

CNC programování a výroba součásti

Jiří Nosek

Bakalářská práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jiří Nosek
Osobní číslo: T15619
Studijní program: B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Technologická zařízení
Forma studia: prezenční

Téma práce: CNC programování a výroba součástí

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická studie na dané téma
2. Naprogramujte zadanou součást v programu NX, zvolte odpovídající řezné podmínky a nástroje
3. Proveďte výrobu součásti na CNC frézce

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:

2. ledna 2018

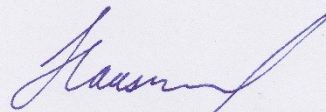
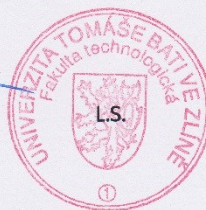
Termín odevzdání bakalářské práce:

18. května 2018

Ve Zlíně dne 13. února 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



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

Příjmení a jméno: Nosek Jiří

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 užít 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 7.5.2018

Nosek

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 nevydělečně 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, užíje-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). Odírá-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 užit 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 jim 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Práce se zabývala výrobou bysty, pro kterou jsem byl předlohou. V první části byla teoreticky rozebírána problematika obrábění, zabýval jsem se číslicově řízenými stroji (CNC) a metodami jejich programování. Cílem praktické části práce bylo naprogramování bysty za pomoci softwaru NX a její výroba na tříosé CNC frézce.

Klíčová slova: CNC programování, výroba, CAD/CAM, tříosá frézka.

ABSTRACT

The thesis is concerned with a production of a bust which I was a model for. The first part deals with the theoretical shaping of products, numerically controlled machines (CNC) and its programming methods. The aim of the practical part is programming the bust with the help of software NX and its production on three-axis CNC milling machine.

Keywords: CNC programming, production, CAD/CAM, three-axis milling machine

Poděkování

Velmi rád bych poděkoval všem, kteří přispěli ke vzniku mé bakalářské práce.

Zvláště vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a ochotný přístup. Kolegovi Martinu Grošovi za práci na modelu a celé mé rodině za podporu.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 OBRÁBĚNÍ	12
1.1 HISTORIE VÝVOJE OBRÁBĚCÍCH STROJŮ AOBRÁBĚNÍ.....	12
1.2 FRÉZOVÁNÍ	16
1.2.1 Frézky.....	17
1.2.2 Frézy.....	18
1.3 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY	19
1.3.1 Nástrojové oceli	19
1.3.1.1 Nástrojové oceli slitinové	19
1.3.2 Slinuté karbidy	20
1.3.3 Keramické řezné materiály	21
1.3.4 Cermety	21
1.3.5 Supertvrdé řezné materiály	22
1.3.5.1 Polykrystalický kubický nitrid boru (PKNB).....	22
1.3.5.2 Polykrystalický diamant (PKD).....	22
2 CNC STROJE	23
2.1 KONSTRUKCE CNC STROJE	23
2.1.1 Design	23
2.1.2 Všeobecné pojmy z oblasti stavby obráběcích CNC strojů	24
2.1.3 Nosná soustava obráběcích CNC strojů.....	26
2.1.4 Topologie prvků nosných soustav.....	28
2.1.5 Vřeteník v systému obráběcího stroje	29
2.1.6 Posuvné soustavy lineární	30
2.1.7 Rotační náhonové soustavy.....	30
2.1.8 Automatická výměna nástrojů.....	30
2.1.9 Automatická výměna obrobků	31
3 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ	32
3.1 STRUKTURA PROGRAMU	32
3.1.1 Řídící program	32
3.2 TVORBA PROGRAMU.....	34
3.2.1 Přiblížení absolutního programování	35
3.2.2 Přiblížení přírůstkového programování.....	35
3.3 CAD/CAM SYSTÉMY	35
3.4 STRUKTURA VÝROBY SOUČÁSTI V CAD/CAM	35
3.5 CAD SYSTÉM	36
3.6 CAM SYSTÉMY	37
3.7 POSTPROCESOR	37
3.8 PŘÍNOS CAD/CAM	37
4 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI	39
II PRAKTICKÁ ČÁST	40
5 TVORBA 3D MODELU	41

5.1	POSTUP TVORBY 3D MODELU	41
5.2	FOCENÍ	41
5.3	TVORBA A ÚPRAVY	42
6	PROGRAMOVÁNÍ V NX 11	43
6.1	SLED OPERACÍ	44
6.1.1	Zarovnání polotovaru nahrubo	45
6.1.2	Zezadu	46
6.1.3	Zepředu	47
6.1.4	Zleva	48
6.1.5	Zprava	49
6.1.6	Začištění zezadu	51
6.2	ZVOLENÉ NÁSTROJE	51
6.3	VERIFIKACE OBRÁBĚNÍ	52
7	ÚPRAVA PROGRAMU PŘED VÝROBOU	53
7.1	ZMĚNA NÁSTROJŮ	53
7.1.1	Zvolené nástroje	53
7.2	PŘEPRACOVÁNÍ PROGRAMU	54
7.2.1	Hrubování	54
7.2.2	Doplňující operace	56
7.2.3	Operace na čisto	57
7.3	KONEČNÝ SLED OPERACÍ	60
8	VÝROBA SOUČÁSTI	62
8.1	NULOVÝ BOD STROJE	62
8.2	POLOTOVAR	63
8.3	OBRÁBĚNÍ	64
8.4	VÝSLEDNÝ VÝROBEK	70
	ZÁVĚR	71
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	72
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	74
	SEZNAM OBRÁZKŮ	75
	SEZNAM TABULEK	78
	SEZNAM PŘÍLOH	79

ÚVOD

Dané téma jsem si vybral, protože je mi blízké. Již jsem se s CNC stroji setkal a věděl jsem, co mohu očekávat. Cílem mé práce byla teoretická studie na dané téma, naprogramování zadané součásti v programu NX, zvolení odpovídajících řezných podmínek, nástrojů a provedení výroby součásti na CNC frézce.

Obrábění jako takové je výrobní odvětví, kterým se lidstvo zabývá od nepaměti. Jeho historický vývoj popisují v kapitole 1.1, ve které dále plynule navazují na historický vývoj CNC obráběcích strojů. Ruku v ruce jde s vývojem těchto strojů také rozvoj výrobních postupů, nástrojů a jejich materiálů.

CNC stroje jsou sofistikovaná zařízení, která umožňují mnohem přesnější obrábění díky řízení počítačem. Dříve obráběcí stroje ovládal pouze člověk a výsledek závisel na schopnosti jednotlivce. Pro bližší seznámení s těmito stroji je zde kapitola 2, která detailněji rozebírá jednotlivé prvky CNC strojů.

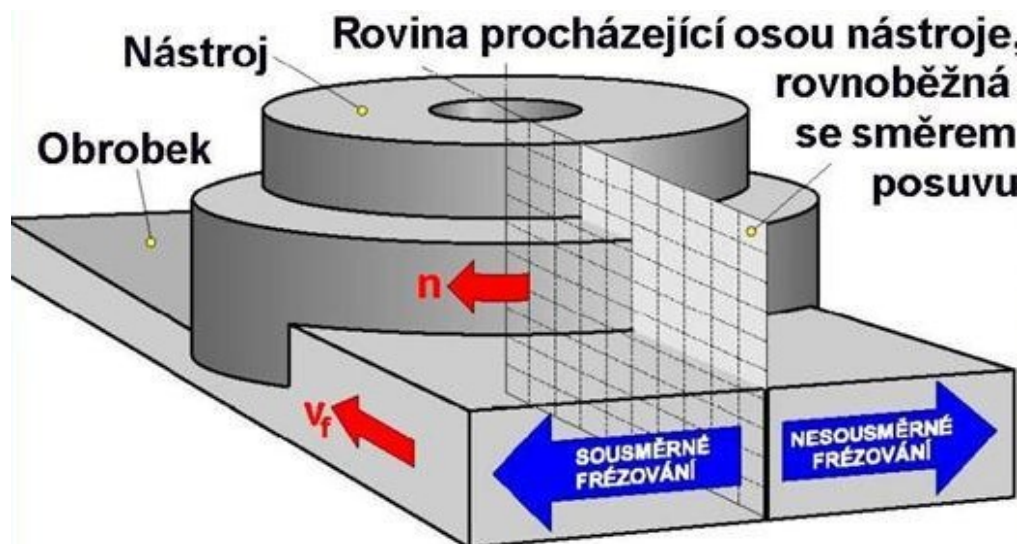
Mozkem CNC stroje je jeho program. Ten je tvořen v CAD/CAM systémech, počítačových programech, skrze které člověk generuje dráhy nástroje. Bez těchto podpůrných systémů a moderní výpočtové techniky by naprogramování složitějšího tvaru bylo skoro nemožné. Zářným příkladem je právě bysta, kterou v této práci vyrábím. Naprogramování frézování jejího tvaru ručně by pro mne bylo nemožné. Pro uvedení do světa programování CNC strojů a lepší pochopení samotného programování je zde kapitola 3.

Praktická část je zaměřena na dvě stěžejní úlohy. První je, vytvořit posloupnost obráběcích operací, která správně a efektivně vyrobí bystu a naprogramovat tuto posloupnost v programu Siemens NX 11. A druhá, ve které díky tomuto programu bystu reálně vyrobím.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OBRÁBĚNÍ

Obrábění je technologický proces, při kterém je přebytečná část materiálu oddělována z obrobku klínem řezného nástroje ve formě třísky. Obrábění se uskutečňuje v soustavě stroj – nástroj – obrobek, kde je stroj zastoupen na obrázku 1 symbolicky univerzálním sklíčidlem a opěrným hrotem. [2]



Obr. 1 Soustava: Stroj - nástroj – obrobek [2]

V konkrétním slova smyslu je obrábění technologický proces, kterým se polotovar opracovává na požadovaný tvar, rozměr a jakost povrchu. Proces probíhá oddělováním přebytečného materiálu ve formě třísek, což nazýváme třískové obrábění.

Třískové obrábění se dá popsat jako vtlačování řezného klínu do materiálu za účelem dosažení obrobení polotovaru. Přitom dochází k porušení soudržných sil obráběného materiálu, který se odděluje ve formě třísky jako odpad.

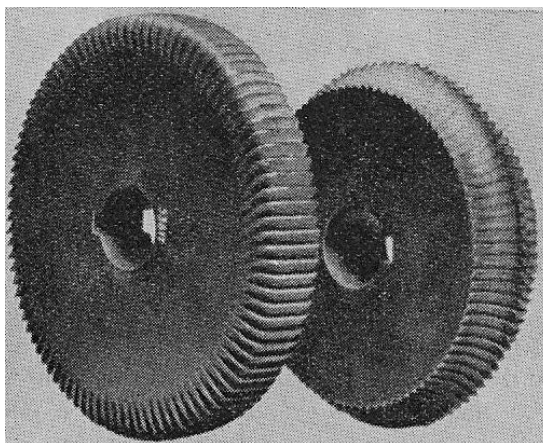
Náš výsledný výrobek se bude vyrábět na CNC frézce. Proto se dále zaměříme na obráběcí frézky.

1.1 Historie vývoje obráběcích strojů a obrábění

Nejstarší známé obráběcí stroje byly vyrobeny ve středověku. Konkrétně ve čtrnáctém století díky objevu střelného prachu. Tehdejšími řemeslníky byl zadán úkol vytvořit zařízení pro nejlepší využití energie prachu. Těmito zařízeními se stala děla, která jako první začali vyrábět slévači zvonů. Jejich vědomosti ani nástroje však nebyly dostačující.

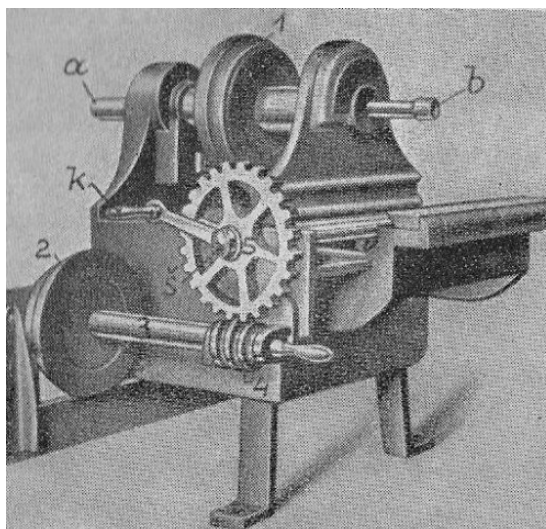
Pro správnou funkci musely být otvory děl přesně obrobeny. Díky této potřebě se vynalezly nejprve vrtačky a posléze soustruhy. [1]

Postupem času se objevily také frézky se svými nástroji frézami. První frézy, zhotovené na konci osmnáctého století, se hlavně používaly v zámečnictví na rozmanité pilovací práce. Jejich břity se podobaly pilníkům. [1]



Obr. 2 Původních frézy 18. stol. [1]

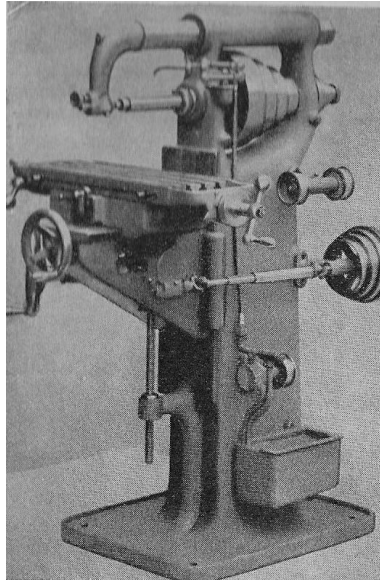
K většímu využití v technické praxi však došlo až po světové výstavě v Paříži pořádané v r. 1867. Zde byl předváděn jejich způsob práce na universální frézce. Ty již měly všechny podstatné znaky frézek novodobých. Dělicí přístroj. Otočný stůl. Na vysokém skříňovém stojanu spočíval vřeteník. Na vřeteníku čtyřstupňový řemenový kotouč apod.[1]



Obr. 3 Frézka z roku 1818 [1]

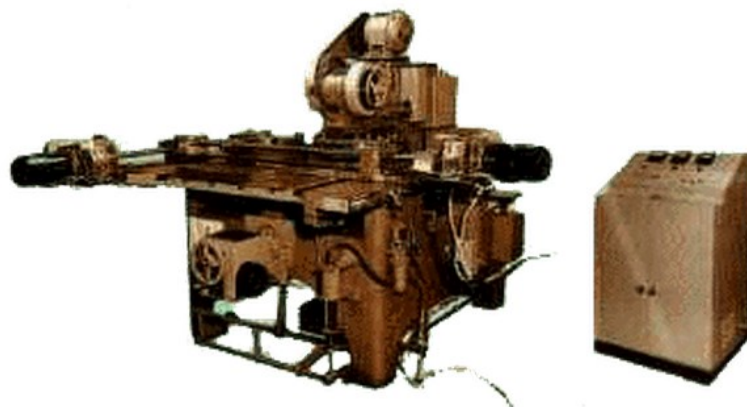
(1 – Hnací kotouč; 2 – Hnaný kotouč; 3 - Převodový hřídel; 4 – Šroub; 5 – Kolo šroubové; b – Upnutí frézy; k – Klika rychlo posuvu; š – Záběrový šroub)

Obráběcí stroje obecně byly, a stále jsou, nepřetržitě zdokonalovány. Na urychlený rozvoj v devatenáctém století měl vliv hlavně vývoj zbrojní techniky a vynález parního stroje. Dále pak mělo vliv na celkovou konstrukci strojů zavedení rychlořezných ocelí a tvrdých kovů asi v r. 1900. V neposlední řadě se na rozšíření obráběcích strojů zasloužila jednoduchá obsluha. [1]



Obr. 4 Frézka z roku 1900 [1]

Avšak zvláště významný rozvoj začal ve 20. století. V tomto období do procesů třískového obrábění vstupují prvky řízení a automatizace. Již okolo roku 1950 se jako pohonné jednotky začaly používat elektricky řízené hydromotory a později elektromotory. Prvními z takzvaných NC konzolových frézek byly modifikované konvenční stroje. Jejich řídicí systémy pracovaly na principu vakuových lamp. V 70. letech se začaly aplikovat kuličkové šrouby a hydrostatická vedení. NC systémy doplňovaly paměti a tím byly schopné editovat programy. Od nich už nechybělo málo k prvním CNC systémům. [1]



Obr. 5 První NC stroj od firmy Fanuc z roku 1951[1]

80. léta přinesla vybavování strojů zásobníky nástrojů i obrobků. Spolu s tím se do NC strojů přidávaly senzory, které sledovaly pohon a jednotlivé mechanismy. Systémy, které řídily procesy, byly založeny na bázi CNC/PLC s multiprocessorovými mikropočítačovými strukturami. V tomto období se výrazně rozrostlo využití frézovacích i soustružnických center do technologií třískového obrábění. V 90. letech se zvětšily zásobníky na velkokapacitní. Zavedla se také mezioperace s dopravou nástrojů i obrobků. Výroba na NC strojích se výrazně zvyšovala. Stejně tak rostla produktivita výroby. Zvyšující se možnosti obráběcích center vedly k většímu uplatnění hlavně v pružných výrobních systémech. Ve 21. století se začalo pracovat na nové generaci obráběcích center. Vývoj se zaměřil na multifunkčnost strojů. Také se začal sjednocovat hardware a software. Již je běžnou praxí, že CNC stroj má v sobě integrován CAD/CAM systém a je dále provázán s externím počítačem.

CNC stroje prošly ve svém vývoji několika vývojovými stupni, které můžeme rozdělit na čtyři základní etapy [2]

První generace – tyto první stroje vycházely z koncepcí konvenčních strojů. Byly pouze doplněny o řídicí systém. Program byl přenášen na děrných nebo magnetických páskách. Stroje umožňovaly řízení v pravoúhlých cyklech. Měly nízkou přesnost a spolehlivost. Dnes už se s nimi nesetkáme.

Druhá generace – zde je už mechanická část stroje upravená a rozšířena o revolverové hlavy nebo zásobníky nástrojů. Začínají se zde uplatňovat integrované obvody. Stroje umožňují řízení v obecných cyklech.

Třetí generace – mechanická část je zde ještě více upravena a zdokonalena. Možnost přímého řízení mikropočítačem. Pohon posuvů zajišťují kuličkové šrouby a pro větší přesnost je lože vybaveno kalenými lištami. Počítač tu už řídí výměníky nástrojů a další funkce, jako například systém dopravy nástrojů a obrobků.

