

Výroba rotačního dílu na CNC obráběcím centru Alzmetall GS 800

Bc. Vilém Feix

Diplomová práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Vilém Feix
Osobní číslo: T22347
Studijní program: N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Výrobní inženýrství
Forma studia: Kombinovaná
Téma práce: Výroba rotačního dílu na CNC obráběcím centru Alzmetall GS 800

Zásady pro vypracování

- Teoretická studie k tématu práce
- Návrh geometrie výrobku včetně technických parametrů, výběr vhodného plastového materiálu pro díl
- Integrace víceosého frézování a karuselového soustružení do návrhu
- Stanovení strategií obrábění pro víceosé frézování a karuselové soustružení
- Experimentální ověření navrženého řešení na prototypovém dílu
- Návrh a konstrukce vakuového upínacího přípravku pro karuselové soustružení
- Technicko-ekonomické zhodnocení navrženého řešení a diskuze výsledků práce

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam doporučené literatury:

KIEF, Hans B., Helmut A. ROSHIWAL a Karsten SCHWARZ. *The CNC handbook*. South Norwalk, Connecticut: Industrial Press, 2022, XIII, 700 s. ISBN 978-0-8311-3636-9.

SMID, Peter. *CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming*. 3rd ed. New York, NY: Industrial Press, 2008, XX, 540 s. ISBN 9780831133474. Dostupné také z: <http://www.loc.gov/catdir/toc/ecip084/2007045901.html>

ŠTULPA, Miloslav. *Technologie obrábění: CNC soustružení, frézování, vrtání pro praxi*. Grada, 2022, 1 online zdroj (160 stran). ISBN 978-80-271-2883-9. Dostupné také z: <https://www.bookport.cz/AccountSaml/SignIn/?idp=https://shibboleth.utb.cz/idp/shibboleth&returnUrl=/kniha/technologie-obrabeni-10995/>

Soori, Mohsen, and Mohammed Asmael. "A review of the recent development in machining parameter optimization." *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering* 16.2 (2022): 205-223.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: 2. ledna 2024
Termín odevzdání diplomové práce: 10. května 2024

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 1. března 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou 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);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové 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.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá výrobou rotačního dílu na CNC obráběcím centru. Teoretická část je zaměřena na obráběcí centra, CNC soustružení, upínání obrobků, programování CNC strojů a technickoekonomické zhodnocení výroby. Cílem praktické části bylo navrhnout rotační díl pro zamezení vniku plastových třísek okolo otočného stolu, vytvořit obráběcí program a vyrobit díl na CNC obráběcím centru. Nakonec proběhlo zhodnocení vyráběného dílu a analýza výrobních nákladů.

Klíčová slova: obráběcí centrum, CNC programování, upínací systém, kombinace frézování a soustružení

ABSTRACT

This thesis addresses the manufacturing of a rotating part on a CNC machining center. The theoretical part is focused on the machining center, CNC turning, clamping workpiece, programming CNC machine and technical economy evaluation of production. The objective of the practical part was to design a rotating part for the stop reel in plastic chips around the rotary table, create a manufacturing program and produce a part on the CNC machining center. At the end of this thesis, the production and analysis of production costs were evaluated.

Keywords: Machining Center, CNC Programming, Clamping System, Mill-Turn

Rád bych poděkoval doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při zpracování této práce.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 CNC OBRÁBĚNÍ	12
1.1 CNC OBRÁBĚCÍ CENTRUM.....	12
1.1.1 Obráběcí centrum na rotační součásti	13
1.1.2 Obráběcí centrum na nerotační součásti	13
1.1.3 Souřadnicový systém stroje.....	14
1.2 MULTIFUNKČNÍ CNC OBRÁBĚCÍ CENTRUM.....	15
2 CNC SOUSTRUŽENÍ	17
2.1 SOUSTRUŽNICKÝ STROJ	17
2.2 SOUSTRUŽNICKÝ NÁSTROJ	18
2.2.1 VBD	18
2.2.2 Nástrojové úhly	20
2.3 NEŽÁDOUCÍ VLIVY PŘI SOUSTRUŽENÍ	21
2.3.1 Vibrace	21
2.3.2 Namotávání třísek	21
2.4 SVISLÉ SOUSTRUŽENÍ	22
3 UPÍNÁNÍ OBROBKŮ	23
3.1 UPÍNÁNÍ ROTAČNÍCH DÍLŮ.....	23
3.2 UPÍNÁNÍ ROZMĚRNÝCH DÍLŮ	24
3.3 PŘÍPRAVEK.....	25
3.4 UPÍNACÍ SYSTÉM S NULOVÝM BODEM	25
4 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ	27
4.1 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ CNC PROGRAMOVÁNÍ	27
4.2 GEOMETRIE DRÁHY NÁSTROJE	28
4.3 NÁSTROJ	29
4.3.1 Korekce	30
4.3.2 Nulový bod nástroje	30
4.4 DÍLENSKÉ PROGRAMOVÁNÍ	30
4.4.1 Programování v ISO.....	31
4.4.2 Programování v dialogu	31
4.5 CAM PROGRAMOVÁNÍ	32
4.5.1 Postprocessor	33
4.5.2 Nulový bod obrobku	33
4.6 PROGRAMOVÁNÍ PODLE POČTU POUŽITÝCH ŘÍZENÝCH OS	33
4.6.1 Dvouosé obrábění.....	33

4.6.2	Dvou a půl osé obrábění.....	34
4.6.3	Třiosé obrábění.....	34
4.6.4	Tři + dvouosé obrábění	34
4.6.5	Čtyřosé obrábění	35
4.6.6	Pětiosé obrábění	35
5	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBY.....	36
5.1	SPOTŘEBA ENERGIE	36
5.2	ŘEZNÉ PODMÍNKY	38
5.3	VÝROBNÍ NÁKLADY	40
5.4	TRVANLIVOST ŘEZNÉHO NÁSTROJE	41
6	SHRnutí TEORETICKÉ ČÁSTI.....	43
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	44
7	CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	45
8	NÁVRH VÝROBKU	46
9	CAM PROGRAMOVÁNÍ.....	49
9.1	POZICE Č.1	49
9.2	POZICE Č.2	51
9.3	VAKUOVÝ PŘÍPRAVEK.....	56
9.3.1	Návrh vakuového přípravku.....	56
9.3.2	CAM programování vakuového přípravku	57
9.4	POZICE Č.3	64
10	VÝROBA.....	69
10.1	STROJ.....	69
10.2	NÁSTROJE	70
10.3	PRŮBĚH VÝROBY.....	73
10.3.1	Pozice č.1	73
10.3.2	Pozice č.2	75
10.3.3	Vakuový přípravek.....	76
10.3.4	Pozice č.3	78
11	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBY.....	79
11.1	FUNKČNOST VÝROBKU	79
11.2	VÝROBNÍ NÁKLADY	81
12	SHRnutí A DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	82
	ZÁVĚR	83
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	87
	SEZNAM OBRÁZKŮ	90
	SEZNAM TABULEK.....	93
	SEZNAM PŘÍLOH.....	94

ÚVOD

Technologie třískového obrábění je stále se rozvíjejícím odvětvím ve výrobním průmyslu, vývoj je zejména zaměřen na zdokonalování výrobních strojů, které dokážou vyrábět co nejpřesněji a nejefektivněji. Mezi tyto stroje patří např. multifunkční CNC (počítačem číslicově řízené) obráběcí centra, které dokáží vyrobit i ty nejsložitější díly na jedno upnutí a kombinovat více druhů třískových operací jako je frézování, soustružení, vrtání nebo broušení. Výhoda těchto strojů je zejména v tom, že lze součást vyrobit pouze na jednom stroji a tím se sníží výrobní náklady.

Jelikož je soustružení nejpoužívanější technologií třískového obrábění rotačních dílů, je této metodě obrábění věnována část teoretické práce, zejména směřována na svislé soustružení, které bude využito pro výrobu prototypového dílu.

Pro efektivní výrobu je důležité správně zvolit způsob ustanovení a upnutí obrobku. Jednou z těchto metod upínacích systémů jsou přípravky. Přípravky je potřeba navrhnout tak, aby obrobek bylo možné vyrobit v požadované kvalitě a přesnosti.

Pro výrobu složitých součástí na multifunkčních CNC obráběcích centrech je zapotřebí CAM (počítačová podpora výroby) software. Programování CNC strojů je náročný proces a je kladen velký důraz na kvalitu vytvořeného programu, aby stroj vyráběl co nejefektivněji. Dnešní CAM softwary obsahují různé moduly a možnosti, jakým způsobem bude součást obráběna. Programátor má tedy několik možností, jaký postup zvolí. CNC stroje lze rozdělit podle složitosti na počet řízených os, kterých disponují. Čím více os je stroj schopen použít, tím lze součást obrábět z více stran a tím minimalizovat počet ustanovení.

Proces výroby technologie obrábění je potřeba správně analyzovat, kvůli výrobním nákladům a možnostem optimalizace výrobního procesu. Důležité je zjistit, které aspekty ve výrobním procesu mají největší vliv na náklady, může mezi ně např. patřit spotřeba energie stroje, technická příprava výroby, nástroje, řezné podmínky nebo materiál.

Praktická část této práce se zaměřuje na výrobu rotačního dílu na multifunkčním CNC obráběcím centru. Nejdříve bude navrhnout výrobek pro výrobu na tomto stroji. Pro výrobu bude využito více typů třískového obrábění jako je soustružení, frézování nebo vrtání. Program bude vytvořen v CAM softwaru i s návrhem vakuového upínacího zařízení. Po výrobě proběhne shrnutí výroby a technickoekonomické zhodnocení tohoto výrobku.

Toto téma jsem si vybral, protože se technologii obrábění už věnuji několik let v profesním životě. Zároveň bych chtěl navázat na mou bakalářskou práci s názvem Výroba plastových dílů na vakuově upínaných systémech, kde jsem se zabýval výrobou plastového dílu technologií frézování s využitím upnutí obrobku za pomoci vakuové upínací techniky. Přínosem této práce vidím v nastínění problematiky výroby rotačního dílu na multifunkčním obráběcím centru s kombinací více třískových operací, jako je soustružení a frézování. Dále v nastínění využití vakuového upínacího systému na tomto stroji.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CNC OBRÁBĚNÍ

CNC obrábění je rozsáhlá technologie pro výrobu tvarově složitých součástí z širokého spektra materiálů. Zkratka CNC znamená počítačem číslicově řízený stroj. Jedná se o stroje schopné automatizovaně vyrábět součástky s opakovatelnou přesností a jakostí. Součástky jsou vyráběny pomocí vytvořeného programu složeného z alfanumerických znaků.

Mezi základní druhy technologie obrábění patří frézování, soustružení, vrtání a broušení. Dnešní obráběcí centra jsou často multiprofesní, zvládají více těchto technologických operací dohromady a tím se stávají velmi efektivními. CNC obráběcí stroje jsou vhodné pro různorodou výrobu jako je kusová, sériová nebo hromadná. Cílem této technologie je vyrábět součástky v co největší kvalitě s vysokou produktivitou.

Principem obrábění je postupné odebrání třísky z materiálu (obrobku) pomocí nástroje. Lze dosáhnout velmi přesných rozměrů a výborné kvality povrchu, proto se tato technologie řadí mezi nenahraditelné. [1] [2] [3] [4]

1.1 CNC obráběcí centrum

Vývoj CNC obráběcích strojů se postupně posouvá čím dál více, od klasických konvenčních obráběcích strojů až po dnešní multifunkční obráběcí centra. CNC obráběcí centrum je typické tím, že je schopné více technologických operací, jako je např. frézování, soustružení a vrtání. Avšak jedna třísková operace je nejdominantnější, kvůli omezení výkonu těch dalších. Stroj je částečně automatizovaný, např. automatická výměna nástroje nebo obrobků. Dále disponuje měřicími a diagnostickými zařízeními, např. kontrola nástroje pomocí laseru nebo snímání obrobku pomocí dotykové sondy.

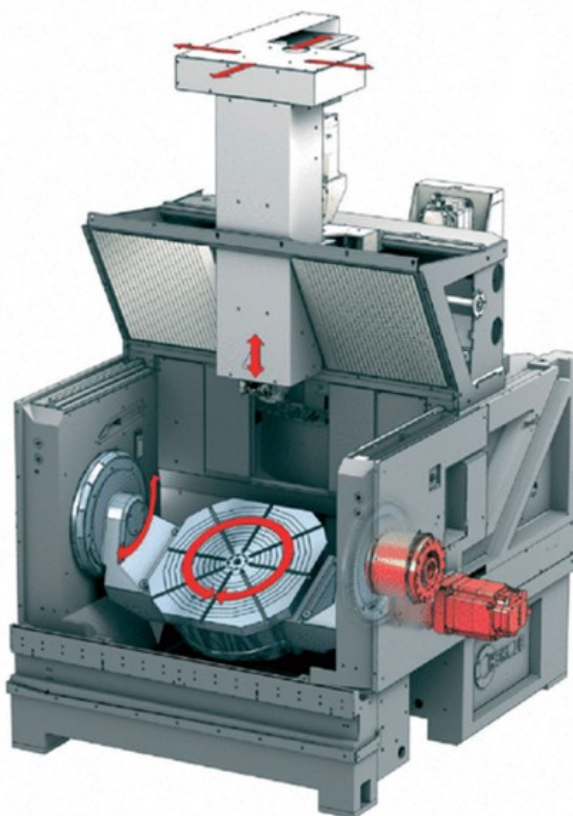
CNC obráběcí centra se běžně rozdělují podle vhodného použití na OC pro výrobu rotačních a nerotačních součástí. OC se mohou lišit podle počtu použitých řízených os, ty bývají nejčastěji tři až pětiosé. Tyto stroje jsou typické svou pružností, jsou schopné vyrobit součást na minimální počet upnutí. Tím, že je součást vyrobena na jednom stroji, jsou výrobní náklady nižší. [1] [5] [6]

1.1.1 Obráběcí centrum na rotační součásti

Tyto stroje se primárně používají pro výrobu součástí rotačního typu pomocí soustružení. Hlavní řezný pohyb vykonává obrobek vlivem otáčení. Obráběcí centra na rotační součásti se rozdělují podle konstrukce na vodorovná, svislá a speciální. Mezi vodorovná patří produkční a vícevřetenové automaty. Mezi svislá patří OC karuselového typu a inverzní stroje. Mezi speciální stroje pro rotační součásti se zařazují jednoúčelové stroje.

1.1.2 Obráběcí centrum na nerotační součásti

CNC obráběcí centra na nerotační součásti (obrázek 1) využívají primárně frézovací metodu obrábění. Hlavní řezný pohyb vykonává nástroj. OC na nerotační součásti se rozdělují podle konstrukce na vodorovná a svislá. Mezi vodorovná OC na nerotační součásti patří centra s pevným stojanem, s pohyblivým stojanem, s výsuvným vřeteníkem a hybridní stroje. Mezi svislá OC patří centra s pevným stojanem, s pohyblivým stojanem, s výsuvným vřeteníkem, s pohyblivým příčnickem, s pohyblivým portálem a pohyblivým stolem. [7]



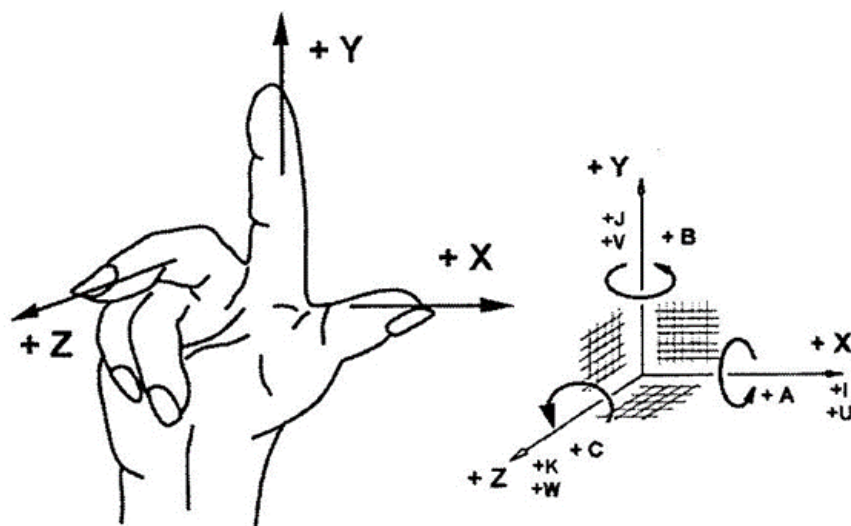
Obrázek 1 CNC obráběcí centrum Hermle [8]

1.1.3 Souřadnicový systém stroje

Souřadnicový systém stroje je důležitý pro definici tvorby programu a následného pohybu nástroje nebo obrobku přímo na stroji. Používá se tzv. kartézský systém souřadnic (obrázek 2). Osy se rozdělují na lineární (přímé) nebo rotační. Základními lineárními osami jsou X, Y, Z, které jsou určeny pro geometrii pohybu nástroje. Rotačními osy jsou A, B, C, každá z této os je rotací kolem základní lineární osy. Doplňkové osy jsou I, J, K, které slouží např. pro vyjádření středu poloměru oblouku. Dalšími doplňkovými osami jsou tzv. sekundární U, V, W, tyto osy jsou vždy rovnoběžné se základními osy. Osa Z je vždy v ose vřeteně.

Základními osy pro CNC frézku jsou tedy tři, X, Y, Z. Pro CNC soustruh jsou základními osy dvě X, Z, osa X je totožná s průměrem obrobku, jedná se ale o průměr, nikoliv o poloměr. Každý výrobní stroj má individuální počet os, podle její konstrukce nebo použití. Se zvyšujícím se počtem os je možné vyrobit složitější výrobky.

Stroje s větším počtem řízených os jsou také výhodné v tom, že výrobek je možné obrobit s více stran na jedno upnutí, a to snižuje celkový výrobní čas. Obráběcí centra jsou schopná ovládat až pět os současně, tedy tři základní lineární osy a dvě z rotačních os. Některá obráběcí centra jsou schopná soustružit i frézovat, to vede k možné výrobě velmi náročných součástí na jedno upnutí. [1]



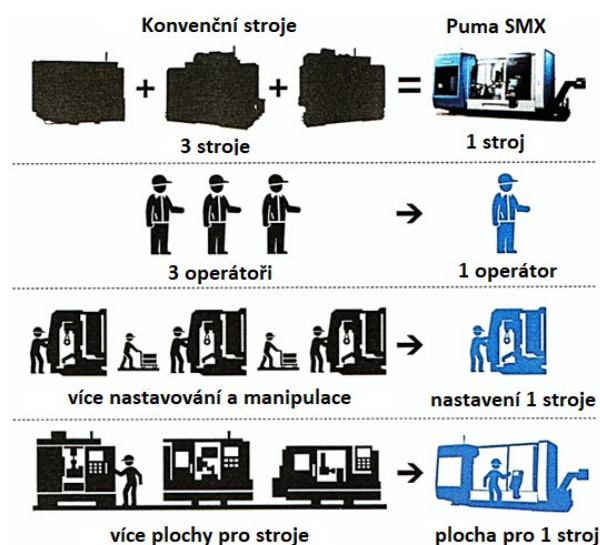
Obrázek 2 Kartézský souřadnicový systém stroje [1]

1.2 Multifunkční CNC obráběcí centrum

Multifunkční obráběcí centrum je výrobní stroj, který dokáže více plnohodnotných třískových operací na jedno upnutí, a to frézování a soustružení. Dalšími obráběcími metodami, které jsou tyto stroje schopné jsou vrtání a broušení. Cílem těchto strojů je vyrobit i ty nejsložitější výrobky na jednom stroji v co největší kvalitě a přesnosti. Jedná se o velmi komplexní součásti s často vysokou prodejní cenou. Tím že je součást vyrobena na jednom stroji se snižuje nákladovost, díky vyloučení dalších strojů ve výrobního procesu. Další velkou výhodou je snížení plochy místa ve výrobní hale, protože stačí pro výrobu součásti jeden stroj a ne více. Tím se také sníží požadavek na množství personálu a také čas manipulace mezi stroji (obrázek 3).

Rozdíl mezi obráběcím centrem a multifunkčním obráběcím centrem je v tom, že OC má jeden způsob třískové obrábění dominantní, a ta druhá třísková metoda obrábění je pouze doplňková s nižším výkonem. Multifunkční obráběcí centrum má tedy stejné vlastnosti jako OC, avšak je pokročilejší v kombinování plnohodnotných třískových operací. Tím se stává ještě více pružným výrobním strojem. Multifunkční obráběcí centra se často rozdělují na semimultifunkční, frézovací a soustružnická. Podle tohoto rozdělení se liší konstrukce stroje a tím je více podobná soustružnickému nebo frézovacímu stroji.

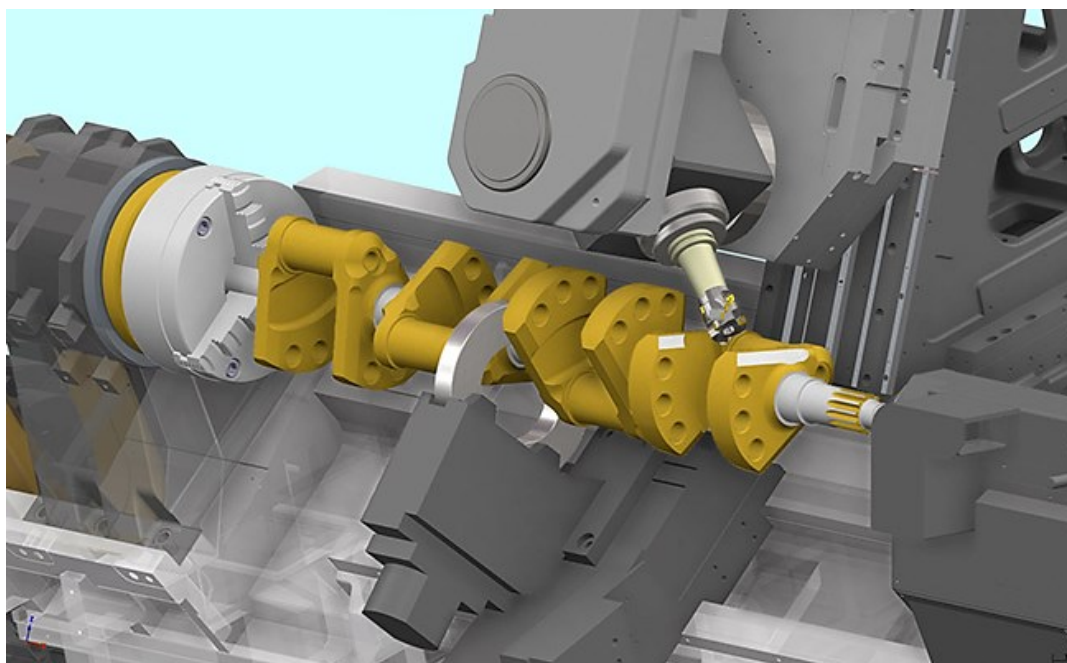
Takto komplexní stroj vyžaduje ve výrobním procesu vysokou úroveň i na jiných místech, vysokou kvalifikaci personálu, vhodný CAM software s postprocesorem pro plnohodnotné využití funkcí stroje, a také vhodné plánování pro efektivní výrobu. [7] [9]



Obrázek 3 Efekty multifunkčních obráběcích center [9]

Multifunkční obráběcí centra jsou též někdy nazývané jako soustružnicko-frézovací centra. Tyto stroje se přepínají do různých módů podle toho, jakou třískovou metodu obrábění chtějí zrovna aplikovat. Když stroj přejde do frézovacího módu, vřeteník, kde je upnut nástroj (fréza) se stává hlavním řezným pohybem a rotuje ve vysokých otáčkách, rotace obrobku upnutého např. ve soustružnickém sklíčidle se stává osou C. V soustružnickém módu koná hlavní řezný pohyb obrobek, který rotuje vysokou rychlostí, nástroj (soustružnický nůž) upnut ve vřeteníku je zamknut proti pootočení. Typickým výrobkem na vodorovném soustružnicko-frézovacím centru jsou klikové hřídele (obrázek 4).

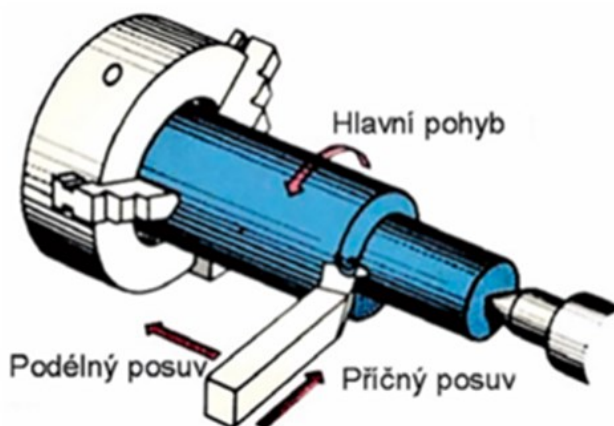
Nástroje jsou tedy vyvolávány z jednoho zásobníku a upínány do stejného vřetene. Konstrukce těchto vřeten je náročnější oproti běžným. Konstrukce soustružnicko-frézovacích center je velmi složitou záležitostí, vývoj musí projít velmi složitými procesy a různými simulacemi. [10]



Obrázek 4 Obrábění klikové hřídele na soustružnicko-frézovacím stroji [11]

2 CNC SOUSTRUŽENÍ

Při soustružení koná hlavní řezný pohyb obrobek, který je upnut ve vřetenu, vedlejší pohyb koná nástroj (soustružnický nůž). Technologie soustružení se používá pro obrábění rotačních dílů, a to jak válcových, kuželových nebo kulových rotačních ploch. Materiál z obrobku je postupně odebírán pomocí soustružnické nože, nejčastěji jednobřitého. Základní řízení soustruhu (obrázek 5) probíhá ve dvou osách (podélném a příčném vůči obrobku). Při obrábění rotačními nástroji bývá soustruh vybaven také osou C pro polohování vřetene. Pro možnost frézování musí být soustruh vybaven další osou Y, některá soustružnická centra jsou schopná frézovat velice efektivně. Dalším doplňkem u těchto strojů bývá protivřeteno nebo další nástrojová hlava pro komplexnější možnost obrábění. [6] [12]

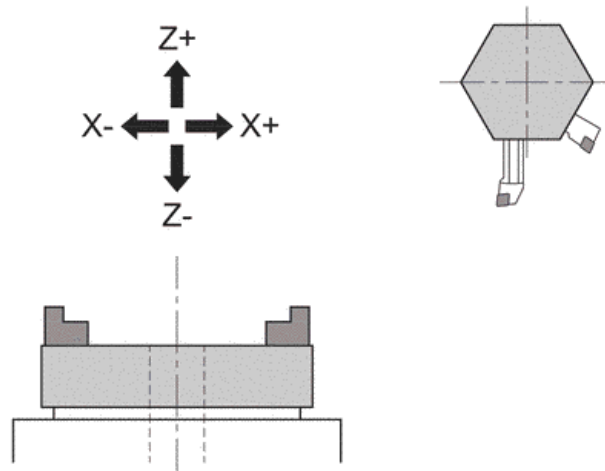


Obrázek 5 Soustružení [6]

2.1 Soustružnický stroj

Základním rozdělením soustruhů je podle způsobu, jakým je upnut obrobek, a to vodorovně (horizontálně) nebo svisle (vertikálně). Soustruhy s vodorovně upnutým obrobkem jsou častěji používané, kvůli využití pro obrábění menších výrobků. Svislé soustruhy se používají pro obrábění velkých rotačních dílů (obrázek 6).

