Programování a CNC výroba upínacího prvku

Lukáš Vejvoda

Bakalářská práce
2024

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Lukáš Vejvoda**
Osobní číslo:	**T21353**
Studijní program:	**B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor:	**Technologická zařízení**
Forma studia:	**Kombinovaná**
Téma práce:	**Programování a CNC výroba upínacího prvku**

Zásady pro vypracování

- Teoretická studie na dané téma
- Vytvoření programu pro obrábění na CNC soustruhu
- Vytvoření technologické dokumentace
- Výroba součásti a výstupní kontrola

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

Seznam doporučené literatury:

ŠTULPA, Miloslav. CNC: programování obráběcích strojů. Praha: Grada, 2015, 240 s. ISBN 9788024752693.
KOCMAN, K., PROKOP, J.: Technologie obrábění. Brno. Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0
BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. Výrobní inženýrství a technologie. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2014, 173 s. ISBN 9788074544712
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.

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

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. 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 4. března 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA
BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- 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 – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

…….

podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je podrobnější seznámení s problematikou CNC strojů, zejména s důrazem na soustruhy, a také s procesem tvorby programu v řídícím systému Sinumerik, s jehož pomocí bude vyroben upínací díl. Hlavním záměrem je nejen zahájit výrobní proces, ale také optimalizovat výrobu prostřednictvím úpravy obráběcích podmínek tak, aby bylo dosaženo co nejefektivnější a nejekonomičtější výroby.

Bakalářská práce je rozdělena do dvou částí, teoretické a praktické. Teoretická část pojednává jednak o CNC strojích, jejich historii, vývoji, charakteristice, výhodách a nevýhodách, schématu, dále o programování, způsobech a možnostech programování, skladbě programu, a také o obráběcích operacích soustružení, frézování a vrtání.

V praktické části je provedeno programování CNC stroje v řídícím systému Sinumerik a popsán postup při výrobě upínacího dílce.

Klíčová slova: CNC, programování, soustružení

ABSTRACT

The aim of the bachelor thesis is a more detailed introduction to CNC machines, especially with emphasis on lathes, and also to the process of creating a program in the Sinumerik control system, which will be used to produce a clamping part. The main aim is not only to start the production process, but also to optimize the production by adjusting the machining conditions to achieve the most efficient and economical production.

The bachelor thesis is divided into two parts, theoretical and practical. The theoretical part deals on the one hand with CNC machines, their history, development, characteristics, advantages and disadvantages, schematics, as well as programming, programming methods and options, program composition, and also the machining operations of turning, milling and drilling.

In the practical part, the programming of the CNC machine in the Sinumerik control system is performed and the procedure for the production of the fixture is described.

Keywords: CNC, Programming, Turning

Rád bych vyjádřil svou vděčnost všem, kteří mi poskytli užitečné rady a připomínky, jež mi pomohly při úspěšném dokončení této práce. Zvláště bych chtěl poděkovat mému vedoucímu práce, panu doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. , za jeho vstřícnost, cenné poznámky a čas, který mi věnoval při konzultacích. Rovněž děkuji společnosti, která mi umožnila využívat své strojní vybavení a poskytla mi prostor a čas k realizaci praktické části této práce.

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

OBSAH

ÚVOD **10**
I TEORETICKÁ ČÁST **11**
1 CNC STROJE **12**
1.1 OBECNÉ TERMÍNY 12
1.2 HISTORIE ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH STROJŮ 14
1.3 GENERACE ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH STROJŮ 15
1.4 CHARAKTERISTIKA ŘÍZENÍ CNC STROJŮ 16
1.5 VÝHODY A NEVÝHODY CNC A KONVENČNÍCH STROJŮ 17
1.6 SCHÉMA CNC STROJE 18
1.7 SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM CNC STROJE 19
2 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJE **22**
2.1 MANUÁLNÍ PROGRAMOVÁNÍ A ZA POMOCÍ CAD SYSTÉMŮ 22
2.2 VYBRANÉ ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY CNC STROJŮ 24
2.3 DŮLEŽITÉ VZTAŽNÉ BODY NA CNC STROJI 24
2.4 SKLADBA PROGRAMU V ŘÍDÍCÍM SYSTÉMU SINUMERIK 26
2.5 G A M FUNKCE 27
3.1 SOUSTRUŽENÍ 29
3.1.1 Základy soustružení 29
3.1.2 Nástroje pro soustružení 30
3.2 FRÉZOVÁNÍ 33
3.2.1 Základy frézování 34
3.2.2 Nástroje pro frézování 34
3.3 VRTÁNÍ 35
3.3.1 Základy vrtání 36
3.3.2 Nástroje pro vrtání 36
II PRAKTICKÁ ČÁST **41**
6 POLOTOVAR A VÝKRES SOUČÁSTI **44**
7 PŘÍPRAVA CNC STROJE A NASTAVENÍ PRACOVNÍCH NÁSTROJŮ PRO OBRÁBĚNÍ **46**
8 PROGRAMOVÁNÍ **51**
8.1 HLAVIČKA PROGRAMU 51
8.2 OPRACOVÁNÍ ČELA OBROBKU 53
8.3 VNĚJŠÍ KONTURA 54
8.4 STŘEDOVÉ VRTÁNÍ 58
8.5 ČÁSTEČNÝ ÚPICH 59

8.6 FRÉZOVÁNÍ 60
8.7 OPRACOVÁNÍ STŘEDOVÉ DÍRY NAHRUBO 62
8.8 VRTÁNÍ 63
8.9 OPRACOVÁNÍ STŘEDOVÉ DÍRY NA HOTOVO 65
8.10 ÚPICH 67
8.11 STRUKTURA PROGRAMU A NASTAVENÍ OPTIMÁLNÍCH ŘEZNÝCH PODMÍNEK 68
9 VÝSTUPNÍ MĚŘENÍ 71
10 VYHODNOCENÍ VÝROBY 73
11 DISKUZE 74
ZÁVĚR 75
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 76
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 78
SEZNAM OBRÁZKŮ 79
SEZNAM TABULEK 80
SEZNAM PŘÍLOH 81

ÚVOD

Dnešní doba je svědkem výrazné dominance CNC strojů v průmyslových podnicích, kde se staly nezbytnou součástí vybavení výrobních hal. Tato zařízení zajišťují efektivní a precizní výrobu, přičemž jsou schopna dosahovat vysoké úrovně přesnosti a opakovatelnosti výrobků, a to i za předpokladu, že vyžadují časově náročné programování. Jedním z klíčových benefitů je značné snížení rizika lidské chyby v procesu výroby, což přináší významné úspory a zvýšenou spolehlivost výrobních operací.

Zvolené téma bakalářské práce vyplývá z mého osobního zájmu a odborné zkušenosti s prací na CNC strojích. Programování a úpravu programů vnímám jako kreativní a naplňující činnost, a proto jsem se k dané problematice vrátil prostřednictvím mého výzkumu.

V teoretické části bakalářské práce se zaměřím na komplexní prozkoumání historie a vývoje CNC strojů a jejich programování, zejména v kontextu použití řídícího systému Sinumerik. Cílem této části je poskytnout ucelený pohled na technologický vývoj těchto strojů a důkladné pochopení základních principů a postupů programování.

V praktické části práce se budu zabývat konkrétní realizací výroby dle přiložené výkresové dokumentace. Klíčovým aspektem bude optimalizace výrobního procesu s cílem dosažení zvýšení efektivity a produktivity výroby. Zahrnuje to analýzu a implementaci strategií pro zefektivnění obrábění, včetně optimalizace obráběcích podmínek a procesů. Tato část práce bude zaměřena na praktickou aplikaci teoretických poznatků a strategií v reálném výrobním prostředí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CNC STROJE

CNC (Computer Numerical Control) stroje představují významný milník v oblasti obráběcích technologií, kde automatizace a digitální řízení procesů přinášejí výrazné zvýšení efektivity a přesnosti výroby. Oproti konvenčním strojům, které jsou řízeny přímo obsluhou na základě mechanických příkazů, CNC stroje pracují na základě instrukcí generovaných a řízených počítačem. [1]

Jedním ze strategických prvků CNC strojů je kontrolní jednotka, která interpretuje digitální program a řídí pohyby stroje podle přesně definovaných parametrů. Toto digitální ovládání umožňuje vysoce precizní a opakovatelné operace a eliminuje mnoho lidských chyb spojených s manuálním ovládáním stroje. [1]

Díky CNC technologii je možné dosáhnout vyšších rychlostí a přesností při obrábění, a to vede ke zvýšení produktivity a kvality výroby. Zároveň umožňuje snadnější implementaci složitějších geometrických tvarů a vzorů, kterých by bylo konvenčními metodami obtížné nebo nemožné dosáhnout. [1]

Další výhodou CNC strojů je jejich schopnost obrábět širokou škálu materiálů, včetně kovů, plastů, dřeva a keramiky, s maximální účinností a přesností. To je důležité pro mnoho průmyslových odvětví, jako je automobilový průmysl, letecký průmysl, strojírenství a výroba nástrojů. [1]

Nicméně, je třeba zdůraznit, že správná tvorba a optimalizace CNC programů vyžaduje specifické znalosti a dovednosti. Chyby v programování mohou vést k vážným problémům a ztrátám, a proto je důležité, aby obsluha stroje měla odpovídající školení a zkušenosti. [1]

Celkově lze konstatovat, že CNC stroje jsou klíčovým prvkem moderního průmyslu, umožňujícím dosáhnout vyšší úrovně automatizace, přesnosti a efektivity výrobních procesů. Jsou nepostradatelným nástrojem pro konkurenceschopnost a inovace v současném globálním trhu. [1]

1.1 Obecné termíny

1. Numerické řízení (NC)

- Představuje automatizované řízení činností stroje pomocí zařízení, které zpracovává digitální data, zachovávající současnou kontinuitu procesu. Tato technologie umožňuje přesné a opakovatelné programování pohybů a operací stroje. [2]

2. Číslicové řízení počítačem (CNC)

- Rozšiřuje koncept numerického řízení o využití počítače ke zpracování dat a řízení stroje. CNC stroje poskytují sofistikovanější programování a větší flexibilitu ve výrobě. [2]

3. Distribuované číslicové řízení (DNC)

- Systém pro distribuci informací mezi počítačem řízenou výrobou a NC stroji. Tento systém umožňuje centrální ovládání a aktualizaci programů a dat v NC strojích. [2]

4. Osa

- Je základní směr, v němž se stroj pohybuje lineárně nebo rotačně. NC stroje mohou mít více os, což dovoluje pohyb ve více směrech a provádění složitých operací. [2]

5. Snímač

- Je součástí stroje, měří určitou fyzikální veličinu a převádí ji na elektrický signál, který vyjadřuje velikost této veličiny. Senzory jsou nepostradatelné pro správnou funkci NC strojů a zajišťují přesnost a spolehlivost měření. [2]

6. Absolutní rozměr

- Udává vzdálenost nebo úhly měřené od počátku souřadného systému, zatímco přírůstkový rozměr udává vzdálenost nebo úhly měřené od posledního bodu určeného v sekvenci měření. Tyto rozměry jsou zásadní pro správné umístění a pohyb nástroje při obrábění. [2]

7. Nejmenší zadaný přírůstek

- Je nejmenší hodnota, kterou lze zadat pro pohyb v určité ose. Tato hodnota určuje přesnost a jemnost pohybů stroje. [2]

8. Interpolace

- Je proces určování mezilehlých bodů mezi známými body na požadované dráze. Tento proces vede k plynulým a přesným pohybům stroje při vykonávání různých operací. [2]

9. Adaptivní řízení

- Je řídící program korigující parametry řídícího systému na základě podmínek vyhodnocovaných během provozu. Tento mechanismus poskytuje optimalizaci výrobních procesů a dosažení lepších výsledků. [2]

10. Procesor

- Na základě programu provádí procesor výpočty pro příslušný výrobek a připravuje data pro polohy řezných nástrojů. Tento program je důležitým prvkem v CNC strojích a zajišťuje správné provedení výrobních operací. [2]

11. Postprocesor

- Je program upravující CAD data na program pro obrábění specifický pro daný stroj. Tento program dovoluje kompatibilitu mezi CAD/CAM systémem a konkrétním CNC strojem a zajišťuje správné provedení výrobních operací na daném stroji. [2]

1.2 Historie číslicově řízených strojů

John T. Parsons z firmy Parsons Corp. je považován za vynálezce číslicově řízených strojů (CNC). Jeho motivací k vynálezu byla potřeba výroby přesných listů rotorů pro vrtulníky, která ho přivedla na myšlenku využít numerické řízení. V roce 1942 se poprvé zabýval tímto konceptem, avšak potýkal se s problémy způsobenými použitím děrných štítků. [3]

Pro vyřešení těchto obtíží se Parsons v roce 1949 obrátil na Massachusettský technologický institut (MIT), jakožto předního odborníka v oblasti mechanických výpočtů a zpětnovazebných systémů. I přes určité neshody získal Parsons v roce 1958 patent USA na svůj vynález. [3]

- Prvním komerčně prodávaným CNC strojem byl Milwaukee-Matic II, vyráběný firmou Kearney & Trecker Corporation, který se objevil v roce 1959. Stroj byl kompletně řízen numericky a disponoval automatickou výměnou nástrojů. [3,4]
- V průběhu šedesátých let se začaly objevovat první tranzistorové NC systémy a první výrobní linky vybavené CNC stroji. V téže době, na počátku šedesátých let, dokázala firma ZPS Hulín vyvinout první číslicově řízený soustruh v tehdejším Československu. [3;6]
- V sedmdesátých letech došlo k revoluci v konstrukci NC strojů s příchodem kuličkových šroubů a hydrostatického vedení. Toto desetiletí také přineslo první

soustružnická centra s poháněnými nástroji a vybavení NC strojů pamětí pro ukládání programů. Koncem sedmdesátých let se objevily první obráběcí stroje s minipočítači.[3]

- V osmdesátých letech byly CNC stroje vybavovány senzory pro přesnou identifikaci a sledování pohybů. Řídící systémy začaly využívat multiprocesorové mikropočítačové struktury. [3]
- V devadesátých letech minulého století začaly stroje disponovat velkokapacitními zásobníky a mezioperační dopravou pro nástroje i obrobky. CNC stroje dosáhly velké přesnosti a efektivity výroby a na trh začaly přicházet stroje integrované s CAD/CAM systémy. [3]
- Ve 21. století dochází k vývoji obráběcích center nové generace, která integrují technologické operace a synchronizují hardware i software. Snahou je také zapojení umělé inteligence do systému řízení, což by mohlo vést k dalšímu zvýšení efektivity a přesnosti výrobních procesů. [3;5]

1.3 Generace číslicově řízených strojů

Generace číslicově řízených strojů představuje postupný vývoj a inovace v oblasti CNC technologií, které umožňují stále efektivnější a přesnější výrobu součástek. Z historického hlediska lze rozlišit několik důležitých vývojových generací:

První generace vývoje

- Zahrnuje stroje, které byly upraveny z konvenčních obráběcích strojů a přizpůsobeny pro použití s NC řídícími systémy. Tyto stroje představovaly první krok k automatizaci a přesnějšímu řízení výrobních procesů. [6]

Druhá vývojová generace

- Přinesla stroje navržené již s ohledem na číslicové řízení. Stroje disponovaly automatickou výměnou nástrojů a dopravníkem třísek, což výrazně zvyšovalo jejich efektivitu a automatizaci. [6]

Třetí generace strojů

- Vyznačovala se možností využití jak samostatně, tak v rámci automatizovaných výrobních linek. Stroje byly schopny automatizovaně vyměňovat obrobky a jejich zásobníky nástrojů byly rozšířeny na větší kapacitu. [6]

Čtvrtá vývojová generace

- Představuje plně automatické stroje, které se vyznačují schopností automaticky vyměňovat opotřebované nástroje, polotovary a manipulovat s třískami. Tyto stroje jsou ideální pro nepřetržitý provoz a hromadnou výrobu. [6]

Pátá generace vývoje

- Je zásadní inovací v oblasti měření obrobku během operace, elektrické kompenzace polohy nástroje, korekce programů pro dodržení přesných rozměrů dle výkresové dokumentace a laserového odměřování polohy pro optimalizaci řezných podmínek. [6]

Šestá vývojová generace

- Staví na zkušenostech předchozích generací a klade důraz na zvýšení efektivity práce. Stroje této generace dosahují vysokých rychlostí obrábění, umožňují víceosé a suché obrábění, zkracují čas potřebný pro výměnu nástroje a dosahují extrémních přesností v řádech desetin mikrometru. Důležitou součástí těchto strojů je i vzdálená diagnostika, která dovoluje monitorovat a řídit provoz stroje na dálku. [6;7]

1.4 Charakteristika řízení CNC strojů

Funkce řízení CNC strojů zahrnují několik klíčových aspektů, které lze kategorizovat podle různých hledisek:

1. Podle využití zpětné vazby:

    - Bez zpětné vazby: Vstupní signál je převeden na pohyb stroje, ale není zpětná vazba o reálné poloze nebo rychlosti.
    - Se zpětnou vazbou: Zadávací signál je průběžně porovnáván se zpětnovazebním signálem a zjištěná odchylka je korigována.

2. Dle pohybu v souřadnicích:

    - Pravoúhlé: Pohyby se vykonávají postupně v jednotlivých osách. Tento zastaralý systém se v moderních CNC strojích již nepoužívá.
    - Souvislé řízení:
        - 2D: Realizuje lineární nebo rotační pohyb ve dvou osách.
        - 2,5D: Umožňuje lineární interpolaci ve všech třech osách, často využívané při frézování.

- 5D: Pohyb nástroje ve všech třech osách se provádí současně, to dovoluje obrábět obecně definované plochy.

3. Podle způsobu programování:

- G90 (absolutní programování): Zadává konečný bod pojezdu nástroje vztažený k nulovému bodu obrobku.
- G91 (inkrementální programování): Souřadnice jsou zadávány relativně k poslednímu bodu a udávají vykonanou vzdálenost. Může se kombinovat s absolutním programováním. [1]

1.5 Výhody a nevýhody CNC a konvenčních strojů

Využití CNC (číslicově řízených) strojů přináší řadu výhod, ale i několik nevýhod, které je důležité zvážit při jejich nasazení.