Čtvrtá generace – doposud nejdokonalejší typy obráběcích strojů. Předpokládá se adaptabilní řízení celého procesu včetně aktivní rozměrové kontroly. Systém vyhodnocuje hodnoty, jako například kvalitu povrchu nebo řeznou rychlost a sám určí takové řezné podmínky, které zaručí požadovaný výsledek. U těchto strojů už je samozřejmostí možnost zavádění progresivnějších metod v konstrukci (např. uplatnění laserových paprsků v měření a kontrole). [2]



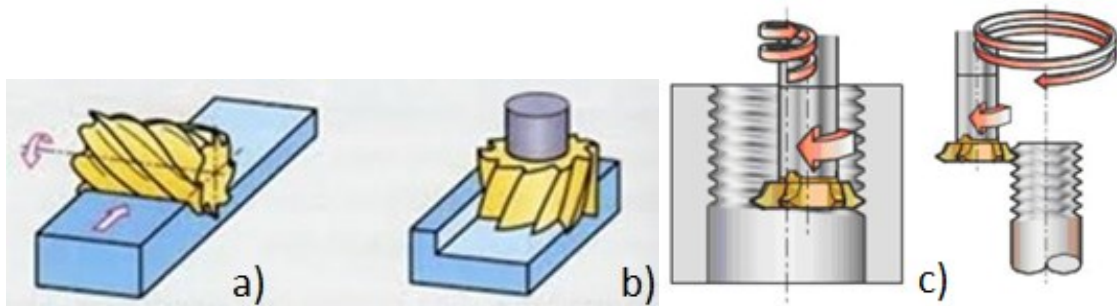
X / Y / Z 900 / 590 / 520

Obr. 6 Příklad frézovacího CNC stroje [11]

1.2 Frézování

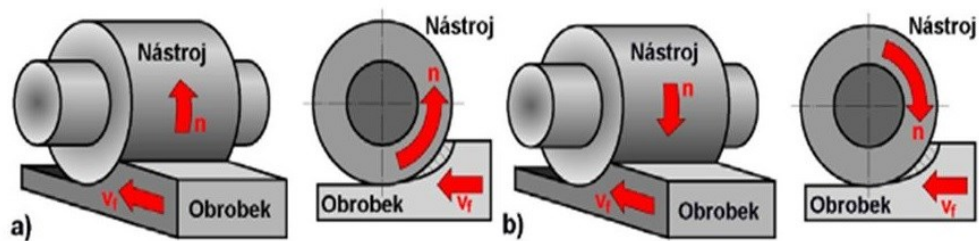
Frézování je po soustružení nejpoužívanější metodou obrábění, při které každý břit – zub víceklínového nástroje odebrává třísku. Nástroj – fréza – vykonává hlavní pohyb, vedlejší pohyb – posuv – zpravidla vykonává obrobek. Úběr materiálu při frézování je přerušovaný řezný klín. Ten se po vyjetí ze záběru ochlazuje až do nového záběru. [4]

Frézováním se vyrábí rovinné a tvarové přímkové plochy. Podle způsobů záběru frézy do materiálu obrobku rozeznáváme frézování válcové, čelní a okružovací.[4]



Obr. 7 a) Válcové frézování b) Čelní frézování c) Okružovací frézování [12]

Při válcovém frézování se odebrává z obrobku třísky břitů uspořádanými po obvodě frézy. Směr posuvu je kolmý k ose frézy. Výsledný řezný pohyb, tj. dráha břitu nástroje vzhledem k obrobku, je prodloužená cykloida, vytvořená otáčivým pohybem břitu nástroje a podélným, přímočarým pohybem obrobku. Podle směru obrobku vzhledem ke směru otáčení frézy rozeznáváme frézování sousledné a nesousledné, podle toho se mění i průřez odebírané třísky od maxima do nuly nebo od nuly do maxima. [4]



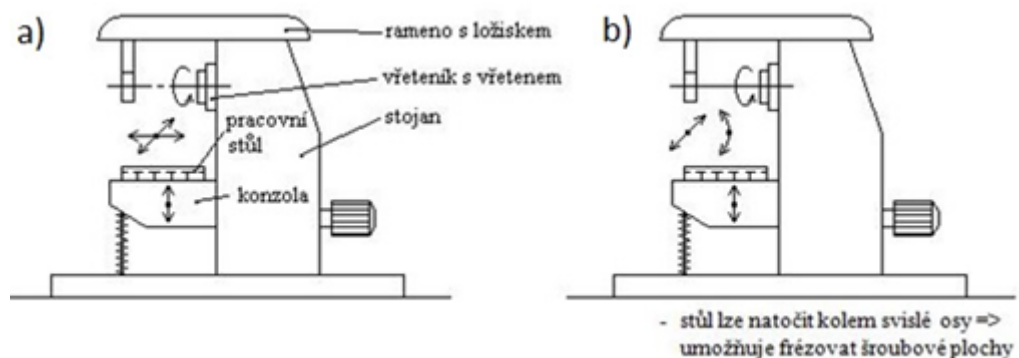
Obr. 8 Válcové frézování: a) nesousledné b) sousledné[2]

Při čelním frézování je osa frézy kolmá k frézované ploše, z níž se oddělují třísky bříty na čele. Fréza (stopková) však může oddělovat i třísky bříty na obvodu, případně jen na obvodu. Pak je opracovávaná plocha rovnoběžná s osou frézy a podle jejího tvaru to může být buď plocha rovinná, nebo tvarová. [4]

Při okružovacím frézování se vícebřítý nástroj (např. hlava osazená mnoha břitovými destičkami) otáčí vně či uvnitř obrobku, který se rovněž otáčí. Tím můžeme vytvořit frézováním rotační plochy válcové i tvarové. Nejčastěji se používá na výrobu závitů. [4]

1.2.1 Frézky

Frézování přímkových, rovinných a tvarových ploch se provádí na frézkách různé konstrukce. Nejčastěji se používá konzolová frézka univerzální, která může mít svislou nebo vodorovnou frézovací hlavu. Je vybavena také dělicím přístrojem a otočným stolem. Další typy frézek jsou frézky rovinné pro výrobu větších rovinných ploch (např. vodící plochy obráběcích stojů). Pro výrobu tvarových ploch (dutiny forem, kopyta atd.) se používají kopírovací frézky. Kromě základních typů frézovacích strojů se uplatňuje také řada speciálních frézek, např. frézky na drážky, vačky, křivkové bubny, pantografické, na závitů a na ozubení. [4]



Obr. 9 a) Vodorovné (horizontální) frézky b) Univerzální

1.2.2 Frézy

Frézy jsou několikabřité nástroje, jejichž břity jsou uspořádány na válcové, kuželové nebo jiné tvarové ploše tělesa frézy, u čelních fréz také na čelní ploše. Materiály břitů se liší podle různých parametrů. Rozeznáváme několik druhů fréz. Typy různých nástrojů jsou znázorněny na obr. 10 a v tabulce 1



Obr. 10 Příklady nástrojů pro frézování [4]

Tab. 1 Frézy a příklady frézování nerotačních ploch [4]

<p>Nástrčná čelně-válcová fréza</p>	<p>Fréza stopková čelně-válcová</p>	<p>Frézování rovinné plochy frézovací hlavou</p>
<p>Kotoučová fréza s prostrádaným sklonem břitů</p>	<p>Fréza stopková čelně-válcová</p>	<p>Válcová fréza se zuby ve šroubovici</p>
<p>Frézování drážky dvoubřítovou drážkovací frézou</p>	<p>Frézování drážek a vodících ploch a) kotoučovou frézou b) stopkovými tvarovými frézami</p>	
<p>Frézování tvarových ploch a) kotoučovými frézami b) soustavou válcových a kotoučových fréz</p>		<p>Frézování ozubení kotoučovou modulovou frézou</p>

1.3 Nástrojové materiály

Na kvalitě břitu závisí produktivita, vlastní proces obrábění a hospodárnost obrábění. Proto by se měla volbě materiálu věnovat velká pozornost. Věnujeme se tvrdosti materiálu (musí být min. o 6 HRC více než obráběný materiál), pevnosti, houževnatosti, odolnosti proti otěru a tepelné odolnosti.[2]

1.3.1 Nástrojové oceli

Nástrojové oceli uhlíkové jsou vhodné především pro ruční nástroje. Pro strojní obrábění se používají jen ve výjimečných případech. Neobsahují přísadové prvky a jejich vlastnosti jsou dány pouze množstvím uhlíku. Používají se především oceli s obsahem uhlíku od 1,0 do 1,35%, které mají dostatečnou tvrdost i houževnatost a jsou vhodné pro ruční výstružníky, výhrubníky, závitníky, dláta, pily apod. Oceli s vyšším obsahem uhlíku, to jest do 1,5% mají vysokou tvrdost, ale nízkou houževnatost a jsou vhodné pro výrobu pilníků. [2]



Obr. 11 Příklady fréz z nástrojové oceli [13]

1.3.1.1 Nástrojové oceli slitinové

Nástrojové oceli manganové. Malé množství manganu zpomaluje rekrystalizaci po. Křivky diagramu jsou vlivem manganu posunuty k nižším teplotám a delším časům. Oceli obsahují asi 2% manganu. Při kalení se minimálně deformují a jsou vysoce rozměrově stálé. Tvrdost a odolnost je u manganových ocelí téměř stejná jako u ocelí uhlíkových. Manganové oceli se používají tam, kde záleží na dodržení rozměrové a tvarové přesnosti, jako například na závitníky, závitové čelisti, závitové frézy, ruční výstružníky a měřidla.[2]

Nástrojové oceli chromové. Při obsahu 4% chromu jsou oceli kalitelné již na vzduchu. Obsah chromu nad 20% se projevuje tzv. sekundární tvrdostí. Chrom je kromě karbidů chromu rozpuštěn i v základní hmotě feritu a zvyšuje tak pevnost a houževnatost oceli.

Chromové oceli mají dobré vlastnosti, co se týče řezivosti a odolnosti proti otěru. Jsou vhodné pro nástroje, u kterých se vyžaduje vysoká tvrdost, houževnatost a snadné tepelné zpracování, jako např. vrtáky, výstružníky, tvarové nože, tvarové frézy a protahovací trny. Díky tomu, že si chromové oceli udržují během kalení rozměrovou a tvarovou přesnost, jsou také vhodné i pro výrobu nejpřesnějších měřidel. Chromové oceli jsou také vhodné pro nástroje k obrábění i velmi tvrdých materiálů, jako je např. sklo, mramor, břidlice nebo materiály se špatným odvodem tepla, jako jsou např. plasty, tvrdé dřevo atd. [2]

Oceli wolframové. Wolfram je pro nástrojové oceli jeden z velmi důležitých legujících prvků a často se kombinuje s chromem a dalšími prvky. Tvoří více druhů karbidů, které jsou velmi tvrdé a stabilní. Wolframové oceli proto vykazují vysokou tvrdost a odolnost proti otěru. Wolframové oceli zachovávají tvrdost i při vyšších teplotách. Vlivem wolframu se měrné teplo ocelí zvyšuje a snižuje se jejich tepelná vodivost. Proto jsou wolframové oceli velmi náročné na tepelné zpracování. Oceli obsahují do 5% wolframu, s kombinací chromu a vanadu do 2%, se používají k výrobě nejkvalitnějších šroubovitých vrtáků, výstružníků, fréz a chirurgických nástrojů. Jsou vhodné k obrábění nejtvrdějších materiálů. [2]

Oceli slitinové rychlořezné by měly patřit svým vysokým obsahem wolframu mezi oceli wolframové. Pro své velmi odlišné vlastnosti byly však zařazeny do samostatné skupiny nazvané rychlořezné oceli. Obsahují zpravidla méně než 1% uhlíku. [2]

1.3.2 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy (SK) jsou nástrojové materiály, které se vyrábějí práškovou metalurgií z karbidů těžkých kovů: karbidu wolframu, karbidu titanu, karbidu tantalu a kobaltu.

Nejsou to slitiny, ale směsi dvou i více fází. Další tepelné zpracování není možné. Protože slinuté karbidy jsou velmi tvrdé, tvarově a rozměrově se dají upravovat jen v omezené míře pouze broušením, elektroerozivním obráběním a lapováním. Množstvím jednotlivých složek při výrobě SK se může ovlivňovat houževnatost, tvrdost a odolnost proti otěru. Při znalosti vlastností jednotlivých složek se může dokonale využít možností jednotlivých typů SK. [2]

Karbid wolframu zaručuje tvrdost při vysokých teplotách. Dále pak odolnost proti opotřebení a chemickou stálost.

Karbid titanu zvyšuje tvrdost a chemickou stálost za vyšších teplot. Spolu s tím snižuje pevnost slinutých karbidů v ohybu a zvyšuje jejich křehkost. Také zhoršuje tepelnou vodivost a zlepšuje tepelnou roztažnost.

Karbid tantalu má vlastnosti podobné karbidu titanu a ještě zjemňuje strukturu slinutých karbidů.

Kobalt vytváří síťové pojivo mezi zrný karbidů. Zvyšováním obsahu kobaltu ve slinutých karbidech roste tažnost a pevnost, ale zároveň klesá jejich tvrdost [2]



Obr. 12 Destičky z SK [14]

1.3.3 Keramické řezné materiály

Keramické řezné materiály (KM) jsou materiály používané pro specifické účely. Pro jejich výrobu je základní surovina levný a dostupný oxid hlinitý. Nejčastěji se keramické řezné materiály vyrábějí práškovou metalurgií a rovnou slinováním lisovaných prášků do tvaru řezných destiček. Mají velmi malou pevnost v ohybu. Nejdou proto vhodné k obrábění přerušovaným řezem a k obrábění s většími průřezy třísek. V porovnání se slinutými karbidy jsou KM při stejné tvrdosti mnohem odolnější proti otěru než SK. Je možno je použít až pro teploty 1200°C. Destičky z KM se po otupení všech řezných hran neostří, dále se nepoužívají a vyhazují se. Dá se říci, že pořizovací náklady KM jsou srovnatelné s SK.[2]

1.3.4 Cermety

Předpokladem vzniku tohoto nepříliš starého materiálu bylo spojení tvrdosti keramiky a houževnatosti kovu. Z toho také vychází název tohoto materiálu – CERamics a METal. Cermety se značí podle normy ČSN ISO 513 písmeny HT.

Po svém vzniku nebyly cermety považovány za převratnou novinku a uznání se jim dostalo až po delší době a vývoji. Vysoké tvrdosti a větší odolnosti proti deformaci bylo dosaženo větším obsahem karbidu titanu. Jejich výhodou je možnost použití vyšších řez-

ných rychlostí ve srovnání s SK, nevýhodou však zůstává, že je lze díky jejich nižší houževnatosti a odolnosti proti vydrolování použít především pro dokončovací operace.

Tvrдость je srovnatelná s SK. Houževnatost je však nižší. Pevnost cermetů je oproti SK o 15 – 25 % nižší. Také odolnost proti teplotním šokům je nižší. [2,5]



Obr. 13 Cermetové břitové destičky[15]

1.3.5 Supertvrde řezné materiály

Jedná se o nástrojové materiály, které se používají zejména pro speciální aplikace. Tyto materiály nejsou přírodní, nýbrž synteticky vyrobené a řadí se sem:

1.3.5.1 Polykrystalický kubický nitrid boru (PKNB)

Tento materiál je velmi podobný diamantu jak svojí tvrdostí, tak i svými krystaly. Kubický nitrid boru vykazuje při vysokých teplotách (2000 °C) dobrou chemickou stabilitu a odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Jsou součástí řezných destiček slinutých karbidů, ale jsou také vyráběny monolitické vyměnitelné destičky z PKNB. Používáme jej pro obrábění tvrdého a žáruvzdorného materiálu, kalené oceli, nežíhané tvrdé litiny a kobaltové a niklové slitiny.

1.3.5.2 Polykrystalický diamant (PKD)

Nejtvrdším materiálem, který je doposud známý je přírodní diamant. Polykrystalický diamant nedosahuje stejné tvrdosti, ale velmi se jí blíží. Břity z PKD jsou nejčastěji usazeny ve vyměnitelných břitových destičkách ze slinutých karbidů, které zaručují odolnost proti tepelným šokům. Trvanlivost PKD je několikanásobně vyšší než u slinutých karbidů. Používá se pro obrábění neželezných kovů, hliníkových slitin, slitin mědi, kompozitních materiálů vyztužených různými vlákny (skleněná, uhlíková), titanu a jeho slitin, keramiky, grafitu, tvrdého přírodního materiálu (žula, mramor) [5,6]

2 CNC STROJE

Zkratka CNC znamená: „Computer Numeric Control“. Ve spojení s obráběcím strojem lze používat ekvivalent překladu: „Počítačem řízený obráběcí stroj“. Již z této zkratky je patrné, čím jsou tyto stroje tak výjimečné. Veškeré obráběcí úkony má na starosti řídicí systém stroje, tedy počítač.

Proces vytvoření výrobku má tři hlavní části. Modelování, programování a výroba. V modelovací části se vytvoří v CAD programu požadovaný 3D model součásti dle konstrukčních požadavků. Pak se tento model převede do CAM programu. Zde se jasně definují všechny operace obráběcího centra. Nastavují se nejen parametry obrábění, jako je řezná rychlost nebo otáčky, ale také můžeme upravovat směry odjíždění nástroje. Dále nastavujeme například, kterými nástroji budeme obrábět, popř. kdy je má obráběcí centrum vyměnit. Veškerý proces obrábění od polotovaru po hotový výrobek nachystáme v tomto virtuálním prostředí. Zde si také můžeme tento proces virtuálně prohlédnout v simulaci a díky tomu zkontrolovat možné kolize vřetene nebo jaké nepřesnosti má vyrobený prvek oproti vymodelovanému. Výrobní část je pak ta nejjednodušší. Hotový CAM program přeneseme přímo do počítače stroje třeba pomocí flash disku. V tomto počítači můžeme ještě udělat dodatečné úpravy programu. Pak nám už jen stačí vložit polotovar a spustit obráběcí centrum. Podrobněji rozebereme tento proces ve třetí kapitole: PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ. [7]

2.1 Konstrukce CNC stroje

V této kapitole se zaměříme na různé zajímavé aspekty konstrukce CNC stroje. Dotkneme se designu, obecné stavby CNC stroje, nosné soustavy anebo třeba vřeteníku.

2.1.1 Design

Design se během druhé poloviny 20. století stal v průmyslových společnostech součástí aktivit téměř ve všech oblastech lidské činnosti. Jednou z nejvýznamnějších rolí designu je zvyšování estetické a funkční kvality našeho prostředí. Spotřební výrobky, dopravní prostředky i průmyslová zařízení formují naše vnímání okolí a postoj člověka k jeho přijímání. Design vyjadřuje kulturní hodnoty ve stále více racionalizovaném světě. Přináší obsah do našeho života a zvyšuje tak kvalitu naší interakce s materiálním světem.

Uplatnění designu v oblasti strojů a průmyslových zařízení se v některých ohledech odlišuje od významu designu spotřebních výrobků. Do popředí vystupuje především významná funkce utváření pracovního prostředí a co nejvhodnějšího zpřístupnění funkčnosti stroje jeho uživateli. K vytvoření pracovní pohody obsluhy stroje přispívá jak přímá, objektivně hodnotitelná ergonomická měřítka, tak přímá měřítka celkové kompozice hmot, barevnosti a provedení detailů. Cílem je vytvořit pro obsluhu takové pracovní prostředí, které ji nebude nadbytečně unavovat nebo rozptylovat a umožní člověku v optimálních podmínkách stroj ovládat.

Pro výrobce strojů je v současnosti dobrý design již téměř nezbytným prostředkem, který pomáhá v silné konkurenci k lepšímu prosazení se na trhu. Šanci mají takové obráběcí stroje, u nichž se snoubí kvalitní design s funkčností a výkonem. Jednotný firemní styl, jímž se výrobce prezentuje jak v grafické komunikaci, tak designem svých výrobků, je navenek zřetelným znakem vlastní identifikace a přispívá k budování odpovídajícího postavení na trhu.

Mnohé zkušenosti ukazují, že firmy, které integrují do vývoje průmyslový design, dosahují vyšších zisků a obrátu. Například firma Gildemeister provedla v roce 2003 cenově neutrální změny designu u většiny ze svých frézovacích a soustružnických center. Podnik mohl následně dosáhnout zvýšení cen o dvě procenta. Pokud by naopak k redesignu krytování nedošlo, ve stejném časovém období by musela firma počítat s cenovým propadem o pět procent [Beaujean 2011][7]

2.1.2 Všeobecné pojmy z oblasti stavby obráběcích CNC strojů

Lože – část stroje skříňového tvaru, zpravidla s délkou nebo šířkou převládající nad výškou. U většiny strojů spojuje základní části stroje v celek. Na loži jsou vodící plochy (pro stůl, support nebo další základní části), případně dosedací plochy pro uložení dalších základních částí.

Podstavec – má stejnou charakteristiku jako lože, je však bez vodících ploch a slouží pouze pro uložení dalších základních částí.

Základová deska – spodní část stroje plochého tvaru. Jsou na ní dosedací plochy k uložení dalších základních částí, případně upínací plochy s drážkami pro upnutí stolu nebo obrobku.

Stojan – část stroje skříňovitého tvaru s výškou převládající nad délkou nebo šířkou. Jsou na něm vodící nebo dosedací (příp. upínací) plochy pro uložení dalších základních částí stroje. Podle jejich polohy je stojan svislý nebo šikmý.

Sloup – stojatá část stroje válcovitého tvaru s výškou značně převládající nad průměrem. Slouží k ustavení dalších částí stroje (vřeteníku, stolu, ramena).