Dalším typem rozdělení soustruhů je podle použití řízených os. Základními osy pro soustruh je osa X a Z, osa Z je vždy v ose vřetene. Dalšími osy mohou být C a Y, které se využívají např. pro frézovací operace na CNC soustruzích. CNC soustruh může být také vybaven dvěma revolverovými hlavami pro zvýšení efektivity obrábění. [12] [13]



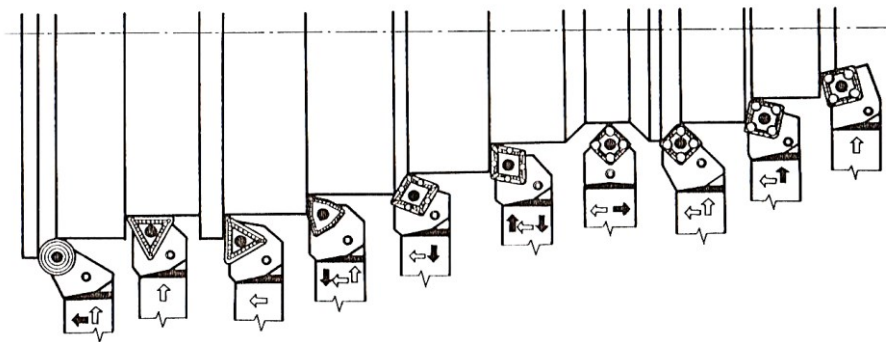
Obrázek 6 Svislý (vertikální) CNC soustruh [13]

2.2 Soustružnický nástroj

Soustružnický nástroj (soustružnický nůž) slouží k postupnému odebrání třísky z obrobku. Může být různého tvaru podle použití, nejčastěji jednoduchého s jedním břitem. Soustružnické nože se podle materiálu rozdělují na celistvé z rychlořezné oceli (HSS), z konstrukční oceli třídy 11 se spájenou břitovou destičkou nebo ze zušlechtné oceli třídy 15 s vyměnitelnou břitovou destičkou (VBD), které jsou nejčastěji používané. Podle použití lze soustružnické nože rozdělit na ubírací, upichovací, zapichovací, kopírovací, tvarové a závitové. Soustružnické nože jsou řezným odporem namáhané na ohyb. [6] [12]

2.2.1 VBD

Vyměnitelná břitová destička (VBD) slouží jako řezná část obráběcího nástroje, její největší výhodou je možnost výměny za jinou při jejím otupení. Většina těchto destiček má řeznou část na obou stranách, tudíž je možné ji otočit a použít znovu. Materiál pro výrobu těchto destiček je nejčastěji slinutý karbid. Destičky bývají často i povlakované, pro zvýšení efektivity práce. VBD je upevněna pomocí šroubku v lůžku držáku nástroje. Lůžko se opírá o plochy destičky, aby nedošlo k posunutí vlivem řezného odporu mezi nástrojem a obrobkem. Kromě řezné hrany je VBD tvořena utvařečem třísky, ta odvádí třísku pryč od nástroje a udává její tvar. [1] [6] [14]



Obrázek 7 Soustružnické nože na vnější soustružení [14]

Dalším důležitou částí je zaoblení špičky nástroje, její hodnota se volí podle technologického použití, kvality povrchu a rozměru na výrobku. Malý rádius špičky může zapříčinit její vylomení, proto se její velikost nejčastěji volí alespoň 0,4 (mm), pokud to dovoluje výrobní výkres. Pro hrubovací operace se používá i větší, např. 0,8 (mm). Velikost zaoblení špičky je také nutné brát v úvahu v definování hloubky řezu, hloubka by neměla být menší než její polovina. Kvalita obrobenej plochy závisí na velikosti posuvu a velikosti zaoblení špičky, při velmi malém rádiusu je potřeba volit malé posuvy. Větší rádius však může způsobit vibrace kvůli vzniku radiálních sil, proto je velmi důležité správně zvolit řezné parametry. Pro dokončovací operace soustružení se nejčastěji volí přídavek na materiál 0,2 až 0,3 (mm). Při zarovnání čela je také potřeba brát v úvahu poloměr zaoblení špičky, neměli bychom programovat na střed souřadnice obrobku, ale o hodnotu rádiusu tuto souřadnici posunout, Zaoblení rádiusu špičky má společně s velikostí posuvu vliv na drsnost obrobenej ploch (tabulka 1). [1] [6]

Tabulka 1 Vliv zaoblení špičky VBD a posuvu na kvalitu obrobenej ploch [6] – str.18

Vliv zaoblení špičky VBD a posuvu na kvalitu obrobenej ploch			
Střední aritmetická odchylka profilu Ra (μm)	Rádius zaoblení špičky R (mm)		
	0,4	0,8	1,2
	Posuv f (mm)		
0,6	0,07	0,1	0,12
1,6	0,11	0,15	0,19
3,2	0,17	0,24	0,29
6,3	0,22	0,3	0,37

2.2.2 Nástrojové úhly

Nástrojové úhly (obrázek 8) mají velký vliv na řezný proces, především ovlivňují velikost řezné síly, teplotu řezu, tvar a odvod třísky a kvalitu obrobené plochy. Tyto úhly na řezném nástroji jsou rozdílné podle obráběného materiálu a metody obráběcí operace.

α ... úhel hřbetu – v rozmezí 3 až 15°, snižuje tření mezi nástrojem a obráběnou plochou, má velký vliv na celkovou tuhost břitu

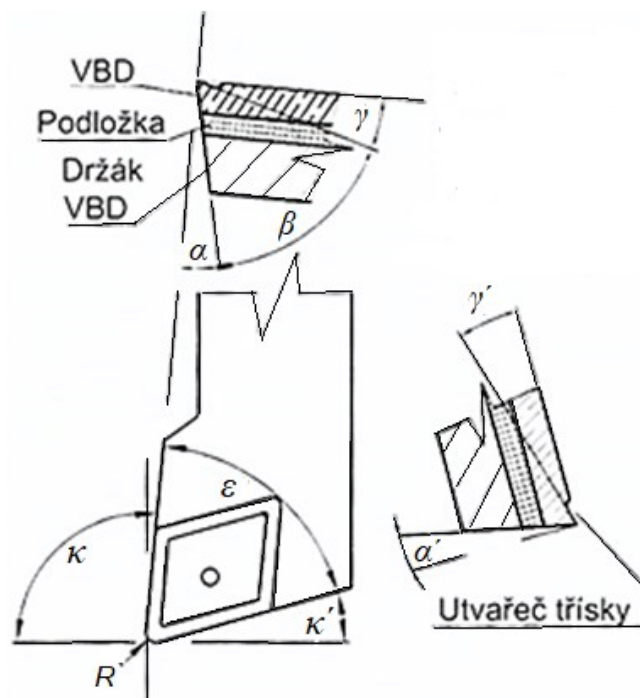
β ... úhel břitu – pro hrubovací operace má větší úhel, až 110°, kvůli pevnosti břitu, má také vliv na tuhost

γ ... úhel čela – závisí na materiálu obrobku a nástroje, úhel může být záporný i kladný, pro obrábění plastů až 45°, má vliv na odchod třísky z místa řezu, větší úhel má za následek větší namáhání břitu

ε ... úhel špičky – úhel špičky nástroje se volí podle typu použití, větší úhly se používají pro hrubovací operace (80°) a menší úhly pro dokončování (35°)

κ ... úhel nastavení hlavního ostří – má vliv na poměr axiálních a radiálních sil na nástroj, ovlivňuje přesnost rozměrů obrobku a tvar třísky

κ' ... úhel nastavení vedlejšího ostří – má vliv na kvalitu obrobených ploch [5] [6] [15] [16] [17]



Obrázek 8 Nástrojové úhly soustružnického nože s VBD [1]

2.3 Nežádoucí vlivy při soustružení

Nežádoucí vlivy při soustružení mají vliv na neefektivní obráběcí proces. Jejím důsledkem může být např. zhoršení povrchu vyráběného dílu nebo snížení trvanlivosti rezného nástroje.

2.3.1 Vibrace

Při obrábění rotačních součástí může dojít k vibracím mezi nástrojem a obrobkem, to má za následek vyšší opotřebení nástroje, zhoršení povrchu na obrobku a hlučnost obráběcího procesu. Vibrace lze rozdělit na dva typy, a to na vynucené kmitání, které se projevuje periodicky, např. nevyvážeností rotující obrobku či nástroje nebo vlivem přerušovaného řezu. Dalším typem je samobuzené kmitání, které je nejčastěji zapříčiněno nestabilitou upnutí obrobku.

Zamezit vibracím lze několika způsoby:

- Krátké vyložení nástroje (zvýšit tuhost), upínač nástroje s tlumením vibrací
- Otočný hrot, protivřeteno, luneta
- Úprava rezných podmínek (nejčastěji otáčky)
- Snížit rádius špičky nástroje
- Pozitivní VBD, úhel nastavení blíží se 90° [6] [16] [18]

2.3.2 Namotávání třísek

Nežádoucím vlivem při soustružení je namotávání dlouhé kontinuální třísky kolem obrobku nebo nástroje. Tento jev může poškodit nástroj, obrobek, upínací zařízení nebo stroj. Každý obráběný materiál tvoří třísku jinak, existuje však několik rad, které mohou tento problém vyřešit. Nejčastější příčinou namotávání třísky může být příliš nízká hloubka řezu, nevhodné rezné podmínky nebo velký poloměr zaoblení špičky.

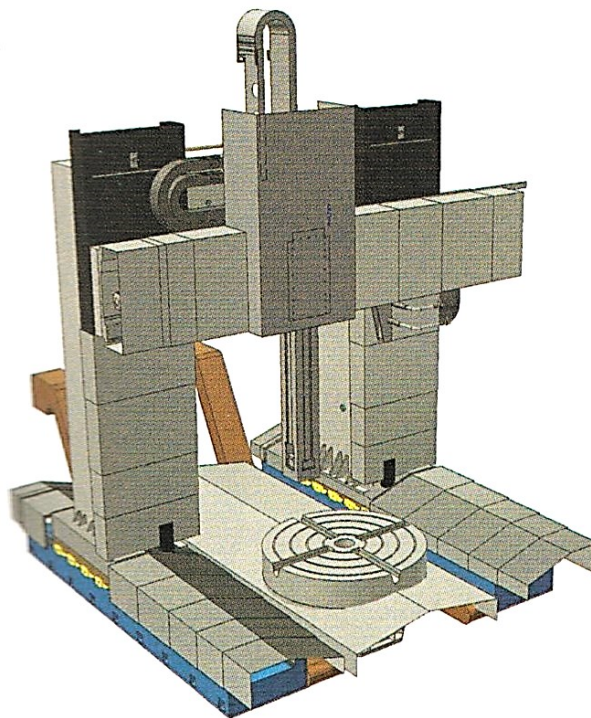
Řešením může být:

- zvýšení rychlosti posuvu
- větší hloubka řezu, přerušovaný řez třísky
- menší poloměr zaoblení špičky nástroje
- větší úhel nastavení řezu, vyšší tlak rezné kapaliny do místa řezu [19]

2.4 Svislé soustružení

Karuselové (svislé) soustružení se využívá pro obrábění rozměrných součástí. Obrobek je položen na otočném stole ve svislé (vertikální) poloze. Princip v tomto obrábění je ten, že rozměrné součásti dosahují velké hmotnosti, a proto se musí upínat ve vertikální poloze proti nástroji. Upnutí v této poloze pomůže síla gravitace, tudíž je upnutí stabilnější. Nejčastěji se jedná o výrobky kusové nebo malosériové výroby. Jedná se o rotační součásti s malým poměrem délky k průměru. Karuselové soustruhy jsou doplňovány dalšími pohybovými osy, aby bylo na nich možné aplikovat i další třískové operace, jako je frézování, vyvrtávání nebo řezání závitů. Vřeteno je tedy schopné upnout jak soustružnický nástroj, tak i poháněný nástroj pro frézovací operace. Nevýhodou těchto strojů je nevyužití strojního času v důsledku dlouhé doby ustanovení obrobků nebo výměny nástroje. [5] [9] [7]

Nosná soustava těchto typů strojů pro těžké a rozměrné obrobky bývá zhotovena z litiny, svařované oceli nebo kompozitního materiálu (ocel vyplněná polymerbetonem). Nejsložitější částí karuselových strojů je upínací deska. Její uložení má velký vliv na rozměrovou přesnost obráběné součásti. Bývá často kluzné nebo valivé. Je i také velmi namáháno vlivem řezného odporu a vahou obrobku, proto musí být rotační stůl velmi tuhý. Do průměru 4000 mm se upínací desky vyrábí celistvé z ocelolitiny nebo z šedé litiny. Nad tento průměr bývají upínací desky často poskládány z více částí. [9] [7]



Obrázek 9 Svislý soustruh (karusel) [9]

3 UPÍNÁNÍ OBROBKŮ

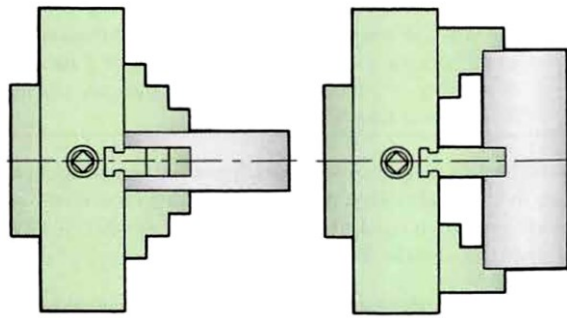
Upínání obrobků je nedílnou součástí procesu CNC obrábění. Kvalitním a stabilním upnutím obráběného dílu lze docílit vyšší efektivity práce.

3.1 Upínání rotačních dílů

Základním typem upínání obrobků na soustružnických strojích jsou univerzální sklíčidla (obrázek 10) s určitým počtem čelistí, nejčastěji se používají tříčelist'ové nebo čtyřčelist'ové. Každý má své výhody, u čtyřčelist'ových sklíčidel lze např. upínat i čtvercové nebo obdélníkové tvary. Dokonce lze i otočit čelisti a použít jejich opačnou stranu. Jeho nevýhodou je však problém s vycentrováním obrobku na střed, je potřeba použít centrovacích přípravků. Univerzální sklíčidla jsou vhodná pro kusovou nebo malosériovou výrobu. Obrobek může být upnut ve sklíčidle více způsoby, především záleží na jeho velikosti. Mohou se použít více typů čelistí, které lze jednoduše přemontovat. Lze i použít tzv. měkké čelisti z různých materiálů, do kterých lze obrobit potřebný tvar pro upnutí obrobku. Dalším typem sklíčidla jsou pneumatická nebo hydraulická, ty jsou vhodná i pro sériovější výrobu, díky možnosti automatizace a potlačení faktoru lidské chyby při utahování obrobku. Tímto způsobem upínání lze nastavit potřebný tlak pro upnutí, což zaručuje pravidelnost silových účinků na obrobek. Pneumatická sklíčidla jsou častěji používána díky absenci oleje.

Dalším typem upnutí na soustruzích jsou kleštiny. Kleština má daný průměr výrobcem, tudíž ji lze použít jen na přesný rozměr tyčového polotovaru. Tento způsob upínání je opět vhodný pro sériovou výrobu. Specifickým způsobem upínání jsou rozpínací trny. Tyto trny jsou výhodné v tom, že obrobek lze upnout za vnitřní průměr, to má za následek možnost obrobení celé vnější strany dílu na jedno upnutí.

Dalším způsobem upínání mohou být kalibrované trny, upínání mezi hroty nebo použití dalších zařízení k zamezení vibrací a zvýšení tuhosti. Na CNC soustružnických centrech je někdy nutné použít dalších upínacích zařízení kvůli stabilitě obrobku, lze použít např. tzv. lunetu k podepření dílu, luneta může být buď pevná nebo pohyblivá. Dalším způsobem, jak upnout díl z druhé strany je protivřeteno. Tyto možnosti jsou individuální podle konstrukce CNC soustružnického stroje. Především se tyto zařízení používají u delších součástí. I přes několik způsobů upínání obrobků na soustružnických strojích platí stejné pravidlo, upnutí obrobku by mělo být spolehlivé, tuhé, snadné a bezpečné. [5] [6] [20] [21]



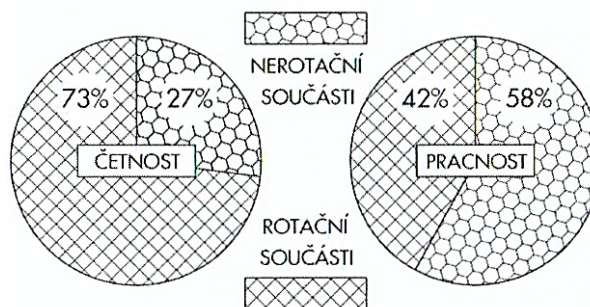
Obrázek 10 Upnutí obrobku ve sklíčidle [20]

3.2 Upínání rozměrných dílů

Na vertikální soustružích se převážně obrábí rozměrné rotační součásti. Lze obrábět i nerotační součásti, ty je ale potřeba vyvážit, aby při soustružení nedocházelo k rázovým odstředivým silám. Upnutí probíhá nejčastěji pomocí sklíčidlových upínacích zařízení nebo v přípravcích. Při obrábění tenkostěnných součástí, kde je možnost vzniku deformace obrobku vlivem upnutí, je nutné použít upínací prvky s několika opěrnými body.

Způsob upnutí by měl splňovat několik podmínek, mezi které patří:

- nesmí zavazet řezným nástrojům při obrábění, způsob upnutí by měl být přesný
- upínacích prvků by mělo být co možná nejméně
- musí být tuhé, bezpečné a vyvážené proti dynamickým rázům
- obsluha a údržba upínacího zařízení by měla být jednoduchá a rychlá
- části upínacího zařízení, které podléhají mechanickému namáhání by měly být kalené
- konstrukce upínacího zařízení by neměla zachytávat třísky, bezpečnostní prvky [7]



Obrázek 11 Podíl četnosti a pracnosti na upínání součásti [7]

3.3 Přípravek

Přípravky pro obrábění slouží k ustanovení obrobku do přesné polohy na pracovním stole stroje. Může se jednat o přípravky univerzální, jednoúčelové nebo stavebnicové. Při konstrukčním návrhu přípravků pro obrábění je potřeba brát ohled na jejich funkčnost a pro jaký způsob výroby jsou určeny. Je rozdíl, jestli se mají použít pro kusovou výrobu nebo pro sériovou, tím se bude lišit jejich materiál, složitost a výsledná cena. Je dobré také navrhovat komplexní přípravky určené pro upínání tvarově podobných dílů, aby se snížil jejich počet. Návrh přípravku by měl také zohlednit možné deformace, ty mohou nastat na přípravku nebo na obrobku vlivem upínacích sil. Řezné síly by měly působit na zpevněné místa upínacího přípravku, které jsou dostatečně tuhé. Části přípravku, které se opotřebovávají vlivem mechanických sil je dobré navrhovat tak, aby byly vyměnitelné. Přípravky je potřeba také navrhovat tak, aby byly rotačně souměrné a nedocházelo při rotaci k dynamickým rázům.

Účelem přípravku je:

- stabilní upnutí obrobku
- ustanovení do správné polohy
- vedení nástroje
- snadná manipulace s obrobkem a jeho upnutí
- zvýšení počtu upnutých obrobků najednou
- zvýšení přesnosti obrobených ploch na výrobku
- snížení vedlejších časů (manipulace s obrobkem) [14]

3.4 Upínací systém s nulovým bodem

Pro efektivní výrobu na vertikálních obráběcích centrech se využívá tzv. upínací systém s nulovým bodem (Zero Point Clamp System). Je vhodný jak pro pětiosé frézování, tak i v některých modifikacích i pro soustružení, proto se používá i pro multifunkční CNC obráběcí centra. Princip tohoto upínacího systému je v přesném polohování a zajištění obrobku. Díky polohovacím čepům, které zapadnou do otvorů základní palety (obrázek 12) není potřeba vyrovnávat upínací zařízení, přesnost polohy bývá menší než 0,005 (mm).

Základním prvkem tohoto zařízení je základní upínací deska, na kterou se umísťují další palety s obrobkem. Díky pneumatickému systému je výměna těchto palet velmi rychlá, dokážou i několikanásobně snížit manipulační čas. Je velmi vhodná i pro automatizaci výroby ve formě výměny obrobků pomocí robotického manipulátoru. Nejmodernější z těchto zařízení zvládnou monitorovat i stav upínacího systému v reálném čase. Palety bývají nízké výšky, tudíž nezabírají velký prostor ve stroji. [22]



Obrázek 12 Upínací systém Erowa [22]

4 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ

Program pro výrobu součásti na CNC stroji vytváří programátor pomocí výkresové dokumentace nebo pomocí modelu součásti v prostředí CAM. Program je složený z několika příkazů, které mají různou funkci. Mezi základní příkazy patří pohyb nástroje nebo obrobku, rychlost posuvu, otáčky vřetene, definice nástroje nebo dalších doplňkových funkcí sloužící pro správný chod stroje. Kvalita vypracovaného programu pro CNC obráběcí stroje je velmi důležitá pro efektivní výrobní proces. Programování CNC strojů se zařazuje do oblasti technické přípravy výroby. [2] [16] [20]

4.1 Faktory ovlivňující CNC programování

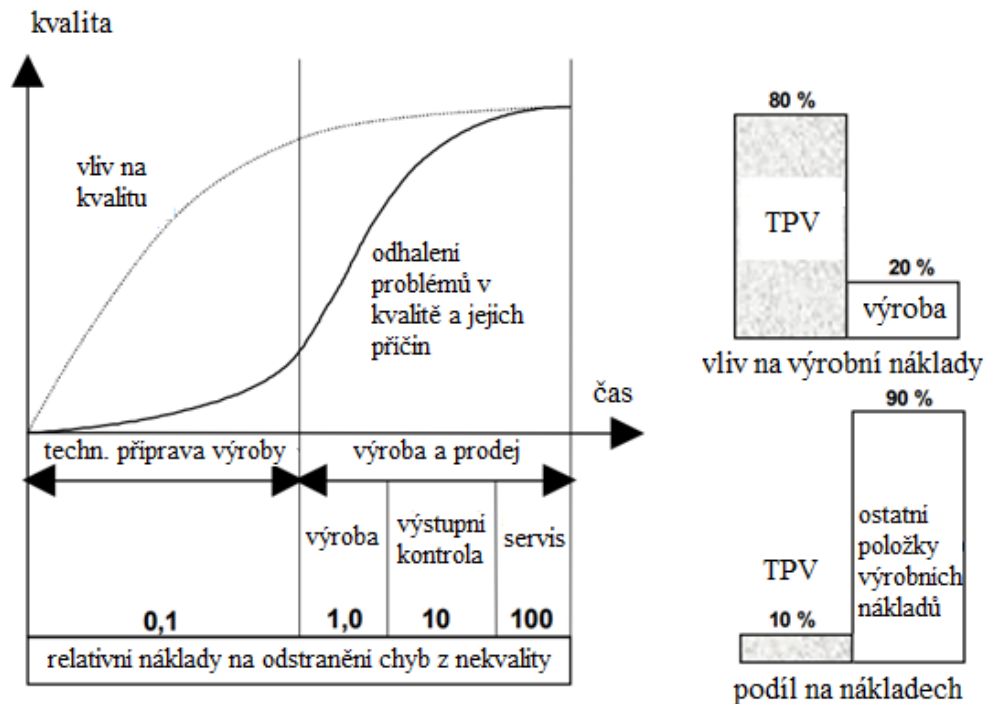
Programování CNC strojů je složitý proces, který ovlivňuje několik aspektů. Patří mezi ně:

- složitost výrobku, použití, velikost a počet
- typ a funkce obráběcího stroje
- způsob programování
- výkres výrobku, přesnost, tolerance, materiál, povrchová úprava, tepelné zpracování
- nástroje pro obrábění, držáky nástrojů
- upnutí obrobku
- technologické rozhodnutí, řezné podmínky, výpočty
- způsob chlazení a mazání do místa řezu

Při programování je důležité brát v potaz strojový park a správně zvolit CNC stroj, na kterém se konkrétní díl bude vyrábět. Při výběru je potřeba zohlednit o jaký výrobek se jedná a na kterém stroji je ho možné vyrobit. Dalším důležitým faktorem jsou náklady na výrobu. V potaz je potřeba brát výkon stroje, maximální otáčky, rozsah posuvů, složitost výrobku, materiál a hmotnost součásti.

U výroby jednodušších dílů je možné využít manuální programování přímo na CNC stroji, kvůli rychlejšímu zpracování. To však nese možná rizika vzniku chyb nebo komplikovaným pozdějším úpravám. Další nevýhodou může být neúplná simulace nebo časová náročnost výpočtu souřadnic pro obrábění. Manuální programování má však i výhody, např. učí programátora porozumět do větší hloubky možnosti zpracování programu, které může poté

využít při programování v CAD/CAM. Proto je potřeba zvážit, jestli zvolit programování pomocí počítačové podpory výroby nebo manuální programování v závislosti na složitosti výrobku. Na kvalitu CNC programu se odvíjí zkušenosti programátora. Každý program je jedinečný a je na programátorovi jaký sled operací zvolí, měl by ale dodržovat určité zásady, které mají vliv na efektivitu a hospodárnost výroby. [13]



Obrázek 13 Vliv TPV na výrobní náklady [23]

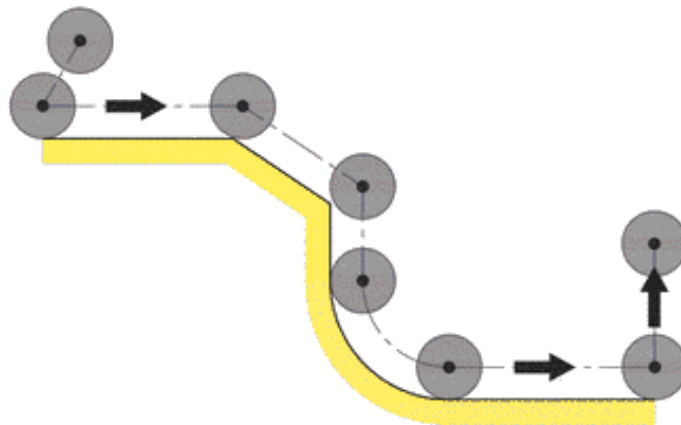
4.2 Geometrie dráhy nástroje

Dráha nástroje při programování udává směr, jakým se bude nástroj pohybovat. Existuje několik způsobů definice dráhy nástroje, tzv. interpolace udává, jakým způsobem se nástroj bude pohybovat. Interpolace může být:

- lineární – pohyb nástroje po přímce, může být pracovním posuvem (G01) nebo rychloposuvem (G00), udává se jako změna polohy z počátečního bodu do koncového
- kruhová – přechod z počátečního bodu do koncového bodu po kruhové dráze, může být ve směru hodinových ručiček (G02) nebo v protisměru hodinových ručiček (G03), často je potřeba definovat poloměr kružnice

- šroubovice – tento způsob interpolace je možný u frézovacích operací, používá se pro frézování závitů, frézování děr nebo např. pro nájezd frézy do kapsy
- spline – pohyb nástroje po křivce, plynulejší a přesnější oproti lineární interpolaci

Se zvyšující se tvarovou složitostí výrobků se kladou větší nároky na plynulý chod nástroje, dráha nástroje je potom definována křivkami vyššího řádu (spline interpolace), což oproti přímkové interpolaci zamezuje dynamickému namáhání konstrukčních součástí CNC obráběcího stroje. Zvětšuje se přesnost obrobenej plochy s menším opotřebením břitu nástroje. Velkou výhodou spline interpolace je také menší zatížení paměti řídicího systému, díky menšímu počtu bloků v programu, tím nedochází k trhavému pohybu nástroje. [1] [3]



Obrázek 14 Dráha nástroje s lineární a kruhovou interpolací [13]

4.3 Nástroj

Při programování CNC strojů je velmi důležitá správná volba obráběcího nástroje. Velký sortiment nástrojů umožňuje programátorovi zvolit správný postup výroby. Obecně by se neměl hrubovací nástroj používat na dokončovací operace, kvůli kvalitě povrchu a delší životnosti břitu nástroje. Hrubovací nástroj se často liší geometrií oproti dokončovacím nástrojům. Řezné nástroje mohou mít různou geometrii a tvar. Existuje tak široká volba sortimentu nástrojů, že se dá program vždy zlepšovat. Správná volba nástroje má vliv na několik aspektů, které doprovází obráběcí proces, např. přesnost, vibrace, kvalita povrchu a řezné podmínky. Programátor by měl mít velký přehled o možnostech volby nástrojů. [20]

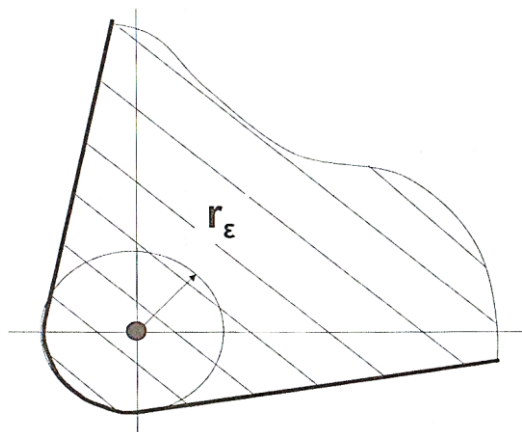
4.3.1 Korekce

Korekce nástroje znamená posunutí polohy nástroje vůči definované dráze pohybu, touto definicí lze nástroj korigovat pro pohyb po určité dráze středem, zleva nebo zprava. Tím se mění způsob obrábění, protože je důležité, z jakého směru nástroj při frézování odebírá třísku z obrobku, frézování se podle tohoto způsobu odebírání materiálu rozděluje na sousledné a nesousledné frézování.

