

Programování a CNC výroba přítlačné desky trakčního motoru

Filip Vondráček

Bakalářská práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

| | |
|-------------------|---|
| Jméno a příjmení: | Filip Vondráček |
| Osobní číslo: | T20227 |
| Studijní program: | B3909 Procesní inženýrství |
| Studijní obor: | Technologická zařízení |
| Forma studia: | Prezenční |
| Téma práce: | Programování a CNC výroba přítlačné desky trakčního motoru |

Zásady pro vypracování

- 1-teoretická studie na dané téma
- 2-vytvoření programu pro CNC obráběcí centrum
- 3-vytvoření dokumentace pro TPV
- 4-výroba součástí 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.

KOČMAN, Karel. *Speciální technologie: obrábění*. 3., přeprac. a dopl. vyd. Brno: CERM, 2004, 227 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 8021425628.

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, c2008, xx, 540 s. ISBN 9780831133474. Dostupné také z: <http://www.loc.gov/catdir/toc/ecip084/2007045901.html>

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

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2023**
Termín odevzdání bakalářské práce: **19. května 2023**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 22. února 2023

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 užit 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 vytvoření obráběcího programu pro přítlačnou desku trakčního motoru. Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou část a praktickou část.

V teoretické části je řečeno o trakčních motorech, dále je rozebrána problematika frézování, vrtání a CNC obrábění.

V praktické části je provedeno programování pro CNC obrábění dané přítlačné desky v programu NX.

Klíčová slova: elektromotory, frézování, CNC stroje, programování

ABSTRACT

The aim of the bachelor thesis is to create a machining program for the pressure plate of the traction motor. The bachelor thesis is divided into a theoretical part and a practical part.

In the theoretical part, traction motors are discussed, and the issue of milling, drilling and CNC machining is also discussed.

In the practical part, programming for CNC machining of the given pressure plate is performed in the NX program.

Keywords: electromotors, milling (metal-work), CNC machines, programming

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za trpělivost, všechny rady, připomínky a doporučení, které mi poskytl při vypracování mé bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat firmě ZAKO Turčín spol. s r.o. za umožnění vypracování a poskytnutí doporučení k výrobě a podkladů k bakalářské práci.

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

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 9 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 10 |
| 1 ELEKTROMOTORY | 11 |
| 1.1 INDUKČNÍ MOTORY | 12 |
| 1.1.1 Princip funkce | 12 |
| 1.1.2 Konstrukční uspořádání | 13 |
| 1.2 STEJNOSMĚRNÉ MOTORY | 14 |
| 1.2.1 Princip a uspořádání | 14 |
| 1.2.2 Hlavní typy..... | 15 |
| 2 FRÉZOVÁNÍ | 17 |
| 2.1 NÁSTROJE | 17 |
| 2.1.1 Základní typy | 17 |
| 2.2 DRUHY FRÉZOVÁNÍ | 20 |
| 2.2.1 Nesousledné frézování | 21 |
| 2.2.2 Sousledné frézování | 21 |
| 2.2.3 Hlavní výhody obou způsobů..... | 22 |
| 2.2.4 Čelní frézování | 22 |
| 2.2.5 Okružovací frézování | 23 |
| 2.3 FRÉZKY | 23 |
| 3 VRTÁNÍ | 24 |
| 3.1 VRTACÍ OPERACE | 24 |
| 3.1.1 Vrtání děr | 24 |
| 3.1.2 Vystružování | 24 |
| 3.1.3 Zahlubování..... | 25 |
| 3.1.4 Vrtání na jádro..... | 25 |
| 3.2 NÁSTROJE | 25 |
| 3.2.1 Šroubovité vrtáky | 25 |
| 3.2.2 Kopinaté vrtáky | 25 |
| 3.2.3 Vrtáky na jádro..... | 26 |
| 4 CNC OBRÁBĚNÍ | 27 |
| 4.1 ZPŮSOBY PROGRAMOVÁNÍ | 30 |
| 4.2 SCHÉMA CNC OBRÁBĚCÍHO STROJE | 30 |
| 4.3 NULOVÉ BODY | 32 |
| 4.4 OBRÁBĚCÍ STROJE | 33 |
| 4.4.1 Rozdělení podle počtu pracovních os | 34 |
| 5 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI | 36 |
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 37 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 6 | CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI BAKALÁŘSKÉ PRÁCE..... | 38 |
| 7 | OBRÁBĚCÍ STROJ A NÁSTROJE..... | 39 |
| 7.1 | CNC OBRÁBĚCÍ CENTRUM..... | 39 |
| 7.2 | NÁSTROJE | 40 |
| 8 | OBRÁBĚCÍ POSTUP..... | 41 |
| 8.1 | DEFINOVÁNÍ NULOVÉHO BODU, POLOTOVARU A OBROBKU | 41 |
| 8.2 | FRÉZOVÁNÍ HORNÍHO A SPODNÍHO ČELA DESKY | 42 |
| 8.3 | HRUBOVÁNÍ ZADNÍ PLOCHY | 43 |
| 8.4 | DOKONČENÍ ZADNÍ PLOCHY | 44 |
| 8.5 | HRUBOVÁNÍ Ø356, SRAŽENÍ 11 MM/30° A Ø310 | 45 |
| 8.6 | VRTÁNÍ DĚR PRO ZÁVITY | 46 |
| 8.7 | SRAŽENÍ HRAN PRO ZÁVITY | 47 |
| 8.8 | VÝROBA ZÁVITU | 48 |
| 8.9 | VRTÁNÍ DĚR Ø16H11 | 48 |
| 8.10 | DOKONČENÍ DĚR Ø16H11 | 49 |
| 8.11 | VRTÁNÍ DĚR Ø16 | 50 |
| 8.12 | VRTÁNÍ DĚR Ø20 | 50 |
| 8.13 | VRTÁNÍ DĚR Ø26 | 51 |
| 8.14 | DOKONČENÍ Ø356 x 6..... | 52 |
| 8.15 | DOKONČENÍ SRAŽENÍ 30° | 52 |
| 8.16 | DOKONČENÍ Ø310H8 | 53 |
| 9 | DISKUZE ŘEŠENÍ..... | 55 |
| 9.1 | VÝROBNÍ POSTUP | 55 |
| 9.2 | ANALÝZA PŘÍTLAČNÉ DESKY PO OBRÁBĚNÍ..... | 56 |
| 9.3 | TECHNOLOGICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY..... | 57 |
| 9.4 | KONTROLA PŘÍTLAČNÉ DESKY | 60 |
| | ZÁVĚR | 61 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 62 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 64 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 65 |
| | SEZNAM TABULEK..... | 67 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 68 |

ÚVOD

Ve cvičeních jsme si každý měli připravit model a pro něj vytvořit program pro obrábění na CNC stroji. Tvorba programu a následná výroba daného modelu byla velmi zajímavá, což mě vedlo ke zvolení tohoto tématu pro svou bakalářskou práci. Při hledání potřebné součásti, pro kterou bych program vytvořil, jsem zašel do firmy, ve které jsem měl brigádu. Po jejich doporučení jsem si vybral přítláčnou desku trakčního motoru.

V teoretické části je uváděn popis vlastností a použití trakčních motorů, dále popis principu frézování, vrtání a CNC programování a strojů. Trakční motory jsou hojně využívány kvůli jejich velkému točivému momentu při rozběhu například u kolejových vozidel. Frézování je nejrozšířenější obráběcí operace, pomocí které se dají obrobit velké i tvarově složité dílce. V rámci automatizace a zefektivnění výroby se upouští od charakteristických strojů pro jednotlivé obráběcí operace a přechází se k programovatelným multifunkčním obráběcím centrům.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ELEKTROMOTORY

Motory jsou zařízení, měnící elektrickou energii v mechanickou. Představují tedy elektromechanické měniče energie. Mohou být připojeny ke střídavému nebo stejnosměrnému zdroji elektrické energie – jedná se o střídavé nebo stejnosměrné motory. Střídavý zdroj bývá jednofázový nebo vícefázový, nejčastěji trojfázový (rozvodná síť). [1]

Motor má pevný stator a pohyblivý rotor, mezi nimiž je vzduchová mezera. Vnitřnímu průměru statoru se říká průměr vrtání. Statorem bývá obvykle vnější část motoru, rotor, uložený na ložiskách, se v ní otáčí. Ve speciálních případech se vyskytuje i uspořádání opačné, kdy rotuje vnější část motoru. Hřídel motoru může být horizontální nebo vertikální. [1]

Stator i rotor jsou opatřeny vinutím. Vinutí bývá rozložené, sestávající z cívek založených v drážkách po obvodě vzduchové mezery mezi statorem a rotorem, nebo ve formě cívek, nasunutých na vyniklých pólech, rozmístěných po obvodě vzduchové mezery. Konce vinutí jsou vyvedeny do svorkovnic. Místo pólů s cívkami se v některých případech používají permanentní magnety. [1]

Pólem se v obecnosti rozumí ta část povrchu ve vzduchové mezeře, vůči níž má magnetický tok v každém místě stejnou orientaci (buď do ní vstupuje, nebo z ní vystupuje). Vzdálenost podélných (axiálních) os dvou vedle sebe ležících pólů se nazývá pólová rozteč. Póly (např. u stejnosměrných motorů) mohou být patrně i jako konstrukční součásti. [1]

Trojfázová vinutí bývají spojena do hvězdy (konce všech fází tvoří společný uzel, jejich začátky se připojují na jednotlivé fáze zdroje napětí) nebo do trojúhelníku (konec předchozí fáze vinutí je vždy spojen se začátkem následující fáze vinutí a uzly se připojí k jednotlivým fázím zdroje). [1]

Ta část motoru, v níž se při pohybu indukuje napětí, bývá též nazývána kotvou. Zpravidla je to rotor (např. u stejnosměrných motorů), může to však být i jeho stator (např. u synchronních motorů, buzených rotorem). [1]

Střídavé trojfázové motory mají točivé magnetické pole a smysl jeho otáčení odpovídá smyslu otáčení rotoru motoru. Změna směru otáčení motoru se docílí změnou sledu fází vinutí. Střídavé jednofázové motory mají střídavé pulzační magnetické pole, které se chová jako dvě protiběžná točivá pole. Rotor motoru se může otáčet v obou směrech, záleží na počátečním podnětu. [1]

Stejnoseměrné motory mají stacionární magnetické pole. Směr otáčení jejich rotoru je dán vzájemnou orientací zapojení vinutí statoru a rotoru a její změnou se mění. [1]

1.1 Indukční motory

1.1.1 Princip funkce

Stejně jako stejnosměrný motor, indukční motor vyvíjí točivý moment interakcí axiálních proudů v rotoru a radiálního magnetického pole produkované statorem. Ale zatímco ve stejnosměrném motoru musí být do rotoru přiváděn „pracovní“ proud pomocí kartáčů a komutátoru, točivý moment produkující proudy v rotoru indukčního motoru jsou indukovány elektromagnetickým působením, odtud název „indukční“ motor. Vinutí statoru tedy vytváří pouze magnetické pole („buzení“), ale také dodává energii, která se přeměňuje na mechanický výstup. Absence jakýchkoliv posuvných mechanických kontaktů a následná úspora z hlediska údržby je hlavní výhodou indukčního motoru oproti stejnosměrnému motoru. [2]

Další rozdíly mezi indukčním motorem a stejnosměrným motorem jsou: napájení indukčního motoru je pomocí střídavého proudu (obvykle třífázového, ale u menších velikostí jednofázové); magnetické pole v indukčním motoru se otáčí vzhledem ke statoru, zatímco u stejnosměrného motoru stojí; jak stator, tak rotor v indukčním motoru nejsou výstupkové (tj. fakticky hladké), zatímco stator motoru u stejnosměrného má vyčnívající póly nebo výběžky, které definují polohu vinutí pole. [2]

Prohlédneme-li si statorové vinutí indukčního motoru, zjistíme, že se skládá z jednotného pole identických cívek umístěných ve štěrbinách. Cívky jsou ve skutečnosti spojeny do tří identických skupin neboli fázových vinutí, rozmístěných kolem statoru a symetricky posunutých navzájem vůči sobě. Tři fázová vinutí jsou propojena buď ve hvězdě, nebo trojúhelníku. Tři fázová vinutí jsou připojena k symetrickému 3fázovému střídavému zdroji napájení, a tak proudy mají stejnou amplitudu, ale liší se v časové fázi o jednu třetinu cyklu (120°) a tvoří vyváženou 3fázovou sadu. [2]



Obr. 1 Zapojení do hvězdy a do trojúhelníka [2]

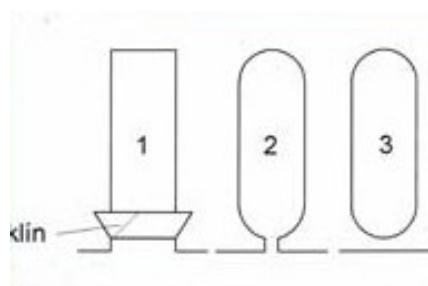
1.1.2 Konstrukční uspořádání

1.1.2.1 Motor s kroužkovým rotorem

Stator motoru s kroužkovým rotorem má nosnou kostru, složenou z přitlačných desek a rámu, do níž je vložen magnetický obvod. Ten je sestaven z dynamoplechů ve tvaru mezikruží, legovaných křemíkem a vzájemně izolovaných buď lakem, nebo vrstvou difundovaného izolantu (např. fosfátu). Izolace plechů potlačuje ztráty vířivými proudy, vznikajícími ve vodivých materiálech ve střídavém magnetickém poli. Magnetický obvod je v kostře uchycen lištami nebo svorníky a axiálně stažen. Po vnitřním povrchu má vytvořeny podélné drážky pro založení vinutí.

Vinutí statoru je bubnové, což znamená, že je tvořeno cívkami, jejichž obě aktivní strany leží na povrchu statoru. Jsou od sebe vzdáleny přibližně o jednu pólovou rozteč. Cívky velkých rotorů se obvykle zhotovují z měděného dynamopásu, izolovaného skelnou izolací, u menších a malých motorů z vodiče kruhového průřezu, izolovaného smaltem.

Drážky, do nichž se vinutí zakládá, mohou být otevřené (1), polouzavřené (2) nebo uzavřené (3). Otevřené drážky se zpravidla používají u velkých strojů na vyšší napětí, neboť umožňují dokonalé izolování cívek v přípravcích mimo stroj. Cívky se do motoru zakládají v definitivní podobě a klínují se izolačními (v některých případech i elektricky nebo magneticky vodivými) klíny lichoběžníkového průřezu. Nevýhodou otevřených drážek je vznik nehomogenit magnetického pole v místě otevření, čímž narůstají ztráty v magnetickém obvodu. Pro potlačení těchto nepříznivých vlivů je třeba volit větší vzduchovou mezeru mezi státorem a rotorem. Polouzavřené drážky přicházejí v úvahu pro menší a malé stroje. Cívky se buď navíjejí strojově nebo ručně přímo do drážek, vyložených izolací nebo se navíjejí předem a do drážek se vsypávají. Uzavřené drážky se vyskytují prakticky pouze u speciálních motorů. Umožňují zmenšit proud, potřebný pro vybuzení magnetického pole motoru. Cívky se navíjejí tzv. prošíváním - vodič se drážkou protahuje. Nevýhodou je vysoká cena navíjení a možnost porušení izolace vodiče. [3]



Obr. 2 Tvar drážek statoru [3]

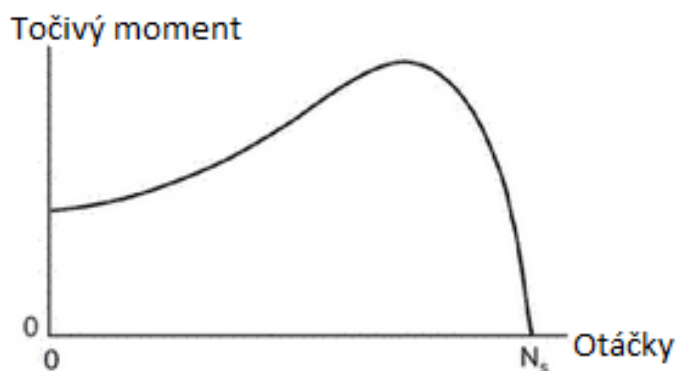
Rotor má hřídel z ocelového výkovku nebo z válcované či tažené oceli. Při větších průměrech motoru má navařená žebra nebo ramena, u velkých průměrů bývá nasazována opěrná hvězdice. Na hřídeli, žebrech, ramenou nebo hvězdici je usazen magnetický obvod, složený z mezikruží z již zmiňovaných dynamoplechů, zpravidla tloušťky 0,5 mm. Vnější povrch mezikruží je opatřen drážkami pro uložení vinutí. [1]

1.1.2.2 Motor s klecovým rotorem

Motor v provedení s klecovým rotorem bývá nazýván též motorem s rotorem či kotvou nakrátko.

Rotorové vinutí je tvořeno klecí – tyčemi z mědi nebo hliníku, někdy též z mosazi, spojenými po obou stranách zkratovacími kruhy ze stejného materiálu. Drážky bývají polouzavřené, různého tvaru, jenž má vliv na průběh točivého momentu v závislosti na rychlosti otáčení a na jeho záběrový moment.