Konzola – část stroje ustavená zpravidla na základní svislé rovině. Podle polohy roviny dosedacích ploch k ustavení dalších částí je konzola vodorovná, šikmá nebo svislá.

Příčník – vodorovně uložená část stroje skříňovitého tvaru s délkou značně převládající nad výškou a šířkou. Je uložen zpravidla pohyblivě na jednom nebo dvou stojanech a jsou na něm vodící plochy pro vřeteník nebo suport.

Rameno – část stroje s délkou značně převládající nad výškou nebo šířkou. Jedním koncem je pohyblivě uloženo na sloupu nebo stojanu, druhý konec je volný. Na jeho přední svislé straně jsou vodící plochy pro uložení vřeteníku.

Příčka (most) – část skříňovitého tvaru s délkou značně převládající nad výškou a šířkou. Spojuje horní konec stojanů.

Vřeteník – část stroje zpravidla skříňovitého tvaru. Je v něm uloženo vřeteno, případně i převodové ústrojí pro změnu otáček vřetena.

Saně – součást pohybující se přímočaře po vodících plochách základní části. Jsou kratší než vodící plochy základní části.

Smýkadlo – součást pohybující se přímočaře po vodících plochách základní části nebo saní. Je delší než vodící plochy základní části.

Koník – část stroje sestávající z tělesa koníku a posuvné hrotové objímky. Slouží k upínání obrobků, případně nástrojů při obrábění.

Hrotová objímka – součást tvaru dutého válce. V přední části má kuželovitou dutinu pro upnutí hrotu, příp. nástroje.

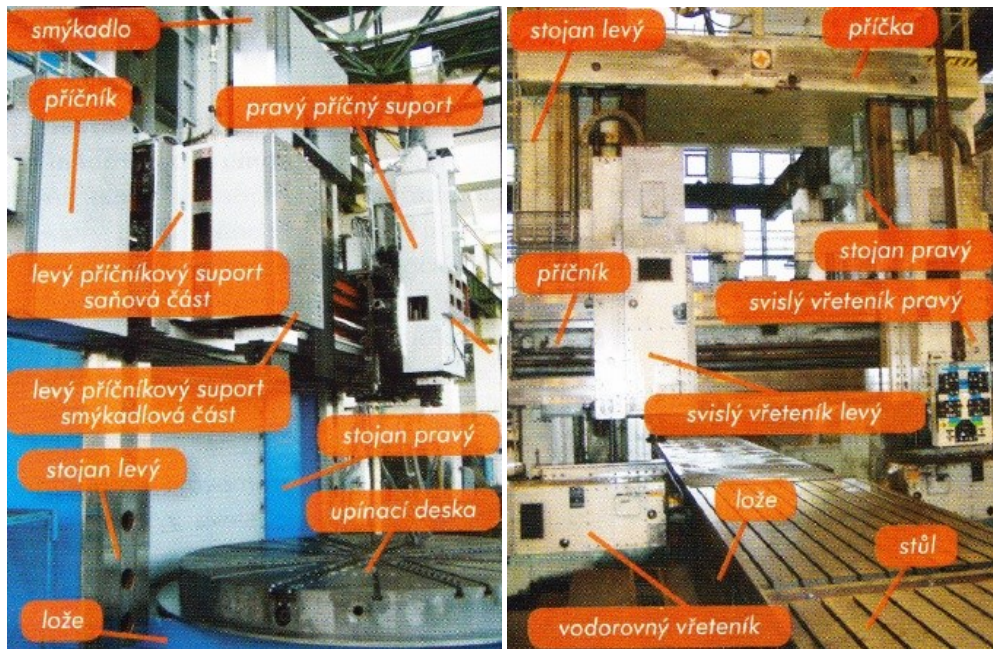
Stůl – část zpravidla plochého tvaru s vodorovnou upínací plochou obdélníkovou, čtvercovou nebo kruhovou, na níž se upíná obrobek. Je-li možno stolem posouvat ve dvou směrech k sobě kolmých, nazývá se stůl křížový, jestliže jím lze otáčet (příp. natáčet), nazývá se otočný (příp. natáčivý).

Suport – část stroje sestávající ze soustavy saní, popřípadě smýkadel, která umožňuje nastavení nástroje do potřebné polohy vzhledem k obrobku a jeho pohyb v určeném směru a smyslu při obrábění.

Vodící šroub – pohybový šroub jedno- nebo několikachodý, zpravidla s lichoběžníkovým závitem. Umožňuje především strojní pohyb suportu při řezání závitu.

Vodící (tažná) hřídel – hřídel zpravidla šestihranného nebo kruhového průřezu. Umožňuje strojní pohyb suportu – smýkadla.

Posuvný šroub – pohybový šroub jedno- nebo několikachodý, zpravidla s lichoběžníkovým závitem. Umožňuje pouze posuv saní nebo jiných strojních částí. [7]



Obr. 14 (Levý) Základní části svislého soustruhu[7]

Obr. 15 (Pravý) Základní části portálové frézky[7]

2.1.3 Nosná soustava obráběcích CNC strojů

Nosná soustava musí splňovat řadu hledisek:

- použití kvalitního materiálu rámu

Při konstrukci nosné soustavy lze využít různých materiálů. Z těch nejpoužívanějších to jsou především šedá litina, ocel nebo ocelolitiny. V poslední době se však dostávají do popředí různé neželezné materiály jako je beton nebo polymer-beton.

- dobrou statickou tuhost

U litin se jí dosahuje větší tloušťkou. To sebou přináší nejen mírný nárůst ceny, ale hlavně velké rozměry a velkou váhu konstrukce. Ocelové konstrukce se nejčastěji svařují. Tím mají při vyšší tuhosti konstrukce znatelně nižší hmotnost. Kvůli velké konzervativnosti oboru výrobní techniky můžeme jen velmi zřídka nalézt uplatnění nekonvenčních materiálů. Jedním z nich je polymer-beton nebo přímo vysokopevnostní beton.

- vyhovující dynamická a tepelná stabilita

V tomto parametru jsou mnohem vhodnější materiály na bázi betonu. Jejich tepelná stabilita je mnohem lepší než u kovových materiálů. Nejvhodnějším materiálem užívaným pro velmi přesné stroje pro mikrofrézování a broušení je přírodní žula. Je dokonale rozměrově stálá a má dobré materiálové tlumení.

- umožnění dobrého odvodu třísek
- jednoduchá a efektivní výroba
- malá hmotnost
- snadná manipulovatelnost
- dobré uložení na základ

Nejdůležitějším z hledisek nosné soustavy obráběcích strojů je udržení tuhosti stroje. Jsou dva druhy tuhosti. Statická a dynamická.

Statická tuhost se určuje buď samostatně, pro každou součást stroje zvlášť - dílčí tuhost (např. tuhost samotného vřetena bez vlivu deformace ložisek, skříně vřeteníku a spojení vřeteníku s ložem) -, nebo pro celou soustavu součástí spojených spolu různými způsoby – tuhost celková (např. tuhost celého suportu). Dílčí tuhost se vyšetřuje tehdy, má-li se kontrolovat vhodnost volby rozměrů, tvaru a materiálu uvažované součásti. Dá se obvykle zjistit s dostatečnou přesností, početně, aplikací metod konečných prvků. Měří-li se deformace vůči sobě, mluví se o tuhosti relativní. [7]

Dynamickou stabilitou nosných soustav obráběcího stroje rozumíme odolnost vůči vibracím. Pojem vibrace u CNC obráběcích strojů označuje mechanické kmitání anebo chvění. Chvění těles je zdrojem hluku. Kmitání obráběcích strojů je jevem velmi škodlivým. Zvyšuje značně namáhání součástí, často až na mez pevnosti materiálu, je pramenem otřesů, které obtěžují okolí a způsobují hluk. V obráběcích strojích zasahuje kmitání přímo do

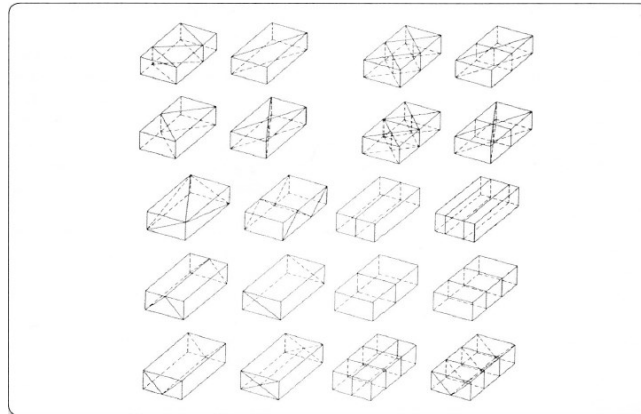
pracovního procesu, neboť zhoršuje jakost obráběné plochy a snižuje trvanlivost nástrojů. Ve skutečnosti je kmitání v obráběcích strojích velmi složitým jevem, neboť jde o soustavu hmotných a pružných těles různými způsoby spolu spojených, které se při kmitání vzájemně ovlivňují. [7]

Zdroje těchto kmitání mohou být:

- nevyváženost rotujících součástí (nástroje, vřetena, obrobku, hřídelí, ozubených kol, spojek, rotoru, elektromotoru apod.)
- setrvačné síly prvků, které konají přímočarý nebo kruhový vratný pohyb (sání, smýkadla)
- nepřesnosti převodových mechanismů (házení ozubených, házení ložisek)
- periodické síly dané principem pohonu (zubová nebo pístová čerpadla apod.)
- periodické síly vnější přenášené z okolí přes základ na stroj
- změna průřezu třísky (periodická budící síla úměrná otáčkám), např. při soustružení polotovaru šestihranu
- proměnlivý řezný odpor, např. při frézování, kde vzniká periodická rušivá síla o frekvenci úměrné součinu otáček nástroje a počtu zubů
- kmity vyvolané vlastním řezáním mají značnou amplitudu a projevují se hlavně při hrubování a v menší míře při dokončování.

2.1.4 Topologie prvků nosných soustav

Nosná soustava musí přenášet jak ohybové, tak i krutové zatížení. Je nutné a žádoucí studovat tyto dva základní druhy namáhání. Staticky lze vyhodnocovat vlastnosti prvků rámu stroje, pokud není jejich geometrie příliš složitá a pokud je zatížení ohybové nebo krutové. Toto je možné u prvků majících jediný hlavní směr deformace a lze je považovat za nosníky (např. stojany). Odolnost prvků rámu (loží, příčníků, stojanů) vůči ohybu i krutu lze zlepšit účelným žebrováním. Teoretické možnosti žebrování lože obráběcího stroje ukazuje obr. 14



Obr. 16 Teoretické možnosti žebrování loží [7]

Běžně používaná konstrukční řešení loží CNC obráběcích strojů jsou však na jedné straně otevřená. Je to dáno výrobními a technologickými důvody (žebrování, přístupy apod.). Nevyužití uzavřeného (krabicového) tvaru se projeví na torzní tuhosti. Velký vliv mají také boční otvory v nosných stěnách. [7]

2.1.5 Vřeteník v systému obráběcího stroje

Hlavní kritéria kvality kladené na obráběcí stroje jsou přesnost práce a výroba. Prostředky na zabezpečení přesnosti práce stroje je tuhost systému a prostředky na zajištění výroby stroje je řezná rychlost. [7]

Výroba obráběcího stroje můžeme efektivně zvýšit zkrácením kusových, t.j. hlavních a vedlejších časů. Přímou spojitost se zkracováním hlavních časů má vřeteník, protože přímo úměrně se zvyšováním frekvence otáčením vřetena se zvyšuje řezná rychlost a tím se zkracují časy obrábění. Výroba stroje je limitována maximální šířkou řezu, která je mírou stability řezného procesu z pohledu vzniku samostatného kmitání. Výroba je limitována dynamickou tuhostí a tlumením systému vřeteno – uložení. Proto stále roste význam určování dynamických charakteristik vřeteníku obráběcího stroje zejména v procesech tzv. vysokorychlostního obrábění. [7]

Celková přesnost práce obráběcího stroje je limitovaná celým řetězcem konstrukčních uzlů, jejich vzájemnou interakcí, statickými a dynamickými vlastnostmi. Vřeteník obráběcího stroje je zpravidla v řetězci sériově uspořádaných konstrukčních uzlů stroje nejslabším, a tedy limitujícím konstrukčním uzlem celkové tuhosti obráběcího stroje. Tuhost systému vřeteno – uložení má přímý vliv na kvalitu povrchu a tvarovou a rozměrovou přesnost vyráběných součástí. To má též přímý vztah na produktivitu nástroje, protože ko-

nečný průběh řezu je charakterizován iniciováním samostatně vzniklých kmitů a to je úměrné tuhosti nástroje a tlumení.[7]

2.1.6 Posuvné soustavy lineární

Skladbu posuvové soustavy dělíme na: způsob náhonu (rotační servopohon a lineární motor), vedení (valivé, kluzné, hydrostatické, kombinované, aerostatické), odměrování polohy (přímé, nepřímé), krytování a přívod médií (teleskopické kryty, měchy, energetické nosiče) a mazání (olejem, tukem). Základní provedení způsobu náhonu pomocí pohybového šroubu a matice se vyskytují dvě provedení: v prvním případě se šroub otáčí a matice posouvá, v druhém se matice otáčí a zároveň posouvá a šroub stojí. Někdy může být výhodné použít i sdružené provedení, kdy otáčivý pohyb vykonává šroub i matice. Třetí možností je provedení náhonu pomocí pastorku a hřebene.

Přímočarý pohyb u CNC obráběcích strojů je buď hlavní posuvný řezný pohyb (nástroje nebo obrobku), nebo pomocný pohyb. Využijeme-li pro náhon kuličkového šroubu a matice (KŠM), vyvozuje motor většinou rotační pohyb, který je přes kuličkový šroub transformován na přímočarý pohyb. Rotační AC servopohon je ke kuličkovému šroubu připojen přímo pomocí spojky přes vložený převod (řemen, ozubená kola), přes vloženou převodovku nebo kombinací uvedených. [7]

2.1.7 Rotační náhonové soustavy

Ve stavbě CNC obráběcích strojů existují dva typy rotačních náhonových soustav podle toho, kterou kinematickou skupinu nahánějí. Jedná se buďto o nástroj (náhon vřetene, náhon naklápěcí hlavy) nebo obrobek (náhon rotačních stolů, náhon naklápěcích stolů). Skladba rotační náhonové soustavy se skládá z: způsobu náhonu (rotační servopohon, přímý), vedení (valivé, hydrostatické, kombinované), odměrování polohy (přímé, nepřímé), mazání (olejem, tukem) a krytování (mechanické kryty, těsnící vzduch) [7]

2.1.8 Automatická výměna nástrojů

Skupina uzlů pro odkládání, manipulaci, polohování a upnutí nástrojových jednotek v obráběcím centru bez užití lidské síly, zručnosti a správy plní úkol automatické výměny nástrojů. U obráběcích center je nezbytným funkčním doplňkem pro zajištění jejich plynulého a nepřetržitého provozu. Je tvořena širokým sortimentem konstrukčních řešení, která mají zajistit optimální užití obráběcího stroje při daných technologických operacích, které definují skladbu nástrojového vybavení.

2.1.9 Automatická výměna obrobků

Konstrukční uzly určené pro manipulaci, polohování a upnutí obrobku v pracovním prostoru obráběcích center představují rozsáhlou skupinu strojních zařízení, jež jsou vedle automatické výměny nástrojů základem pro automatizaci výrobních procesů. Dá se vysledovat řada typů a konstrukčně – technologických principů v závislosti na obrobku, jeho velikosti a například počtu vyráběných kusů. Manuální upínání obrobků na pracovní stůl číslicově řízeného obráběcího centra je často nevhodné, neboť během upínání a seřizování polohy obrobku stroj nepracuje. Tím se snižuje stupeň jeho využití. [7]

3 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ

Program, který řídí CNC stroj, je to, čím se odlišují tyto stroje od obyčejných obráběcích strojů. Proto se v této kapitole zaměříme na jejich tvorbu a strukturu.

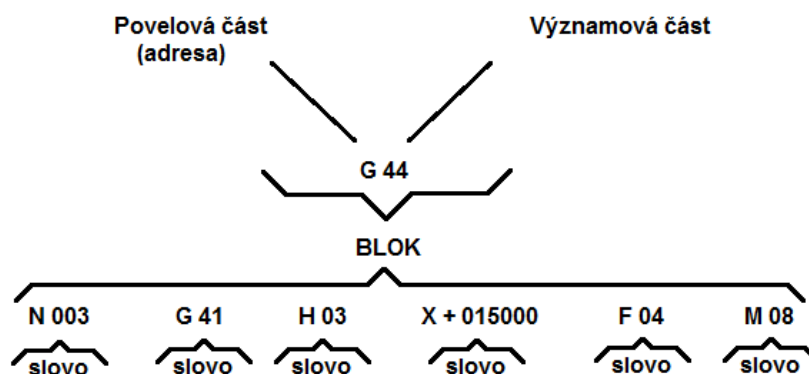
3.1 Struktura programu

Jednotný způsob uspořádání řídicích programů pro CNC stroje se nazývá struktura programu a určuje ji mezinárodní norma ISO 1058

3.1.1 Řídicí program

Řídicí program je soubor číselně vyjádřených informací, které podrobně popisují činnost stroje. Prostředky pro programování zachovávají jednoduchou skladbu slov a používají omezeného souboru znaků. Program se zhotovuje v tzv. strojovém kódu.