Výhody:

1. Nižší nároky na kvalifikaci obsluhy:

- Programy pro CNC stroje mohou být vytvořeny programátory, což snižuje potřebu vysoce kvalifikované obsluhy.

2. Vyšší kvalita výrobku:

- CNC stroje dovolují precizní a opakovaně přesné provedení operací, a to vede k vyšší kvalitě výsledného výrobku.

3. Efektivnější a ekonomičtější výroba:

- Díky optimalizaci procesů a snížení lidských chyb je výroba na CNC strojích obvykle efektivnější a ekonomičtější.

4. Snížení možnosti lidských chyb:

- Automatizace procesů na CNC strojích minimalizuje riziko lidských chyb a zvyšuje konzistenci výrobku.

5. Výroba složitých tvarů:

- CNC stroje umožňují výrobu výrobků s velmi složitými tvary, toto není často možné s konvenčními stroji.

6. Rychlá změna programů:

- Programy pro CNC stroje lze rychle a snadno měnit nebo upravovat podle potřeby.

7. Efektivní plánování výroby:

- Díky pevně stanoveným programům je možné velmi efektivně plánovat výrobu a přesně odhadovat výrobní časy.

Nevýhody:

1. Vyšší nároky na kvalifikaci programátorů:

- Pro programování CNC strojů je zapotřebí vyšší úroveň kvalifikace, to může zvyšovat náklady na školení programátorů.

2. Vyšší pořizovací cena a provozní náklady:

- CNC stroje mají obvykle vyšší pořizovací cenu než konvenční stroje a vyžadují také investice do provozu a servisu.

3. Složitější technologická příprava výroby:

- Příprava výroby na CNC strojích může být složitější a vyžadovat pečlivé plánování a nastavení parametrů stroje. [8]

1.6 Schéma CNC stroje

Schéma CNC stroje poskytuje ucelený pohled na jeho hlavní komponenty a jejich funkce (obr. 1).

Podrobný popis jednotlivých částí je následující:

1. Počítač:

- Jedná se o průmyslový počítač s nahraným řídícím systémem.
- Monitor s ovládacím panelem slouží k obsluze stroje a umožňuje provádět potřebné příkazy.
- Počítač může sestavovat programy přímo na stroji nebo je lze vytvořit mimo stroj a nahrát je do jeho paměti.

2. Řídící obvody:

- Tyto obvody převádějí logické signály na silnoproudé, kterými se přímo ovládají jednotlivé části stroje, například motory vřetene a posuvů, ventily atd.

3. Interpolátor:

- Zajišťuje správnou dráhu nástroje a jeho korekci pro dosažení přesného geometrického tvaru.

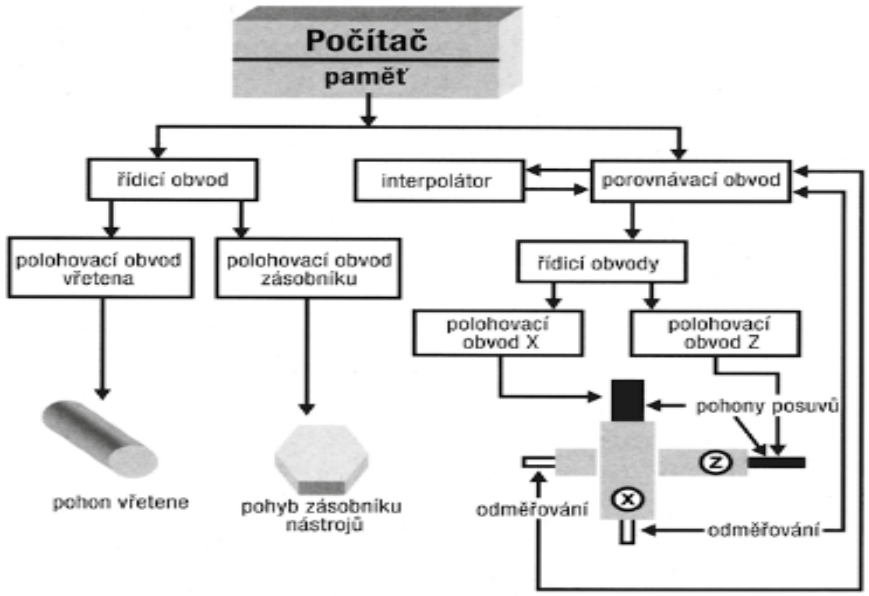
4. Porovnávací obvod:

- Tento obvod upravuje pohyby na základě zpětné vazby o skutečné poloze a požadované poloze nástroje, aby byly v souladu se zadanými hodnotami.

5. Řídící panel:

- Slouží k obsluze stroje a umožňuje přístup k programu a dalším potřebným funkcím.

Obrázek schématu CNC stroje umožňuje rychlé pochopení uspořádání a funkčnosti těchto klíčových komponentů, což je zásadní pro úspěšnou obsluhu a provoz stroje. [9]



Obrázek 1 Schéma CNC stroje [9]

1.7 Souřadnicový systém CNC stroje

Nejdůležitějším prvkem je souřadnicový systém CNC stroje , který dovoluje přesné určení polohy a pohybu nástroje v prostoru (obr. 2).

Podrobný popis tohoto systému zní takto:

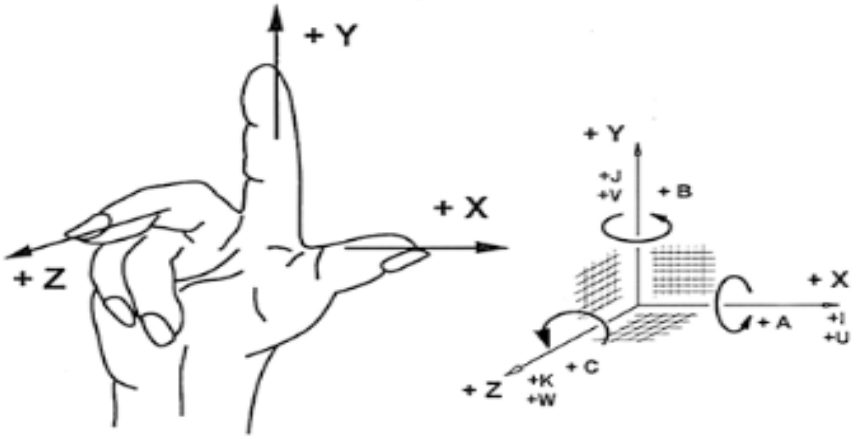
1. Definice souřadnicového systému:

- Kartézský souřadnicový systém je definován normou ČSN ISO 841 Terminologie os a pohybů.
- Jedná se o pravotočivý a pravoúhlý systém se třemi základními osami: *X, Y* a *Z*.
- Osa *X* je hlavní osou v rovině upínání obrobku a její kladný směr směřuje od obrobku k nástroji.
- Osa *Y* je kolmá na osu *X* a směřuje vodorovně.
- Osa *Z* je rovnoběžná s osou pracovního vřetene a má kladný směr směrem od vřetene k nástroji.

2. Otáčivé osy:

- Kromě základních os *X, Y* a *Z* mohou CNC stroje disponovat i otáčivými osami *A*, *B* a *C*, které jsou rovnoběžné se základními osami.
- Tyto otáčivé osy umožňují stroji provádět pohyby v dalších směrech a jsou klíčové pro obrábění složitých geometrií.

Souřadnicový systém CNC stroje poskytuje přesné a jednoznačné určení polohy a směru pohybu nástroje v prostoru, což je zásadní pro dosažení přesných a kvalitních obráběcích operací. [1;9]



Obrázek 2 Znázornění souřadnicového systému [9]

2 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJE

Programovat CNC stroje lze ručně nebo za pomocí CAD systémů, případně v součinnosti CAD/CAM systémů. Proces programování prošel určitým vývojem a v současné době se nejčastěji používají čtyři řídící systémy. [10]

2.1 Manuální programování a za pomocí CAD systémů

Programování v kontextu CNC strojů představuje klíčový proces pro vytváření výrobků. V dnešní době existují dva základní způsoby programování, z nichž každý má své specifické vlastnosti a využití. [9]

Ruční programování CNC strojů

- Je proces, při kterém obsluha stroje komunikuje se zařízením pomocí čísel a symbolů s cílem dosáhnout přesné výroby dílce. Tento program se skládá ze sekvencí instrukcí, jež řídí pohyb stroje a definují postup obrábění. Jednotlivé instrukce vytvářejí kontury programu určující rozměry a tvar výsledného dílce. [9]
    - Typický CNC program může obsahovat různé kontury, které odpovídají jednotlivým fázím obrábění. Například první kontura může sloužit k vyrovnání čela materiálu, zatímco následující kontura může provádět detailnější obrobení povrchu. Složitější výrobky často vyžadují větší počet kontur přesně definujících jednotlivé části dílce a postup jejich zpracování. [9]
    - Kromě samotných kontur obsahuje CNC program také informace o použitém nástroji k provedení každé kontury, a o řezných podmínkách ovlivňujících způsob, jakým bude materiál obráběn. Tyto informace zahrnují například rychlost řezu, hloubku řezu a další parametry, zásadní pro dosažení požadované kvality a přesnosti výroby. [9]
    - Ruční programování CNC strojů vyžaduje od obsluhy detailní znalost stroje, materiálu a procesů obrábění. Je nutné pečlivě analyzovat požadavky výroby a správně interpretovat technické výkresy a specifikace dílce. Každá chyba v programu může mít negativní dopad na kvalitu výrobku a způsobit ztrátu času a materiálu. [9]
    - Navzdory náročnosti je ruční programování stále využíváno v mnoha průmyslových odvětvích, zejména tam, kde se vyrábí menší série nebo jedinečné

dílce, které nejsou vhodné pro plně automatizované provozy. Pro tyto aplikace poskytuje ruční programování flexibilitu a možnost přizpůsobení se specifickým požadavkům výroby. [9]

Programování pomocí CAD/CAM

- zaujalo nezastupitelnou roli v moderním průmyslu, zvláště v dynamických odvětvích jako je automobilový a letecký průmysl. Tato technologie umožňuje modelování výrobků v 3D prostředí a poskytuje sofistikované nástroje pro návrh, simulaci a výrobu. [9;11]
    - CAD (Computer-Aided Design) je automatizovaný systém pro návrh, kreslení a vizualizaci grafických informací, který umožňuje inženýrům a návrhářům vytvářet detailní a přesné digitální modely výrobků. Proces zahrnuje vytváření geometrických tvarů, definování materiálů a specifikací komponentů, a to vše v digitálním prostoru. [9;12]
    - Jednou z hlavních výhod CAD je schopnost rychlé iterace a úpravy návrhů. Díky tomu mohou inženýři testovat různé varianty designu a provádět analýzy, aniž by bylo nutné vytvářet fyzické prototypy. To výrazně urychluje vývojový proces a umožňuje rychlejší reakci na změny a požadavky trhu. [9]
    - CAM (Computer-Aided Manufacturing) je další důležitou součástí CAD/CAM systému. Pomocí této technologie lze převádět digitální návrhy z CAD do instrukcí pro stroje a zařízení používané při výrobě. CAM software generuje řídící kódy pro CNC stroje, roboty a další zařízení, což vede k automatizaci výroby a optimalizaci procesů. [9]
    - Integrace CAD a CAM umožňuje plně digitální workflow od návrhu až po výrobu. To znamená, že změny provedené v CAD systému se automaticky promítnou do výrobního procesu, to minimalizuje chyby a zkracuje čas potřebný k uvádění výrobků na trh. [9]
    - V automobilovém a leteckém průmyslu, kde je kladen důraz na přesnost, kvalitu a efektivitu, je CAD/CAM nezbytným nástrojem pro konkurenceschopnost. Tato technologie napomáhá inženýrům dosáhnout vyšší úrovně výkonu a efektivity ve vývoji a výrobě výrobků, a to je důležité pro úspěch v moderním a konkurenčním průmyslu. [9]

2.2 Vybrané řídící systémy CNC strojů

Řídící systémy jako Sinumerik, Heidenhain, Mazatrol a Fanuc patří mezi nejběžněji používané systémy v průmyslovém sektoru, zejména v oblasti CNC obrábění. Tyto systémy vznikly s cílem zjednodušit a zrychlit proces programování CNC strojů v porovnání s tradičním programováním pomocí ISO kódů. [9]

- Programy pro tyto řídící systémy jsou obvykle strukturovány do jednotlivých cyklů, které určují postup a operace při obrábění. První cyklus programu většinou obsahuje definici materiálu a další důležité parametry. Následující cykly pak reprezentují jednotlivé operace obrábění, jako je například frézování, soustružení nebo vrtání. [9]
- Přestože tyto systémy poskytují uživatelům možnost programovat pomocí předdefinovaných cyklů a funkcí, které usnadňují vytváření programů, stále vyžadují rozsáhlou softwarovou podporu. Jednotlivé cykly mohou obsahovat až stovky řádků kódu v ISO formátu, do kterého jsou tyto cykly převedeny automaticky bez zásahu obsluhy. To znamená, že obsluha stroje nemusí být obeznámena s detaily konkrétního kódu, ale může pracovat s abstraktnějšími funkcemi a příkazy. [9]
- I přesto, že tyto řídící systémy nabízejí uživatelům jednoduchost a efektivitu v programování pomocí předdefinovaných cyklů, stále existuje možnost programovat v klasickém ISO kódu. To umožňuje zkušenějším uživatelům přizpůsobit programy podle specifických potřeb a provádět pokročilé úpravy nebo ladění operací obrábění. [9]

2.3 Důležité vztažné body na CNC stroji

Vztažné body na CNC stroji jsou pevně definované body v pracovním prostoru stroje (obr. 3).

1. Nulový bod stroje (označený M)

- Představuje výchozí bod pro souřadnicový systém a referenční body na CNC stroji. Tento bod je pevně stanoven výrobcem a typicky se nachází v ose rotace, na čelní straně vřetene. Jeho správná definice je klíčová pro určení polohy stroje v pracovním prostoru a zajišťuje správné provádění programovaných operací. [13]

2. Nulový bod obrobku (označený W)

- Je určován obsluhou stroje a slouží k sjednocení nulového bodu programu s nulovým bodem polotovaru. Existují dva základní způsoby stanovení tohoto bodu. Prvním

z nich je posunutí souřadnicového systému z nulového bodu stroje pomocí příkazů G54-G59. Po této úpravě je nutné polotovar přesně umístit do stanoveného bodu, případně použít dorazu, který polotovar upne v požadované poloze. Druhou možností je stanovení nulového bodu obrobku na místě kontaktu nástroje s polotovarem při pomalém příjezdu stroje. Jedná se o tzv. naškrábnutí. [13]

3. Referenční bod stroje (označený R)

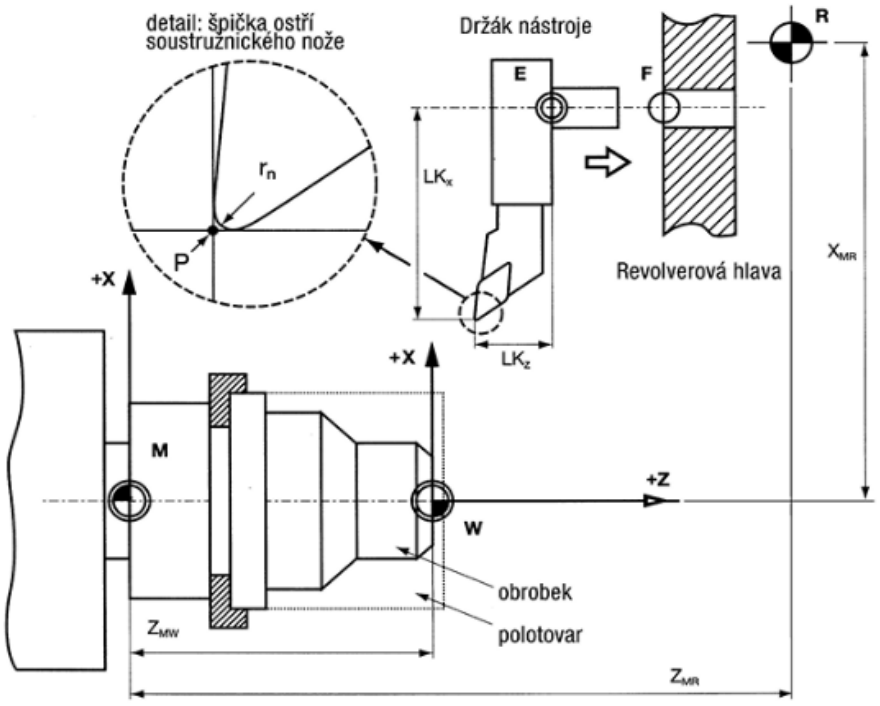
- Je pevně definován výrobcem a je realizován pomocí koncových spínačů. Jeho najetím dochází k sjednocení odměřovacího systému stroje, což je zásadní pro dosažení opakovatelnosti měření a obrábění. [13]

4. Bod špičky nástroje (označený P)

- Je důležitý pro stanovení korekce nástrojů v osách kartézských souřadnic. Tento bod slouží k upřesnění polohy nástroje a zároveň se využívá pro korekci zaoblení špičky nože, což má vliv na přesnost provedených operací. [13]

5. Bod výměny nástroje

- Je bezpečný bod, kde lze provést výměnu nástroje. Obsluha stroje najede suportem na tuto pozici, kde je zajištěn bezpečný prostor pro manipulaci s nástroji. Po dosažení této pozice je bod potvrzen v programu, a to umožňuje bezpečnou a efektivní výměnu nástrojů během provozu stroje. [13]



Obrázek 3 Vztažné body na CNC soustruhu [13]

2.4 Skladba programu v řídícím systému Sinumerik

Programování CNC strojů představuje komplexní proces, který vyžaduje pečlivou přípravu a plánování.

