



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A METROLOGIE

CNC VÝROBA KALENÝCH SOUČÁSTÍ

CNC MACHINING OF HARDENED PARTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR: Radek Vorbach

VEDOUcí PRÁCE: Ing. Zdeněk Pitrmuc, Ph.D.

STUDIJNÍ PROGRAM: B 2343 Výroba a ekonomika ve strojírenství

STUDIJNÍ OBOR: 2303R014 Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Praha 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vorbach** Jméno: **Radek** Osobní číslo: **502629**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

CNC výroba kalených součástí

Název bakalářské práce anglicky:

CNC machining of hardened parts

Pokyny pro vypracování:

1. Programování CNC soustruhů.
2. Možnosti upínání s ohledem na opakovatelnost a házení obrobků.
3. Volba nástrojů pro obrábění kalených součástí.
4. CAM programování zadaného dílu.

Seznam doporučené literatury:

OVERBY, Alan. CNC machining handbook: building, programming, and implementation. New York: McGraw-Hill, c2011. ISBN 978-0-07-162301-8.
DAVIM, J. P., ed. Modern machining technology: a practical guide. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. Woodhead Publishing in mechanical engineering. ISBN 978-0-85709-099-7.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Pitrmuc, Ph.D. ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **03.04.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Zdeněk Pitrmuc, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Pitrmuce, Ph.D., a to pouze pomocí podkladů uvedených v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne:

.....

Podpis autora

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Zdeňku Pitrmucovi, Ph.D., za jeho věnovaný čas, cenné rady a vstřícnost v průběhu tvorby bakalářské práce.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou výroby kalených součástí. Zaměřuje se na využití tvrdého soustružení. Pojednává o principu této technologie, o jejích výhodách, řezných materiálech a strojích. V dalších kapitolách se zabývá způsoby upínání na soustruzích a programováním CNC soustruhů.

V praktické části je realizována výroba kalené součásti pomocí tvrdého soustružení. Vytváří se a optimalizuje výrobní postup, volí se vhodné nástroje a řezné podmínky. V CAM softwaru je naprogramován program pro obrábění. Výsledkem je výroba součásti a měření dosažených drsností.

Název diplomové práce:	CNC VÝROBA KALENÝCH SOUČÁSTÍ
Autor práce:	Radek Vorbach
Vedoucí práce:	Ing. Zdeněk Pitrmuc, Ph.D.
Akademický rok:	2022/2023
Vysoká škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	12134 – Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie
Vedoucí ústavu:	Ing. Libor Beránek, Ph.D.
Rozsah práce:	64 stránek, 8 tabulek, 61 obrázků
Klíčová slova:	tvrdé soustružení, cnc soustružení, cnc programování, kalené součásti

Annotation

This bachelor thesis deals with the production of hardened components. It focuses on the use of hard turning. It discusses the principle of this technology, its advantages, cutting materials, machines. In the following chapters it deals with the methods of clamping on lathes and programming of CNC lathes.

In the practical part, the production of hardened parts by hard turning is realized. The production process is developed and optimized, suitable tools and cutting conditions are selected. The CNC program is programmed in the CAM software. The result is the production of the component and the measurement of the roughness achieved.

Title of the final thesis:	CNC MACHINING OF HARDENED PARTS
Author:	Radek Vorbach
Supervisor:	Ing. Zdeněk Pitrmuc, Ph.D.
Academic year:	2022/2023
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	12134 – Department of Machining, Process Planning and Metrology
Head of department:	Ing. Libor Beránek, Ph.D.
Extent:	64 pages, 8 tables, 61 pictures
Keywords:	hard turning, cnc machining, cnc programming, hardened parts

Obsah

1	Úvod	10
2	Tvrdé soustružení.....	11
2.1	Výhody oproti broušení	11
2.2	Řezné materiály pro tvrdé soustružení.....	12
2.2.1	Řezná keramika (ŘK)	12
2.2.2	Kubický nitrid boru (CBN)	13
2.2.3	Polykrystalický diamant (PCD).....	14
2.3	Řezné podmínky.....	15
2.4	Požadavky na stroje	15
3	Upínání obrobků na soustruzích	16
3.1	Univerzální sklíčidlo	17
3.2	Upínání mezi hroty.....	18
3.3	Kleštinové upínače	20
3.4	Soustružnické trny	21
4	CNC programování soustruhů	22
4.1	Souřadný systém CNC soustruhů.....	23
4.1.1	Základní body CNC soustruhu.....	24
4.2	CNC program.....	25
4.3	Možnosti programování CNC strojů	26
4.3.1	Ruční programování	26
4.3.2	Dílenské programování.....	27
4.3.3	Strojní programování.....	28

5	PRAKTICKÁ ČÁST.....	29
5.1	Zadané součásti	29
6	Výrobní postup.....	30
7	Způsob upnutí	36
8	Přípravek	37
8.1	Návrh.....	38
8.1.1	Návrh 1	38
8.1.2	Návrh 2	39
8.2	Finální přípravek	41
9	CAM programování	42
9.1	Programování přípravek	42
9.1.1	Operace 1	43
9.1.2	Operace 2	44
9.1.3	Rovnací operace	46
9.2	Programování kladka	46
9.2.1	Operace 10 a 20.....	46
9.2.2	Operace 40 a 50.....	49
10	Výroba	50
10.1	Přípravek	50
10.2	Soustružení měkký stav.....	52
10.3	Soustružení tvrdý stav	55
11	ZÁVĚR	56
12	Bibliografie	59
13	Seznam tabulek.....	62
14	Seznam obrázků	63

Seznam zkratk a použité symboliky

CAM	Computer aided manufacturing
CAD	Computer aided design
CNC	Computer numerical control
ŘS	Řídící systém
VBD	Vyměnitelná břitová destička
NC	Numerical Control
HRC	tvrdost dle Rockwella
Vc	řezná rychlost
f	posuv
a_p	hloubka řezu
TiC	karbid titanu
TiN	nitrid titanu

1 Úvod

Bakalářská práce se zabývá výrobou kalených součástí hlavně s využitím tvrdého soustružení. To je bráno jako alternativa k dokončovací operaci broušení. Dříve bylo broušení jedinou možností pro obrábění kalených materiálů. Ovšem s vývojem nových řezných materiálů jako řezná keramika a kubický nitrid boru je dnes často nahrazováno technologií tvrdého obrábění. Tvrdé soustružení je definováno jako obrábění rotačních součástí s tvrdostí větší než 45 HRC. Soustružení nám umožňuje flexibilní výrobu, kdy obrábíme více obrobků různých rozměrů. Oproti brusům jsou investiční náklady na soustruhy a vybavení mnohem nižší. Díky rychlému upínání a vysokému úběru materiálu dosahuje tvrdé soustružení vysoké produktivity. Dochází tak ke snížení výrobních časů a tím pádem i nákladů. Chceme-li tvrdým soustružením dosáhnout výsledků obdobným broušení, je potřeba strojů přímo určených pro tuto technologii. Avšak uspokojivých výsledků se dá dosáhnout i na běžných CNC strojích při volbě vhodných nástrojů a řezných podmínek.

Teoretická část práce rozebírá technologie tvrdého soustružení, její princip, výhody, požadavky a nástroje. V nástrojích jsou popsány nástrojové materiály pro tvrdé obrábění. Dále jsou vypsány možnosti upínání obrobků na CNC soustruzích. Zde jsou rozebrány různé způsoby upnutí (soustružnické trny, sklíčidlo, mezi hroty). Poslední kapitola se zabývá CNC soustruhy a jejich programováním. Popis jednotlivých možností programování CNC soustruhů. Stavba CNC soustruhů, jejich souřadný systém a výchozí body v pracovním prostoru.

Praktická část práce je výroba kaleného dílu. Kdy je cílem navrhnout výrobní postup s využitím tvrdého soustružení a ten následně realizovat. Velkou roli zde hraje způsob upnutí dané součásti, což může výrobu lehce komplikovat. Po výrobním postupu následuje programování v CAM softwaru, kde je vytvořen NC program pro stroj. Výsledkem je realizace výroby ve školním dílnách a měření dosažených drsností.

2 Tvrdé soustružení

Technologie tvrdého soustružení je popisována jako obrábění rotačních, tepelně zpracovaných (např. kalením) součástí s tvrdostí větší než 45 HRC, obvykle v rozmezí 55 až 68 HRC. Kalená ocel je materiál s martenzitickou strukturou dosažené díky procesu kalení, která má vysokou tvrdost (nad 55 HRC), pevnost a malou plasticitu. Před tepelným zpracováním se obrobek vyhrubuje a po tepelném zpracování proběhne dokončování. Obrábění probíhá na soustruzích, nebo obráběcích centrech. Technologií můžeme zhotovovat drážky, vnitřní a vnější kontury atd. na jedno upnutí do čelistí. [1] [2]

Rozvoj odstartoval začátkem devadesátých let, kvůli dostupnosti nových nástrojových materiálů a zlepšujícím se vlastnostem soustruhů, kterou je hlavně tuhost stroje. Broušení bylo do té doby preferovanou metodou pro výrobu přesných dílů. Tvrdým soustružením můžeme dosáhnout vysoce přesných součástí s vysokou kvalitou povrchu. Proto se o tvrdém soustružení často uvažuje jako o dokončovací operaci, tudíž alternativa broušení. Ovšem ne všechny brousící operace mohou být nahrazeny tvrdým soustružením. [1] [3]

2.1 Výhody oproti broušení

Přestože je tvrdé soustružení považováno za dokončovací operaci, ne vždy je preferovanou volbou dokončování. Někdy bývá broušení vyžádáno přímo zákazníkem, časté je to například v letectví, medicíně nebo v automobilovém průmyslu. Broušením dosáhneme stále mnohem větší přesnosti než při tvrdém soustružení. Broušení vyžaduje zkušenosti a odborné znalosti na rozdíl od tvrdého soustružení, kde vycházíme ze společných základů s měkkým soustružením. Tvrdé soustružení skrývá celou řadu výhod oproti broušení. [1] [3] [4]

- Vysoká flexibilita – soustruhy umožňují obrábění více výrobků o různých rozměrech
- Vysoká produktivita – vyšší úběr materiálu => až 6krát rychlejší než broušení
- Ekonomičnost – nižší náklady na stroje, na chladicí kapalinu (při tvrdém soustružení není příliš nutná)
- Ekologičnost – třísky z tvrdého obrábění mohou být recyklovány
- Jednoduchost – programování, změny v programu, výměna nástrojů, jeden nástroj pro více tvarů

Tvrdé soustružení má nejvíce výhodné když:

- součást má složitější prvky, nebo kombinaci vnějších a vnitřních průměrů
- je vyžadováno časté seřizování stroje
- je možnost suchého obrábění

Broušení je výhodné pro:

- součást, které má tenké stěny
- přerušované plochy
- tvar součásti, který nemůže být soustružen

[5]

2.2 Řezné materiály pro tvrdé soustružení

Nástroje pro tvrdé obrábění musí splňovat vysokou tvrdost a pevnost. Odolnost proti vysokým teplotám a otěruvzdornost, jelikož přichází do kontaktu se žhavými třískami. Vysokou odolnost řezné hrany proti vydrolování a lomu a dobrou vrubovou houževnatost. Z celé řady nástrojových materiálů, tyto vlastnosti splňují pouze:

- Řezná keramika (ŘK)
- Kubický nitrid boru (CBN/PCBN)
- Polykrystalický diamant (PCD) [6]

2.2.1 Řezná keramika (ŘK)

Předností řezné keramiky je její vysoká tvrdost, které se pohybuje v rozmezí 91-95 HRA a odolnost proti vysokým teplotám (až 1800 °C). Dále vysoká otěru vzdornost, chemická stabilita a pevnost v ohybu (750-1000 MPa). Řezná keramika zaručuje dlouhou trvanlivost břitu, a proto může být využita při vysokých řezných rychlostech a je možné odebírat velký objem materiálu. K nevýhodám ŘK patří křehkost a malá lomová houževnatost. Zvládne obrábět kalenou ocel i litiny s tvrdostí až 62 HRC. Pro efektivní obrábění je důležitá znalost, kdy a jakou třídu keramiky použít.

Řeznou keramiku můžeme rozdělit:

- Na bázi oxidu hlinitého (Al_2O_3)
- Na bázi nitridu křemíku (Si_3N_4) [2] [6] [7]

Čistá keramika

Čistá nebo taky oxidová keramika se skládá z oxidu hlinitého, doplněného oxidem zirkoničitým (Zr_2O_3). Ten zamezuje tvorbě trhlin a jejich šíření a zvyšuje pevnost, houževnatost a odolnost vůči teplotním šokům. [6]

Směsná keramika

Stejně jako čistá keramika je směsná keramika na bázi Al_2O_3 . Do které se přávají kovové fáze TiC a TiN v zastoupení 20-40 %. To vede ke zvýšení houževnatosti a zlepšení tepelné vodivosti. [6]

Vyztužená keramika whiskery

Keramika na bázi oxidu hlinitého, která je vyztužená pomocí whiskerů SiC. Whiskery zvyšují houževnatost, pevnost v tahu a odolnost proti opotřebení. Ideální pro obrábění niklových slitin. [6]

Nitridová keramika

Keramika na bázi Si_3N_4 , kterou tvoří krystaly podlouhlého tvaru s vysokou houževnatostí a lepší odolností proti tepelnému šoku. Tyto třídy jsou vhodné pro obrábění šedé litiny. Pro slabou chemickou stabilitu, jsou však omezeny pro využití na jiné materiály. [6]

Sialon (SiAlON)

Nejodolnější materiál, co se ŘK týče. Jsou to třídy, které kombinují pevnost sítě z nitridu křemíku a vysokou chemickou stabilitu. Tyto třídy jsou vhodné pro obrábění žárovzdorných slitin (HRSA). [6]



Obr. 1 Destička z ŘK [6]

2.2.2 Kubický nitrid boru (CBN)

Polykrystalický kubický nitrid boru (CBN) je hned po diamantu nejtvrdší materiál. Který disponuje vysokou tvrdostí za tepla a vysokou odolností vůči opotřebení. V porovnání s ŘK má nižší chemickou stabilitu, ale lepší houževnatost a odolnost proti tepelným rázům. CBN dnes

dělíme do dvou skupin. V první skupině jsou CBN nástrojové třídy keramické kompozitní materiály s obsahem CBN 40-65 %. Keramické pojivo zvyšuje odolnost CBN. Druhou skupinou jsou nástrojové třídy s obsahem CBN dosahujícím 85 %, někdy téměř 100 %. Obsahují kovové pojivo zvyšující houževnatost. Vyměnitelné břitové destičky tvoří hrot z CBN, který je připájen na tělo ze slinutého karbidu. [2] [6]

Destičky s CBN se používají pro dokončovací soustružení. Pro materiály s tvrdostí přesahující 55HRC je CBN jedna z možností, kterou můžeme nahradit tradiční metodu broušení. Z hlediska vysoké ceny se nevyplatí používat CBN na měkčí materiály. CBN je běžně využíván pro obrábění kalených ocelí, šedé litiny a vysokoteplotních slitin. [2]



Obr. 2 Destička z CBN [6]

2.2.3 Polykrystalický diamant (PCD)

Diamant je nejtvrdší ze všech materiálů a zároveň tedy nejodolnější proti otěru. Polykrystalický diamant (PCD) je kompozitní materiál, který se skládá z diamantových částic slinutých pomocí kovového pojiva. Jako řezný materiál má velmi dobrou odolnost proti otěru, ale má vysokou afinitu k železu a za zvýšené teploty postrádá chemickou stabilitu. Vyměnitelné břitové destičky jsou tvořeny stejně jako u CBN. Na tělo ze slinutého karbidu je připájen hrot z PCD. [6]

Nástroje z PCD jsou použitím omezeny pouze na neželezné materiály (např. slitiny hliníku s vysokým obsahem křemíku, kompozity s kovovou maticí a plasty s vyztužené uhlíkovými vlákny. Při dostatečném chlazení lze PCD využít pro velmi jemné dokončovací operace při obrábění titanu. [2]



Obr. 3 Destička z PCD [6]

2.3 Řezné podmínky

Tvrdé soustružení díky nástrojům z řezné keramiky nebo kubického nitridu boru dosahuje mnohem vyšších řezných parametrů než klasické soustružení.

Tabulka 1 Řezné parametry pro CBN destičky [8]

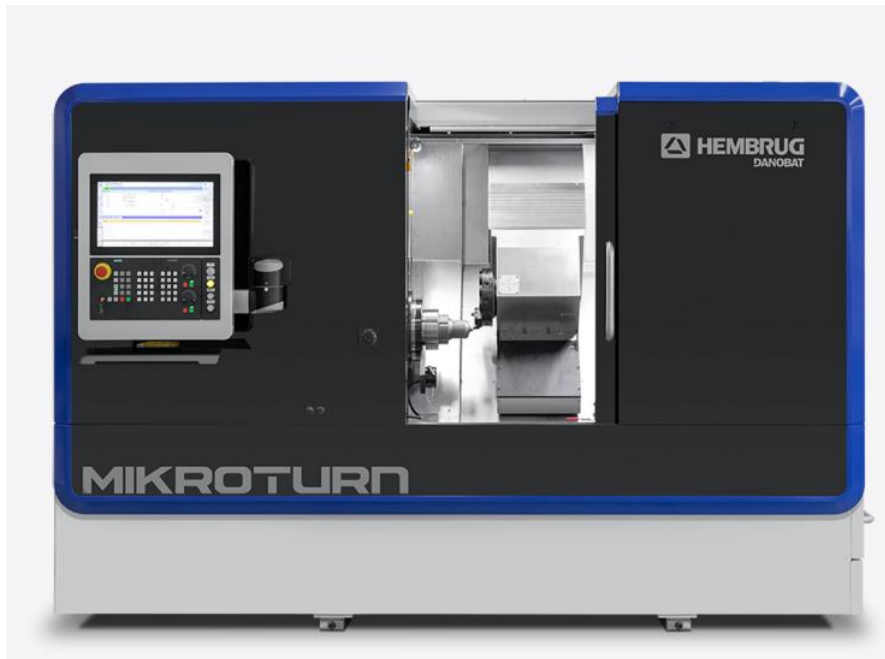
Materiál	Pevnost	Vc [mm/min]	f [mm/ot.]	a _p [mm]
Kalená ocel	46-50 HRC	160-400	0,03-0,25	0,03-0,5
	56-60 HRC			
	61-65 HRC			
	66-70 HRC			

2.4 Požadavky na stroje

Vzhledem k požadavkům, které vyžaduje tvrdé obrábění (vysoká přesnost a kvalita povrchu), nejsou všechny soustruhy vhodné k použití této metody obrábění. Při použití konvenčních soustruhů pro tvrdé soustružení lze dosáhnout přesnosti IT 8-11. K dosažení větší přesnosti vyráběných dílů je třeba mít stroj s vysokou tuhostí. Soustruhy pro tvrdé soustružení musí disponovat vysokou tuhostí, tepelnou stabilitou a přesností posuvů.