Na začátku programu je uveden znak %. Před tímto znakem lze uvádět informace, které stroj nezpracovává. Například poznámky jako je název součástí, údaje o polotovaru, atd. Program se skládá z vět (bloků), věty jsou sestaveny ze slov. Slovo popisuje jeden příkaz. Obsahuje číselný kód, kterému předchází adresový znak. Ten určuje příslušnost ke skupině příkazů. [8]



Obr. 17 Struktura programového slova a bloku[8]

Tab. 2 Složení programu (v bloku)[8]

Příklad				Název	Poznámka
N40 G 00 X 100 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 daném řídicím systému. Doporučuje se dodržovat pro větší přehlednost a kontrolu.
N40	G 00	X 100	Z-50	příkaz (slovo)	
N	G	X	Z	adresa	
40		0		významová část	
100		50		rozměrová část	

Tab. 3 Význam nejpoužívanějších adres[8]

Význam nejpoužívanějších adres:			
Písmeno	Význam	Poznámky	
X Y Z	Základní osy souřadného systému - pohyb v osách	Některá z uvedených písmen abecedy jsou pro výrobce řídicích systémů 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		
T	Nástroj		
D	Paměť korekce nástrojů		
G	Přípravná (geometrická) funkce		Neobsazená písmena abecedy jsou volná, výrobci je obsazují dle specifik svých řídicích systémů, podle možností daných stroji, pro které jsou především určena.
M	Pomocná (přídavná) (strojní) funkce		
N	Číslo bloku (věty)		
F	Posuv		
S	Otáčky vřetene. Konstantní řezná rychlost		
L	Volání programu		

Tab. 4 Význam důležitých funkcí[8]

Název a příklad	Užití
<p>Věta (blok)</p> <p>Věta musí začít písmenem N a číslem. Např.: N 40</p> <p>Př.: N 40 G 00 X 100 Z-50</p> <p>(obvyklé u výukových systémů, ale nemusí u většiny systémů ve výrobní praxi)</p>	<p>Čísluje se obvykle po desítkách, ale bylo možné dodatečné vložení dalších vět např. při opravě programu. Řídicí systém obvykle seřazuje bloky podle čísel vzestupně a v tomto pořadí je čte a stroj vykonává zadané příkazy. Vzestupnost čísel slouží též pro lepší orientaci programátora v programu. Pokud by následující věta (y) obsahovala některé stejné instrukce, nemusí se psát, jsou platné do té doby, než budou přepsány = modulární funkce.</p>
<p>Přípravné (hlavní) funkce</p> <p>G (Go)</p> <p>Př. G00; G01; G41</p>	<p>Zpracovávají geometrické informace. Některé systémy připouštějí vložit i více G funkcí do jedné věty. Dvojmístné číslo se nemusí použít, pokud je první číslo 0. Některé systémy používají více než dvojmístná čísla G a také M</p>
<p>Pomocné funkce</p> <p>M (Machine)</p> <p>Př. M04, také M4</p>	<p>Vyvolávají činnost mechanismu stroje. Některé se také týkají řídicího systému.</p>

Informace o dráze Př. X20 Z-30	Jsou zadány cílovým bodem v souřadnicích absolutně G90, nebo přírůstkem G91
Funkce nástroje T (Tool) Korekce nástroje D př. T01 D01	T a D se udávají obvykle dvojmístným číslem vzájemně souvisejícím. Př. T01 D01 současně zpracovává, přiřazuje k danému nástroji dané korekce. Některé řídicí systémy mají jiné řešení přiřazování korekcí k nástrojům.
Posuvná funkce F (Feed)	Velikost posuvů je zadána v: mm za otáčku u soustruhu [mm/ot] mm za minutu u frézky [mm/min]
Otáčkové funkce S (Speed)	Velikost otáček je zadána za minutu řezné rychlosti [m/min]

3.2 Tvorba programu

Způsoby vytváření programů závisí v současnosti na úrovni výpočtové techniky. Je možné tyto způsoby rozdělit do několika možných druhů: [9, 16]

A

- Absolutní
- Přírůstkové (inkrementální)

B

- Ruční programování
- Strojové programování

C

- Přímý zápis NC kódu
- Pomocí geometrických programovacích jazyků
- Pomocí CAM systému
- Pomocí CAD/CAM, resp. CAD/CAM/CAE systému

D

- Online – programování přímo na CNC stroji, (systém dílenského programování v zahraničí označovaný jako Workshop oriented programming – WOP, Conversational programming a Shop floor programming – SFP)
- Offline - tvorba NC programu mimo RS stroj
 - ručně pomocí zápisu ISO kódu

3.2.1 Přiblížení absolutního programování

Při tomto způsobu programování je koncová poloha bodu zadána vzhledem na nulový bod programu (resp. nulový bod obrobku, stroje) a je nezávislá od momentální (aktuální, poslední) polohy nástroje. To znamená, že těmito hodnotami je určené místo, kde je třeba přesunout nástroj. [9]

3.2.2 Přiblížení přírůstkového programování

Řízením možno zadat, do jaké vzdálenosti a jakým směrem je třeba nástroj přemístit. Tyto údaje se vztahují vždy na momentální (aktuální, poslední) polohu nástroje. Řízení rozpozná inkrementální formu polohy buď příkazem „G91“ anebo podle dodatečného písmena „I“ v označení příslušné osy. [9]

3.3 CAD/CAM systémy

Neustále zvyšující se požadavky na konstrukci výrobků, zkrácení výrobních času, zlepšení kvality a jiné změny je nutné neustále řešit. Řešením těchto složitých situací, které se v praxi často objevují, je použití CAD/CAM systémů. Aplikace CAD/CAM systému umožňuje systémový přístup konstruování při výrobě výrobků, kdy tvorba výrobku je komplexní proces konstruování, testování, korigování chyb, modifikování výroby.

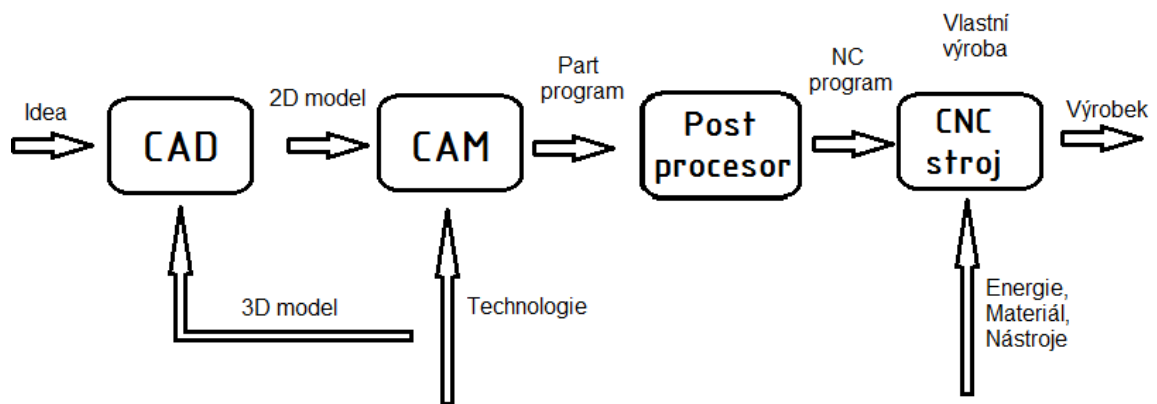
Na trhu existuje mnoho různých softwarových firem, které poskytují CAD/CAM systémy pro stejnou technologii výroby. Každý výrobce má vlastní řešení obsluhy softwaru. V modulech CAM jsou řešeny sdružené technologie, to značí, že na jednom stroji lze např. soustružit i frézovat (obráběcí centra). Tyto systémy realizují vyšší stupeň počítačové podpory než ruční programování. Vytvořený výkres v systému CAD se kopíruje pro další práci v modulu CAM. Popis dráhy, jednotlivé funkce (G,M), atd. se vygenerují automaticky pomocí zadaných příkazů a z 2D výkresu nebo 3D modelu.

CAD/CAM programování vyžaduje od uživatele vyšší znalosti obsluhy modulu CAM. Čím lepší je znalost programátora CAM, tím kvalitnější je výsledný program. Často programátor vyhotoví více variant programu a vybírá časově nenáročný, při kterém je zaručena požadovaná kvalita výrobku. [9]

3.4 Struktura výroby součásti v CAD/CAM

Strukturu výroby součásti v CAD/CAM systémech lze chápat jako souhrn činností probíhajících na jednotlivých rozhraních, které provázejí zhotovení výrobku od počáteční-

ho návrhu až po konečnou výrobu, jejichž výsledkem je samostatný výrobek. Sled těchto operací je schematicky zobrazen na následujícím obrázku. [9]



Obr. 18 Sled operací [9]

3.5 CAD systém

CAD – Computer Aided Design.

Jedná se o konstrukční návrh nové součásti, kdy geometrie je modelována a zobrazena ve skutečné formě. Jedná se tedy o souhrn prostředků pro vytváření geometrických modelů. Informace reprezentující geometrický model jsou uloženy v aplikačně sestavené databázi, která je základem pro řešení problému při navrhování nového modelu. Počítačová podpora návrhu a tvorby dokumentace je způsob geometrického modelování tvaru a rozměru navrhovaného produktu v uživatelsky přehledném prostředí. V prostředí CAD se zhotovuje modelováním ve 2D, což je profil modelu tvořený uzavřenou lomenou čarou nebo modelováním ve 3D, při kterém model odpovídá požadovanému výrobku. K vytváření jednotlivých modelů slouží konstruktérovi různé příkazy pro manipulaci s objekty (posuv, rotace, zrcadlení, zaoblení zkosení, prodloužení), příkazy ke spojování elementů do požadovaného objektu a další.

Výsledkem jsou modely, výkresy, neboli CAD data, která tvoří důležitý faktor při spolupráci CAD systému s dalšími CA systémy a slouží pro další využití (např. přesun modelu do prostředí CAM). [9,10]

3.6 CAM systémy

CAM – ComputerAidedManufacturing

Jedná se o systém, který připravuje data a programy pro řízení číslicově řízených strojů pro automatickou výrobu součástí. Tento systém využívá data vytvořená ve fázi návrhu v systému CAD. Představuje automatizované řízení dat na dílenské úrovni. Produkty tohoto typu umožňují simulovat sled technologických operací při vlastní výrobě součástí. Simulují práci jednotlivých nástrojů v nejrůznějších technologiích obrábění, např. frézování, soustružení, vrtání, obrábění laserem, vodním paprskem atd. Po prověření a odzkoušení bezpečného chodu výroby součástí je tímto modulem vygenerován program pro řízení NC, CNC strojů. [9,10]

3.7 Postprocessor

Problematika postprocesorů je u CAM programů velmi důležitá. Jde vlastně o překlad INC souborů (vygenerovaných drah nástroje) do řeči srozumitelné pro daný řídicí systém obráběcího stroje. Požadavky na postprocessing vycházejí vždy od konkrétně použitého stroje.

Processor vygeneruje APT nebo CL data – „jakýsi program“ pro řízení „ideálního“ stroje. CL data je třeba přizpůsobit technickým možnostem a formálnímu tvaru zadávaného programu pro konkrétní dvojici řídicí systém a stroj. Postprocessor přeloží vygenerované CL data (vygenerované dráhy nástroje) do řeči srozumitelné příslušnému řídicímu systému obráběcího stroje. Je mnoho řídicích systémů. Požadavky na postprocessing tedy vycházejí vždy od konkrétně použitého stroje. U některých CAM systémů se provede výběr postprocesoru, pro daný řídicí systém CNC stroje, ještě před tvorbou postupu obrábění. U jiných CAM systémů se výběr provede těsně před generováním NC kódu. Výběr postprocesoru před tvorbou postupu obrábění má své výhody. CAM systém v tomto případě nabízí jen ty instrukce, které podporuje zvolený postprocessor. [9]

3.8 Přínos CAD/CAM

Aplikace CAD/CAM systému umožňuje přístup konstruování při vývoji výrobků, kdy tvorba programu je komplexní proces konstruování, korigování chyb, programování, modifikování a výroby. Nasazováním CAD/CAM systémů dochází ke snížení doby od přípravy NC programů, přes jejich odladění až k samotné výrobě.

Aplikace CAD/CAM systémů přináší:

- zkrácení času od přípravy NC programů, přes jejich odladění, až k samotné výrobě
- vyšší efektivitu a pokles zmetkovitosti
- snižování nákladů na vývoj a výrobu nových součástí

Vyspělé CAD/CAM systémy umožňují použití nových technologií, kterými lze zvýšit efektivitu obrábění. Použitím vhodných prvků obrábění lze docílit snížení času obrábění, zvýšení životnosti nástroje a taky ke zlepšení kvality povrchu součástí. [9]

4 SHRNUÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

V úvodu teoretické části jsem se seznámil s historií obrábění a CNC strojů. Následně jsem rozebíral teorii frézování a řezných materiálů, dále pak stavbu CNC strojů, jejich součásti a závěrem jsem se dotkl samotného programování CNC strojů.

Obsahem praktické části práce je reálné obrábění na CNC frézce. Jejím cílem je naprogramovat obrábění 3osé CNC frézky v programu NX 11 na převzatém 3D modelu bysty a následné reálné výrobě tohoto modelu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 TVORBA 3D MODELU

Praktická část se zabývá výrobou bysty. Já jsem se stal předlohou. Tvorbu 3D modelu ve virtuální podobě měl na starost kolega Martin Groš. Detailněji rozebírá tento postup ve své bakalářské práci: Třiosé vs. pětiosé frézování tvarových součástí. Má práce je tedy úzce spjata s prací kolegy, a proto zmíním tvorbu modelu.

5.1 Postup tvorby 3D modelu

Pro převedení tvarů hlavy z reálného světa do virtuálního prostředí jsme použili program Regard3D. Tento program dokáže převádět fotky na 3D objekt. Po nafocení dostatečného počtu fotek se v tomto programu nechaly vytvořit body budoucího 3D modelu. Po funkci „spojení bodů“ se vytvořil zdeformovaný, ale již prostorový, 3D model. Pro následné úpravy a vyhlazení byl použit program Autodesk Meshmixer a také 3D builder.

5.2 Focení

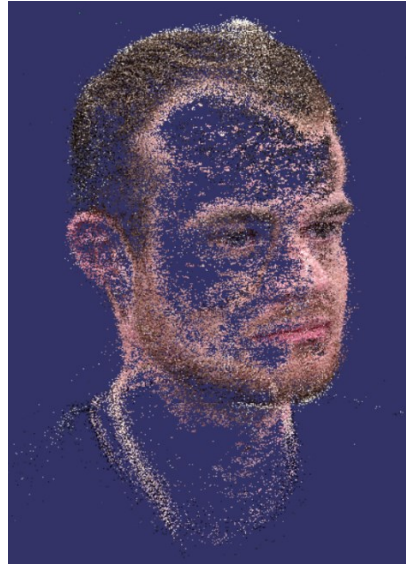
Pro co nejlepší výsledky je třeba fotit za správných podmínek a množství fotek musí být co největší. Průměrný potřebný počet fotek je okolo 150. My jsme nafotili 250 fotek. Fotili jsme na dostatečně osvětlené chodbě s bílým pozadím. Fotili jsme ze tří různých úhlů. Zepředu, ze spodu a z hora. Jeden z důležitých prvků při focení je statický pohyb objektu. Vzhledem k možnostem jsme zvolili způsob, že jsem se já otáčel na otočné židli a fotoaparát byl pevně umístěn na stativu. Důsledkem toho bylo občasné odchýlení od výchozí polohy a jiné chyby. Na obr. 19 vidíme správně vyfocenou fotku.



Obr. 19 Příklad použité fotografie

5.3 Tvorba a úpravy

Protříděné fotky se nahrají do programu Regard3D. Z fotek si program vytvoří Matches, dle kterých vytvoří klíčové body pro tvorbu bodů ve 3D prostoru. Čím více takových bodů, tím je výsledný 3D model lepší.



Obr. 20 Výsledek Matches

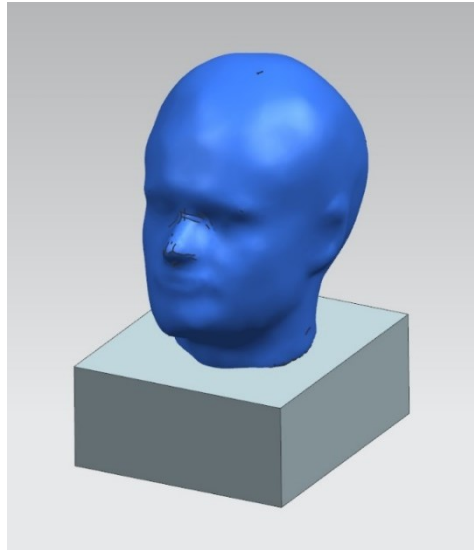
Pro převedení těchto bodů na plochu se použilo funkce Surface. Body se spojí a vytvoří jednolitou plochu ve 3D prostoru. Z obrázku 21 je vidět, že náš výsledek byl nepřesný a deformovaný. Pro vyhlazení těchto nedokonalostí na modelu byl použit program Meshmixer. Dále se model zmenšoval v programu 3D Builder.



Obr. 21 Výsledek Surface

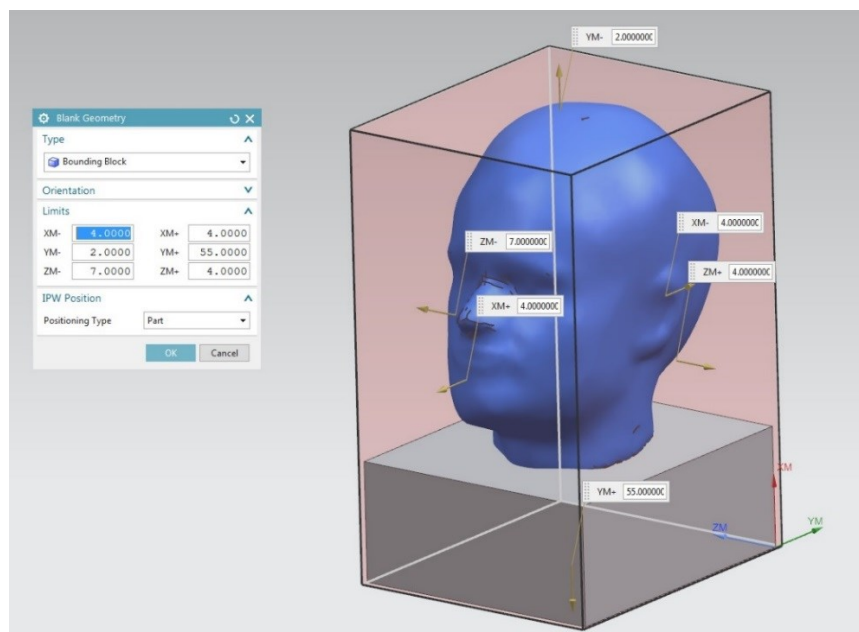
6 PROGRAMOVÁNÍ V NX 11

Pro naprogramování obráběcího procesu jsem použil program NX 11. Na obr. 22 vidíme hotový 3D model otevřen v tomto programu s přimodelovanou podstavou.



Obr. 22 Výsledný 3D model

Rozměry polotovaru: 224 x 150 x 130 [mm]

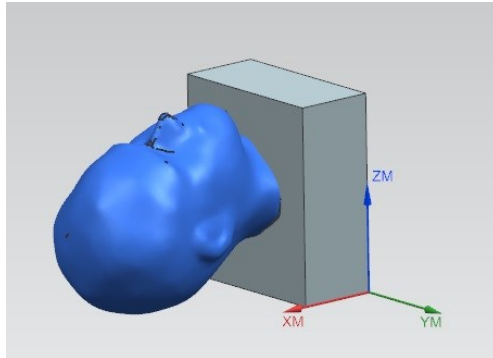


Obr. 23 Polotovar

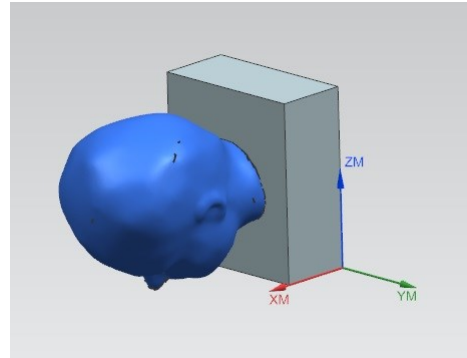
Při každé operaci použity hodnoty:

- Otáčky vřetene: 12 700 [ot/min]
- Posuvová rychlost: 2500 [mm/min]

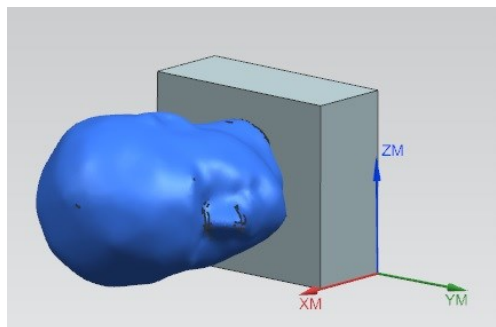
Kvůli potřebě přeupnutí výrobku musíme vytvořit několik nulových bodů. Tato potřeba vychází z komplikovaného tvaru výrobku. Potřebujeme čtyři nulové body, a to: zepředu, zezadu, zprava a zleva.