Korekci nástroje lze také definovat jako změnu jejího rozměru o určitou vzdálenost vlivem nepřesnosti stroje nebo nepřesností změření nástroje na optickém měřicím zařízení. Korekce se rozděluje na délkovou a poloměrovou. Tyto korekce lze upravovat přímo v programu nebo v tabulce nástrojů, kde se zadávají naměřené hodnoty. Těmito úpravami (korekcemi) lze dosáhnout požadovaného rozměru na obrobku, jak je požadováno ve výkresové dokumentaci. [3] [13]

4.3.2 Nulový bod nástroje

Při soustružení lze nástroj k obráběné geometrii definovat na roh břitu nebo na střed rádiusu špičky břitu nástroje (obrázek 15). Obecně je lepší definovat nulový bod nástroje na střed rádiusu špičky, kvůli přepočítávání dráhy při naklápění nástroje. [3]



Obrázek 15 Nul. bod nástroje ve středu rádiusu špičky [3]

4.4 Dílenské programování

Některé jednoduché programy lze vytvořit přímo na stroji. CNC stroj může mít různý řídicí systém a způsob jakým se programuje. Mezi dílenské programování patří programování v

ISO nebo programování v dialogu. Výrobní stroj je určen primárně pro výrobu a neměl by sloužit jako programovací stanice. Z pohledu programování by měl být určen jen pro čas, kdy stroj zrovna vyrábí a kvalifikovaná obsluha stroje může chystat program pro další vyráběnou součást. Je potřebná dobrá znalost dílenského programování, kvůli rychlejším editacím přímo na stroji.

Program lze vytvořit několika způsoby v závislosti od nulového bodu obrobku:

- absolutní programování
- přírůstkové programování
- programování pomocí polárních souřadnic
- parametrické programování

Je individuální, jaký způsob je zrovna nejvýhodnější, závisí na tom, jakým způsobem je zakótovaný výkres a o jakou vyráběnou součást se jedná.

4.4.1 Programování v ISO

Vytvořený program se skládá z několika bloků složených z různých znaků. Základními znaky jsou G (přípravná funkce) a M (pomocné funkce). Mezi další patří např. podprogram, cyklus, definice nástroje, otáčky a posuv. Program se skládá také z informačních údajů jako je název programátora, rozměr polotovaru nebo datum vytvoření programu.

4.4.2 Programování v dialogu

Programování v dialogu je specifické daným řídicím systémem, který byl navolen pro daný CNC obráběcí stroj. Tento způsob programování se oproti programování v ISO v mnohém liší, přípravná funkce G se v tomto případě nepoužívá a je nahrazeno příkazem L (lineární pohyb) nebo C (kruhový pohyb), pracovní posuv nebo rychloposuv je nedefinován na konci řádku (bloku).

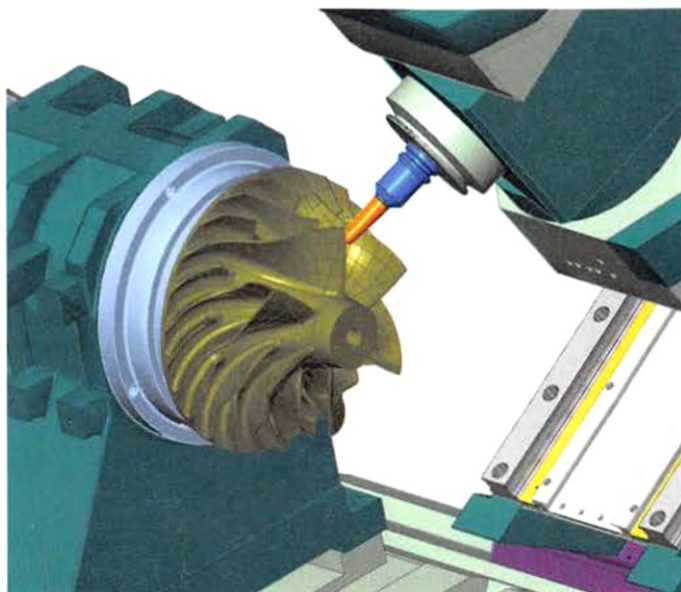
Programování v dialogu je výhodné v tom, že řídicí systém stroje v určitých případech napovídá ve formě předvolby definic parametrů obrábění. Pro kontrolu slouží simulace programu, které velmi pomohou pro zjištění kolize nebo jiného problému před spuštěním programu.

Pro různé obráběné tvary lze použít tzv. cykly, které mají v sobě nadefinované obráběcí strategie. Cykly mohou být jednodušší, jako je např. vrtání děr, řezání závitů, frézování kapsy nebo mohou být také složitější, jako jsou např. SL cykly pro obrábění různých překrytých tvarů s možností hrubování a dokončování. Mezi další typ cyklů patří změna polohy souřadnic, pomocí kterých lze tvar zrcadlit nebo rotovat. Mezi méně používané cykly lze zařadit např. časovou prodlevu při obrábění. [1] [2] [3] [20]

4.5 CAM programování

CAM programování je v dnešní době samozřejmostí pro efektivní výrobu dílů technologií třískového obrábění. Nejenom že díky tomuto systému lze vyrábět složité díly, ale slouží i jako simulační a optimalizační metoda obrábění. Jejimi funkcemi lze zvolit různé metody obrábění pro součást, volit vhodné nástroje nebo upínací zařízení. Používání toho systému je výhodné také v tom, že se minimalizuje možnost vzniku chyb a kolizí na stroji. Požadavky na odbornost práce programátora jsou velmi vysoké, nejenom že musí ovládat CAM software, ale také technologii obrábění, práci s CNC strojem a dílenské programování.

Je dobré vytvářet tzv. programovou dokumentaci pro snadnější seřízení a obsluhu CNC stroje, do této dokumentace patří seřizovací list, schéma upnutí, seznam nástrojů pro obrábění. [1] [3] [4] [20] [24]



Obrázek 16 CAM programování [20]

4.5.1 Postprocessor

Každý CNC stroj je jedinečný svým řídicím systémem a způsobem chování kinematiky. Postprocessor transformuje z CAM systému interní data nebo CL data do NC kódu. Kód je teprve až poté možné nahrát do řídicího systému stroje. Postprocessor může být buď součástí CAM systému (interní) nebo může být externí. Vývoj postprocesoru je velmi důležitý pro optimální generování kódu do stroje, proto se jedná o velmi důležitou součást programování. Postprocesory mohou mít také speciální funkce podle požadavků uživatele, patří mezi ně např. sledování životnosti rezného nástroje. [1] [3] [13]

4.5.2 Nulový bod obrobku

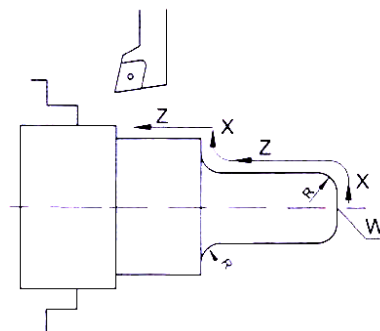
Nulový bod obrobku by měl programátor definovat v co neoptimálnější pozici. Měl by být snadno přístupný a dosažitelný vzhledem k způsobu upínání obrobku. Na rotační součásti se nulový bod umísťuje na střed, na nerotační součásti se často dává na střed nebo roh, podle způsobu kótování ve výkresové dokumentaci. V ose Z se nulový bod obrobku zadává na čelo s přídatkem na obrábění nebo na spodní dosedací plochu s upínacím zařízením. [3]

4.6 Programování podle počtu použitých řízených os

Pro vytvoření programu složitějších součástí je nutné využít programování ve více osách.

4.6.1 Dvousé obrábění

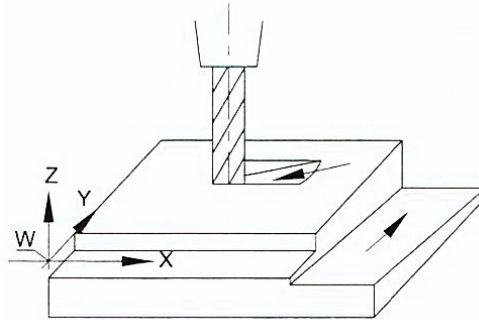
Nástroj se pohybuje souvisle ve dvou osách, je schopný dosáhnout lineární nebo kruhové interpolace. U frézek dochází k současnému pohybu v ose X a Y, u soustruhu k pohybu v osách X a Z, lze dosáhnout pouze jednoduchých tvarů. [1] [3] [6]



Obrázek 17 Dvousé obrábění [1]

4.6.2 Dvou a půl osé obrábění

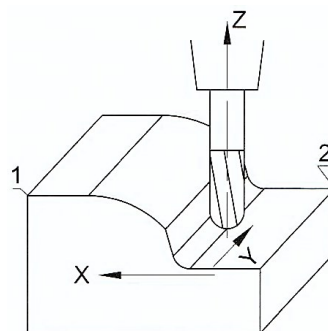
Stroj dokáže obrábět ve více rovinách. U frézek přibylo oproti tříosému řízení obrábění v rovině X, Z a Y, Z. Běžně se u CNC frézování využívají stroje s minimální množstvím tříosého souvislého řízení. [1] [3] [6]



Obrázek 18 Dvou a půl osé obrábění [1]

4.6.3 Tříosé obrábění

Pro obrábění 3D tvarů na obrobku je nutné vyrábět na stroji s minimálně tříosým souvislým řízením. Nástroj se pohybuje zároveň v ose X, Y, Z, lze tedy využít další typ interpolace, tzv. šroubovici (spirála), lze využít pro frézování děr nebo závitů. Na obrázku 19 je frézovací operace s kulovým nástrojem pro dokončování 3D ploch, tento nástroj by neměl obrábět středem rotace, protože nedochází k efektivnímu využití řezné hrany. [1] [3] [6]

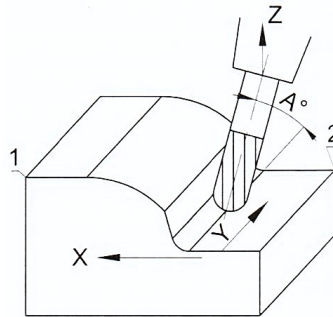


Obrázek 19 Tříosé obrábění [1]

4.6.4 Tří + dvouosé obrábění

Obrábění 3D tvarů s nakloněnou rovinou nástroje nebo obrobku tak, že dojde k naklonění rotační osy A nebo B, lze i dohromady. Pootočení nástroje nebo obrobku se tzv. indexuje a

poté se nástroj pohybuje ve třech osách X, Y, Z. Tento způsob obrábění je efektivnější z hlediska využití obvodové plochy kulového nástroje. [1] [6]



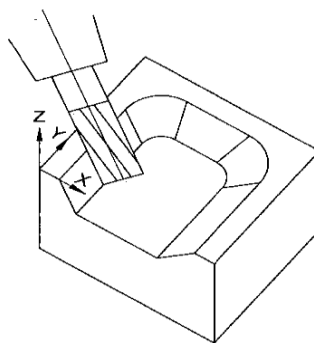
Obrázek 20 Tři + dvouosé obrábění [1]

4.6.5 Čtyřosé obrábění

Při tomto způsobu obrábění se nástroj nebo obrobek otáčí v jedné rotační ose a ve třech lineárních osách. CNC obráběcí centra se pro pouze tento způsob obrábění běžně nekonstruují, ale vyrábí se rovnou pro pětiosé řízení. Využívají se pouze pro jednouúčelové stroje nebo pro konkrétní sériovou výrobu. [1] [3] [6]

4.6.6 Pětiosé obrábění

Tento způsob obrábění patří mezi nejnáročnější pro programování, dochází k pohybu ve všech pěti osách zároveň. Podle konstrukce stroje se způsob kinematiky pohybu nástroje s obrobkem rozděluje podle naklápění rotačních os na výklopnou hlavu nebo výklopný stůl. Výklopná hlava se většinou používá pro obrábění dílů větších rozměrů. Tímto způsobem obrábění lze vyrábět složité tvary, jako jsou např. dutiny forem nebo lopatky turbín. [1] [6]



Obrázek 21 Pětiosé obrábění [1]

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBY

Cílem technickoekonomického zhodnocení výroby je analýza výrobního procesu a její optimalizace. Cílem by mělo zvýšit kvalitu a přesnost vyráběných dílů, ale zároveň snížit výrobní náklady. Na to má vliv zejména urychlení výrobních časů a využití celkového výkonu výrobního stroje. Na to má např. vliv hloubka řezu, otáčky vřetene a posuvová rychlost. Dalším optimalizačním parametrem je trvanlivost řezného nástroje. Na CNC stroji lze sledovat několik parametrů, které mají vliv na efektivní činnost stroje, patří mezi ně např. zatížení stroje a jeho spotřeba energie. Optimalizace výrobního procesu je velmi důležitá, zlepšování a analyzování procesu napomáhá konkurenceschopného postavení na trhu. [16] [25] [26]

5.1 Spotřeba energie

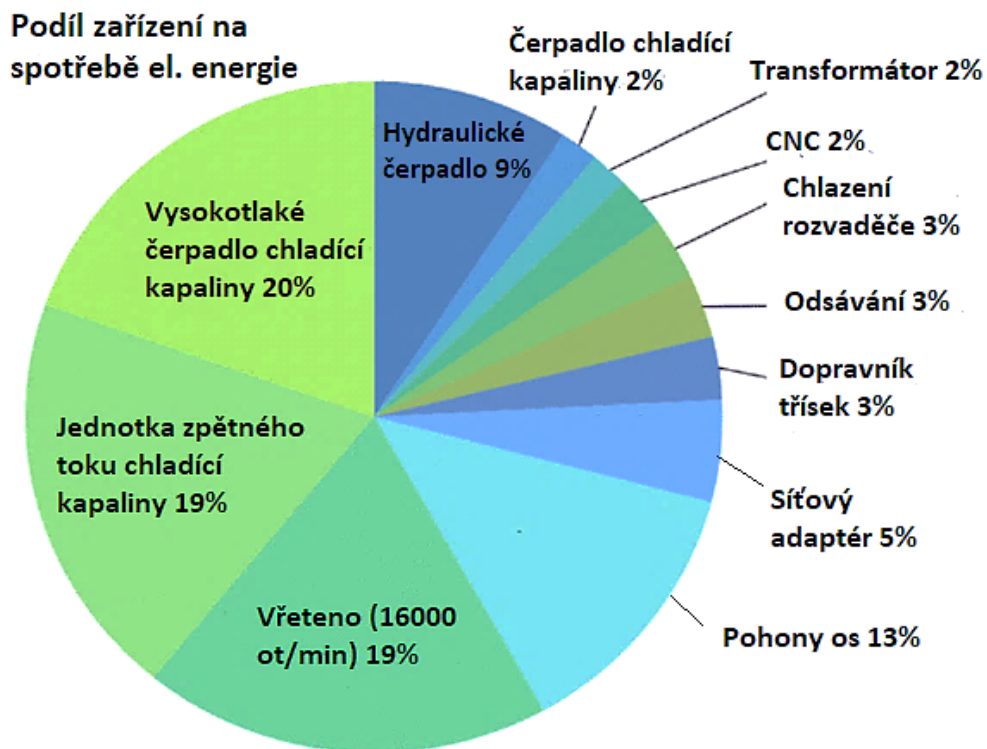
Náklady na energii v procesu CNC obrábění hrají čím dál větší roli kvůli její narůstající ceně. Spotřeba energie se při výrobě rozděluje na spotřebu během provozu (produktivní) a na spotřebu, kdy stroj v provozu není (neproduktivní). Výkonnější stroje mají větší spotřebu energie než stroje s menším výkonem, proto při koupi stroje pro velkosériovou výrobu je nutné volit co nejvhodněji. Sledování spotřeby energie stroje může vést k optimalizaci výrobního procesu z hlediska volby technologie pro výrobu.

Vedením záznamů, kdy byl stroj v produktivní činnosti a v neproduktivní, lze spočítat celkovou roční spotřebu energie. Velký vliv na spotřebu energie má už výrobce stroje, který stroj vyvíjí a volí vhodné zařízení. Největším spotřebitelem energie ve stroji jsou pneumatické systémy, u kterých dochází k nejvíce přeměnám energie.

Optimalizace spotřeby energie CNC stroje se rozumí jako její snížení na minimum během provozu. Snížit spotřebu energie může i obráběcí program, ve kterém je co možná nejméně vyvoláním nástroje, proto by se v programu nemělo vyskytovat vyvolání nástroje vícekrát, ale volit vhodnou posloupnost operací. Snížit spotřebu může také nastavení úsporného režimu stroje v neproduktivním čase. Dalším způsobem, jakým lze zjistit spotřebu energie stroje je výpočet pomocí řezného výkonu, který se zvyšuje vlivem řezné síly a řezné rychlosti. Je jasné, že při obrábění tvrdšího materiálu bude potřeba vyšší řezný výkon stroje. [8] [27]

Řezný výkon – udává zatížení stroje vynaloženého pro odebrání materiálu z obrobku, F_c – řezná síla (N), v_c – řezná rychlost (m/min)

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} \text{ (kW)} \quad (1)$$



Obrázek 22 Podíl zařízení na spotřebě el. energie CNC obráběcího stroje [8]

Spotřeba energie souvisí s negativním vlivem na životní prostředí kvůli uhlíkové stopě, proto bychom se měli snažit spotřebu energie minimalizovat. Dalším negativním vlivem je vysoká spotřeba řezné kapaliny. Použití řezné kapaliny není vždy nutné. Některé třískové obráběcí metody se správným řezným nástrojem nevyžadují použití řezné kapaliny, která snižuje vznik tepla v místě řezu a zmenšuje tření. Na použití řezné kapaliny má také vliv obráběný materiál. Snížením používání řezné kapaliny může společnost snížit své výrobní náklady na obrábění a také snížit náklady na recyklaci a údržbu. Metoda obrábění bez použití řezné kapaliny se nazývá tzv. obrábění za sucha. Velmi ekologicky přívětivé chlazení při obrábění je tzv. kryogenní. Cílem výrobní společnosti by mělo být tzv. udržitelné obrábění (obrázek

23), jejíž cílem je snížení spotřeby energie, snížení výrobních nákladů, bez negativního vlivu na přírodu, snížení odpadu a bez negativního vlivu na zdraví. [28] [29]



Obrázek 23 Udržitelné obrábění [28]

5.2 Řezné podmínky

Řezné podmínky udávají, jakým způsobem se pohybuje nástroj s obrobkem. Základními hodnoty jsou řezná rychlost, posuv, hloubka a šířka třísky. Tyto hodnoty jsou už předem doporučené od výrobce nástrojů. Doporučené hodnoty bychom měli respektovat, kvůli životnosti řezného nástroje. Avšak na kvalitu řezu má vliv více faktorů jako je tuhost stroje, upnutí nástroje, upnutí obrobku anebo také použití řezné kapaliny. Proto tyto doporučené hodnoty od výrobce nástrojů lze chápat jako orientační pro prvotní použití. Na jejich zvolení má také velký vliv zkušenosti CNC programátora. Pro hrubovací a dokončovací operace se také volí různé řezné podmínky, je pravidlem, že pro hrubování se používají co největší řezné podmínky a hloubka řezu, co výkon stroje dovolí. Při dokončovacích operacích se zase musíme přizpůsobit výkresové dokumentaci, kde jsou předepsané tolerance a drsnost povrchu výrobku. [1] [17] [26]

Řezné podmínky lze zoptimalizovat pomocí výpočtového modelu s určitými omezujícími podmínkami. Mezi tyto kritéria patří výkon a tuhost stroje, nástroj, obrobek a další důležité podmínky, jako je požadovaná drsnost povrchu a tvarová přesnost obrobku nebo trvanlivost

řezného nástroje. Výsledkem analýzy a výpočtů řezných podmínek by měl být optimální poměr mezi náklady na výrobu a jejími zisky. Optimalizaci řezných podmínek lze také dosáhnout pomocí experimentálních pokusů nebo lineárního programování. Omezujícími podmínkami pro optimalizaci řezného procesu mohou být:

- omezení limitní hodnotou rychlosti posuvu, kvůli kvalitě povrchu
- čas, za jaký má být vyrobena jedna součást, kvůli výrobnosti stroje
- omezení nástrojem, jeho řezivost
- omezení výkonem stroje
- řezné síly, průřez třísky, tuhost soustavy
- přesnost výrobku
- trvanlivost nástroje [3] [16]

Řezná rychlost – udává obvodovou rychlost nástroje (frézování) nebo obráběného materiálu (soustružení), D – průměr nástroje nebo průměr obráběného materiálu (mm), n – počet otáček nástroje nebo obráběného materiálu (min^{-1})

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ (m/min)} \quad (2)$$

Posuvová rychlost při frézování – označuje rychlost posuvu nástroje (frézy) vůči obrobku, f_z – posuv na zub (mm), z – počet zubů nástroje, n – otáčky nástroje (min^{-1})

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z \text{ (mm/min)} \quad (3)$$

Posuvová rychlost při soustružení – značí rychlost posuvu nástroje (soustružnického nože) vůči obrobku, f_n – posuv na otáčku (mm), n – otáčky obráběného materiálu (min^{-1})

$$v_f = f_n \cdot n \text{ (mm/min)} \quad (4)$$

5.3 Výrobní náklady

Pro úspěšný zisk výrobní společnosti je důležité správně vyhodnotit výrobní náklady na součást. Velkou roli hraje počet výrobků, které se mají vyrábět, jestli se jedná o kusovou nebo sériovou či hromadnou výrobu. Další aspekty, které ovlivňují výrobní náklady jsou materiál výrobku a jeho design. Pro efektivní výrobu je nutné zvolit správnou technologii, kterou výrobní společnost disponuje. Měla by být co nejlevnější, nejekologičtější, nejméně energeticky náročná a nejefektivnější pro výrobu. Primárními náklady na výrobu tedy jsou náklady na materiál, technologii (výrobní stroj), personál a speciální vybavení. Dalším hlediskem pro správné nacenění výroby jsou nepřímé náklady na výrobu, tzv. režijní náklady, mezi které např. patří administrativa, marketing, servis, zaměstnanci zapojení do procesu. Celkovými náklady na výrobu konkrétního produktu je součet výrobních nákladů a režijních nákladů. Poté lze přičíst konkrétní sumu pro zisk firmy. Jestli se nejedná o výrobní zakázku pro jinou společnost, tak je nutné zařadit do výrobních nákladů i vlastní vývoj a design. Po důkladných analýzách těchto nákladů lze zjistit zisk ze zakázky, který je základem ekonomického fungování firmy. Je tedy patrné, že optimalizace výrobního procesu lze dosáhnout z více pohledů, proto je dobré správně zanalyzovat proces a poté zjistit, kde by byla optimalizace nejefektivnější. [30]

Výrobní náklady N :

$$N = N_m + N_s + N_p + \frac{N_n}{Q} \quad (\text{Kč}) \quad (5)$$

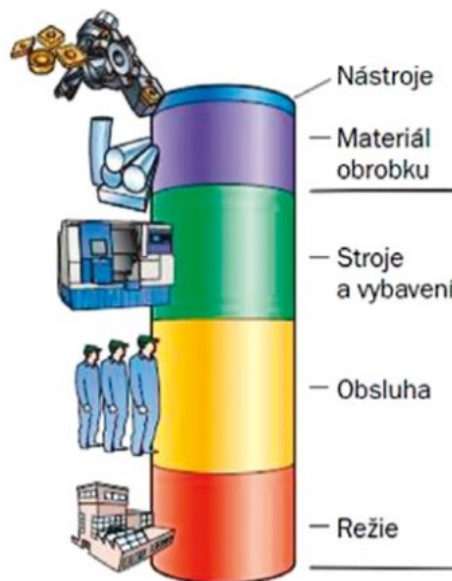
N_m – náklady na materiál (Kč)

N_s – náklady na stroj (Kč)

N_p – náklady na personál (Kč)

N_n – náklady na speciální nářadí (Kč)

Q – počet výrobků ve výrobní zakázce



Obrázek 24 Výrobní náklady [6]

5.4 Trvanlivost řezného nástroje

Při obrábění s definovanou geometrií nástroje dochází ke kontaktu mezi řezným klínem nástroje a obrobkem. Postupným odebráním třísky z obrobku se nástroj postupně opotřebovává, zejména na čele a hřbetě nástroje, kde je i největší vznik tepla na nástroji. Opotřebení nastává vlivem abrazivního, adhezního, oxidačního a chemicko-difuzního otěru.