- Před samotným psaním programu je nezbytné, aby programátor přesně zvážil, jakým způsobem bude polotovar obráběn, protože cílem je minimalizace výskytu chyb a zajištění optimálních výsledků. Tento proces zahrnuje důkladné studium technické dokumentace, identifikaci vhodného nulového bodu, volbu nástrojů a jejich pozic v revolverové hlavě stroje, a také definici posloupnosti jednotlivých operací. [14]
- Je nutné, aby měl programátor jasno v uvedených otázkách, neboť neexistuje univerzální postup, který by se dal aplikovat na všechny situace. Každý programátor musí brát v úvahu specifika daného procesu obrábění a vycházet z konkrétních potřeb a požadavků. [14]
- Jakmile jsou všechny důležité aspekty zohledněny, může programátor přistoupit k samotnému psaní programu pro CNC stroj. Program se obvykle skládá ze tří

základních bloků. Prvním blokem je hlavička, kam jsou zadávány parametry, které zůstávají v platnosti pro celý program. Patří sem informace o polotovaru, bezpečné orientaci nástroje v pracovním prostoru stroje a údaje pro simulaci programu. [14]

- Následují programové bloky, nazývané kontury, kde jsou definovány jednotlivé operace, které má stroj vykonat. Obsahem každé kontury je specifikace pro danou operaci a připojení příslušného nástroje s řeznými podmínkami. [14]
- Posledním blokem programu je blok, označený jako "konec programu", který informuje o dokončení operace nebo může obsahovat instrukce pro opakování programu, například v případě výroby více kusů stejného dílu. Celkově je tedy programování CNC stroje náročným a zodpovědným procesem, který vyžaduje odborné znalosti a pečlivou přípravu. [14]

2.5 G a M funkce

Dříve programování probíhalo v ISO kódu, byl to způsob programování, kdy instrukce byly psány po řádcích a jeden program mohl obsahovat stovky řádků. Postup byl velmi zdlouhavý a složitý, čímž se zvyšovala pravděpodobnost chyb způsobených lidským faktorem.

- Při tvorbě programu se využívalo G a M funkcí, které sloužily k řízení různých funkcí stroje (tab. 1). I v současnosti je možné tyto funkce zkombinovat s moderními programovacími technikami. [15]
    - Například přidáním jednoho řádku kódu je možné zastavit stroj v průběhu obrábění, přesně v daný moment, a provést tak kontrolní měření nebo další úpravy. Níže uvedené tabulky poskytují přehled nejpoužívanějších G a M funkcí, které se používají k řízení různých operací stroje a programování CNC zařízení. [15]

Tabulka 1 Základní G a M funkce [1 upraveno]

Označení funkce	Význam funkce
G 00	rychlé lineární polohování (rychloposuv)
G 01	lineární interpolace (obrábění pracovními posuvy po přímce)
G 02	kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček (zhotovení zaoblení)
G 03	kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček (zhotovení zaoblení)
G 04	časová prodleva (např. upínání obrobku robotem)
G 17	základní pracovní rovina XY (využití u frézek)
G 18	základní pracovní rovina ZX (využití u frézek)
G 19	základní pracovní rovina YZ (využití u frézek)
G 33	řezání závitu
G 40	zrušení korekce dráhy nástroje
G 41	korekce dráhy nástroje vlevo od obrysu obrobku
G 42	korekce dráhy nástroje vpravo od obrysu obrobku
G 54 až G 59	přesuny nulového bodu
G 90	absolutní programování
G 91	přírůstkové (inkrementální) programování
M 00	programovatelný stop programu
M 03	otáčky vřetene ve směru hodinových ručiček
M 04	otáčky vřetene proti směru hodinových ručiček
M 05	zastavení vřetene – vřeteno stop
M 06	výměna nástroje
M 07	zapnutí mazání
M 08	zapnutí chlazení
M 09	vypnutí chlazení
M 30	konec programu

3 OBRÁBĚCÍ OPERACE

Mezi základní obráběcí operace patří soustružení, frézování a vrtání.

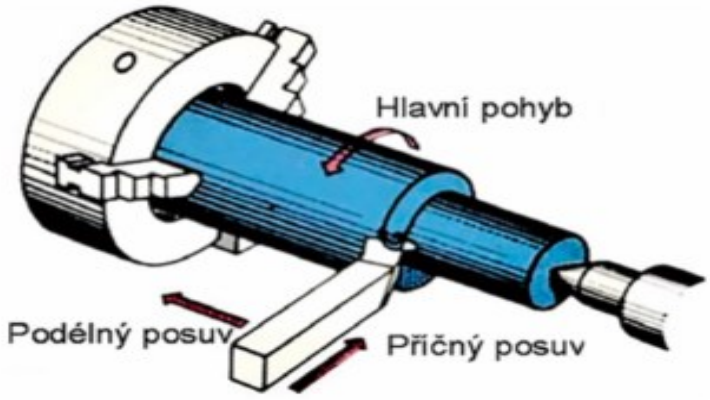
3.1 Soustružení

Soustružení je druh třískového obrábění, kdy se odstraňuje materiál z rotačně symetrického polotovaru soustružnickým nožem.

3.1.1 Základy soustružení

U soustružení, jedné z klíčových technologií obrábění, obrobek vykonává hlavní rotační pohyb. Pohyb nástroje, který tvoří vedlejší pohyby, probíhá buď podél anebo kolmo na osu obrobku, a lze ho rozdělit na podélný posuv a příčný posuv (obr. 4). Touto metodou obrábění se dosahuje precizní tvorby různých geometrických tvarů na povrchu obrobku. [16]

- Podélný posuv je pohyb nástroje ve směru osy obrobku, zatímco příčný posuv probíhá kolmo na tuto osu. Tímto způsobem lze dosahovat různorodých geometrických tvarů na povrchu obrobku, včetně vnitřních a vnějších ploch válcového či kuželového charakteru, tvarových ploch, závitů, zápichů, či upichování materiálu. Soustružení také umožňuje provádění osových operací, jako je vrtání, vystružování či zahlubování. [16;17]
- Moderní soustruhy jsou často vybaveny funkcí poháněných nástrojů, které jsou umístěny v revolverové hlavě a jsou řízeny osou polohy vřetene, označovanou jako osa *C*. Tato technologie umožňuje provádět obráběcí operace mimo osu rotace obrobku, což poskytuje vyšší úroveň flexibility a efektivity při zpracování součástek. [16]



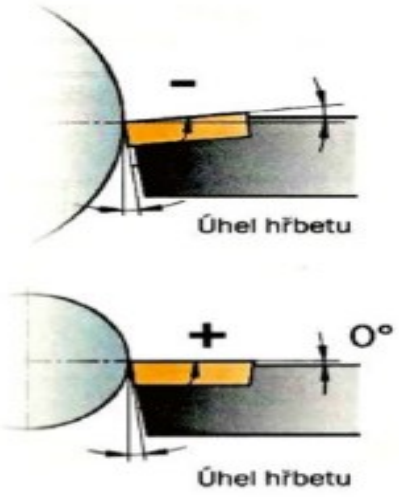
Obrázek 4 Soustružení [16]

3.1.2 Nástroje pro soustružení

V procesu soustružení, kde kvalita a efektivita nástroje ovlivňuje výslednou podobu obrobku, je klíčovým prvkem soustružnický nůž. Tradiční nástroje byly zpravidla vyrobeny z rychlořezné oceli nebo měly naletovaný plátek ze slinutého karbidu, avšak v současné době přináší mnoho výhod v oblasti flexibility a ekonomičnosti používání držáků s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD).

Břitové destičky pro soustružení jsou k dispozici ve dvou základních tvarových provedeních: negativním a pozitivním (obr. 5).

- Negativní provedení: Vyznačuje se obdélníkovým profilem VBD v řezu a úhlem hřbetu alfa, kterého se dosahuje sklonem lůžka pro břitovou destičku v držáku vzhledem k upínací základně. Tento design umožňuje využití destičky z obou stran a tím se výrazně zvyšuje efektivita a snižují náklady.
- Pozitivní provedení: Břitová destička je obvykle usazena rovnoběžně s upínací základnou držáku, s úhlem hřbetu vytvořeným přímo na destičce. To znamená, že destičku nelze otočit „vzhůru nohama“, což však přináší výhodu v redukci řezných sil a lepším utváření třísky během obrábění. [16]



Obrázek 5 Základní tvary VBD [16]

Moderní nástroje pro soustružení kombinují tradiční principy s inovativními technologiemi, to vede k dosažení vyšší přesnosti a efektivity při zpracování obrobků. Použití VBD v držácích nástrojů poskytuje výrobním firmám flexibilitu při výběru optimálních nástrojů pro konkrétní aplikace a přispívá k minimalizaci časových ztrát a nákladů spojených s údržbou a výměnou nástrojů. [16]

Nože použité při praktické části

Hrubovací nůž

- Hlavní prvek v procesu soustružení, jehož primárním cílem je rychlé a účinné odstraňování materiálu zpracovávaného dílce. Tento nůž je vybaven negativní břitovou destičkou, která disponuje čtyřmi řeznými hranami s nástrojovými úhly a výrazným rádiusem destičky. Hlavní charakteristikou tohoto nástroje je jeho schopnost snášet velké silové a tepelné namáhání, což umožňuje efektivní a agresivní odstraňování třísky při použití velkého posuvu. Velký rádius destičky zajišťuje stabilitu a odolnost nástroje v průběhu obrábění, čímž se optimalizuje výkonu a prodlužuje životnost nástroje. [16]

Dokončovací nůž

- Důležitý prvek v procesu soustružení, jehož účelem je dosáhnout vysoké přesnosti a kvality povrchu zpracovávaných součástí. Tento nůž je vybaven pozitivní břitovou destičkou, která disponuje dvěma řeznými hranami, umožňujícími precizní obrábění materiálu. Jeho hlavní charakteristikou je schopnost odstraňovat malou třísku, což je klíčové pro dosažení hladkých a přesných povrchů součástí. Dokončovací nůž je navržen tak, aby zajistil kolmost válcových a čelních ploch, tedy zásadu pro správnou geometrii a rozměrovou přesnost zpracovávaných dílců. Nůž je konstruován s malým rádiusem, který je striktně omezen normou. Tato specifikace dovoluje dosažení požadovaného kvalitního povrchu a minimalizuje riziko vzniku nežádoucích defektů na obrobené ploše. Při použití dokončovacího nože se volí menší posuv, kterým se jemněji a precizněji zpracovává materiál v závislosti na požadovaném povrchu. Zároveň se zvyšuje řezná rychlost a tím dojde k efektivnějšímu obrábění součástí. [16]

Nůž na soustružení čela s negativní břitovou destičkou

- Klíčový nástroj pro obrábění předních částí součástí. Jeho konstrukce a funkce navazují na tradiční uběrací nůž používaný v konvenčních soustružnických strojích. Tento typ

nože je optimalizován pro zvládání větších úběrů třísek a rychlejší odstranění materiálu. V dnešní době, kdy je dostupná moderní technologie a přesnost dělení materiálu na pilách je vysoká, účel použití nože na soustružení čela postupně ztrácí na významu. Přestože je schopen efektivně zpracovat materiál s většími úběry třísek, v mnoha případech není nutný, pokud není kladen velký důraz na kvalitu povrchu čela. V případech, kdy není požadována vysoká jakost povrchu čela, je možné použít hrubovací nůž k zarovnání čela. [16]

Vnitřní nůž, osazený pozitivní břitovou destičkou (obr. 6)

- Důležitý prvek pro soustružení vnitřních otvorů a dutin. Jedná se o antivibrační nástroj, který značně eliminuje chvění i při velkém vysunutí, a to je zásadní pro dosažení přesných a kvalitních výsledků. Při volbě vnitřního nože je obecně doporučováno preferovat co největší možnou variantu, aby se dosáhlo efektivního zpracování materiálu a minimalizací vibrací. Ideálně by měl být nůž vybrán podle předem vyvrtaných nebo jinak připravených děr s minimálním vyložením, což přispívá k přesnému a stabilnímu řezání. Zásadní roli v procesu soustružení hraje i volba řezných podmínek pro vnitřní nůž. Cílem je dosáhnout článkovité třísky, která se na rozdíl od dlouhé třísky nezamotává na nůž. Pomocí rotace obrobku a tlakové chladící kapaliny je tříska odváděna pryč z díry, čímž je zajištěn plynulý průběh obrábění a minimalizace riziko problémů spojených s odstraňováním třísky. [16]

Obrázek 6 Vnitřní uběrací nůž

Upichování se řadí mezi nejrizikovější operace při soustružení, a proto je důležité věnovat zvláštní pozornost výběru a použití správného nástroje pro tuto úlohu. Upichovací nůž se šířkou břitu 4 mm je jednou z variant řešení. Hlavním problémem při upichování je neadekvátní odvádění třísky, která dosahuje stejné velikosti jako vznikající drážka, což může vést k potížím při řezání a zvětšovat riziko nežádoucích událostí. Tento problém se zhoršuje s hloubkou drážky, a proto je nezbytné mít k dispozici nůž, který je v absolutním pořádku, správně upnutý a jeho destička není nadměrně opotřebovaná. Kromě kvalitního nástroje je rozhodující také volba optimálních řezných podmínek, zejména co se týče řezné rychlosti (otáček). Při upichování se totiž průměr obráběného materiálu zásadně mění, a proto je třeba na tuto skutečnost vzpomenout již při začátku tvorby programu a nastavit maximální otáčky stroje odpovídající danému procesu. Správně provedené upichování s použitím vhodného nástroje a optimálních řezných podmínek je klíčem k dosažení vysoké přesnosti a kvality zpracování soustružených dílů.[16]

3.2 Frézování

Frézování je obráběcí technika, při které se odstraňuje materiál z polotovaru pomocí otáčejícího se nástroje zvaného fréza.

3.2.1 Základy frézování

Frézování představuje klíčovou metodu třískového obrábění. Využívá se k odstraňování materiálu pomocí frézy. Proces je založen na pohybu frézy, která se rotačně pohybuje kolem své osy a postupně se zařezává do obrobku. Hlavním pohybem je rotační pohyb frézy, zatímco vedlejším pohybem je posuvný pohyb obrobku.

- Fréza je nástroj s více řeznými hranami, rozmístěnými na povrchu válcové, čelní, kuželové nebo jiné plochy, přičemž osa těchto ploch je shodná s osou otáčení frézy. Každý zub frézy během obrábění odstraňuje třísku, čímž dochází k postupnému formování požadovaného tvaru na obrobku. Aby byla zajištěna stabilita a minimalizováno chvění frézy během procesu frézování, je žádoucí, aby byl v záběru co nejvyšší počet zubů. Tímto způsobem se rozloží síly a tlaky působící na nástroj a zároveň se optimalizuje proces odstraňování materiálu, což vede k vyšší přesnosti a kvalitě zpracování. [16]

3.2.2 Nástroje pro frézování

Fréza slouží jako základní nástroj pro frézování, tedy procesu, při němž se materiál odstraňuje pomocí otáčejícího se nástroje s řadou řezných hran, nazývaných zuby. Každý zub při obrábění odstraňuje materiál a vytváří tak přerušovaný řez. Většina zubů frézy není kontinuálně v kontaktu s obrobkem, čímž se minimalizuje tření a tepelné namáhání. Konstrukce a tvar frézy jsou specifické pro danou aplikaci, tvar obrobku a použitý materiál.

- Moderní frézy jsou často navrženy tak, aby využívaly výměnné břitové destičky (VBD), podobně jako u soustružnických nožů. Materiál a konstrukce fréz se odvíjejí od charakteristik obráběného materiálu. VBD může být vyroben z různých materiálů a může být povlakován, tím se zvyšuje odolnost a prodlužuje životnost nástroje. Počet zubů na fréze se může lišit v závislosti na průměru a typu frézy. [16]

Existuje několik základních typů monolitických fréz (obr. 7):

1. Čelní válcová (stopková) fréza
    - Používá se pro frézování rovných povrchů a drážek. Je charakterizována válcovým tvarem s řadou zubů na povrchu a stopkou pro upevnění v nástrojovém držáku.

2. Nástrčná válcová fréza

- Využívá se k frézování větších plochých oblastí, kde je potřeba rychlého a účinného odstranění materiálu.

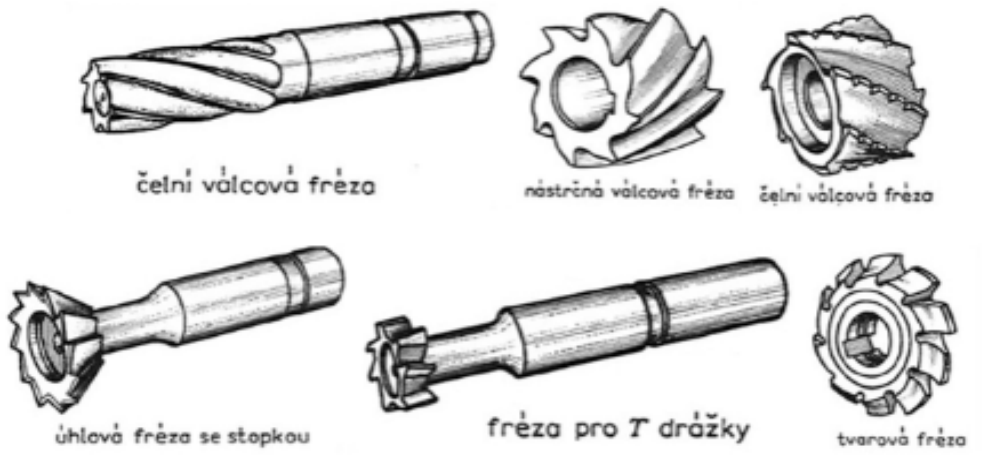
3. Čelní válcová fréza

- Je určena pro frézování čelních ploch a obecně pro práci s rovnými povrchy. Vyznačuje se přímým tvarem a je vhodná pro frézování drážek a žlabů.

4. Tvarové frézy

- Jsou navrženy pro specifické tvary a aplikace, jako je frézování rybinových drážek, T-drážek, výroba ozubených kol a dalších složitých tvarů.

Každý typ frézy má své specifické vlastnosti a je vhodný pro konkrétní druhy obrábění a geometrie obrobků. Při výběru správné frézy je třeba zohlednit požadavky na povrchovou kvalitu, přesnost obrábění a typ materiálu. [16]



Obrázek 7 Druhy fréz [16]

Pro zpracování praktické časti bude použita fréza čelní, válcová (stopková), monolitická ze slinutých karbidů.