Má-li motor s klecí větší záběrový moment, zhotovuje se jeho klec jako odporová, obvykle z materiálu s horší elektrickou vodivostí. Jinou možností je zeslabení nebo střídavé prořezání spojovacích kruhů (nesmí se však přerušit spojení tyčí). Motor s odporovou klecí zabírá většinou s maximálním momentem, má však zhoršenou účinnost. Proto se použití těchto motorů omezuje na případy s krátkodobým zatěžováním (např. na roztáčení velkých momentů setrvačnosti, výtahy, jeřáby apod.). [1]



Obr. 3 Momentová charakteristika motoru s klecovým rotorem [2]

1.2 Stejnosměrné motory

1.2.1 Princip a uspořádání

Stejnosemřný motor má stator po obvodě opatřen pravidelně prostřídánými a navzájem magneticky opačně orientovanými vyniklými hlavními póly (cívky a jejich vinutí budí

magnetické pole motoru) a vyniklými pomocnými, komutačními póly (napomáhají komutaci rotorového vinutí). Za hlavním pólem dané polarity následuje ve směru otáčení kotvy vždy pomocný pól téže polarity.

Rotor, nazývaný též kotva, nese v drážkách rozložené vinutí s cívkami, vyvedenými k mechanickému komutátoru. Komutátor zajišťuje přivádění správně orientovaného proudu do cívek vinutí rotující kotvy tak, aby všechny proudem protékané cívkové strany vytvářely magnetickém poli hlavních pólů točivý moment souhlasného smyslu. Ke komutátoru přiléhají grafitické nebo elektrografitické kartáče. Kartáče se umísťují do magneticky neutrálního místa (teoreticky do středu) mezi po sobě následujícími hlavními póly a je jich, stejně jako pólů, vždy sudý počet. Pro zlepšení komutace se někdy poněkud natáčejí proti směru točení kotvy. Složení, umístění (nastavení), zabroušení a zaběhání kartáčů významně ovlivňuje průběh komutace.

Proud, protékající vinutím kotvy, vytváří reakční magnetické pole, které zeslabuje a deformuje magnetické pole hlavních pólů a ovlivňuje i magnetické pole komutačních pólů. K potlačení reakčního pole slouží kompenzační vinutí, zakládané do drážek pólových nástavců hlavních pólů.

U moderních strojů, určených pro regulační pohony, jsou stator s póly i rotor skládány z izolovaných dynamoplechů. Pokud se od motoru nevyžadují kvalitní dynamické vlastnosti, vyhoví i stator (mimo pólových nástavců) z masivní měkké oceli.

Vinutí kotvy a pólů je obdobné jako u indukčních motorů. [1]

1.2.2 Hlavní typy

- Motor s cizím buzením (má vinutí hlavních pólů napájené z nezávislého zdroje, kterým bývá buď menší dynamo, nazývané budič, nebo řízený či neřízený usměrňovač)
- Derivační motor (též motor s paralelním buzením, má budicí vinutí připojené na napětí kotvy, budicí proud lze řídit v sérii s tímto vinutím připojeným derivačním reostatem nebo pulzním měničem)
- Sériový motor (má budicí vinutí zapojeno do série s kotvou)
- Kompaundní motor (neboli motor se smíšeným buzením má na hlavních pólech dvoje vinutí: hlavní budicí vinutí, které je napájené z nezávislého zdroje, a sériové

budící vinutí, protékané proudem kotvy a působící buď souhlasně nebo nesouhlasně s působením hlavního budícího vinutí) [1]

2 FRÉZOVÁNÍ

Frézování je obráběcí metoda, při které se materiál obrobku odebírá břitý otáčejícího se nástroje. [4]

Frézovací nástroj je upnutý ve vřetenu frézky a koná hlavní rotační pohyb. Vedlejší pohyby nejčastěji vykonává obrobek. [6]

U moderních frézovacích strojů jsou posuvné pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech (obráběcí centra, víceosé CNC frézky). Řezný proces je přerušovaný, každý zub odřezává krátké třísky proměnné tloušťky. [4]

Frézováním se vyrábí rovinné a tvarové přímkové plochy. [5]

2.1 Nástroje

Fréza je vícebřitý nástroj (výjimečně i s jedním břitem), její zuby odebírají třísku – z hlediska zubu jde o přerušovaný řez, velkou část dráhy je ostří mimo záběr. Každý zub má potřebné řezné úhly. Konstrukce frézy a tvar řezné hrany závisí na použití, na tvaru obrobku a jeho materiálu. Frézy se většinou u současných nástrojů skládají z držáku pro VBD a vlastní VBD (vyměnitelná břitová destička). Jakost materiálu, ze kterého je vyrobena VBD i monolitní fréza (její řezná hrana), odpovídá a je volena podle obráběných materiálů. Ostří mohou být nepovlakovaná i povlakovaná. Počet zubů na daném průměru frézy může být rozdílný, mezera mezi zuby nemusí být stejnoměrná. U válcových, stopkových fréz bývají zuby i ve šroubovici. Při šroubovici ostří postupně vniká do materiálu, čímž se namáhání stroje a vřetena zmenšuje. [6]

2.1.1 Základní typy

2.1.1.1 Frézy čelní

- Frézování čelní do rohu 90° - tato fréza je určena pro frézování tvaru venkovní kontury s kolmou stěnou. Lze ji použít i pro čelní frézování. Je třeba zvážit, zda použít tuto frézu na obě uvedené plochy, nebo zda nebude výhodnější frézky měnit a na čelní plochu použít k tomu určenou frézu s úhlem 45° . Při frézování do rohu vzniká velká radiální síla, namáhání vřetene, což může způsobit vibrace. Axiální síla je minimální, vibrace tedy nezapříčiňuje. Použití této frézy pro čelní frézování je vhodné u tenkých, málo tuhých obrobků.

- Typické frézování čelních ploch, úhel bývá obvykle 45°. Řezná síla působí v radiálních a axiálních složkách, tříška je tenčí, může se zvýšit posuv, je třeba menšího výkonu stroje. Frézy s úhlem 45° lze použít i pro odjehlení, sražení hran na obrobcích. Pokud použijeme VBD kruhového tvaru, podle hloubky záběru vznikají rozdílné síly (při malé hloubce velká složka axiální síly). [6]

2.1.1.2 Frézy stopkové s VBD

Frézy se od sebe liší tvarem VBD, úhlem nastavení ostří. Zde může být použita i VBD kruhového, talířového tvaru. Frézovat je možné ve směru osy axiálně (vyvrtávání, zapichování) i radiálně (čelně frézovat povrch). [6]

2.1.1.3 Frézy válcové

Používají se především pro frézování vnějších tvarů, kontur s velkou axiální hloubkou třísky. Frézy mají více VBD – ostří na své válcové ploše, často umístěných nesouměrně pro omezení vibrací. Rozmístění VBD po obvodu válce je takové, aby obrobená plocha byla dokonalá a aby také docházelo k přerušení třísky, která nesmí být příliš široká. [6]

2.1.1.4 Frézy kopírovací (kulové)

- Použití je pro obrábění vnitřních tvarů. Problém se objevuje při frézování plochy kolmé na osu frézy, v ose frézy je řezná rychlost nulová.
- Fréza s kruhovými VBD po obvodě nemá problém s frézováním ploch, které obrábí ve svislé poloze. Je robustnější, má větší výkon, ale oproti fréze kulové zvládne tvary poměrně jednoduché.
- Použití kulové frézy pro frézování vnějších i vnitřních rozmanitých tvarů na obrobcích (výroba forem) je často jedinou možností.

Označení kopírovací navazuje na dřívější technologii kopírování již hotového tvaru „palcem“, toto bylo násobně mechanicky přenášeno na další frézky, které obráběly na svých obrobcích přenášený tvar. Nástupem CNC obrábění tato technologie zanikla. Výběr tvaru a rozměru nástroje je dán tvarem obrobku na výkrese. [6]

2.1.1.5 Frézy kotoučové

Jsou výhodné pro frézování průběžných drážek na horizontálních i vertikálních frézkách. Používají se frézy různých tlouštěk, průměrů, počtu ostří rozličných tvarů – pro drážky rovné i tvarové (např. frézování ozubení). Při malé šířce je lze použít pro dělení materiálu i jako pilu. [6]



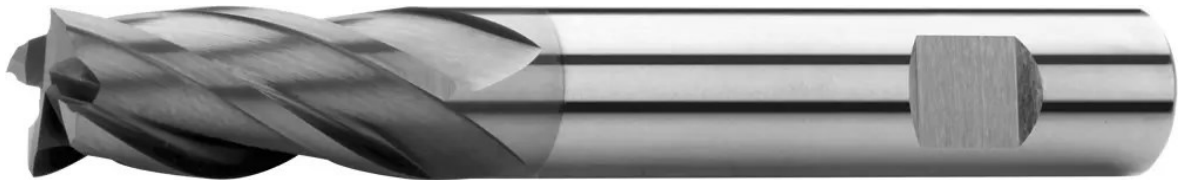
Obr. 4 Kotoučová fréza [7]

2.1.1.6 Frézy z rychlořezných ocelí

V současnosti se frézy z RO používají výjimečně, zejména na konvenčních strojích. Na CNC strojích se používají spíše tvarové frézy. Ve výdejnách dílen se lze setkat s následujícími příklady:

- **Čelní válcová (stopková) fréza:** V současnosti jsou vyhotoveny z rychlořezných ocelí různého druhu, jsou nabízeny jako nepovlakované a povlakované, nebo jsou k dispozici z monolitního karbidu. Používají se ve dvou provedeních: s více ostřími, která nesahají až do středu – použití pro průběžnou drážku, hloubka třísky se nastavuje axiálně před obrobkem. Fréza s dvěma ostřími dosahující až do středu (označovaná jako drážkovací) do materiálu zajíždí axiálně – typické použití drážky na hřídeli.
- **Nástrčná válcová fréza:** Při konvenčním použití je určena pro obrábění velkých a členitých ploch, kdy je tento typ naskládán podle potřeby na trn pro frézování na horizontální frézce. Na vertikální frézce je upnuta přes šroub na krátký trn, a to pouze pro frézování boků.

- **Čelní válcová fréza:** Obdoba předchozí frézy pro běžné použití na vertikální frézce. Z tohoto důvodu je upínací šroub zapuštěn do hloubky, aby bylo umožněno obrábění čelní i do rohu.
- **Tvarové frézy:**
 - Úhlová je určena pro frézování rybinových drážek, kdy do klasické průběžné drážky předzhotovené kotoučovou frézou najíždí úhlová fréza z boku.
 - Totéž platí i pro výrobu T drážek. Z hlediska výroby se jedná o rizikové nástroje, často se zlomí.
 - Fréza určena k výrobě ozubených kol dělicím způsobem: úhel na hřbetu vznikl podsoustružením, opotřeбенé ostří se brousí na čele a tvar obráběného zubu takto zůstává zachován. [6]



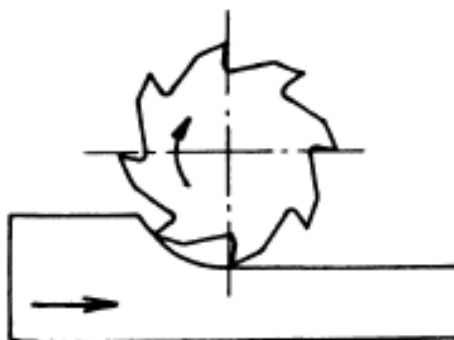
Obr. 5 Čelní válcová fréza s břity ze slinutého karbidu [8]

2.2 Druhy frézování

Při válcovém frézování se odebrává z obrobku třísky břity uspořádanými po obvodě frézy. Směr posuvu je kolmý k ose frézy. Výsledný řezný pohyb, tj. dráha břitu nástroje vzhledem k obrobku, je prodloužená cykloida, vytvořená otáčivým pohybem břitu nástroje a podélným, přímočarým pohybem obrobku. Podle směru posuvu obrobku vzhledem ke směru otáčení frézy rozeznáváme frézování sousledné a nesousledné, podle toho se mění i průřez odebírané třísky od maxima do nuly nebo od nuly do maxima. [5]

2.2.1 Nesousledné frézování

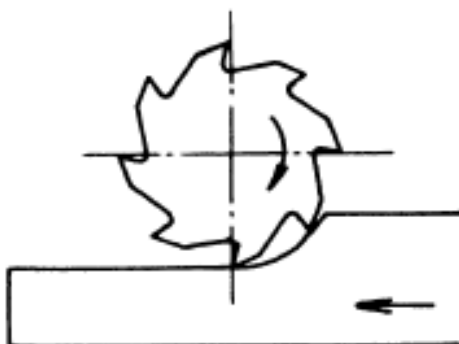
Při nesousledném frézování je smysl rotace nástroje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Tloušťka třísky se postupně mění z nulové hodnoty na hodnotu maximální. K oddělování třísky nedochází v okamžiku její nulové tloušťky, ale po určitém skluzu břitu po ploše vytvořené předcházejícím zubem. Přitom vznikají silové účinky a deformace způsobující zvýšené opotřebení břitu. Řezná síla při protisměrném frézování má složku, která působí směrem nahoru a odtahuje obrobek od stolu. [4]



Obr. 6 Nesousledné frézování [9]

2.2.2 Sousedné frézování

Při sousledném frézování je smysl rotace nástroje ve směru posuvu obrobku. Maximální tloušťka třísky vzniká při vnikání zubu frézy do obrobku a postupně se zmenšuje do nuly. Obrobená plocha se vytváří, když zub vychází ze záběru. Řezné síly působí obvykle směrem dolů. Sousedné frézování může probíhat pouze na přizpůsobeném stroji při vymezené vůli a předpětí mezi posuvovým šroubem a maticí stolu frézky. V opačném případě způsobuje vůle nesterjnoměrný posuv, při němž může dojít k poškození nástroje, popř. i stroje. [4]



Obr. 7 Sousedné frézování [9]

2.2.3 Hlavní výhody obou způsobů

Nesousledné frézování:

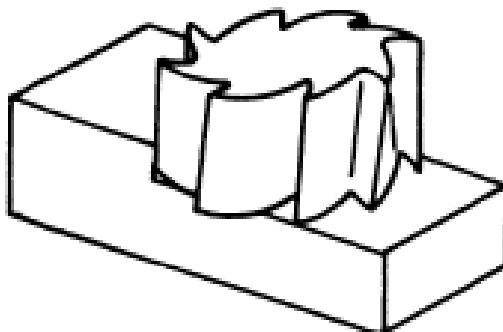
- Trvanlivost nástroje nezávisí na okujích, písčitém povrchu obrobku apod.
- Není zapotřebí vymezování vůle mezi posuvovým šroubem a maticí stolu stroje
- Menší opotřebení šroubu a matice
- Záběr zubů frézy při jejich vřezávání nezávisí na hloubce řezu

Sousledné frézování:

- Vyšší trvanlivost břitů, což umožňuje použití vyšších řezných rychlostí a posuvů
- Menší potřebný řezný výkon
- Řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu, takže lze použít jednodušších upínacích přípravků
- Menší sklon ke chvění
- Obvykle menší sklon k tvořenému nárůstku
- Menší drsnost obrobeného povrchu [4]

2.2.4 Čelní frézování

Při čelním frézování je osa frézy kolmá k frézované ploše, z níž se oddělují třísky břity na čele. Fréza (stopková) však může oddělovat i třísky břity na obvodu, případně jen na obvodu. [5]



Obr. 8 Rovinné frézování čelní frézou [9]

V závislosti poměru šířky frézované plochy k průměru frézy a také s ohledem na polohu osy frézy vzhledem k frézované ploše může být frézování symetrické nebo nesymetrické. [4]

2.2.5 Okružovací frézování

Při okružovacím frézování se vícebřítý nástroj (např. hlava osazená mnoha břitovými destičkami) otáčí vně obrobku, který se rovněž otáčí. Tím můžeme vytvořit frézováním rotační plochy válcové i tvarové. Nejčastěji se používá na výrobu závitů. [5]

2.3 Frézky

Frézky jsou strojně poháněné obráběcí stroje, které se používají převážně při obrábění kovů a jiných pevných materiálů. Frézky musí být vybavena rotujícím vřetenem pro pohyb vícezubé frézy a pohyblivým stolem pro upevnění, polohování a podávání obrobku. Široká škála obráběcích operací může být prováděna na frézkách. Jsou schopné obrábět ploché nebo konturové povrchy, štěrbinu, drážky, vybrání, závit, ozubená kola, spirály atd. [10]

Obrobek může být upnut přímo na stůl frézky, držen v přípravku, nebo namontován v nebo na jednom z mnoha upínacích zařízení obrobků dostupných pro frézky. [10]

Od stavby první frézky, kterou v roce 1820 sestrojil Eli Whitney, až po dnešek existuje k dispozici více variant frézek než z kterékoli jiné rodiny obráběcích strojů. [10]

Protože frézky mohou provádět několik typů operací a vytvářet několik typů povrchů s jediným nastavením obrobku, řadí se mezi nejdůležitější obráběcí stroje. Nejběžnější typy těchto strojů lze klasifikovat podle jejich polohy vřetena na vertikální nebo horizontální.