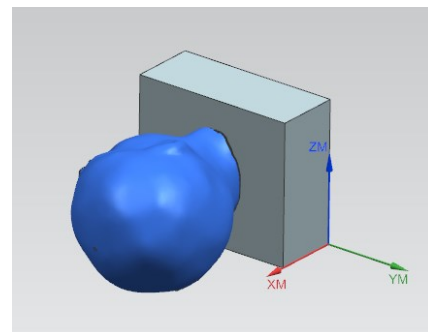
Obr. 25 Nulový bod zepředu



Obr. 24 Nulový bod zezadu



Obr. 27 Nulový bod zleva



Obr. 26 Nulový bod zprava

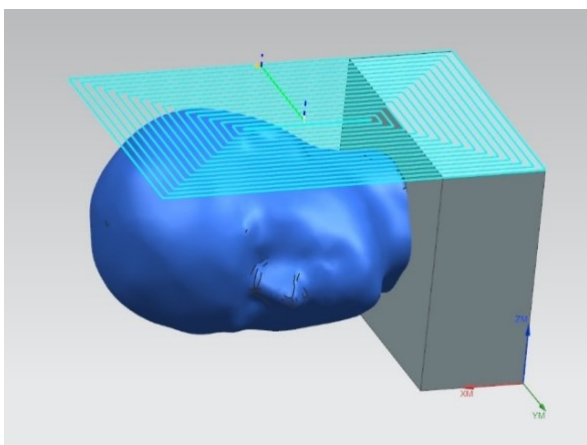
6.1 Sled operací

- Upnutí zezadu
- Zarovnání polotovaru nahrubo
- Zezadu:
 - Hrubování
 - Na čisto
- Přeupnutí zepředu
- Zepředu:
 - Hrubování
 - Na čisto
- Přeupnutí zleva

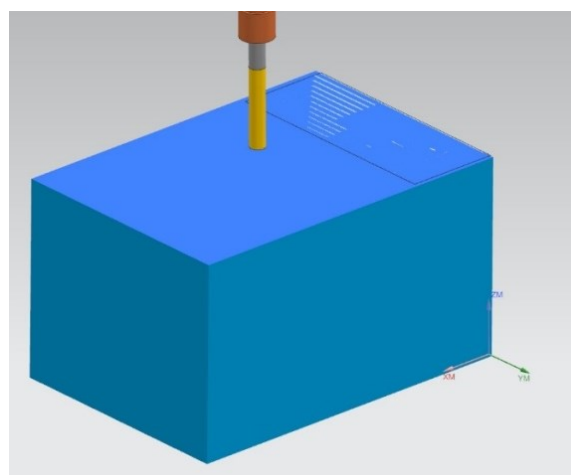
- Zleva:
 - Obrobení zbytků nahrubo
 - Začištění hlavy
 - Začištění krku
- Přeupnutí zprava
- Zprava:
 - Obrobení zbytků nahrubo
 - Začištění hlavy
 - Začištění krku
- Přeupnutí zezadu
- Zezadu:
 - Začištění krku

6.1.1 Zarovnání polotovaru nahrubo

- Použit příkaz PLANAR_MILL – operace pro zarovnání polotovaru na potřebné hodnoty. Stačí nám naprogramovat pouze jedna operace, která je na větší plochu. Na ostatní se dá použít ta samá operace.
- Použito
 - válcová fréza $\varnothing 10$ [mm]
 - oblast: plocha větší strany polotovaru



Obr. 28 Zarovnání - dráha nástroje

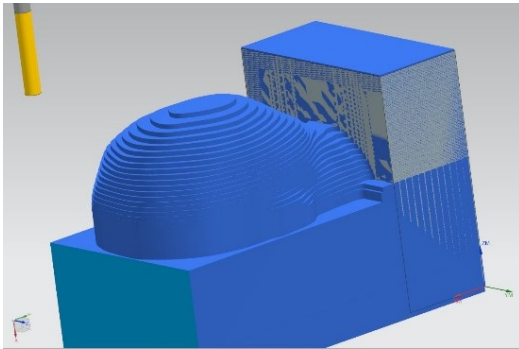


Obr. 29 Zarovnání - vizualizace

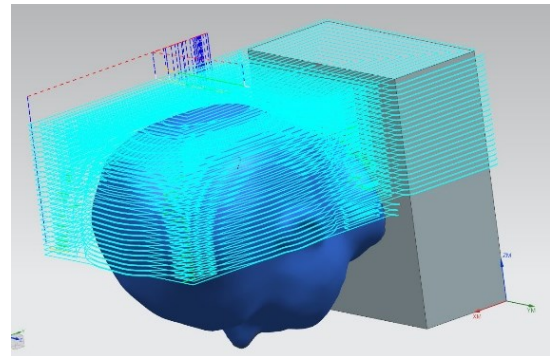
6.1.2 Zezadu

- Operace hrubování

- Použit příkaz CAVITY_MILL – operace, která z polotovaru odebrá přebytečný materiál a zůstává pouze přídavek na obrábění pro následující operace
- Použito:
 - válcová fréza $\varnothing 10$ [mm]
 - přídavek: 1 [mm]
 - hloubka řezu $a_p = 3$ [mm]
 - omezení hloubky řezu v ose ZM = 80,4 [mm]
 - oblast: celá zadní plocha



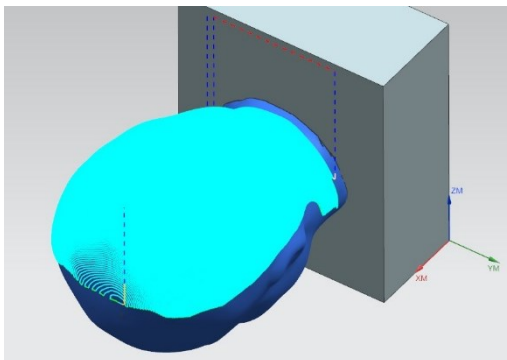
Obr. 30 Hrubování - vizualizace



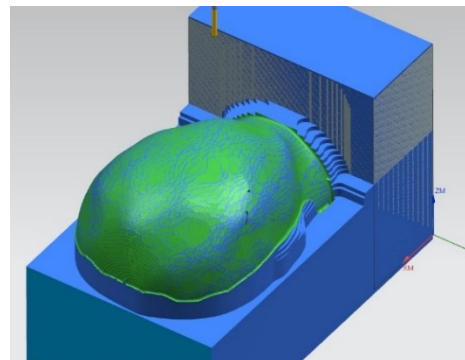
Obr. 31 Hrubování - dráha

Operace na čisto

- Použit příkaz CONTOUR_AREA – operace na obrobení tvaru hlavy na čisto. Odebere přídavek po předchozí operaci a vyhladí zadní část hlavy
- Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 3$ [mm]
 - krok nástroje: 30% průměru nástroje (tedy pro náš případ 0,9 [mm])



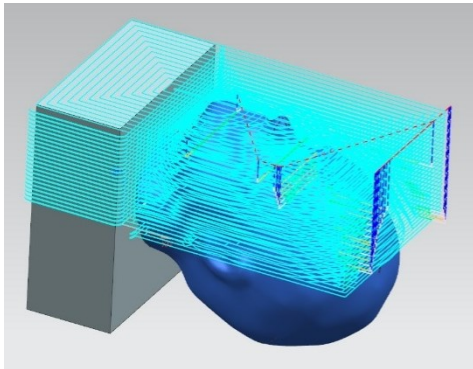
Obr. 32 Na čisto – dráha



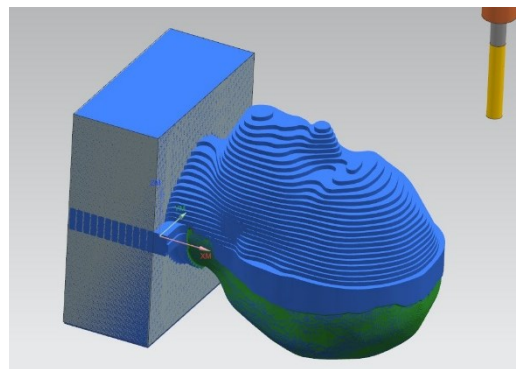
Obr. 33 Na čisto - vizualizace

6.1.3 Zepředu

- Operace hrubování
 - Použit příkaz CAVITY_MILL – operace, která z polotovaru odebírá přebytečný materiál a zůstává pouze přídavek na obrábění pro následující operace
 - Použito:
 - válcová fréza $\varnothing 10$ [mm]
 - přídavek: 1 [mm]
 - hloubka řezu $a_p = 3$ [mm]
 - omezení hloubky řezu v ose ZM = 76 [mm]
 - oblast: celá přední plocha

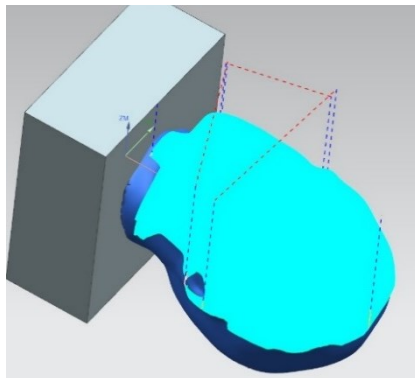


Obr. 34 Hrubování - dráha

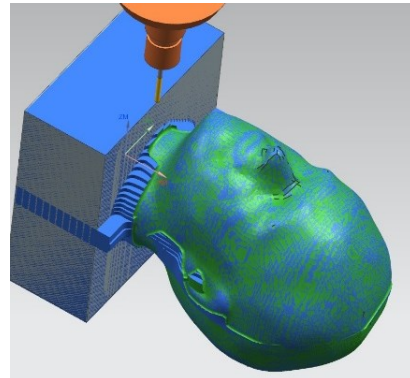


Obr. 35 Hrubování - vizualizace

- Operace na čisto
 - Použit příkaz CONTOUR_AREA – operace na obrobení tvaru hlavy na čisto. Odebere přídavek po předchozí operaci a vyhladí přední část hlavy
 - Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 3$ [mm]
 - krok nástroje: 30% průměru nástroje (tedy pro náš případ 0,9 [mm])



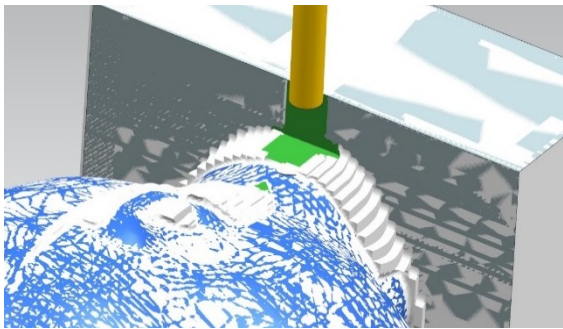
Obr. 36 Na čisto – dráha



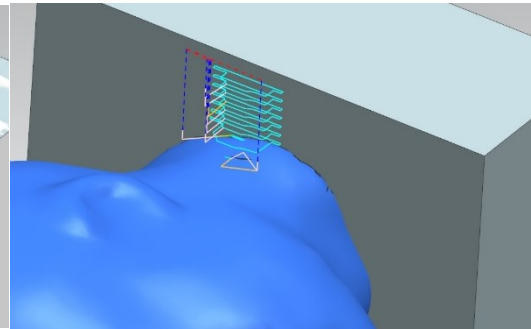
Obr. 37 Na čisto - vizualizace

6.1.4 Zleva

- Operace obrobení zbytků nahrubo
 - Použit příkaz CAVITY_MILL – operace určená pro obrobení přebytečného materiálu z levé strany krku
 - Použito:
 - válcová fréza $\varnothing 10$ [mm]
 - přídavek: 1 [mm]
 - hloubka řezu $a_p = 3$ [mm]
 - omezení hloubky řezu v ose ZM = 20 [mm]
 - oblast: vybraná oblast nad zbytkovým materiálem

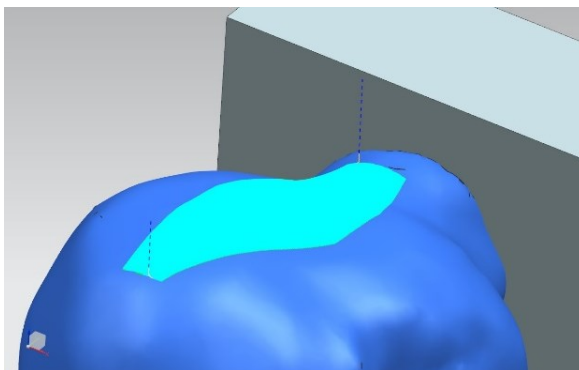


Obr. 38 Odebrání - vizualizace

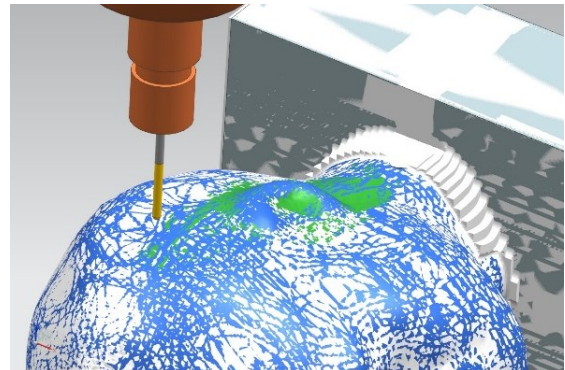


Obr. 39 Odebrání - dráha

- Operace na začištění hlavy
 - Použit příkaz FIXED_CONTOUR – operace pro doladění tvaru hlavy zleva.
 - Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 3$ [mm]
 - krok nástroje: 30% průměru nástroje (tedy pro náš případ 0,9 [mm])
 - oblast: vybraná oblast dle míst se zbytkovým materiálem

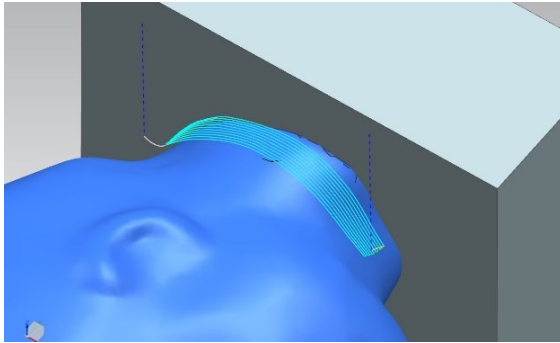


Obr. 40 Začištění - vizualizace

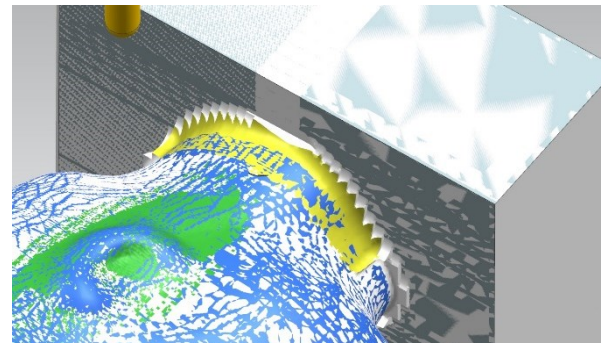


Obr. 41 Začištění - dráha

- Operace na začištění krku
 - Použit příkaz FIXED_CONTOUR – operace pro lepší vzhled přechodu podstavy a krku
 - Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 10$ [mm]
 - krok nástroje: 30% průměru nástroje (tedy pro náš případ 3 [mm])



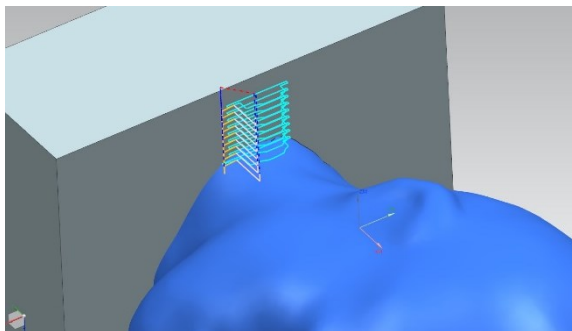
Obr. 42 Začištění - dráha



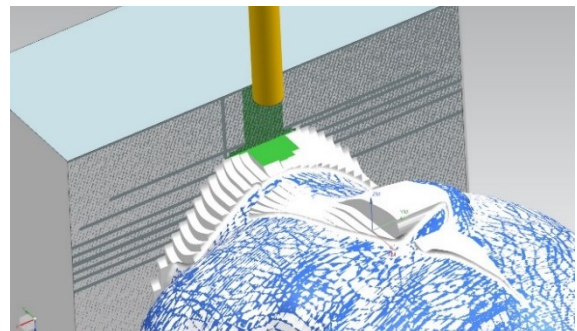
Obr. 43 Začištění - vizualizace

6.1.5 Zprava

- Operace obrobení zbytků nahrubo
 - Použit příkaz CAVITY_MILL – operace určená pro obrobení přebytečného materiálu z pravé strany krku
 - Použito:
 - válcová fréza $\varnothing 10$ [mm]
 - přídavek: 1 [mm]
 - hloubka řezu $a_p = 3$ [mm]
 - omezení hloubky řezu v ose ZM = 20 [mm]
 - oblast: vybraná oblast nad zbytkovým materiálem

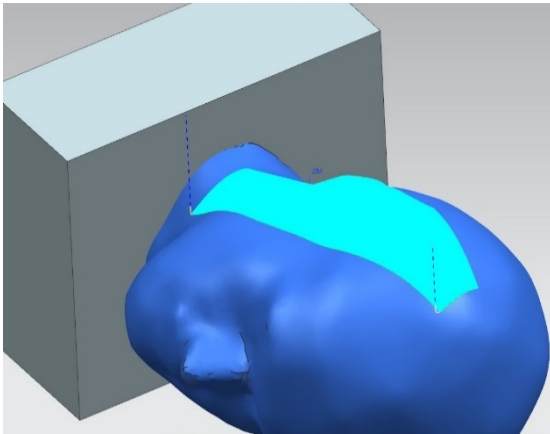


Obr. 44 Odebrání - dráha

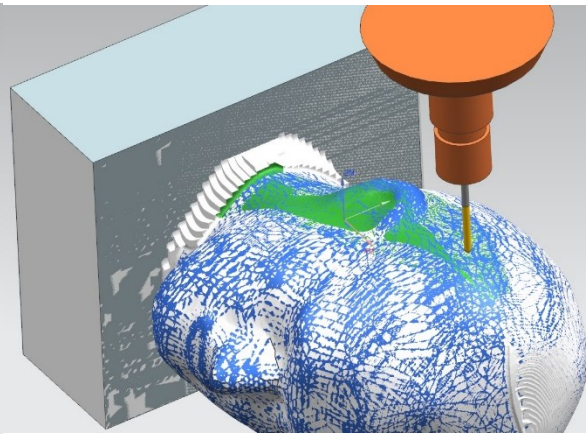


Obr. 45 Odebrání - vizualizace

- Operace na začištění hlavy
 - Použit příkaz FIXED_CONTOUR – operace pro doladění tvaru hlavy zprava. Operace má stejný význam jako totožná operace zleva.
 - Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 3$ [mm]
 - krok nástroje: 30% průměru nástroje (tedy pro náš případ 0,9 [mm])
 - oblast: vybraná oblast dle míst se zbytkovým materiálem

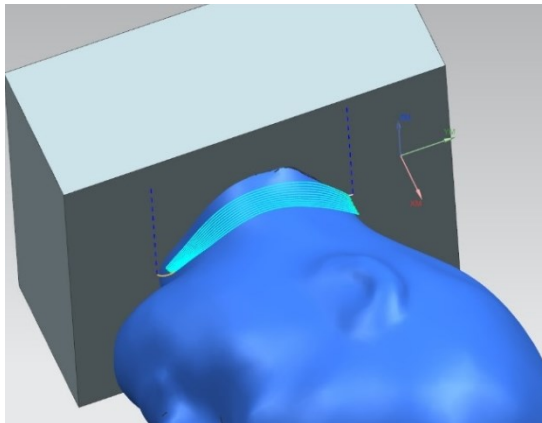


Obr. 46 Začištění - dráha

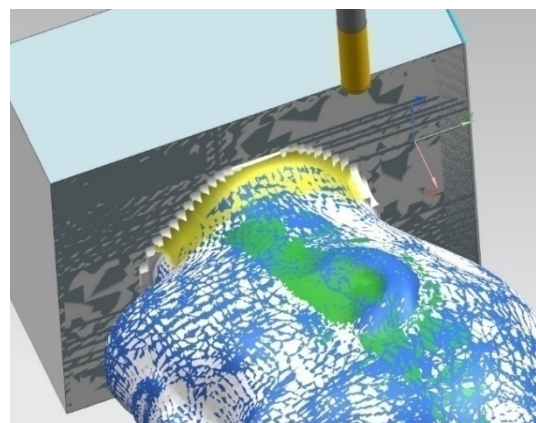


Obr. 47 Začištění - vizualizace

- Operace na začištění krku
 - Použit příkaz FIXED_CONTOUR – operace pro lepší vzhled dna u krku stejně jako zleva
 - Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 10$ [mm]
 - krok nástroje: 30% průměru nástroje (tedy pro náš případ 3 [mm])