Trvanlivost nástroje lze definovat jako dobu, kterou vydrží řezná část nástroje do opotřebení. Opotřebení lze poznat tak, že tvar a přesnost obrobku není už optimální nebo je řezná část nástroje poškozená. Životnost nástroje je součet trvanlivostí nástroje od jeho prvního použití do jeho vyřazení, to se týká však celistvých nástrojů, které je možné přebrousit, VBD se vyměňují za nové. Nástroje lze několikrát přebrousit po jejich otupení, avšak existuje nějaká limitní hodnota, kdy nástroj už není funkční kvůli jeho častému přebroušení. Optimalizace obrábění pomocí definice trvanlivosti řezného nástroje je velmi důležitá při velkosériové a hromadné výrobě. [5] [15] [16] [17] [31]

Trvanlivost nástroje lze vyjádřit pomocí tzv. Taylorova vztahu: [16]

$$T = \frac{C_T}{v_c^m} \text{ (min)} \quad (6)$$

v_c ... řezná rychlost (m/min)

C_T ... konstanta (závisí na materiálu řezného nástroje a obrobku, hodnota se pohybuje mezi 10^8 až 10^{12})

m ... exponent (vlastnosti řezného nástroje a způsob obrábění, pro řezné nástroj z SK se hodnota pohybuje mezi 2,5 až 5)



Obrázek 25 Křivka opotřebení řezného nástroje [6]

Na trvanlivost nástroje má velký vliv procesní (řezná) kapalina, jejíž hlavním účelem je snížit tření mezi řezným nástrojem a obrobkem a také snížit teplotu v řezu. Dalšími výsledky, kterými lze docílit použitím řezné kapaliny je snížení řezného odporu a deformaci povrchu obrobku. Neméně důležitou funkcí této kapaliny je zvýšení přesnosti a jakosti obrobenej plochy. Při frézování a soustružení je z místa řezu nejvíce odváděno teplo odlétávající třískou. Cílem řezné kapaliny je také čistící účinek a odplavování třísek ven z místa řezu, tyto třísky mohou při velkém odběru materiálu zavazet při pohybu nástroje a tím snížit efektivitu řezání. Volba řezné kapaliny je závislá na druhu obráběného materiálu a použitého řezného nástroje. Existuje mnoho typů řezných kapalin, ale nejčastěji se používá ve formě emulze. Nejefektivnější druh chlazení je tlakem středem nástroje přímo na břit řezného nástroje. [15] [16] [32]

6 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část této diplomové práce se zabývá CNC obráběním, se zaměřením na obráběcí centra, dále soustružením, upínáním obrobků, CNC programováním a způsobem analýzy tohoto výrobního procesu.

V první kapitole CNC obrábění je rozebrán rozdíl mezi obráběcím centrem a multifunkčním obráběcím centrem. Dále je v této kapitole vyobrazen souřadnicový systém stroje.

V další kapitole s názvem CNC soustružení je rozebrána tato technologie z pohledu rozdílu mezi polohou upnutí obrobku na horizontální a vertikální. Dále je popsán nástroj (soustružnický nůž) a negativní vlivy, které mohou doprovázet tuto technologii třískového obrábění.

Další kapitola pojednává o způsobu upínání obrobků a návrhu přípravků pro obrábění tvarově složitých součástí. Dále o způsobu upínání rotačních dílů a využití upínacího systému s nulovým bodem.

Následuje kapitola s názvem programování CNC strojů, kde jsou popsány faktory ovlivňující tento proces a způsoby programování podle použité metodiky a podle počtu řízených os.

Poslední kapitola se nazývá technicko-ekonomické zhodnocení výroby, kde jsou vyobrazeny vlivy, které doprovází tento proces a způsoby analýzy, pro následnou optimalizaci výrobního procesu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem praktické části diplomové práce je navrhnout a vyrobit ochranný kryt kolem otočného stolu CNC obráběcího centra. Tento kryt má vyřešit problém s namotáváním plastových třísek kolem otočného stolu při soustružení.

Nejdříve bude potřeba správně navrhnout geometrii výrobku a zvolit materiál tak, aby splňoval potřebné požadavky a funkci. Pro výrobu tohoto výrobku bude využito víceosé frézování a karuselové soustružení. CNC program bude vytvořen pomocí CAM softwaru Mastercam s popisem použitých strategií obrábění. Pro výrobu rotačního plastového dílu bude zvoleno upnutí pomocí vakuového upínacího přípravku, proto ho bude potřeba správně navrhnout a vyrobit. Výroba rotačního dílu spolu s vakuovým přípravkem bude probíhat na CNC obráběcím centru Alzmetall GS 800. Následně proběhne technickoekonomické zhodnocení navrženého řešení a kontrola funkčnosti vyrobeného dílu.

8 NÁVRH VÝROBKU

Cílem je navrhnout výrobek z plastového materiálu tak, aby konstrukčně lícoval s otočným pracovním stolem CNC obráběcího centra. Současně nebyl v kolizi při následném obrábění a aby zejména zachytával plastové třísky, které se dostávaly mezi plochy stolu a kolébkou stroje.

Při soustružení plastových materiálů docházelo k namotávání dlouhé kontinuální třísky kolem otočného stolu (obrázek 26), které se obtížně vyťahovaly. Proto bylo potřeba přijít s nějakým řešením, aby se tomuto jevu zamezilo.

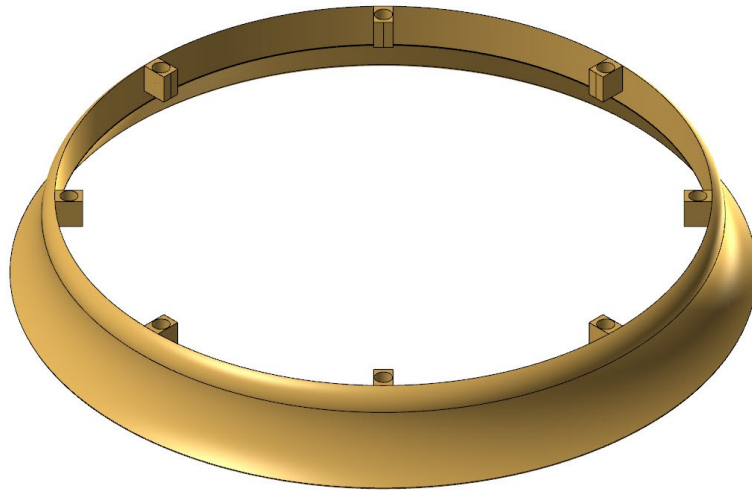


Obrázek 26 Namotané třísky kolem otočného stolu

Existuje několik způsobů, pomocí kterých lze třísku při soustružení přerušit. Nejefektivnějším způsobem, jak přerušit plastovou třísku při soustružení se osvědčilo naprogramovat přerušovaný řez nebo vyfrézovat drážku po celé délce, pro pravidelné oddělování třísky. Avšak při dokončovacím soustružení nelze využít tyto metody kvůli narušení rovnoměrnosti obrobenej plochy.

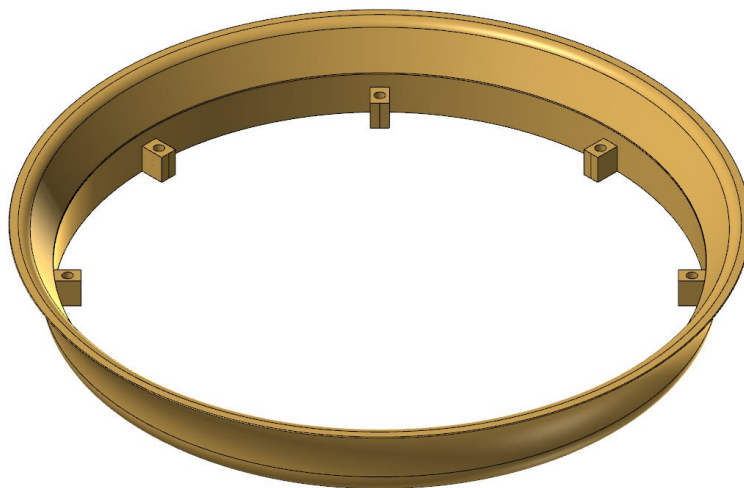
Pro výrobu rotačního dílu byl zvolen plastový materiál PP-H s přírodním odstínem. Tento materiál byl zvolen především kvůli jeho chemické odolnosti, protože díl bude vystaven dlouhodobě rezné kapalině v CNC obráběcím centru. Tento materiál je také známý svou nízkou cenou, zdravotní nezávadností a možností použití při teplotách 0 až +115°C. Tento materiál byl zvolen také kvůli jeho nízké měrné hmotnosti a dobré obrobiteľnosti. V příloze (PIII) je přidán materiálový list tohoto materiálu.

Geometrie výrobku byla zvolena z jednoho kusu materiálu. Byla možnost vyrobit sestavu z více segmentů, avšak kvůli předpokládanému zatížení vlivem plastových třísek byl zvolen celistvý rotační díl, který by měl být odolnější.



Obrázek 27 Výrobek – rotační díl (vrchní pohled)

Tvar výrobku má límcovitý charakter (obrázek 27 a 28). Pro upevnění k otočnému stolu bylo potřeba navrhnout specifický způsob uchycení. Bylo zvoleno uchycení přes kostky na vnitřním průměru výrobku. Při návrhu výrobku neproběhly žádné analýzy pevnosti. Návrh byl pouze přizpůsoben otočnému stolu, aby přiléhal a nedošlo ke kontaktu s jinými částmi stroje při otáčení. Celková hmotnost je odhadována na 920 (g). V příloze (P I) je dán výkres vyráběného dílu.

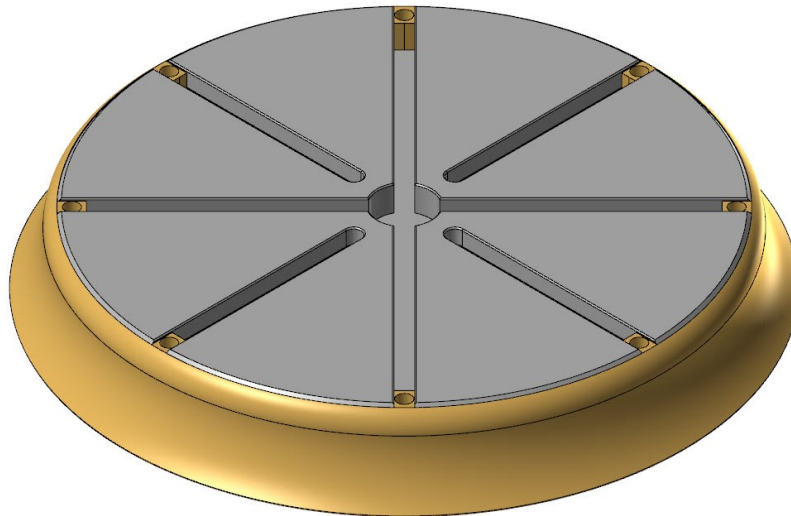


Obrázek 28 Výrobek – rotační díl (spodní pohled)

Pro uchycení k rotačnímu stolu byly zvoleny kostky s průchozími dírami se zahloubením. Ke stolu bude ochranný kryt uchycen pomocí osmi šroubů M8. Díl je navrhnut tak, aby kostky bylo možné snadno nasadit do drážek otočného stolu a nedošlo k pootočení rotačního dílu (obrázek 29). K vystředění slouží vnitřní průměr dílu, který bude lícovat s vnější stranou stolu.

Cílem tohoto výrobku je, aby se třísky nedostávaly mezi plochy otočného stolu a kolébku, ale aby geometrie tohoto rotačního dílu měla tendenci třísky stahovat nahoru nebo odhazovat k dopravníku třísek. Dalším hlediskem při návrhu ochranného krytu bylo dodržení dostatečné mezery s kolébkou stroje.

Pro následnou montáž je potřeba počítat s paletovým systémem Erowa. Jelikož upínací systém přesahuje průměr stolu, bude kryt možné přimontovat pouze s demontáží tohoto zařízení.



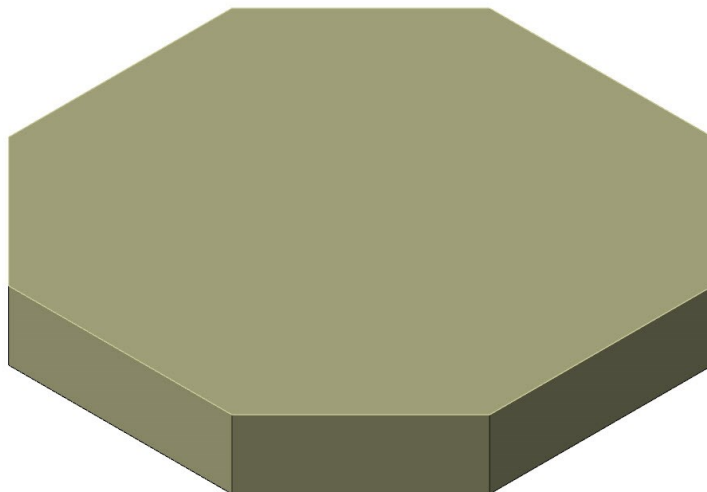
Obrázek 29 Sestava otočného stolu s výrobkem

9 CAM PROGRAMOVÁNÍ

Programy pro obrábění byly vytvořeny v CAM softwaru Mastercam 2024. Tento programovací software je možné používat pro různé technologie obrábění. Obsahuje několik modulů, díky kterým lze vyrobit i velmi složité součásti. Tento software je nastaven pro tuto práci v anglickém jazyce, proto bude k obrázku dopsán překlad do českého jazyka.

9.1 Pozice č.1

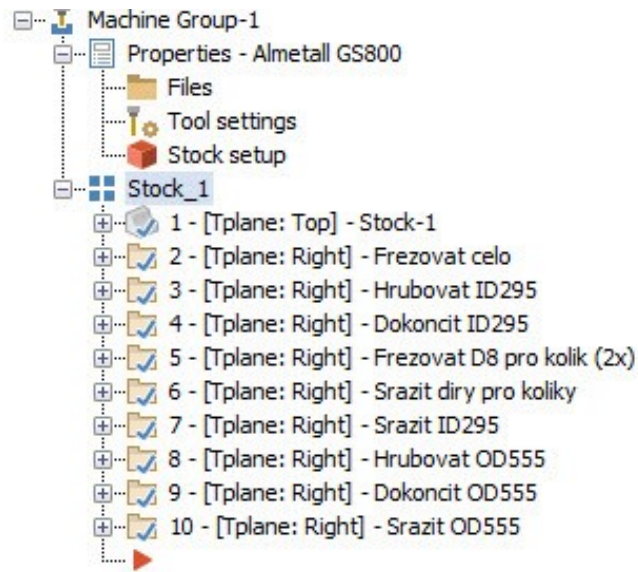
Polotovár pro výrobu byl zvolen o rozměrech 560 x 560 x 80 (mm) s uříznutými rohy pro menší odběr materiálu (obrázek 30). Rozměr polotovaru byl zvolen podle zvolené technologie obrábění a způsobu upnutí obrobku.



Obrázek 30 Polotovár výrobku

Obecným postupem při programování v CAM je nadefinování stroje, pro který se bude vytvářet program, s tím je spojeno také vybrání postprocesoru, aby vygenerovaný kód odpovídal kinematice stroje. Dále je potřeba vytvořit knihovnu obráběcích nástrojů a nadefinování rozměru polotovaru.

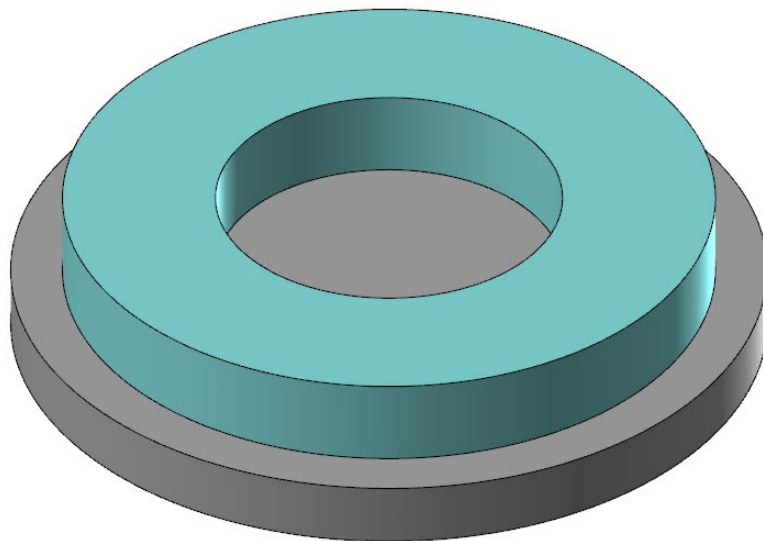
Na obrázku 31 je vidět strom s obráběcími operacemi. Pod každou operací se skrývá geometrie, která se volí pro obrábění, ta se zadává z křivek nebo ploch na modelu. Ve stromu operací se dále nachází zvolený nástroj pro obrábění, volba obráběcí operace a simulace dráhy nástroje. Každá operace je popsána s názvem způsobu obrábění pro lepší přehlednost, dále se tam nachází volba roviny, v jaké se pracuje.



Obrázek 31 Strom operací pozice č.1

Cílem této pozice je obrobit prstencovitý tvar (obrázek 32), který bude následně upnut v další pozici pro soustružnické operace. Pro velký odběr materiálu byla zvolena fréza o průměru 50 (mm) s pěti VBD ze slinutého karbidu, řezná rychlost pro tento nástroj byla zvolena $v_c = 785$ (m/min) a posuv na zub $f_z = 0,2$ (mm).

V této pozici nebylo využito karuselové soustružení, jedná se pouze o úpravu polotovaru do rotačního tvaru pro následné obrábění v další pozici. Pro tuto pozici bylo použito 10 operací, složených pouze z frézovacích metod obrábění.



Obrázek 32 Prstencovitý polotovar

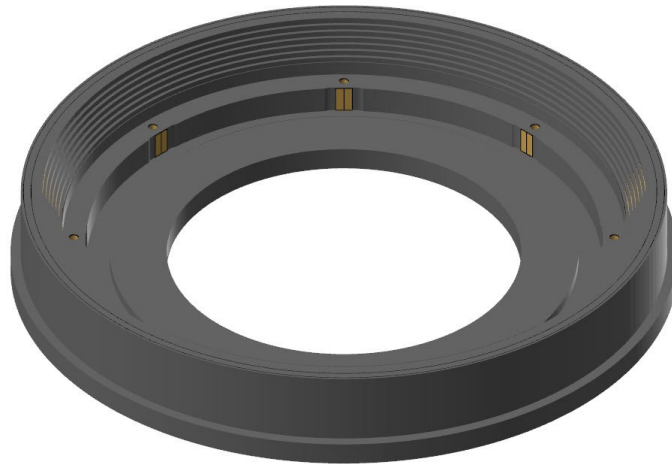
Tabulka 2 Výrobní postup pozice č.1

Výrobní postup pozice č.1				
Číslo operace	Popis operace	Nástroj	Řezná rychlost (m/min)	Čas operace (min)
1	Frézovat čelo	FR-50 (T12)	785	2,3
2	Hrubovat ID 295	FR-50 (T12)	785	20
3	Dokončit ID 295	FR-16 (T1)	302	0,3
4	Frézovat D8 pro kolík (2x)	FR-5 (T67)	157	0,3
5	Srazit díry pro kolík (2x)	8x90ST (T29)	251	0,1
6	Srazit ID 295	8x90ST (T29)	251	0,3
7	Změna upnutí			
8	Hrubovat OD 555	FR-50 (T12)	785	5
9	Dokončit OD 555	FR-16 (T1)	302	0,8
10	Srazit OD 555	8x90ST (T29)	251	0,5

V tabulce 2 jsou použity zkratky pro způsob obrábění, zkratka ID znamená, že se jedná o obrobení vnitřního tvaru, OD vnějšího tvaru. Mezi další zkratky použité ve výrobním postupu je FR, což znamená, že se jedná o frézu. Zkratka T popisuje pozici nástroje v tabulce nástrojů. Celkový čas obrábění pozice č.1 podle simulace z CAM je 29,6 minut.

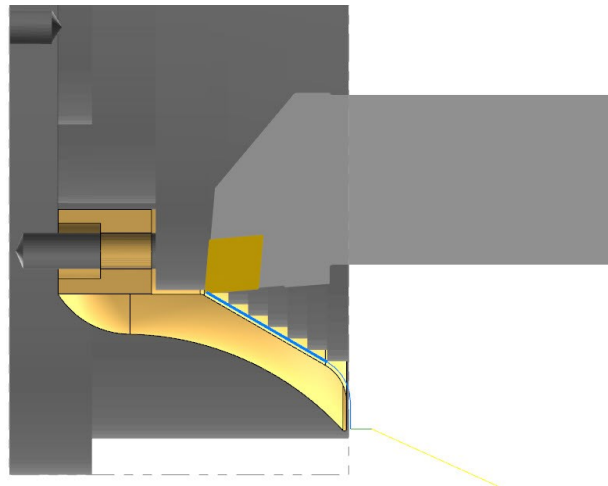
9.2 Pozice č.2

V této pozici se bude obrábět na hotovo vnitřní tvar dílu. Nejdříve dojde k vyhrubování vnitřního tvaru (obrázek 33) a poté k dokončení ploch pomocí karuselové soustružení. Po vyhrubování tvaru je plánována časová prodleva pro temperaci obrobku po dobu 20 hodin, při pokojové teplotě 20 °C. Následně se obrobek znovu upne a dokončí se všechny plochy. Tyto plochy budou následně nasazeny na vakuový přípravek, pro upnutí ve finální pozici. Povrch, který bude doléhat na přípravku by měl být hladký a přesně obrobený.



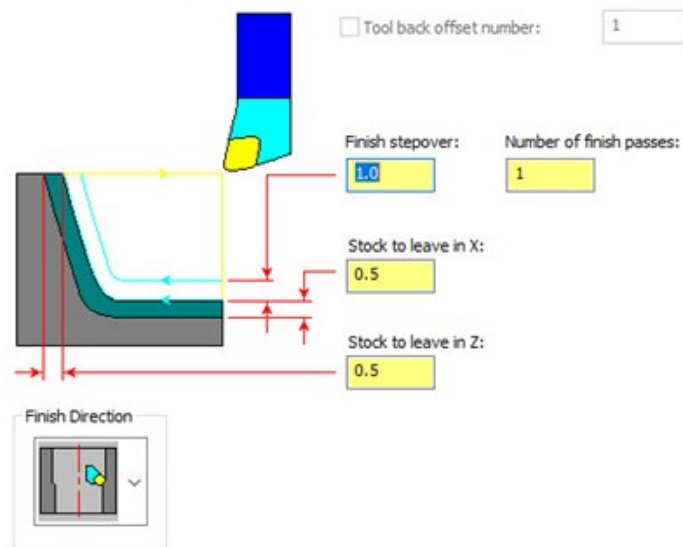
Obrázek 33 Obrobek po vyhrubování pozice č.2

Pro vyhrubování vnitřního tvaru byla zvolena opět fréza o průměru 50 (mm) s pěti VBD. Po vyhrubování nechá přídavek pro soustružení ve formě schodků. Tvar bylo možné vyhrubovat i pomocí soustružení, avšak fréza plastovou třísku lépe láme, proto byla zvolena tato metoda obrábění, aby nedocházelo ke vzniku dlouhých třísek. Soustružnický nůž s hrubovací destičkou tvar dohrubuje a nechá přídavek pro dokončení (obrázek 34).



Obrázek 34 Dohrubování vnitřního tvaru soustružením pozice č.2

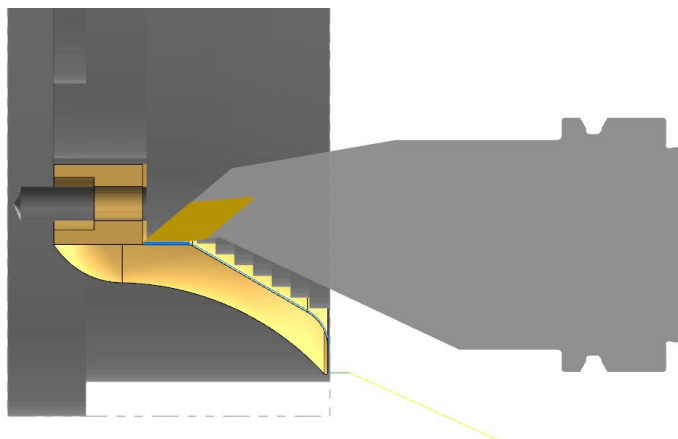
Po této operaci zůstane přídavek pro dokončení 0,5 (mm) v ose X a Z (Stock to leave in X, Z). Operace s dohrubováním vnitřního tvaru odebere třísku najednou (Number of finish passes). Obrázek 35 s popisem (Finish Direction) udává, že se jedná o obrábění vnitřního tvaru.



Obrázek 35 Parametry pro přidavek na dokončení pozice č.2

Řezné podmínky soustružení pro dohrubování vnitřního tvaru byly zvoleny: $v_c = 300$ (m/min), $f = 0,2$ (mm). Rádus špičky hrubovacího plátku je R0,4. Úhel špičky této břitové destičky je $78,5^\circ$. Číslo pozice tohoto nástroje v tabulce nástrojů je T7.

Dále proběhne soustružení pro dokončení vnitřního tvaru (obrázek 36) se soustružnickým nožem s dokončovacím plátkem (T51). Rádus špičky tohoto nástroje je R0,4. Řezné podmínky pro obrábění jsou $v_c = 300$ (m/min), $f = 0,2$ (mm). Úhel špičky břitové destičky je 35° .

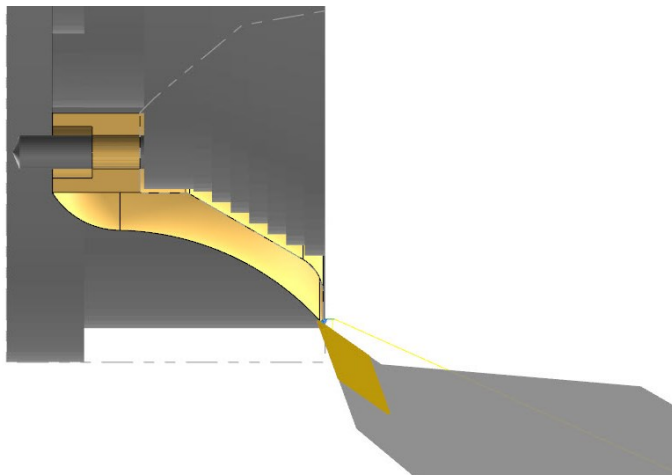


Obrázek 36 Dokončení vnitřního tvaru pozice č.2

V této pozici bude obrobena i rádius R0,5 (obrázek 37). Kvůli obrobení celého rádiusu je nutné naklonit stůl v ose A o 20° , aby nůž mohl obrobít celou plochu rádiusu, v tomto místě

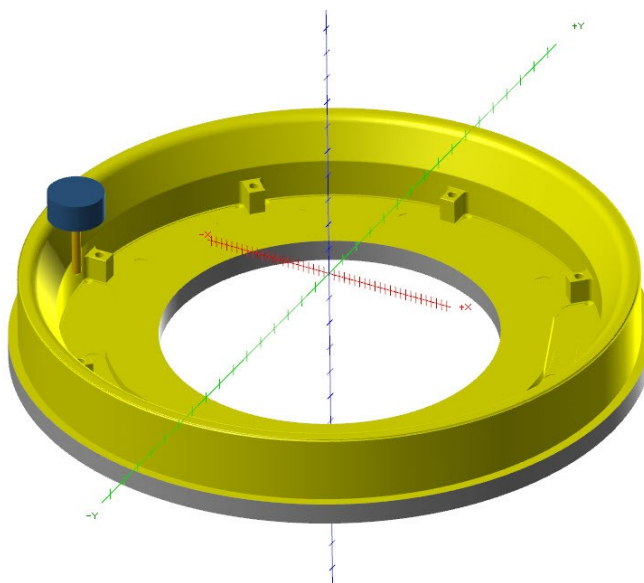
se bude díl napojovat v další pozici č.3. Nástroj bude materiál odebírat na dvakrát s přídatkem pro poslední třísku na dokončení 0,5 (mm).