Podle obecných konstrukčních vlastností jsou klasifikovány takto:

- Sloupové a konzolové
- Portálové
- Stolové
- Další typy frézek [10]

3 VRTÁNÍ

V současných moderních technologiích na CNC strojích se setkáváme s vrtáním:

- U soustruhů, kde lze vrtat stojícím vrtákem upnutým v koníku nebo častěji v nástrojové hlavě, a to v ose rotujícího obrobku, nebo mimo osu obrobku rotujícím (poháněným) nástrojem, a to nejen do čela, ale i v jiných směrech.
- U frézovacích strojů, kdy se prakticky vrták vždy otáčí.
- U speciálních strojů určených pro vrtací operace (u vrtaček, výrobních buněk, jednoúčelových strojů apod.) [6]

U vrtacích nástrojů je maximální řezná rychlost na obvodu nástroje (na vnějším průměru). Tato rychlost je uváděna v dostupných materiálech a používá se k výpočtům. Směrem k ose vrtáku se rychlost lineárně snižuje, v ose vrtáku má nulovou hodnotu. [6]

3.1 Vrtací operace

3.1.1 Vrtání děr

Vrtáním se zhotovují díry do plna, nebo převrtávají díry již předvrtané, nebo jinak předpřipravené. Osa vrtáku je běžně kolmá k obráběné ploše. Pokud není, problémy se řeší většinou změnou řezných podmínek nebo úpravou (zafrézováním) povrchu pro kolmý vstup vrtáku do materiálu. Moderní nástroje již nevyžadují zavrtání – ustředění, případně předvrtání menším průměrem vrtáku. Vrtá se průměr díry na jeden záběr (tolerance vyvrtané díry IT 8-9), často již není nutné následné vystružování na přesný rozměr a kvalitu plochy. Problém bývá s odvodem třísky: nástroje, kde to konstrukce umožňuje, v sobě mají kanálky pro dodávku řezné kapaliny pod tlakem, která mimo chlazení a mazání řezné hrany též vytlačuje vznikající třísky. Lámání třísky se většinou řeší softwarově, zejména přerušením řezu, případně vyjížděním z otvoru a znovunajetím. Též konstrukcí nástroje (břity s utvařeči třísek). Při použití dlouhých klasických vrtáků se již vyžaduje ustředění navrtávákem, v praxi se navrtává i krátkým vrtákem. Vrtání hlubokých děr (až 150krát průměr vrtáku) vyžaduje obvykle speciální nástroje a technologii. [6]

3.1.2 Vystružování

Dokončovací operace po vrtání, kdy je dán požadavek na úzkou toleranci (IT 8 až IT 6) a vysokou kvalitu povrchu otvoru. Při použití moderních nástrojů na CNC strojích již není

vzhledem k tuhosti stroje používání výhrubníků a volných uložení při vystružování potřebné. Dosahuje se zvýšené kvality vrtaných otvorů. [6]

3.1.3 Zahlubování

Úprava vstupní části vrtané díry (zvětšení průměru, kuželové zahloubení, sražení hrany, osazení pro hlavu šroubu apod.). Používá se k tomu buď samostatný nástroj (záhlubník), obvykle s vodícím čepem, nebo sdružený kombinovaný nástroj, který otvor vyvrtá a současně zahloubí. [6]

3.1.4 Vrtání na jádro

Obvykle se používá u větších průměrů kratších průchozích otvorů. Sníží se tím potřebný rezný příkon stroje a množství obrobených třísek. Vrtáky na jádro (korunové vrtáky) odebírají materiál v mezikruží a vzniklé jádro (odpad při vrtání) může být znovu využito. [6]

3.2 Nástroje

3.2.1 Šroubovitě vrtáky

Šroubovitě vrtáky se nejčastěji vyrábí s válcovou stopkou nebo u větších průměrů případně se stopkou s kuzelem Morse. U CNC strojů lze výjimečně použít i vrták s Morse kuzelem, musí se však použít redukční pouzdro případně speciální upínač s Morse dutinou. U malých průměrů nástrojů se někdy používá zesílená válcová stopka. Od Morse kužele se i u větších průměrů postupně upouští. Vrtáky s válcovou stopkou se upínají stejně jako stopkové frézy. [6]



Obr. 9 Šroubovitý vrták s válcovou stopkou [11]

3.2.2 Kopinaté vrtáky

Vrtáky mají vysokou tuhost, středění ani předvrtání není nutné. Vrtat díry je možné do průměru 130 mm, délky 3D. Obvykle mají vnitřní přívod rezné kapaliny. Drsnost povrchu vyvrtané díry je nižší a obvykle se vyžaduje další dokončení otvoru. [6]

Vyměnitelné břity kopinatých vrtáků jsou k dispozici z rychlořezných ocelí, slinutých karbidů (povlakovaných). Obvykle mají úhel vrcholu vrtáku 120°, odebíraná tříška je dělena,

na hlavních hřbetech jsou vybroušeny děliče třísek. Tato technologie velké třísky je produktivnější než běžné obrábění. [6]

3.2.3 Vrtáky na jádro

Vrtání na jádro se používá pro větší průměry otvorů, obrábění není energeticky tak náročné jako u vrtání zplna. Třísky odchází z mezikruží, v otvoru zůstává jádro – tato metoda je tedy vhodná pouze pro průchozí otvory. [6]

Nástroje jsou vhodné i pro vrtání otvorů ve svazku (plechů) stisknutých upínkami v přípravku nebo na stole. [6]



Obr. 10 Jádrové vrtáky [12]

4 CNC OBRÁBĚNÍ

Číslicově řízené obráběcí stroje představují nosný prvek pružné automatizace obráběcích procesů v oblasti středně-sériových, malosériových a v řadě případů také kusových výrob. Při opakované výrobě je snadno aplikovatelný řídicí program, který byl již dříve zpracován a využit. Číslicové řízení daleko překračuje funkce jednoho stroje, ale umožňuje návaznost na ostatní prvky celých obráběcích systémů. S velkou výhodou využívá všech předností a možností výpočetní techniky a zasahuje do struktury a organizace výroby v nejširším slova smyslu. Vlastní řezný proces probíhá analogicky jako při práci na standardním obráběcím stroji, avšak technologické postupy při aplikaci CNC obráběcích strojů vykazují řadu specifických složek. [4]

U číslicově řízeného obráběcího stroje je průběh pracovního cyklu řízen číslicově vyjádřenými informacemi o dráze, směru a smyslu pohybu pracovních elementů, řezných podmínkách a pomocných funkcích, které jsou postupně předávány stroji v průběhu operace. [4]

Programování CNC strojů je možné provádět zpravidla dvěma způsoby:

- Systém online, přímo na CNC stroji, dílenské programování (SFP – Shop Floor Programming), aplikace v kusové a malosériové výrobě relativně jednoduchých dílců.
- Offline programování – tvorba part programu mimo řídicí systém, nejčastěji pomocí CAM systému s orientací na některý z řady existujících software. [4]

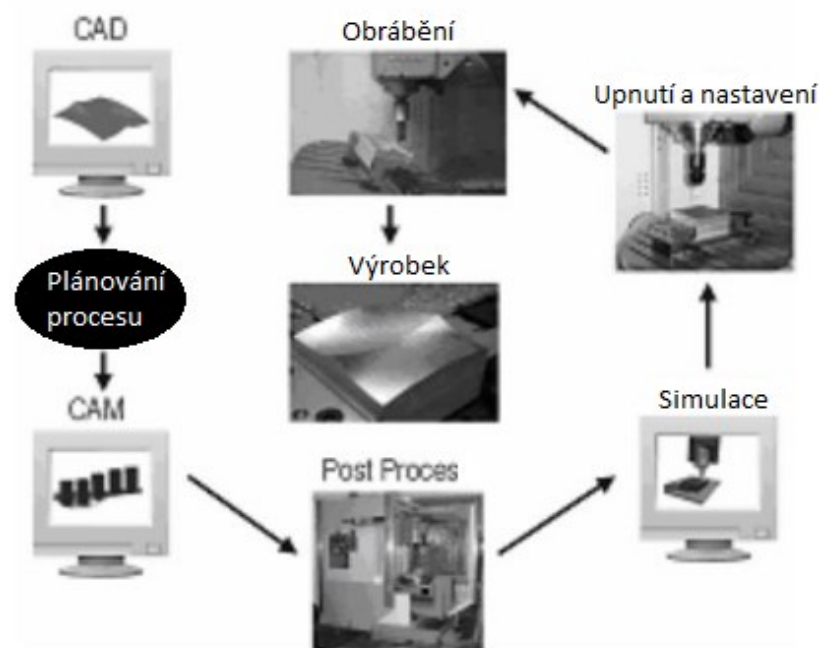
Ekonomické nasazení programově řízených strojů uvedených typů a lepší adaptabilita seřizení vymezují oblast výroby na střední velikosti výrobních dávek a u číslicově řízených strojů na oblast malosériové a kusové výroby. Od výroby hromadné, charakteristické nepružnou „tvrdou“ automatizací se liší zejména svou pružností seřizení a umožňují automatizovat i oblast kusové, malosériové a středně-sériové výroby, viz Tab. 1. [13]

Tab. 1 Charakteristika jednotlivých typů výrob [13]

| Automatizace | Typ výroby | Charakteristika | Typičtí představitelé |
|--------------|-----------------------|--|---|
| Pružná | Kusová výroba | Složité výrobky převážně investičního charakteru, výroba probíhá v množství potřebném pro zakázku v technologicky uspořádaných dílnách. | Turbíny, investiční celky |
| | Malosériová výroba | Výroba většího množství složitých výrobků, opakovaná výroby v nepravidelných periodách, výroba probíhá v dávkách mnohopředmětných proudch nebo technologicky uspořádaných dílnách. | Obráběcí stroje, naftové motory |
| | Středněsériová výroba | Výroba několika výrobků, umožňující střídání v určitých periodách, výroba dílců probíhá v dávkách ve víceřadných technologických proudch. | Kolejová vozidla, výroba motorů |
| Tvrdá | Velkosériová výroba | Výroba několika výrobků ve velkém množství, výroba dílců probíhá v linkách, část na jednoúčelových linkách nebo technologických proudch. | Motocykly, nákladní automobily |
| | Hromadná výroba | Vyrábí se jeden nebo několik výrobků ve velkém množství, výroba probíhá na jednoúčelových linkách. | Nádobí, pračky, ložiska ledničky, osobní automobily |

V procesu CNC obrábění je nutné provést několik kroků, viz Obr. 4:

1. Naplánování a vymodelování obrobku pomocí softwaru CAD
2. Zpracování modelu do číselného kódu nebo G kódu pomocí softwaru CAM
3. Předání kódu simulaci, následné zjištění správnosti fungování dle očekávání
4. Pokud je kód bezchybný, proběhne zadání parametrů obrobku a jejich omezení do programu CNC stroje
5. Zadání zkontrolovaného číselného kódu/G-kódu [14]



Obr. 11 Proces CNC obrábění [14]

Informace, které program obsahuje, lze rozdělit na následující druhy:

- **Geometrické:** Popisují dráhy nástroje, které jsou dány rozměry obráběné součásti a tím, jak se bude součást obrábět. Také popisují příjezd a odjezd nástroje k obrobku a od něho. Jde tedy o popis drah nástroje v kartézských souřadnicích, kdy pro tvorbu programu jsou zapotřebí rozměry z výrobního výkresu. V programu je uveden popis v osách X a Z u soustruhu, v osách X, Y a Z u frézky (podle konstrukce nástroje a náročnosti výrobku i v dalších osách) danými funkcemi, které stanoví norma ISO a také jednotliví výrobci řídicích systémů.
- **Technologické:** Stanovují, jakým postupem vyrábět, jakými nástroji, jakou technologií obrábění z hlediska rezných podmínek (jako jsou otáčky, rezná rychlost, posuv, hloubka třísky).

- Pomocné: Jsou to informace, povely pro stroj, určené pro určité pomocné funkce (zapnutí čerpadla chladicí kapaliny, otáčky vřetene, výměna nástroje). [15]

4.1 Způsoby programování

Pro tvorbu CNC programů se používají následující způsoby programování:

- Programování absolutní: počátek kartézských souřadnic je umístěn programátorem na vhodné místo obrobku. Takto je dán nulový bod obrobku, který má souřadnice X0, Y0 a Z0. Pohyb nástroje se popisuje v blocích programu ze startovacího do cílového bodu ve smyslu: „do kterého bodu souřadnic (v každé ose)“ se má posunout nástroj.
- Programování přírůstkové (inkrementální): počátek kartézských souřadnic je umístěn na špičku nástroje, nebo do osy rotace. Pohyb nástroje se popisuje v bloku programu ze startovacího do cílového bodu ve smyslu: „o kolik se (v každé ose)“ se má posunout nástroj.
- Programování pomocí polárních souřadnic: z daného bodu kartézských souřadnic se stanovuje délka pohybu U nástroje a úhel A.
- Parametrické programování: používá v blocích programu parametry, ve kterých jsou vyjádřeny matematické funkce. [15]

4.2 Schéma CNC obráběcího stroje

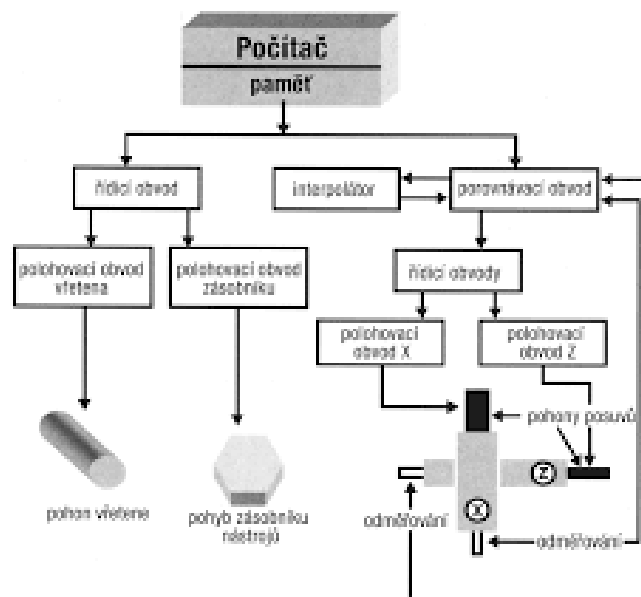
Počítač – Jedná se o průmyslový počítač, do něhož je nahrán řídicí systém (ŘS) a musí vyhovovat možnostem stroje a počítače, tím i požadavkům předpokládané technologie výroby. Z hlediska obsluhy je dán obrazovkou a ovládacím panelem. Pomocí ovládacího panelu lze provádět příkazy potřebné při ruční obsluze, pro seřizování CNC obráběcího stroje a pro práce v dalších režimech stroje. Umožňuje pomocí příslušného softwaru ŘS vyvářet požadovaný CNC program. Program je možné vytvořit i mimo stroj a nahrát ho do stroje, do jeho ŘS. Program se uskládá v paměti a pro vlastní práci se vyvolá příkazem. [15]

Řídicí obvody – V těchto obvodech se logické signály převádí na silnoproudé elektrické signály, kterými se přímo ovládají jednotlivé části stroje: motory vřetene a posuvů atd. [15]

Interpolátor – Řeší dráhu nástroje, která je zadána geometrií, a zahrnuje zadané délkové korekce a korekce na průměr nástroje, resp. Poloměr špičky nože nástroje. Tedy vypočítává

elementy dráhy mezi bloky, ze startovacího do cílového bodu. Zaručuje geometrickou přesnost výrobku. [15]

Porovnávací obvod – Stroj by měl být vybaven tzv. zpětnou vazbou, která přenáší informace o dosažených geometrických hodnotách suportů z pravítek, která jsou umístěna v souřadných osách dráhy pohybu suportů, tedy nástroje. Tyto souřadnice se porovnávají s hodnotami, které jsou zadány programem. Pokud je zjištěn rozdíl, pohony posuvů dostanou povel k dosažení požadovaných hodnot souřadnic. Takový stroj je vybaven odměřováním, které je součástí ŘS a takto zjišťuje vyšší stupeň přesnosti výroby. [15]

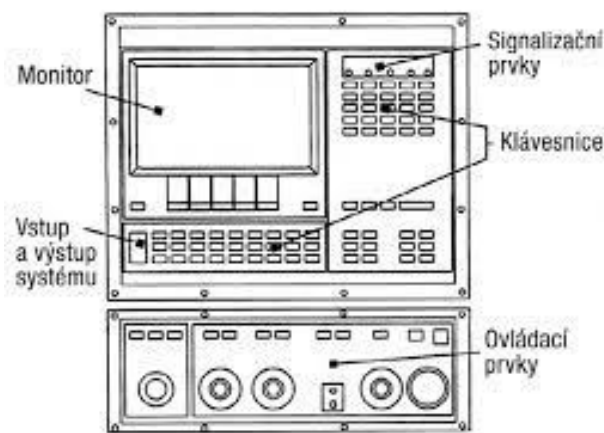


Obr. 12 Blokové schéma CNC obráběcího stroje [15]

Řídicí panel – Bývá řešen různě, podle výrobce:

- **Vstup dat** – část alfanumerická, pomocí níž se ručně zapisuje např. program, data o nástrojích, o seřízení stroje atd.
- **Ovládání stroje** – část speciální, jejíž pomocí se pohybuje nástrojem nebo obrobkem, spouští se otáčky vřeteníku, ovlivňuje se ručně velikost posuvů, rychloposuvů a otáček.
- **Volba režimu práce** – je možné zvolit ruční režim, automatický režim, režim B-B blok po bloku, příp. další. Zde lze použít např. zrychlení, zpomalení otáček, posuvů a rychloposuvů v rámci seřízení stroje, ověření programu a vlastní automatické výroby. Je možné vyvolat editaci nového programu, uložených programů atd.