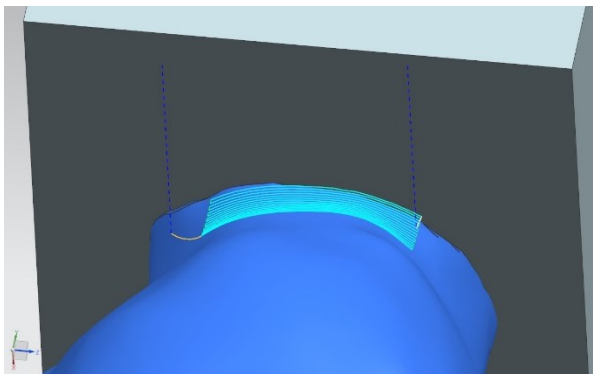
Obr. 48 Začištění - dráha



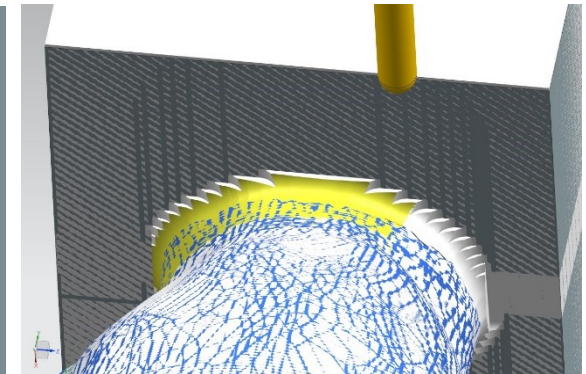
Obr. 49 Začištění - vizualizace

6.1.6 Začištění zezadu

- Operace na začištění krku
 - Použit příkaz FIXED_CONTOUR – operace, která zezadu upravuje dno u krku pro lepší vzhled
 - Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 10$ [mm]
 - krok nástroje: 30% průměru nástroje (tedy pro náš případ 3 [mm])

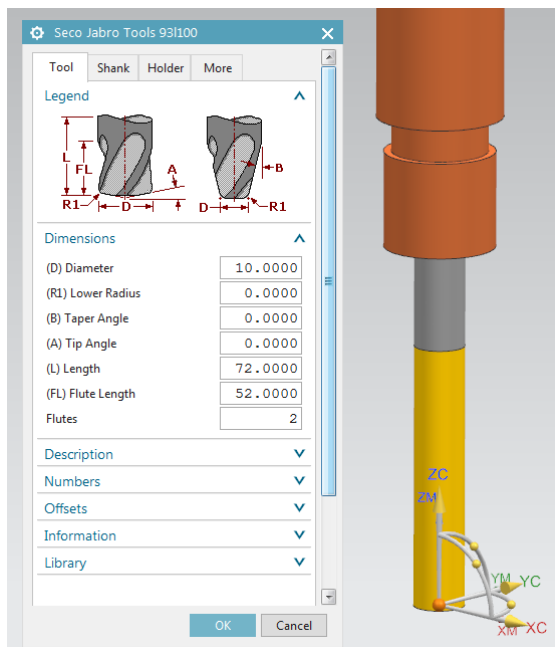


Obr. 51 Začištění - Dráha



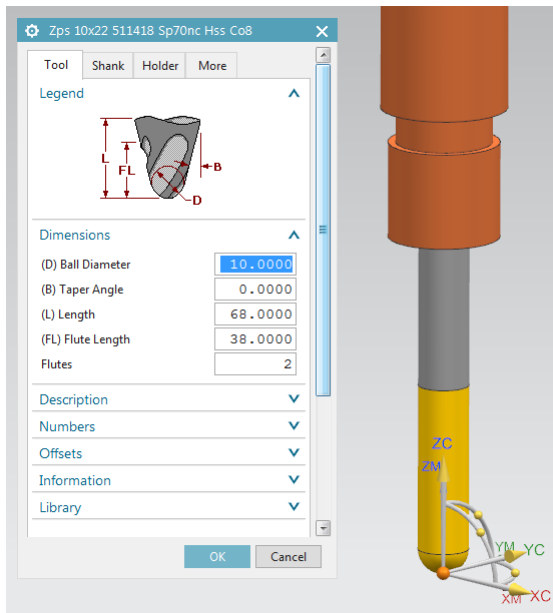
Obr. 50 Začištění - vizualizace

6.2 Zvolené nástroje

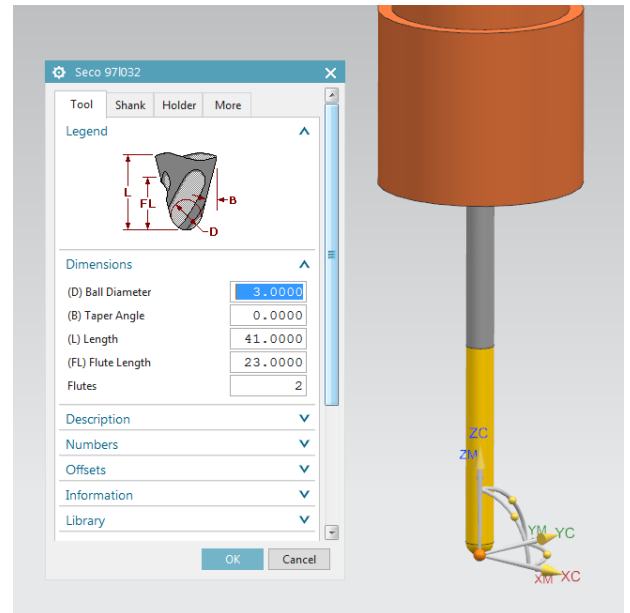


Obr. 52 Válcová fréza $\varnothing 10$ mm

Na obrázku 52 vidíme virtuální model válcové frézy $\varnothing 10$ mm. Hodnoty nastavujeme dle reálných rozměrů. Žlutá část frézy je část řezná. Šedá je stopka nástroje. Oranžová část na obrázku reprezentuje držák nástroje. Přesné rozměry frézy jsou důležité pro přesné generování drah nástroje. Definice rozměrů držáku slouží pro přesnější verifikaci kolizí při obrábění.

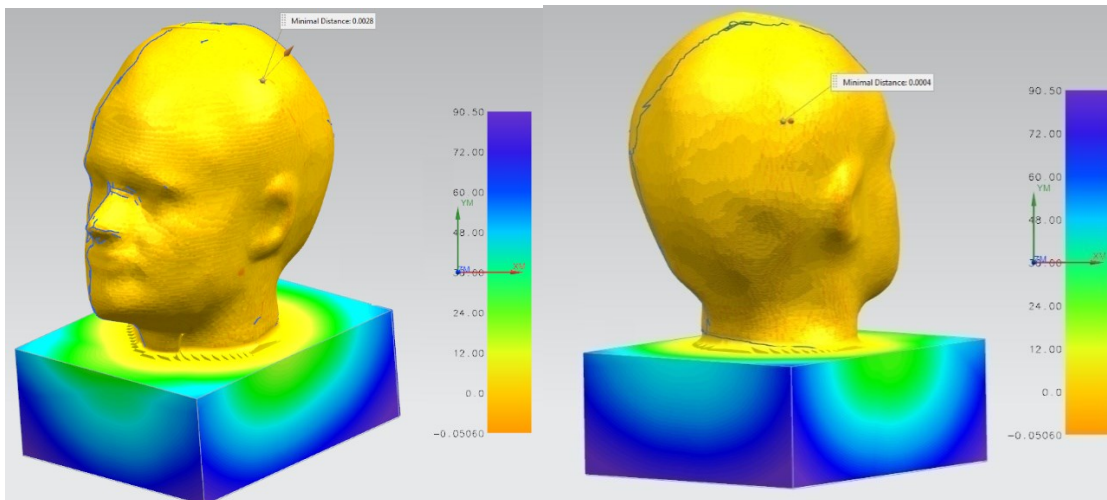


Obr. 54 Kulová fréza \varnothing 10 mm



Obr. 53 Kulová fréza \varnothing 3 mm

6.3 Verifikace obrábění



Obr. 55 Analýza obrobku v NX – zezadu

Obr. 56 Analýza obrobku v NX – zepředu

Proběhla verifikace všech obráběcích operací s negativním výsledkem z pohledu kolizí.

Podle analýzy zbytkového materiálu z obrobku jsem se ujistil, že výsledek je vyhovující. Na obrázku 56 a 57 vidíme tuto analýzu. Celá hlava je obrobena do tloušťky 0,02 [mm] zbytkového materiálu (žlutá s lehkým odstínem oranžové). U přechodu krku a podstavy se tloušťka zbytkového materiálu pohybuje v intervalu (0,5 - 7) [mm] (spíše žlutá). V tomto místě je však zbytkový materiál zanedbatelný.

7 ÚPRAVA PROGRAMU PŘED VÝROBOU

Před samotnou výrobou jsem musel upravit celý program, protože jsem zjistil, že nástroje, které jsem měl nadefinované, nejsou v dílně k dispozici.

7.1 Změna nástrojů

Mezi nástroji jsem nenašel kulovou frézu $\varnothing 10$ [mm] a kulovou frézu $\varnothing 3$ [mm]. Tím pádem jsem musel vybrat jiné nástroje, zkontrolovat a přepracovat program.

7.1.1 Zvolené nástroje

- válcová fréza $\varnothing 10$ [mm] – Tato fréza zůstala stejná. Rozhodl jsem se ji však použít pouze pro zarovnání polotovaru na výchozí hodnoty.



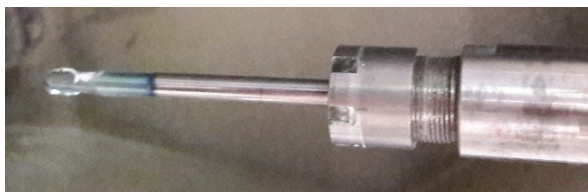
Obr. 57 Válcová fréza $\varnothing 10$ [mm]

- válcová fréza $\varnothing 8$ [mm] – Tuto frézu jsem vybral pro všechny hrubovací procesy dle doporučení vedoucího.



Obr. 58 Válcová fréza $\varnothing 8$ [mm]

- kulová fréza $\varnothing 6$ [mm] – Tato fréza byla nejlepší možnost v poměru délka/malý poloměr. Proto byla zvolena pro všechny dokončovací procesy.



Obr. 59 Kulová fréza $\varnothing 6$ [mm]

7.2 Přeprogramování programu

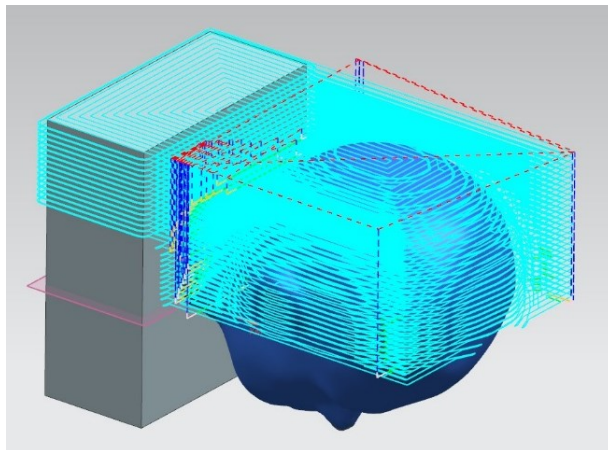
Jak jsem zmiňoval. Kvůli změně nástrojů je třeba přeprogramovat i samotný program. V této části uvádím změny provedené v jednotlivých typech operací.

7.2.1 Hrubování

Hrubování přední i zadní části hlavy se díky menšímu průměru frézy zjemnilo. Nevýhodou této frézy je její délka. Je totiž kratší než původní zvolená. Výsledkem hrubovacího obrábění tedy bude obrobek s přesnějšími tvary, ale zároveň budou jistá místa s větším zbytkovým materiálem kvůli malému dosahu frézy.

Operace hrubování - zezadu

- Použit příkaz CAVITY_MILL - proběhla pouze nová generace dráhy
- Použito:
 - válcová fréza $\varnothing 8$ [mm]
 - přídavek: 1 [mm]
 - hloubka řezu $a_p = 3$ [mm]
 - omezení hloubky řezu v ose ZM = 80,4 [mm]
 - oblast: celá plocha polotovaru zezadu

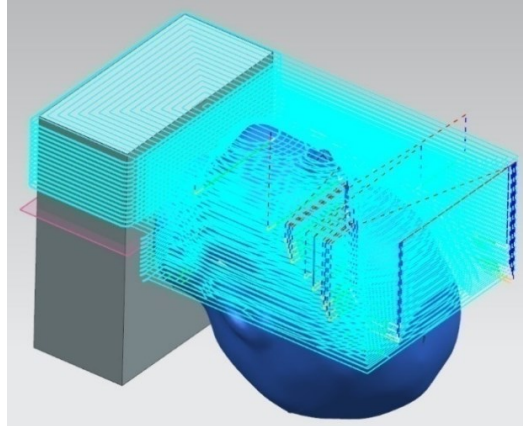


Obr. 60 Oprava hrubování zezadu

Operace hrubování - zepředu

- Použit příkaz CAVITY_MILL - proběhla pouze nová generace dráhy
- Použito:
 - válcová fréza $\varnothing 8$ [mm]
 - přídavek: 1 [mm]

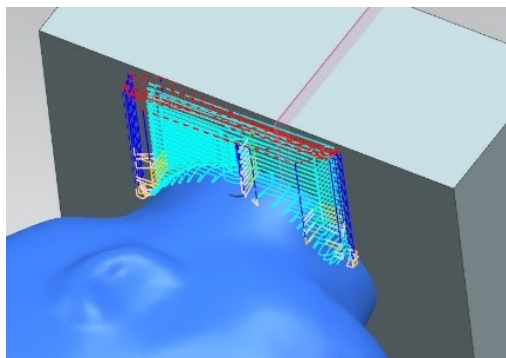
- hloubka řezu $a_p = 3$ [mm]
- omezení hloubky řezu v ose ZM = 76 [mm]
- oblast: celá plocha polotovaru zepředu



Obr. 61 Oprava hrubování zepředu

Operace hrubování - zleva

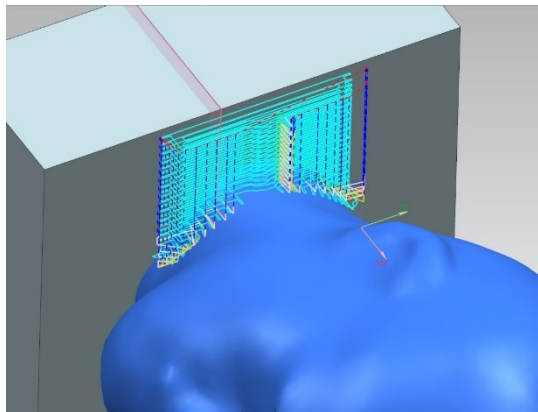
- Použit příkaz CAVITY_MILL – zářný případ nevýhody kratší frézy. Kvůli nedostatečnému obrobení zepředu a zezadu se zvětšila oblast zbytkového materiálu u přechodu krku a podstavy.
- Použito:
 - válcová fréza $\varnothing 8$ [mm]
 - přídavek: 1 [mm]
 - hloubka řezu $a_p = 3$ [mm]
 - omezení hloubky řezu v ose ZM = 40 [mm]
 - oblast: vybraná oblast nad zbytkovým materiálem



Obr. 62 Oprava hrubování zleva

Operace hrubování - zprava

- Použit příkaz CAVITY_MILL - stejné rozšíření bylo třeba i zprava
- Použito:
 - válcová fréza $\varnothing 8$ [mm]
 - přídavek: 1 [mm]
 - hloubka řezu $a_p = 3$ [mm]
 - omezení hloubky řezu v ose ZM = 40 [mm]
 - oblast: vybraná oblast nad zbytkovým materiálem



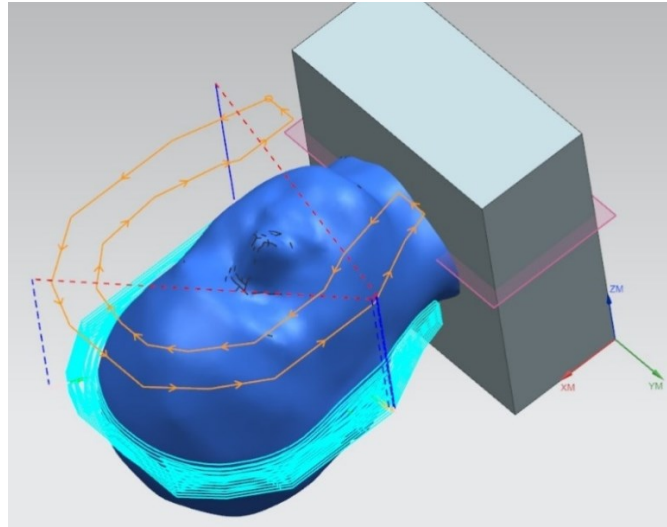
Obr. 63 Oprava hrubování zprava

7.2.2 Doplnující operace

První doplňující operaci jsem zařadil před operace na čisto, protože po obrábění nahrubo vznikla oblast, která představuje nebezpečí kolize či nadměrného namáhání nástroje.

Doplňující operace - okolo hlavy

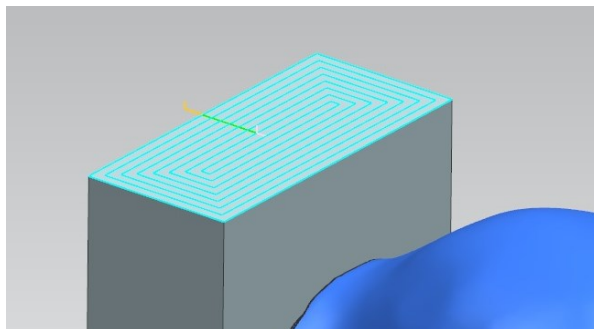
- Použit příkaz CAVITY_MILL – krok v Z je třeba upravit. Je zbytečné, aby jel úplně z vrchu. Jeho horní hranici jsem upravit podle přebytečného materiálu okolo hlavy, který obrábím.
- Použito:
 - válcová fréza $\varnothing 8$ [mm]
 - přídavek: 1 [mm]
 - hloubka řezu $a_p = 3$ [mm]
 - omezení hloubky řezu v ose ZM = 16 [mm]
 - oblast: vytvořená křivka (obr. 63 oranžová křivka)



Obr. 64 Odstranění zbytkového mat. okolo hlavy

Doplňující operace zarovnání podstavy

- Použit příkaz PLANAR_MILL – Tato doplňující operace zarovnáva na čisto stěnu podstavy
- Použito:
 - válcová fréza $\varnothing 8$ [mm]
 - oblast: plocha podstavy



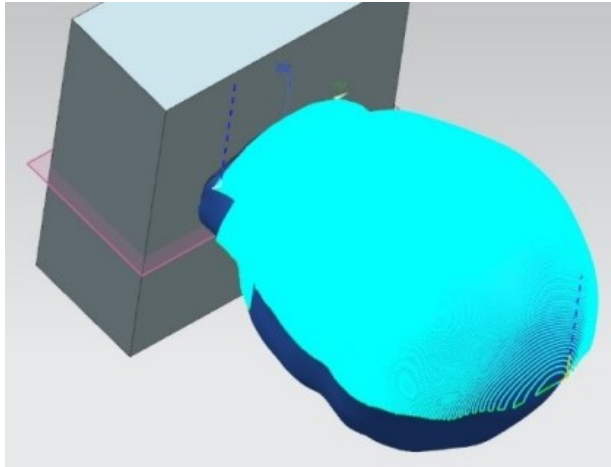
Obr. 65 Zarovnání podstavy

7.2.3 Operace na čisto

Původní operace na čisto jsem nemusel příliš měnit, i když se fréza změnila na $\varnothing 6$ [mm]. Stačilo znovu vygenerovat původní oblasti s novými hodnotami frézy.