Aby bylo dosaženo přesného obrábění je potřeba zajistit odvádění tepla a zabránit jeho hromadění v místě řezu a ve stroji. Dodržení maximální tuhosti je důležité pro potlačení vibrací stroje. Vysoké tuhosti stroje můžeme dosáhnout použitím tuhého odlitku pro základnu stroje. Dále použitím vřetenových ložisek a kluzného vedení, které zajišťují vysokou přesnost, tuhost, tepelnou stabilitu a tlumící vlastnosti. Tuhé upnutí nástroje je také důležité ke snížení vibrací. [1] [9]

Výrobou strojů pro tvrdé soustružení se zabývá například nizozemská firma Hembrug (Danobat). Své soustružnické stroje prodává pod názvem Mikroturn, které jsou schopné obrábět součásti zakalené až na 70 HRC. Stroje jsou vysoce přesné (na svých stránkách uvádějí ultra přesné). Lze dosáhnout rozměrové přesnosti menší než 2 μm , přesnosti povrchu 0,1 až 0,4 μm a kruhovitosti menší než 0,5 μm . Další firmy jsou například Hardinge, Schaublin a Hwacheon. [10]



Obr. 4 Soustruh Mikroturn od firmy Hembrug [10]

3 Upínání obrobků na soustruzích

Pro dosažení vysoké přesnosti a kvality je třeba zajistit tuhé upnutí všech částí zúčastněných řezného procesu. Při upínání obrobků se musí brát v potaz jeho tvar, délka, hmotnost a typ soustruhu. [11]

Správné upnutí by mělo zajistit:

- správnou polohu obrobku vůči nástroji
- dostatečnou tuhost a pevnost
- jednoduchost upnutí
- rychlost upínání
- přenos kroutícího momentu
- bezpečnost upnutí
- soustřednost [11]

Pro upínání na CNC soustruzích se používají hlavně hydraulická sklíčidla, upínání mezi hroty s čelním unašečem, kleštiny nebo speciální přípravky. Je kladen vysoký požadavek na upínací sílu. Ta je automaticky regulována a kontrolována snímačem.

3.1 Univerzální sklíčidlo

Sklíčidlo je nejčastěji používané upínací zařízení na soustruhu. Zajišťuje rychlé, vystředěné a bezpečné upnutí součástí (obrobků) různých tvarů. Sklíčidlo má 3 nebo 4 čelisti. Většinou se využívají právě se třemi čelistmi. Čtyřčelistová sklíčidla nejsou tolik univerzální (válcové nebo čtyřhranné obrobky). Tyto čelisti mohou být ovládány ručně nebo u automatizovaných strojů hydraulicky, mechanicky nebo elektricky. Čelisti jsou většinou kalené (Obr. 6), s odstupňovaným osazením a vyměnitelné. Pro dosažení vysoké souososti se používají měkké čelisti, které jsou nekalené. Tyto čelisti se vysoustruží na požadovaný upínací průměr a nedochází k poškození povrchu obrobku. Ve sklíčidle je možné upínat obrobky za díru nebo vnější povrch. Čelisti by neměly přesahovat ze sklíčidla. To by mohlo vést k nízké upínací síle a zvýšení rizika úrazu. Upínací síla musí být dostatečná pro přenos kroutícího momentu. Příliš velká upínací síla s kalenými čelistmi způsobuje deformaci obrobku. Do sklíčidla se upínají kratší i delší součásti. Delší součásti se můžou podepřít z druhé strany koníkem. [11] [12] [13]



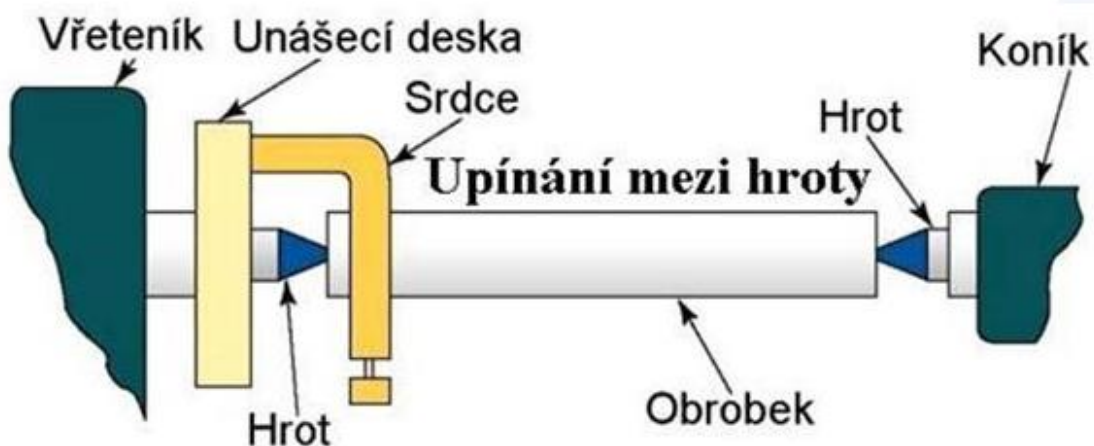
Obr. 5 Univerzální sklíčidlo [14]



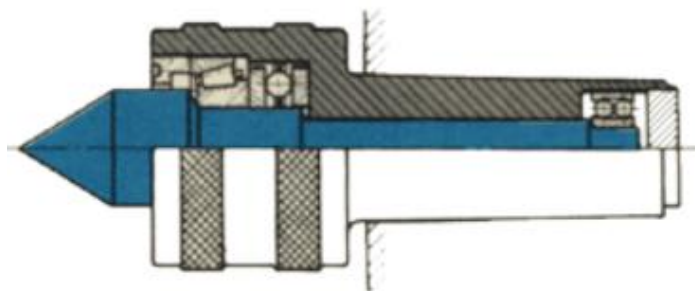
Obr. 6 Tvrdé čelisti (vlevo) a měkké čelisti (vpravo) [14] [15]

3.2 Upínání mezi hroty

Pro součásti hřídelového typu, nebo součásti s co nejmenším obvodovým házením se využívá upínání mezi středící hroty. Zaručuje velmi rychlé obrábění a souosé plochy. Obrobek se upne mezi dva hroty (jeden ve vřetenu a druhý v koníku) a pohyb vřetene je přenášen unášecí deskou a srdcem. Hroty mohou být pevné nebo otočné. U pevných hrotů se volí malé otáčky. Jelikož při obrábění vzniká velké tření a obrobek se zahřívá, je potřeba dbát na dostatečné mazání. Pro vysoké otáčky se používají otočné středící hroty (Obr. 8). Otočné hroty se mohou také zadřít, ale mají menší spotřebu energie než pevné hroty. Protože se v otočných hrotech nacházejí ložiska, může dojít ke vzniku vůle v ložiskách. Vůle pak způsobuje nepřesnost obrábění. Úhel hrotu je 60° , výjimečně může být i 90° . Hlavní nevýhodou je, že nelze soustružit obrobek v celé délce na jedno upnutí kvůli unášecímu srdci. Vhodná je tak tato varianta pro osazené součásti nebo se daná část s unášečem vůbec neobrábí. [11] [12] [13]

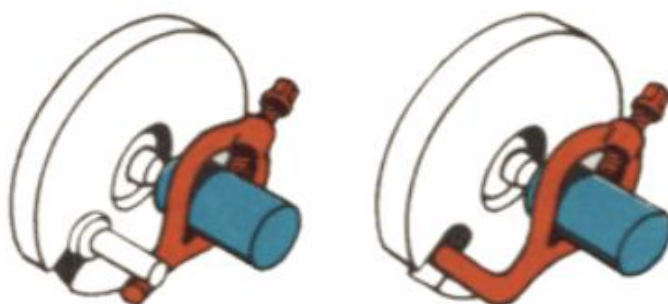


Obr. 7 Schéma upínání mezi hroty [16]



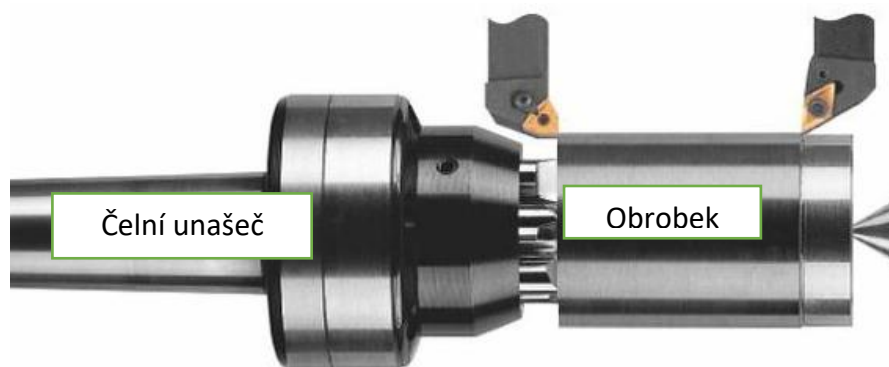
Obr. 8 Otočný upínací hrot [17]

Unašeč zajišťuje přenos točivého momentu na obrobek. Nejznámější je unášecí srdce (Obr. 9), které je z tělesa a šroubu. Nasadí se na obrobek a dotáhne pomocí šroubu. Na vřeteník se nasadí unášecí deska. Jednou variantou je vystouplý unášecí kolík na desce, který se opírá o srdce. Kolík je možná nastavovat v drážce podle velikosti srdce. Druhou variantou je zahnuté rameno na unášecím srdci, které zapadá do drážky v unášecí desce. [17]



Obr. 9 Možnosti provedení unášecího srdce [17]

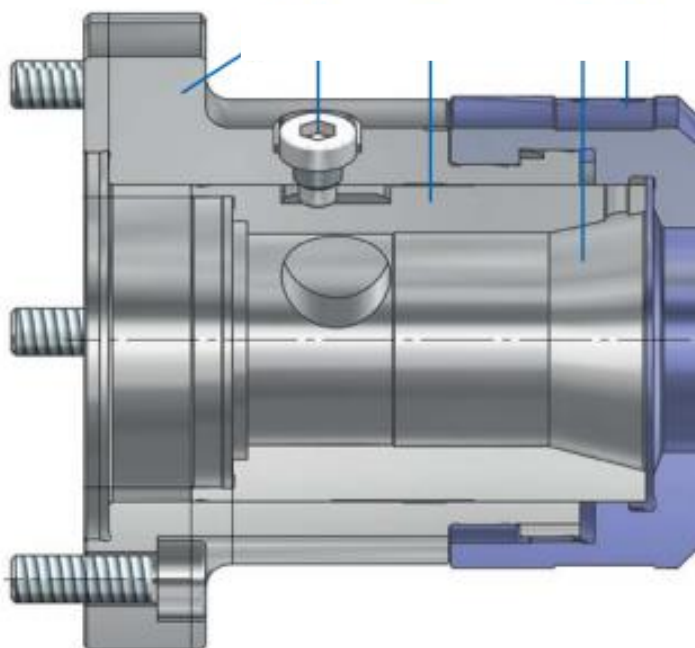
Používá se i čelní unašeč. Hlavně u CNC soustruhů. Ten umožňuje obrábění obrobku v celé jeho délce na jedno upnutí. Skládá se z těla, hrotu a kalených zubů. Zuby se „zakousnou“ do čela součásti a přenáší tak točivý moment. Kalené zuby však způsobují poškození na čele. [18]



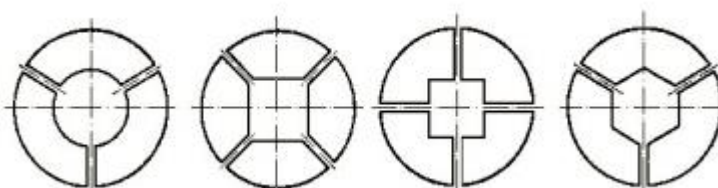
Obr. 10 Upnutí pomocí čelního unašeče [19]

3.3 Kleštinové upínače

Kleštiny, kleštinová sklíčidla se používají hlavně pro tyčové obrobky malých průměru. Upínají obrobek za vnější povrch. Používají se v sériové a hromadné výrobě. Snadné a rychle upnutí, jelikož se otvor kleštiny přizpůsobí tvaru obrobku. Kleštiny jsou ocelová pouzdra rozříznutá třemi drážkami s vnější kuželovou částí. Princip je založen na mechanickém nebo ručním vtahování kleštiny do kuželové dutiny upínače. Kleštiny mají nejen kruhový tvar otvoru, ale i čtvercový nebo šestihranný (Obr. 12). Obrobek je nasazený do upínače a až po axiální doraz je upnut sevřením jeho vnějšího průměru vnitřním průměrem kleštiny. Aby nedošlo k uvolnění obrobku přerušením upínací síly, musí kinematický řetězec obsahovat samosvorný člen. S rostoucími otáčkami u kleštin málo klesá upínací síla, a protože kontakt s upínaným dílcem se děje ve větší ploše, lze je s výhodou použít pro upínání tenkostěnných obrobků. Mezi další výhody patří malá házivost, vysoká přesnost obrobené plochy a nepoškozují obrobený povrch. Nevýhodou je malý rozsah upínacích rozměrů a axiální posuv obrobku během upínání. [13] [18]



Obr. 11 Kleština od firmy Rohm [20]

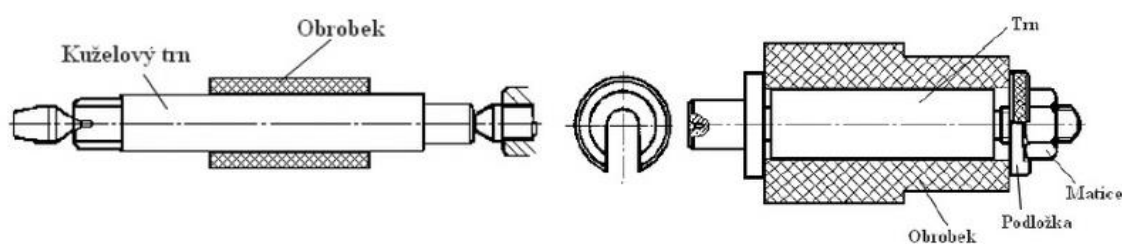


Obr. 12 Tvary otvorů kleštiny [13]

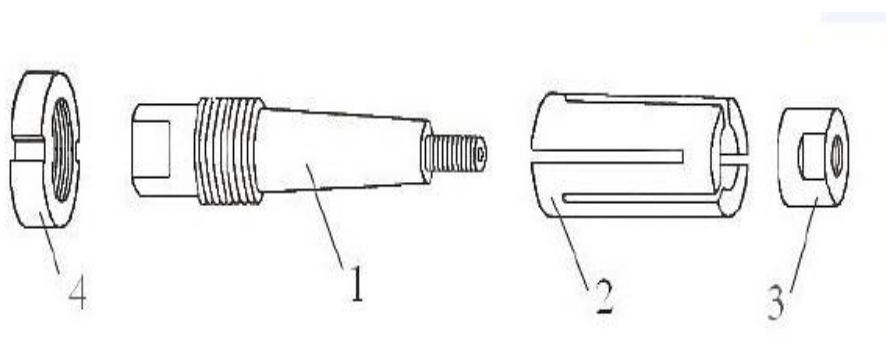
3.4 Soustružnické trny

Trny se používají má-li být díra souosá vůči povrchu nebo jiným obráběným částem. Používají se pro obrábění pouzder, ozubených kol, řemenic. Existují trny pevné a rozpínací. Pevný trn je mírně kuželový a má téměř shodný průměr díry. Obrobek je nalisován na upínací pevný trn, aby se přenášel točivý moment a podepře se z druhé strany koníkem. Pevné se využívají pro přesně obrobenou dírou. Rozpínací trn je podobný kleštině. Skládá se z několikrát naříznuté kuželové vložky a matice. Vloží se do díry obrobku a pomocí závitu se matice začne dotahovat. Pouzdro se tak posouvá po kuželu a zvětšuje svůj průměr. Používají se pro obrobky s většími úchytkami. [13] [16]

Trny můžeme dále dělit na kuželové, válcové nebo závitové. U kuželových trnů nedosedá obrobek celou plochou, působením nože tak může dojít odchylení od trnu a vzniká nepřesnost. Proto dostatečnou sílu se používají trny s malou kuželovitostí například 1:3000. Válcové trny jsou více vhodné pro sériovou výrobu. Obrobek je maticí přitlačen na osazení. [13]



Obr. 13 Kuželový trn (vlevo) a válcový trn (vpravo) [16]



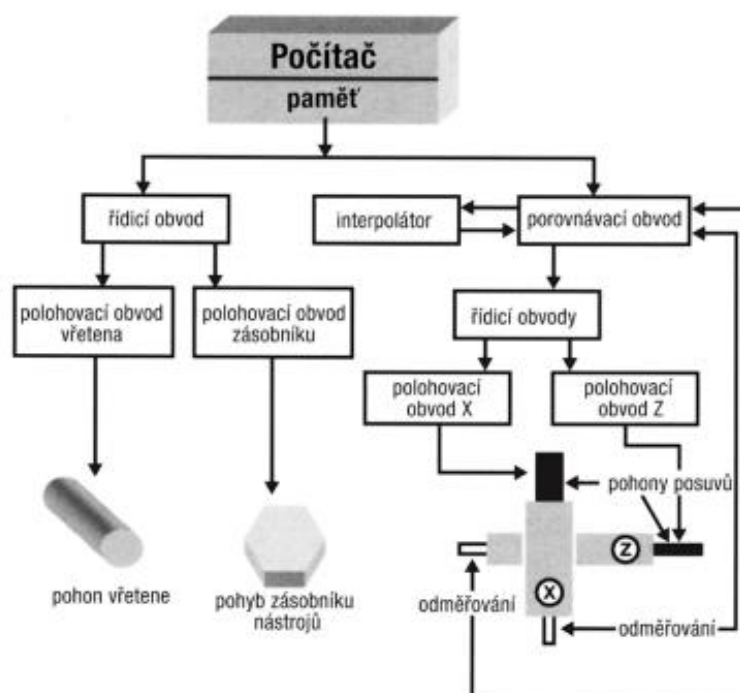
Obr. 14 Rozpínací trn [16]