- **Aktivace paměti** – vyvolání, přepnutí paměti (archivu, editace programu, probíhající automatizované výroby).
- **Aktivace testů** – vyvolání testů programů a testů stroje, simulací programů.
- **Obrazovka** slouží ke kontrole prováděných činností.
- **Přenosný panel** – je spojen kabelem s řídicím panelem, slouží k ovládání základních pohybových funkcí stroje, stejně jako základní část klávesnice. Umožňuje při seřizování a ovládání stroje přejít obsluze do míst, která poskytují dokonalejší možnost vizuální kontroly. [15]



Obr. 13 Řídicí panel CNC stroje [15]

4.3 Nulové body

M – nulový bod stroje: Je stanoven výrobcem. Jedná se o výchozí bod pro všechny další souřadnicové systémy a vztažné body na stroji. U frézky bývá obvykle v krajních polohách stolu frézky, v osách X, Y, Z – z pohledu osoby to může být vlevo a vpředu.

W – nulový bod obrobku: Nastavuje ho obsluha (nebo programátor). Tímto způsobem se ztotožní nulový bod vyhotoveného programu s nulovým bodem obrobku na polotovaru. Provádí se:

- Posunutím souřadnicového systému z nulového bodu stroje.
- „Naškrábnutím“ nástrojem, nebo sondou na obrobku, případně s dalším následným posunem nástroje v osách do místa požadovaného nulového bodu.

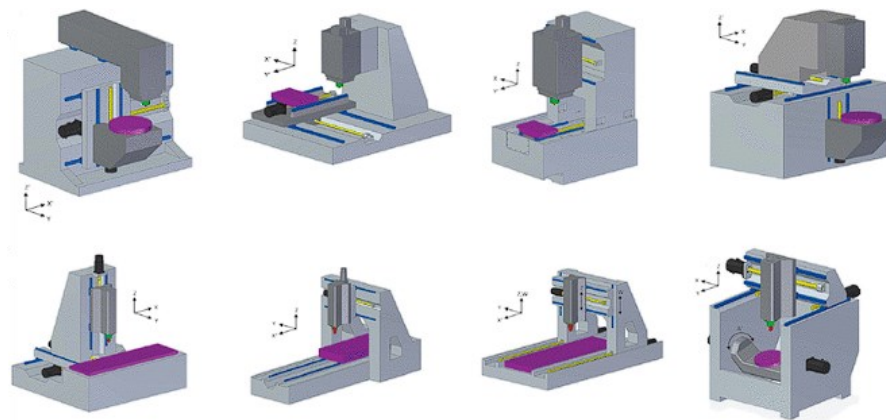
R – referenční bod stroje: Je stanoven výrobcem, realizován obvykle koncovými spínači. Vzdálenosti nulového bodu stroje M a referenčního bodu stroje R jsou výrobcem stroje

přesně odměřeny v osách souřadnicové soustavy stroje a vloženy do paměti ŘS jako strojní konstanty. [15]

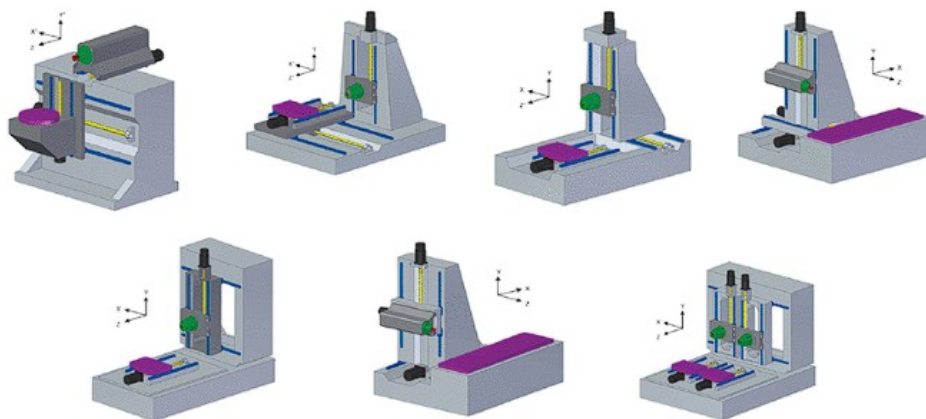
4.4 Obráběcí stroje

Obráběcí centra jsou obráběcí stroje, které vznikly až v důsledku vývoje číslicově řízených (NC) systémů. Byly vyvinuty na základě strojů s rotujícími nástroji jako jsou frézky, vrtačky, nebo vyvrtávačky. Cílem bylo provést co nejširší možnou škálu obráběcích operací automaticky v jedné dispozici. Definice je tedy následující: obráběcí centrum je obráběcí stroj, který je číslicově řízen nejméně ve třech osách a je vybaven automatickým systémem výměny nástrojů a zásobníkem nástrojů. Frézky bez automatického systému výměny nástrojů jsou výjimkou. [16]

Obráběcí centra jsou rozdělena podle polohy hlavního pracovního vřeten na horizontální a vertikální. Důležitý rozdíl je následující: na vertikálních stroji je osa Y vodorovná; na horizontálních stroji je svislá. Obr. 14 znázorňuje konstrukční řešení uložení vertikálních vřeten. Obr. 15 znázorňuje řešení horizontálních vřeten. [16]



Obr. 14 Konstrukční řešení vertikálních uložení vřeten [16]



Obr. 15 Konstrukční řešení horizontálních uložení vřeten [16]

4.4.1 Rozdělení podle počtu pracovních os

Tříosé stroje:

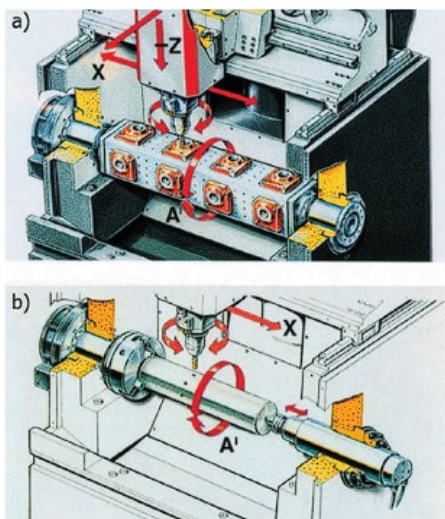
Tříosý stroj (frézka) se třemi lineárními osami je základní provedení obráběcího centra. [16]



Obr. 16 Vertikální obráběcí centrum Tajmac
ZPS MCFV 1060 [17]

Čtyřosé stroje:

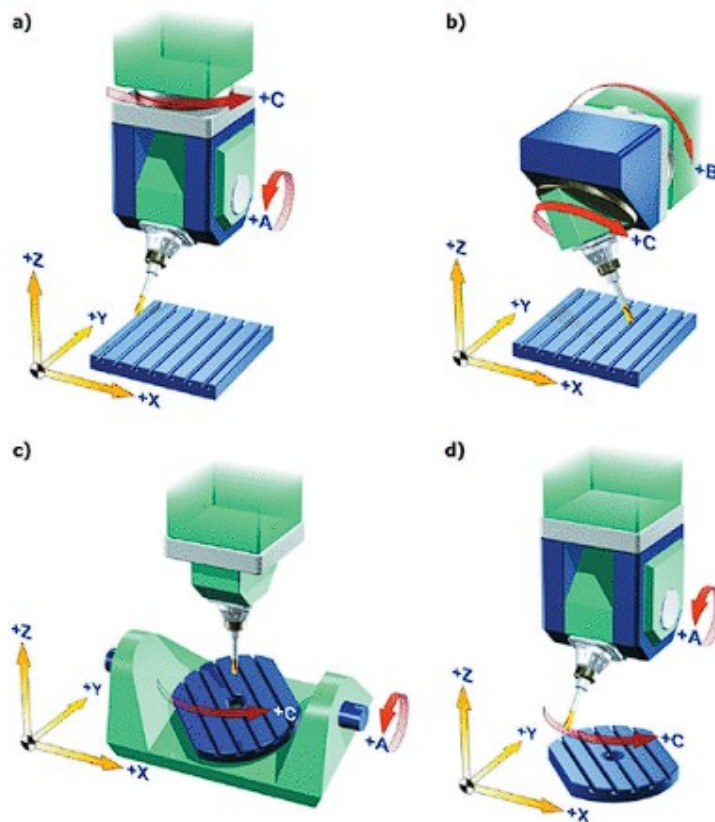
Čtyřosá obráběcí centra se obvykle skládají ze tří lineárních os a jedné rotační osy. Rotační osa se používá pro zaoblené povrchy. Na horizontálních strojích mají podobu otočného stolu. Na vertikálních strojích se malé obrobky upínají na otočný víceupínací můstek pro obrábění ze tří stran (obr.17a), při obrábění rotační součástky se tato součástka upíná do sklíčidla (obr. 17b). [16]



Obr. 17 Způsoby zpracování
obrobků na frézkách se svislým
hlavním vřetenem: (a) víceupínací
můstek pro třístranné obrábění
malých obrobků; (b) sklíčidlo pro
obrábění vnějších ploch válce [16]

Pětiosé stroje:

Pětiosá obráběcí centra se skládají ze tří lineárních a dvou rotačních os, což umožňuje polohování nástroje v libovolném směru. Frézování ploch nebo vrtání otvorů je tak možné v libovolné orientaci v prostoru. Obě rotační osy mohou fungovat jako osy obrobku a nástroje, což má za následek velké množství různých konfigurací stroje. [16]



Obr. 18 Různé konfigurace pětiosého obráběcího centra [16]



Obr. 19 Pětiosé portálové obráběcí centrum Tajmac ZPS MCV 1210 [18]

5 SHRNU TÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

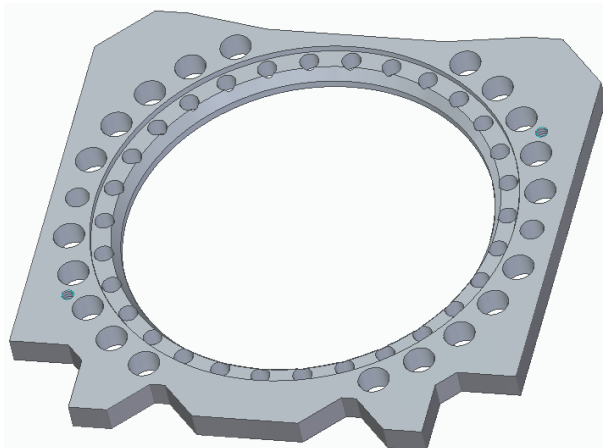
V úvodu teoretické části byl popsán princip funkce elektromotorů, jejich základní dělení a vybrané příklady. Následně byly popsána obráběcí operace frézování a frézovací nástroje a vrtání a vrtací nástroje. Na závěr bylo hovořeno o CNC obrábění a CNC obráběcích strojích.

V praktické části bude cílem vytvořit program pro CNC obráběcí centrum v programu NX pro přítlačnou desku trakčního motoru s ohledem na efektivitu a kvalitu výroby.

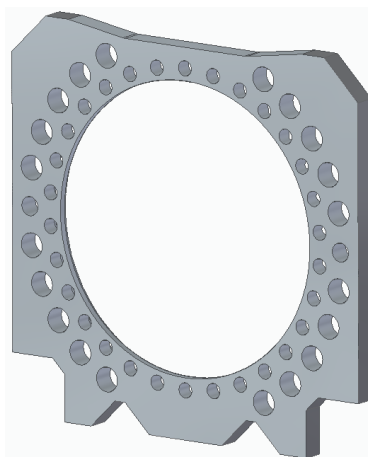
II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V praktické části bude vyráběna zvolená přítlačná deska trakčního motoru. Budou zde rozebrány jednotlivé obráběcí operace s ohledem na efektivitu a kvalitu výroby. Cílem je vytvořit program pomocí dostupných nástrojů a CNC obráběcího stroje, které jsou k dispozici ve firmě ZAKO Turčín.



Obr. 20 Přední strana přítlačné desky



Obr. 21 Zadní strana
přítlačné desky

Z výkresu (viz příloha P I) přítlačné desky je předepsaná ocel S235 J2+N (1.0117+n). Je to nelegovaná uhlíková konstrukční ocel s minimální mezí kluzu 185–360 MPa. Ocel je vhodná ke tváření za studena a ke svařování. Její časté využití je u disků kol osobních a nákladních automobilů. [19]

Vnější rozměry polotovaru a obrobku jsou: šířka 430 mm, výška 421 mm a tloušťka 26 mm.

Pro programování součásti byl zvolen program NX, jehož autor je Siemens. Licencovaná kopie programu je k dispozici na Fakultě technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

7 OBRÁBĚCÍ STROJ A NÁSTROJE

7.1 CNC obráběcí centrum

Výroba přítlačné desky bude probíhat na vertikálním obráběcím centru MCV2080 s řídicím systémem HEIDENHAIN ITNC530 od skupiny Tajmac-ZPS.



Obr. 22 Vertikální obráběcí centrum MCV2080 [20]

Tab. 2 Parametry vertikálního obráběcího centra MCV2080 [20]

| POJEZDY | |
|--------------------------|---------------|
| Osa X (pracovní stůl) | 2030 mm |
| Osa Y (křížový suport) | 810 mm |
| Osa Z (vřeteník) | 810 mm |
| Maximální pracovní posuv | 30 m/min |
| Rychloposuv | 30 m/min |
| STŮL | |
| Pracovní plocha | 2200 x 780 mm |
| Maximální zatížení | 3000 kg |

7.2 Nástroje

Nástroje v Tab. 3 jsou součástí stroje MCV2080, o kterém bylo hovořeno v předchozím bodě. Jedná se o 2 válcové frézy, 4 stopkové frézy, 2 úhlové frézy, 5 vrtáků a 1 tvářecí závitník. Nástroje jsou seřazeny tak, jak jsou vloženy v zásobníku stroje.

Tab. 3 Použité nástroje

| Číslo nástroje | Jméno nástroje | Průměr nástroje [mm] | Délka řezné části [mm] | Počet ostří |
|----------------|-----------------------|----------------------|------------------------|-------------|
| 1 | FREZA_D125 | 125,0 | 5,0 | 12 |
| 2 | FREZA_D15.6 | 15,6 | 26,0 | 4 |
| 3 | HFC_FREZA_D80 | 80,0 | 5,0 | 5 |
| 4 | FREZA_D20_D356 | 20,0 | 26,0 | 4 |
| 5 | VRTAK_D16 | 16,0 | 30,0 | 2 |
| 6 | VRTAK_D15.8 | 15,8 | 30,0 | 2 |
| 7 | FREZA_NA_HRANY_D32_30 | 32,0 | 15,0 | 2 |
| 8 | VRTAK_D20 | 20,0 | 30,0 | 2 |
| 9 | VRTAK_D26 | 26,0 | 30,0 | 2 |
| 10 | VRTAK_D11.2 | 11,2 | 23,0 | 2 |
| 11 | FREZA_NA_HRANY_D21 | 21,0 | 50,0 | 2 |
| 12 | TVARECI_ZAVITNIK_M12 | 12,0 | 25,0 | 9 |
| 13 | FREZA_D7.7 | 7,7 | 20,0 | 4 |
| 14 | FREZA_D20_D310 | 20,0 | 10,0 | 4 |

8 OBRÁBĚCÍ POSTUP

Z důvodu frézování čel přitlačné desky bude deska upnuta natřikrát. Upnuta bude pomocí čtyř upínek a postavena na opěrkách. Pátá upínka bude přidána po obrobení zadní plochy.