3.3 Vrtání

Vrtání je obráběcí proces, při kterém se vytváří otvor nebo dutina v materiálu speciálním nástrojem nazvaným vrták.

3.3.1 Základy vrtání

Vrtání je proces, při kterém nástroj provádí hlavní rotační pohyb a současně vedlejší, přísuv, což umožňuje vytvoření otvoru v materiálu. To může zahrnovat vytváření nových děr v plném materiálu nebo rozšíření již existujících otvorů.

- Obvykle je osa vrtáku kolmá k ose obrobku, a pokud tomu tak není, musí být upraveny řezné podmínky nebo povrch materiálu, aby byl umožněn kolmý vstup vrtáku.
- V moderní době je běžné vrtat přímo do plného materiálu bez předvrtávání vystřeďovacího důlku. Tento postup vede k dosažení vysoké přesnosti otvoru, obvykle až do IT 8 a tím se eliminuje potřebu dalších dokončovacích operací. Avšak, jako u soustružení, může být problémem odvod třísky z otvoru.
    - Existuje několik metod, jak řešit tento problém. Jednou z nich je softwarové nastavení lámání třísky, kdy vrták na okamžik vyjede z otvoru, nebo se na chvíli zastaví přísuv, a tak dojde k ulomení třísky. Použití vrtáků s kanálky pro vnitřní chlazení také přispěje ke zlepšení problému. Chladicí emulze, která chladí a maže místo řezu, podporuje průběžné odvádění třísky z díry. Tato kombinace technik přispívá k účinnému a bezproblémovému provádění vrtacích operací s vysokou přesností a kvalitou. [16;18]

3.3.2 Nástroje pro vrtání

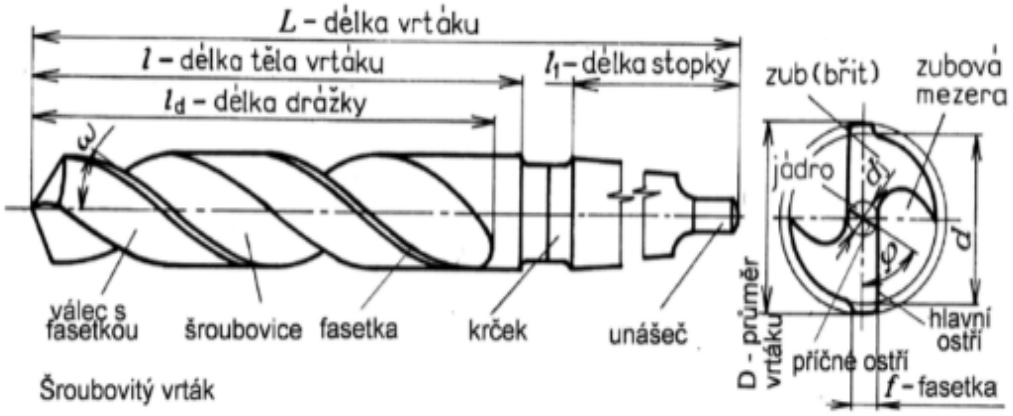
1. Šroubovité vrtáky

- Jsou základní nástroje pro vrtání (obr. 9) a jejich konstrukce je přizpůsobena různým požadavkům v průmyslovém prostředí. Mezi nejběžnější provedení patří vrtáky s válcovou stopkou, přičemž u menších průměrů je stopka zesílena a u větších průměrů může být stopka s kuželem Morse. Pro upevnění vrtáku s kuželem Morse na CNC strojích je vyžadován speciální upínač. Vrtáky s válcovou stopkou jsou upínány na CNC soustruzích stejným způsobem jako stopkové frézy, pomocí kleštinového sklíčidla (obr. 8). [16]

Obrázek 8 Kleštinové sklíčidlo

Volba správného vrtáku závisí na několika faktorech:

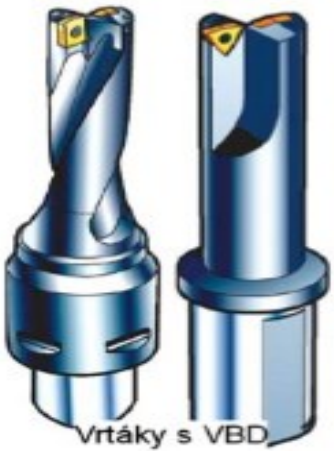
- Materiál nástroje
  - Vrtáky vyrobené ze slinutých karbidů, oproti vrtákům z rychlořezné oceli, nevyžadují vytváření středícího důlku.
- Chladicí kapalina
  - Existují vrtáky určené pro práci s a bez přívodu chladící kapaliny. Přívod chladicí kapaliny se často používá při vrtání hlubokých děr.
- Hloubka vrtání
  - Výběr vrtáku závisí také na požadované hloubce díry. Standardní vrtání obvykle zahrnuje díry o hloubce do 5krát průměru nástroje, zatímco vrtání dlouhých děr může dosahovat až 20krát průměru.
- Úhel šroubové drážky
  - Úhel stoupání šroubové drážky se volí podle typu materiálu. Například úhel 27° je vhodný pro běžné oceli, 45° pro dobře obrobitelné materiály a 15° pro těžko obrobitelné materiály. [16]



Obrázek 9 Šroubovitý vrták [16]

2. Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami (obr. 10)

- Jsou vybaveny dvěma břitovými, které mají pozitivní geometrii čela a jsou upnuté na těle vrtáku pomocí šroubu. Jedna z těchto destiček dosahuje až k vnějšímu průměru vrtáku, zatímco druhá je umístěna tak, aby její hrana procházela osou rotace vrtáku. Obvodové destičky jsou určeny pro práci ve vyšších řezných rychlostech ve srovnání se středovými, čímž se také rychleji opotřebovávají. Všechny vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami jsou vybaveny interními kanály pro přívod chladící kapaliny, což je důležité pro udržení optimálních pracovních podmínek a pro odvod třísky z pracovní oblasti. [16]



Obrázek 10 Vrtáky s VBD [16]

Existuje mnoho druhů vrtáků, avšak mezi nejčastěji používané na CNC strojích a ty, které budou použity i pro praktickou část, patří právě tyto dva typy.

4 SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČASTI A CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI

V teoretické části této práce jsem nastínil historii CNC strojů a jejich vývoj, stejně jako všechny důležité aspekty spojené s jejich provozem. Detailněji jsem se zaměřil na jednotlivé operace, které je možné provádět na CNC soustruhu, včetně jejich technických parametrů a výhod.

V praktické části mého experimentu se zaměřím na samotnou výrobu. Mým cílem je vytvořit díl podle přiložené výkresové dokumentace (obr. 11, P I) s využitím plného potenciálu CNC soustruhu. Budu se snažit optimalizovat řezné podmínky s cílem minimalizovat výrobní čas, aniž bych přitom narušil ekonomičnost výroby. To zahrnuje zvolení správných parametrů, aby bylo dosaženo maximální efektivity a přesnosti výrobního procesu. Tato část práce bude klíčová pro demonstraci praktického využití konceptů a principů diskutovaných v teoretické části.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 VSTUPNÍ PARAMETRY A PŘEDPOKLÁDANÁ OPTIMALIZACE VÝROBY

Před samotným vytvořením programu jsem obdržel řezné podmínky pro jednotlivé operace (tab. 2) na základě poskytnuté výkresové dokumentace (obr. 11, P I). Můj hlavní záměr spočíval v sestavení programu pro výrobu dílu, vycházejícího z poskytnutých dat, a po dokončení tohoto prvotního programu provést optimalizaci řezných podmínek s cílem zefektivnit výrobní proces, tedy vytvořit časovou úsporu, které jsem chtěl dosáhnout zkrácením výroby jednoho dílu o 30 sekund (tab. 3).

Tabulka 2 Počáteční řezné podmínky

	Řezná rychlost	Otáčky	Posuv na otáčku	Posuv na zub	Maximální tříska
Hrubovací nůž s VBD obrobení čela	180 m/min		0,18 mm		
Hrubovací nůž s VBD	180 m/min		0,3 mm		2 mm
Hladící nůž s VBD	180 m/min		0,14 mm		0,2 mm
Vnitřní nůž s VBD hrubování	120 m/min		0,2 mm		2 mm
Vnitřní nůž s VBD dokončování	100 m/min		0,14 mm		0,2 mm
Upichovací nůž s VBD	125 m/min		0,08 mm		
Plátkový vrták ⌀ 25 mm s VBD		1200 ot/min	0,12 mm		
Šroubovitý vrták ⌀ 7 mm	90 m/min		0,11 mm		
Fréza ⌀ 15,3 mm hrubování	130 m/min			0,05 mm	1 mm
Fréza ⌀ 15,3 mm dokončování	130 m/min			0,05 mm	0,1 mm

Tabulka 3 Základní a předpokládané údaje

standardní výroba		optimalizace výroby	
počet dílů: 1	skutečný strojní čas: 5 min 25 s	počet dílů: 1	předpokládaný strojní čas: 4 min 55 s
počet dílů: 500	skutečný strojní čas: 45 hod 9 min	počet dílů: 500	předpokládaný strojní čas: 40 hod 59 min

6 POLOTOVAR A VÝKRES SOUČÁSTI

Výroba proběhla v souladu s přiloženou výkresovou dokumentací (obr. 11, P I) a požadovanými tolerancemi (tab.7). Na základě pokynu vedení společnosti byly z výkresové dokumentace odstraněny důvěrné informace. K výrobě byla použita automatová ocel třídy 11 109 vyznačující se dobrou obrobitelností při vysokých řezných rychlostech a snadnou lámavostí třísky. Dodává se v tyčích tažených za studena. Základní parametry polotovaru jsou uvedeny v tabulkách 4, 5, 6.

Tabulka 4 Rozměry polotovaru a počet vyráběných kusů

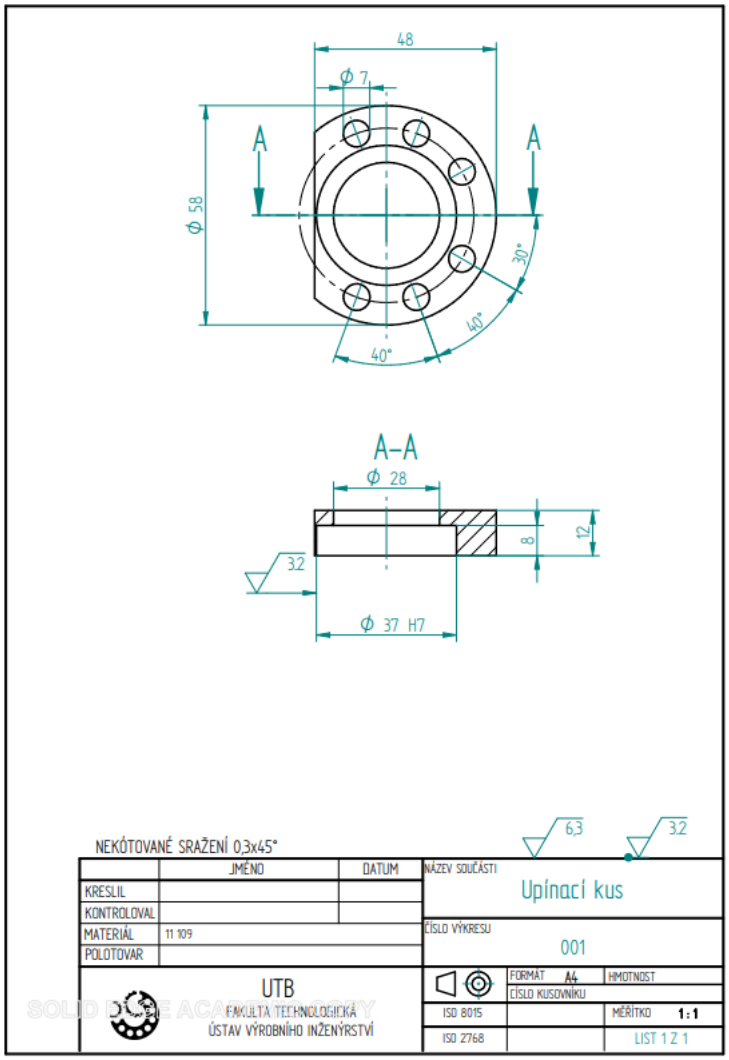
Parametr	Hodnota
Průměr polotovaru	60 mm
Délka polotovaru	8 x 995 mm; 1 x 485 mm
Celkový počet vyrobených kusů	500 ks

Tabulka 5 Obsah základních prvků v polotovaru

Uhlík	0,14 %
Mangan	0,9 – 1,3 %
Křemík	0,05 %
Fosfor	0,11 %
Síra	0,27 – 0,33 %

Tabulka 6 Základní mechanické vlastnosti

Tvrdost HB	159
Pevnost v tahu	410 – 660 MPa
Mez kluzu	Min 305 MPa
Tažnost	9 %



Obrázek 11 Výkres součásti

Tabulka 7 Výrobní tolerance dílu

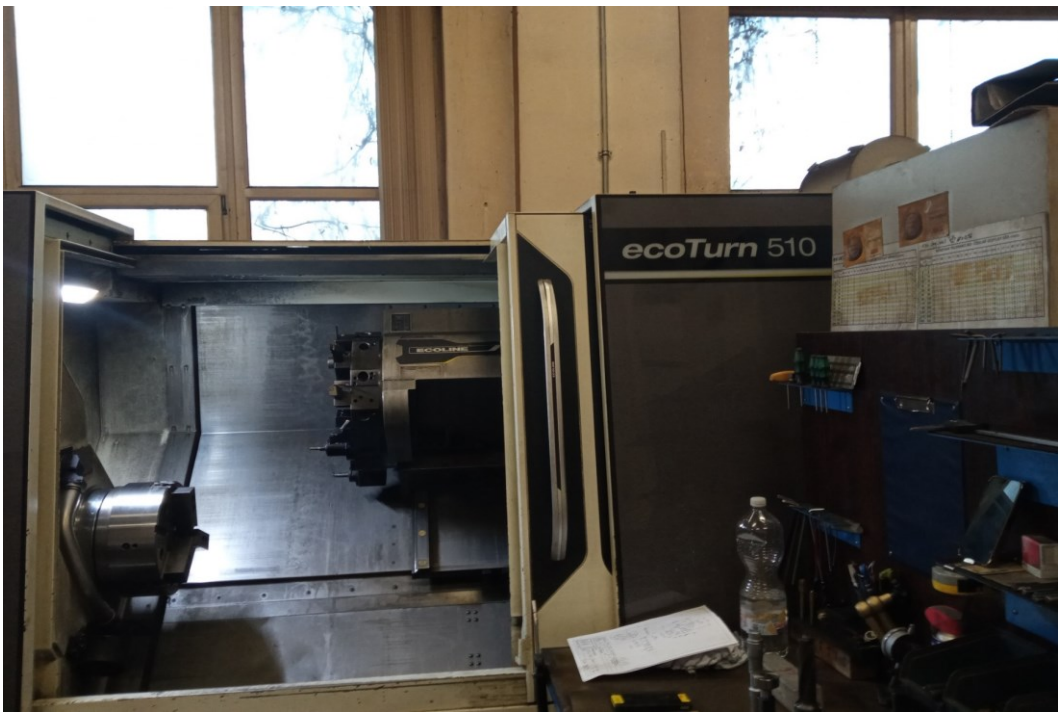
Netolerované rozměry	Dle ČSN ISO 2768
Tolerované rozměry	37 H7 Horní rozměr 37,025 mm Dolní rozměr 37,000 mm
Drsnost povrchu	Běžné soustružení Ra = 3,2; Ra = 6,3

7 PŘÍPRAVA CNC STROJE A NASTAVENÍ PRACOVNÍCH NÁSTROJŮ PRO OBRÁBĚNÍ

K mému experimentu jsem použil stroj DMG MORI ecoTurn 510 (obr. 12) od společnosti DMG MORI. Stroj je vybavený řídícím systémem Sinumerik 840 od společnosti Siemens. Základní parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 8.

Tabulka 8 Základní parametry stroje DMG MORI ecoTurn 510

Hnací výkon	(40/100% ED) 33/22 Kw
Maximální otáčky	3250 ot/min
Točivý moment	(40/100 % ED) 630/420 Nm
Oběžný průměr nad ložem	680 mm
Maximální točný průměr	465 mm
Maximální podélný pojezd	1050 mm
Průchod tyče	76/90 mm
Průměr sklíčidla	250/315
Upínání nástrojů	12 x VDI 40 / 6 x BT



Obrázek 12 DMG MORI ecoTurn 510

Před zahájením programování a realizací obráběcích úkonů na CNC stroji bylo nutné provést pečlivou přípravu stroje a správné nastavení pracovních nástrojů v souladu s požadavky výrobního procesu následujícím způsobem:

1. Volba a osazení vhodných čelistí pro sklíčidlo

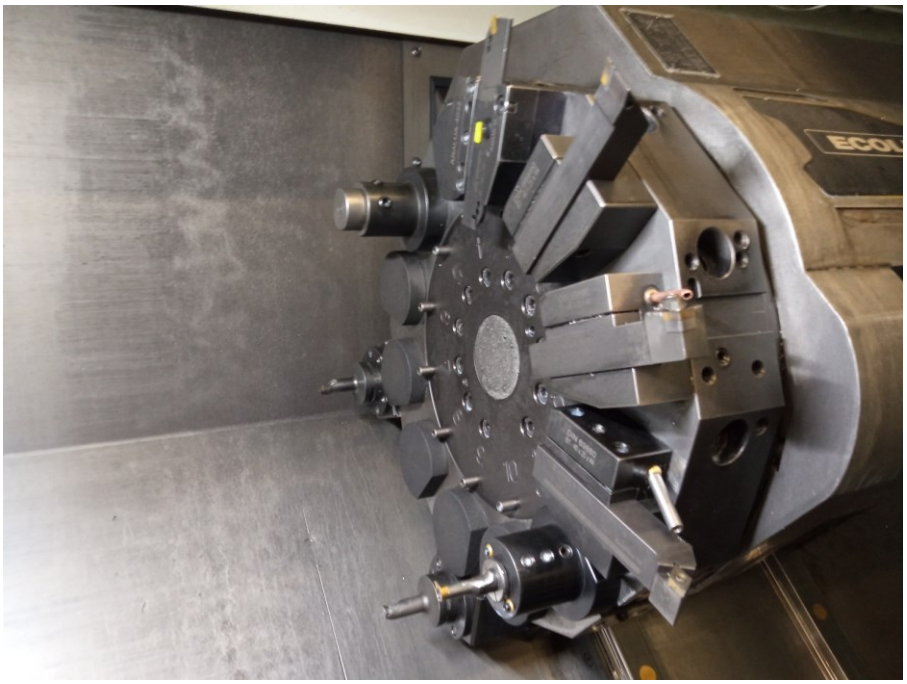
Prvním krokem byla správná volba a osazení čelistí na sklíčidlo v souladu s průměrem polotovaru, který byl zpracováván. Pro zajištění optimální manipulace s materiálem jsem zvolil měkké čelisti, které umožňují lepší obepnutí a fixaci materiálu během obráběcího procesu (obr. 13).