4 CNC programování soustruhů

Na začátek je nutné si říci, co je to vlastně CNC soustruh. CNC je zkratka anglického „Computer Numerical Control“. Dalo by se to tak volně přeložit jako počítačem číslicově řízený soustruh. Tyto soustruhy (další CNC stroje) využívají počítač k realizaci obrábění dle dat z programů. Systém si načte program do své paměti z flash disku nebo pomocí LAN sítě, z paměti může být program kdykoliv vyvolán a spuštěn. CNC soustruhy jsou konstrukčně podobné svým předchůdcům, ovšem liší se technologickými možnostmi a parametry. Stroje využívají vysokokapacitních zásobníků na nástroje, automatické dopravy obrobků, třískové odvádění. [21][22]

Výhody CNC strojů:

- Výroba složitějších tvarů
- Produktivnější a hospodárnější výroba
- Vyšší kvalita a přesnost
- Snadná editace programu
- Využití podprogramů a cyklů
- Automatická výměna nástrojů
- Grafická simulace k testu programu [21]



Obr. 15 Blokové schéma CNC stroje [22]

Počítač-průmyslový počítač s řídicím systémem CNC stroje [22]

Řídicí panel-umožňuje potřebné příkazy k ruční obsluze, seřízení a programování CNC stroje [22]

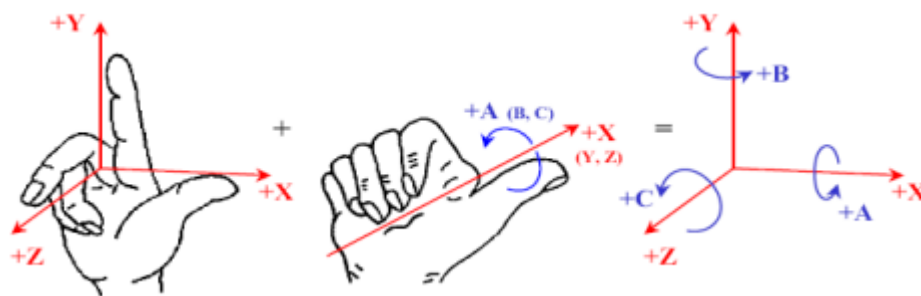
Řídicí obvody – převádí logické signály na silnoproudé elektrické signály, kterými se ovládají jednotlivé části stroje (motor, vřeteno, posuv...) [22]

Interpolátor-řeší skutečnou dráhu nástroje, která je dána geometrií délkových a rádiusových korekcí nástroje a tvaru obráběné plochy. Generuje okamžitou požadovanou polohu nástroje v každé ose [22]

Porovnávací obvod-přenáší informace o dosažených geometrických hodnotách suportů z pravítek, která jsou umístěná v souřadných osách dráhy pohybu nástrojů. Souřadnice se porovnávají s hodnotami zadanými v programu. [22]

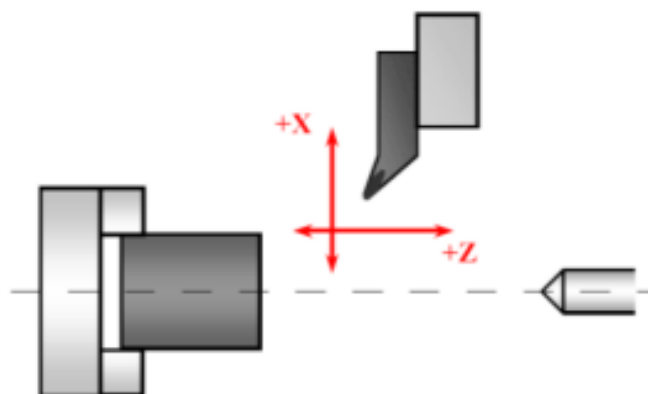
4.1 Souřadný systém CNC soustruhů

Souřadný systém slouží k orientaci k orientaci obrobku nebo nástroje v prostoru a navádí nástroj či obrobek do požadovaného bodu. Osy souřadného systému jsou rovnoběžné s hlavními vodícími plochami stroje a jsou vztažené k obrobku v prostoru stroje. Většina CNC strojů využívá Kartézský souřadný systém (Pravidlo pravé ruky). Při určování souřadného systému se vychází z nehybného obrobku. Vždy se musí definovat osa X. Osa Z uvádí hlavní řezný pohyb. Osy A,B,C jsou rotační pohyby kolem os X,Y,Z. [21][23]



Obr. 16 Kartézský souřadný systém

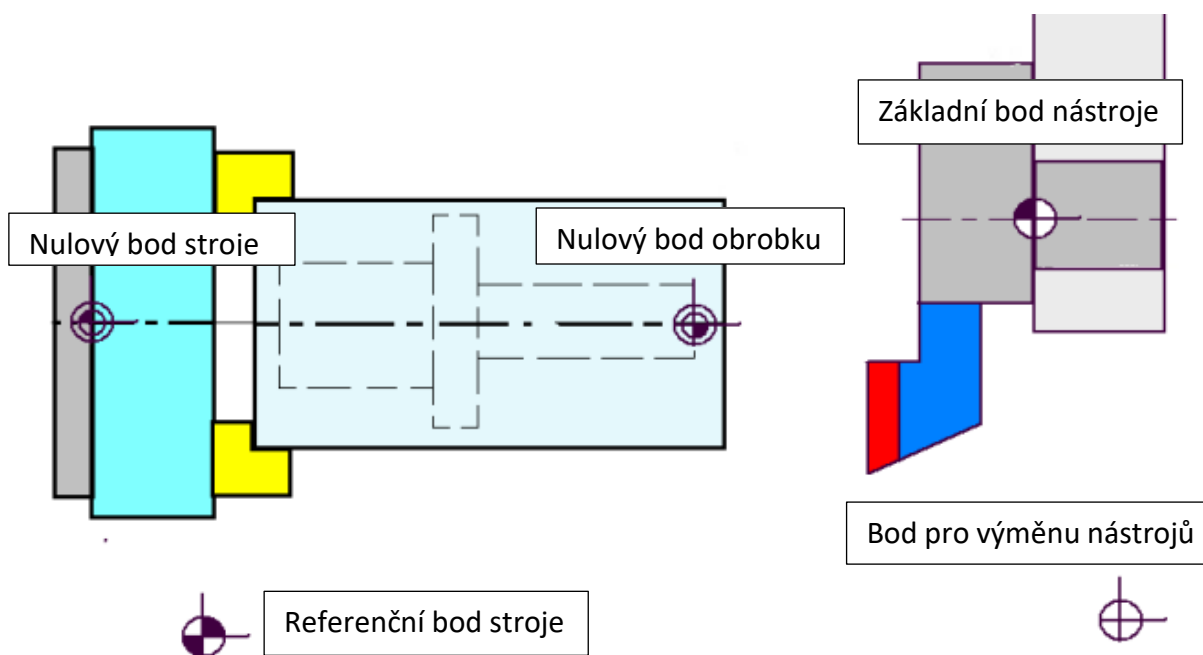
Na CNC soustruhu je obrobek upnut ve vřetenu. Nástroj koná pohyb v osách X a Z. Osa X je kolmá na osu Z a vyjadřuje průměr součásti. Její kladný směr je směrem k držáku nástroje. Osa Z je osa rotace vřetena a pohyb v kladném směru je od pohybu nástroje od vřetena ke koníku. [23] [24]



Obr. 17 Souřadný systém CNC soustruhu [24]

4.1.1 Základní body CNC soustruhu

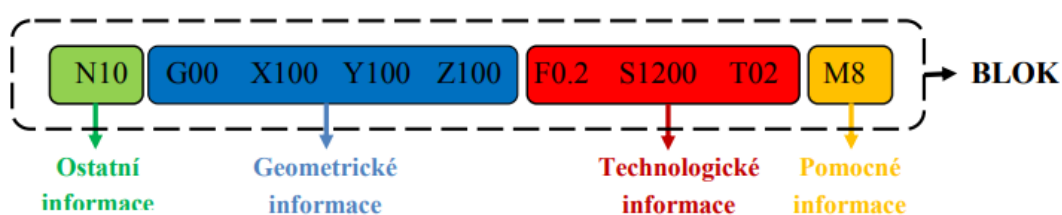
Nulový bod stroje (M) je počátek soustavy souřadnic. Tento bod je pevně dán výrobcem a nemůže být změněn. Referenční bod (R) stroje pevně stanovené místo výrobcem v pracovním prostoru s koncovým snímačem. Kde dochází ke sladění systému CNC ve všech odměřovacích osách. Nulový bod obrobku (W) je základním bodem souřadného systému při programování a obrábění. Může být zvolen kdekoliv a měněn dle potřeby. Základní bod nástroje (T) je na upínací ploše nástroje. Odtud systém odměřuje pohyb nástroje v dané ose a připočítává rozměry a korekce nástrojů. [24] [25]



Obr. 18 Schéma bodů v pracovním prostoru CNC soustruhu [25]

4.2 CNC program

Je to soubor, který pomocí geometrických, technologických a pomocných informací popisuje činnost číslicově (numericky) řízeného stroje. Geometrické informace popisují dráhy nástroje, jež jsou dány rozměry konkrétního obrobku. Technologické informace se vztahují k zvolené technologii obrábění (posuv, řezná rychlost). Pomocné informace slouží k ovládní mechanismů strojů (roztočit vřeteno, zapnout chladicí kapalinu, konec programu). K těmto informacím můžeme přidat ostatní informace, které slouží k orientaci v programu, jako čísla bloků. [21]



Obr. 19 Blok CNC programu [21]

Tabulka 2 Popis struktur bloku [22]

Písmeno	Význam
N	Číslo bloku (může či nemusí být uvedeno, slouží pro lepší orientaci v programu)
X, Y, Z	Základní osy souřadného systému (souřadnice v osách X, Y, Z)
A, B, C	Rotace kolem základních os
U, V, W	Paralelní pohyb se základními osami
G	Přípravná funkce (geometrická), zadávají se geometrické informace (přímka, kruh)
M	Pomocné funkce (přípravné), spouštějí činnost strojních mechanismů (zapnutí a vypnutí otáček, řezné kapaliny)
F	Rychlost posuvu (udává se v mm na otáčku nebo v mm za minutu nebo v mm na zub)
S	Otáčky vřetena nebo hodnota konstantní řezné rychlosti (záleží na systému)
T	Volba nástroje
R	Hodnota rádiusu nebo polární souřadnice

Příkazy v bloku dělíme viz Obr. 20



Obr. 20 Rozdělení příkazu [21]

4.3 Možnosti programování CNC strojů

4.3.1 Ruční programování

Ruční programování se využívá pro jednoduché součásti. NC program je psán přímo na stroji nebo na počítači a do stroje je pak nahrán. Výhodou je, že k psaní na počítači stačí s dostatečnými zkušenostmi jakýkoliv textový dokument (tudíž levné softwarové vybavení). Nevýhodou je, že všechny uzlové body musí být dopočítány ručně. To zvyšuje riziko chyby. Pro programování je nutná znalost základních funkcí využívaných v CNC programu (co znamenají). Používají se hlavně G a M kódy. G kódy jsou přípravné (geometrické) funkce určené pro programování dráhy nástroje. M kódy jsou pomocné funkce, které slouží k ovládání mechanismů obráběcího stroje. [26] [27]

```
EDITOR - NC program: ULOHA_C_1
Délka: 1137   Sloupec: 1   Řádek: 1   Výběr: 0
; domácí uloha šroub
N10      G00      X50      Z100
N20      M06
N30      M04
N40      G00      X26.2    Z87
N50      G68      X0       Z85.5    W0.5    F200
N60      G00      X26.2    Z85.5
N70      G64      X17      Z35.5    U1      F200
N80      G00      X50      Z100
N90      M06
N100     M04
N110     G00      X0       Z86
N120     G01      X14      Z85
N130     G01      X16      Z84
N145     G01      X28      Z35
N150     G00      X50      Z100
N170     M06
N180     M04
N190     G00      X16      Z86.5
N200     G78      X13.546  Z47    U0.1    K2
N210     G00      X50      Z100
```

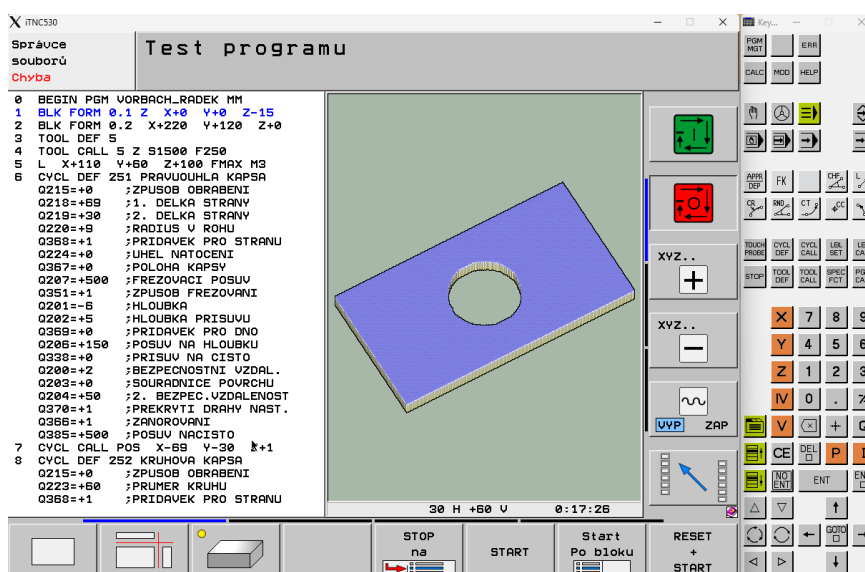
Obr. 21 Příklad tvorby programu v softwaru Mikroprog

4.3.2 Dílenské programování

Při dílenském (dialogovém) programování dochází k psaní NC programu přímo na stroji (Obr. 22) nebo na kopii řídicího systému na PC (Obr. 23). Využívá přednastavených funkcí stroje, ISO kódů a grafické podpory (simulace drah). Stroj má předem vytvořené pevné cykly pro některé činnosti jako třeba zarovnání čela. Programátor tak zadává jen konkrétní rozměry. Programování zvládne i pracovník bez větších znalostí s programováním. Lze tvořit složitější součásti než u ručního programování, ale z hlediska časové náročnosti to není vhodné pro moc složité součásti. Spíše se využívá pro zápis pár řádku do existujícího programu. Systém přehledně zobrazí žádané a skutečné hodnoty, nebo činnosti programu během obrábění. [27]



Obr. 22 Programování přímo na stroji



Obr. 23 Programování na PC

4.3.3 Strojní programování

Ke strojnímu programování se využívají CAD/CAM systémy. To vyžaduje znalost softwaru a zkušenosti programátora. CAM je vhodný pro kusovou a malosériovou výrobu, pro velmi složité díly a víceosé obrábění. Důležitá je volba vhodného softwaru (Fusion 360, EdgeCAM, PowerMill, NX, Cati atd.). CAM soft Při volbě může být rozhodující cena, ovladatelnost, technická podpora. [23]

Pro práci v CAMu je důležitá správná volba výrobního postupu. Pro jednotlivé úseky volit vhodný nástroj a strategii obrábění. Výhodou je rychlá tvorba programů, virtuální simulace (kolize a geometrie) a nestojí stroj. K nevýhodám můžeme zahrnout složitost systému, školení obsluhy, náročná údržba, složitější kód než při ručním psaní, postprocesor. [27]

Tvorba programu [28]

PartProgram → Procesor → CL data → Postprocesor → NC kód

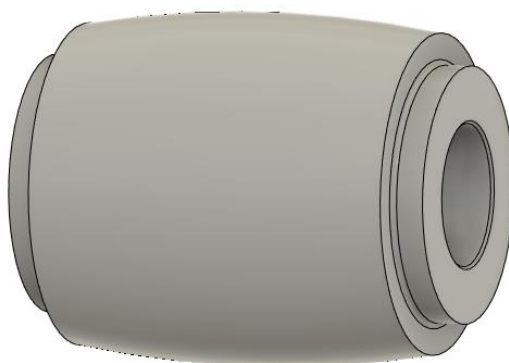
- 1) PartProgram
 - Geometrická část-Co? (model); Z čeho? (polotovar); Kde? (souřadný systém)
 - Technologická část-Čím? (nástroje); Jak? (dráhy)
- 2) Procesor: Dle technologie (S,F,L,...)
- 3) CL data:
 - Cutter location data
 - Dráhy virtuálního nástroje na virtuálním stroji
- 4) PostProcesor: překladač pro konkrétní kombinaci CAM-ŘS-stroj
- 5) NC kód: Dráhy skutečného nástroje na skutečném stroji

5 PRAKTICKÁ ČÁST

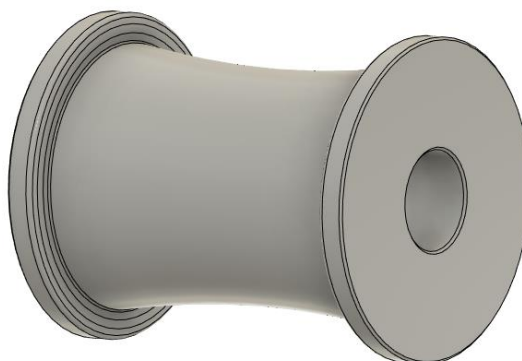
Pro praktickou část byly zadány dvě součásti určené pro válcování plechů. Poznatky získané z rešeršní části byly aplikovány pro návrh technologie zadaných součástí. Součásti jsou z nástrojové oceli kalené na maximální tvrdost 65 HRC. V rámci bakalářské práce byl pro obě součásti navržen a postupně optimalizován výrobní postup s vhodným upínáním na stroji. Dokončení v tvrdém stavu bylo realizováno prostřednictvím tvrdého soustružení. Pro úspěšné dokončení byl navrhnut přípravek s čelním unášením pomocí kolíku. K programování drah soustružení byl využit CAM program Fusion 360. Z CAM programu byl vygenerován a nahrán NC program do stroje. Po seřízení stroje bylo provedeno obrábění součástí v měkkém a tvrdém stavu.