Operace na čisto - zezadu

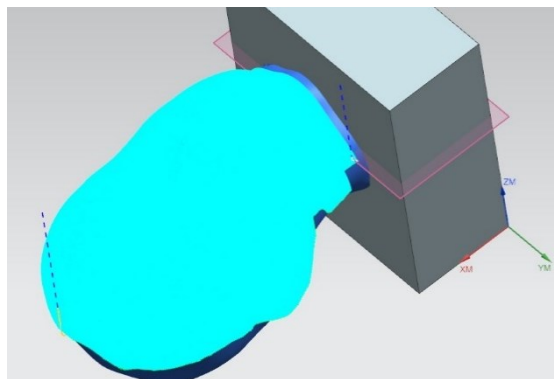
- Použit příkaz CONTOUR_AREA - proběhla pouze nová generace dráhy
- Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 6$ [mm]
 - krok nástroje: 30% průměru nástroje (tedy pro náš případ 1,8 [mm])



Obr. 66 Oprava na čisto zezadu

Operace na čisto - zepředu

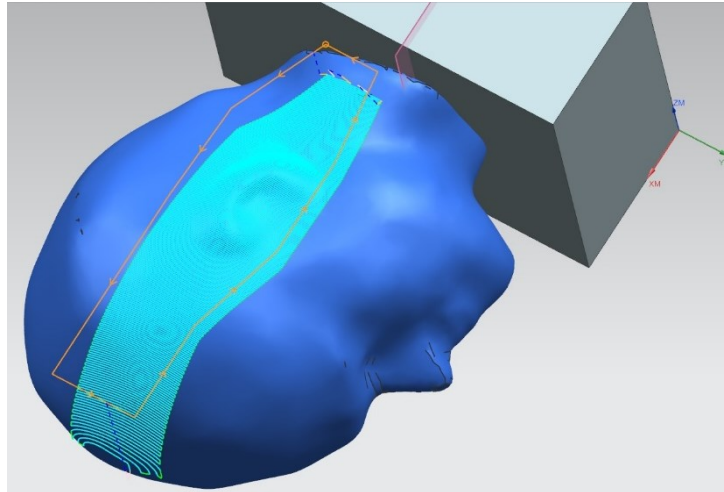
- Použit příkaz `CONTOUR_AREA` - proběhla pouze nová generace dráhy
- Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 6$ [mm]
 - krok nástroje: 30% průměru nástroje (tedy pro náš případ 1,8 [mm])



Obr. 67 Oprava na čisto zepředu

Operace na čisto - zleva

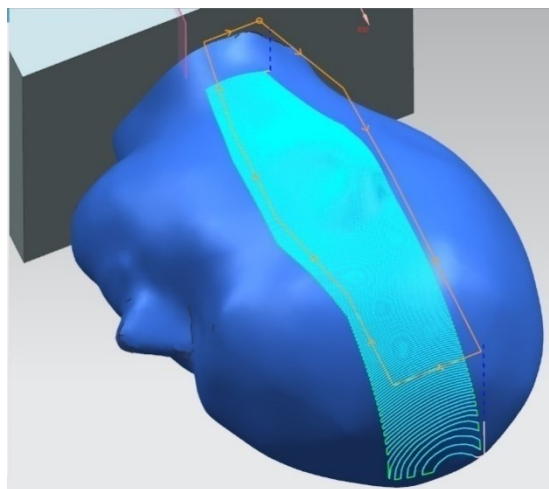
- Použit příkaz `FIXED_CONTOUR` – u operací ze stran bylo třeba rozšířit oblast obrábění (obr. 68 – oranžová křivka).
- Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 6$ [mm]
 - krok nástroje: 30% průměru nástroje (tedy pro náš případ 1,8 [mm])



Obr. 68 Oprava na čisto zleva

Operace na čisto - zprava

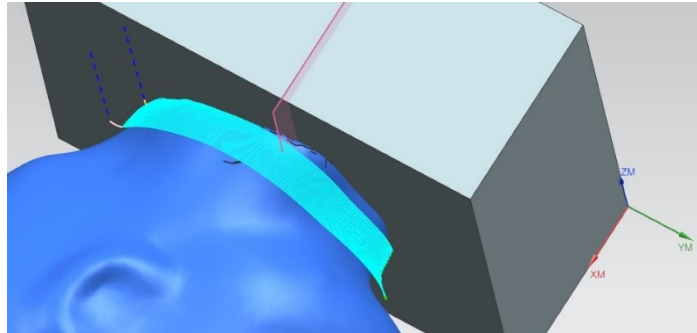
- Použit příkaz FIXED_CONTOUR – stejné rozšíření bylo třeba i zprava
- Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 6$ [mm]
 - krok nástroje: 30% průměru nástroje (tedy pro náš případ 1,8 [mm])



Obr. 69 Oprava na čisto zprava

Operace na začištění krku zleva

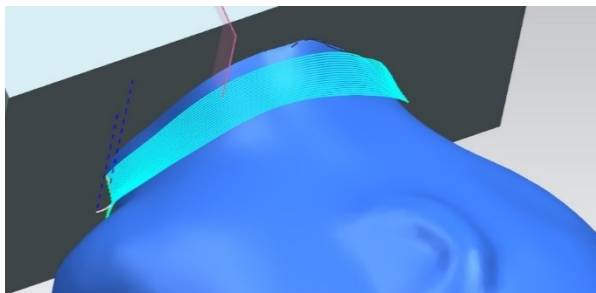
- Použit příkaz FIXED_CONTOUR – proběhla pouze nová generace dráhy
- Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 6$ [mm]
 - krok nástroje: 30% průměru nástroje (tedy pro náš případ 3 [mm])



Obr. 70 Oprava začištění krku zleva

Operace na začištění krku zprava

- Použit příkaz FIXED_CONTOUR – proběhla pouze nová generace dráhy
- Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 6$ [mm]
 - krok nástroje: 30% průměru nástroje (tedy pro náš případ 3 [mm])



Obr. 71 Oprava začištění krku zprava

7.3 Konečný sled operací

- Zarovnání polotovaru
- Zezadu:
 - Hrubování
 - Zarovnání podstavy
 - Na čisto
- Zepředu:
 - Hrubování
 - Zarovnání podstavy
 - Okolo hlavy
 - Na čisto

- Zprava:
 - Obrobení zbytků nahrubo
 - Začištění hlavy
 - Začištění krku
- Zleva:
 - Obrobení zbytků nahrubo
 - Začištění hlavy
 - Začištění krku

Tab. 5 Shrnutí všech použitých operací

Operace	Funkce (NX 11)	Nástroj	Celkový čas operace [h:m:s]	Orientace upnutí
P0: Zarovnání polotovaru	Planar Mill	Ø10R0	00:03:13	Zprava
P1: Hrubování zezadu	Cavity Mill	Ø8R0	00:37:04	Zezadu
P1: Zarovnání podstavy	Planar Mill	Ø8R0	00:00:52	Zezadu
P1: Na čisto	Contour Area	Ø6R3	00:17:40	Zezadu
P2: Hrubování zepředu	Cavity Mill	Ø8R0	00:42:52	Zepředu
P2: Zarovnání podstavy	Planar Mill	Ø8R0	00:00:53	Zepředu
P2: Okolo hlavy	Cavity Mill	Ø6R3	00:04:29	Zepředu
P2: Na čisto	Contour Area	Ø6R3	00:28:50	Zepředu
P3: Obrobení zbytků	Cavity Mill	Ø6R3	00:02:16	Zprava
P3: Začištění hlavy	Fixed contour	Ø6R3	00:00:57	Zprava
P3: Začištění krku	Fixed contour	Ø6R3	00:04:03	Zprava
P4: Obrobení zbytků	Cavity Mill	Ø6R3	00:02:34	Zleva
P4: Začištění hlavy	Fixed contour	Ø6R3	00:00:54	Zleva
P4: Začištění krku	Fixed contour	Ø6R3	00:04:04	Zleva

Podle odhadu programu NX 11 je celková doba obrábění stanovena na 2h 34 m a 16 s. Jde o hodnotu teoretickou, která nepočítá s nutným zastavením stroje a časem nutným k výměně nástroje. V další kapitole uvádím skutečné časy z měření při obrábění.

8 VÝROBA SOUČÁSTI

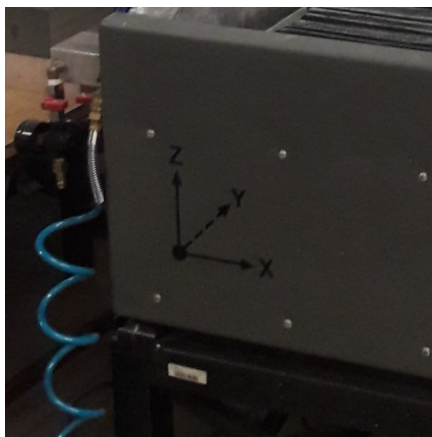
Bystu jsem vyráběl na 3osé CNC frézce AZK HWT C-442 CNC. Na obr. 71 ji vidíme spolu s nástroji (bílá deska) a řídicím počítačem. Zde se pokusím přiblížit samotnou výrobu.



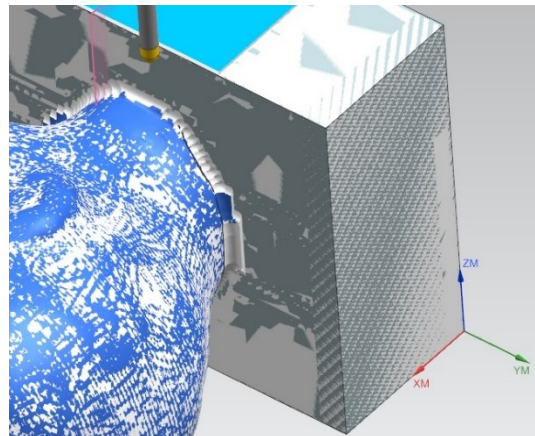
Obr. 72 Frézka HWT C-442 CNC

8.1 Nulový bod stroje

Nulový bod stroje určuje místo, kam stroji určíme počátek os. V tomto bodě jsou tedy souřadnice: $[0,0,0]$. Bod stroje musí souhlasit s umístěním bodu a směrem jednotlivých os v programu. Jinak by nám stroj obráběl špatným směrem a mohlo by dojít ke kolizi. Stroj má směr osového kříže pevně dán (viz. obr. 73). My tedy musíme v programu pozměnit orientaci osového kříže dle stroje.

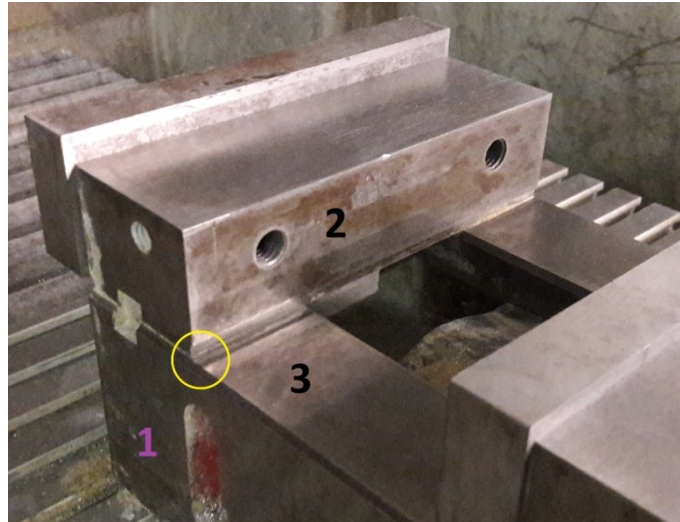


Obr. 73 Osový kříž stroje



Obr. 74 Osový kříž programu – zprava

Umístění osového kříže stroje jsem zvolil takto: X – levá stěna svěráku (1); Y – zadní čelist svěráku (2); Z – dosedová plocha svěráku (3). Počáteční bod, stroje vidíme zvýrazněny žlutým kruhem na obrázku 75.



Obr. 75 Nulový bod stroje

8.2 Polotovár

Rozměry polotovaru jsem v programu zvolil 224 x 150 x 130 [mm]. Tak velký polotovár nebyl k dispozici, a proto jsem musel tento rozměr vytvořit ze dvou kusů. Pro jejich spojení jsem použil lepidlo značky Den Braven druh D4 Polyuretanové lepidlo na dřevo. Materiál, který obrábím, je modelářský materiál Necuron 1001. Svým složením se jedná o polyuretan šedé barvy, doporučovaný pro výrobu prototypů, kontrolních modelů a modelů pro obzvláště vysoké mechanické zatížení.



Obr. 76 Části polotovaru a lepidlo

Takto slepený polotovár měl rozměry 229 x 160 x 131 [mm]. U kratších rozměrů přesah nevedil, protože operace pro zarovnání polotovaru ho obrobila a rozměry se srovnaly do požadovaných. Délka 229 však nešla zarovnat. Rozhodl jsem se ji nijak neupravovat. Sledovat průběh obrábění, a až podle potřeby pozměnit postup. Nic vážného tento krok nezpůsobil. V průběhu hrubování vznikala pouze tenká stěna, kterou vidíme na obr. 75. Tu nebyl problém odlomit rukou.



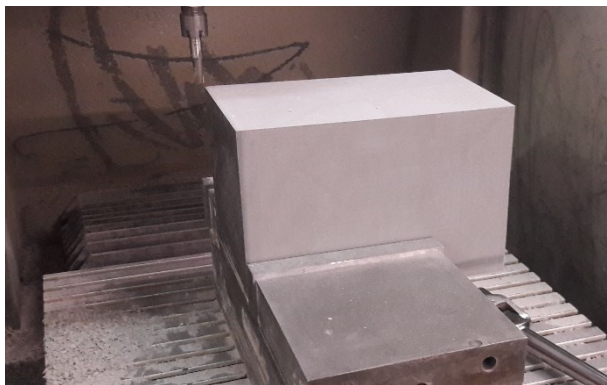
Obr. 77 Tenká stěna přebytečného materiálu

8.3 Obrábění

Při každé operaci použity hodnoty:

- otáčky vřetene: 12 700 [ot/min]
- posuvová rychlost: 2000 [mm/min]

Zarovnání polotovaru (Obr. 77) jsem se rozhodl provést ze tří stran. Čtvrtou stranu jsem začal rovnou tvarovou hrubovací operací.



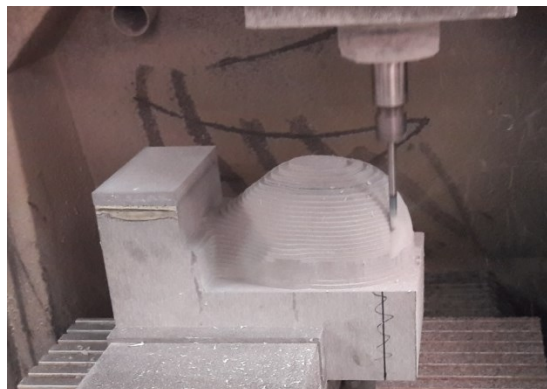
Obr. 78 Zarovnání polotovaru

- Hrubování zezadu – operace spojená se začištěním podstavy zezadu
 - Čas obrábění:
 - podle programu: 37 min
 - reálný čas obrábění: 1hod 10min
 - Použito:
 - válcová fréza $\varnothing 8$ [mm]
 - Poznámka:
 - Pozor na počáteční stranu obrábění. Kvůli přeměření rozměrů jsem vyndal polotovár ze svěráku. Při vracení jsem jej upnul ze špatné strany a málem začal obrábět.



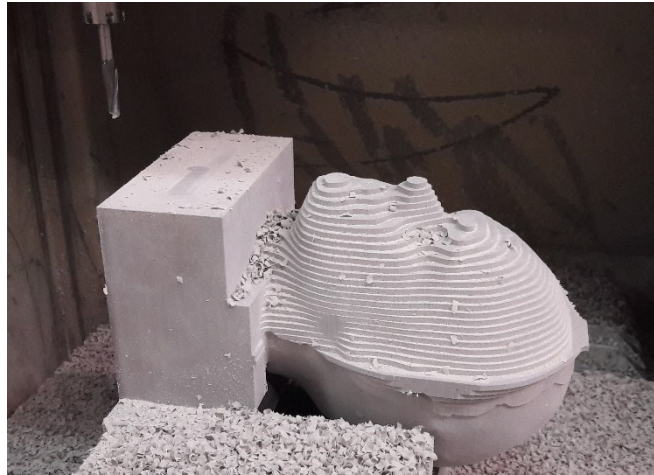
Obr. 79 Hrubování zezadu

- Na čisto zezadu
 - Čas obrábění:
 - podle programu: 17 min
 - reálný čas obrábění: 25 min
 - Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 6$ [mm]



Obr. 80 Na čisto zezadu

- Hrubování zepředu – operace spojena se začištěním podstavy zepředu
 - Čas obrábění:
 - podle programu: 43 min
 - reálný čas obrábění: 1hod 5min
 - Použito:
 - válcová fréza $\varnothing 8$ [mm]



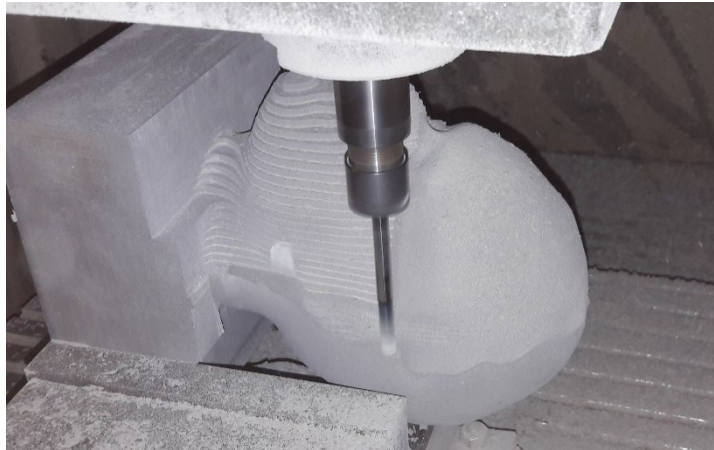
Obr. 81 Hrubování zepředu

- Doplňující operace – okolo hlavy
 - Čas obrábění:
 - podle programu: 5 min
 - reálný čas obrábění: 11 min
 - Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 6$ [mm]



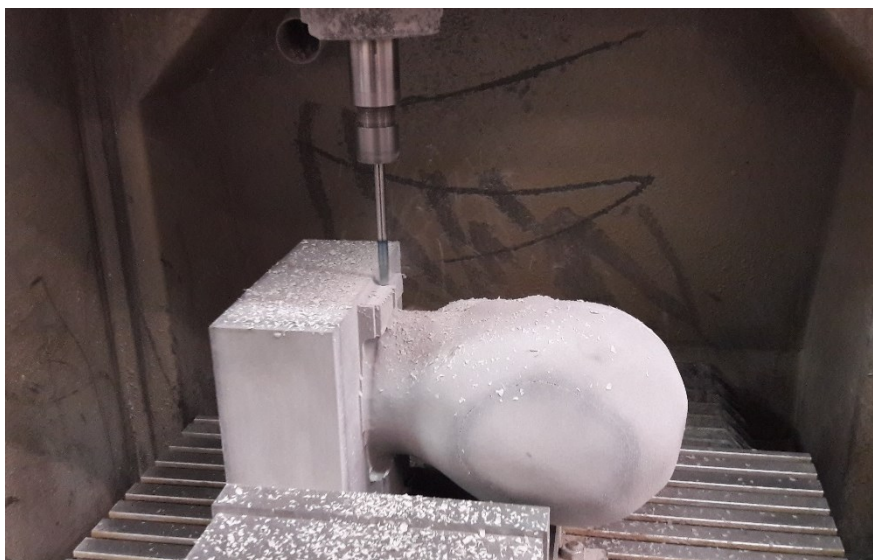
Obr. 82 Odebrán zbytek okolo hlavy

- Na čisto zepředu
 - Čas obrábění:
 - podle programu: 29 min
 - reálný čas obrábění: 33 min
 - Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 6$ [mm]