Při tomto způsobu obrábění se obrábí z vnější strany obrobku, proto se stůl bude otáčet opačným směrem, aby se obrobek otáčel proti břitu nástroje. Při simulaci se pro přehlednost naklání nástroj, ale ve skutečnosti podle kinematiky stroje se bude naklánět stůl v ose A. Pro tuto operaci budou zvoleny tyto řezné podmínky: $v_c = 300$ (m/min), $f = 0,15$ (mm).



Obrázek 37 Soustružení rádiusu R0,5 pozice č.2

Na obrázku 38 lze vidět plochy, které se budou v této pozici obrábět, tyto plochy jsou obarveny žlutě, šedé značí plochy, které se neobrábí. Simulace obrábění nenaznačuje žádnou kolizi.



Obrázek 38 Simulace pozice č.2 po obrobení

Tabulka 3 Výrobní postup pozice č.2

Výrobní postup pozice č.2				
Číslo operace	Popis operace	Nástroj	Řezná rychlost (m/min)	Čas operace (min)
1	Hrubovat obvod (Z-60)	FR-50 (T12)	785	5
2	Hrubovat ID (Z-46)	FR-50 (T12)	785	18
3	Hrubovat ID (Z-60)	FR-50 (T12)	785	5
4	Hrubovat ID úkos	FR-50 (T12)	785	3
5	Navrtat D8,4 (8x)	8x90ST (T29)	126	0,2
6	Vrtat D8,4 (8x)	VRT-8,4 (T38)	105	0,8
7	Hrubovat ID (Z-68)	FR-19 (T25)	298	3,8
8	Frézovat kostky ID (Z-68)	FR-19 (T25)	298	1,2
9	Dohrubovat úkos ID	NUZ (T7)	300	2,3
10	Dokončit úkos ID	NUZ (T51)	300	4,6
11	Rádius R0,5 OD	NUZ (T51)	300	0,5
12	Navrtat D8,4 (16x) (Z-70)	8x90ST (T29)	126	0,5
13	Vrtat D8,4 (16x) (Z-70)	VRT-8,4 (T38)	132	1,6
14	Hrubovat ID470 (Z-68,2)	FR-19 (T25)	298	4,4
15	Dokončit ID470 (Z-68)	FR-8 (T22)	201	4,8
16	Srazit D8,4 (8x)	8x90ST (T29)	251	0,5
17	Srazit kostky	8x90ST (T29)	251	0,5

V tabulce 3 jsou použity některé zkratky, které popisují, o jaký nástroj se jedná, zkratka VRT značí, že se jedná o vrták, NUZ znamená soustružnický nůž. Celkový čas obrábění pozice č.2 dle simulace CAM je 56,7 minut.

9.3 Vakuový přípravek

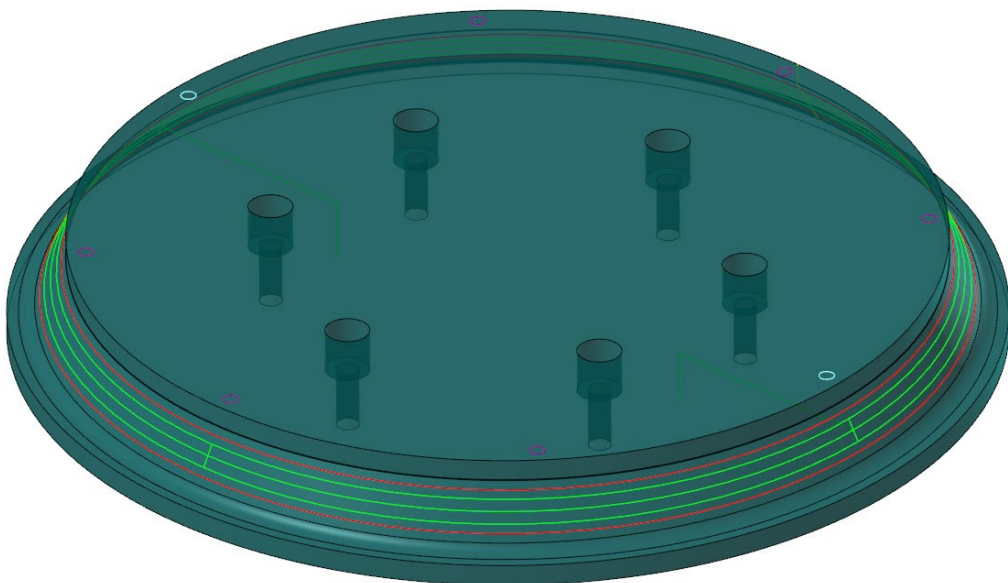
Vakuový přípravek pro obrábění slouží jako upínací zařízení pro výrobky z lehkých materiálů, jako jsou plasty, dřevo nebo lehké kovy. Obrobek drží pomocí sací síly produkované z vakuové pumpy. Přípravky pro upínání mohou být různě složité dle tvarové složitosti vyráběného dílu.

9.3.1 Návrh vakuového přípravku

Pro upnutí do finální pozice je potřeba navrhnout vakuový přípravek (obrázek 39), který bude díl držet pomocí sacího tlaku. Při obrábění tvarově složitých plastových dílů je obecně problém s upínáním pro obrobení druhé strany, kvůli možné deformaci vlivem upnutí. Při upínání pomocí vakua nevznikají žádné deformace na dílu, které by mohly mít estetický nebo funkční vliv na výrobek. Vakuový přípravek bude kopírovat vnitřní plochu dílu, bude jejím negativem, aby díl bylo možné na přípravek nasadit a přisát.

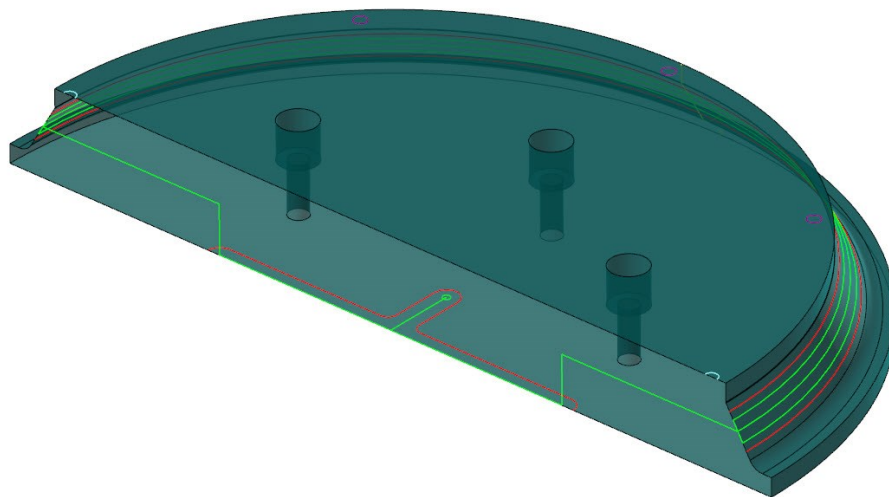
Materiál pro vakuový přípravek byl zvolen z materiálu PP-H. Pro přípravky do sériové výroby se často volí slitina hliníku kvůli rozměrové stabilitě, avšak bude se jednat pouze o prototypovou výrobu, proto bude tento materiál dostačující.

Pro upnutí k paletě CNC obráběcího centra byla zvolena zahroubení pro šrouby M12 (6x). Pozice těchto otvorů bylo potřeba navolit tak, aby nedošlo k propojení s drážkami nebo otvory pro vakuum. Příloze (P II) je přidán výkres vakuového přípravku.



Obrázek 39 Vakuový přípravek

Zelená barva křivek na vakuovém přípravku (obrázek 39 a 40) značí drážky, kde bude proudit vakuum pro lepší rozvedení do celé plochy, kde má dojít k sacímu tlaku. Červená barva ukazuje drážky pro těsnící gumičku. Tyrkysová barva naznačuje místa, kde budou otvory pro kolíky, pro určení polohy dílu a k zamezení pootočení při karuselovém soustružení. Fialová barva ukazuje místa, kde dojde k vyfrézování závitů. Závitů budou sloužit pro šrouby M8 (6x), pomocí kterých se pojistí obrobek k přípravku. Budou sloužit jako bezpečnostní složka pro pojištění dílu, kdyby došlo k přerušení sacího tlaku. Spodní část přípravku bylo potřeba přizpůsobit paletě přes kterou prochází vakuum z průchodky otočného stolu.



Obrázek 40 Vakuový přípravek v řezu

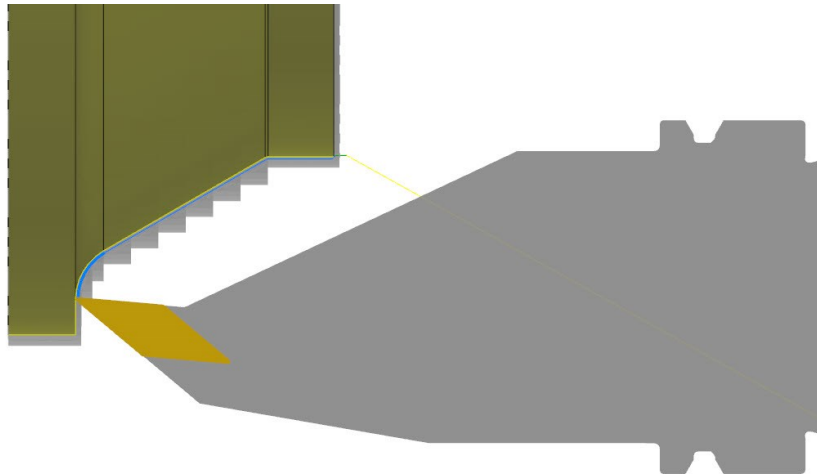
9.3.2 CAM programování vakuového přípravku

Pro vakuový přípravek bude potřeba také vytvořit obráběcí program. Přípravek bude potřeba vyrobit na dvě upnutí. Nejdříve se obrobí strana doléhající k paletě a následně vrchní strana, kde dojde k upnutí s výrobkem.

Program se bude skládat z operací jako je karuselové soustružení, víceosé frézování a vrtání. Polotovár pro přípravek byl navrhnout o rozměrech 540 x 540 x 60 (mm). Rozměr byl přizpůsoben rozměru obrobku a způsobu upnutí. Z polotovaru budou uříznuty rohy pro menší odběr materiálu na CNC obráběcím centru.

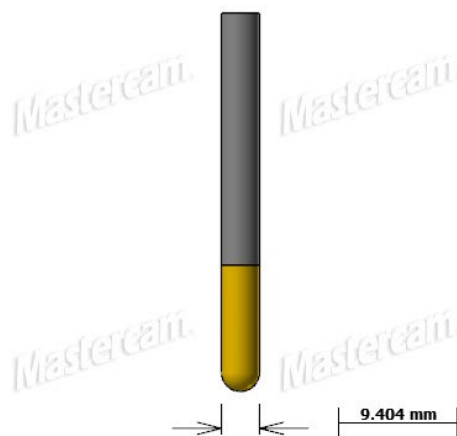
Pro první stranu přípravku bude využito pouze tříosé frézování. Pro druhou stranu, která je tvarově složitější, bude využito karuselové soustružení (obrázek 41) a víceosé frézování jako je např. i pětiosé frézování.

Pro dokončení plochy, kde dojde k sacímu podtlaku se využije karuselové soustružení s následujícími řeznými podmínky: $v_c = 300$ (m/min), $f = 0,2$ (mm), $a_p = 1$ (mm).



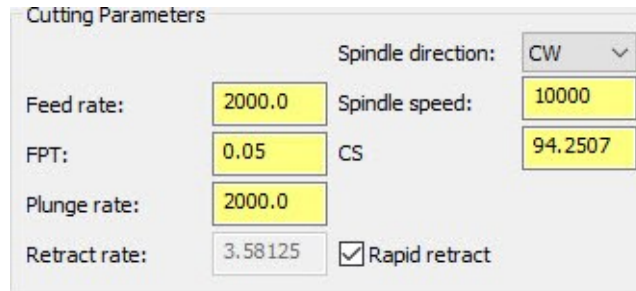
Obrázek 41 Karuselové soustružení vakuového přípravku

Pro obrobení drážek pro vzduch a pro těsnící gumičku se využije víceosé frézování s nástrojem kulového tvaru o průměru 3 (mm). V CAM prostředí lze definovat různé typy nástrojů. Pro definici kulové frézy (obrázek 42) stačí pouze nadefinovat průměr nástroje 3 (mm), celkovou délku nástroje 30 (mm), délku břitu nástroje 10 (mm) a definovat tvar břitu, v tomto případě kulový tvar.



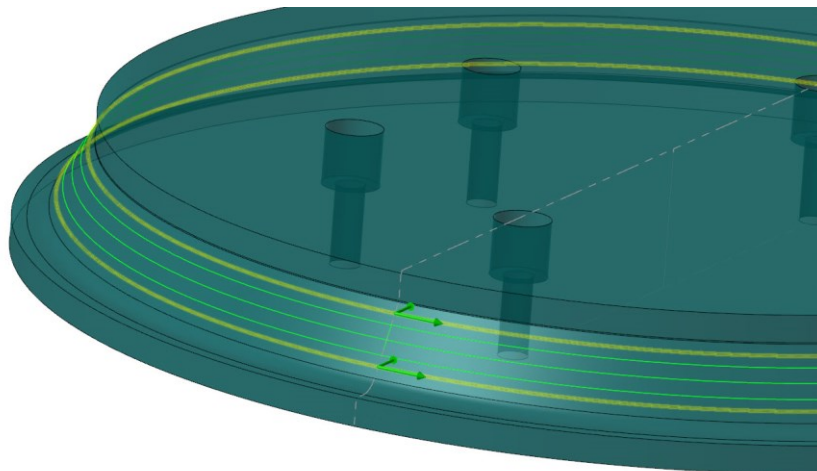
Obrázek 42 Kulová fréza o průměru 3 (mm)

Pro pětiosé frézování (obrázek 43) byly zvoleny tyto řezné podmínky (Cutting Parameters): $v_c = 94$ (m/min) řezná rychlost (CS), $n = 10000$ (min^{-1}) otáčky vřetene (Spindle speed), $f_z = 0,05$ (mm) posuv na zub (FPT), $v_f = 2000$ (mm/min) výsledný posuv (Feed rate), posuv pro najetí do řezu (Plunge rate) = 2000 (mm/min), pravotočivé otáčky vřetene (CW).



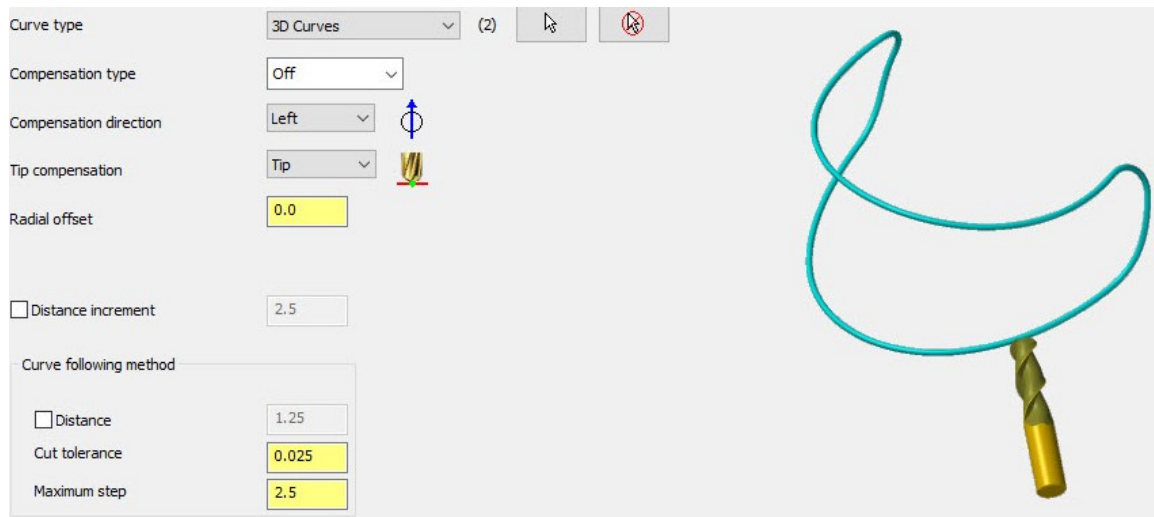
Obrázek 43 Řezné podmínky kulové frézy

Pro obrábění drážek pro těsnící gumičky byla zvolena metoda obrábění křivky (Curves) ze sady pětiosých operací. Po zvolení nástroje bylo potřeba zvolit geometrii z modelu, na obrázku 44 jsou zvýrazněny žluté křivky, které se budou obrábět. Směr obrábění je označen zelenou šipkou.



Obrázek 44 Geometrie obrábění drážek pro těsnící gumičku přípravku

V parametrech operace (obrázek 45) se zadají data potřebné pro obrábění. Volba křivky, po které bude nástroj obrábět (Curve Type – 3D Curves). Kompenzace nástroje na střed bez korekce (Compensation type – Off). Pro osazení nástroje od dráhy slouží parametr (Radial offset). Řezné tolerance pro interpolování pro plynulejší chod stroje (Curve following method).



Obrázek 45 Parametry křivky pro pětiosé frézování

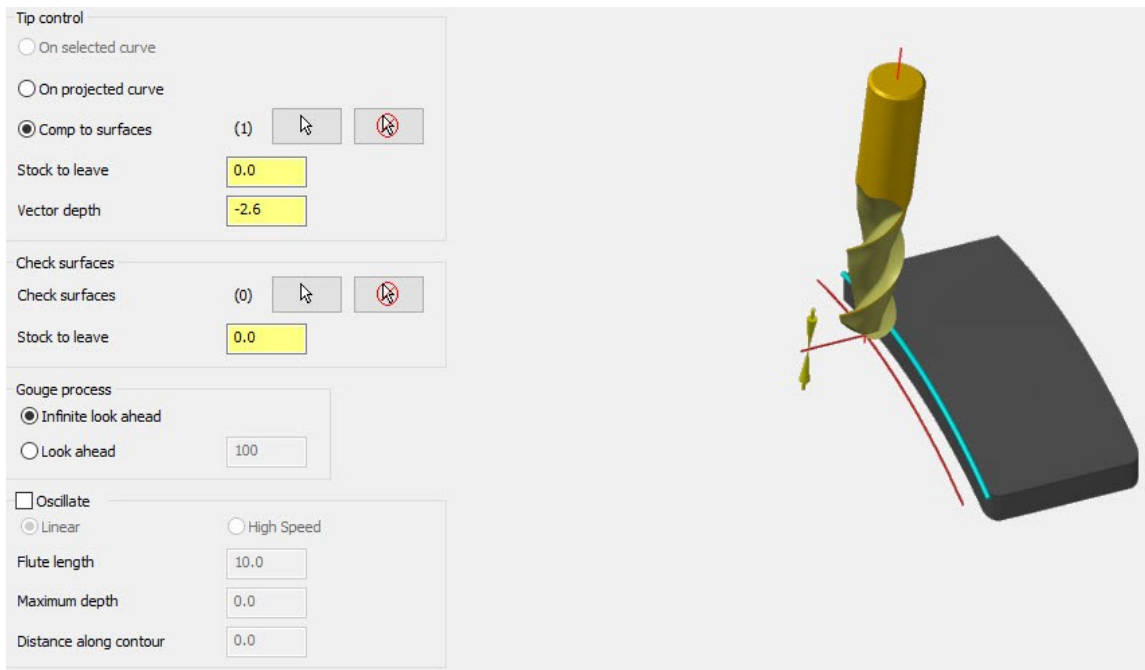
Mezi další parametry (obrázek 46) patří např. plocha na které leží obráběné křivky (Tool axis control – surface). Výstup obráběné operace v pěti osách (Output format – 5 axis). Odvalování po ose X (Backplot rotary axis – X axis). Pro naklonění nástroje po dráze slouží parametr (Angle inkrement – 3). Projekce normály od plochy (Normal to surface).



Obrázek 46 Parametry nastavení osy nástroje pro pětiosé frézování

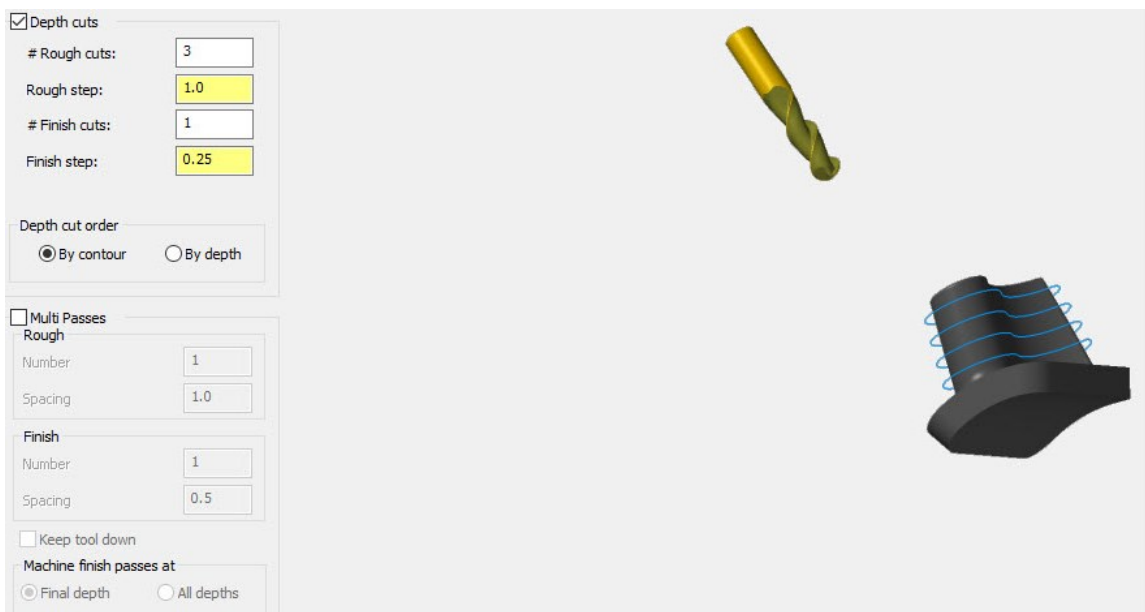
Dalšími důležitými parametry (obrázek 47) je a_p hloubka řezu (Vector depth -2,6). Tato hloubka je zvolena kvůli těsnící gumičce o průměru 3 (mm). Z plochy přípravku bude tedy osazená 0,4 (mm). Zvolení kompenzace, od jaké plochy se má řídit hloubka řezu (Comp to

surface). Plochy, od kterých má mít nástroj bezpečnou vzdálenost (Check surfaces). Přepočítávání řádků dopředu pro snazší interpolování (Gouge process – Infinite look ahead).



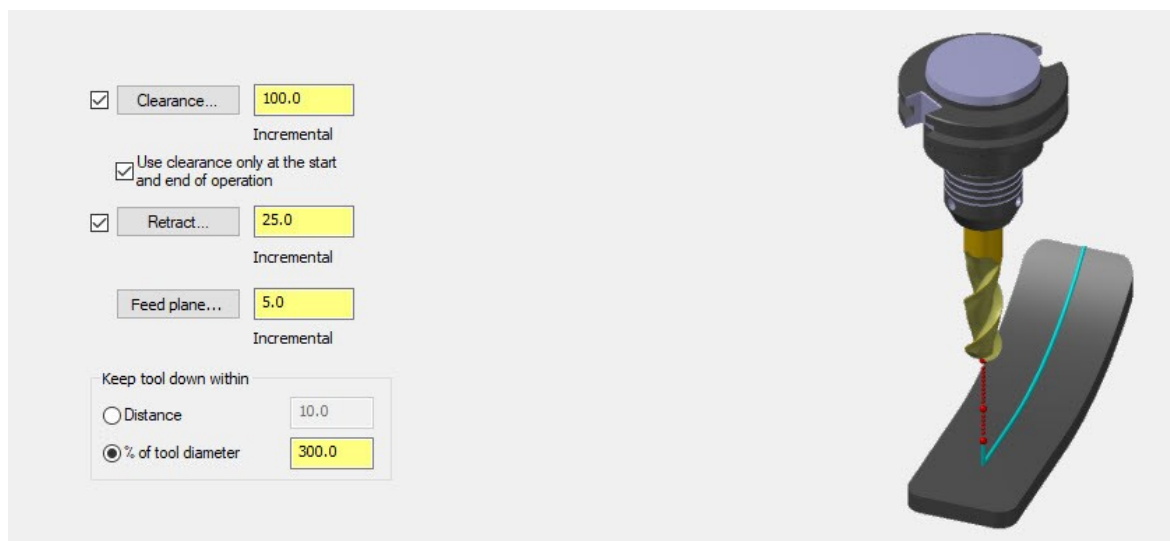
Obrázek 47 Nastavení špičky nástroje pro pětiosé obrábění

Dalšími parametry je hrubování (obrázek 48), pro tuto operaci je nastaveno, aby hrubování proběhl třikrát (Rough cuts) s maximální hloubkou řezu (Rough step) 1 (mm) a zůstal přírůstek pro dokončení (Finish step) 0,25 (mm).



Obrázek 48 Řezné podmínky pro pětiosé obrábění

Dalšími parametry, které je potřeba zadat pro správný chod programu je nájezd frézy k bezpečné vzdálenosti (obrázek 49). Všechny hodnoty jsou definovány inkrementálně od obráběné plochy. Nejdříve nástroj přijede k základní bezpečné vzdálenosti (Clearance) 100 (mm), poté k odjezdové bezpečné vzdálenosti (Retract) 25 (mm), nakonec k bezpečné vzdálenosti (Feed plane) 5 (mm), od které začíná pracovní posuv. Mezi další parametry, které je potřeba zadat jsou roviny obrábění nebo možnost chlazení při obrábění.