5.1 Zadané součásti

Zadány byly dvě tvářecí kladky Obr. 24 a Obr. 25. Podle CAD modelů byly v CAD programu Autodesk Inventor nakresleny pro obě součásti výrobní výkresy.



Obr. 24 Tvářecí kladka vnější




Obr. 25 Tvářecí kladka vnitřní

6 Výrobní postup

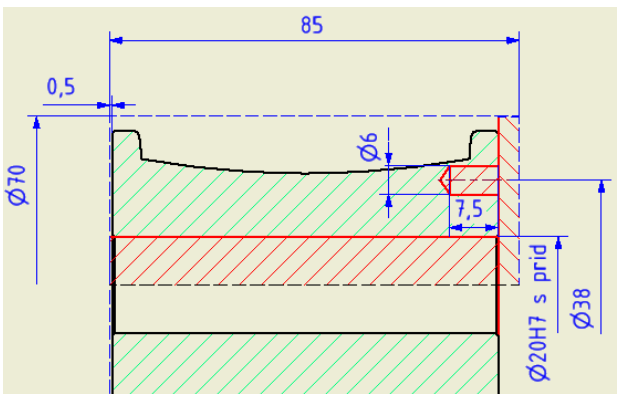
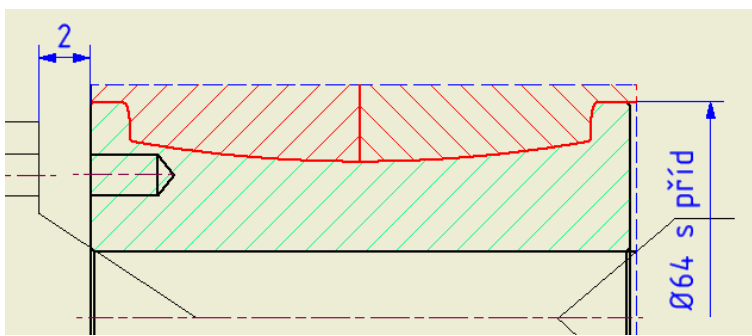
Výrobní postup je předpis účelného počtu, pořadí a podmínek jednotlivých činností pro změnu výchozího materiálu v hotový výrobek. Pro výrobní postup se vycházelo z realizace výroby v prostředí malá obrobny (CNC soustruh, frézka, vrtačka, brusky...). Objem výroby byl v rozmezí jednotek až desítek kusů. Výroba součástí byla členěna do operací (prováděná práce na jedno upnutí) a úseků (činnost prováděná jedním nástrojem). Ve výrobním postupu bylo důležité docílit minimálního počtu operací, tudíž méně přepínání součástí. Čímž se snižuje riziko vzniku chyby a šetříme i čas.

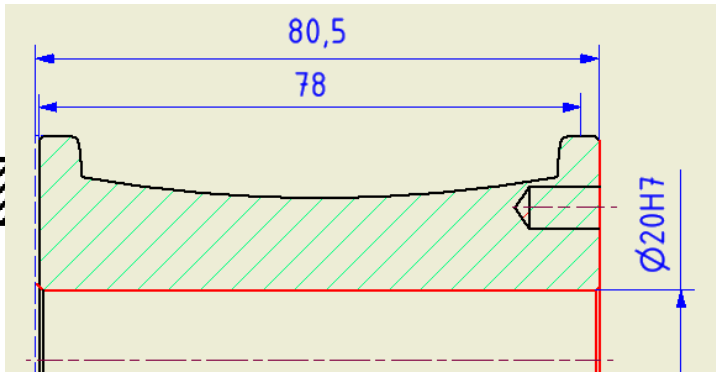
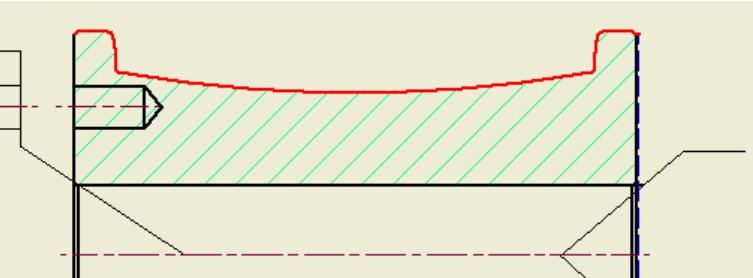
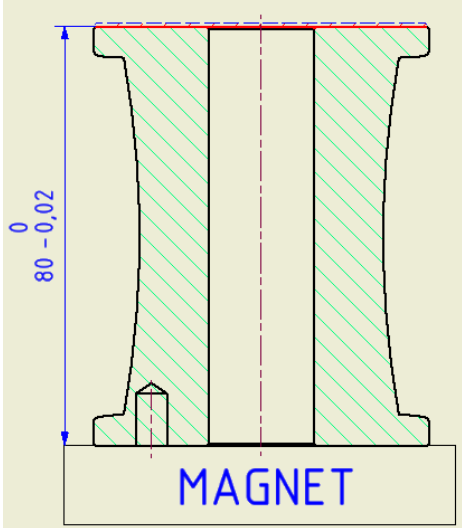
Pro výrobní postupy byl nejdříve na papír nastíněn možný postup výroby. V CAD programu Inventor byly pomocí kontur zakresleny obráběné plochy a barevně rozlišeny jednotlivé kontury (Tabulka 3). Vše bylo kresleno v polovičním řezu tak, jak to bude orientováno na stroji. Obrázky z Inventoru byly vloženy do připravené tabulky. Do té byla doplněna čísla jednotlivých operací a rozepsány jednotlivé úseky. Úseky byly psány rozkazovacím způsobem. K úsekům byly později doplněny používané nástroje s řeznými podmínkami a měřidla. Výsledkem byly dva výrobní postupy viz Tabulka 4 a Tabulka 6.

Tabulka 3 Popis k obrázkům ve výrobním postupu

Prvky	Čáry
Kontura polotovaru	Tenká modrá přerušovaná
Kontura hotové součásti	Tlustá černá
Hotová součást	Šrafovaní zelená šikmá
Odebrané vrstvy v úseku	Šrafovaní červená
Naznačení upnutí	Využijeme Word symboly  ↓

Výrobní postup č.1

Stroj: CNC Soustruh OKUMA Genos L200E-M	Č. výkresu: BP-00-01	Polotovar: Tyč kruhová
TVÁŘECÍ KLADKA VNITŘNÍ	Materiál: ČSN 19 573	Rozměr polotovaru: Ø70 - 85
Č. operace 10	Popis činnosti (nástroj, v_c [m/min], f [mm/ot], a_p [mm], i [-])	
	Upnout na doraz za Ø 70 do tvrdých paken	
	Vrtat díru Ø19 do vzdálenosti 86 (T1; 70; 0,1;)	
	Soustružit čelo s přídavkem 0,1 mm na dokončení v zakaleném stavu (T2, 120; 0,12; 1; 1)	
	Soustružit díru Ø20 H7 s přídavkem na dokončení v zakaleném stavu (T3, 120; 0,1; 0,5; 1)	
	Vrtat díru pro kolík Ø6, na rozteči Ø38, do vzdálenosti 7,5	
	Označit soustružené čelo	
	Vyjmout obrobenou součást	
Č. operace 20		
	Upnout do čelistí přípravek	
	Nasadit obrobek na přípravek, dorazit koníka	
	Soustružit vnější konturu s přídavkem 0,2 mm (T5, 100; 0,3; 3; 1)	
		Vyjmoutí obrobené součásti
Č. operace 30		
		Zakalít součást

<p>Č. operace 40</p> 	<p>Upnout do čelistí na doraz</p> <p>Zkontrolovat házení pomocí úchylkoměru</p> <p>Soustružit díru $\varnothing 20$ H7 na čisto (T6, 180; 0,08; 0,1; 1)</p> <p>Soustružit čelo na čisto (T5, 210; 0,05; 0,05; 2)</p> <p>Vyjmout obrobek</p>
<p>Č. operace 50</p> 	<p>Upnout přípravek do čelistí</p> <p>Nasadit obrobek na přípravek, dorazit koníka</p> <p>Kontrola obvodového házení pomocí úchylkoměru</p> <p>Soustružit vnější konturu na čisto (T5, 210; 0,05; 0,05; 2)</p> <p>Vyjmutí obrobené součásti</p>
<p>Č. operace 60</p> 	<p>Upnutí za obrobené čelo na magnet</p> <p>Dobrousit čelo na rozměr $80 -0,02$</p> <p>Vyjmout výrobek</p>

Tabulka 4 Výrobní postup 1

Tabulka 5 Používané nástroje ve Výrobnímu postup 1

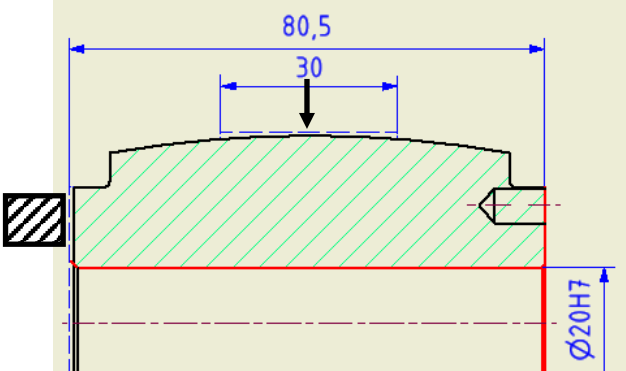
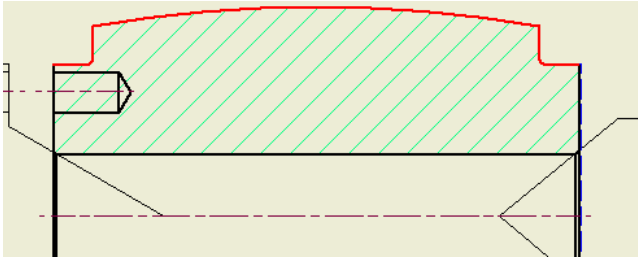
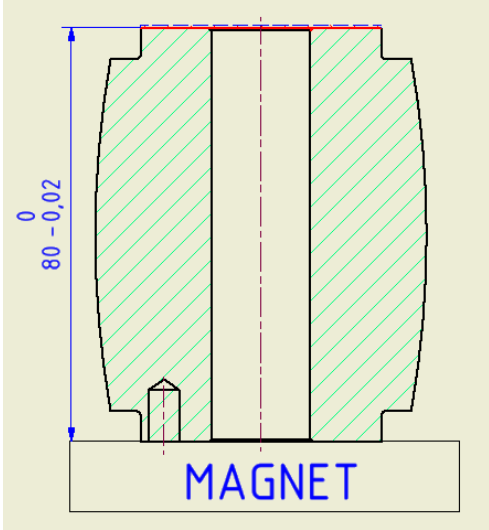
NÁSTROJE	
T1	Držák 805D-19-95-S25 + VBD XPET 0602AP SCET 050204-UD
T2	Držák MWLNR2020K08-N-43 + VBD WNMG 080404E-FF
T3	Držák A12M-SCLCR 08 +VBD CCGT 080304E-SF3
T4	Držák SVJCR-2020-K16 + VBD VCMT160404
T5	Držák SVJCR-2020-K16 + VBD VBGW 160408S01020B
T6	Držák A12M-SCLCR 08+ VBD CCGW 09T304E-B

Výrobní postup č.2

Stroj: CNC Soustruh OKUMA Genos L200E-M	Č. výkresu: BP-00-02	Polotovary: Tyč kruhová
TVÁŘECÍ Kladka vnější	Materiál: ČSN 19 573	Rozměr polotovaru: Ø70 - 85

Č. operace 10	Popis činnosti (nástroj, v_c [m/min], f [mm/ot], a_p [mm], i [-])
	Upnout na doraz za Ø 70 do tvrdých paken
	Vrtat díru Ø19, do vzdálenosti 86 (T1; 70; 0,1;)
	Soustružit čelo s přídkem 0,1 mm na dokončení v zakaleném stavu (T2, 120; 0,12; 1; 1)
	Soustružit díru Ø20 H7 s přídkem na dokončení v zakaleném stavu (T3, 120; 0,1; 0,5; 1)
	Hrubovat část vnější kontury (T2, 120; 0,12; 2; 1)
	Dokončit s přídkem vnější kontury (T4, 150; 0,1; 0,5; 1)
	Vrtat díru pro kolík Ø6, na kružnici Ø38, do vzdálenosti 7,5
	Označit soustružené čelo
	Vymout obrobek

Č. operace 20	
	Upnout do čelistí přípravek
	Nasadit obrobek na přípravek, dorazit koníka
	Hrubovat vnější kontury (T2, 120; 0,12; 2; 1)
	Dokončit vnější kontury s přídkem 0,2 mm na dokončení (T4, 150; 0,1; 0,5; 1)
	Vyjmoutí obrobek

<p>Č. operace 30</p>	
	<p>Zakalit součást</p>
<p>Č. operace 40</p>	
	<p>Upnout do čelistí na doraz</p> <p>Zkontrolovat házení pomocí úchylkoměru</p> <p>Soustružení čela na čisto (T5, 180; 0,06; 0,1; 1)</p> <p>Soustružení díry $\varnothing 20 H7$ na čisto (T6, 180; 0,08; 0,1; 1)</p> <p>Vymout obrobek</p>
<p>Č. operace 50</p>	
	<p>Upnout přípravek do čelistí</p> <p>Nasadit obrobek na přípravek, dorazit koníka</p> <p>Kontrolovat obvodového házení pomocí úchylkoměru</p> <p>Soustružit vnější konturu na čisto (T5, 210; 0,05; 0,05; 2)</p> <p>Vyjmutí obrobek</p>
<p>Č. operace 60</p>	
	<p>Upnout za obrobek čelo na magnet</p> <p>Dobrousit čelo na rozměr $80 -0,02$</p> <p>Vyjmutí výrobek</p>

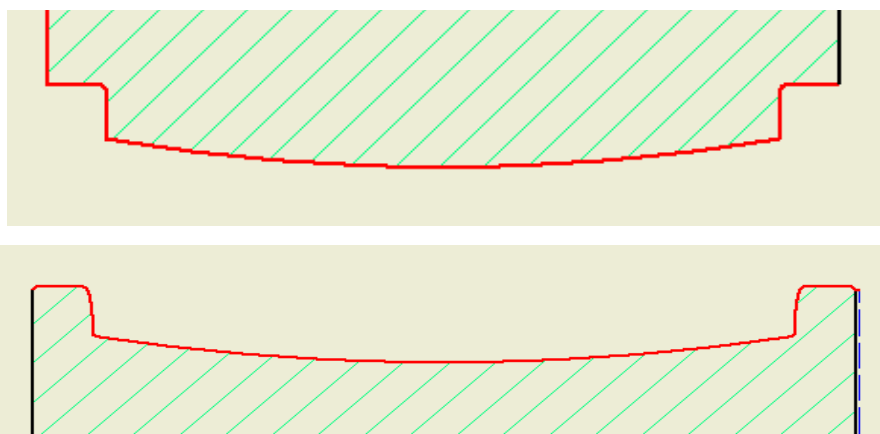
Tabulka 6 Výrobní postup 2

Tabulka 7 Používané nástroje ve Výrobním postupu 2

NÁSTROJE	
T1	Držák 805D-19-95-S25 + VBD XPET 0602AP SCET 050204-UD
T2	Držák MWLNR2020K08-N-43 + VBD WNMG 080404E-FF
T3	Držák A12M-SCLCR 08 + VBD CCGT 080304E-SF3
T4	Držák SVJCR-2020-K16 + VBD VCMT160404
T5	Držák SVJCR-2020-K16 + VBD VBGW160408S01020B
T6	Držák A12M-SCLCR 08 + VBD CCGW 09T304E-B

7 Způsob upnutí

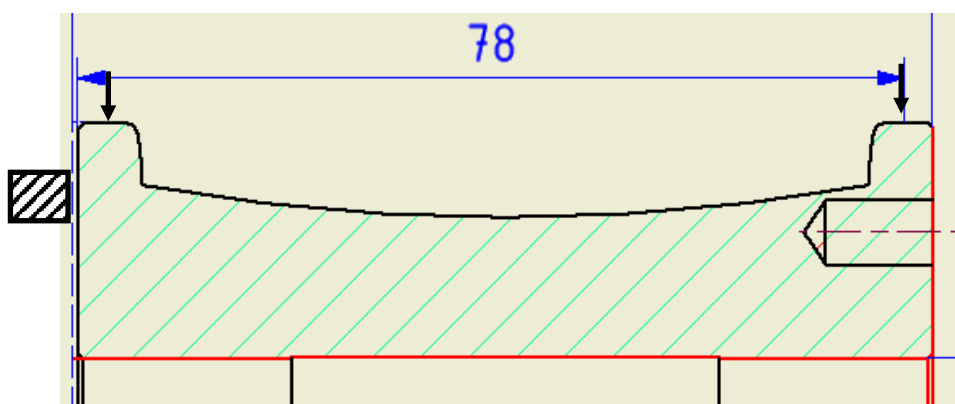
Ze začátku obrábění byly dostačující tvrdé čelisti, do kterých byl upnut polotovár bez problémů. Dále už bylo nutné zamyslet se nad způsobem upnutí, které se týkalo hlavně obrábění vnějších kontur (Obr. 26) v měkkém i tvrdém stavu a obrábění děr $\varnothing 20$ H7 v tvrdém stavu. Způsob upnutí měl umožnit zhotovení kontur na jedno upnutí, zajistit dostatečnou tuhost, eliminovat házení součástí a zajistit opětovné použití pro stejné výrobky.