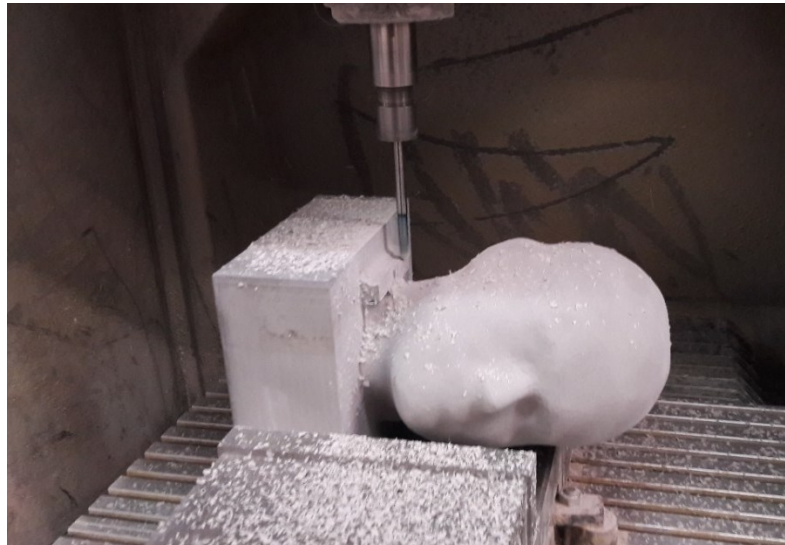
Obr. 83 Na čisto zepředu

- Zleva – obsahuje operace hrubování, na čisto vybrané oblasti hlavy a začištění krku
 - Celkový čas obrábění:
 - podle programu: 7 min
 - reálný čas obrábění: 16 min
 - Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 6$ [mm]



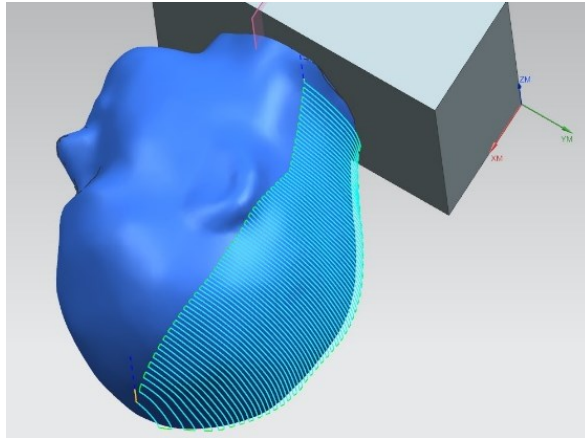
Obr. 84 Hrubování zleva

- Zprava – obsahuje operace hrubování, na čisto vybrané oblasti hlavy a začištění krku
 - Celkový čas obrábění:
 - podle programu: 7,5 min
 - reálný čas obrábění: 17 min
 - Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 6$ [mm]



Obr. 85 Hrubování zprava

- Dodatečná operace – zahlazení
 - Celkový čas obrábění:
 - podle programu: 2,5 min
 - reálný čas obrábění: 3 min
 - Použito:
 - kulová fréza $\varnothing 6$ [mm]
 - Poznámka:
 - Po obrábění vznikl schod v místech, kde se dráhy nástrojů z operací zepředu a zezadu prolínaly. Domníval jsem se, že je to přebytečný materiál kvůli špatnému zadání výšky nástroje. Proto jsem vytvořil zahlazovací program. Jeho dráhu vidíme na obrázku 86. Jenže tento schod se na hlavě vytvořil kvůli špatnému upnutí v některé z předchozích operací. To znamená, že operace na zahlazení, schod nezahladila, ale pouze ho „přesunula“ na jiné místo na hlavě. Výsledek vidíme na obrázcích 87 a 88.



Obr. 86 Dráha zahlazení



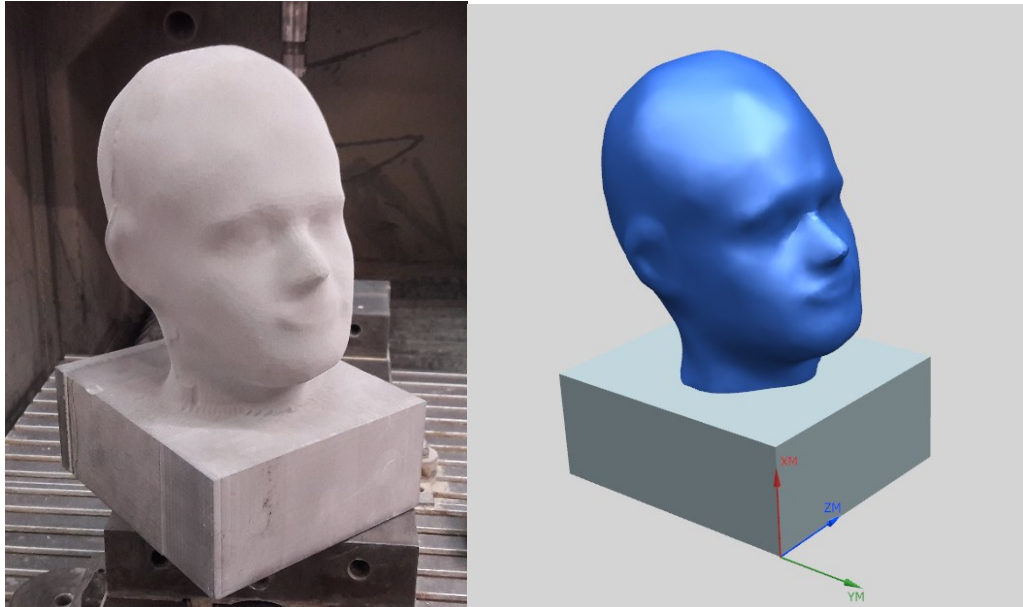
Obr. 87 Ukázka schodu



Obr. 88 Přesunutý schod

8.4 Výsledný výrobek

Hotový výrobek vidíme na obrázku 89.



Obr. 89 Hotová bysta (vlevo) a porovnání k počítačovému modelu (vpravo)

Zepředu je tvarová přesnost i drsnost nejlepší. Zezadu už není povrch tak kvalitní. Důvody jsou uvedeny v předešlé kapitole u operace Zahlazení. Vzhled zezadu vidíme na obrázcích 87 a 88.

ZÁVĚR

Mým cílem bakalářské práce byla teoretická studie na dané téma, naprogramování zadané součásti v programu NX, zvolení odpovídajících řezných podmínek, nástrojů a provedení výroby součásti na CNC frézce.

Teoretickou studii na dané téma jsem vytvořil v první části bakalářské práce. Přes historický vývoj jsem pokračoval k frézování, frézám a materiálům nástrojů. Dále jsem se zaměřil na stavbu CNC strojů a také jejich programování.

Naprogramování zadané součásti v programu NX, zvolení odpovídajících řezných podmínek a nástrojů proběhlo současně v první tvorbě obráběcího postupu. Postup jsem zpracoval v softwaru Siemens NX 11.

Výrobu součásti jsem úspěšně provedl na frézce AZK HWT C-442. Její ovládání jsem rychle pochopil. Samotná výroba přinesla několik menších problémů, které jsem vyřešil v průběhu. Větší problém nastal hlavně v momentu, kdy jsem zjistil, že na skladu nejsou potřebné nástroje. Musel jsem zkontrolovat a následně přepracovat velkou část procesů obrábění s novými nástroji. Vhodné nástroje pro nahrazení jsem našel.

Postup práce byl jednoznačný. Nejdříve jsem slepil dostatečně velký kus polotovaru. Určil nulový bod stroje. Nahrál obráběcí programy do řídicího počítače. Při samotné výrobě pak stačilo kontrolovat práci stroje.

Každé přepnutí obrobku zvyšuje nepřesnost obrábění. Nikdy se nám nepodaří úplně dokonale upnout obrobek na stejné místo. I když se jedná často jen o nepatrné chyby, v důsledku mohou zapříčinit větší problémy. Jako se tomu stalo v mém případě. Po obrábění se objevil šev rozdělující bystu na dvě nestejně části. Domnívám se, jak diskutuji v kapitolách praktické části, že je to zapříčiněno přepínáním obrobku po jednotlivých operacích. Tomu by se dalo zabránit obráběním na víceosých obráběcích centrech.

U jednotlivých operací jsem zaznamenával mimo jiné čas obrábění, abych je mohl porovnat s těmi, které předpovídá software. Rozdíly celkově delších obráběcích procesů byly pomalejší, než software určoval, o zhruba dvacet pět minut. Tento rozdíl způsobilo hlavně úmyslné zpomalování posuvu, které jsem dělal kvůli vizuální kontrole správného obrábění. Drobné rozdíly jednotek minut pak přisuzuji rozdílu mezi dokonalými podmínkami softwaru vůči nedokonalým podmínkám reality. Program předpokládal, že celkový čas obrábění bude 2h 34 m a 16 s. Reálný čas obrábění se pohyboval okolo 3h 30min.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DEJMEK, Jan. Z historie vývoje fréz, frézovacích strojů a frézování. In: *TumliKO-VO: Technologie strojího obrábění kovů* [online]. 23.11.2010 [cit. 2018-4-18].
Dostupné z:
<http://www.tumlikovo.cz/z-historie-vyvoje-frez-frezovacich-stroju-a-frezovani/>
- [2] HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2. 2.*, upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-244-8.ě
- [3] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [4] BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. *Výrobní inženýrství a technologie*. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2014. ISBN 978-80-7454-471-2.
- [5] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. 1. vyd. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [6] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: CERM, 2002. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [7] MÁDL, Jan; BARCAL, Jaroslav. *Základy technologie II*. Dotisk prvního vydání. Praha : ČVUT, 2005. 55 s. ISBN 80-01-02610-8.
- [8] ŠTULPA, M. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vydání. BEN-technická literatura, Praha, 2006. ISBN 978-80-7300-207-7.
- [9] SADÍLEK, M. *CAM systémy v obrábění I*. 2. doplněné vydání. VŠB-Technická Univerzita Ostrava, Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2278-5.
- [10] JANDEČKA, K. *Postprocesory a programování NC strojů*. Ústí nad Labem, 2007. ISBN 978-80-7044-870-0.
- [11] *TOOLTECHCZ* [online]. Nástrojárna, [cit. 2018-4-18]. Dostupné z:
<http://www.tooltechcz.com/cz/kategorie/strojni-park.aspx>
- [12] *ZOZEI Za odbornými znalostmi evropsky a interaktivně* [online], Frézování rovinných ploch, [cit. 2018-4-18]. Dostupné z:
<http://zozei.sssebrno.cz/frezovani-rovinnych-ploch/>
- [13] *NAKOL s.r.o.* [online]. Kovoobráběcí nástroje, [cit. 2018-4-24]. Dostupné z:
<https://www.nakol.cz/freza-valcova-celni-630973-jemnozuba>

- [14] *MM* [online]. Nové nástroje a řezné materiály, [cit. 2018-4-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nove-nastroje-a-rezne-materialy.html>
- [15] *MM* [online]. Novinky v sortimentu nástrojů pro rok 2012, [cit.2018-4-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/novinky-v-sortimentu-nastroju-pro-rok-2012.html>
- [16] ČUBOŇOVÁ, Naděžda. *Počítačová podpora programování a CNC strojov*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2012. ISBN 987-80-554-0514-8.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CNC Computer Numerical Control

CAD Computer Aided Design

CAM Computer Aided Manufacturing

a_p Hloubka řezu

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Soustava: Stroj - nástroj – obrobek [2].....	12
<i>Obr. 2</i> Původních frézy 18. stol.[1]	13
<i>Obr. 3</i> Frézka z roku 1818 [1]	13
<i>Obr. 4</i> Frézka z roku 1900 [1]	14
<i>Obr. 5</i> První NC stroj od firmy Fanuc z roku 1951[1]	14
<i>Obr. 6</i> Příklad frézovacího CNC stroje [11]	16
<i>Obr. 7</i> a) Válcové frézování b) Čelní frézování c) Okružovací frézování [12]	16
<i>Obr. 8</i> Válcové frézování: a) nesousledné b) sousledné[2]	17
<i>Obr. 9</i> a) Vodorovné (horizontální) frézky b) Univerzální	17
<i>Obr. 10</i> Příklady nástrojů pro frézování [4]	18
<i>Obr. 11</i> Příklady fréz z nástrojové oceli [13]	19
<i>Obr. 12</i> Destičky z SK [14]	21
<i>Obr. 13</i> Cermetové břitové destičky [15]	22
<i>Obr. 14</i> (Levý) Základní části svislého soustruhu[7]	26
<i>Obr. 15</i> (Pravý) Základní části portálové frézky[7]	26
<i>Obr. 16</i> Teoretické možnosti žebrování loží [7]	29
<i>Obr. 17</i> Struktura programového slova a bloku[8]	32
<i>Obr. 18</i> Sled operací [9]	36
<i>Obr. 19</i> Příklad použité fotografie.....	41
<i>Obr. 20</i> Výsledek Matches	42
<i>Obr. 21</i> Výsledek Surface.....	42
<i>Obr. 22</i> Výsledný 3D model	43
<i>Obr. 23</i> Polotovar	43
<i>Obr. 24</i> Nulový bod zezadu.....	44
<i>Obr. 25</i> Nulový bod zepředu	44
<i>Obr. 26</i> Nulový bod zprava	44
<i>Obr. 27</i> Nulový bod zleva	44
<i>Obr. 28</i> Zarovnání - dráha nástroje	45
<i>Obr. 29</i> Zarovnání - vizualizace	45
<i>Obr. 30</i> Hrubování - vizualizace.....	46
<i>Obr. 31</i> Hrubování - dráha.....	46
<i>Obr. 33</i> Na čisto – dráha <i>Obr. 32</i> Na čisto - vizualizace.....	46

<i>Obr. 34 Hrubování - dráha</i>	47
<i>Obr. 35 Hrubování - vizualizace</i>	47
<i>Obr. 36 Na čisto - dráha</i>	47
<i>Obr. 37 Na čisto - vizualizace</i>	47
<i>Obr. 38 Odebrání - vizualizace</i>	48
<i>Obr. 39 Odebrání - dráha</i>	48
<i>Obr. 41 Začištění - vizualizace</i>	48
<i>Obr. 40 Začištění - dráha</i>	48
<i>Obr. 42 Začištění - dráha</i>	49
<i>Obr. 43 Začištění - vizualizace</i>	49
<i>Obr. 44 Odebrání - dráha</i>	49
<i>Obr. 45 Odebrání - vizualizace</i>	49
<i>Obr. 47 Začištění - dráha</i>	50
<i>Obr. 46 Začištění - vizualizace</i>	50
<i>Obr. 48 Začištění - vizualizace</i>	50
<i>Obr. 49 Začištění - dráha</i>	50
<i>Obr. 50 Začištění - vizualizace</i>	51
<i>Obr. 51 Začištění - Dráha</i>	51
<i>Obr. 52 Válcová fréza \varnothing 10 mm</i>	51
<i>Obr. 53 Kulová fréza \varnothing 3 mm</i>	52
<i>Obr. 54 Kulová fréza \varnothing 10 mm</i>	52
<i>Obr. 55 Analýza obrobku v NX – zezadu</i> <i>Obr. 56 Analýza obrobku v NX – zepředu</i>	52
<i>Obr. 57 Válcová fréza \varnothing 10 [mm]</i>	53
<i>Obr. 58 Válcová fréza \varnothing 8 [mm]</i>	53
<i>Obr. 59 Kulová fréza \varnothing 6 [mm]</i>	53
<i>Obr. 60 Oprava hrubování zezadu</i>	54
<i>Obr. 61 Oprava hrubování zepředu</i>	55
<i>Obr. 62 Oprava hrubování zleva</i>	55
<i>Obr. 63 Oprava hrubování zprava</i>	56
<i>Obr. 64 Odstranění zbytkového mat. okolo hlavy</i>	57
<i>Obr. 65 Zarovnění podstavy</i>	57
<i>Obr. 66 Oprava na čisto zezadu</i>	58
<i>Obr. 67 Oprava na čisto zepředu</i>	58

<i>Obr. 68 Oprava na čisto zleva</i>	59
<i>Obr. 69 Oprava na čisto zprava</i>	59
<i>Obr. 70 Oprava začištění krku zleva</i>	60
<i>Obr. 71 Oprava začištění krku zprava</i>	60
<i>Obr. 72 Frézka HWT C-442 CNC</i>	62
<i>Obr. 73 Osový kříž stroje Obr. 74 Osový kříž programu – zprava</i>	62
<i>Obr. 75 Nulový bod stroje</i>	63
<i>Obr. 76 Části polotovaru a lepidlo</i>	63
<i>Obr. 77 Tenká stěna přebytečného materiálu</i>	64
<i>Obr. 78 Zarovnání polotovaru</i>	64
<i>Obr. 79 Hrubování zezadu</i>	65
<i>Obr. 80 Na čisto zezadu</i>	65
<i>Obr. 81 Hrubování zepředu</i>	66
<i>Obr. 82 Odebrán zbytek okolo hlavy</i>	66
<i>Obr. 83 Na čisto zepředu</i>	67
<i>Obr. 84 Hrubování zleva</i>	67
<i>Obr. 85 Hrubování zprava</i>	68
<i>Obr. 86 Dráha zahlazení</i>	69
<i>Obr. 87 Ukázka schodu Obr. 88 Přesunutý schod</i>	69
<i>Obr. 89 Hotová bysta (vlevo) a porovnání k počítačovému modelu (vpravo)</i>	70

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Frézy a příklady frézování nerotačních ploch[4]</i>	18
<i>Tab. 2 Složení programu (v bloku)[8]</i>	32
<i>Tab. 3 Význam nejpoužívanějších adres[8]</i>	33
<i>Tab. 4 Význam důležitých funkcí[8]</i>	33
<i>Tab. 5 Shrnutí všech použitých operací</i>	61

SEZNAM PŘÍLOH

PI - MATERIÁLOVÝ LIST POLOTOVARU NECURON 1001

Příloha na CD:

- Naprogramovaná bysta v NX 11 (*Bysta_prvni_program.prt*)
- Přeprogramovaná bysta v NX 11 (*Bysta_konecny_program.prt*)
- Bakalářská práce v elektronické podobě

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST POLOTOVARU NECURON 1001

Materiálové listy

Datum vydání: 15.2.2010

NECURON 1001

Deskový a blokový materiál s velmi dobrými fyzikálními vlastnostmi

Oblasti použití: (Hlavní)	Přípravky, kontrolní a měřicí šablony Prototypové a kontrolní modely Modely pro obzvlášť vysoké mechanické zatížení		
Barva:	Šedá		
Technická data:	Koefficient tepelné roztažnosti (ISO 75): $50 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ Teplotní odolnost: 70 °C Tvrdość Shore D (ISO 868): 83 Pevnost v tlaku (ISO 604): 70 N/mm ² Pevnost v ohybu (ISO 178): 75 N/mm ² Otěr (při definovaných podmínkách): 680 mm ³ Měrná hmotnost: 1,20 g/cm ³ <ul style="list-style-type: none">• neobsahuje žádné halogeny, změkčovadla nebo rozpouštědla• vyrobeno bez přísad znečišťující vodu• fyziologicky bez podezření		
Rozměry: (Standard)	1 200 x 400 x 50 mm		
	1 200 x 400 x 75 mm		
	1 200 x 400 x 100 mm		
	Povrchy rovnoběžně opracovány, jiné rozměry na zakázku		
Zpracování:	Lepidlo: NECURON K8	nebo v modelářství obvyklá lepidla / pryskyřice	
Nástroje:	Nástroje pro zpracování kovu s dobrým odváděním třísek		

NECURON 1001

- neobsahuje žádná plnidla, která uvolňují při broušení nebezpečný prach. Obsah prachu ve vzduchu by přesto neměl překročit 6 mg/m³. Při zpracování by měla být dodržována ochranná opatření, doporučena profesní skupinou chemického průmyslu.

- ve vytvrzeném stavu není žádná nebezpečná látka ve smyslu nařízení o nebezpečných látkách. Její odpady je možno spalovat ve vhodném povoleném zařízení nebo přivážet na povolenou skládku za dodržení zákonných předpisů

- technické údaje a doporučení se vztahují na současný platný stav techniky a zakládají se na naši dlouholeté zkušenosti. Vyhrazujeme si další vývoj a vylepšování. Na základě mnohostrannosti v možnostech zpracování doporučujeme vlastní odzkoušení k dosažení optimálních výsledků.

Výrobce: NECUMER-PRODUCT, GmbH, Bruchheide 16, D-49163 Bohmte, Německo
Dovozce: Ing. Miroslav Sikora, Nebory 109, 73961 Třinec, Česká republika