Obrázek 49 Nastavení neřezných parametrů pro pětiosé frézování

Tabulka 4 Výrobní postup vakuového přípravku

Výrobní postup vakuového přípravku				
Číslo operace	Popis operace	Nástroj	Řezná rychlost (m/min)	Čas operace (min)
1	Frézovat čelo	FR-50 (T12)	785	6
2	Srazit obvod	8x90ST (T29)	251	0,5
3	Navrtat D4,9 (2x)	8x90ST (T29)	101	0,05
4	Vrtat D4,9 (2x)	VRT-4,9 (T35)	99	0,1
5	Navrtat D12,5 (6x)	8x90ST (T29)	101	0,05
6	Vrtat D12,5 (6x)	VRT-12 (T23)	118	0,8
7	Srazit D12,5	8x90ST (T29)	251	0,2

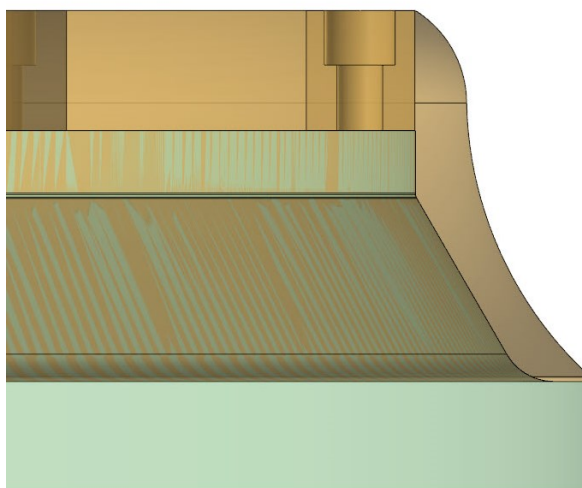
8	Frézovat D5 pro vakuum	FR-4 (T56)	126	0,05
9	Drážka pro gumičku	FR-3R1,5 (T21)	94	1,8
10	Drážka pro vakuum	FR-3R1,5 (T21)	94	0,3
11	Změna upnutí			
12	Frézovat zahloubení	FR-19 (T25)	298	3
13	Změna upnutí			
14	Hrubovat OD (Z-12)	FR-50 (T12)	785	1
15	Hrubovat OD (Z-41)	FR-50 (T12)	785	3
16	Hrubovat OD (Z-46)	FR-50 (T12)	785	1
17	Hrubovat OD (Z-58)	FR-50 (T12)	785	1
18	Frézovat díry pro aretaci D8,4	FR-4 (T56)	126	0,2
19	Dohrubovat OD	NUZ (T7)	300	1,8
20	Dokončit OD	NUZ (T51)	300	1,8
21	Drážky pro gumu (5ax)	FR-3R1,5 (T21)	94	3
22	Drážky pro vzduch 1 (5ax)	FR-3R1,5 (T21)	94	3
23	Drážky pro vzduch 2 (5ax)	FR-3R1,5 (T21)	94	2
24	Drážky pro vzduch spojení (5ax)	FR-3R1,5 (T21)	94	0,2
25	Srazit zahloubení	8x90ST (T29)	251	0,2
26	Navrtat díry pro M8 (6x)	8x90ST (T29)	101	0,1
27	Srazit D8,4 (2x)	8x90ST (T29)	251	0,05
28	Vrtat díry pro M8 (6x)	VRT-6,8 (T15)	85	0,5
29	Srazit M8 (6x)	8x90ST (T29)	251	0,1

30	Frézovat M8 (6x)	FR-M8 (T42)	188	1
31	Předfrézovat otvor D4,1 pro vrtání 1	FR-3 (T53)	126	0,2
32	Předfrézovat otvor D4,1 pro vrtání 2	FR-3 (T53)	126	0,2
33	Vrtat D4,1 pro vakuum 1	VRT-4,1 (T11)	70	3
34	Vrtat D4,1 pro vakuum 2	VRT-4,1 (T11)	70	3

Celkový čas pro výrobu vakuového přípravku dle CAM je 39,2 minut. V tabulce 4 je posloupnost operací, jakým způsobem bude vakuový přípravek obroběn. Pro tento přípravek je potřeba třikrát změnit ustanovení.

9.4 Pozice č.3

V pozici č.3 se bude obrábět díl na hotovo z druhé strany. Na obrázku 50 je řez sestavy dílu s přípravkem, oranžovou barvou je označený díl a zelenou barvou je označen vakuový přípravek. Oranžovo-zelenou barvou jsou označeny plochy, kde dojde ke kontaktu mezi dílem a přípravkem. K sacímu tlaku dojde na největší rovinné ploše, která je pod úhlem 30°. Obecné kritérium při vakuovém upínání obrobků je, snažit se navrhovat co největší plochy pro sací tlak.



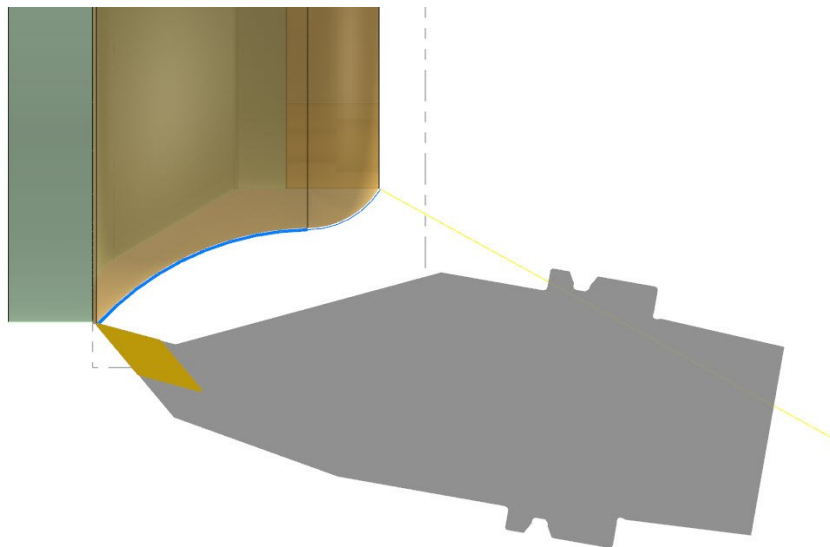
Obrázek 50 Řez sestavy přípravku s rotačním dílem

Díl bude doléhat po celém vnitřním průměru na přípravku, tím se dosáhne stability upnutí při obrábění, aby nedošlo k vibračním nebo nepřesně vyhotovených rozměrových hodnot na díle. Při obrábění budou řezné síly působit směrem k vakuovému přípravku.

V této pozici bude využito karuselové soustružení, i víceosé frézování (pětiosé). Vnější tvar obrobku bude vyroben soustružením. Pětiosé frézování bude využito na gravírování textu na vnější ploše. Další víceosé frézování bude využito na obrobení ostrých rohů u kostek pro upnutí.

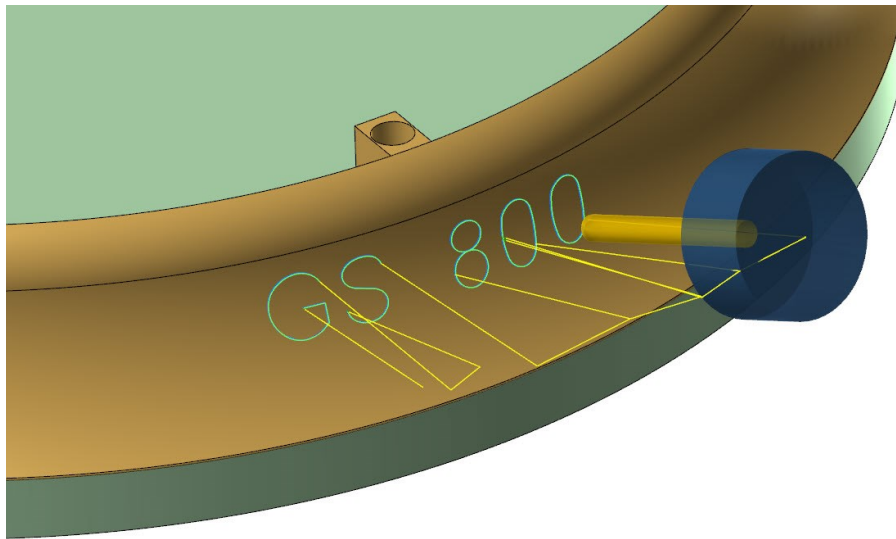
Pro dokončení vnějšího tvaru, které má sloužit jako ochranná plocha proti vniknutí plastových třísek, se využije karuselové soustružení. Nůž je potřeba naklonit o úhel 10° , aby nedošlo ke kontaktu konstrukce nástroje s vyráběným dílem (obrázek 51).

Pro tuto operaci budou použity tyto řezné podmínky: $v_c = 300$ (m/min), $f = 0,25$ (mm). Modrou barvou je označena dráha, po které se bude nástroj pohybovat. Žlutou barvou je označen nájezd nástroje k obrobku.



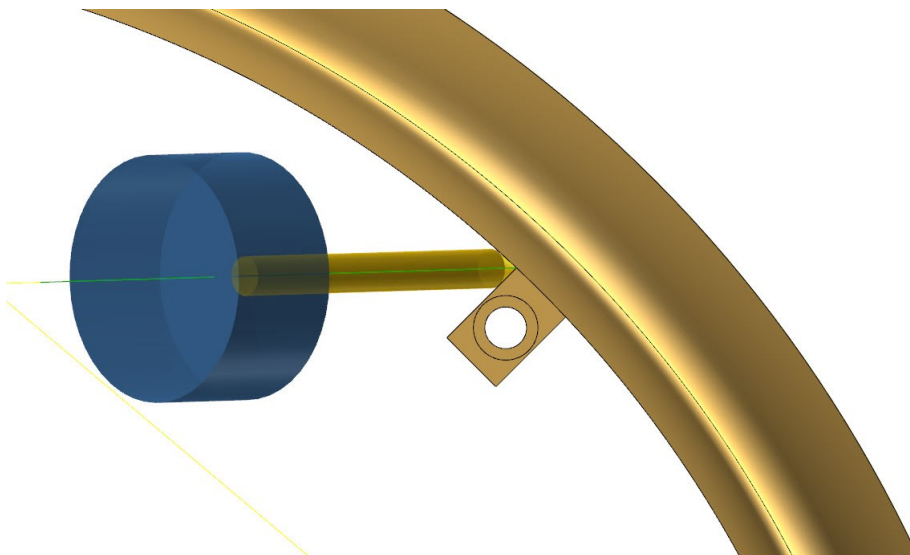
Obrázek 51 Soustružení vnějšího tvaru pozice č.3

Pro gravírování textu v pěti osách (obrázek 52) se použije nástroj o průměru 8 (mm) s úhlem špičky 90° a délkou vyložení nástroje 75 (mm). Pro tuto operaci budou zvoleny tyto řezné podmínky: $v_c = 251$ (m/min), $f_z = 0,1$ (mm). Gravírování textu bude obrobena do hloubky 0,5 mm, výška písma 20 (mm) a šířka celého textu 108 (mm).



Obrázek 52 Gravírování textu v pěti osách

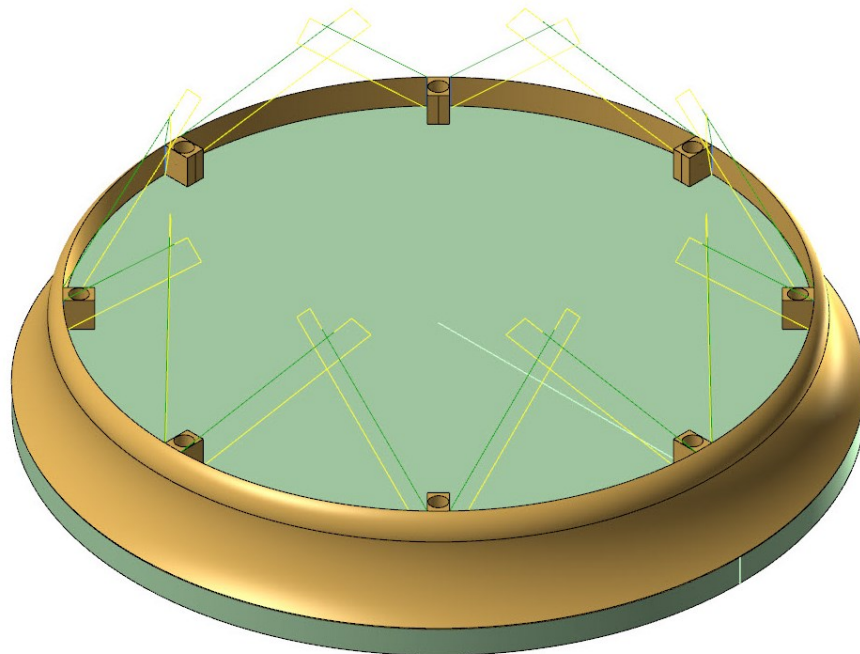
Aby bylo možné díl nasadit na otočný stůl, je potřeba se přizpůsobit jejímu tvaru, proto je nutné obrobit ostré rohy u kostek k vnitřnímu průměru dílu (obrázek 53). Pro obrobení ostrých rohů se využije nástroj o průměru 8 (mm) s kuželovým tvarem břitu s úhlem špičky 60° a délkou vyložení 75 (mm). Nástroj je potřeba naklonit o určitý úhel ve více směrech.



Obrázek 53 Obrobení ostrých rohů

Geometrie obrobení ostrých rohů se skládá z celkem 16 operací, zelená barva značí nájezd k obrobku a žlutá barva značí odjezd od obrobku (obrázek 54). Rohy budou nejdříve

obrobena frézou o průměru 4 (mm), ta však nechá v rozích rádius rovnající se poloměru frézy. Zbytek materiálu bude potřeba doobrobit tímto způsobem.



Obrázek 54 Geometrie obrobění ostrých rohů

Tabulka 5 Výrobní postup pozice č.3

Výrobní postup pozice č.3				
Číslo operace	Popis operace	Nástroj	Řezná rychlost (m/min)	Čas operace (min)
1	Hrubovat ID	FR-50 (T12)	785	3
2	Hrubovat čelo (Z+1)	FR-50 (T12)	785	4,9
3	Frézovat čelo	FR-50 (T12)	785	0,3
4	Frézovat zahloubení	FR-4 (T56)	101	1,5
5	Srazit zahloubení	8x90ST (T29)	202	0,3
6	Dofrézovat rohy	FR-4 (T56)	126	6,3
7	Srazit ID	8x90ST (T29)	251	0,6
8	Hrubovat úkos OD	FR-50 (T12)	785	6,5

9	Dohrubovat OD	NUZ (T7)	300	3,2
10	Dokončit OD	NUZ (T51)	300	1,6
11	Ostrý roh 1	8x60ST (T13)	251	5
12	Ostrý roh 2	8x60ST (T13)	251	5
13	Gravírovat text (5ax)	8x90ST (T29)	251	3,5

Celkový výrobní čas pozice č.3 je 41,7 minut. V tabulce 5 je posloupnost operací, jakým způsobem bude obrobek opracován v této pozici.

10 VÝROBA

Po vytvoření CNC programu bude nutné pro výrobu nachystat řezné nástroje. Nástroje budou změřeny na optickém měřicím zařízení a následně hodnoty zapsány do tabulky nástrojů. Po vložení nástrojů do zásobníku stroje bude možné zahájit výrobu rotačního dílu na CNC obráběcím centru.

10.1 Stroj

Výroba bude probíhat na CNC obráběcím centru Alzmetall GS 800 (obrázek 55). Jedná se o multifunkční CNC obráběcí centrum s možností frézování, soustružení, broušení, vrtání a dalších doplňkových třískových metod obrábění. Všechny tyto metody obrábění lze využít na jedno ustanovení obrobku a tím minimalizovat manipulaci s obrobkem. Řídicí systém tohoto stroje je Heidenhain iTNC 640, ovládací panel stroje je kombinace dotykového displeje s klávesnicí na panelu. Otočný stůl o průměru 470 mm je připevněn na kolébce, která je schopná vyklápět stůl v ose A v obou směrech. Základní konstrukce stroje je z litiny s kuličkovým grafitem. Stroj je schopný pro jednoduchou manipulaci těžkých a rozměrných obrobků otevřít horní kryt stroje. Maximální kapacita nástrojů v zásobníku je 76 míst, zásobník je složen z dvou pater pro nástroje o délce do 150 mm a do 300 mm. Pro efektivní chlazení při obrábění disponuje stroj nádrží pro emulzi s možností vnitřního výplachu o tlaku až 80 bar (8MPa). Pro odvod třísek z pracovního prostoru se stará dopravník. Stroj také disponuje odsáváním olejové mlhy z pracovního prostoru stroje.



Obrázek 55 CNC obráběcí centrum Alzmetall GS 800 [33]

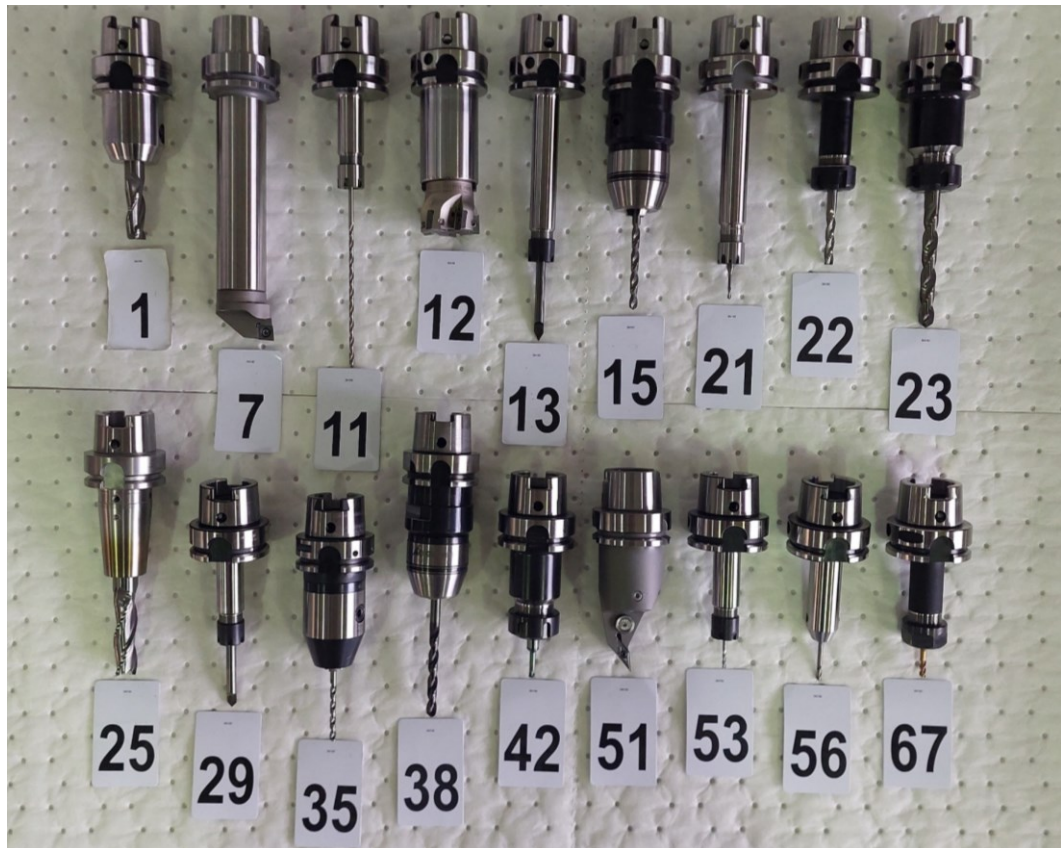
Tabulka 6 Technické parametry CNC obráběcího centra Alzmetall GS 800

Technické parametry CNC obráběcího centra Alzmetall GS 800	
Rozjezd v ose X, Y, Z	660 / 800 / 550 (mm)
Upínací plocha	Ø 470 (mm)
Max. rychlost posuvu v ose X, Y, Z	75 (m/min)
Rozjezd v ose A	± 140°
Max. rychlost posuvu v ose A	50 (min ⁻¹)
Rozjezd v ose C	360°
Max. rychlost rotace v ose C	1200 (min ⁻¹)
Max. hmotnost obrobku	500 (kg)
Upínání nástrojů	HSK T63
Výkon vřetene	24 (kW)
Max. otáčky vřetene	18 000 (min ⁻¹)
Hmotnost stroje	10 200 (kg)
Max. průměr nástroje	150 (mm)
Max. délka nástroje	300 (mm)

10.2 Nástroje

Pro výrobu rotačního dílu a vakuového přípravku bude použito celkem 18 nástrojů. Mezi kterými jsou frézy, vrtáky, navrtávačky, soustružnické nože a závitové frézy. Nástroje budou upnuty do upínacích držáků typu HSK. Rotační nástroje budou upnuty v držácích, mezi které patří kleštinové (T11, T13, T21, T22, T23, T29, T42, T53, T67), tepelné (T25), Weldon (T1, T56) a rychloupínací (T15, T35, T38) a frézovací hlava s VBD (T12). Pro karuselové soustružení bude použito dvou typů pravých soustružnických nožů, jeden pro hrubovací operace (T7) a druhý pro dokončovací operace (T51).

Všechny nástroje jsou z materiálu SK (slnutého karbidu), VBD plátky na frézovací hlavě (T12) jsou s označením N (zelená) pro obrábění lehkých kovů značky Seco. Soustružnické nože obsahují také VBD (T7, T51) s označením N (zelená) značky Arno. Fréza o průměru 19 mm je přebroušená z původních 20 mm (T25). Na obrázku 56 jsou nástroje, které budou použity pro výrobu, s označením jednotlivých pozic v zásobníku. Délka vyložení nástrojů je přizpůsobena simulaci z CAM programu a upínacímu zařízení CNC stroje. Rotační nástroj znamená, že stroj je ve frézovacím módu a hlavní řezný pohyb koná nástroj.



Obrázek 56 Nástroje pro obrábění s označením pozice v zásobníku

U rotačních nástrojů je důležitá hodnota k měření L a R . L udává délku nástroje a R poloměr nástroje. Hodnota $R2$ udává poloměr zaoblení špičky nástroje. Hodnota DL znamená délková korekce nástroje k L . DR popisuje poloměrovou korekci nástroje k R (obrázek 57). V tabulce jsou zapsány i soustružnické nože, hodnoty jsou však pouze informační pro umístění v zásobníku.

T	NAME	L	R	R2	DL	DR
1	FR-16	+141.975	+7.98	+0	+0	-0.01
7	NUZ-DLOUHY-R0,4	+100	+25	+0	+0	+0
11	VRT-4,1	+248.966	+0	+0	+0	+0
12	FR-50	+140.038	+25	+0	+0	+0
13	NAVRT-8X60ST	+226.041	+4	+0	+0	+0
15	VRT-6,8	+197.238	+0	+0	+0	+0
21	FR-3-R1,5	+188.945	+1.5	+0	+0	+0
22	FR-8	+159.355	+3.859	+0	+0	+0
23	VRT-12	+209.561	+0	+0	+0	+0
25	FR-19	+184.096	+9.37	+0	+0	+0
29	8X90ST	+156.79	+2	+0	-0.08	+0
35	VRT-4,9	+168.48	+0	+0	+0	+0
38	VRT-8,4	+216.5	+0	+0	+0	+0
42	FR-M8	+134.382	+3.112	+0	+0	-0.005
51	SOUSTR.NUZ-R0,4-SL	+100	+25	+0	+0	+0
53	FR-3	+125.3	+1.5	+0	+0	+0
56	FR-4	+135.584	+2	+0	+0	+0
67	FR-5	+127.33	+2.5	+0	+0	+0

Obrázek 57 Tabulka rotačních nástrojů

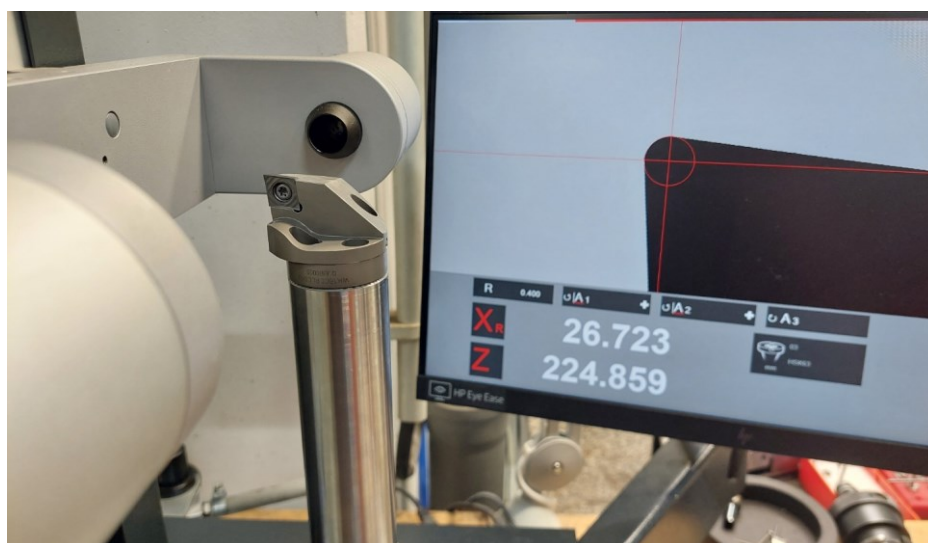
Pro přesnou definici soustružnického nože v tabulce nástrojů CNC obráběcího centra je potřeba nadefinovat několik technických parametrů. Pro ukázkou na obrázku 58 je soustružnický nůž pro hrubovací operace (T7). Mezi základní data, které jsou definovány v této tabulce je název nástroje (NAME), pozice v zásobníku stroje (P), číslo nástroje (T), typ nástroje (TYP), délka nástroje v ose Z (ZL), délka nástroje v ose X (XL), přídavek délky nástroje v ose Z (DZL), přídavek délky nástroje v ose X (DXL), úhel orientace vřetene (ORI), úhel nástroje (T-ANGLE), úhel hrotu (P-ANGLE), typ soustružnické nástroje (TYPE).

Informace			
NAME	NUZ-DLOUHY-RO.4	T	7
DOC		PTYP	0
P	1.07	TYP	Soustružnický nás
RT			

Základ.data	Data opotřebení	Přidavná data	Data životnosti				
ZL	+224.9	DZL	-0.03	ORI	-90	TIME1	0
XL	+26.72	DXL	+0.03	T-ANGLE	84.5	TIME2	0
YL	+0	DYL	+0	P-ANGLE	78.5	CUR TIME	618.63
RS	0	DRS	+0	CUTLENGTH	0	OVRTIME	
CL		DCW	+0	CUTWIDTH	0	TL	<input type="checkbox"/>
CR							
KG							
TYPE	ROUGH						

Obrázek 58 Parametry nástroje (T7) v tabulce nástrojů CNC stroje

Všechny nástroje byly změřeny na optické měřicím zařízení značky PWB. Pro základní definici nástroje stačí změřit hodnotu délky nástroje a poloměr. Pro ukázkou na obrázku 59 je měřen soustružnický nůž pro hrubování (T7), kde je měřena hodnota $X_R = 26,723$ (mm) a $Z = 224,859$ (mm).



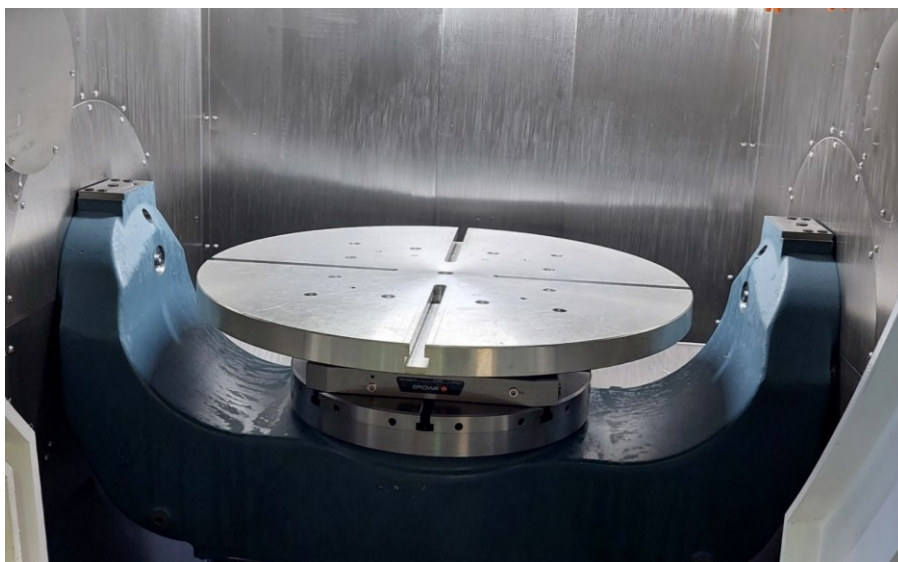
Obrázek 59 Měření nástroje (T7) na optickém zařízení

10.3 Průběh výroby

Výroba na CNC obráběcím centru je rozdělena na několik částí. Nejdříve bylo potřeba z šestihranného polotovaru obrobít prstenec pro upnutí na univerzálním hliníkovém přípravku, který je používán pro více dílů. Je důležitý v tom, že prstenec lze upnout pomocí malých upínek na vnitřním a vnějším průměru a poté co je díl vystředěn a upnut, tak lze využít karuselové soustružení. Další operací je výroba vakuového přípravku, který je potřebný pro finální upnutí rotačního dílu (krytu). Pro všechny operace bylo použito chlazení pomocí řezné kapaliny (emulze) s obsahem 6% oleje.