Obr. 26 Vnější kontura součástí

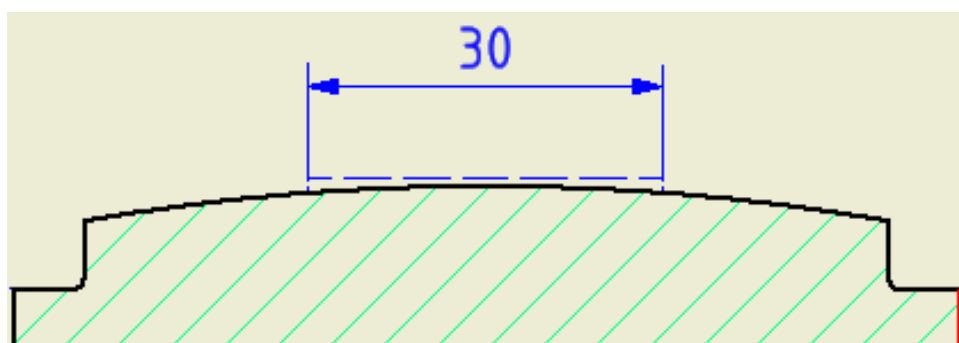
Pro vnější konturu bylo vyloučeno upnutí do čelistí, ať už tvrdých nebo měkkých, z důvodu malé upínací plochy a kontura by byla zhotovena na více než jedno upnutí. V úvahu připadlo upnutí za díru. Přemýšlelo se nad použitím např.: kuželový rozpínací trn, válcový rozpínací trn, čelní unašeč, přípravek. Muselo se však brát v potaz, že zhotovená díra vyžaduje určitou přesnost a kvalitu. Proto hlavně při upnutí už hotové díry po tvrdém soustružení nesmělo dojít k poškození díry od upínání. Z těchto možností bylo nakonec rozhodnuto pro speciální upínací přípravek.

Obrábění děr v tvrdém stavu bylo složitější z hlediska délky kladek a tvaru jejich vnějších kontur. Pro vnitřní kladku bylo využito upnutí do dlouhých tvrdých čelistí za vnější konturu viz Obr. 27.



Obr. 27 Způsob upnutí do dlouhých čelistí

Obrobení díry vnější kladky bylo složitější, jelikož neměla plochy pro upnutí jako vnitřní kladka. Vymyslel se tak technologický přídavek (Obr. 28), který vznikl při obrábění vnější kontury v měkkém stavu. Přídavek byl o délce přibližně 30 mm.



Obr. 28 Technologický přídavek

8 Přípravek

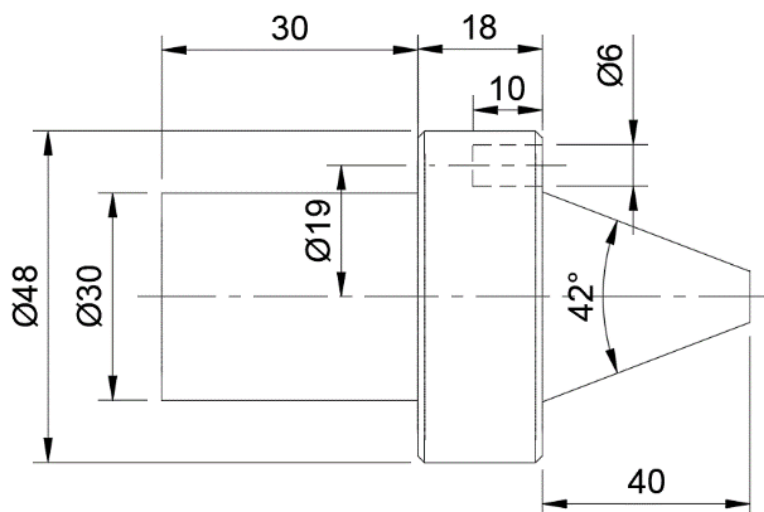
Již v předchozí kapitole bylo zmíněno, že pro obrábění vnější kontury kladek bylo rozhodnuto pro návrh a výrobu vlastního přípravku. Nejdříve bylo nutné ujasnit, co se od přípravku očekává a jaké bude plnit funkce. Přípravek kladky upíná za díru a z druhé strany podepírá koníkem. Přípravek musel být vhodný pro požadovaný počet vyráběných kusů nebo technologicky podobných dílů, zajistit přenos kroutícího momentu, eliminovat házení, umožnit obrábění vnější kontury obou kladek (zabránit kolizi nástroje s přípravkem).

8.1 Návrh

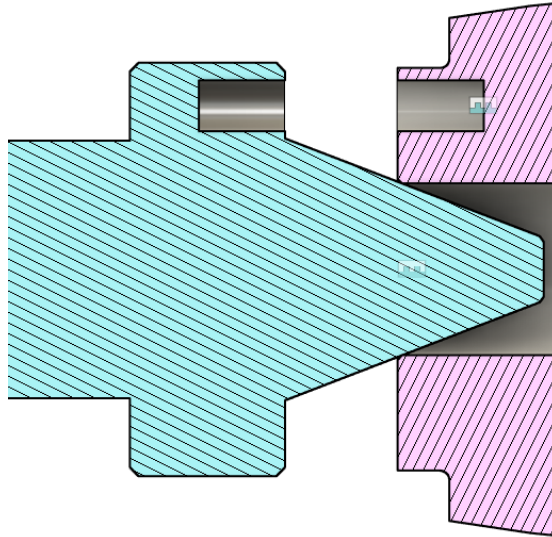
Ujasněním požadavků, které od přípravku byly požadovány, bylo možné přejít k návrhu samotného přípravku. Jako první bylo určeno, že kroutící moment bude přenášen pomocí kolíku (pravděpodobně o průměru 6 nebo 8). Z toho důvodu se zhotoví díra do obou kladek, aby bylo možné kolík použít. Vyvrtání díry do kladek nemá žádný vliv na jejich funkčnost. Jen bylo potřeba to zohlednit ve výrobním postupu. Přípravek měl danou upínací část o určitém průměru pro upnutí do tvrdých čelistí. Kladka bude nasazena na kuželovou část přípravku, která jí vycentruje a ustaví. Jako materiál přípravku byl použit polotovar ze školních dílen (ocel 16 440). Takovéto řešení umožnilo bezproblémové obrobení vnější kontury obou kladek.

8.1.1 Návrh 1

Přešlo se tedy k prvnímu návrhu přípravku. První návrh byl hrubý náčrt na papír, kde bylo cíleno na vhodnou podobu přípravku pro splnění všech funkcí. Byl navrhnut tvar s osazením pro upnutí do čelistí na doraz, díra pro kolík (průměr a délku) a kužel pro nasazení kladky (jeho délku a úhel). Podle náčrtu byl přípravek vymodelován a zakótován ve Fusionu 360 (Obr. 29), kde bylo později provedeno naprogramování drah obrábění. Na model přípravku byl v sestavě zavazben model horní kladky (Obr. 30), aby v řezu byla možná vizualizace vzdálenosti mezi přípravkem a kladkou. Vzdálenost zde byla 13 mm.



Obr. 29 Převedení náčrtu do CADu

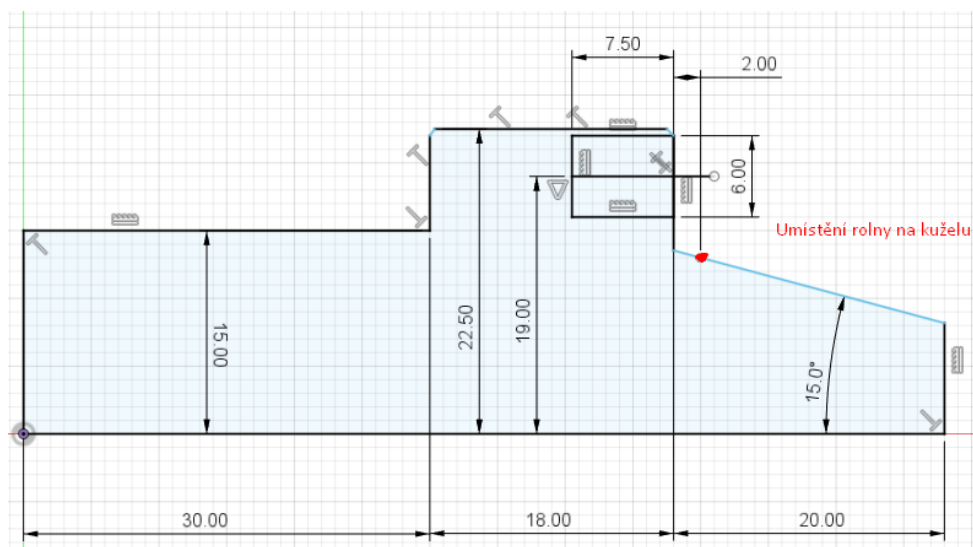


Obr. 30 Vizualizace sestavy

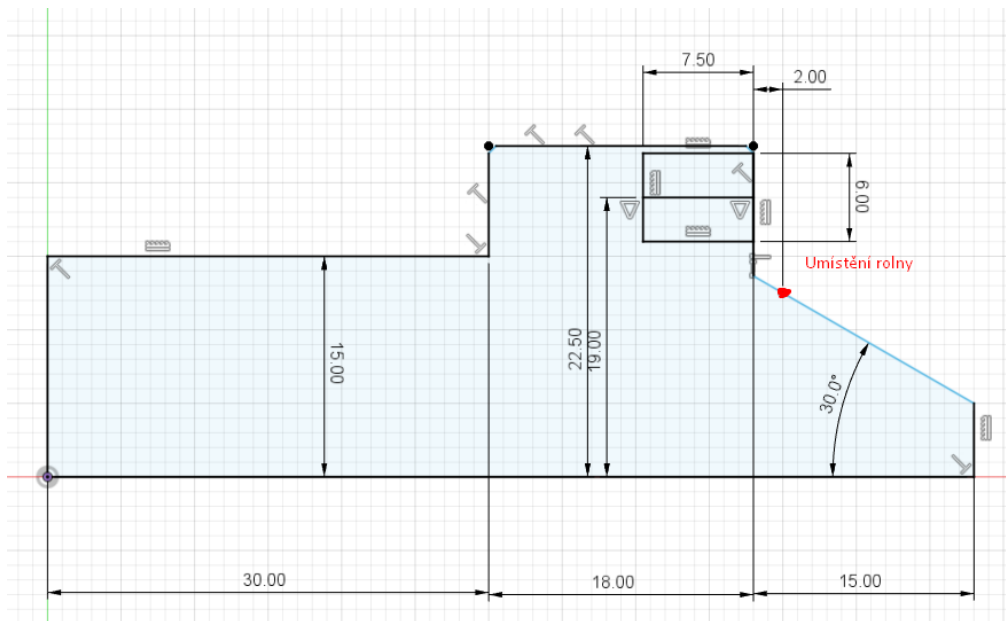
U Návrhu 1 bylo vše pouze orientační a bylo dosaženo závěru, že to určitě nebyl finální návrh. Některé rozměry bylo potřeba navrhnout jinak. Díra pro kolík byla příliš moc dlouhá. Kuželová část se zdála zbytečně moc dlouhá a její úhel nebyl dostatečně vhodný pro danou díru. Osazení díry bylo velkého průměru, což zvyšovalo kolizi s nástrojem.

8.1.2 Návrh 2

Při druhém návrhu bylo vycházeno hlavně z Návrhu 1. Celý návrh už se odehrál pouze v CAD prostředí. Zde došlo ke změně hlavně úhlu kužele, kdy bylo upuštěno od původní varianty se 42° a byly porovnány varianty se 30° (Obr. 31) a 60° (Obr. 32). Hlavně z důvodu, že koník soustruhu má úhel 60° . Hloubka díry pro kolík byla zmenšena na 7,5 mm. Průměr osazení byl zmenšen na 22,5 mm. Vzdálenost mezi kladkou a přípravkem byla zmenšena na 2 mm. Kolík tak nebyl moc dlouhý a nebyl tolik namáhán.

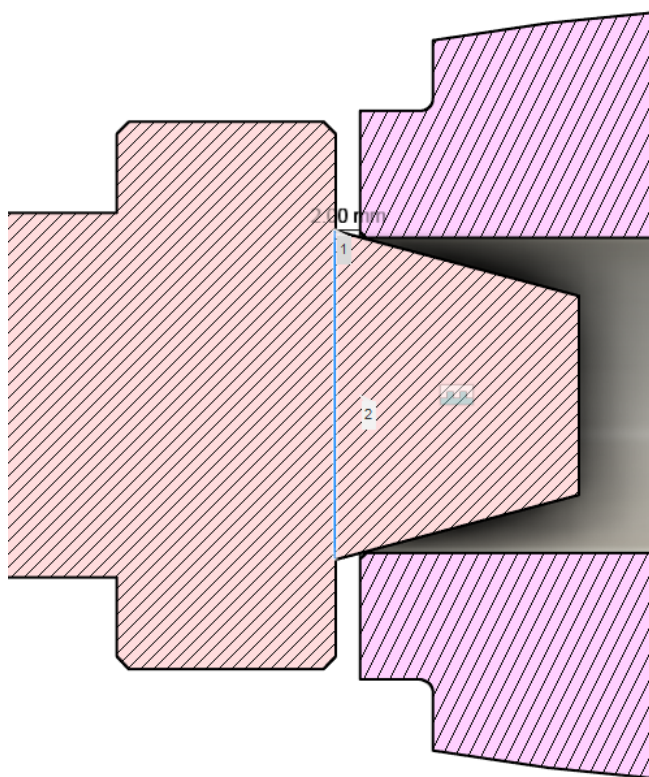


Obr. 31 Návrh 2 varianta s 30°



Obr. 32 Návrh 2 varianta s 60°

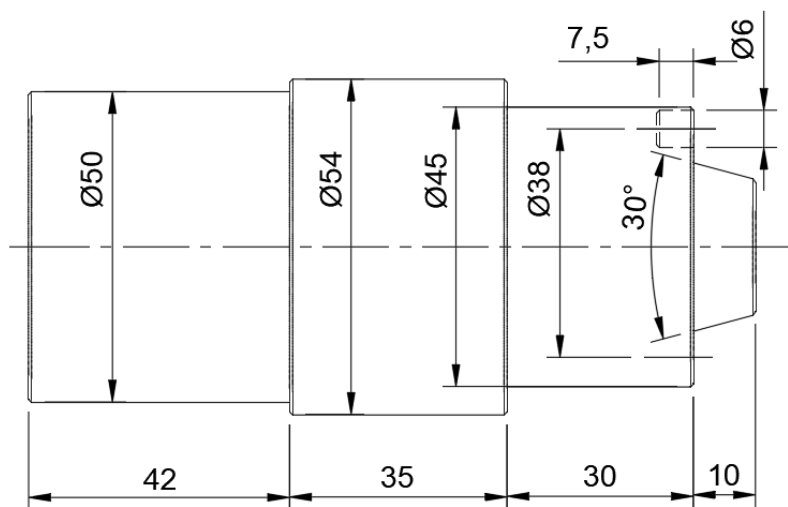
Z těchto dvou variant byla zvolna varianta s úhlem kužele 30°, která zajistí lepší ustavení kladky.



Obr. 33 Vizualizace varianty s 30°

8.2 Finální přípravek

Nakonec ani Návrh 2 nebyl finální forma přípravku. Konečná podoba přípravku vznikla až v den obrábění. Přípravek byl poupraven, aby byla zajištěna dostatečná délka přípravku a kladky pro podepření koníkem. Podoba přípravku byla trochu změněna. Zásadní byla změna průměru upínací části a osazení viz Obr. 34 . Pro minimální házení byl napsán program, který vždy přejede funkční část upnutého přípravku.



Obr. 34 Náčres finálního přípravku

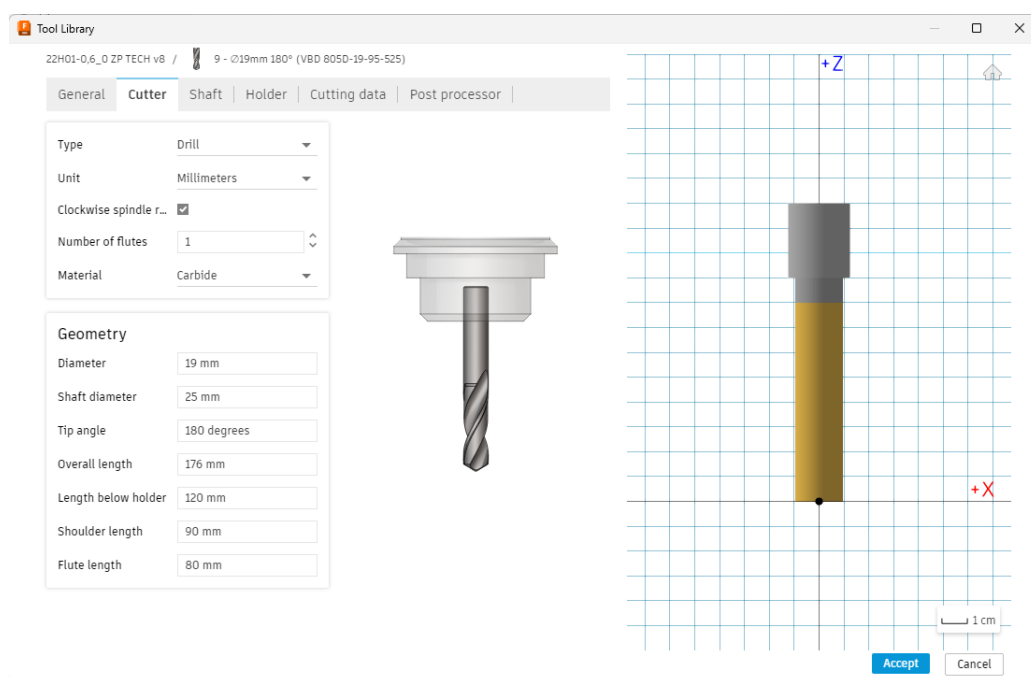


Obr. 35 Model finálního přípravku

9 CAM programování

Programování bylo realizováno v programu Fusion 360. Software je od známé firmy autodesk, která se zabývá softwaru pro 3D grafiku. Fusion 360 je cloudový software pro 3D modelování, CAD a CAM. Cloudový znamená, že se data neukládají na daném počítači, ale je možnost si je stáhnout. Můžou se v něm navrhovat a projektovat projekty. Jeho hlavní výhodou je nízká cena oproti ostatním softwarům. Pro nekomerční účely je dokonce zdarma. Za nízkou cenu zde nalezneme prostředí pro 2D a 3D náčrty, práci s povrchy, tvorbu sestav, obrábění, 3D tisk, řezání laserem a vodním paprskem, renderování, tvorbu výkresové dokumentace.