Obrázek 13 Sklíčidlo stroje DMG MORI ecoTurn 510

2. Osazení revolverové hlavy nástroji a softwarové přiřazení

Následujícím úkonem bylo osazení revolverové hlavy stroje (obr. 14) nástroji (tab. 9, 10, 11, 12), které jsem plánoval použít k provedení konkrétních obráběcích operací. Každá pozice v revolverové hlavě byla identifikována číslem a vyžadovala softwarové přiřazení

konkrétního nástroje v seznamu nástrojů. Tato korelace umožnila stroji správně rozpoznat umístění jednotlivých nástrojů.



Obrázek 14 Revolverová hlava stroje DMG MORI ecoTurn 510

Tabulka 9 Základní parametry nástrojů I

	Upichovací nůž 4 mm s VBD
Výrobce	Sandvik
Počet břitů	2
Šířka řezu	4 mm
Poloměr rohu vlevo	0,2 mm
Poloměr rohu vpravo	0,2 mm
Levý úhel hlavního břitu nástroje	5°
Maximální hloubka řezu	24,1 mm

Tabulka 10 Základní parametry nástrojů II

	Vrták ⌀ 25 mm s VBD – obvodová destička	Vrták ⌀ 25 mm s VBD – středová destička
Výrobce	Sandvik	Sandvik
Počet břitů	4	4
Kód tvaru břitové destičky	S	
Průměr vepsané kružnice	8,9 mm	8,4 mm
Poloměr rohu	0,8 mm	0,5 mm
Tloušťka destičky	3 mm	3 mm
Úhel čela destičky	15°	15°

Tabulka 11 Základní parametry nástrojů III

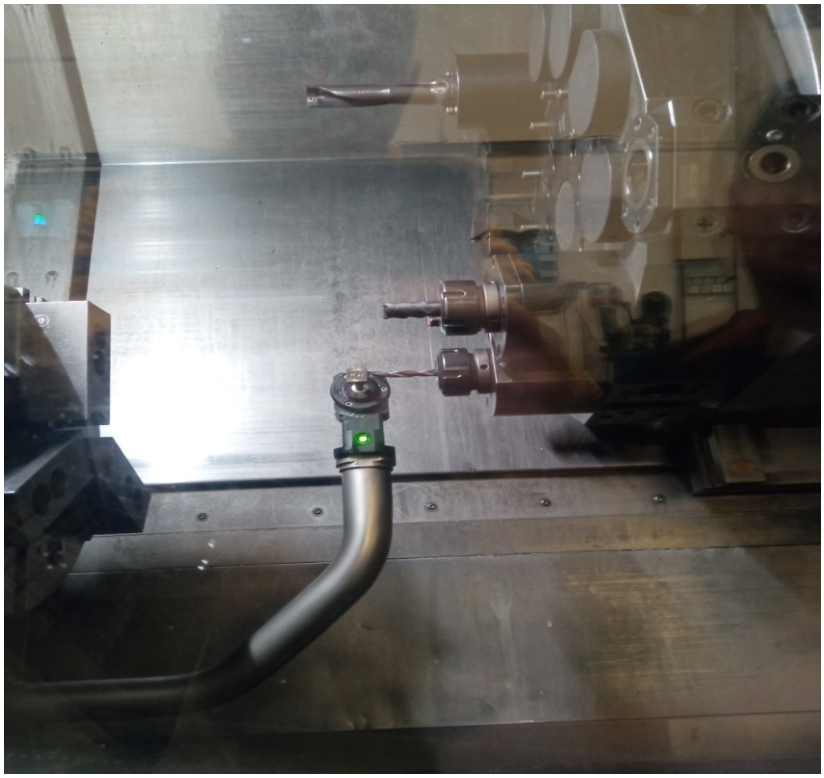
	Monolitická fréza z SK ⌀ 15,3 mm	Šroubovitý vrták z SK ⌀ 7 mm
Výrobce	Gühring	Gühring
Počet břitů	4	
Průměr pracovní části	15.3 mm	7 mm
Délka pracovní části	40 mm	
Celková délka	100 mm	78 mm
šroubovice	35°	30°
Úhel špičky		140°

Tabulka 12 Základní parametry nástrojů IV

	Hrubovací nůž s VBD	Hladící nůž s VBD	Vnitřní nůž s VBD
Výrobce	Sandvik	Sandvik	Sandvik
Počet břitů	4	2	2
Kód tvaru břitové destičky	C 80°	V 35°	C 80°
Účinná délka břitu	12,0959 mm	16,2063 mm	8,8719 mm
Průměr vepsané kružnice	12,7 mm	9,525 mm	9,525 mm
Poloměr rohu	0,7938 mm	0,3969 mm	0,7938 mm
Orientace	N	N	N
Tloušťka destičky	4,7625 mm	4,7625 mm	3,9688 mm
Hlavní úhel hřbetu	0°	5°	7°

3. Zaměření nástrojů pomocí programu a sondy

Pro správné zaměření nástrojů se využívá speciálního programu a sondy. Po aktivaci a vyklopení sondy do pracovní polohy (obr. 15) jsem vybral nástroj a přiblížil ho k sondě. Určil jsem požadovanou osu pro zaměření nástroje a potvrdil akci pro dokončení tohoto procesu. Tento postup jsem opakoval pro všechny nástroje použité v daném obráběcím procesu.



Obrázek 15 Zaměření nástroje

4. Nastavení nulového bodu obrobku

Posledním krokem bylo zadání nulového bodu obrobku. Polotovar jsem vložil do sklíčidla a upnul. V softwaru stroje jsem vybral "nulový bod obrobku", určil požadovaný počátek (G54), a provedl tzv. naškrábnutí pro přesné určení nulového bodu. Tento nulový bod jsem uložil.

Tímto způsobem byl CNC stroj připraven k efektivnímu provedení obráběcích operací s využitím správně nastavených pracovních nástrojů a pečlivě definovaných pracovních parametrů.

8 PROGRAMOVÁNÍ

Jak již bylo zmíněno, před započetím samotného programování CNC stroje je nutné důkladně promyslet postup obrábění, který bude zásadní pro úspěšné dokončení výrobního procesu.

Začal jsem obrobením čela, jelikož nebyl důvod tuto operaci posouvat v programu dále. Následovalo obrobení vnějšího průměru, aby byla vytvořena základní struktura výrobku. Dalším krokem bylo předvrtání středové díry, a poté zvolení částečného úpichu, tj. jemného zápichu.

Částečný úpich přináší určité benefity. Pokud by tento částečný úpich nebyl realizován , tak by při frézování plochy fréza zabírala i čelní plochou, čímž by se zvyšovalo tření. Při odfrézované ploše by došlo k přerušovanému řezu při úpichu, což by vyžadovalo korekci řezných rychlostí a prodloužilo by to cyklus obrábění. Částečný úpich efektivně předchází těmto problémům.

Po této operaci následovalo frézování za pomoci poháněného nástroje. Pokračoval jsem vyhrubováním středové díry a opět prostřednictvím poháněného nástroje jsem zařadil mimoosé vrtání.

Dále jsem provedl hlazení díry. I když byly rozměry díry v toleranci, došlo k malým tvarovým deformacím v důsledku tenké stěny materiálu mezi dírou a odfrézovanou plochou. Proto jsem díru ještě jednou uhladil. Nakonec jsem dokončil úpich. Kvůli absenci záchytného zařízení pro oddělené výrobky jsem naprogramoval stroj tak, aby nedošlo k úplnému oddělení od zbytku polotovaru. Po zastavení stroje jemným poklepem gumovou paličkou výrobek odpadl. Hotov byl po začištění.

8.1 Hlavička programu

Prvním krokem v procesu programování je zadání informací, které budou platit po celou dobu obrábění. Tento proces je usnadněn dialogovými okny poskytujícími nápovědu a grafickou podporu. V hlavičce programu (obr. 16) je jako první uveden zvolený nulový bod obrobku, v tomto případě specifikován jako G54. Následuje určení tvaru polotovaru, zda se jedná o válec, trubku, n-úhelník nebo kvádr. V mém případě je vstupním polotovarem válec o průměru 60 mm a délce 995 mm, z kterého se vyrobí celkem 59 kusů. Délka polotovaru je volena tak, aby i při obrábění posledního kusu zůstala dostatečná upínací délka.

Při celkovém počtu 500 kusů bylo zapotřebí 8 tyčí, o výše zmíněné délce, a jedné o délce 485 mm.

Následují další hodnoty:

XA – vnější průměr obrobku (zadal jsem 60 mm dle průměru polotovaru)

ZA – vzdálenost v ose *z*, kde se zastaví rychloposuv a započne pracovní posuv (zvolil jsem 1 mm inkrementálně)

ZI, ZB – tyto dva údaje jsou pouze pro simulaci, jedná se o celkovou délku polotovaru a o vzdálenost nulového bodu obrobku o čelistí stroje

Jelikož byla vrtána středová díra, bylo třeba zvolit ve výběrovém okně volbu „rozšířen“, aby se zobrazily okna označená XRA, XRI a ZRA.

XRA – návratová rovina v ose *x*, jedná se o bezpečnou vzdálenost v ose *x* (zvolil jsem 0.5 mm inkrementálně)

XRI – jedná se o bezpečný průměr ve středové díře, v němž se může bezpečně pohybovat vnitřní nůž bez kolize s polotovarem (protože díra byla vrtaná vrtákem o průměru 25 mm, zadal jsem hodnotu 24 mm absolutně, aby měl nůž odstup 0,5 mm od polotovaru)

ZRA – návratová rovina v ose *z*, jedná se o bezpečnou vzdálenost v ose *Z* (zvolil jsem 0.5 mm inkrementálně)

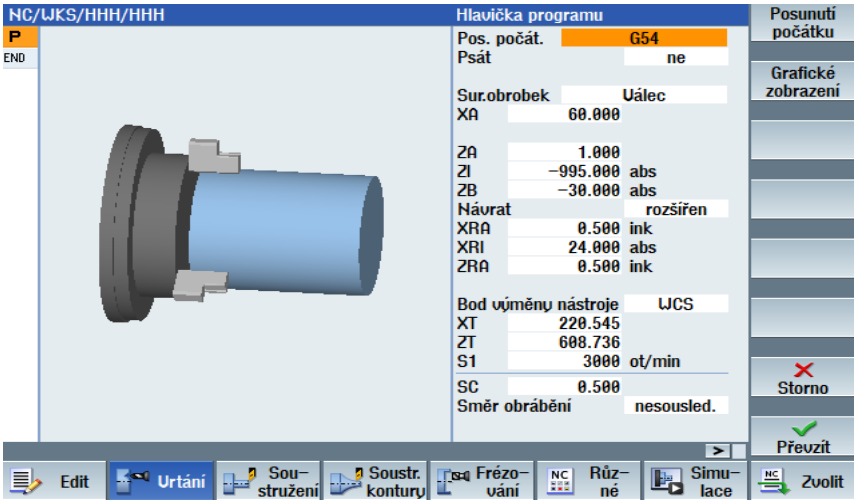
Bod výměny nástroje – zobrazeny zvolené souřadnice pro bezpečnou výměnu nástroje

S4 – maximální otáčky vřetene (3000/min)

SC – bezpečná vzdálenost pro frézování (zvolil jsem 0,5 mm inkrementálně)

Směr obrábění – nesousledné, jedná se o volbu sousledného nebo nesousledného frézování

Tímto byla hlavička programu vyplněná a následovalo samotné obrábění.



Obrázek 16 Hlavička programu

8.2 Opracování čela obrobku

V prvním kroku programu bylo provedeno zarovnání čela, což je primární obráběcí úkon. Pro tuto operaci jsem vybral funkci soustružení a oddělování třísky. Následně se zobrazila tabulka, do které jsem zadal hodnoty nezbytné pro tento úkon (obr. 18):

T – název použitého nástroje pro tuto operaci = hrubovací nůž, životnost uvedena v tabulce 14

F – posuv na otáčku (zvolil jsem 0,3 mm/ot)

V – řezná rychlost (zvolil jsem 300 m/min)

Pro operaci obrábění existují dvě možnosti: hrubování a dokončování. Hrubování je reprezentováno jedním trojúhelníkem, zatímco dokončování je znázorněno třemi trojúhelníky (obr 17).

Obrázek 17 Symboly označující opracování nahrubo a načisto

Pozice – podle způsobu obrábění jsem zvolil dle nabídky

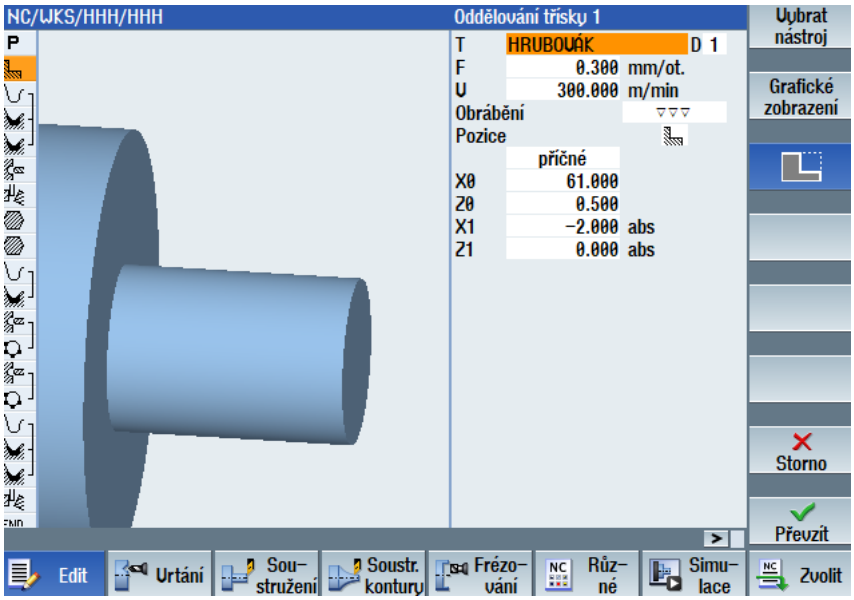
Příčné – volba, zda bude obrábění prováděno podélně nebo příčně k ose soustružení

X0 – průměr polotovaru (i když je průměr 60 mm, v tomto případě jsem zvolil průměr o jeden milimetr větší, z důvodu, že materiál občas „hází“ a mohlo by dojít k nebezpečnému a nechtěnému kontaktu obrobku a nástroje pohybujícího se rychloposuvem)

Z0 – vztažný bod v ose *z* (jedná se souřadnici, po kterou bude nástroj ve zmíněné ose přijíždět rychloposuvem)

X1 – koncový bod vztažený k X0 neboli nástroj (pojede 2 mm pod osu rotace, aby se zamezilo vzniku „špičky“ na čele obrobku, která by vznikla, pokud by nástroj jel pouze do 0, a to vlivem rádiusu na plátku)

Z1 – koncový bod vztažený k Z0 (0 mm, jelikož je požadován pohyb kolmý k ose rotace)



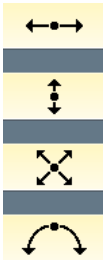
Obrázek 18 Opracování čela obrobku

8.3 Vnější kontura

V rámci tohoto procesu bude polotovar upraven tak, aby získal konečný vnější tvar výrobku. Z nabídky programu jsem zvolil možnost „soustružení kontury“ a následně „novou konturu“.

Otevřelo se dialogové okno, které mě vyzvalo k zadání názvu kontury, v mém případě označeného jako "povrch".

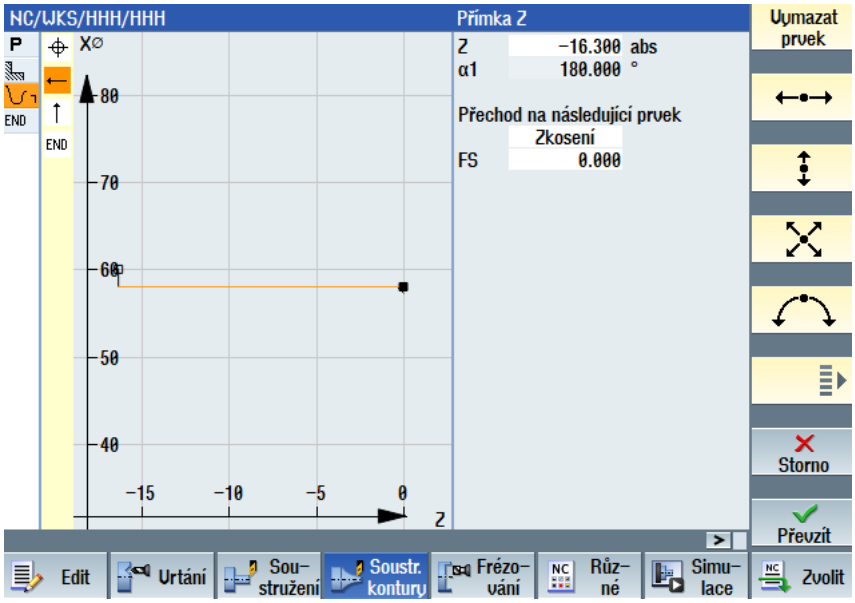
Při programování jsem využil numerickou klávesnici a příkazy na pravé straně monitoru, abych určil směr pohybu v souřadném systému – zda po přímce v ose *Z*, *X*, po kuželu nebo po rádiusu (obr. 19).