10.3.1 Pozice č.1

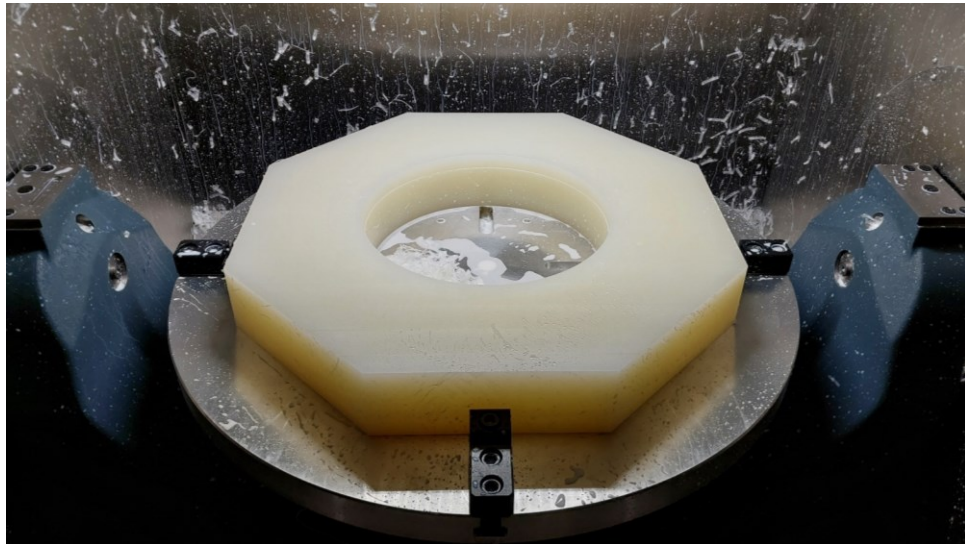
Jelikož se jedná o výrobu rozměrného dílu o vnějším průměru 536 (mm) bylo potřeba použít rozměrnější hliníkovou desku o průměru 750 (mm), max. průměr obrobku ve stroji může být 800 (mm). Otočný stůl CNC obráběcího centra má průměr 470 (mm), bez vyrobené hliníkové desky by nebylo možné polotovar upnout. Na otočném stole je nainstalován upínací systém s nulovým bodem značky Erowa (obrázek 60). Tento upínací systém je vhodný pro stroje, kde je potřeba často vyměňovat palety s obrobkem. Upínací systém s nulovým bodem je také efektivní ve snadném a rychlém upnutí s vysokou přesností vystředění na střed stolu. Přesnost tohoto upnutí je až 0,003 (mm).



Obrázek 60 Pracovní prostor obráběcího centra

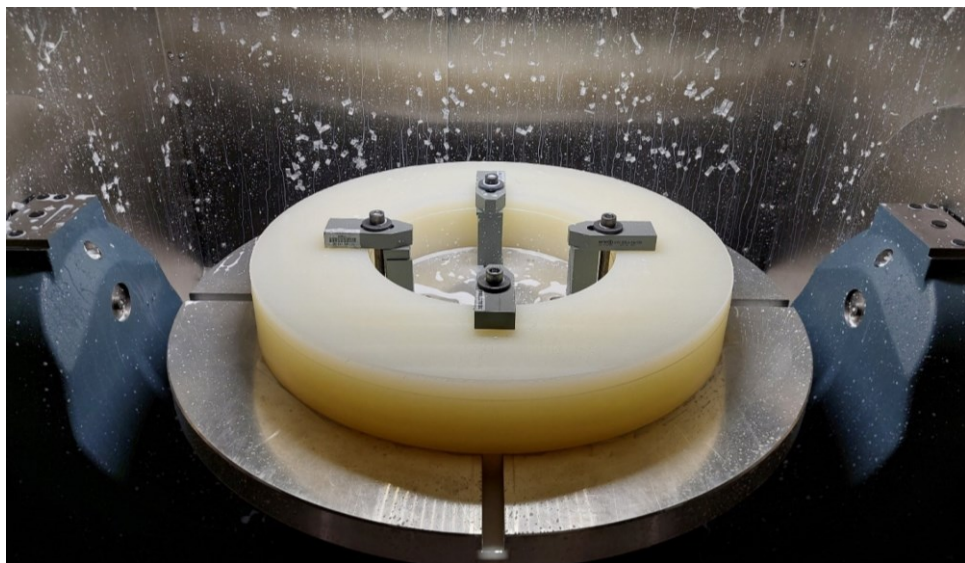
Polotovar o výšce 80 (mm) a rozměru 560 x 560 (mm) byl upnut z vnější strany pomocí upínek značky Mitte-Bite. Na polotovaru byly uříznuty rohy, aby se minimalizoval odběr

materiálu na obráběcím centru. Při tomto upnutí byl nejdříve obroben vnitřní průměr prstence (obrázek 61), aby bylo možné polotovar přepnout a obrobit vnější stranu. Na čele byly také vyfrézovány dvě díry o průměru 8 (mm) pro kolíky, pro následnou aretaci proti pootočení v pozici č.2.



Obrázek 61 Obrobení vnitřního průměru pozice č.1

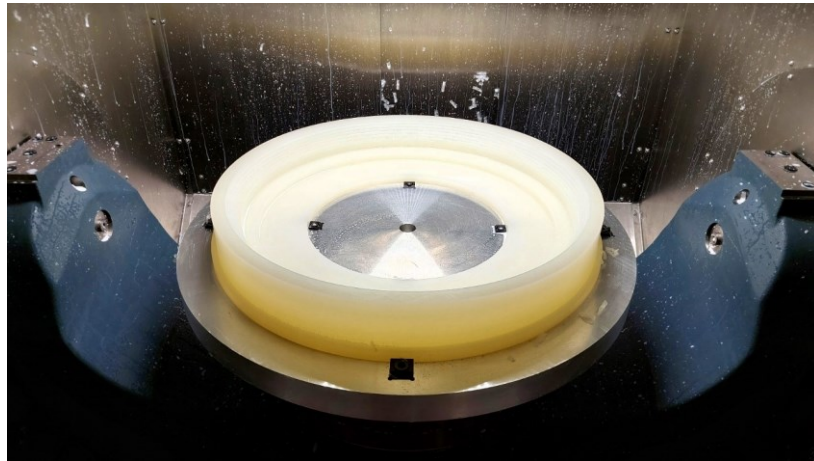
Po obrobení vnitřního průměru (obrázek 62) bylo možné polotovar přepnout a obrobit vnější stranu. Pro toto upnutí byly použity univerzální upínací podstavce značky AMF, upínky značky Precitool, šrouby M12 a upínací kameny s vnitřním závitem M12, umístěné v T drážkách hliníkové desky.



Obrázek 62 Obrobení vnějšího průměru pozice č.1

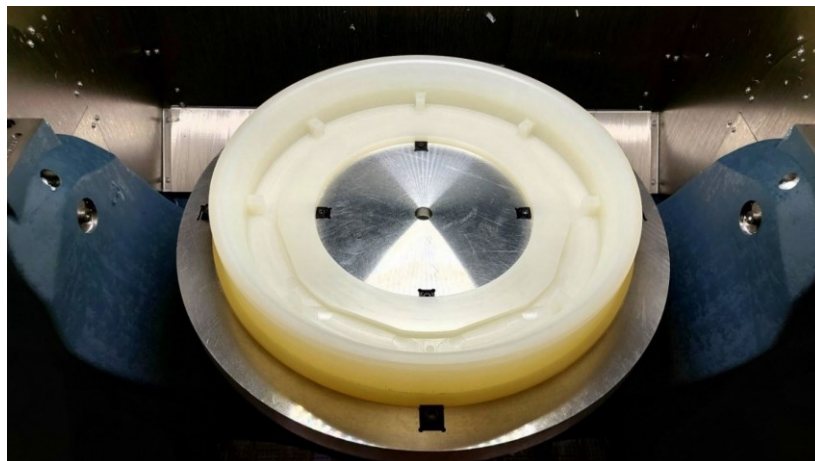
10.3.2 Pozice č.2

V další pozici bylo možné prstenec upnout na další hliníkovou desku o průměru 650 (mm) s osazením 5 (mm) pro upnutí prstence z pozice č.1. Díl je vystředěn na středu stolu a upnut na vnitřním a vnějším průměru pomocí upínek značky Mitte-Bite (obrázek 63). Proti pootočení byl díl pojištěn dvěma kolíky o průměru 8 (mm). Po vyhrubování vnitřního tvaru byl díl odepnut a nechán stabilizovat při teplotě 20 °C po dobu 20 hodin.



Obrázek 63 Vyhrubování pozice č.2

Díl byl znovu upnut a obroben na hotovo (obrázek 64). Vnitřní tvar byl vysoustružen, tato plocha bude dosedat na vakuovém přípravku. Vnitřní průměr byl obroben na rozměr o průměru 470,2 (mm), aby díl bylo možné dobře nasadit na otočný stůl. Kostky na vnitřním průměru, které mají za úkol přitáhnout díl k otočnému stolu byly taktéž obrobena na menší rozměr, a to 13,8 (mm), drážka v otočném stolu má 14 (mm).



Obrázek 64 Pozice č.2 po obrobění

Při obrábění této pozice bylo využito karuselové soustružení, byl použit soustružnický nůž (T7) pro dohrubování vnitřního tvaru a nůž (T51) pro dokončovací operace (obrázek 65). Pro obě tyto operace byla použita řezná rychlost 300 (m/min). Na takto velkém průměru se stůl otáčel rychlostí 180-215 (min^{-1}). Tlak vnitřního výplachu do místa řezu přes nástroj činil 20 bar (2 MPa).

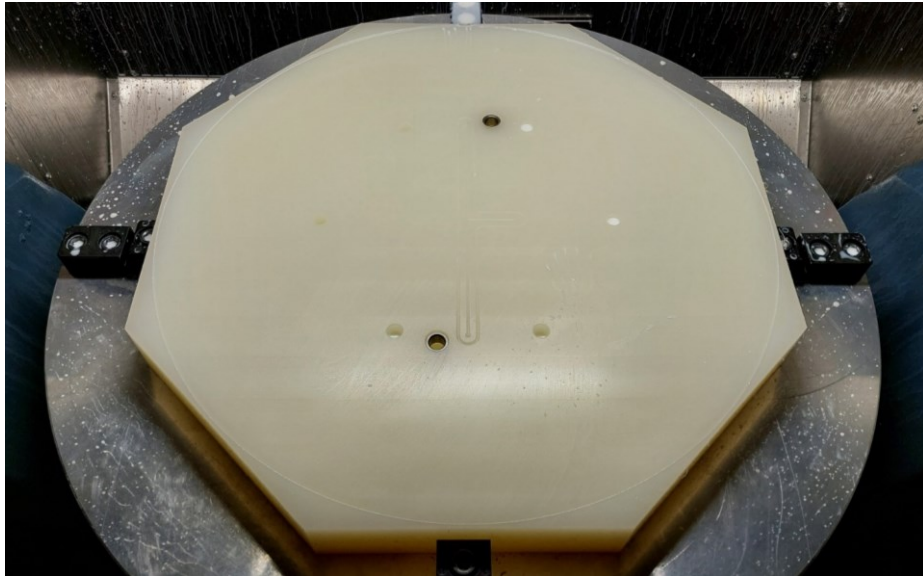


Obrázek 65 Dokončovací soustružnický nůž (T51)

10.3.3 Vakuový přípravek

Vakuový přípravek bude sloužit jako upínací systém pro finální obrobení rotačního dílu (krytu). Přípravek je negativem vnitřního tvaru vyráběného dílu. Po nasazení na vakuový přípravek se díl přisaje pomocí sacího tlaku z vakuové pumpy přes otvory uvnitř přípravku. CNC obráběcí stroj disponuje průchodkou pro vakuum středem stolu. Vakuum dále prochází přes paletový systém Erowa, až k přípravku a rotačnímu dílu.

Polotovár pro obrobení vakuového přípravku je 540 x 540 x 60 (mm) s uříznutými rohy pro snížení odběru materiálu na CNC obráběcím centru. Na první straně přípravku je obrobena drážka pro vakuum, pro propojení s druhou stranu přípravku, kde bude připevněn rotační díl. V této pozici je také obrobena šest děr pro upnutí k paletě Erowy. Pro vystředění jsou vyfrézovány dvě díry o průměru 18 (mm), pro nalisování vložek pro kolíky (obrázek 66).



Obrázek 66 První strana vakuového přípravku

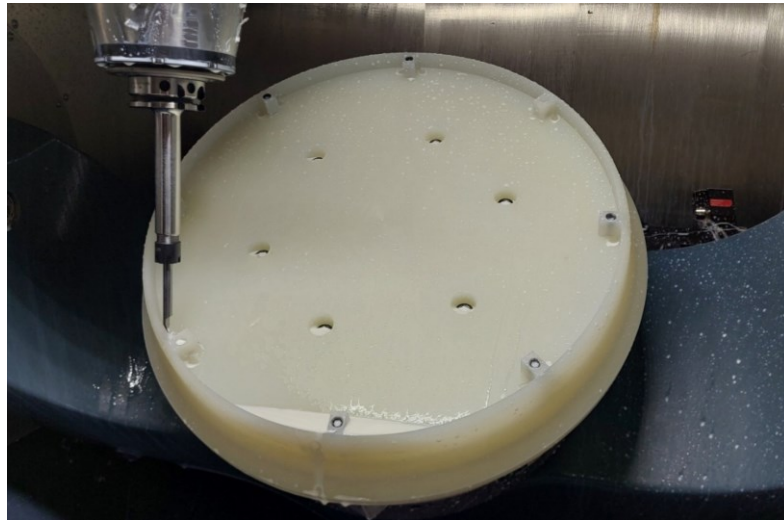
Sací tlak je vyvinut na plochu po celém obvodu a je ohraničen těsnící gumičkou (obrázek 67) pro těsnění a zamezení vniku chladicí kapaliny do upínacího systému, což by mělo za následek uvolnění dílu při obrábění. Na přípravku jsou také nasazeny dva kolíky, které díl zafixují proti pootočení a tím zvýší bezpečnost a stabilitu upnutí. Dále je na přípravku šest vnitřních závitů pro pojištění pomocí šroubů M8. Pro výrobu vakuového přípravku bylo využito karuselové soustružení, pro obrobení negativu vnitřního tvaru s výrobkem, byly použity nástroje T7 a T51. Dále bylo využito víceosé frézování, pro obrobení drážek k vedení vakua po vnějším plášti přípravku, a také pro obrobení drážek těsnící gumičky. Všechny tyto operace proběhly bez problému.



Obrázek 67 Druhá strana vakuového přípravku

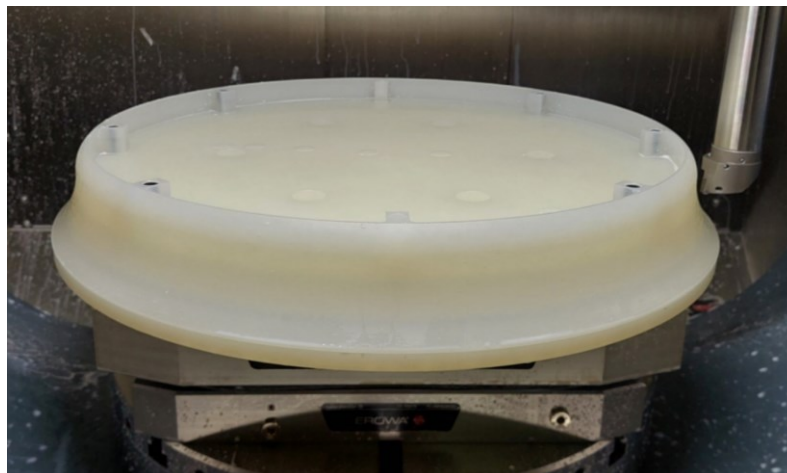
10.3.4 Pozice č.3

Ve finální pozici bylo využito jak pětiosé frézování, tak karuselové soustružení. Všechny tyto operace proběhly podle plánu. Rotační díl (kryt) byl upnut na vakuovém přípravku pomocí sacího tlaku $-0,1$ (MPa). Díl po celou dobu obrábění držel stabilně, nedocházelo k žádným náznakům povolení. Chladicí kapalina se do vakuového systému nedostala, všechny styková místa mezi přípravkem a obrobkem těsnila.



Obrázek 68 Obrobení ostrých rohů

Při obrábění ostrých rohů u kostek pro upnutí bylo potřeba použít dlouhý upínač nástroje, kvůli velkému úhlu vyklopení stolu v ose A (obrázek 68). Při tomto způsobu obrábění je potřeba být opatrný, aby nedošlo ke kolizi. Po obrobení všech ploch pozice č.3 (obrázek 69) bylo možné díl po vizuální kontrole odepnout a vyhodnotit.

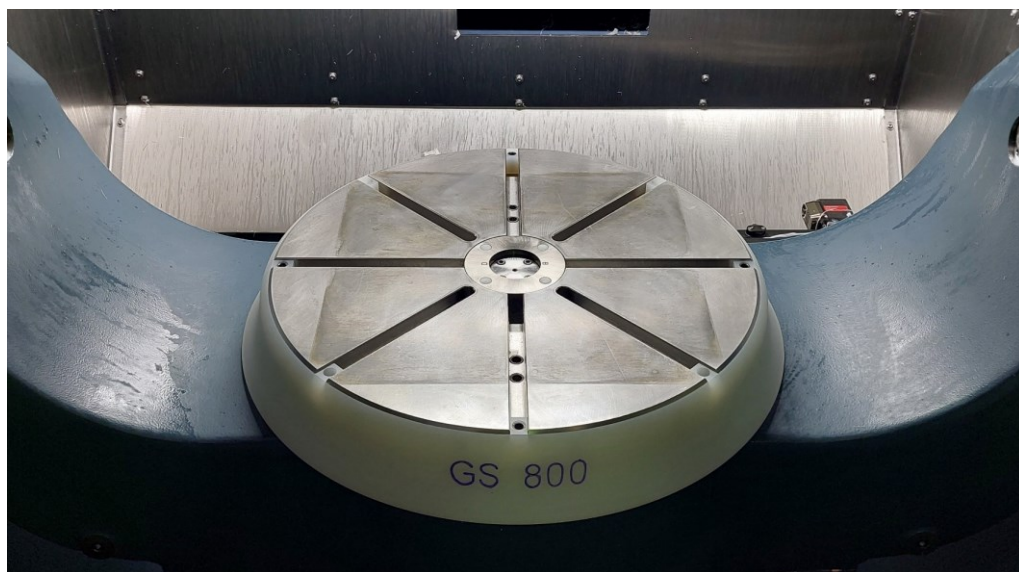


Obrázek 69 Hotový díl po obrobení pozice č.3

11 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBY

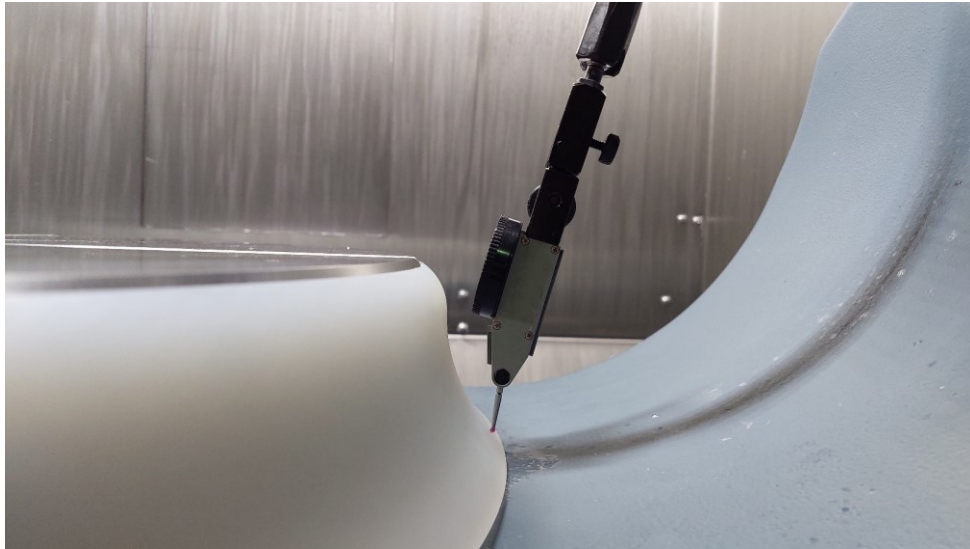
11.1 Funkčnost výrobku

Po výrobě proběhla kontrola základních rozměrů vyráběného dílu. Rozměry odpovídají výkresové dokumentaci a předepsaným tolerancím. Výrobek se nijak výrazně nezkroutil, stabilita se zdá být dostačující. Po těchto kontrolách se vyzkoušel díl namontovat na otočný stůl. Výrobek pasuje, bylo ho možné nasadit bez vynaložení větší síly. Poté mohlo dojít k přišroubování šroubů M8 (8x) s utahovacím momentem 1 (N.m). Po této montáži (obrázek 70) proběhla vizuální kontrola spodní plochy, která se nesmí dotýkat kolébky stroje. Mezera se zdá být dostatečně velká. Po montáži a kontrole proběhl test rotace otočného stolu s krytem. Stůl byl roztočen na 300 (min^{-1}). Při otáčení otočného stolu nedošlo k žádným problémům.



Obrázek 70 Výrobek po montáži k otočnému stolu

Po montáži ochranného krytu kolem otočného stolu proběhl test odchytky házivosti při otáčení v ručním režimu při otáčkách 5 (min^{-1}). Pro kontrolu odchytky se použil úchylkoměr od značky Mitutoyo (obrázek 71). Nejmenší odchytka je na vrchní straně dílu, která je nejpevnější, v těchto místech došlo k odchytkce 0,1 (mm), ve střední části dílu došlo k větší odchytkce 0,4 (mm) a ve spodní části výrobku, která je nejslabší je hodnota 0,7 (mm). U výrobku tedy došlo k mírné deformaci, která ale nemá vliv na její funkčnost.



Obrázek 71 Test házivosti rotačního dílu

Po testu házivosti proběhla zkouška funkčnosti ochranného krytu (obrázek 72). Test proběhl na polotovaru o průměru 280 (mm) z materiálu PP-H. Z polotovaru byla soustružena čelní plocha a vnější obvod soustružnickým nožem (T7). Pro test byly použity tyto řezné podmínky: $v_c = 300$ (m/min), $f = 0,25$ (mm), $a_p = 1$ (mm). Výsledkem bylo snížení vniku plastových třísek kolem otočného stolu. Ochranný kryt tedy splnil svou funkčnost, bude využit při následném karuselovém soustružení na tomto stroji. S kombinací dalších řezných parametrů, jako je přerušovaný řez, vyšší řezná rychlost, větší hloubka řezu a vyšší tlak chladicí kapaliny do místa řezu se minimalizuje namotávání plastových třísek kolem spodní plochy otočného stolu.



Obrázek 72 Testování funkčnosti výrobku

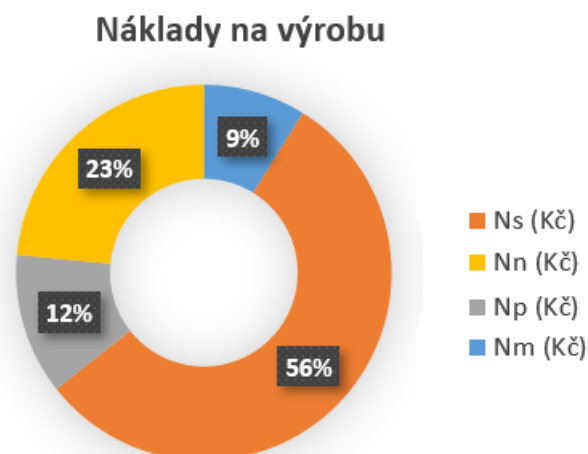
11.2 Výrobní náklady

Pro vyrobený díl byly vypočítány celkové výrobní náklady (tabulka 7) v celkové míře 49 337 (Kč) - N . Náklady na materiál činily 4 402 (Kč) - N_m . Náklady na personál byly 6 043 (Kč) - N_p . Náklady na speciální nářadí byly stanoveny na 11 265 (Kč) - N_n . Náklady na stroj činily 27 627 (Kč) - N_s . Výpočet byl proveden podle rovnice 5.

Tabulka 7 Výrobní náklady

N_m (Kč)	N_s (Kč)	N_p (Kč)	N_n (Kč)	N (Kč)
4 402	27 627	6 043	11 265	49 337

Rozměr polotovaru pro výrobu z PP-H byl o rozměrech 560 x 560 x 80 (mm). Cena pro tento rozměr 0,31 (m²) byl tedy stanoven na 4 402 (Kč). Celkový výrobní čas tohoto dílu činil 136 minut (čas hlavní t_h + čas vedlejší t_v). Dávkový čas (t_d) pro tento díl byl celkem 900 minut. Kvůli těmto vysokým výrobním časům jsou náklady na stroj nejvyšší částkou. Pro výrobu bylo také použito speciální nářadí (N_n), ve formě vakuového přípravku pro upnutí dílu ve finální pozici. Výrobní náklady pro tento přípravek činil 11 265 (Kč). Hodinová sazba pro tento stroj činila 1 600 (Kč/hod) a náklady na personál byly 350 (Kč/hod) v superhrubé mzdě. Pro lepší přehlednost je přidán koláčový graf s procentuálním zastoupením na náklady na výrobu (obrázek 73).



Obrázek 73 Náklady na výrobu

12 SHRNUÍ A DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem praktické části bylo navrhnout a vyrobit plastový rotační díl, který bude sloužit jako ochranný kryt kolem otočného stolu proti vniku plastových třísek, vznikajících při soustružení.

Nejprve proběhl návrh výrobku, pro výrobek byl zvolen materiál PP-H, byla navrhnutá geometrie dílu, která byla přizpůsobena otočnému stolu CNC obráběcího centra.

Po návrhu byl vytvořen CNC program v softwaru Mastercam 2024. Při programování bylo využito víceosé frézování, karuselové soustružení a další třískové obráběcí metody. Tyto metody obrábění byly popsány z prostředí CAM s popisem způsobu použitých parametrů, patří mezi ně strategie obrábění, rezné podmínky, volba nástroje a geometrie řezu.

Pro výrobu bylo také potřeba navrhnout vakuový upínací přípravek. Tento přípravek byl využit jako upínací zařízení pro obrobení poslední pozice ochranného krytu. Pro přípravek byl vytvořen taktéž obráběcí program s popisem způsobu obrábění.

Po vytvoření programů byl rotační díl vyroben na CNC obráběcím centru Alzmetall GS 800. Pro detailnější představu obráběcího centra byly popsány jeho technické parametry. Pro výrobu tohoto dílu bylo zapotřebí celkem 18 obráběcích nástrojů, složených z 16 rotačních nástrojů a 2 soustružnických nožů. Obrázek těchto nástrojů je přidán i s naměřenými daty z optického měřicího zařízení.

Pro výrobu tohoto rotačního dílu bylo zapotřebí celkem tři pozic, dále bylo potřeba vyrobit vakuový upínací přípravek. Tento proces výroby byl popsán s ukázkou způsobu upnutí a dalších jevů, které doprovází tento proces. Obrobení rotačního dílu a přípravku proběhlo bez problému, při obrábění nedošlo k žádným kolizím.