Před samotným programováním bylo potřeba do knihovny nástrojů nahrát nebo vytvořit nástroje, kterými se bude obrábět. Některé nástroje stačilo jen nahrát, jelikož byly již vytvořené. Zbylé nástroje bylo nutné vytvořit v knihovně. To se týkalo například destičkového vrtáku. Přes ikonu New tool byl vytvořen nový nástroj. K tvorbě bylo využito předvolby pro vrtáky. Zde byl nastaven popis nástroje, jeho rozměry (Obr. 36) a řezné podmínky.



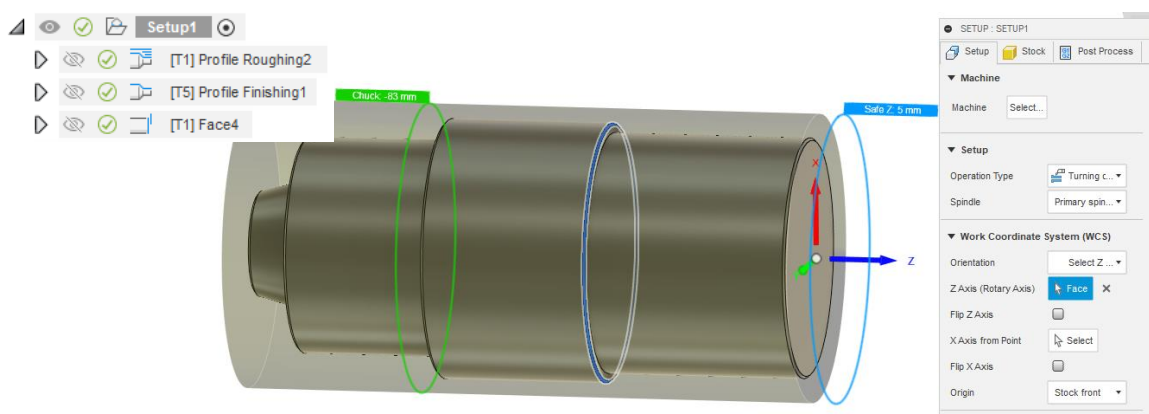
Obr. 36 Tvorba nástroje do knihovny nástrojů

9.1 Programování přípravek

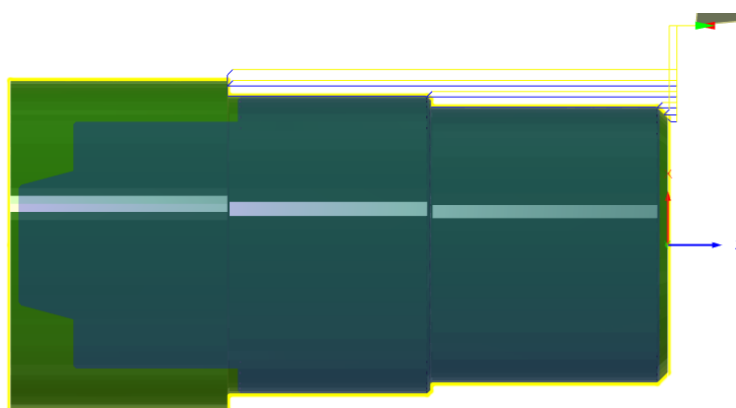
Model přípravku byl otevřen v programu Fusion 360. Přepnulo se do prostředí „manufacture“ a byla zvolena záložka „turning“, která je určená k programování soustružení. Poté bylo možné začít s programováním jednotlivých operací („setupů“).

9.1.1 Operace 1

Byla vytvořena nová operace (setup), kde byl definován souřadnicový systém a určen nulový bod na čele polotovaru viz Obr. 37. V operaci byly v záložce „stock“ nastaveny rozměry polotovaru $\varnothing 60-120$ mm. Následně byly naprogramovány jednotlivé úseky obrábění. Pro hrubování byla zvolena strategie Profile Roughing. Byl zvolen vhodný nástroj z knihovny nástrojů. Byla definována geometrie obrábění, nájezdy a přejezdy nástroje. Maximální hloubka řezu byla stanovena na 2 mm. Na konec byl zvolen přídavek pro obrábění na čisto 0,15 mm. Vygenerovaly se dráhy obrábění (Obr. 38). Pro kontrolu byla provedena simulace.

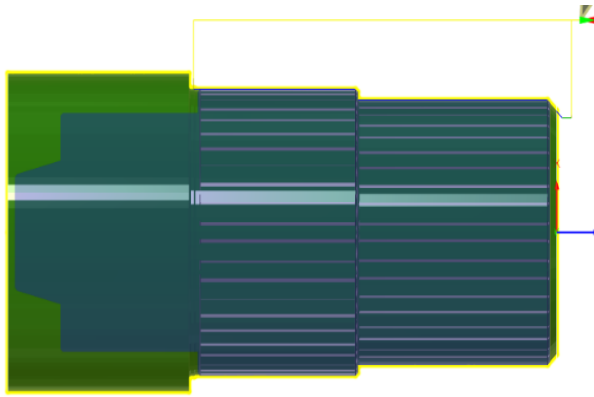


Obr. 37 Definování souřadného systému a nulového bodu

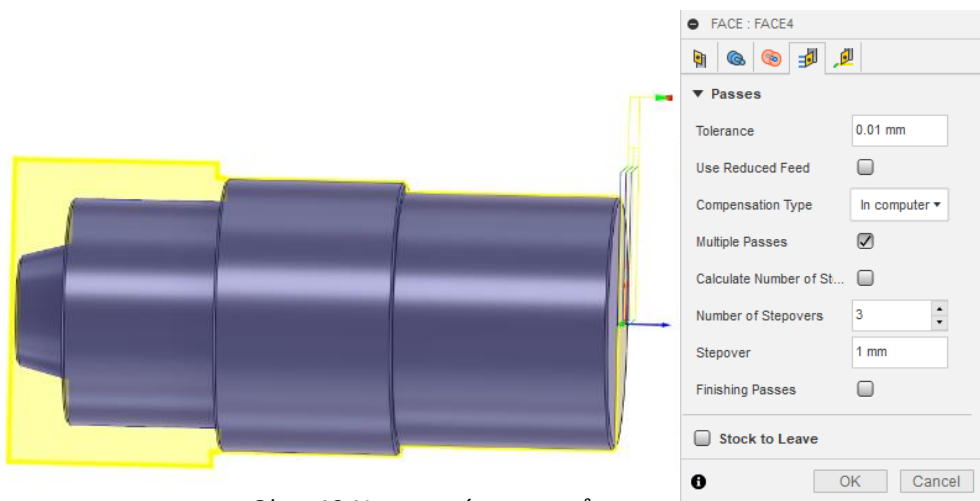


Obr. 38 Zobrazení dráh nástroje Operace 1

Pro finišování byla zvolena strategie Profile Finishing, kde bylo postupováno stejně jako u hrubování. V záložce passes byl navíc upraven stepover na 1 mm a počet stepoveru na 1. Po potvrzení byly vygenerovány dráhy a v simulaci byla provedena kontrola. Zarovnání čela bylo pomocí strategie Face. Opět byl vybrán vhodný nástroj a definována geometrie jako model front. Čelo bylo zhotoveno na 3 stepovery po 1 mm (Obr. 40). Celá Operace 1 byla přehrána v simulaci, která neukázala žádné chyby ani kolize.



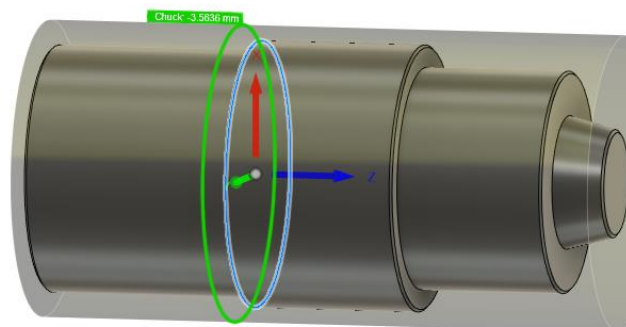
Obr. 39 Simulace Profile finishing



Obr. 40 Nastavení stepoverů

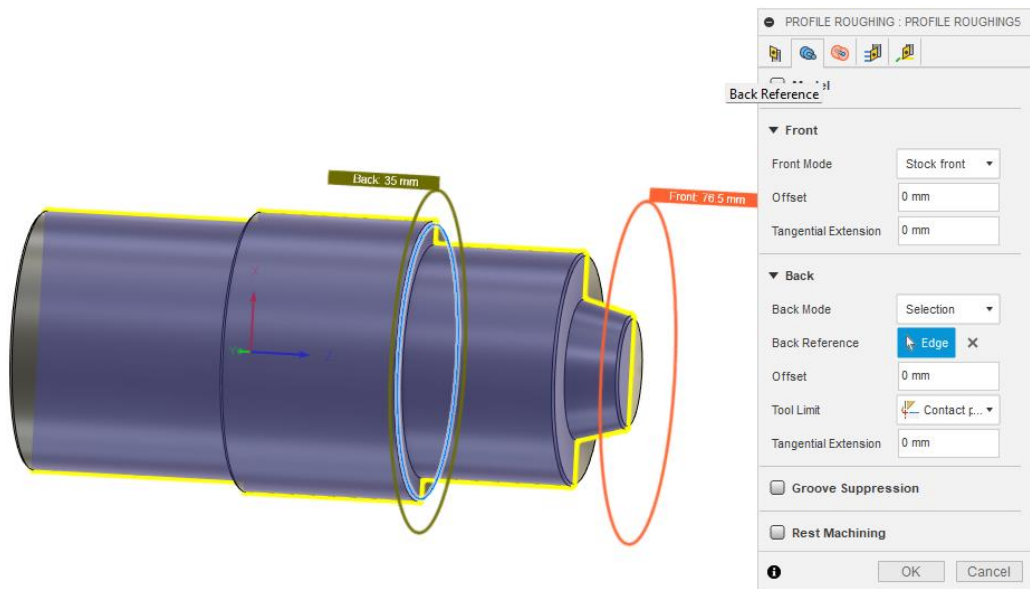
9.1.2 Operace 2

Po dokončení Operace 1 bylo na řadě naprogramovat Operaci 2. Byl založen tedy další setup, kde byl definován souřadný systém a nulový bod (Obr. 41). Nulový bod byl nastaven pomocí vybraného bodu. Polotovar byl zvolen z předchozí operace. Jako první byla vybrána strategie Face pro zarovnání čela. Definovala se geometrie jako model front. Čelo bylo zhotoveno na 4 stepovery po 1 mm.

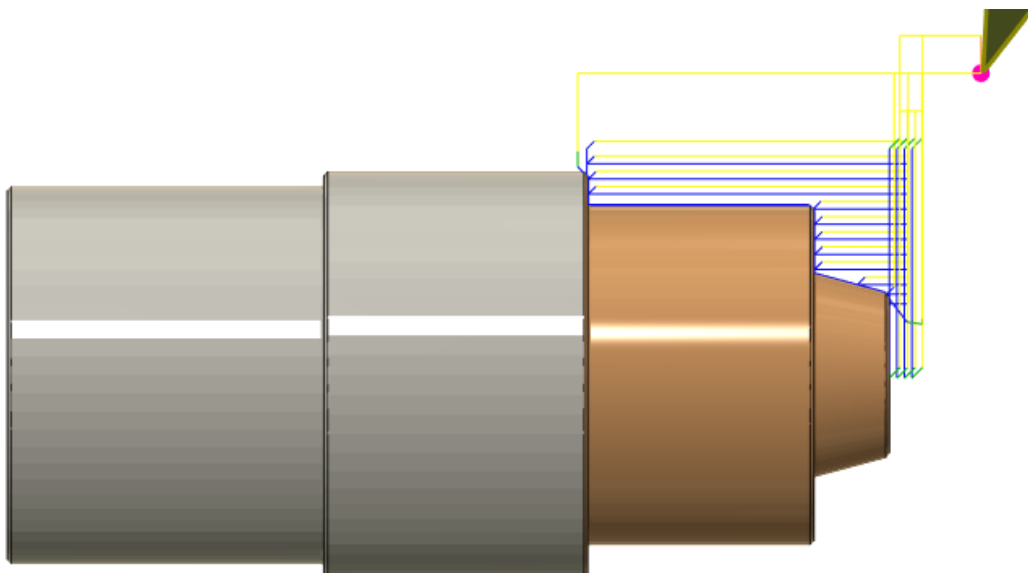


Obr. 41 Volba nulové bodu v Operaci 2

Stejně jako u Operace 1 pro hrubování i finiřování byla použita strategie Profile Roughing a Finishing. Byly zvoleny vhodné nástroje a definována geometrie (Obr. 42). Maximální hloubka řezu pro hrubování byla opět 2 mm a přídavek na finiřování 0,1 mm. Stepovers pro finiřování byly nastaveny stejné jako u předchozího setupu. Celý setup byl odsimulován pro kontrolu (Obr. 43).



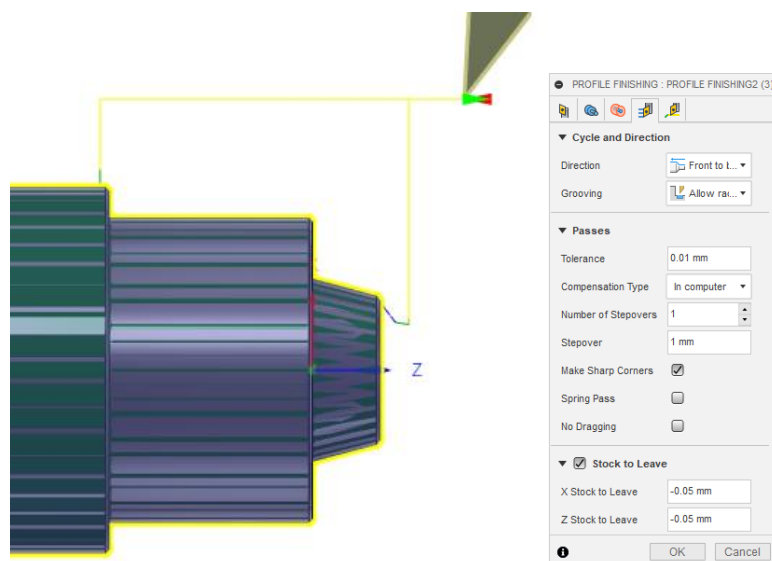
Obr. 42 Definování geometrie



Obr. 43 Simulace Operace 2

9.1.3 Rovnací operace

Tato operace sloužila k zamezení házení. Strategii Profile Finishing byla naprogramována tak, že se funkční část vždy po upnutí přípravku obrobí o 0,05 mm.



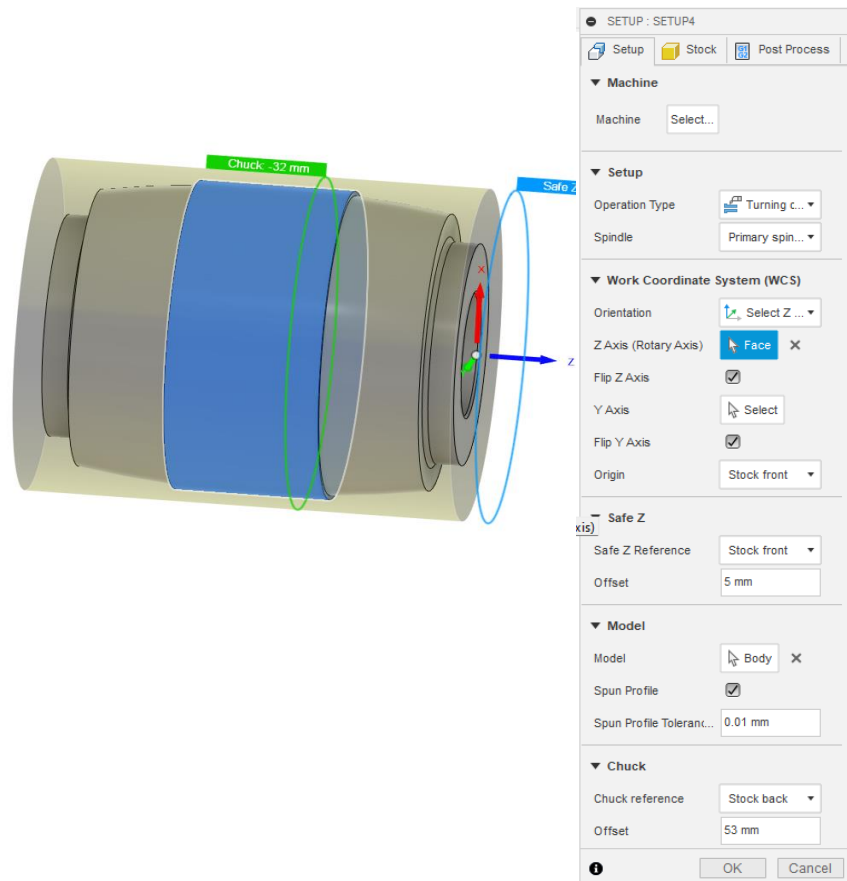
Obr. 44 Rovnací operace funkční části

9.2 Programování kladka

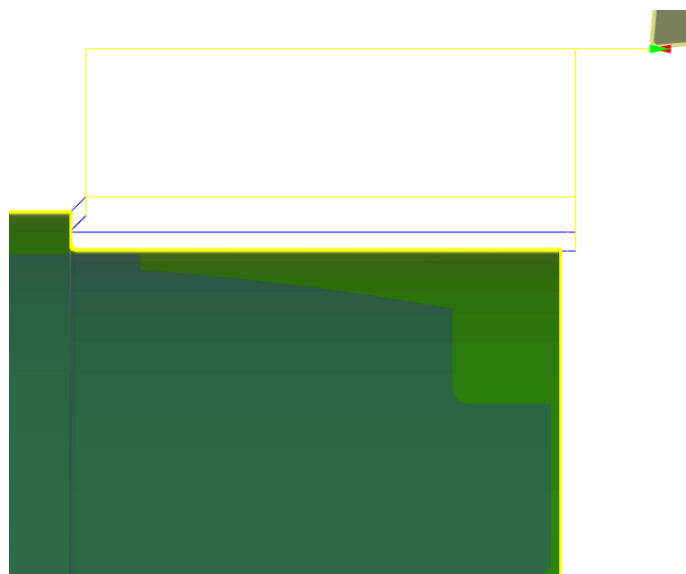
Obdobně jako u přípravku byl model kladky otevřen v programu Fusion 360, kde bylo přepnutu do prostředí programování soustružení. Bylo možné naprogramovat jednotlivé operace. Operace byly vyznačeny jako ve Výrobním postupu 2.

