X0      Y-34.5   Z-6.4       F30
N65  G01  X32     Y-34.5   Z-6.4       F30
N66  G00  X32     Y-34.5   Z0
N68  G00  X0      Y0       Z0
N70  G00  X13     Y11.75   Z0
N72  G01   X13    Y11.75   Z-12.4 F30
N74  G01  X37.75  Y-13     Z-12.4 F30
N76  G01  X13     Y-37.75  Z-12.4 F30
N78  G01  X-11.75 Y-13     Z-12.4 F30
N80  G01   X13    Y11.75   Z-12.4 F30
N82  G01  X13     Y18.12   Z-12.4 F30
N84  G01  X44.12  Y-13     Z-12.4 F30
N86  G01  X13     Y-44.12  Z-12.4 F30
N88  G01  X-18.12 Y-13     Z-12.4 F30
N90  G01  X13     Y18.12   Z-12.4 F30
N92  G00  X13     Y18.12   Z0
N94  G00  X-12    Y-13     Z0
N96  G00  X-12    Y-13     Z-11
N98  G01  X-12    Y-13     Z-18.4 F50
N100 G02  X38     Y-13     Z-18.4 R25  F30
N102 G02  X-12    Y-13     Z-18.4 R25  F30
N104 G00  X-12    Y-13     Z0
N105 G00  X4.5    Y-13     Z0
N106 G01  X20     Y-13     Z-6         F10
N108 G00  X20     Y-13     Z2
N110 G00  X0      Y0       Z50
N112 M5
N114 M30
```