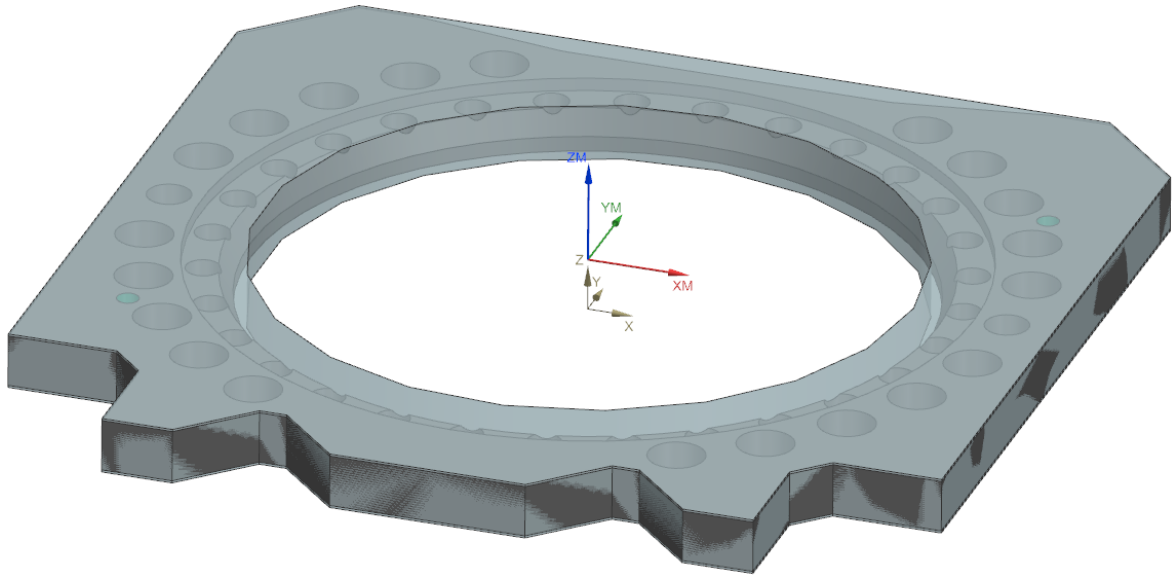


Obr. 23 Upnutá deska na stole obráběcího centra

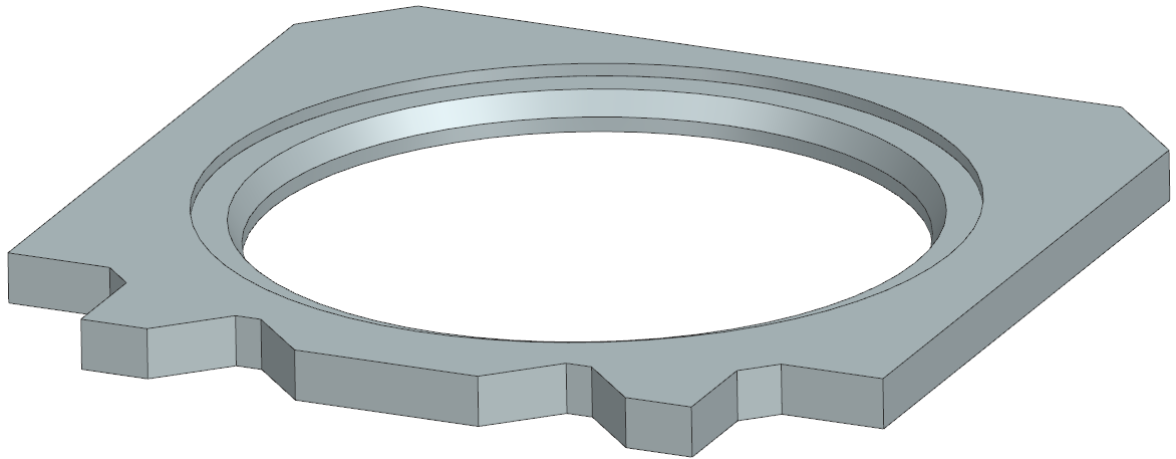
Při každé operaci je puštěný přívod rezné kapaliny s výjimkou vysokoposuvového frézování.

8.1 Definování nulového bodu, polotovaru a obrobku

Nulový bod se nachází ve středu díry $\varnothing 310H8$ a povrchu obrobené plochy viz Obr. 23. Bylo nezbytné vymodelovat technologický polotovar (Obr. 24), ve kterém nebudou díry určené pro vrtání, a to z důvodu nesprávné tvorby drah při frézování.



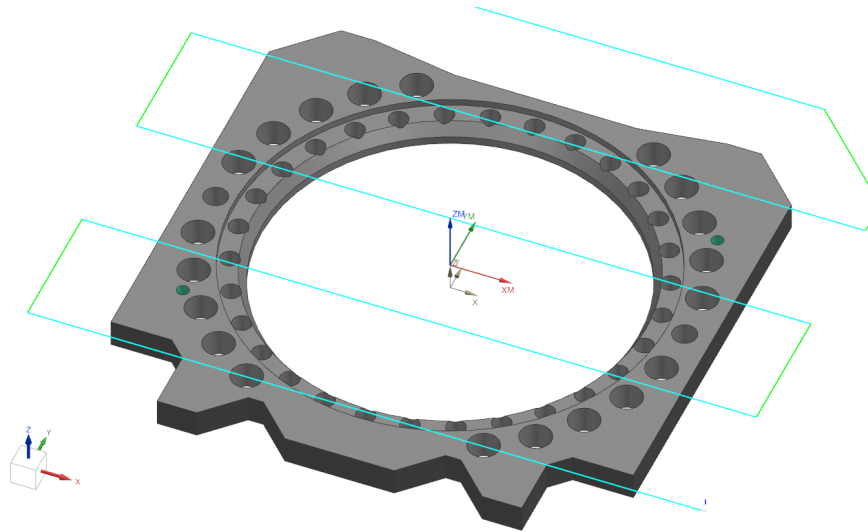
Obr. 24 Umístění polotovaru na přítlačné desce a poloha nulového bodu



Obr. 25 Technologický polotovar

8.2 Frézování horního a spodního čela desky

Obě operace byly provedeny v programu funkcí Floor Facing without Wall. Nejprve bylo frézováno horní čelo desky, potom byla deska otočena a znova upnuta a frézováno spodní čelo desky. Úkolem operace bylo čela zarovnat a obrobit na tloušťku 24 mm. Byla zvolena řezná rychlost $v_c = 160$ m/min a posuv na zub $f_z = 0,12$ mm. Hloubka řezu $a_p = 1$ mm pro obě operace. Vypočítané otáčky jsou $n = 407$ ot/min a vypočítaný posuv $v_f = 586,08$ mm/min. V Tab. 4 jsou uvedeny použité nástroje a délka obráběcího cyklu.



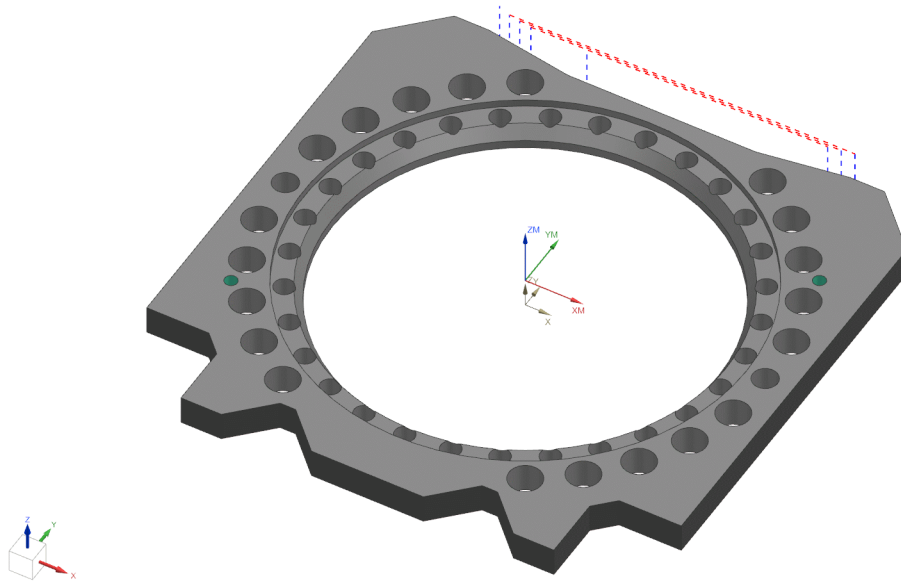
Obr. 26 Frézování horního čela – dráha nástroje

Tab. 4 Frézování horního a spodního čela – použitý nástroj

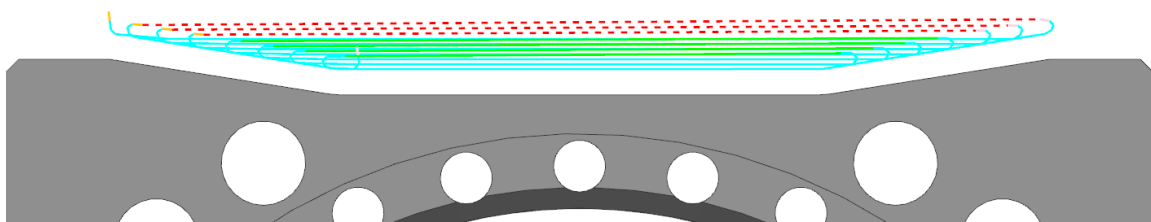
| Poř. | Název nástroje | Číslo nástroje | Průměr [mm] | Délka řezné části [mm] | Počet ostří | Strojní čas [min] |
|------|----------------|----------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------|
| 1 | FREZA_D125 | 1 | 125,0 | 5 | 12 | 5,29 |
| 2 | FREZA_D125 | 1 | 125,0 | 5 | 12 | 5,29 |

8.3 Hrubování zadní plochy

Frézování hrubováním tvaru $70/9^\circ/R20/11$ (viz příloha P I) na zadní straně přítlačné desky. Operace provedena funkcí Adaptive Milling. Přídavek na obrábění je 0,15 mm. Byla zvolena řezná rychlost $v_c = 160$ m/min a posuv na zub $f_z = 0,12$ mm. Vypočítané otáčky jsou $n = 3265$ ot/min a vypočítaný posuv $v_f = 1567,2$ mm/min. Byla zvolena hloubka řezu $a_p = 25$ mm s tím, že radiální posuv frézy bude 10 % z průměru nástroje, tj. 1,56 mm. V Tab. 5 je uvedený použitý nástroj a doba obráběcího cyklu.



Obr. 27 Hrubování zadní plochy – dráha nástroje



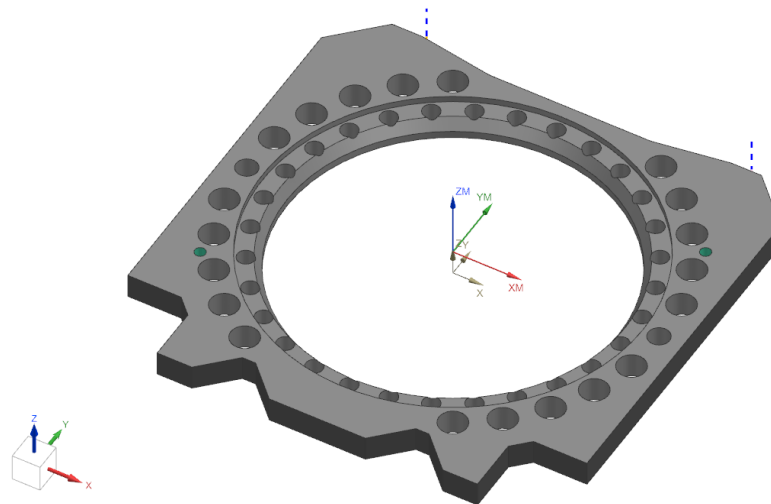
Obr. 28 Hrubování zadní plochy – pohled shora

Tab. 5 Hrubování zadní plochy – použitý nástroj

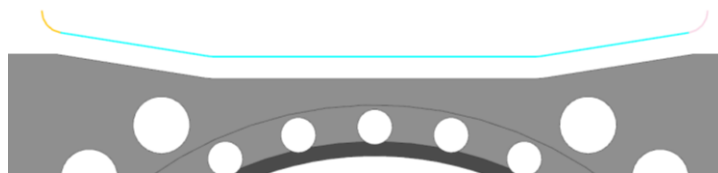
| Poř. | Název nástroje | Číslo nástroje | Průměr [mm] | Délka řezné části [mm] | Počet ostří | Strojní čas [min] |
|------|----------------|----------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------|
| 3 | FREZA_D15.6 | 2 | 15,6 | 26 | 4 | 1,29 |

8.4 Dokončení zadní plochy

Dokončovací proces předchozí operace. Pro tuto operaci byla použita funkce Cavity Mill. Řezné podmínky byly nastaveny tak, aby výsledná drsnost plochy byla $Ra\ 12,5\ \mu\text{m}$, viz příloha P I. Zvolená řezná rychlost $v_c = 250\ \text{m/min}$ a posuv na zub $f_z = 0,06\ \text{mm}$. Vypočtené otáčky jsou $n = 3979\ \text{ot/min}$ a vypočítaný posuv $v_f = 954,96\ \text{mm/min}$. Byla zvolena hloubka řezu $a_p = 25\ \text{mm}$. V Tab. 6 je uvedený použitý nástroj a doba obráběcího cyklu.



Obr. 29 Dokončení zadní plochy – dráha nástroje



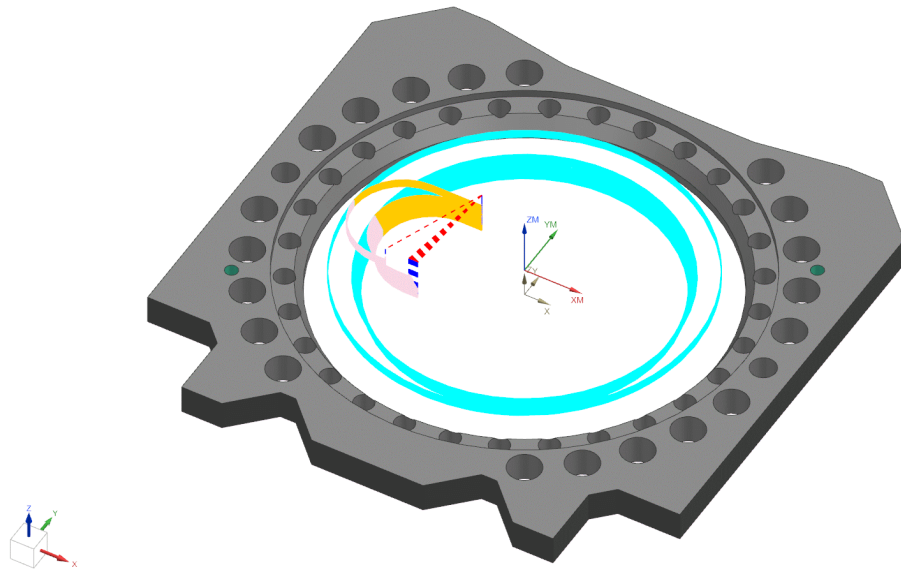
Obr. 30 Dokončení zadní plochy – pohled shora

Tab. 6 Dokončení zadní plochy – použitý nástroj

| Poř. | Název nástroje | Číslo nástroje | Průměr [mm] | Délka řezné části [mm] | Počet ostří | Strojní čas [min] |
|------|----------------|----------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------|
| 4 | FREZA_D20_D356 | 4 | 20,0 | 26 | 4 | 0,35 |

8.5 Hrubování $\varnothing 356$, sražení $11 \text{ mm}/30^\circ$ a $\varnothing 310$

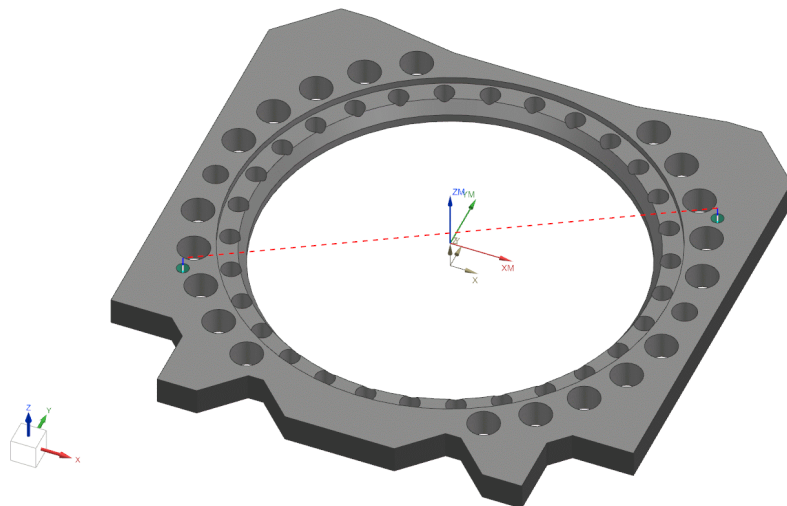
V této operaci byly hrubovány plochy $\varnothing 356 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$, sražení $11 \text{ mm}/30^\circ$ a $\varnothing 310 \text{ mm}$. Byla zvolena operace Cavity Mill. Díky použití frézy pro vysokoposuvové frézování (HFM) mohl být nastaven vyšší posuv na zub. Příkladový posuv na obrábění je $0,2 \text{ mm}$. Zvolená řezná rychlost $v_c = 160 \text{ m/min}$ a posuv na zub $f_z = 1 \text{ mm}$. Vypočtené otáčky jsou $n = 637 \text{ ot/min}$ a vypočítaný posuv $v_f = 3185 \text{ mm/min}$. Hloubka řezu $a_p = 0,5 \text{ mm}$. V Tab. 7 je uveden použitý nástroj a doba obráběcího cyklu.

Obr. 31 Hrubování $\varnothing 356$, sražení 11 mm/30° a $\varnothing 310$ – dráha nástrojeTab. 7 Hrubování $\varnothing 356$, sražení 11 mm/30° a $\varnothing 310$ – použitý nástroj

| Poř. | Název nástroje | Číslo nástroje | Průměr [mm] | Délka řezné části [mm] | Počet ostří | Strojní čas [min] |
|------|----------------|----------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------|
| 5 | HFC_FREZA_D80 | 3 | 80,0 | 5 | 5 | 15,61 |

8.6 Vrtání děr pro závity

Vrtání dvou děr bylo provedeno vrtákem $\varnothing 11,2$ mm. Obě díry jsou slepé, 18 mm hluboké. Daný vrták byl zvolen z toho důvodu, jelikož výroba závitu bude prováděna tvářecím závitníkem. Na tuto operaci byla použita funkce Drilling. Byla zvolena řezná rychlost $v_c = 50$ m/min a posuv na otáčku $f_n = 0,25$ mm/ot. Vypočtené otáčky vřetena jsou $n = 1421$ ot/min. V Tab. 8 je uveden použitý nástroj a doba obráběcího cyklu.