9.2.1 Operace 10 a 20

Operace 10 a 20 byly vztažené k soustružení v měkkém stavu. Byla založena nejdříve operace 10. Souřadnicový systém byl definován a byl zvolen nulový bod na polotovaru (Obr. 45). Byl nastaven požadovaný polotovar obrobku. Následně bylo provedeno programování jednotlivých strategií. První byla zvolena strategie Drill pro vyvrtání díry. Byl vybrán vytvořený destičkový vrták a určena díra jako geometrie pro vrtání. Dále strategie Face pro zarovnání čela, kde bylo nastaveno zarování ve třech stepoverech s přídavkem na dokončení 0,5 mm. Pomocí strategie Profile Roughing byla vyhrubována dostupná vnější kontura. Díra a zkosení byly dokončeny s přídavkem 0,1 mm pro tvrdé soustružení pomocí Profile Finishing. Celý setup byl na závěr simulován pro kontrolu kolizí.

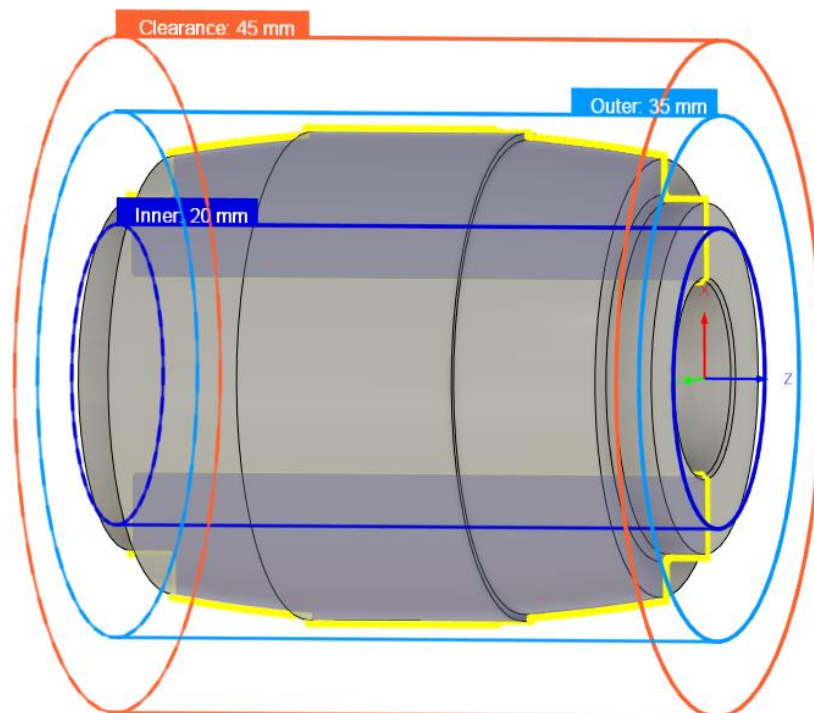


Obr. 45 Definování souřadného systému a volba nulového bodu

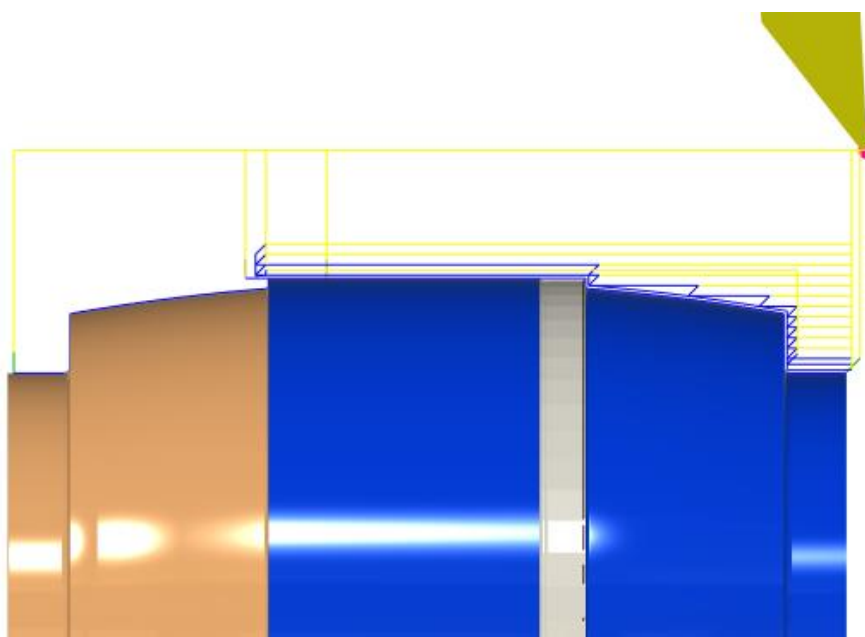


Obr. 46 Simulace obrábění vnější kontury

Operace 20 byla pro obrábění vnější kontury. Při nastavení setup u polotovaru bylo vycházeno z přechozí Operace 10. Nulový bod byl nastaven na čele obrobku. Kontura byla vyhrubována pomocí Profile Roughing s přídkem 0,5 mm. Kontura byla následně dokončena Profile Finishingem s přídkem 0,1 mm.



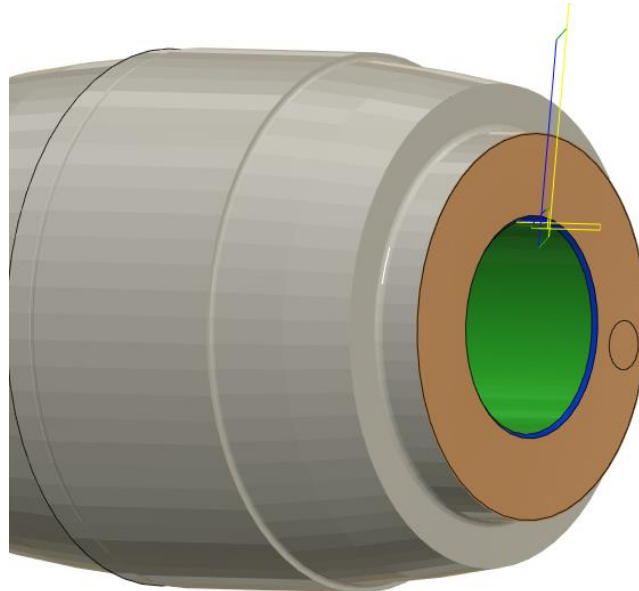
Obr. 47 Nastavení OD a ID



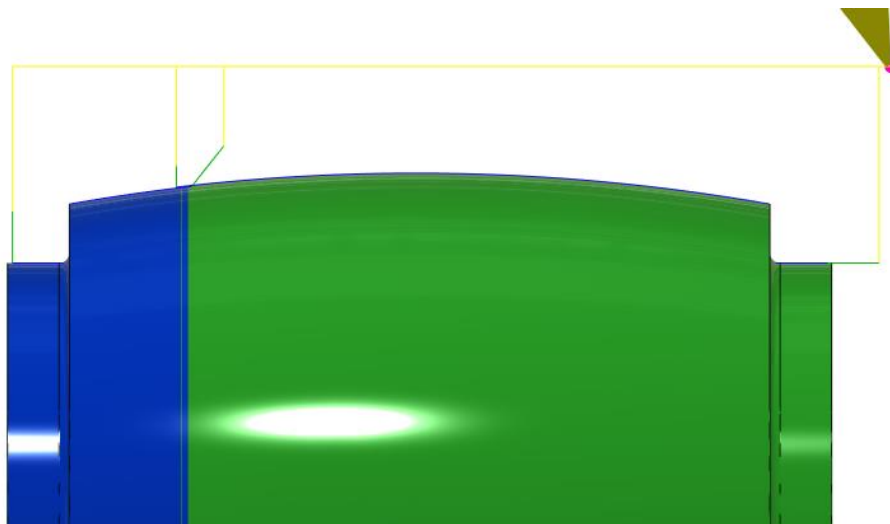
Obr. 48 Profile Roughing vnější kontury

9.2.2 Operace 40 a 50

Operace 40 a 50 byly označeny pro tvrdé soustružení. Zde už se vycházelo z předešlých operací. První bylo naprogramováno dokončení díry pomocí Profile finishing. Nástroj byl vybrán pro tvrdé soustružení a byla definována geometrie. Pomocí strategie Face bylo dokončeno čelo. Na závěr byla dokončena vnější kontura pomocí strategie Profile finishing.



Obr. 49 Profile finishing díry



Obr. 50 Dokončení vnější konutry

10 Výroba

Po naprogramování přípravku a kladek v CAM softwaru byla realizována výroba ve školních dílnách. Z hlediska podobnosti kladek byla vyrobena pouze vnější kladka (kvůli jejímu přídávku na upnutí) a k tomu samozřejmě přípravek. Obrábění bylo provedeno na soustruhu Okuma Genos L200EM.

10.1 Přípravek

První byla na řadě výroba přípravku. Na pásové pile byl uříznut z tyče polotovar $\varnothing 60$ -120 mm. Dále bylo potřeba nastavit čelisti pro upnutí polotovaru na průměr 60. Vedoucím bylo ukázáno, jak se nastavují, jak je potřeba je ofoukat a očistit kartáčem, když je dáváme do sklíčidla. Do čelistí byl upnut polotovar. Z CAM softwaru byl vygenerován NC program. Ten byl nahrán do stroje. Před obráběním byla provedena korekce nástrojů pomocí nástrojové sondy (Obr. 51). Po nastavení bylo spuštěno obrábění přípravku. Při nájezdu nástrojů byl snížen posuv a sledováno, jestli nástroj najíždí dobře a někde nekoliduje. Bez kolize byla vyhrubována upínací část přípravku a osazení. Následně bylo provedeno finišování kontury a zarovnání čela. Přípravek byl vyjmut a upnut do čelistí za obrobenou část. Zarovnálo se čelo, vyhrubovala se a dokončila funkční část přípravku. Přípravek byl vyjmut a upnut na frézku, kde byl ručně napsán program a vyvrtána díra pro kolík.



Obr. 51 Korekce nástrojů pomocí nástrojové sondy



Obr. 52 Obrobená funkční část přípravku

Kolíček

Kolíček je z oceli S500. Kolíček pro přenos kroutícího momentu byl vyroben na univerzálním soustruhu (Obr. 53). Polotovar pro kolíček byl ručně upnut do čelistí. Byly nastaveny otáčky na stroji a provedeno obrábění.



Obr. 53 Výroba kolíčku na univerzálním soustruhu

10.2 Soustružení měkký stav

S hotovým přípravkem bylo možné soustružit kladku v měkkém stavu. Opět bylo potřeba posunout čelisti pro upnutí polotovaru kladky. Správné nastavení čelistí bylo dosaženo na druhý pokus, při prvním nebyl polotovar upnut dostatečnou silou. Z CAMu byly vygenerovány stejně jako u přípravku NC programy a nahrány do stroje. Bylo provedena výměna nástrojů. Tam bylo potřeba rozmyslet umístění nástrojů v revolveru, aby nedocházelo ke kolizi jiného nástroje v revolveru s obrobkem nebo se sklíčidlem (např. vnější soustružnický nůž). Následně byla provedena korekce nástrojů pomocí nástrojové sondy.

Program byl spuštěn na stroji a začalo se obrábět. Opět byl snížen posuvu a sledován správný nájezd nástroje k obrobku. První byla vyvrtána díra, následovalo zarovnání čela, hrubování a finišování vnější kontury. Pomocí poháněného nástroje byla vyvrtána díra pro kolíček.

Součást byla vyjmuta. Čelisti byly nastaveny na rozměr přípravku a ten byl do nich upnut. Úchylkoměrem bylo zkontrolováno házení. Házení bylo $\pm 3 \mu\text{m}$. Funkční část byla zarovnána pomocí rovnacího programu pro eliminaci házení. Házení bylo následně nulové. Kladka s kolíčkem byla nasazena na přípravek a doražena koníkem. Zkontrolovalo se, jestli nástroje nebude kolidovat s koníkem (Obr. 55). Nástroj nekolidoval. Bylo spuštěno obrábění vnější kontury. Nejdříve bylo provedeno vyhrubování a následně finišování kontury s přídávkem. Při hrubování byla vytvářena nepřerušovaná špona, které se namotávala na obrobek. Pravděpodobně to bylo způsobeno opotřebením destičky. U finišování nebylo v CAM simulaci zjištěno, že nástroj zajíždí malinko do obrobku. To způsobilo malý úběr v oblasti technologického přídávku (Obr. 57), což ovšem nevadí, jelikož přídavek byl odebrán při tvrdém soustružení. Po obrobení byly pro kontrolu změřeny vybrané rozměry součásti.



Obr. 54 Upnutí kladky na přípravek



Obr. 55 Kontrola kolize nástroje s koníkem



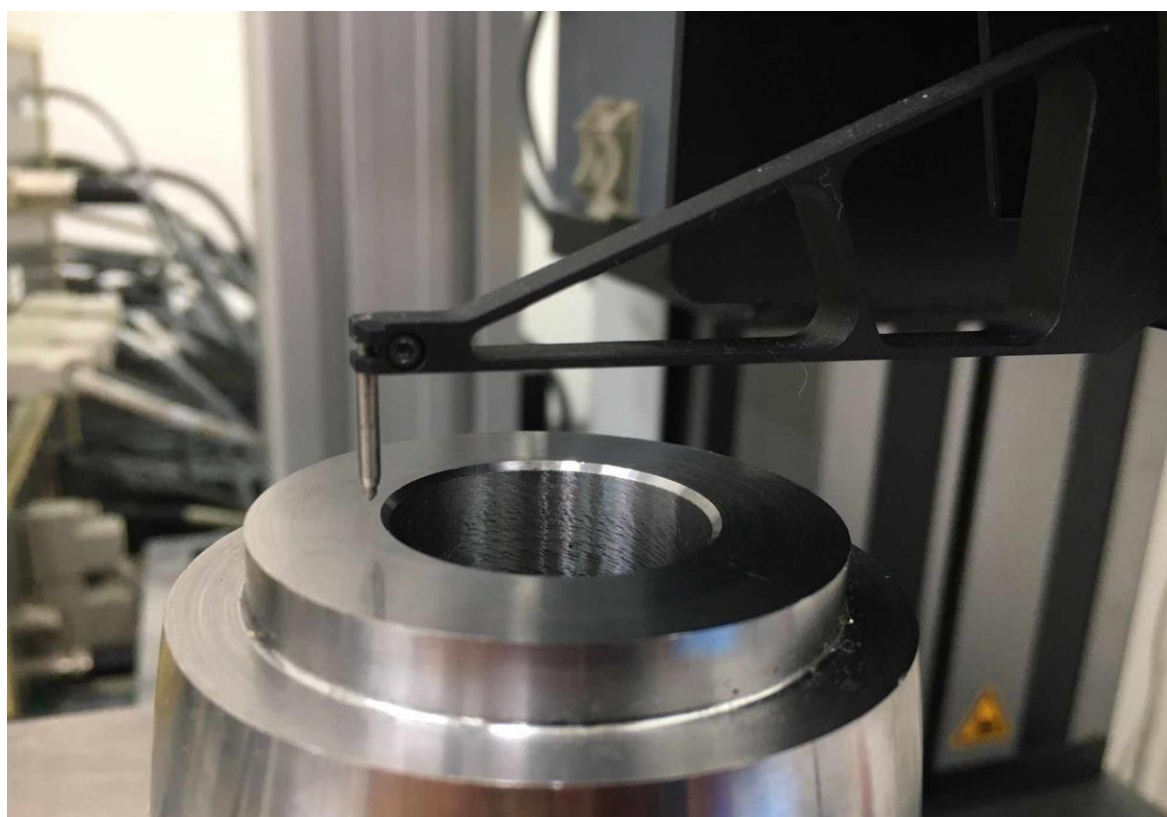
Obr. 56 Kontrola rozměru



Obr. 57 Zajetí nástroje do technologického přídavku

10.3 Soustružení tvrdý stav

Součást byla zakalena a přešlo se k obrábění v tvrdém stavu. Čelisti byli nastaveny na požadovaný průměr a obrobek byl upnut za technologický přídavek. NC program byl vygenerován a nahrán do soustruhu. Následně byla provedena výměna břitových destiček v požadovaných držácích a nástroje byly upnuty do zásobníku. Před samotným soustružením bylo potřeba provést korekce nástrojů. Z řídicího panelu stroje byl spuštěn program. Snížením posuvu byl sledován správný nájezd nástroje. První byla dosoustružená díra a následně čelo. Obrobek byl vyjmut a čelisti nastaveny pro upnutí přípravku. Přípravek byl upnut do čelistí a proběhla korekce nástrojů. Poté byla zarovnána funkční část přípravku pomocí rovnacího programu. Obrobek byl nasazen na zarovnaný přípravek a podepřen koníkem. Vnější kontura byla soustružena na čisto. Pro dokončení čela byl obrobek upnut na brusku pomocí magnetu. Broušení bylo provedeno na rovinné brusce Mikronex BRH 20 CNC.