Po výrobě došlo k zhodnocení vyráběného dílu, které dopadlo velmi dobře. Proběhl test rotace, házivosti a funkčnosti ochranného krytu po montáži k otočnému stolu. Ochranný kryt splnil očekávání a ve větší míře zabránil vniku plastových třísek kolem stolu. Tento výrobek bude tedy dále používán na tomto stroji pro soustružení plastových dílu a spolu s dalšími reznými parametry bude zabraňovat k namotávání třísek kolem stolu obráběcího centra. Nakonec se vyhodnotily výrobní náklady tohoto dílu na základě ceny materiálu, hodinové sazby stroje, hodinové sazby personálu a speciálního zařízení, ve formě vakuového upínacího přípravku.

ZÁVĚR

Teoretická část této diplomové práce se věnovala tématu, mezi které patří obráběcí centra, soustružení, upínání obrobků, programování CNC strojů a technickoekonomické zhodnocení výroby. Tyto poznatky byly dále využity v praktické části této práce.

Cílem praktické části této diplomové práce bylo navrhnout a vyrobit rotační díl, který bude připevněn k otočnému stolu, okolo kterého se dostávaly plastové třísky při soustružení. Tento výrobek měl tomuto jevu zabránit. Při návrhu byla zvolena geometrie výrobku a materiál pro výrobu z PP-H. CNC program pro výrobu tohoto dílu byl vytvořen v softwaru Mastercam 2024. Byly popsány metody a způsob obrábění karuselového soustružení a víceosého frézování. Pro upnutí rotačního dílu byl také navrhnout vakuový upínací přípravek. Po vytvoření programu byl díl spolu s přípravkem vyroben na CNC obráběcím centru Alzmetall GS 800. Byl popsán průběh výroby a jevy, které doprovázely tento proces.

Po výrobě proběhlo vyhodnocení rotačního dílu, které dopadlo velmi dobře. Byl vyhodnocen test rotace, házivosti a funkčnosti. Ochranný kryt splnil očekávání a ve větší míře zabránil vniknutí plastových třísek okolo otočného stolu. Spolu s využitím dalších rezných parametrů se minimalizuje tento nežádoucí jev. Nakonec se vyhodnotily výrobní náklady tohoto dílu. Jelikož se jednalo o prototypovou výrobu, cena výroby jednoho dílu dosáhla až k necelým 50 000 Kč.

Účel tohoto výrobku splnil očekávání a ve větší míře vyřešil problém, který nastal při karuselovém soustružení na CNC obráběcím centru. Tento ochranný kryt bude tedy dále využíván na tomto stroji pro tuto technologii třískového obrábění.

Cíle diplomové práce byly splněny. Přínos této práce je především ve vyřešení problému, který nastal při soustružení plastových materiálů na tomto stroji. Dále v nastínění problematiky výroby plastových dílů na multifunkčním obráběcím centru, a také v konstrukčním návrhu vakuového upínacího systému pro karuselové soustružení a víceosé frézování.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [2] VRABEC, Martin Jan. *Metodika programování obráběcích strojů s číslicovým řízením*. 1. vydání. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2012. ISBN 978-80-7414-499-8.
- [3] JANDEČKA, Karel. *Postprocesory a programování NC strojů*. 1. vydání. [Ústí nad Labem]: Fakulta výrobních technologií a managementu, UJEP, 2007. ISBN 978-80-7044-870-0.
- [4] ŘASA, Jaroslav; GABRIEL, Vladimír a POKORNÝ, Přemysl. *Strojírenská technologie 3 - Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění*. 2. díl. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-718-3227-8.
- [5] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění*. online. 1. část. Vysoké učení technické v Brně: Fakulta strojního inženýrství - Ústav strojírenské technologie, 2003. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf. [cit. 2024-01-23].
- [6] ŠTULPA, Miloslav. *Technologie obrábění: CNC soustružení, frézování, vrtání : pro praxi*. online. Praha: Grada Publishing, 2022. ISBN 978-80-271-2883-9. Dostupné z: <https://vufind.katalog.k.utb.cz/Record/bkp11429>. [cit. 2023-10-05].
- [7] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. MM speciál. Praha: MM publishing, 2014. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [8] KIEF, Hans; ROSCHI WAL, Helmut a SCHWARZ, Karsten. *The CNC handbook*. online. South Norwalk, Connecticut: Industrial Press, 2022. ISBN 978-0-8311-9497-0. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz>. [cit. 2023-11-09].
- [9] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0*. MM speciál. Praha: MM publishing, 2018. ISBN 978-80-906310-8-3.
- [10] ZHUN, Wang. *Research on the Design of a Mill-turn Center*. online. Anhui Polytechnic University, China: MANUFACTURING TECHNOLOGY, 2018. ISSN 1213–2489. Dostupné z: <https://journalmt.com/pdfs/mft/2018/01/28.pdf>. [cit. 2024-02-11].
- [11] NEMETH, Michelle. *Milling, Turning, and Mill-Turn: What are the Differences?*. online. In: Mastercam. 2021. Dostupné z: <https://www.mastercam.com/news/blog/milling-turning-and-mill-turn-what-are-the-differences>. [cit. 2024-02-11].
- [12] ŘASA, Jaroslav a GABRIEL, Vladimír. *Strojírenská technologie 3 - 1.díl*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-718-3337-1.
- [13] SMID, Peter. *CNC Programming Handbook - A Comprehensive Guide to Practical CNC Programming*. online. 3rd Edition. Industrial Press, 2007. ISBN 978-0-8311-3347-4. Dostupné z: <https://vufind.katalog.k.utb.cz/Record/80383>. [cit. 2023-11-05].
- [14] ŘASA, Jaroslav; KAFKA, Jindřich a HANĚK, Václav. *Strojírenská technologie 4: Návrhy nástrojů, přípravků a měřidel : zásady montáže*. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-718-3284-7.
- [15] BÍLEK, Ondřej a LUKOVICS, Imrich. *Výrobní inženýrství a technologie*. 1. vydání. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2014. ISBN 978-80-7454-471-2.

- [16] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [17] SOVA, František. *Technologie obrábění a montáže*. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-708-2823-4.
- [18] SECO. *Co jsou to vibrace při obrábění a jak je potlačovat?*. online. In: . Dostupné z: <https://www.secotools.com/article/120669>. [cit. 2024-02-12].
- [19] SANDVIK COROMANT. *Odborné znalosti problematiky obrábění kovů*. online. In: . Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge>. [cit. 2024-02-09].
- [20] WALKER, John a DIXON, Bob. *Machining Fundamentals*. 10th edition. Tinley Park, IL: The Goodheart-Willcox Company, Inc., 2019. ISBN 978-1-63563-208-8.
- [21] HOFFMAN, Peter J. a HOPEWELL, Eric S. *Precision machining technology*. Third edition. Boston, MA 02210, USA: Cengage, 2020. ISBN 978-1-3377-9530-2.
- [22] EROWA. *EROWA MTS - The versatile zero point tooling system*. online. In: . 2024. Dostupné z: <https://www.erowa.com/en/solutions/sd/erowa-mts>. [cit. 2024-02-11].
- [23] KOŠTURIÁK, Ján. *Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie*. online. 1. vydání. Žilina: Žilinská univerzita, 2000. ISBN 8071005533. Dostupné z: <https://www.kosturiak.com/wp-content/uploads/2021/02/Projektovanie-vyrobnych-systemov-pre-21.-storocie.pdf>. [cit. 2024-01-26].
- [24] EVANS, Ken. *Programming of CNC Machines (4th Edition)*. online. 32 Haviland Street, Suite 3 South Norwalk, Connecticut 06854: Industrial Press, 2016. ISBN 978-0-8311-3524-9. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz>. [cit. 2024-02-11].
- [25] SOORI, Mohsen a ASMAEL, Mohammed. A Review of the Recent Development in Machining Parameter Optimization. online. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*. 2022, s. 205-223. ISSN 1995-6665. [cit. 2024-01-28].
- [26] DE VOS, Patrick. *Zohlednění fyziky obrábění a nástrojové technologie pro maximální výkonnost*. online. In: Seco. 2022. Dostupné z: <https://www.secotools.com/article/121592>. [cit. 2024-02-12].
- [27] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Energetická náročnost obráběcích strojů, část 2: Vliv výrobních strojů*. online. In: Průmysl 4.0 & Vzdělávání, Výroba a technologie, Restart průmyslu, Výzkum, vývoj a inovace. 2023. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/energeticka-narocnost-obrabecich-stroju-cast-2-vliv-vyrobnich-stroju>. [cit. 2024-02-12].
- [28] NARAYANAN, R. a GUNASEKERA, Jay. *Sustainable Manufacturing Processes*. online. Elsevier, 2023. ISBN 978-0-323-99990-8. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz>. [cit. 2024-02-10].
- [29] KUMAR, Kaushik a DAVIM, J. *Modern Manufacturing Processes (1st Edition)*. online. Elsevier, 2020. ISBN 978-0-12-819496-6. Dostupné z: <https://app-knovel-com.proxy.k.utb.cz>. [cit. 2024-02-10].
- [30] SCALLAN, Peter. *Process Planning - The Design/Manufacture Interface*. online. 1. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, 200 Wheeler Road, Burlington, MA 01803: Butterworth-Heinemann, 2003. ISBN 0 7506 5129 6. Dostupné z: <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/54967/1/83.pdf>. [cit. 2024-01-24].
- [31] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Opotřeбенí břitů nástrojů ze slinutých karbidů*. online. In: Výroba a technologie. 2005. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/opotrebeni-britu-nastroju-ze-slinutych-karbidu-2>. [cit. 2024-02-11].

- [32] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Rozhodující je použití efektivního chlazení.* online. In: *Výroba a technologie.* 2014. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/rozhodujici-je-pouziti-efektivniho-chlazení>. [cit. 2024-02-12].
- [33] ALZMETALL. *GS 800 Class Leader.* online. In: . Dostupné z: <https://alzmetall.de/en/machining-center/g800ne/>. [cit. 2024-04-06].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

R_a	střední aritmetická odchylka profilu (μm)
f, f_n	posuv za otáčku (mm)
R	rádus zaoblení špičky nástroje (mm)
α	úhel hřbetu ($^\circ$)
β	úhel břitu ($^\circ$)
γ	úhel čela ($^\circ$)
ε	úhel špičky ($^\circ$)
κ	úhel nastavení hlavního ostří ($^\circ$)
κ'	úhel nastavení vedlejšího ostří ($^\circ$)
F_c	řezná síla (N)
P_c	řezný výkon (kW)
D	průměr nástroje nebo obrobku (mm)
n	otáčky (min^{-1})
v_f	posuvová rychlost (mm/min)
f_z	posuv na zub (mm)
N	výrobní náklady (Kč)
N_m	náklady na materiál (Kč)
N_s	náklady na stroj (Kč)
N_p	náklady na personál (Kč)
N_n	náklady na speciální nářadí (Kč)
t_h	čas hlavní (s)
t_v	čas vedlejší (s)
t_d	čas dávkový (s)
a_p	hloubka řezu (mm)
T	Taylorův vztah (min)

L, ZL	délka nástroje (mm)
R, XL, X_R	poloměr nástroje (mm)
R_2	poloměr zabolení špičky nástroje (mm)
DL, DZL	délková korekce nástroje (mm)
DR, DXL	poloměrová korekce nástroje (mm)
CS	řezná rychlost (m/min)
π	Ludolfovo číslo
z	počet zubů
Q	počet výrobků ve výrobní dávce
C_T	konstanta
M	exponent
r_ε	nulový bod nástroje ve středu rádiusu
CNC	počítačem číslicově řízené stroje
OC	obráběcí centrum
CAM	počítačová podpora obrábění
CAD	počítačem podporované projektování
HSS	rychlořezná ocel
VBD	vyměnitelná břitová destička
G00	rychlposuv
G01	pracovní posuv
G02	kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G03	kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci
G	přípravná funkce
M	pomocná funkce
L	lineární pohyb

C	kruhový pohyb
SL	programovací cykl
CL	místo řezání
NC	číslicově řízené
X, Y, Z	lineární osy
A, B, C	rotační osy
U, V, W	sekundární doplňkové osy
3D	třírozměrná grafika
SK	slinutý karbid
PP-H	polypropylen – homopolymer
FR	fréza
VRT	vrták
T	číslo nástroje
ID	vnitřní průměr
OD	vnější průměr
CW	pravotočivé otáčky
5ax	obrábění v pěti osách
P	pozice nástroje v zásobníku
ORI	úhel orientace vřetene
T-ANGLE	úhel nástroje
P-ANGLE	úhel hrotu
TYPE	typ soustružnického nástroje

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 CNC obráběcí centrum Hermle [8]	13
Obrázek 2 Kartézský souřadnicový systém stroje [1]	14
Obrázek 3 Efekty multifunkčních obráběcích center [9].....	15
Obrázek 4 Obrábění klikové hřídele na soustružnicko-frézovacím stroji [11].....	16
Obrázek 5 Soustružení [6]	17
Obrázek 6 Svislý (vertikální) CNC soustruh [13]	18
Obrázek 7 Soustružnické nože na vnější soustružení [14]	19
Obrázek 8 Nástrojové úhly soustružnického nože s VBD [1].....	20
Obrázek 9 Svislý soustruh (karusel) [9]	22
Obrázek 10 Upnutí obrobku ve sklíčidle [20]	24
Obrázek 11 Podíl četnosti a pracnosti na upínání součásti [7]	24
Obrázek 12 Upínací systém Erowa [22]	26
Obrázek 13 Vliv TPV na výrobní náklady [23].....	28
Obrázek 14 Dráha nástroje s lineární a kruhovou interpolací [13].....	29
Obrázek 15 Nul. bod nástroje ve středu rádiusu špičky [3].....	30
Obrázek 16 CAM programování [20].....	32
Obrázek 17 Dvouosé obrábění [1]	33
Obrázek 18 Dvou a půl osé obrábění [1]	34
Obrázek 19 Tříosé obrábění [1]	34
Obrázek 20 Tři + dvouosé obrábění [1].....	35
Obrázek 21 Pětiosé obrábění [1].....	35
Obrázek 22 Podíl zařízení na spotřebě el. energie CNC obráběcího stroje [8]	37
Obrázek 23 Udržitelné obrábění [28]	38
Obrázek 24 Výrobní náklady [6]	41
Obrázek 25 Křivka opotřebení rezného nástroje [6].....	42
Obrázek 26 Namotané třísky kolem otočného stolu.....	46
Obrázek 27 Výrobek – rotační díl (vrchní pohled).....	47
Obrázek 28 Výrobek – rotační díl (spodní pohled)	47
Obrázek 29 Sestava otočného stolu s výrobkem	48
Obrázek 30 Polotovár výrobku	49
Obrázek 31 Strom operací pozice č.1	50
Obrázek 32 Prstencovitý polotovár.....	50
Obrázek 33 Obrobek po vyhrubování pozice č.2	52
Obrázek 34 Dohrubování vnitřního tvaru soustružením pozice č.2	52

Obrázek 35 Parametry pro přidavek na dokončení pozice č.2	53
Obrázek 36 Dokončení vnitřního tvaru pozice č.2	53
Obrázek 37 Soustružení rádiusu R0,5 pozice č.2	54
Obrázek 38 Simulace pozice č.2 po obrobení.....	54
Obrázek 39 Vakuový přípravek	56
Obrázek 40 Vakuový přípravek v řezu	57
Obrázek 41 Karuselové soustružení vakuového přípravku	58
Obrázek 42 Kulová fréza o průměru 3 (mm).....	58
Obrázek 43 Řezné podmínky kulové frézy.....	59
Obrázek 44 Geometrie obrábění drážek pro těsnící gumičku přípravku	59
Obrázek 45 Parametry křivky pro pětiosé frézování	60
Obrázek 46 Parametry nastavení osy nástroje pro pětiosé frézování	60
Obrázek 47 Nastavení špičky nástroje pro pětiosé obrábění	61
Obrázek 48 Řezné podmínky pro pětiosé obrábění	61
Obrázek 49 Nastavení neřezných parametrů pro pětiosé frézování	62
Obrázek 50 Řez sestavy přípravku s rotačním dílem	64
Obrázek 51 Soustružení vnějšího tvaru pozice č.3	65
Obrázek 52 Gravírování textu v pěti osách	66
Obrázek 53 Obrobení ostrých rohů.....	66
Obrázek 54 Geometrie obrobení ostrých rohů.....	67
Obrázek 55 CNC obráběcí centrum Alzmetall GS 800 [33]	69
Obrázek 56 Nástroje pro obrábění s označením pozice v zásobníku	71
Obrázek 57 Tabulka rotačních nástrojů	71
Obrázek 58 Parametry nástroje (T7) v tabulce nástrojů CNC stroje	72
Obrázek 59 Měření nástroje (T7) na optickém zařízení	72
Obrázek 60 Pracovní prostor obráběcího centra	73
Obrázek 61 Obrobení vnitřního průměru pozice č.1	74
Obrázek 62 Obrobení vnějšího průměru pozice č.1	74
Obrázek 63 Vyhrubování pozice č.2.....	75
Obrázek 64 Pozice č.2 po obrobení	75
Obrázek 65 Dokončovací soustružnický nůž (T51)	76
Obrázek 66 První strana vakuového přípravku.....	77
Obrázek 67 Druhá strana vakuového přípravku	77
Obrázek 68 Obrobení ostrých rohů.....	78
Obrázek 69 Hotový díl po obrobení pozice č.3	78

Obrázek 70 Výrobek po montáži k otočnému stolu	79
Obrázek 71 Test házivosti rotačního dílu	80
Obrázek 72 Testování funkčnosti výrobku	80
Obrázek 73 Náklady na výrobu	81

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Vliv zaoblení špičky VBD a posuvu na kvalitu obrobených ploch [6] – str.18 . 19	
Tabulka 2 Výrobní postup pozice č.1	51
Tabulka 3 Výrobní postup pozice č.2	55
Tabulka 4 Výrobní postup vakuového přípravku	62
Tabulka 5 Výrobní postup pozice č.3	67
Tabulka 6 Technické parametry CNC obráběcího centra Alzmetall GS 800.....	70
Tabulka 7 Výrobní náklady	81

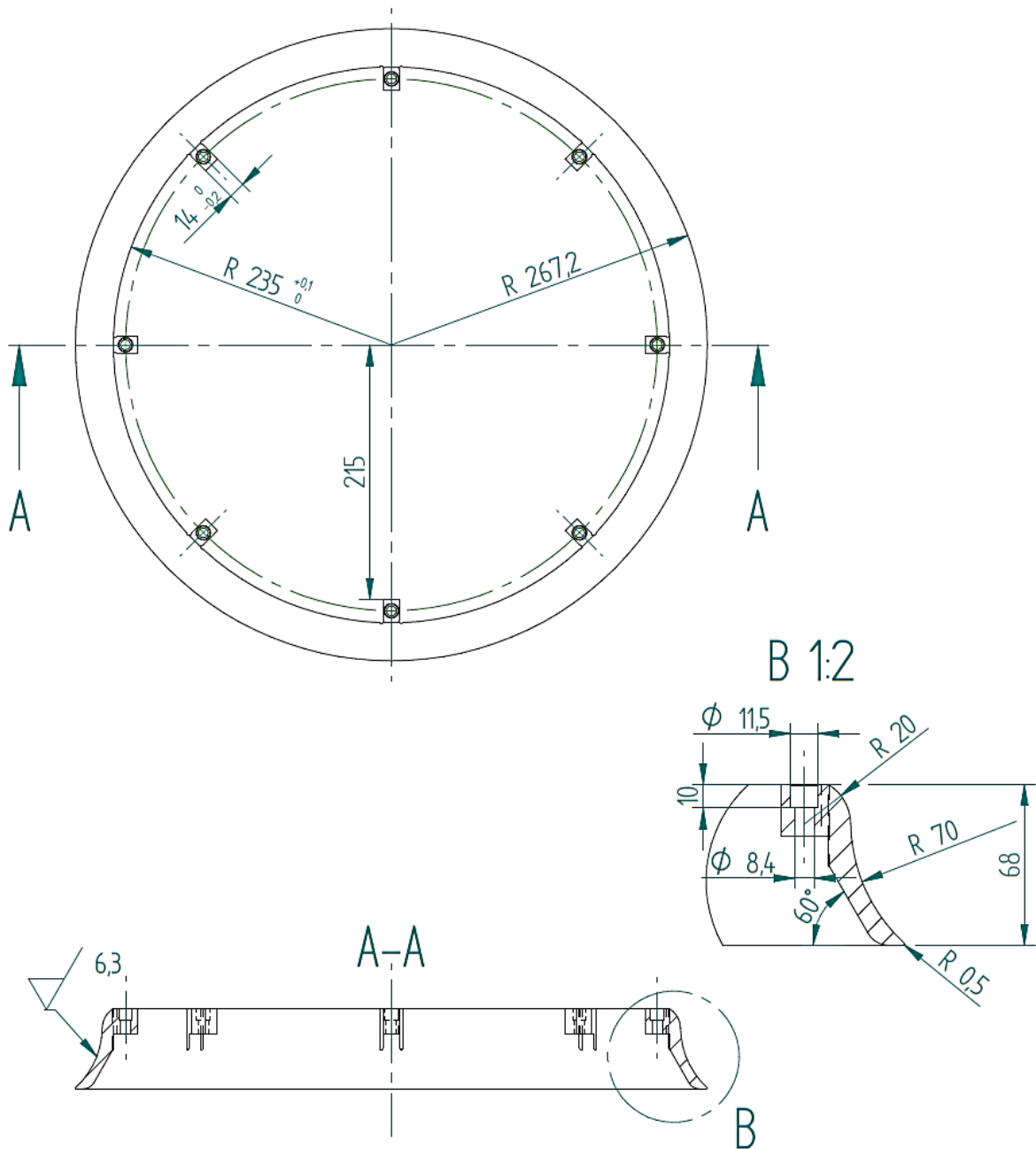
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výkres rotačního dílu

Příloha P II: Výkres vakuového přípravku

Příloha P III: Materiálový list PP-H

PŘÍLOHA P I: VÝKRES ROTAČNÍHO DÍLU

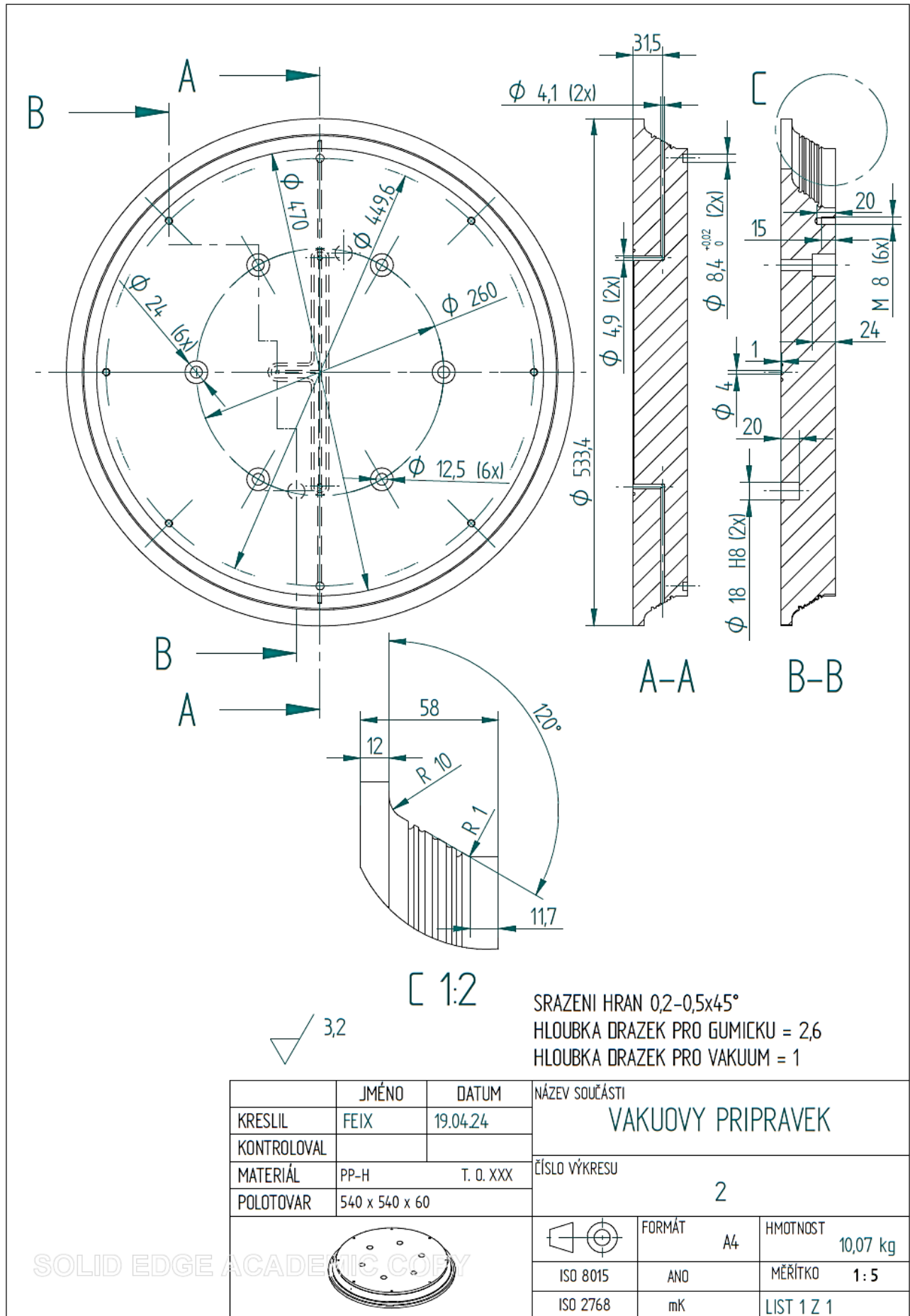


3.2 (6.3)

SRAZENÍ HRAN 0,2-0,5x45°

	JMÉNO	DATUM	NÁZEV SOUČÁSTI			
KRESLIL	FEIX	19.04.24	OCHRANNÝ KRYT			
KONTRÓLOVAL			ČÍSLO VÝKRESU			
MATERIÁL	PP-H	T. O. XXX	1			
POLOTOVAR	560 x 560 x 80		FORMÁT	A4		
			HMOTNOST	0,92 kg		
			ISO 8015	ANO	MĚŘÍTKO	1:5
			ISO 2768	mK	LIST	1 Z 1

PŘÍLOHA P II: VÝKRES VAKUOVÉHO PŘÍPRAVKU



PŘÍLOHA P III: MATERIÁLOVÝ LIST PP-H

Materiálový list PP-H			
Vlastnosti	Norma	Jednotka	Hodnota
Hustota	DIN EN ISO 1183-1	g/cm ³	0,92
Nasákavost	DIN EN ISO 62	%	<0,1
Mechanické vlastnosti			
Pevnost v tahu	DIN EN ISO 527	MPa	32
Tažnost	DIN EN ISO 527	%	>50
Modul pružnosti v tahu	DIN EN ISO 527	MPa	1500
Vrubová houževnatost	DIN EN ISO 179	kJ/m ²	5
Tvrdost Shore	DIN EN ISO 868		72
Tepelné vlastnosti			
Teplota tání	ISO 11357-3	°C	162–167
Tepelná vodivost	DIN 52612-1	W/m.k	0,2
Koeficient lineární tepelné roztažnosti mezi 20–100 °C	DIN 53752	10 ⁻⁶ /K	120–190
Elektrické vlastnosti			
Dielektrická konstanta	IEC 60250		2,4
Specifický vnitřní odpor	IEC 60093	Ω.cm	>10 ¹⁴
Povrchový odpor	IEC 60093	Ω	>10 ¹⁴
Dielektrická pevnost	IEC 60243	kV/mm	45