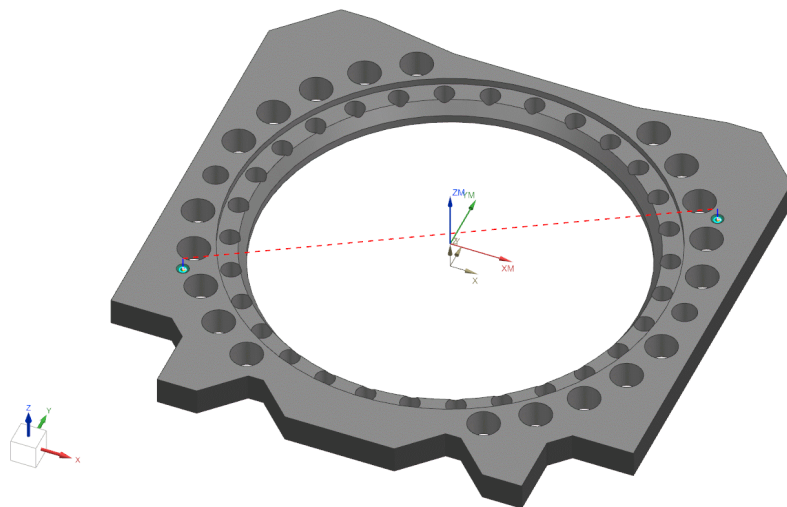
Obr. 32 Vrtání děr pro závity – dráha nástroje

Tab. 8 Vrtání děr pro závity – použitý nástroj

| Poř. | Název nástroje | Číslo nástroje | Průměr [mm] | Délka řezné části [mm] | Počet ostří | Strojní čas [min] |
|------|----------------|----------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------|
| 6 | VRTAK_D11.2 | 10 | 11,2 | 23 | 2 | 0,18 |

8.7 Sražení hran pro závity

Sražení hrany díry je prováděno za účelem lepšího zavedení závitníku. Použitá funkce pro tuto operaci byla Hole Chamfer Milling. Zvolená řezná rychlost $v_c = 160$ m/min a posuv na zub $f_z = 0,06$ mm. Vypočtené otáčky jsou $n = 2425$ ot/min a posuv $v_f = 291$ mm/min. V Tab. 9 je uveden použitý nástroj a doba obráběcího cyklu.



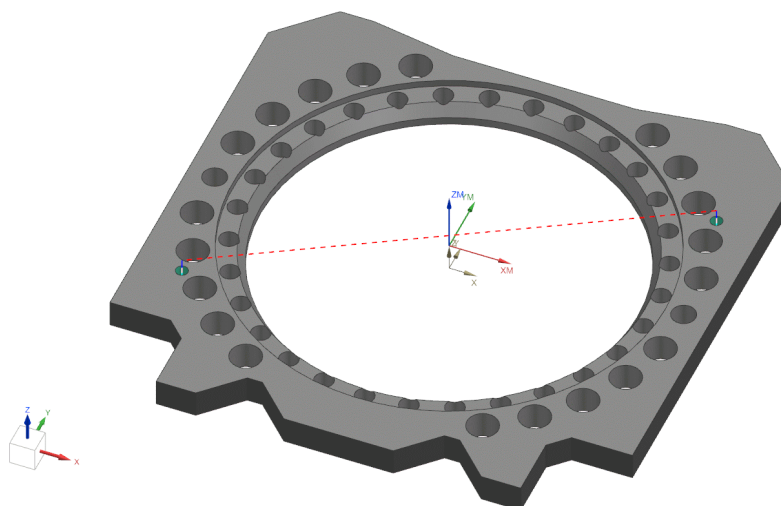
Obr. 33 Sražení hran pro závit – dráha nástroje

Tab. 9 Sražení hran pro závit – použitý nástroj

| Poř. | Název nástroje | Číslo nástroje | Průměr [mm] | Délka řezné části [mm] | Počet ostří | Strojní čas [min] |
|------|--------------------|----------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------|
| 7 | FREZA_NA_HRANY_D21 | 11 | 21 | 7 | 2 | 0,27 |

8.8 Výroba závitu

Výroba závitu tvářecím závitníkem. Závit má mít hloubku 13 mm. S výběhem bude muset být vytvořen do hloubky 17 mm. Byla použita funkce Tapping. Zvolené otáčky $n = 395$ ot/min a posuv $v_f = 700$ mm/min. Vypočtená řezná rychlost je $v_c = 14$ m/min. V Tab. 10 je uveden použitý nástroj a doba výrobního cyklu.



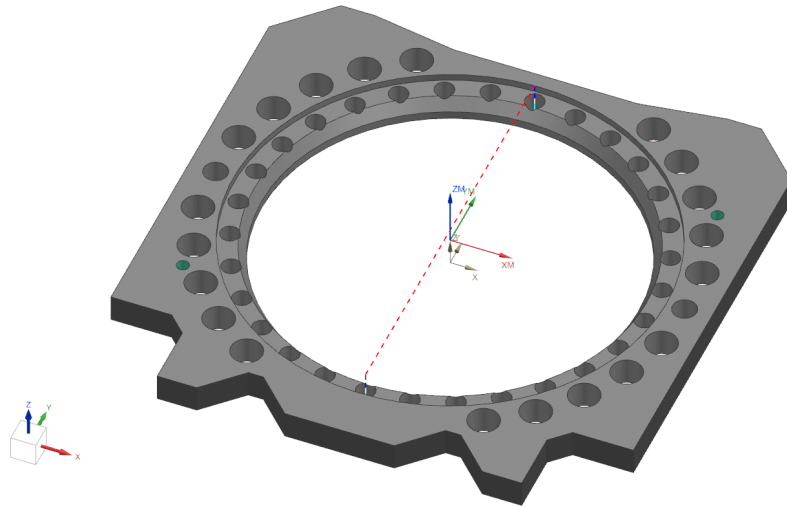
Obr. 34 Výroba závitu – dráha nástroje

Tab. 10 Výroba závitu – použitý nástroj

| Poř. | Název nástroje | Číslo nástroje | Průměr [mm] | Délka řezné části [mm] | Počet ostří | Strojní čas [min] |
|------|----------------------|----------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------|
| 8 | TVARECI_ZAVITNIK_M12 | 12 | 12,0 | 25 | 9 | 0,11 |

8.9 Vrtání děr ø16H11

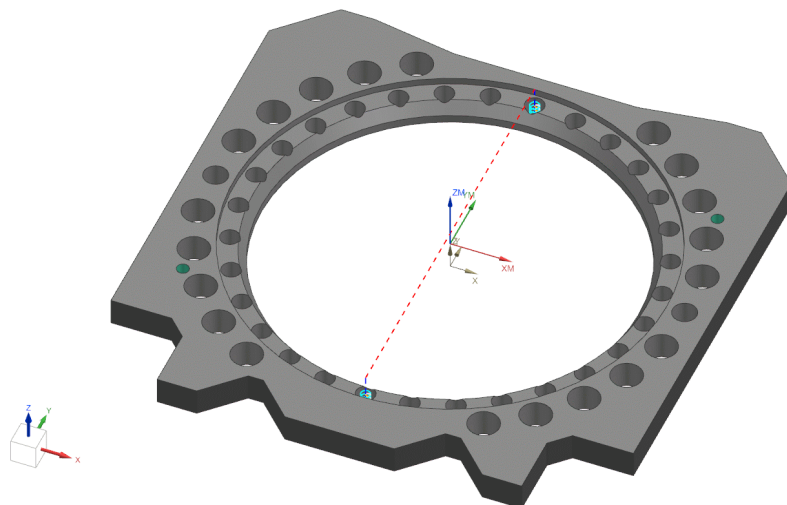
Hrubovací operace dvou průchozích děr ø16H11. Vrtáno vrtákem ø15,8 mm a použitá funkce pro tuto operaci byla Drilling. Byla zvolena řezná rychlost $v_c = 80$ m/min a posuv na otáčku $f_n = 0,25$ mm/ot. Vypočtené otáčky jsou $n = 1612$ ot/min. V Tab. 11 je uveden použitý nástroj a doba obráběcího cyklu.

Obr. 35 Vrtání děr $\varnothing 16H11$ – dráha nástrojeTab. 11 Vrtání děr $\varnothing 16H11$ – použitý nástroj

| Poř. | Název nástroje | Číslo nástroje | Průměr [mm] | Délka řezné části [mm] | Počet ostří | Strojní čas [min] |
|------|----------------|----------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------|
| 9 | VRTAK_D15.8 | 6 | 15,8 | 30 | 2 | 0,18 |

8.10 Dokončení děr $\varnothing 16H11$

Dokončovací operace pro dvě díry $\varnothing 16H11$. Dokončení ploch bylo provedeno frézováním frézou $\varnothing 7,7$ mm. Pro tuto operaci byla použita funkce Hole Milling. Zvolená řezná rychlost $v_c = 160$ m/min a posuv na zub $f_z = 0,06$ mm. Vypočtené otáčky jsou $n = 6614$ ot/min a posuv $v_f = 1587,36$ mm/min. V Tab. 12 je uveden použitý nástroj a doba obráběcího cyklu.

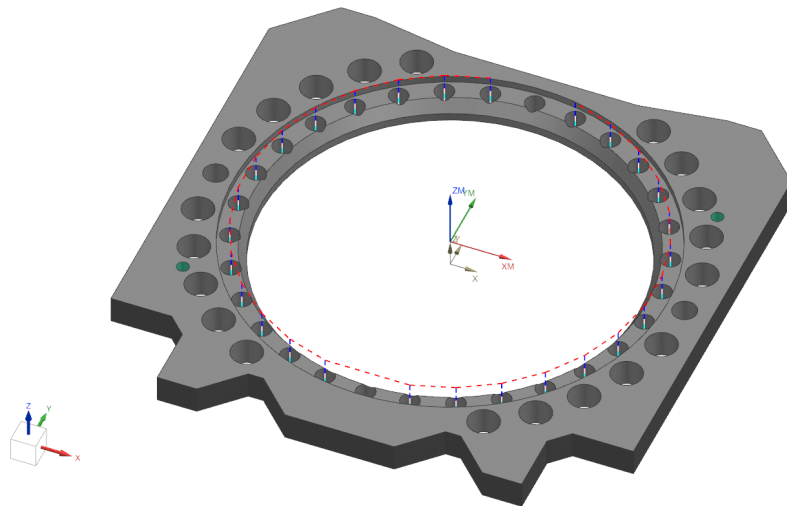
Obr. 36 Dokončení děr $\varnothing 16H11$ – dráha nástroje

Tab. 12 Dokončení děr $\varnothing 16H11$ – použitý nástroj

| Poř. | Název nástroje | Číslo nástroje | Průměr [mm] | Délka řezné části [mm] | Počet ostří | Strojní čas [min] |
|------|----------------|----------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------|
| 10 | FREZA_D7.7 | 13 | 7,7 | 20 | 4 | 0,34 |

8.11 Vrtání děr $\varnothing 16$

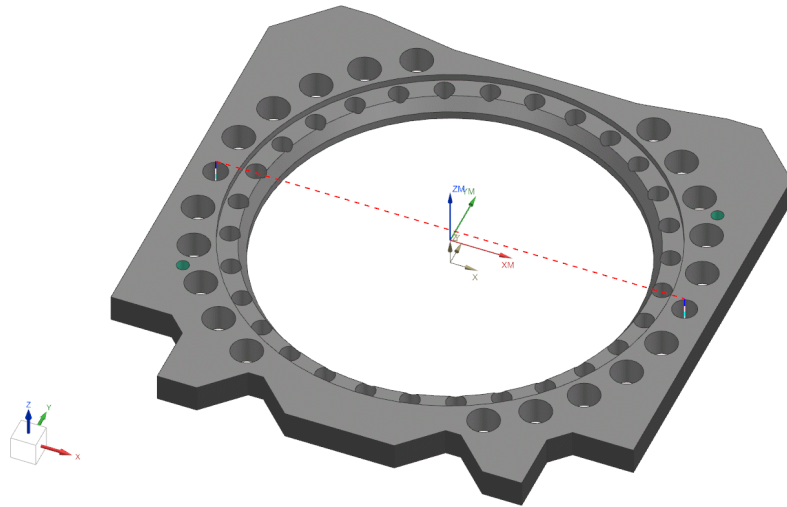
Vrtání 28 průchozích děr $\varnothing 16$ mm funkcí Drilling. Zvolená řezná rychlost $v_c = 80$ m/min a posuv na otáčku $f_n = 0,25$ mm/ot. Vypočtené otáčky jsou $n = 1592$ ot/min. V Tab. 13 je uveden použitý nástroj a doba obráběcího cyklu.

Obr. 37 Vrtání děr $\varnothing 16$ – dráha nástrojeTab. 13 Vrtání děr $\varnothing 16$ – použitý nástroj

| Poř. | Název nástroje | Číslo nástroje | Průměr [mm] | Délka řezné části [mm] | Počet ostří | Strojní čas [min] |
|------|----------------|----------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------|
| 11 | VRTAK_D16 | 5 | 16,0 | 30 | 2 | 2,17 |

8.12 Vrtání děr $\varnothing 20$

Vrtání dvou průchozích děr $\varnothing 20$ mm funkcí Drilling. Zvolená řezná rychlost $v_c = 80$ m/min a posuv na otáčku $f_n = 0,25$ mm/ot. Vypočtené otáčky jsou $n = 1273$ ot/min. Díry se nemusí předvrtávat, protože stroj má dostatečný výkon. V Tab. 14 je uveden použitý nástroj a doba obráběcího cyklu.



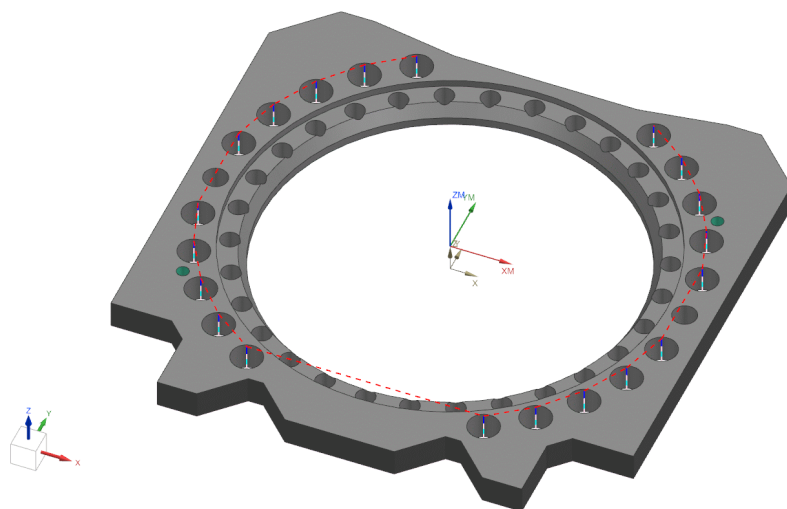
Obr. 38 Vrtání děr $\varnothing 20$ – dráha nástroje

Tab. 14 Vrtání děr $\varnothing 20$ – použitý nástroj

| Poř. | Název nástroje | Číslo nástroje | Průměr [mm] | Délka řezné části [mm] | Počet ostří | Strojní čas [min] |
|------|----------------|----------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------|
| 12 | VRTAK_D20 | 8 | 20,0 | 30 | 2 | 0,26 |

8.13 Vrtání děr $\varnothing 26$

Vrtání 20 průchozích děr $\varnothing 26$ funkcí Drilling. Zvolená řezná rychlost $v_c = 80$ m/min a posuv na otáčku $f_n = 0,25$ mm/ot. Vypočtené otáčky jsou $n = 979$ ot/min. Díry nejsou potřeba předvrtávat. V Tab. 15 je uveden použitý nástroj a doba obráběcího cyklu.