Obrázek 19
Příkazy pro
tvorbu kontury

Prvním krokem byla definice počátečního bodu kontury. V mém případě se jednalo o bod 58 mm absolutně, neboť jsem pracoval s hodnotami průměru a v ose *Z* bylo nastaveno 0 mm. Do pole označeného jako FS jsem zadal hodnotu počátečního sražení, tedy 0,3 mm.

Máme válcovou plochu, proto jsem zadal posuv po přímce v ose *Z* do vzdálenosti -16,3 mm absolutně (obr. 20). Tato hodnota je součtem šířky výrobku a upichovacího nože a z bezpečnostních důvodů je zvětšena o tři desetiny milimetru.



Obrázek 20 Vnější kontura

Nakonec zbývalo zadat pohyb po přímce v ose *X* na hodnotu 60 mm absolutně, což odpovídalo průměru polotovaru, z něhož stroj obráběl na požadovaný průměr.

Následně bylo nutné přiřadit kontuře nástroje, kterými bude obrobena. Možností by bylo opět obrobit konturu pouze jedním průchodem nožem, neboť se obrábělo z 60 mm na 58 mm. Ale i přes to byl hrubovací nůž, který obrobil čelo, použit k vyhrubování vnější kontury, a poté jsem zvolil dokončovací nůž, který dodal výrobku konečný vnější rozměr.

Hrubování bylo provedeno hrubovacím nožem (obr. 21), s těmito parametry:

F – posuv (0,4 mm/ot)

V – řezná rychlost (300 m/min)

Obrobení – jak jsem již uvedl, jednalo se o hrubování

Obrábělo se podélně a vnější kontura.

D – maximální tříska (zadal jsem 3,5 mm, i když tříska byla dva milimetry ponížená o přídavek na hlazení, ale raději jsem se rozhodl pro větší třísku, aby stroj nevyhodnotil nutnost projetí hrubovacím nožem nadvakrát)

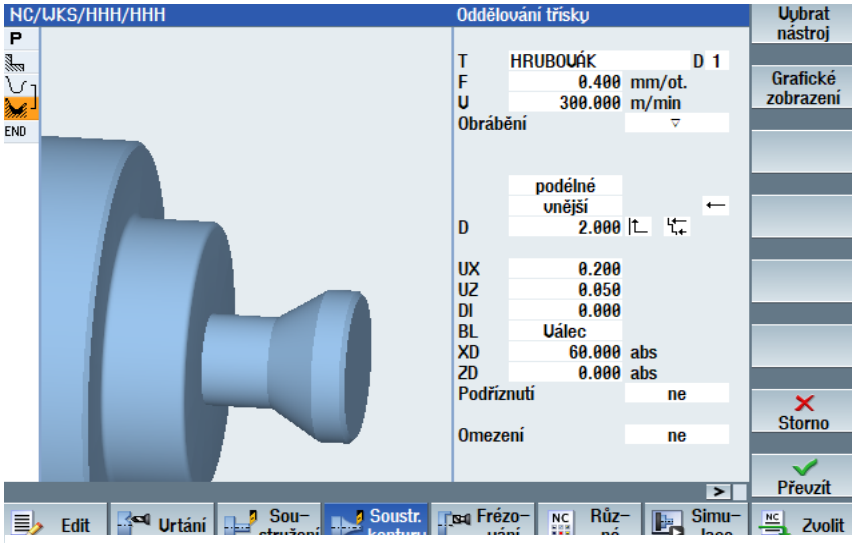
UX, UZ – přídavky na šlicht v daných osách. (zvolil jsem v ose *x* 0,2 mm a v ose *z* 0,05 mm)

DI – průchod nástroje (0, což znamená kontinuální průchod)

BL – definice polotovaru = válec

XD a ZD – přídavek nebo též rozměr válce (60 mm a 0 mm absolutně)

Vzhledem ke tvaru kontury podříznutí ani omezení není vyžadováno.



Obrázek 21 Parametry hrubovacího nože

Dokončování (obr. 22):

T – označení použitého nože = hladící nůž, životnost uvedena v tabulce 14

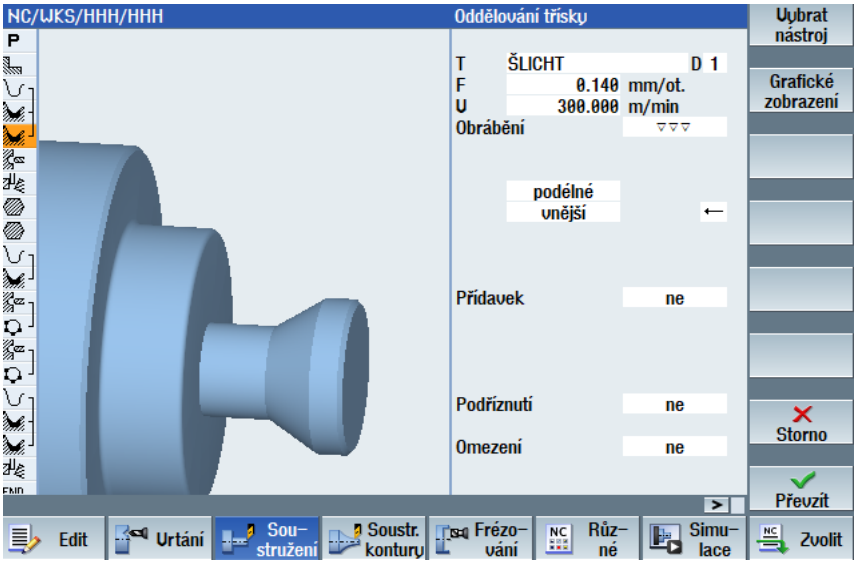
F – posuv (0,14 mm/ot)

V – řezná rychlost (300 m/min)

Zadal jsem znak tří trojúhelníků, které označují dokončování.

Opět bylo soustružení provedeno podélně a vnější strana.

Přídavek, stejně jako podříznutí a omezení, nebylo vyžadováno.



Obrázek 22 Parametry dokončovacího nože

8.4 Středové vrtání

Následujícím krokem bylo středové vrtání za použití vrtáku s VBD o průměru 25 mm. V programovém rozhraní stroje jsem vybíral operaci vrtání a následně specificky středové vrtání. Po této volbě se otevřela tabulka (obr. 23), která požadovala zadání specifických parametrů pro provádění daného obráběcího procesu:

T – obráběcí nástroj = vrták s VBD o průměru 25 mm, životnost uvedena v tabulce 14

F – posuv (0,2 mm/ot)

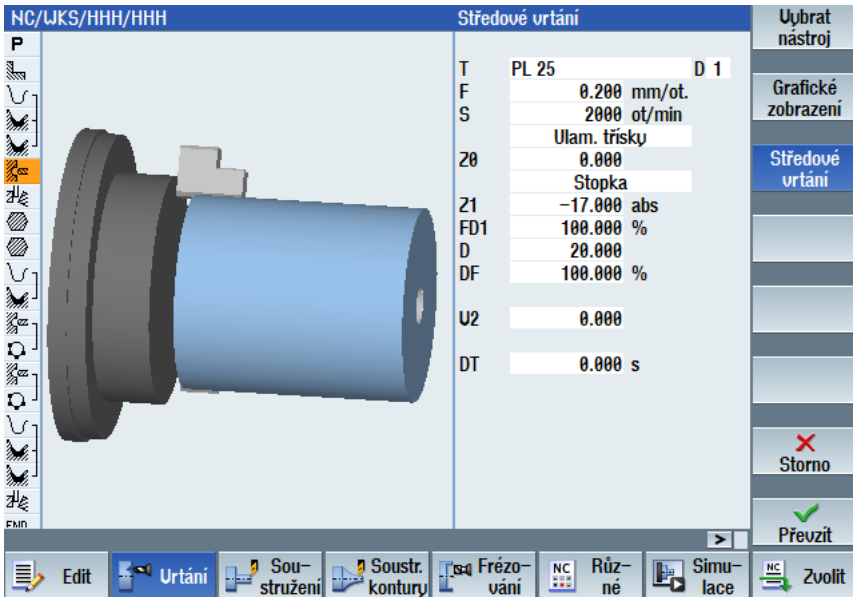
S – otáčky (2000 ot/min)

Dalším důležitým parametrem je specifikace způsobu řízení tvorby třísky během obrábění. Vzhledem k povaze požadovaného vstupu bylo nutné vyplnit toto pole, a proto jsem zvolil metodu "ulamování třísky". Je však třeba zdůraznit, že za daných parametrů obrábění, je očekáváno, že formování třísky bude efektivní. Nicméně, kombinace hodnot, zejména D (maximální tříska) a FD1 a FD (procentová míra přísuvů), kde jsou hodnoty nastaveny na 100 %, nebude řízení tvorby třísky využito, jelikož vrták pojede kontinuálně až na konec díry.

Z0 – počátek díry (0 mm)

Z1 – koncový bod díry (-17 mm vztažený na stopku)

V2 a DT – opět se jedná o hodnoty, které bych zadával, pokud by nebyla díra vrtaná nepřetržitě



Obrázek 23 Parametry vrtání vrtákem s VBD

8.5 Částečný úpich

Implementace částečného úpichu přináší řadu výhod, které činí tuto operaci důležitou součástí výrobního procesu. V programu CNC stroje jsem vybral operaci soustružení, následovanou volbou úpichu. Po této selekci se znovu zobrazila tabulka (obr. 24), ve které bylo nezbytné specifikovat parametry pro provedení úkonu:

T – nástroj = upichovací nůž 4 mm, životnost uvedena v tabulce 14

F – posuv (0,15 mm/ot)

V – řezná rychlost (125 m/min)

SV – maximální otáčky (1200 ot/min)

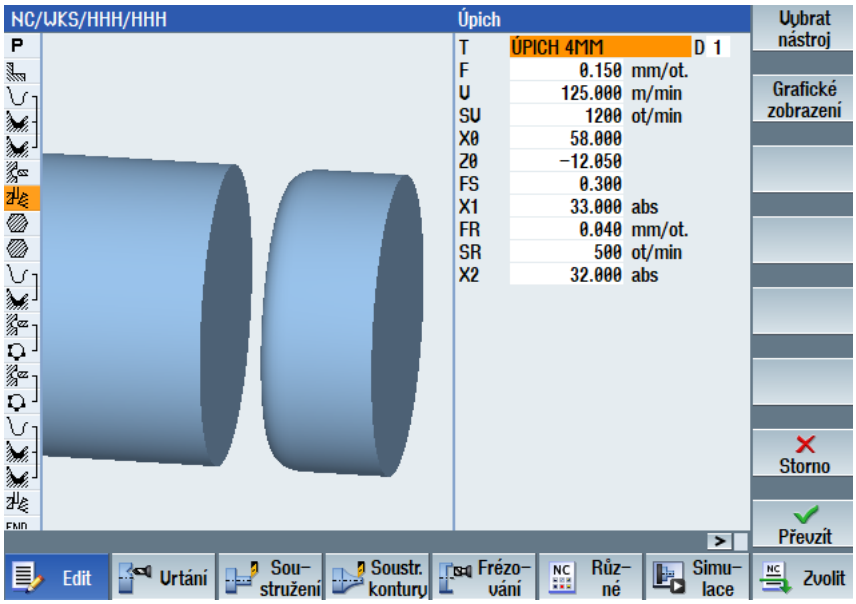
X0 – vztažný bod na průměru (58 mm)

Z0 – vztažný bod v ose *Z* (-12,05 mm, zde jsem zvolil rozměr o 0,05 mm větší, aby při finálním úpichu nástroj projel celou dráhu drážky a nezůstaly na výrobku estetické defekty po tomto částečném úpichu)

FS – šířka sražené hrany (0,3 mm)

X1 – i když nejde o úpich, při kterém by došlo k dělení materiálu, je třeba zadat hodnotu, na které dojde ke snížení otáček – 33 mm, a to na hodnotu snížených otáček SR - 500 ot/min, při posuvu FR – 0,04 mm/ot

X2 – koncová hloubka (32 mm absolutně)



Obrázek 24 Parametry částečného úpichu

8.6 Frézování

Následovalo frézování plochy. V programovém rozhraní jsem tentokrát zvolil operaci frézování a následně specifický úkon mnohohran. Stejně jako v předchozích krocích, i zde bylo nutné zadat parametry, které definují provedení dané operace (obr. 25):

T – nástroj = fréza o průměru 15,3 mm ze slinutých karbidů, životnost uvedena v tabulce 14

F – posuv na zub (0,06 mm/zub)

V – řezná rychlost (150 m/min)

Následuje obráběná plocha a pozice – čelo, vpředu

Zvolil jsem hrubování.

Zadal jsem surový průměr 58 mm.

Z0 – vztažný bod v ose *Z* je 0 mm

N – počet hran = 1

SW – velikost klíče

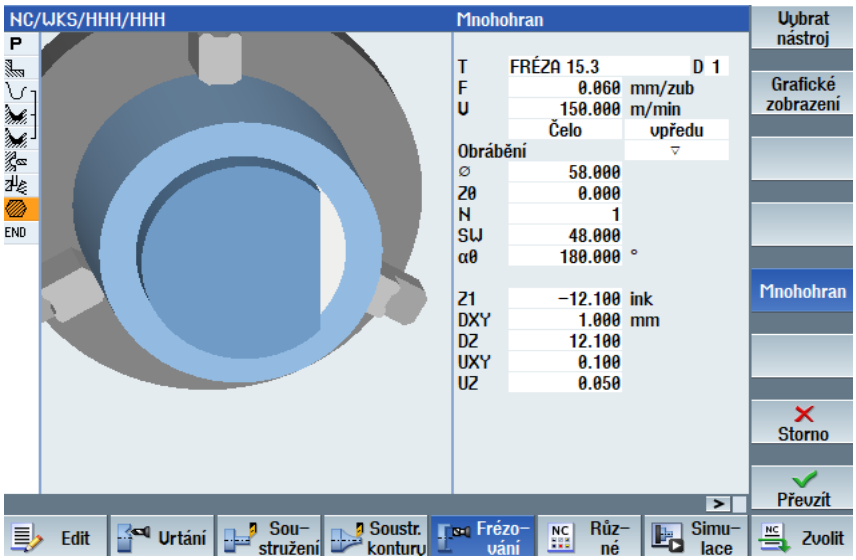
α0 – posunutí počátečního úhlu (180°)

Z1 – hloubka vztažená na Z0 (-12,1 mm)

DXY – maximální přísuv v rovině (1 mm)

DZ – maximální přísuv do hloubky (12,1 mm)

UXY a UZ – přídavky na hlazení (0,1 mm a 0,05 mm)



Obrázek 25 Parametry frézování nahrubo

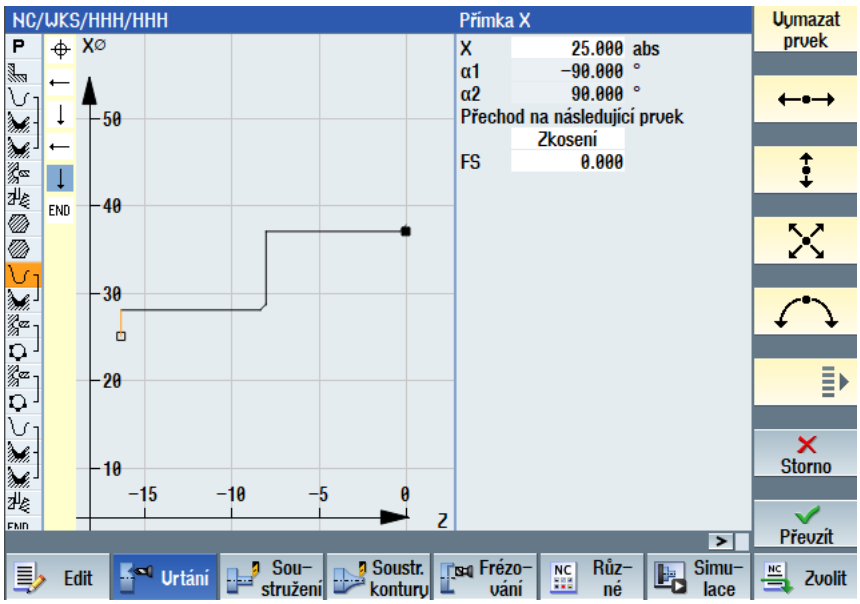
Plocha může být okamžitě dokončena.

Parametry potřebné k vyplnění byly identické s těmi použitými při hrubování. Protože byla použita stejná fréza, zůstaly všechny hodnoty nezměněny, avšak řezná rychlost byla zvýšena na 200 m/min. Vzhledem k povaze operace, což je dokončování byl přísuv v rovině nastaven na stoprocentní hodnotu.

8.7 Opracování středové díry nahrubo

Pro vyhrubování středové díry byla zahájena tvorba kontury. Vzhledem k charakteru díry, která měla být lícovaná, bylo dokončování odloženo.

Proces začal vytvořením kontury, která byla realizována stejným způsobem jako při vnějším obrábění. Prvním krokem bylo definování počátečního bodu kontury na souřadnicích x = 37,012 mm absolutně (na střed tolerančního pole, vzhledem k tomu, že se jednalo o lícovanou díru 37H7) a z = 0. Součástí bylo také sražení hrany na hodnotu 0,3 mm. Následně byl proveden posun po přímce v ose *z* na hodnotu -8 mm. Poté následoval další posun po přímce, tentokrát v ose *x* na hodnotu 28 mm absolutně, s opětovným sražením hrany o 0,3 mm. Dalším krokem byl posun po přímce v ose *z* na hodnotu -16,2 mm absolutně. Posledním krokem byl posun po přímce v ose *x* na hodnotu rozměru vyvrtané díry, tedy 25 mm absolutně, čímž byla kontura dokončena (obr. 26).