Obr. 58 Měření drsnosti na koturografu

11 ZÁVĚR

V teoretické části byla rozebrána technologie tvrdého soustružení. Její princip a kdy je vhodné její využití. Dále byly porovnány její výhody oproti technologii broušení, které tvrdé soustružení v některých procesech nahrazuje. Byly rozděleny a popsány jednotlivé řezné materiály, které se používají pro danou technologii. Tudiž byla popsána řezná keramika, kubický nitrid boru a polykrystalický diamant. Dle katalogu od výrobce nástrojů Ceratizit byly nastíněny možné řezné podmínky pro tvrdé soustružení. Na závěr byly specifikovány požadavky kladené na soustruhy pro přesné tvrdé soustružení a byly uvedeni významní výrobci těchto strojů, kterými jsou například Hembrug, Hardinge, Schaublin a Hwacheon. V následující kapitole byly popsány možnosti upínání obrobků na soustruzích. Zde byla zmíněna sklíčidla, trny, kleštiny, upínání mezi hroty a čelní unašeč. Byl popsán daný způsob upnutí a vhodné využití daného upínacího způsobu. V poslední kapitole teoretické části byly popsány CNC stroje, jejich výhody, stavba a řízení a programování CNC soustruhů. K programování CNC byly uvedeny způsoby programování, souřadný systém a popis bodů v pracovní rovině stroje.

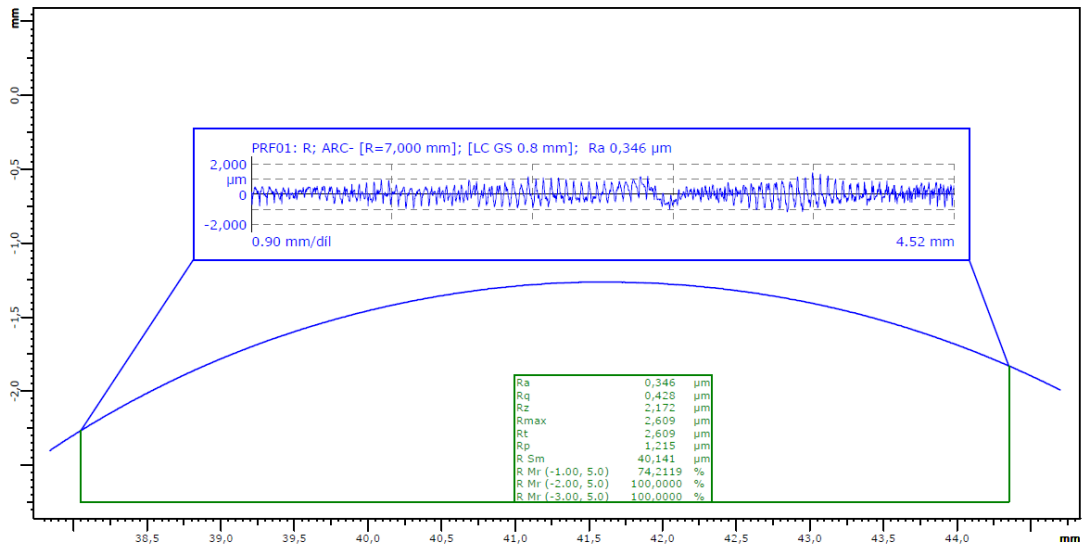
V praktické části byla realizována výroba kalené součásti. Jako součást byly zadány dvě tvářecí kladky, pro které bylo nutno navrhnout výrobní postup s využitím tvrdého soustružení. Z obdržných modelů byly vytvořeny výkresy v CAD softwaru. Následně byly zhotoveny dva výrobní postupy. U výrobních postupů bylo nutné zvolit vhodné upnutí a nástroje pro dodržení předepsaných přesností. Pro upnutí byly zvoleny tvrdé čelisti a přípravek. Přípravek byl navrhnout, naprogramován a vyroben. Zadané součásti byly naprogramovány stejně jako přípravek v CAM softwaru Fusion 360. Na soustruhu Okuma Genos LM200EM bylo provedeno soustružení přípravku i vnější kladky.

Hotová součást byla podrobena měření dosažených drsností na konturografu. K měření byl použit měřicí stroj MarTalk a snímač LD A 14-10-2 1197. Pro podmínky $V_c=210$ m/min, $a_p=0,05$ mm, $f=0,05$ mm/ot s jedním průchodem naprázdno bylo dosaženo drsnosti Ra viz Tabulka 8.

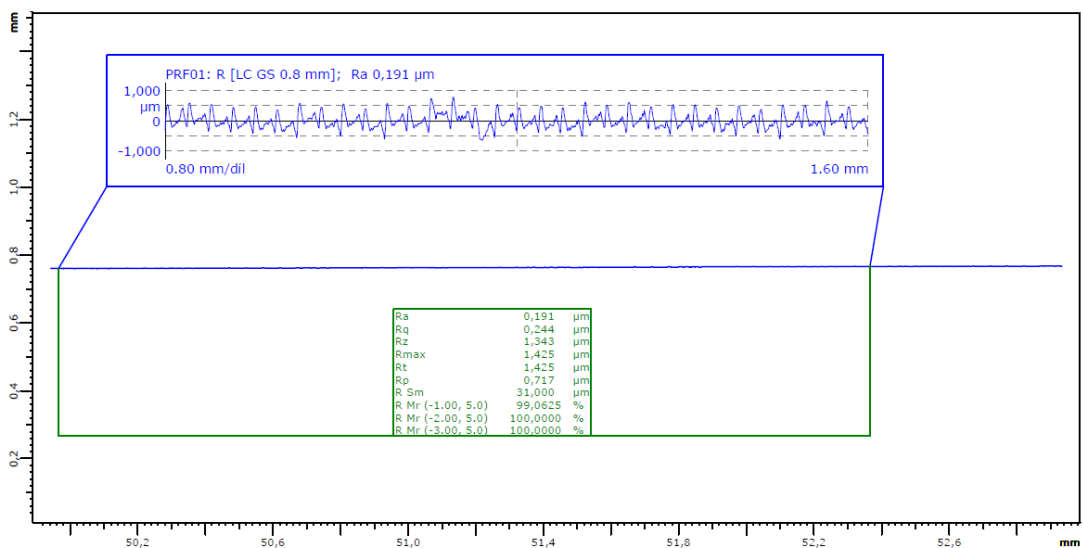
	Ra [μ m]
Čelo	0,250
Obvod	0,191
Vrchlík vnější plochy	0,346

Tabulka 8 Dosažené drsnosti soustružením

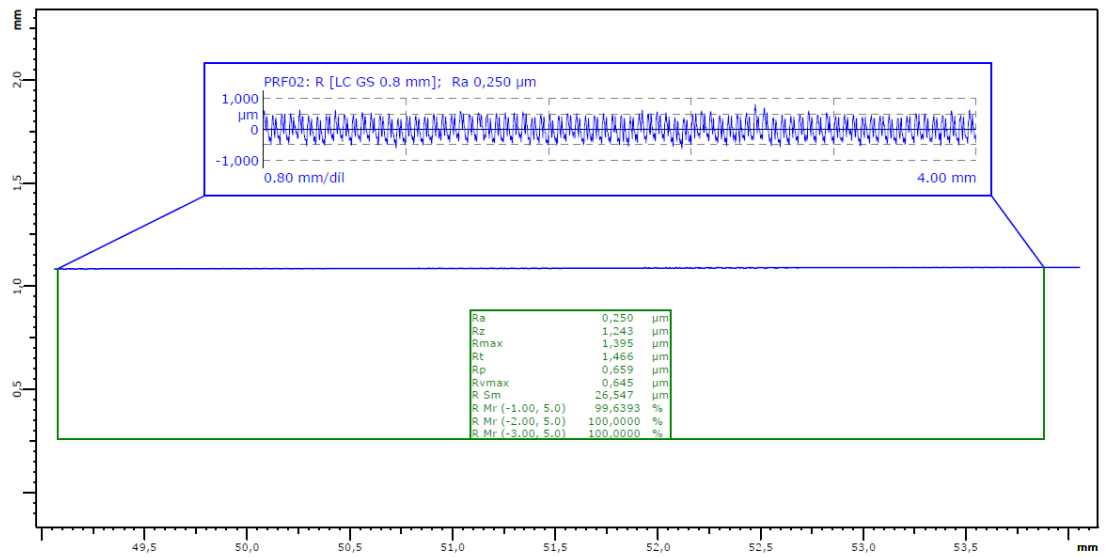
Při soustružení díry v tvrdém stavu nebylo dosaženo vyhovující kvality povrchu. Důvodem bylo použití běžného ocelového držáku typu A, který měl při soustružení malou tuhost. Pro dosažení potřebné kvality díry soustružením by bylo nutné použít celokarbidový držák. Ovšem pořízení takového držáku by bylo investičně náročné. Cena takového držáku je v násobcích ceny ocelového držáku.



Obr. 59 Graf dosažené drsnosti vrchlíku



Obr. 60 Graf dosažené drsnosti obvodu



Obr. 61 Graf dosažené drsnosti soustruženého čela

12 Bibliografie

- [1] Why hard turning can be an alternative to grinding for many applications. In: *HARDINGE* [online]. 2021 [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.hardinge.com/blog/turning/why-hard-turning-can-be-a-better-choice-than-grinding-for-many-applications/>
- [2] Hard Turnning. In: *MACHINE MFG* [online]. 2019 [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.machinemfg.com/hard-turning/>
- [3] What Is Hard Turning?. In: *Winndeavor* [online]. 2021 [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://winndeavor.com/what-is-hard-turning/>
- [4] Hard Turning vs. Grinding: What are the Facts?. In: *IPG PARTNERS IN PRECISION* [online]. 2021 [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://indianaprecisiongrinding.com/hard-turning-vs-grinding-what-are-the-facts/>
- [5] DANOBAT. *Grinding or hard turning* [online]. 2022 [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.danobat.com/en>
- [6] Nástrojové materiály. In: *SANDVIK Coromant* [online]. [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/cutting-tool-materials>
- [7] Keramika. In: *OSU* [online]. [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/03008.html>
- [8] CERATIZIT. *Ceratizit soustružení* [online]. 2023 [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: https://downloads.ceratizit.com/frontend/getcatalog.do?catalogId=501226#page_1
- [9] Hard Turning as an Alternative to Grinding. In: *PRODUCTION Machining* [online]. 2010 [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.productionmachining.com/articles/hard-turning-as-an-alternative-to-grinding>
- [10] Mikroturn. In: *DANOBAT* [online]. [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.danobat.com/en/horizontal-hard-turning-lathe/mikroturn>
- [11] HOLEŠOVSKÝ, František. *MATERIÁLY A TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ*. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, 1991.
- [12] FISCHER, Ulrich. *ZÁKLADY STROJNICTVÍ*. Praha: Europa Sobotáles, 2004.
- [13] JANYŠ, Bohumil. *Upínání obrobků na soustruhu 1*. Praha: SNTL, 1961.

- [14] Sklíčidla. In: *BOUKAL* [online]. [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: https://www.boukal.cz/sklidlo-3-celistove-standard-dk11-100-din-6350-litina/2003/produkt?gclid=CjwKCAjwтуOIBhBREiwA7agf1jrE1E0TiCjHqT7W897rIFwuS-KJriyCdTFCKjxA8gsBK54FUIYwxoCmBcQAvD_BwE
- [15] *BO-IMPORT NÁRADÍ-NÁSTROJE* [online]. [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: https://www.bo-import.cz/celist-tvrda-vnejsi-sada-3ks-csn-243849-tos-scvb-250-3-2-253200-p13912/?gclid=CjwKCAjwтуOIBhBREiwA7agf1osJVhCTGm2uRjEQoYYHxx_4ZFRWN-Qendotj1g9u6P-05MDu_O1axoCwBgQAvD_BwE
- [16] Upínání soustružnických nožů a obrobků. In: *ELUC* [online]. [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1222>
- [17] Upínání obrobků. In: *OSU* [online]. [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/lekce11.htm>
- [18] Upínání rotačních obrobků – 2. část. In: *T-support* [online]. [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.t-support.cz/kat/upinani-rotacnich-obrobku-2-cast-7>
- [19] *Hoffman Group* [online]. [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/upinaci-technika/soustruznicke-hroty/celni-unasec-s-morse-kuzelem/p/327403>
- [20] ROHM. *MANDRELS COLLET CHUCKS* [online]. In: . [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: https://www.roehm.biz/fileadmin/user_upload/produkte/PG7_Spanndorne_Spannzan-genfutter/_en/07_Mandrels_Collet_chucks_220323_en_web.pdf
- [21] *Obecný úvod do problematiky CNC programování* [online]. In: . Velká Bíteš [cit. 2023-07-22]. Dostupné z: https://www.sosbites.cz/images/stories/Pro-studenty/studijni-materialy/VUKOV_TEXT_-_1.ST.pdf
- [22] ŠTULPA, Miloslav. *CNC-Programování obráběcích strojů*. Praha: GRada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [23] OVERBY, Alan. *CNC MACHINING Handbook: Building, Programming and Implementation*. New York: McGraw-Hill, 2010. ISBN 978-0-07-162301-8.
- [24] POLÁŠEK, Jaromír. *ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ STROJE* [online]. Kopřivnice, 2007 [cit. 2023-07-23]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U31_Cislicove_rizene_stroje.pdf

- [25] NĚMEC, Václav a Stanislav DLOUHÝ. *PROGRAMOVÁNÍ CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ*. Ledec nad Sázavou, 2013. Dostupné také z: https://www.gvi.cz/Aton/FileRepository/aton_file_repository_HtmlEditorRepositoryDoc/Root/Projekty/Cnc.pdf
- [26] Co jsou to CNC obráběcí stroje. In: *Profika obráběcí stroje* [online]. [cit. 2023-07-23]. Dostupné z: <https://www.profika.cz/co-jsou-to-cnc-obrabeci-stroje>
- [27] Jak se připravuje NC program pro CNC obráběcí stroje?. In: *Technický portál* [online]. 2018 [cit. 2023-07-23]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/prumyslovy-software/jak-se-pripravuje-nc-program-pro-cnc-obrabeci-stroje_45223.html
- [28] TOMÍČEK, Jan. *Automatizace programování obráběcích strojů: Dokončovací strategie Geometrie vs. Technologie* [online]. In: . Praha [cit. 2023-07-23]. Dostupné z: https://moodle-vyuka.cvut.cz/pluginfile.php/538496/mod_resource/content/1/2022_05_APOS_Dokoncení_Technol_CAM.pdf

13 Seznam tabulek

Tabulka 1 Řezné parametry pro CBN destičky [8]	15
Tabulka 2 Popis struktur bloku [22]	25
Tabulka 3 Popis k obrázkům ve výrobním postupu.....	30
Tabulka 4 Výrobní postup 1.....	32
Tabulka 5 Používané nástroje ve Výrobnímu postup 1	33
Tabulka 6 Výrobní postup 2.....	35
Tabulka 7 Používané nástroje ve Výrobním postupu 2	36
Tabulka 8 Dosažené drsnosti soustružením	56

14 Seznam obrázků

Obr. 1 Destička z ŘK [6].....	13
Obr. 2 Destička z CBN [6].....	14
Obr. 3 Destička z PCD [6]	15
Obr. 4 Soustruh Mikrotorn od firmy Hembrug [10]	16
Obr. 5 Univerzální sklíčidlo [14].....	17
Obr. 6 Tvrdé čelisti (vlevo) a měkké čelisti (vpravo) [14] [15].....	18
Obr. 7 Schéma upínání mezi hroty [16].....	18
Obr. 8 Otočný upínací hrot [17].....	19
Obr. 9 Možnosti provedení unášecího srdce [17]	19
Obr. 10 Upnutí pomocí čelního unašeče [19].....	19
Obr. 11 Kleština od firmy Rohm [20]	20
Obr. 12 Tvary otvorů kleštiny [13].....	20
Obr. 13 Kuželový trn (vlevo) a válcový trn (vpravo) [16].....	21
Obr. 14 Rozpínací trn [16].....	21
Obr. 15 Blokové schéma CNC stroje [22].....	22
Obr. 16 Kartézský souřadný systém	23
Obr. 17 Souřadný systém CNC soustruhu [24]	24
Obr. 18 Schéma bodů v pracovním prostoru CNC soustruhu [25].....	24
Obr. 19 Blok CNC programu [21]	25
Obr. 20 Rozdělení příkazu [21]	26
Obr. 21 Příklad tvorby programu v softwaru Mikroprog	26
Obr. 22 Programování přímo na stroji.....	27
Obr. 23 Programování na PC	27
Obr. 24 Tvářecí kladka vnější.....	29
Obr. 25 Tvářecí kladka vnitřní.....	29
Obr. 26 Vnější kontura součástí.....	36
Obr. 27 Způsob upnutí do dlouhých čelistí.....	37
Obr. 28 Technologický přídavek	37
Obr. 29 Převedení náčrtu do CADu	38
Obr. 30 Vizualizace sestavy.....	39
Obr. 31 Návrh 2 varianty s 30°	39

Obr. 32 Návrh 2 varianta s 60°	40
Obr. 33 Vizualizace varianty s 30°	40
Obr. 34 Návrh finálního přípravku	41
Obr. 35 Model finálního přípravku	41
Obr. 36 Tvorba nástroje do knihovny nástrojů	42
Obr. 37 Definování souřadného systému a nulového bodu.....	43
Obr. 38 Zobrazení drah nástroje Operace 1	43
Obr. 39 Simulace Profile finishing.....	44
Obr. 40 Nastavení stepoverů.....	44
Obr. 41 Volba nulové bodu v Operaci 2	44
Obr. 42 Definování geometrie	45
Obr. 43 Simulace Operace 2	45
Obr. 44 Rovnací operace funkční části	46
Obr. 45 Definování souřadného systému a volba nulového bodu.....	47
Obr. 46 Simulace obrábění vnější kontury	47
Obr. 47 Nastavení OD a ID	48
Obr. 48 Profile Roughing vnější kontury.....	48
Obr. 49 Profile finishing díry	49
Obr. 50 Dokončení vnější konutry	49
Obr. 51 Korekce nástrojů pomocí nástrojové sondy	50
Obr. 52 Obrobená funkční část přípravku	51
Obr. 53 Výroba kolíčku na univerzálním soustruhu	51
Obr. 54 Upnutí kladky na přípravek.....	53
Obr. 55 Kontrola kolize nástroje s koníkem	53
Obr. 56 Kontrola rozměru.....	54
Obr. 57 Zajištění nástroje do technologického přídávku	54
Obr. 58 Měření drsnosti na koturografu	55
Obr. 59 Graf dosažené drsnosti vrchlíku	57
Obr. 60 Graf dosažené drsnosti obvodu.....	57
Obr. 61 Graf dosažené drsnosti soustruženého čela.....	58