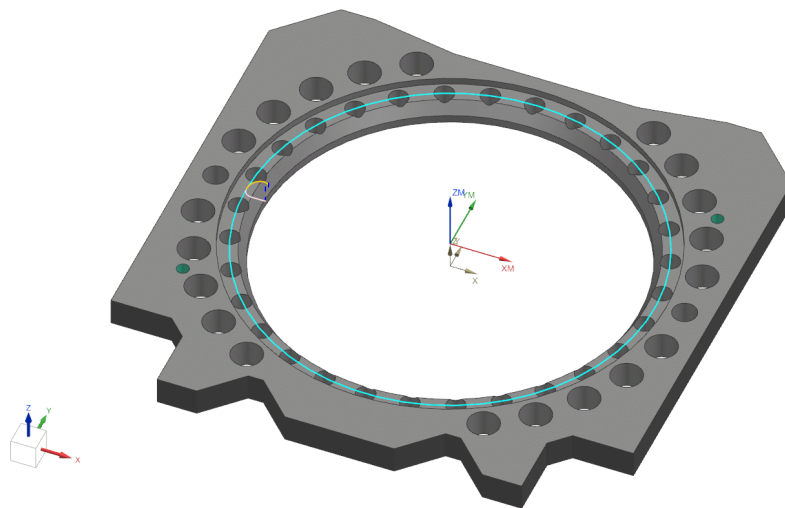
Obr. 39 Vrtání děr $\varnothing 26$ – dráha nástroje

Tab. 15 Vrtání děr $\varnothing 26$ – použitý nástroj

| Poř. | Název nástroje | Číslo nástroje | Průměr [mm] | Délka řezné části [mm] | Počet ostří | Strojní čas [min] |
|------|----------------|----------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------|
| 13 | VRTAK_D26 | 9 | 26,0 | 30 | 2 | 3,18 |

8.14 Dokončení $\varnothing 356 \times 6$

Dokončení plochy $\varnothing 356 \times 6$. Operace zařazena za výrobu děr z důvodu odstranění ořepů, které by se jinak museli odstraňovat ručně. Kvůli omezenému prostoru by bylo ruční odstranění ořepů pracné a vyžadovalo by speciálně upravených nástrojů. Řezné podmínky nastaveny tak, aby drsnost plochy byla $Ra\ 12,5\ \mu\text{m}$, viz příloha P I. Funkce použitá pro tuto operace byla Rest Milling. Byla zvolena řezná rychlost $v_c = 250\ \text{m/min}$ a posuv na zub $f_z = 0,1\ \text{mm}$. Vypočtené otáčky jsou $n = 3979\ \text{ot/min}$ a vypočítaný posuv $v_f = 1591,6\ \text{mm/min}$. V Tab. 16 je uveden použitý nástroj a doba obráběcího cyklu.

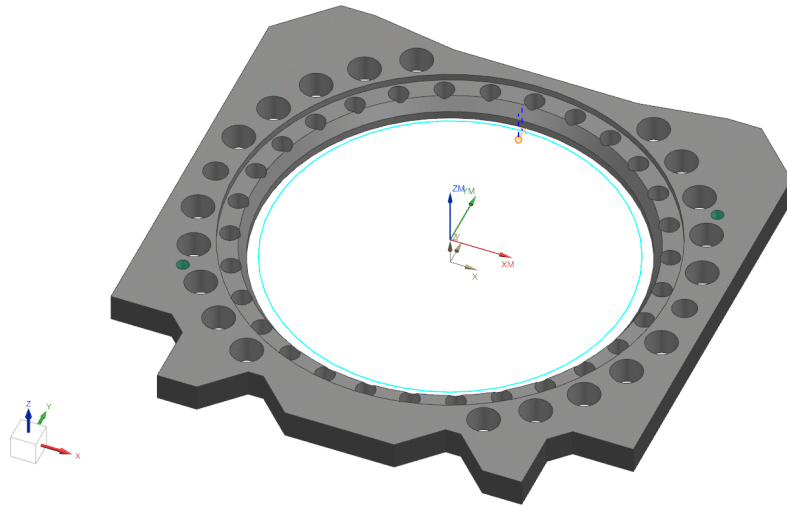
Obr. 40 Dokončení $\varnothing 356 \times 6$ – dráha nástrojeTab. 16 Dokončení $\varnothing 356 \times 6$ – použitý nástroj

| Poř. | Název nástroje | Číslo nástroje | Průměr [mm] | Délka řezné části [mm] | Počet ostří | Strojní čas [min] |
|------|----------------|----------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------|
| 14 | FREZA_D20_D356 | 4 | 20,0 | 26 | 4 | 0,70 |

8.15 Dokončení sražení 30°

Dokončení sražení $11\ \text{mm}/30^\circ$. Pro tuto operaci byla použita funkce Cuts 3D Modeled Chamfers. Zvolená řezná rychlost $v_c = 250\ \text{m/min}$ a posuv na zub $f_z = 0,1\ \text{mm}$. Vypočtené

otáčky jsou $n = 2487$ ot/min a vypočítaný posuv $v_f = 497,4$ mm/min. V Tab. 17 je uveden použitý nástroj a doba obráběcího cyklu.



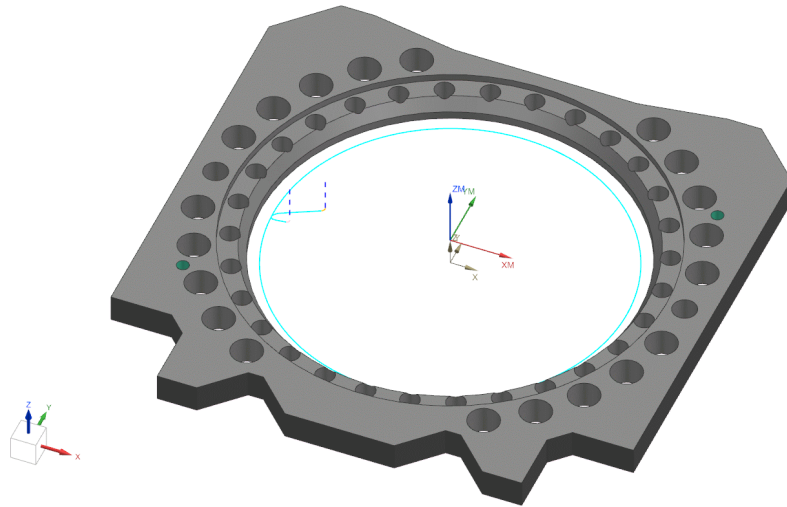
Obr. 41 Dokončení sražení 30° - dráha nástroje

Tab. 17 Dokončení sražení 30° - použitý nástroj

| Poř. | Název nástroje | Číslo nástroje | Průměr [mm] | Délka řezné části [mm] | Počet ostří | Strojní čas [min] |
|------|-----------------------|----------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------|
| 15 | FREZA_NA_HRANY_D32_30 | 7 | 32,0 | 15 | 2 | 1,89 |

8.16 Dokončení ø310H8

Dokončovací operace pro díru ø310H8. Pro tuto operaci byla použita funkce Adaptive Milling. Pro dosažení drsnosti povrchu $Ra 4 \mu\text{m}$ (viz příloha P I) byla zvolena vyšší řezná rychlost $v_c = 250$ m/min a malý posuv na zub $f_z = 0,06$ mm. Vypočtené otáčky jsou $n = 3979$ ot/min a vypočítaný posuv $v_f = 954,96$ mm/min. V Tab. 18 je uveden použitý nástroj a doba obráběcího cyklu.

Obr. 42 Dokončení $\varnothing 310H8$ – dráha nástrojeTab. 18 Dokončení $\varnothing 310H8$ – použitý nástroj

| Poř. | Název nástroje | Číslo nástroje | Průměr [mm] | Délka řezné části [mm] | Počet ostří | Strojní čas [min] |
|------|----------------|----------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------|
| 16 | FREZA_D20_D310 | 14 | 20,0 | 10 | 4 | 1,03 |

9 DISKUZE ŘEŠENÍ

Tato kapitola bude věnována vyhodnocení výsledků obrábění přitlačné desky trakčního motoru. Bude zde shrnut výrobní postup s odhadem strojního času, analýza zbytkového materiálu, návrh technologické přípravy výroby a kontrola přitlačné desky.



Obr. 43 Vyrobená přitlačná deska

9.1 Výrobní postup

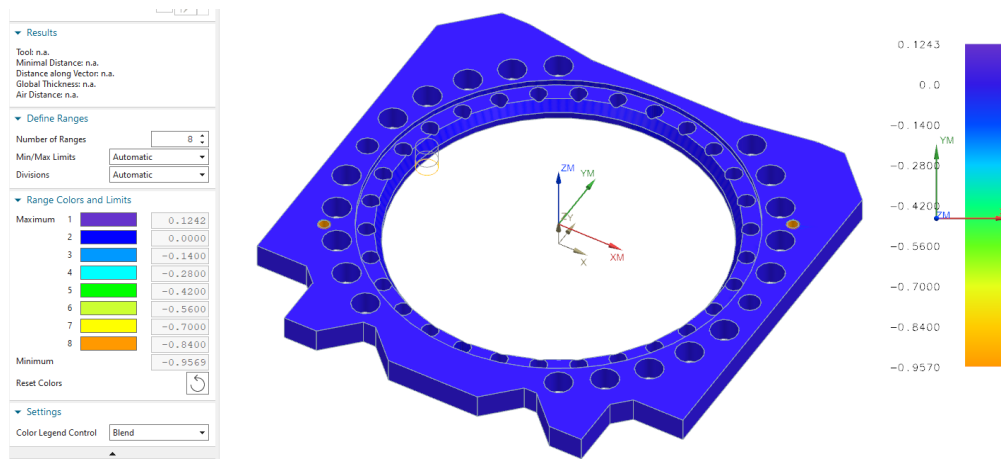
V Tab. 19 je uveden sled operací při výrobě přitlačné desky.

Tab. 19 Sled výrobních operací

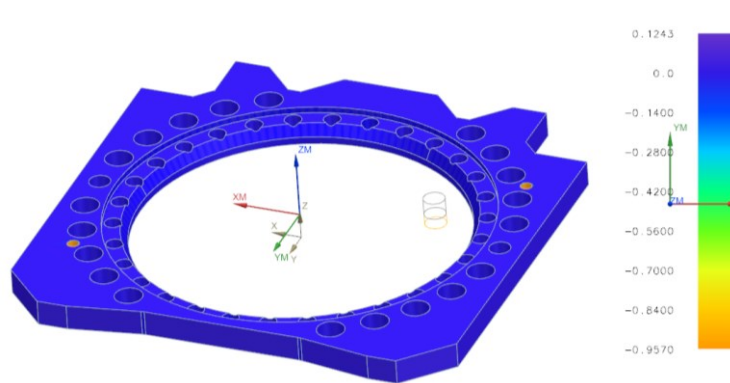
| Poř. | Název operace | Funkce | Název nástroje | Odhad strojního času [min] |
|------|------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1 | HORNI_CELO | Floor Facing without Wall | FREZA_D125 | 5,29 |
| 2 | SPODNI_CELO | Floor Facing without Wall | FREZA_D125 | 5,29 |
| 3 | ZADNI_STRANA | Adaptive Milling | FREZA_D15.6 | 1,29 |
| 4 | DOK_ZADNI_STRANA | Cavity Milling | FREZA_D20_D356 | 0,35 |
| 5 | D356_D310_30STU | Cavity Milling | HFC_FREZA_D80 | 15,61 |
| 6 | DIRY_PRO_ZAVIT | Drilling | VRTAK_D11.2 | 0,18 |
| 7 | SRAZENI_HRAN_ZAV | Chamfer Milling | FREZA_NA_HRANY_D21 | 0,27 |
| 8 | ZAVIT_M12 | Drilling | TVARECI_ZAVITNIK_M12 | 0,11 |
| 9 | D16H11 | Drilling | VRTAK_D15.8 | 0,18 |
| 10 | DOK_D16H11 | Cylinder Milling | FREZA_D7.7 | 0,34 |
| 11 | D16 | Drilling | VRTAK_D16 | 2,17 |
| 12 | D20 | Drilling | VRTAK_D20 | 0,26 |
| 13 | D26 | Drilling | VRTAK_D26 | 3,18 |
| 14 | DOK_D356 | Cavity Milling | FREZA_D20_D356 | 0,70 |
| 15 | DOK_30STU | Cuts 3D Modelled Chamfers | FREZA_NA_HRANY_D32_30 | 1,89 |
| 16 | DOK_D310 | Adaptive Milling | FREZA_D20_D310 | 1,03 |

9.2 Analýza přítlačné desky po obrábění

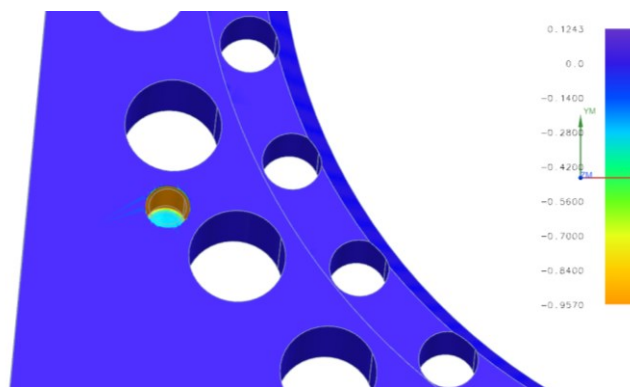
Na rovinných plochách je nulový přebytek materiálu, stejně tak i u vrtaných děr a díry $\varnothing 310H8$. Byly také dodrženy výrobní tolerance. Z Obr. 44 je patrné, že u závitových děr bylo odebráno více materiálu, než by mělo být. Je to dáno tím, že při modelování přítlačné desky byla použita funkce Závit, která bere tabulkové hodnoty průměrů závitu. V mém případě byly závity vyráběny tvářecí metodou, nikoli klasickým řezáním. Díra proto musela být zvětšena. Další nepřesnosti mohou vznikat velkými rozměry desky.



Obr. 44 Analýza přítlačné desky



Obr. 45 Analýza přítlačné desky – pohled na zadní plochu



Obr. 46 Analýza přítlačné desky – detail závitové díry

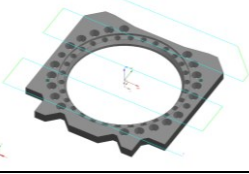
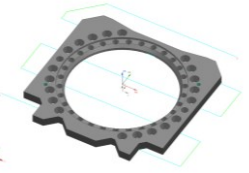
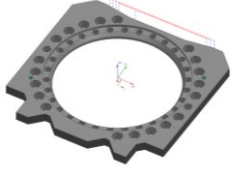
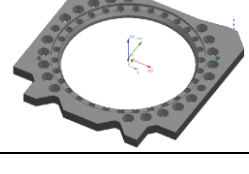
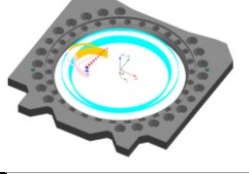
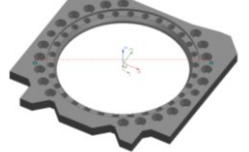
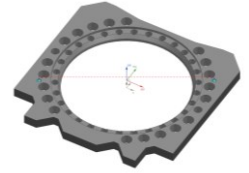
9.3 Technologická příprava výroby

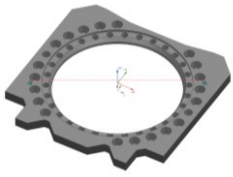
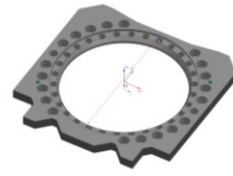
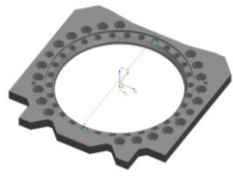
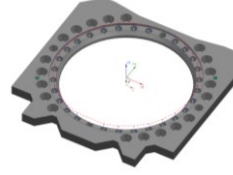
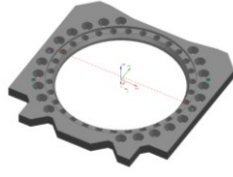
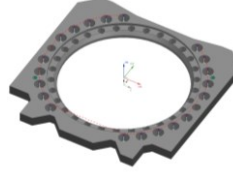
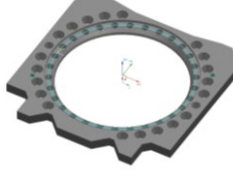
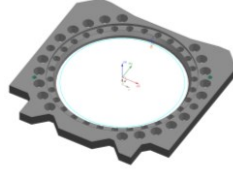
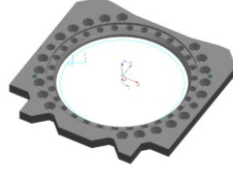
V této kapitole bude vypracována technologická příprava výroby (TPV) pro výrobu přítlačné desky trakčního motoru, která bude také vložena v příloze P IV.

Rozměry polotovaru: šířka 430 mm, výška 421 mm, tloušťka 26 mm.

Při každém upnutí jsou nulové body: X0 – střed $\varnothing 310H8$, Y0 – střed $\varnothing 310H8$, Z0 – horní obrobena plocha. Použité nástroje viz kapitola 7.2.