Obrázek 26 Kontura díry

Následně byl kontuře přiřazen vhodný nástroj a byla provedena specifikace dat nezbytných k provedení obráběcí operace, jež byly opět zaznamenány do tabulky (obr. 27):

T – nástroj = vnitřní nůž, životnost uvedena v tabulce 14

F – posuv (0,3)

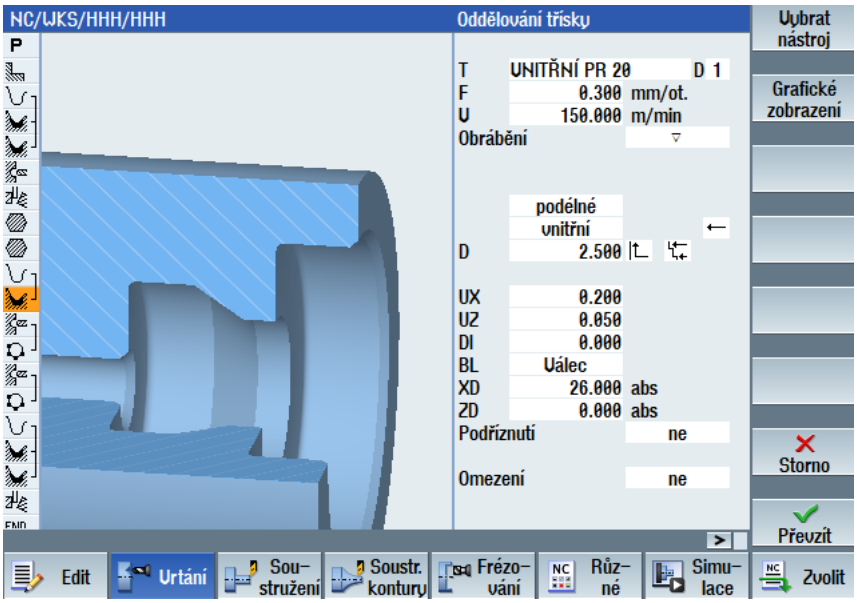
V – rychlost (150 m/min)

Hrubování

Obrábění probíhalo podélně a vnitřně s maximální třískou D 2,5 mm.

Ux, Uz – přídavky na hlazení (0,2 mm a 0,05 mm)

Ostatní hodnoty mají stejný význam jako u vnější kontury a byly i stejných hodnot, vyjma XD, kde jsem zadal 26 mm.



Obrázek 27 Parametry vnitřního nože (hrubování)

8.8 Vrtání

V současném bodě vývoje je vhodné začlenění vrtání děr, která jsou umístěna mimo osu rotace, do programu. Podobně jako při frézování, i zde byl použit poháněný nástroj, zatímco vřeteno zůstalo pouze v polohovacím režimu, aby bylo zajištěno dodržení všech úhlových parametrů. Díky konceptu výroby založeného na tzv. jednom upnutí, CNC stroj s polohovatelným vřetenem zajistí správnou polohu všech děr a vyfrézované plochy relativně k sobě.

Při prohlížení výkresu součásti je zřejmé, že úhlový rozestup mezi dírami není stejný, což vyžadovalo rozdělení vrtání do dvou fází.

Samotný proces programování vrtání byl spuštěn volbou vrtání v programu, následovanou specifikací operace vrtání a vystružování. Znovu se zobrazila tabulka, jejíž vyplnění bylo nezbytné pro další postup (obr. 28):

T – použitý nástroj = šroubovitý vrták ze slinutých karbidů o průměru 7 mm, životnost uvedena v tabulce 14

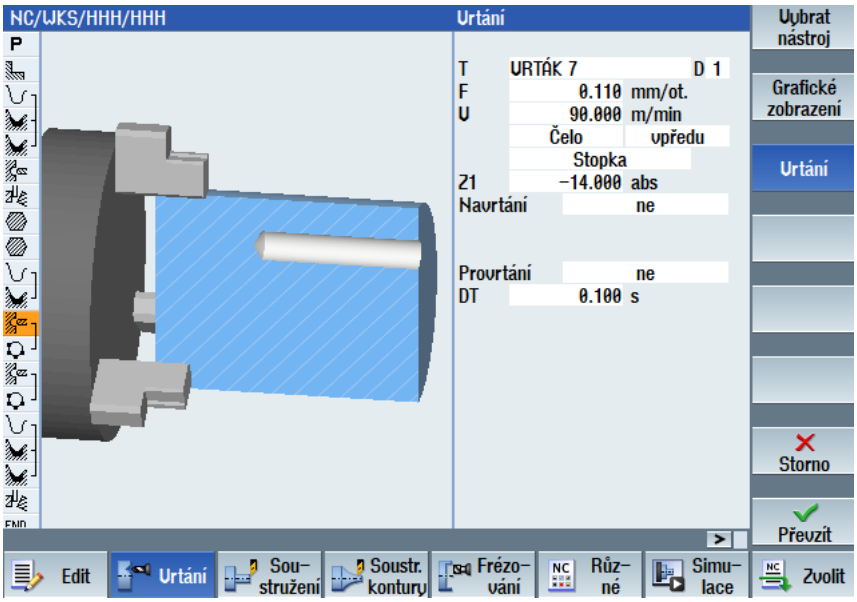
F – posuv (0,11 mm/ot)

V – rychlost (90 m/min)

Zadání obráběné plochy a polohy – čelo, vpředu

Z1 – hloubka vrtání vztažená k Z0 (-14 mm měřeno od stopky)

DT – časová prodleva v konečné hloubce (0,1 s)



Obrázek 28 Parametry vrtání šroubovitým vrtákem

Aktuálním úkolem bylo určení poloh jednotlivých děr. Pro tento účel byla vybrána operace polohy a následně kruhový oblouk v programovém rozhraní. Po této volbě se znovu zobrazila tabulka, která vyžadovala zadání odpovídajících hodnot pro dokončení této fáze (obr. 29):

Poloha – čelo, vpředu, ve středu

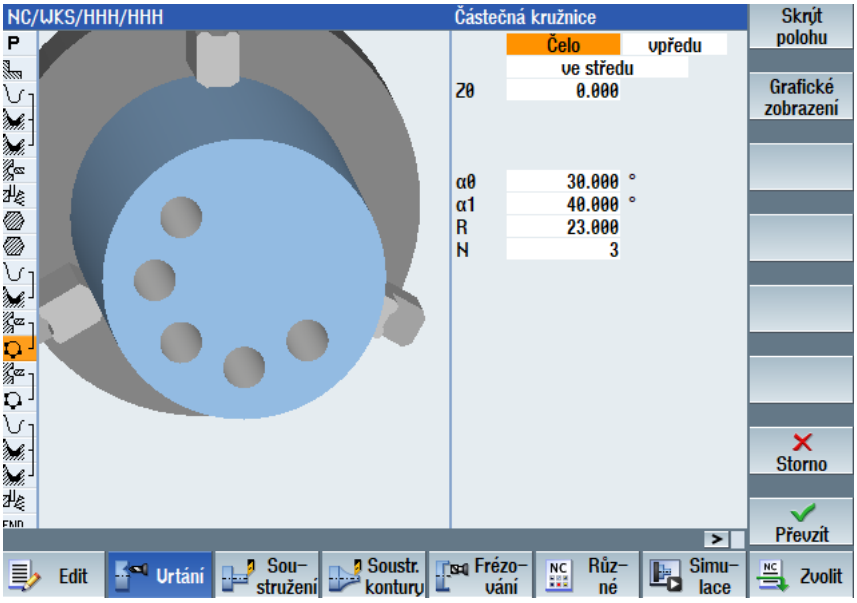
Z0 – vztažný bod (0 mm)

α0 – počáteční úhel pro první polohu (30°)

α1 – úhlový přírůstek (40°)

R – rádius roztečné kružnice (23 mm)

N – počet poloh (děr) = 3



Obrázek 29 Specifikace poloh děr

Následovalo programování zbývajících tří děr. Pro tento úkon byla opět zvolena operace vrtání. Veškeré parametry pro vrtání zůstaly nezměněné. Pokud jde o polohy jednotlivých děr, i tato tabulka byla téměř identická s předchozí, s výjimkou hodnot úhlů α0 = -30° a α1 = 40°.

8.9 Opracování středové díry na hotovo

Kontura vytvořená při hrubování této díry byla identická s tou, která byla zapotřebí pro dokončení, a proto bylo možné ji zkopírovat a znovu vložit do programu. Bylo vhodné přejmenovat tuto kopírovanou konturu, aby nedošlo k záměně s konturou použitou pro hrubování. Tento postup je důležitý zejména v případě, kdyby došlo k situaci, která vyžaduje

úpravu pouze jedné z těchto kontur. Pokud by měly obě kontury shodný název, úprava by se projevila i na druhé kontuře.

Zbývalo již jen zadat vhodný nástroj a podmínky pro provedení obráběcí operace (obr. 30):

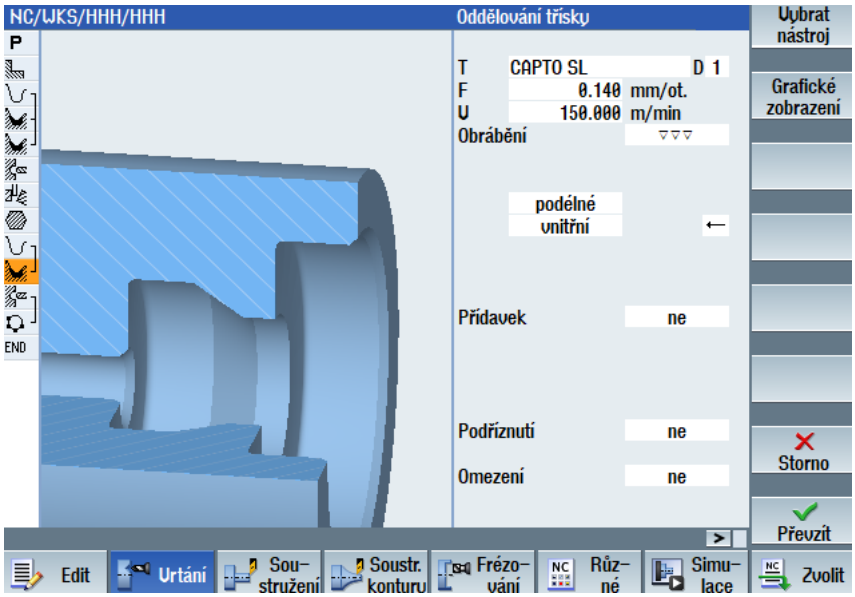
T – nástroj = vnitřní nůž

F – posuv (0,14 mm/ot)

V – rychlost (150 m/min)

Opět bylo zadáno, že jde o hlazení, a to podélné a vnitřní.

Přídavek, podříznutí a omezení nebylo vyžadováno.



Obrázek 30 Parametry vnitřního nože (dokončování)

Během výrobního procesu se objevila situace, kdy díra, ačkoliv byla v rozměrové toleranci, vykazovala elipsovitý tvar. Pro řešení tohoto problému byla implementována další fáze obrábění, ve které byl opětovně použit soustružnický nástroj s již dříve specifikovanými parametry. Tato dodatečná operace úspěšně vedla k odstranění vzniklého nedostatku.

8.10 Úpich

Posledním krokem v programu bylo provedení úpichu. Úpich byl proveden s ohledem na zabránění úplnému oddělení od zbytku polotovaru, čímž se minimalizovalo riziko pádu výrobku do spodních částí stroje, což by mohlo vést k estetickému poškození výrobku.

Postup zadání úpichu byl shodný s tím, který byl použit při částečném úpichu. Specifikované hodnoty pro tento úkon byly následující (obr. 31):

T – nástroj = upichovací nůž 4 mm

F – posuv (0,12 mm/ot)

V – rychlost (125 m/min)

SV – maximální otáčky (1200 ot/min)

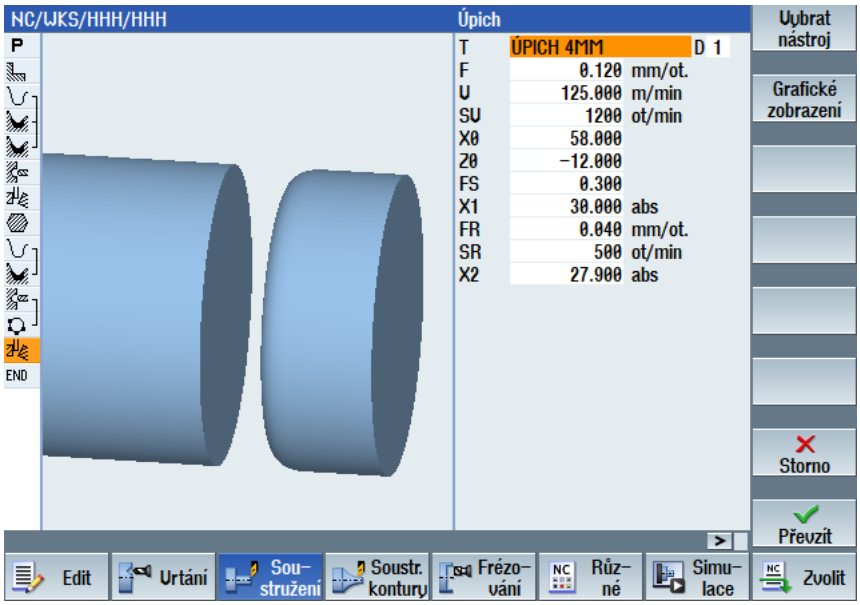
X0 – vztažný bod na průměru (58 mm, i když byl proveden částečný úpich, který měl eliminovat přerušovaný řez, i tak k němu dojde, nicméně, nástroj bude odstraňovat pouze tenkou vrstvu třísky o velikosti 0,05 mm, což nepředstavuje potřebu snižovat řezné parametry)

Z0 – vztažný bod v ose *Z* (-12 mm, zde už je zadám přesný rozměr bez přídavku)

FS – šířka sražené hrany (0,3 mm)

X1 – hloubka pro snížení otáček (30 mm, a to na SR = 500 ot/min při posuvu FR = 0,04 mm/ot)

X2 – koncová hloubka (27,9 mm)

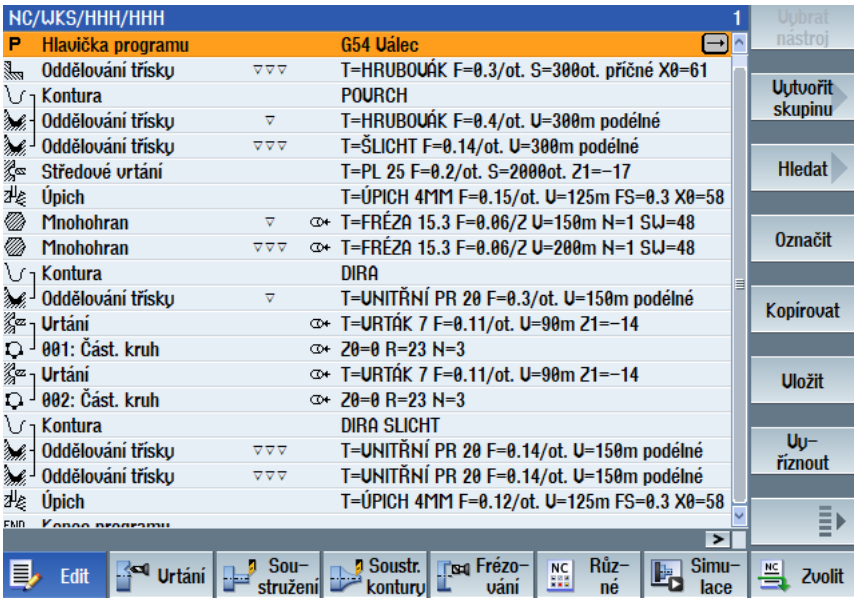


Obrázek 31 Parametry úpichu

Po ukončení provozu stroje nebyl výrobek zcela oddělen od zbytku materiálu. Pro provedení tohoto oddělení byla použita gumová palička spolu s lehkými údery na vyrobený díl. Tento postup umožnil bezpečné a efektivní oddělení výrobku od zbylého materiálu.

8.11 Struktura programu a nastavení optimálních řezných podmínek

Na obrázku číslo 32 je zobrazena struktura kompletního programu a v tabulce 13 nastavení optimálních řezných podmínek.



Obrázek 32 Struktura programu

Tabulka 13 Nastavení optimálních řezných podmínek

	Řezná rychlost/ otáčky	Posuv na otáčku	Posuv na zub	Maximální tříska
Hrubovací nůž s VBD obrobení čela	300 m/min	0,3 mm		
Hrubovací nůž s VBD	300 m/min	0,34 mm		2 mm
Hladící nůž s VBD	300 m/min	0,14 mm		0,2 mm
Vnitřní nůž s VBD hrubování	150 m/min	0,3 mm		2,5 mm
Vnitřní nůž s VBD dokončování	150 m/min	0,14 mm		0,2 mm
Upichovací nůž s VBD	125 m/min	0,12 mm		
Plátkový vrták ⌀ 25 mm s VBD	2000 ot/min	0,2 mm		
Šroubovitý vrták ⌀ 7 mm	90 m/min	0,11 mm		
Fréza ⌀ 15,3 mm hrubování	150 m/min		0,06 mm	1 mm
Fréza ⌀ 15,3 mm dokončování	200 m/min		0,06 mm	0,1 mm

Tabulka 14 Životnost nástrojů

	Životnost
Hrubovací nůž s VBD	200 ks
Dokončovací nůž s VBD	300 ks
Vnitřní nůž s VBD	150 ks
Upichovací nůž s VBD	150 ks
Plátkový vrták ⌀ 25 mm s VBD	140 ks
Šroubovitý vrták ⌀ 7 mm	250 ks
Fréza ⌀ 15,3 mm hrubování	250 ks

9 VÝSTUPNÍ MĚŘENÍ

Experimentální výroba proběhla v nepřetržitém provozu. Programování CNC stroje jsem zahájil na začátku směny. Kompletní příprava stroje a korekce požadovaných rozměrů trvala hodinu. Poté započala kontinuální výroba, během které jsem prováděl pravidelná kontrolní měření hotových výrobků. Kontrola byla zaměřena na měření vnějšího průměru, hodnotu SW a celkovou šířku výrobků. Zvláštní pozornost byla věnována měření průměrů malých děr, stejně jako obou průměrů středové díry a hloubky lícované díry (tab. 15).

K provedení těchto měření jsem používal posuvné měřidlo, jelikož tyto rozměry nejsou tolerovány, s výjimkou středové díry s tolerancí 37H7. Tato díra byla dodatečně kontrolována tříbodovým dutinoměrem a kalibrem. Měření úhlů jsem prováděl úhloměrem.

Kromě toho proběhla kontrola těchto rozměrů a úhlů na výstupní kontrole pomocí 3D měřícího stroje, což zajistilo důkladnou a přesnou kontrolu v souladu s požadavky na kvalitu výroby.

Tabulka 15 Hodnoty pravidelného měření

Měření číslo	Rozměr													
	⌀ 58 mm	48 mm	⌀ 46 mm	⌀ 7 mm	⌀ 28 mm	40°	40°	30°	30°	40°	40°	8 mm	12 mm	⌀ 37H7 mm	⌀ 37H7 kalibr
1	58,03	48,01	46,01	7,00	28,01	40	40	30	30	40	40	8,01	12,00	37,011	✓
2	58,02	48,01	46,01	7,00	28,01	40	40	30	30	40	40	8,01	12,00	37,011	✓
3	58,02	48,01	46,01	7,00	28,02	40	40	30	30	40	40	8,01	12,00	37,011	✓
4	58,03	48,01	46,01	7,00	28,02	40	40	30	30	40	40	8,01	12,00	37,012	✓
5	58,03	48,02	46,01	7,00	28,03	40	40	30	30	40	40	8,01	12,00	37,011	✓
6	58,03	48,02	46,01	7,00	28,01	40	40	30	30	40	40	8,01	12,00	37,011	✓
7	58,04	48,01	46,01	7,00	28,01	40	40	30	30	40	40	8,01	12,01	37,012	✓
8	58,04	48,01	46,01	7,00	28,02	40	40	30	30	40	40	8,01	12,01	37,011	✓
9	58,03	48,01	46,01	7,00	28,02	40	40	30	30	40	40	8,01	12,01	37,011	✓
10	58,04	48,01	46,01	7,00	28,02	40	40	30	30	40	40	8,01	12,01	37,012	✓
11	58,04	48,01	46,02	7,01	28,01	40	40	30	30	40	40	8,02	12,02	37,011	✓
12	58,03	48,01	46,01	7,01	28,01	40	40	30	30	40	40	8,02	12,02	37,011	✓
13	58,00	48,00	46,01	7,00	28,01	40	40	30	30	40	40	8,01	12,00	37,012	✓
14	58,00	48,00	46,01	7,00	28,01	40	40	30	30	40	40	8,01	12,00	37,012	✓
15	58,00	48,00	46,01	7,00	28,01	40	40	30	30	40	40	8,01	12,00	37,012	✓
16	58,00	48,00	46,01	7,00	28,01	40	40	30	30	40	40	8,01	12,00	37,012	✓
17	58,01	48,00	46,01	7,00	28,01	40	40	30	30	40	40	8,01	12,00	37,011	✓
18	58,01	48,00	46,01	7,00	28,02	40	40	30	30	40	40	8,01	12,00	37,011	✓
19	58,01	48,00	46,01	7,00	28,02	40	40	30	30	40	40	8,01	12,00	37,011	✓
20	58,02	48,00	46,02	7,00	28,02	40	40	30	30	40	40	8,01	12,00	37,011	✓
21	58,02	48,01	46,02	7,00	28,02	40	40	30	30	40	40	8,01	12,01	37,011	✓
22	58,00	48,01	46,01	7,01	28,02	40	40	30	30	40	40	8,01	12,01	37,011	✓
23	58,00	48,01	46,01	7,01	28,01	40	40	30	30	40	40	8,01	12,01	37,011	✓
24	58,00	48,01	46,01	7,01	28,01	40	40	30	30	40	40	8,01	12,01	37,011	✓

10 VYHODNOCENÍ VÝROBY

Výrobu upínacího dílu (obr. 33) jsem po dohodě s vedením výrobního závodu prováděl během reálné zakázky. Výrobu jsem zahájil a byl jsem přítomen celé dvě po sobě jdoucí ranní směny, kdy jsem výrobu sledoval a prováděl kontrolní měření. Abych byl přítomen ukončení výroby, dostavil jsem se na pracoviště ke konci druhé noční směny. Reálný čas výroby trval téměř čtyři dvanáctihodinové směny (tab. 16).

Tabulka 16 Standardní a skutečné údaje

standardní výroba		optimalizace výroby	
počet dílů: 1	skutečný strojní čas: 5 min 25 s	počet dílů: 1	skutečný strojní čas: 4 min 26 s
počet dílů: 500	skutečný strojní čas: 45 hod 9 min	počet dílů: 500	skutečný strojní čas: 36 hod 57 min
		počet dílů: 500	skutečný výrobní čas: 46 hod

Obrázek 33 Vyrobený upínací kus

11 DISKUZE

V rámci mé bakalářské práce jsem se zaměřil na problematiku programování a výroby na CNC soustruhu. I přes zdánlivou jednoduchost výkresu dílu, jsem se setkal s několika náročnými problémy. Jedním z nich bylo efektivní využití poháněných nástrojů, což vyžadovalo znalosti přesahující pouhé soustružení. Další výzvou byla vzniklá tenká stěna mezi odfrézovanou částí a dírou, která měla být podle přesně definovaných rozměrů. Navzdory tomu, že výroba díry probíhala etapově a finální obrobení bylo plánováno až na závěr procesu, bylo to nedostatečné a díra se deformovala. Nakonec se ukázalo, že optimálním řešením bylo provést ještě jedno vyhlazení díry.

Hlavním cílem mé práce bylo výrazné zkrácení výrobního procesu. Počáteční doba výroby jednoho kusu byla 5 minut a 25 sekund za zvolených řezných podmínek dodaných technologem. Postupnými úpravami těchto podmínek na základě monitorování tvorby třísek a relativně dostatečné životnosti nástrojů jsem dosáhl snížení výrobní doby na 4 minuty a 26 sekund. To při celkovém objemu zakázky 500 kusů představuje úsporu času ve výši 8 hodin a 11 minut.

ZÁVĚR

Samotný proces výroby upínacího prvku na CNC stroji DMG MORI ecoTurn 510 proběhl bez významných překážek či problémů, které by bylo nemožné či velmi obtížné řešit. S výsledkem výroby jsem spokojen, neboť se mi podařilo dosáhnout požadované kvality v souladu s předepsanými technickými požadavky a s využitím dostupných zdrojů a prostředků. Zvláště mě potěšilo snížení celkového výrobního času o přibližně 18 %, což považuji za významný pokrok a projev efektivity výrobního procesu.

Osobně nevidím nutnost provádět radikální zvyšování řezných podmínek, neboť současný stav se jeví jako vyhovující až optimální vzhledem k dosaženým výsledkům. Naopak věřím, že další možnosti pro zlepšení se nachází v optimalizaci samotného programu výroby. Domnívám se, že právě v tomto směru lze dosáhnout dalšího pokroku a efektivity, což by mohlo vést k lepším výsledkům a úsporám v čase i nákladech.

Při případném opakování této zakázky vnímám do budoucna jako výzvu nalezení optimální rovnováhy mezi jednotlivými ukazateli efektivity výroby. Tento proces může vést k dalšímu zlepšení výrobního procesu a dosažení ještě lepších výsledků.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] KRÁL, Mojmír a BARTOŠ, Vlastimil. Základy CNC obráběcích strojů. Učebnice pro odborné školy (Fragment). Havlíčkův Brod: Fragment, 1998. ISBN isbn80-7200-295-3.

[2] MAREK, Jiří. Design of CNC machine tools. Přeložil Ivica KLEPŠOVÁ, přeložil Ivan ŠIMAN, přeložil Zuzana ŽIDLICKÁ. MM speciál. Prague: MM publishing, 2015. ISBN isbn978-80-260-8637-6.

[3] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. MM speciál. Praha: MM publishing, 2014. ISBN isbn978-80-260-6780-1

[4] BORSKÝ, Václav. Základy stavby obráběcích strojů. Vyd. 2., přeprac. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). Brno: VUT, 1991. ISBN isbn80-214-0361-6.

[5] Design of CNC Machine Tools Based on Artificial Intelligence. Online. ISSN 978-1-6654-3718-9. Dostupné z: https://doi.org/10.1109/ISRIMT53730.2021.9596953. [cit. 2024-01-19].

[6] Konstrukce CNC obráběcích strojů. 2006, roč. 10, č. září. 2006. ISSN 1212-2572.

[7] XU, Xun; KAKOULIS, Konstantinos; MARKOPOULOS, Angelos P.; VIEIRA, Sergio Roberto a RACHED, Rodrigo Nunes. Machine Tool 4.0 for the new era of manufacturing. Online. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2017, roč. 92, č. 5-8, s. 1893-1900. ISSN 0268-3768. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/s00170-017-0300-7. [cit. 2024-01-24].

[8] DUBOVSKÁ, Rozmarína; MAJERÍK, Jozef a MINÁRIK, Radoslav. ISO programování CNC strojů v řídícím [sic] systému MIKROPROG. Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové, 2013. ISBN isbn978-80-7435-391-8.

[9] ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN isbn80-7300-207-8.

[10] BÍLEK, Ondřej a LUKOVICS, Imrich. Výrobní inženýrství a technologie. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2014. ISBN isbn978-80-7454-471-2.

[11] ŘASA, Jaroslav a GABRIEL, Vladimír. Strojírenská technologie 3. Praha: Scientia, 2000. ISBN 80-718-3207-3.

[12] Simulation based CAD/CAM model for extrusion tools. Online. S. 8. Dostupné z: https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14743/apem2013.1.151. [cit. 2024-02-15].

[13] ŠTULPA, Miloslav. CNC: programování obráběcích strojů. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.

[14] SIEMENS. SINUMERIK 840D sl/828D Soustružení. Online. 2015. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/293/109476293/att_845882/v1/BHDsl_0115_cz_cs-CZ.pdf. [cit. 2024-02-23].

[15] SMID, Peter. CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming. Third edition. South Norwalk: Industrial Press, [2008]. ISBN isbn9780831133474.

[16] ŠTULPA, Miloslav. Technologie obrábění: CNC soustružení, frézování, vrtání : pro praxi. Praha: Grada Publishing, 2022. ISBN isbn978-80-271-2883-9.

[17] GUGULOTHU, Bhiksha; KALBESSA KUMSA, Desta a BEZABIH KASSA, Minyahil. Effect of process parameters on centre lathe of EN8 steel in turning process. Online. Materials Today: Proceedings. 2021, roč. 46, s. 228-233. ISSN 22147853. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.611. [cit. 2024-03-11].

[18] DILLINGER, Josef. Moderní strojírenství pro školu i praxi. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN isbn978-80-8670619-1.

[19] Materiálový list oceli. Online. Dostupné z: https://www.bogner.cz/files/lists/1-0715.pdf. [cit. 2024-03-22].

[20] DMG MORI. Tradition, precision and innovation. Online. Dostupné z: https://cz.dmgmori.com/resource/blob/221822/7a26cc2c51f4a28a32c33f7f0e66b3b3/j142cz-data.pdf. [cit. 2024-04-10].

[21] CNC obráběcí centrum DMG MORI ecoTurn 510. Online. Dostupné z: https://www.stsprachatice.cz/strojni-vybaveni/cnc-soustruh-dmg-mori-ecoturn-510. [cit. 2024-04-10].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

NC Numerical Control

CNC Computer Numerical Control

DNC Distributed Numerical Control

CAD Computer-Aided Design

CAM Computer-Aided Manufacturing

VBD Vyměnitelná břitová destička

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Schéma CNC stroje [9] 19
Obrázek 2 Znázornění souřadnicového systému [9] 21
Obrázek 3 Vztažné body na CNC soustruhu [13] 26
Obrázek 4 Soustružení [16] 29
Obrázek 5 Základní tvary VBD [16] 30
Obrázek 6 Vnitřní uběrací nůž 33
Obrázek 7 Druhy fréz [16] 35
Obrázek 8 Kleštinové sklíčidlo 37
Obrázek 9 Šroubovitý vrták [16] 38
Obrázek 10 Vrtáky s VBD [16] 38
Obrázek 11 Výkres součásti 45
Obrázek 12 DMG MORI ecoTurn 510 46
Obrázek 13 Sklíčidlo stroje DMG MORI ecoTurn 510 47
Obrázek 14 Revolverová hlava stroje DMG MORI ecoTurn 510 48
Obrázek 15 Zaměření nástroje 50
Obrázek 16 Hlavička programu 53
Obrázek 17 Symboly označující opracování nahrubo a načisto 53
Obrázek 18 Opracování čela obrobku 54
Obrázek 19 Příkazy pro tvorbu kontury 55
Obrázek 20 Vnější kontura 56
Obrázek 21 Parametry hrubovacího nože 57
Obrázek 22 Parametry dokončovacího nože 58
Obrázek 23 Parametry vrtání vrtákem s VBD 59
Obrázek 24 Parametry částečného úpichu 60
Obrázek 25 Parametry frézování nahrubo 61
Obrázek 26 Kontura díry 62
Obrázek 27 Parametry vnitřního nože (hrubování) 63
Obrázek 28 Parametry vrtání šroubovitým vrtákem 64
Obrázek 29 Specifikace poloh děr 65
Obrázek 30 Parametry vnitřního nože (dokončování) 66
Obrázek 31 Parametry úpichu 68
Obrázek 32 Struktura programu 69
Obrázek 33 Vyrobený upínací kus 73

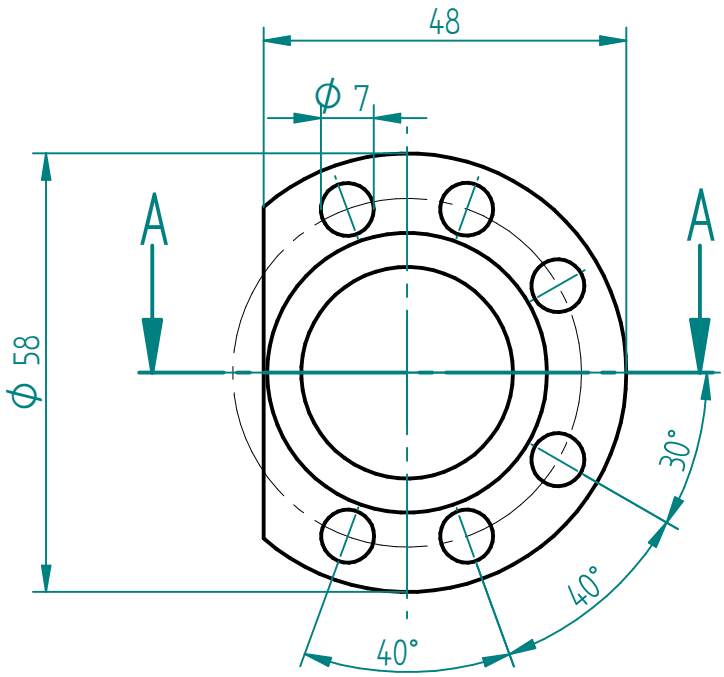
SEZNAM TABULEK

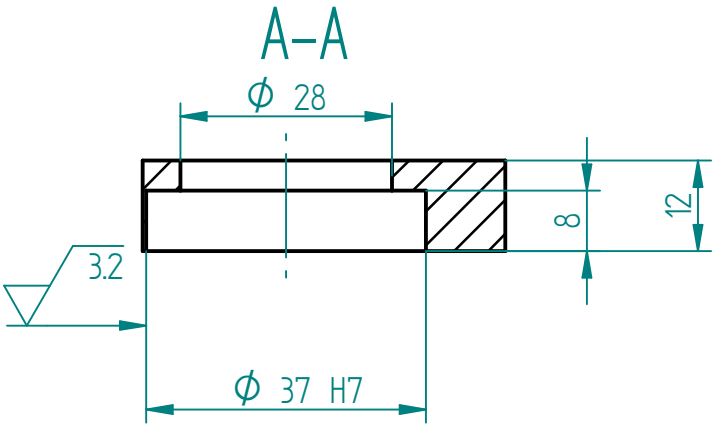
Tabulka 1 Základní G a M funkce [1 upraveno] 28
Tabulka 2 Počáteční řezné podmínky 42
Tabulka 3 Základní a předpokládané údaje 43
Tabulka 4 Rozměry polotovaru a počet vyráběných kusů 44
Tabulka 5 Obsah základních prvků v polotovaru 44
Tabulka 6 Základní mechanické vlastnosti 44
Tabulka 7 Výrobní tolerance dílu 45
Tabulka 8 Základní parametry stroje DMG MORI ecoTurn 510 46
Tabulka 9 Základní parametry nástrojů I 48
Tabulka 10 Základní parametry nástrojů II 48
Tabulka 11 Základní parametry nástrojů III 49
Tabulka 12 Základní parametry nástrojů IV 49
Tabulka 13 Nastavení optimálních řezných podmínek 69
Tabulka 14 Životnost nástrojů 70
Tabulka 15 Hodnoty pravidelného měření 72
Tabulka 16 Standardní a skutečné údaje 73

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výkres upínacího kusu

PŘÍLOHA P I: VÝKRES UPÍNACÍHO KUSU





NEKÓTOVANÉ SRAŽENÍ 0,3x45°

6,3 3,2

	JMÉNO	DATUM
KRESLIL		
KONTROLOVAL		
MATERIÁL	11 109	
POLOTOVAR	⌀60x995	

NÁZEV SOUČÁSTI: Upínací kus

ČÍSLO VÝKRESU: 001

UTB
FAKULTA TECHNOLOGICKÁ
ÚSTAV VÝROBNÍHO INŽENÝRSTVÍ

SOLID EDGE ACADEMIC EDITION

	FORMÁT A4	HMOTNOST 0,22 Kg
	ČÍSLO KUSOVNÍKU	
ISO 8015		MĚŘÍTKO 1 : 1
ISO 2768		LIST 1 Z 1