Tab. 20 Technologická příprava výroby

| Číslo oper. | Popis práce | Grafické znázornění | Podmínky | Nástroj | Pomůcky | Čas [min] |
|-------------|--|---|--|---|-----------------|-----------|
| 1 | Upne na stůl | | | | | 1,00 |
| 2 | Frézuje horní čelo |  | $v_c = 160 \text{ m/min}$ $f_z = 0,12 \text{ mm}$ $n = 407 \text{ ot/min}$ $h = 1 \text{ mm}$ | Čelní fréza $\varnothing 125 \text{ mm}$ | Chladicí emulze | 5,29 |
| 3 | Otočí a upne | | | | | 1,00 |
| 4 | Frézuje spodní čelo |  | $v_c = 160 \text{ m/min}$ $f_z = 0,12 \text{ mm}$ $n = 407 \text{ ot/min}$ $h = 1 \text{ mm}$ | Čelní fréza $\varnothing 125 \text{ mm}$ | Chladicí emulze | 5,29 |
| 5 | Otočí a upne | | | | | 1,00 |
| 6 | Frézuje zadní stranu |  | $v_c = 160 \text{ m/min}$ $f_z = 0,12 \text{ mm}$ $n = 3265 \text{ ot/min}$ | Stopková fréza $\varnothing 15,6 \text{ mm}$ | Chladicí emulze | 1,29 |
| 7 | Frézuje načisto zadní stranu |  | $v_c = 250 \text{ m/min}$ $f_z = 0,06 \text{ mm}$ $n = 3979 \text{ ot/min}$ | Stopková fréza $\varnothing 20 \text{ mm}$ | Chladicí emulze | 0,35 |
| 8 | Přidá upínku na zadní stranu | | | | | 0,50 |
| 9 | Frézuje tvar $\varnothing 356$, $11/30^\circ$, $\varnothing 310$ |  | $v_c = 160 \text{ m/min}$ $f_z = 1 \text{ mm}$ $n = 637 \text{ ot/min}$ $h = 0,5 \text{ mm}$ | Čelní fréza $\varnothing 80 \text{ mm}$ | | 15,61 |
| 10 | Vrtá díry pro M12 2x |  | $v_c = 50 \text{ m/min}$ $f_n = 0,25 \text{ mm}$ $n = 1421 \text{ ot/min}$ | Vrták $\varnothing 11,2 \text{ mm}$ | Chladicí emulze | 0,18 |
| 11 | Srazí hrany pro M12 2x |  | $v_c = 160 \text{ m/min}$ $f_z = 0,06 \text{ mm}$ $n = 2425 \text{ ot/min}$ | Úhlová fréza $\varnothing 21/45^\circ$ | Chladicí emulze | 0,27 |
| 12 | Vyfouká díry pro M12 | | | | Stlačený vzduch | 0,16 |

| Číslo oper. | Popis práce | Grafické znázornění | Podmínky | Nástroj | Pomůcky | Čas [min] |
|----------------------------|---|---|---|---|-----------------|--------------|
| 13 | Řeže závit M12 2x |  | $v_f = 700 \text{ mm/min}$ $n = 395 \text{ ot/min}$ | Tvářecí závitník M12 | Chladicí emulze | 0,11 |
| 14 | Vrtá díry $\varnothing 16H11$ 2x |  | $v_c = 80 \text{ m/min}$ $f_n = 0,25 \text{ mm}$ $n = 1612 \text{ ot/min}$ | Vrták $\varnothing 15,8 \text{ mm}$ | Chladicí emulze | 0,18 |
| 15 | Frézuje načisto díry $\varnothing 16H11$ 2x |  | $v_c = 160 \text{ m/min}$ $f_z = 0,06 \text{ mm}$ $n = 6614 \text{ ot/min}$ | Stopková fréza $\varnothing 7,7 \text{ mm}$ | Chladicí emulze | 0,34 |
| 16 | Vrtá díry $\varnothing 16$ 28x |  | $v_c = 80 \text{ m/min}$ $f_n = 0,25 \text{ mm}$ $n = 1592 \text{ ot/min}$ | Vrták $\varnothing 16 \text{ mm}$ | Chladicí emulze | 2,17 |
| 17 | Vrtá díry $\varnothing 20$ 2x |  | $v_c = 80 \text{ m/min}$ $f_n = 0,25 \text{ mm}$ $n = 1273 \text{ ot/min}$ | Vrták $\varnothing 20 \text{ mm}$ | Chladicí emulze | 0,26 |
| 18 | Vrtá díry $\varnothing 26$ 20x |  | $v_c = 80 \text{ m/min}$ $f_n = 0,25 \text{ mm}$ $n = 979 \text{ ot/min}$ | Vrták $\varnothing 26 \text{ mm}$ | Chladicí emulze | 3,18 |
| 19 | Frézuje načisto $\varnothing 356$ |  | $v_c = 250 \text{ m/min}$ $f_z = 0,1 \text{ mm}$ $n = 3979 \text{ ot/min}$ | Stopková fréza $\varnothing 20 \text{ mm}$ | Chladicí emulze | 0,70 |
| 20 | Frézuje načisto úkos $11/30^\circ$ |  | $v_c = 250 \text{ m/min}$ $f_z = 0,1 \text{ mm}$ $n = 2487 \text{ ot/min}$ | Úhlová fréza $\varnothing 32/30^\circ$ | Chladicí emulze | 1,89 |
| 21 | Frézuje načisto $\varnothing 310H8$ |  | $v_c = 250 \text{ m/min}$ $f_z = 0,06 \text{ mm}$ $n = 3979 \text{ ot/min}$ | Stopková fréza $\varnothing 20 \text{ mm}$ | Chladicí emulze | 1,03 |
| Σ | | | | | | 41,80 |

9.4 Kontrola přítlačné desky

Kontrola přítlačné desky je prováděna na 3D měřicím centru. Jiným způsobem nelze změřit roztečné kružnice děr nebo otvor $\varnothing 310H8$, taky poskytuje rychlejší a přesnější změření dat. Ostatní prvky jako samotné průměry vrtaných děr a délkové rozměry se mohou pro kontrolu změřit na dílně pomocí posuvných měřidel, mikrometrů a válcových a závitových kalibrů.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit obráběcí program přítlačné desky trakčního motoru pro obráběcí centrum.

Teoretická část pojednává o elektromotorech, principech jejich funkce, jejich rozdělení a konstrukci. Významná část teoretické části je věnována frézování a vrtání, je řečena definice těchto obráběcích metod a nejčastěji používané nástroje. Poslední úsek teoretické části je věnován CNC obrábění, obráběcím strojům a programování.

V praktické části bylo úkolem vytvořit program v prostředí NX pro přítlačnou desku trakčního motoru s ohledem na efektivitu a kvalitu výroby. V první části byly definovány cíle praktické části, byla představena přítlačná deska, která se bude obrábět a její materiál. Potom byl uveden obráběcí stroj, na kterém bude výroba probíhat a potřebné nástroje. V druhé části byl rozebrán po částech vytvářený obráběcí program a zvolené rezné podmínky. V závěru praktické části byl tento obráběcí postup shrnut a byla provedena analýza přítlačné desky po obrábění za účelem zjištění přebytku či úbytku materiálu. Byla vyhotovena technologická příprava výroby.

Výroba přítlačné desky byla úspěšná. Jsem rád, že jsem si vybral toto téma. Vyzkoušel jsem si navrhnout obráběcí program a na co si dát při jeho návrhu pozor. Měl jsem také možnost konzultovat výrobu s programátory a obsluhou CNC strojů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ROUBÍČEK, Ota. *Elektrické motory a pohony: příručka techniky, volby a užití vybraných druhů*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 978-80-7300-092-9.
- [2] HUGHES, Austin a Bill DRURY. *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications*. 4th ed. Amsterdam: Elsevier, 2013. ISBN 9780080983325.
- [3] Motor s kroužkovým rotorem. *Elektrika.info* [online]. [cit. 2023-1-30]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/motor-s-krouzkovym-rotorem>
- [4] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [5] BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. *Výrobní inženýrství a technologie*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2014. 173 s. ISBN 978-80-7454-471-2.
- [6] ŠTULPA, Miloslav, *Technologie obrábění: CNC soustružení, frézování, vrtání – pro praxi*. Praha: Grada Publishing, 2022. 158 s. ISBN 978-80-271-2883-9.
- [7] ZPS – FRÉZOVACÍ NÁSTROJE a.s. [online]. [cit. 2023-4-24]. Dostupné z: <https://www.zps-fn.cz/cz/e-shop/detail/frezy-kotoucove,-polohrubozube,-typ-n,-din-885-a,-rychlomezna-ocel-hss-co5/>
- [8] ZPS – FRÉZOVACÍ NÁSTROJE a.s. [online]. [cit. 2023-4-24]. Dostupné z: [https://www.zps-fn.cz/cz/e-shop/detail/frezy-valcove-celni-dlouhe,-2-brity-do-stredu,-30,-,-typ-n,-weldon-ploska,-din-6527-1,-slnute-karbidy-\(sk-tvrdokov\)/](https://www.zps-fn.cz/cz/e-shop/detail/frezy-valcove-celni-dlouhe,-2-brity-do-stredu,-30,-,-typ-n,-weldon-ploska,-din-6527-1,-slnute-karbidy-(sk-tvrdokov)/)
- [9] ČSN 22 0016. *Rezné nástroje. Frézy. Názvoslovie*. Praha: Český normalizační institut, 1992, 20 s. Třídící znak 220016.
- [10] BOLJANOVIC, Vukota. *Metal Shaping Processes: Casting and Molding, Particulate Processing, Deformation Processes, and Metal Removal*. New York: Industrial Press, 2010. ISBN 978-0-8311-3380-1.
- [11] ZPS – FRÉZOVACÍ NÁSTROJE a.s. [online]. [cit. 2023-4-24]. Dostupné z: <https://www.zps-fn.cz/cz/e-shop/detail/vrtaky-s-valcovou-stopkou,-standard,-povlak-tin/>
- [12] Jádrové vrtáky do kovu [online]. [cit. 2023-4-24]. Dostupné z: <https://www.jadrove-vrtaky.cz/vrtaky/eshop/2-1-Jadrove-vrtaky-HSS-Co/4-2-Delka-50-mm>

- [13] KOCMAN, Karel. *Speciální technologie: obrábění*. 3. přeprac. v dopl. vyd., V Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2562-8.
- [14] AGRISA, Herick Henci. An Overview of process CNC Machining. *Journal of Mechanical Science and Engineering* 6(2) [online]. 19-23, 2019 [cit. 2023-2-3]. ISSN 2354-9467. Dostupné z:
<https://jmse.ejournal.unsri.ac.id/index.php/jmse/article/view/32/32>.
- [15] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [16] KIEF, Hans B. ROSCHI WAL, Helmut A. SCHWARZ, Karsten. (2022). *CNC Handbook*. Dostupné z <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCNCH000E/cnc-handbook/cnc-handbook>
- [17] KOWA s.r.o. [online]. [cit. 2023-4-17]. Dostupné z:
<https://www.nastrojarnakowa.cz/stroj/stroj-1/>
- [18] ODSTRČILÍK, Dalibor. Ekologické stroje s přesným měřením od Tajmac-ZPS. In: Konstrukter.cz [online]. 4. 2. 2015 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z:
<https://www.konstrukter.cz/ekologicke-stroje-s-presnym-merenim-od-tajmac-zps/>
- [19] SALZGITTER FLACHSTAHL [online]. [cit. 2023-4-13]. Dostupné z:
https://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/mediadb/szfg/informationmaterial/produktinformationen/warmgewalzte_produkte/eng/S235J2_N.pdf
- [20] ZAKO Turčín [online]. [cit. 2023-4-17]. Dostupné z: <https://zakoturcin.cz/strojni-park>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|---------------|--|
| CNC | Číslicové řízení počítačem |
| VBD | Vyměnitelná břitová destička |
| IT | Stupně tolerance |
| v_c | Řezná rychlost [$m.min^{-1}$] |
| v_f | Posuvová rychlost [$mm.min^{-1}$] |
| f_z | Posuv na zub [mm] |
| f_n | Posuv na otáčku [$mm.ot^{-1}$] |
| n | Otáčky [$ot.min^{-1}$] |
| a_p | Hloubka řezu [mm] |
| \varnothing | Průměr |
| Ra | Střední aritmetická hodnota drsnosti [μm] |
| TPV | Technologická příprava výroby |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obr. 1 Zapojení do hvězdy a do trojúhelníka [2]..... | 12 |
| Obr. 2 Tvar drážek statoru [3] | 13 |
| Obr. 3 Momentová charakteristika motoru s klecovým rotorem [2] | 14 |
| Obr. 4 Kotoučová fréza [7] | 19 |
| Obr. 5 Čelní válcová fréza s břity ze slinutého karbidu [8]..... | 20 |
| Obr. 6 Nesousledné frézování [9] | 21 |
| Obr. 7 Sousledné frézování [9] | 21 |
| Obr. 8 Rovinné frézování čelní frézou [9]..... | 22 |
| Obr. 9 Šroubovitý vrták s válcovou stopkou [11]..... | 25 |
| Obr. 10 Jádrové vrtáky [12]..... | 26 |
| Obr. 11 Proces CNC obrábění [14]..... | 29 |
| Obr. 12 Blokové schéma CNC obráběcího stroje [15] | 31 |
| Obr. 13 Řídicí panel CNC stroje [15] | 32 |
| Obr. 14 Konstrukční řešení vertikálních uložení vřeten [16] | 33 |
| Obr. 15 Konstrukční řešení horizontálních uložení vřeten [16] | 33 |
| Obr. 16 Vertikální obráběcí centrum Tajmac ZPS MCFV 1060 [17] | 34 |
| Obr. 17 Způsoby zpracování obrobků na frézkách se svislým hlavním vřetenem: (a) víceupínací můstek pro třístranné obrábění malých obrobků; (b) sklíčidlo pro obrábění vnějších ploch válce [16] | 34 |
| Obr. 18 Různé konfigurace pětiosého obráběcího centra [16] | 35 |
| Obr. 19 Pětiosé portálové obráběcí centrum Tajmac ZPS MCV 1210 [18]..... | 35 |
| Obr. 20 Přední strana přítlačné desky | 38 |
| Obr. 21 Zadní strana přítlačné desky | 38 |
| Obr. 22 Vertikální obráběcí centrum MCV2080 [20] | 39 |
| Obr. 23 Upnutá deska na stole obráběcího centra | 41 |
| Obr. 24 Umístění polotovaru na přítlačné desce a poloha nulového bodu | 42 |
| Obr. 25 Technologický polotovar | 42 |
| Obr. 26 Frézování horního čela – dráha nástroje..... | 43 |
| Obr. 27 Hrubování zadní plochy – dráha nástroje | 44 |
| Obr. 28 Hrubování zadní plochy – pohled shora | 44 |
| Obr. 29 Dokončení zadní plochy – dráha nástroje..... | 45 |
| Obr. 30 Dokončení zadní plochy – pohled shora..... | 45 |
| Obr. 31 Hrubování $\varnothing 356$, sražení 11 mm/30° a $\varnothing 310$ – dráha nástroje..... | 46 |
| Obr. 32 Vrtání děr pro závity – dráha nástroje | 47 |

| | |
|---|----|
| Obr. 33 Sražení hran pro závit – dráha nástroje | 47 |
| Obr. 34 Výroba závitu – dráha nástroje | 48 |
| Obr. 35 Vrtání děr $\varnothing 16H11$ – dráha nástroje | 49 |
| Obr. 36 Dokončení děr $\varnothing 16H11$ – dráha nástroje | 49 |
| Obr. 37 Vrtání děr $\varnothing 16$ – dráha nástroje | 50 |
| Obr. 38 Vrtání děr $\varnothing 20$ – dráha nástroje | 51 |
| Obr. 39 Vrtání děr $\varnothing 26$ – dráha nástroje | 51 |
| Obr. 40 Dokončení $\varnothing 356 \times 6$ – dráha nástroje | 52 |
| Obr. 41 Dokončení sražení 30° - dráha nástroje | 53 |
| Obr. 42 Dokončení $\varnothing 310H8$ – dráha nástroje | 54 |
| Obr. 43 Vyrobená přítlačná deska | 55 |
| Obr. 44 Analýza přítlačné desky | 57 |
| Obr. 45 Analýza přítlačné desky – pohled na zadní plochu | 57 |
| Obr. 46 Analýza přítlačné desky – detail závitové díry | 57 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tab. 1 Charakteristika jednotlivých typů výrob [13]..... | 28 |
| Tab. 2 Parametry vertikálního obráběcího centra MCV2080 [20] | 39 |
| Tab. 3 Použité nástroje..... | 40 |
| Tab. 4 Frézování horního a spodního čela – použitý nástroj | 43 |
| Tab. 5 Hrubování zadní plochy – použitý nástroj..... | 44 |
| Tab. 6 Dokončení zadní plochy – použitý nástroj | 45 |
| Tab. 7 Hrubování $\varnothing 356$, sražení $11\text{ mm}/30^\circ$ a $\varnothing 310$ – použitý nástroj | 46 |
| Tab. 8 Vrtání děr pro závity – použitý nástroj | 47 |
| Tab. 9 Sražení hran pro závit – použitý nástroj | 48 |
| Tab. 10 Výroba závitu – použitý nástroj..... | 48 |
| Tab. 11 Vrtání děr $\varnothing 16\text{H}11$ – použitý nástroj | 49 |
| Tab. 12 Dokončení děr $\varnothing 16\text{H}11$ – použitý nástroj..... | 50 |
| Tab. 13 Vrtání děr $\varnothing 16$ – použitý nástroj | 50 |
| Tab. 14 Vrtání děr $\varnothing 20$ – použitý nástroj | 51 |
| Tab. 15 Vrtání děr $\varnothing 26$ – použitý nástroj | 52 |
| Tab. 16 Dokončení $\varnothing 356 \times 6$ – použitý nástroj..... | 52 |
| Tab. 17 Dokončení sražení 30° - použitý nástroj..... | 53 |
| Tab. 18 Dokončení $\varnothing 310\text{H}8$ – použitý nástroj | 54 |
| Tab. 19 Sled výrobních operací | 56 |
| Tab. 20 Technologická příprava výroby | 58 |

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výkres součásti

Příloha P II: elektronická – NX výrobní data

Příloha P III: elektronická – CNC program

Přílohy P IV: elektronická – TPV

PŘÍLOHA P I: VÝKRES SOUČÁSTI

