Programování tvarové části vstřikovací formy pro CNC obráběcí centrum

Pavel Bublík

Bakalářská práce
2019

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Pavel Bublík**
Osobní číslo:	**T16887**
Studijní program:	**B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor:	**Technologická zařízení**
Forma studia:	**prezenční**
Téma práce:	**Programování tvarové části vstřikovací formy pro CNC obráběcí centrum**

Zásady pro vypracování:

1. **Literární studie na dané téma.**
2. **Příprava modelu, výběr nástrojů, volba polotovaru, nulového bodu.**
3. **Programování součásti za pomoci CAM software.**
4. **Předvýrobní verifikace pomocí simulace pohybu nástroje a kontrola kolizí.**

Rozsah bakalářské práce:	**cca 60 stran**
Rozsah příloh:	
Forma zpracování bakalářské práce:	**tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů* **. Praha: Grada, 2015, 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.**
VRABEC, Martin. *Metodika programování obráběcích strojů s číslicovým řízením* **. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2012, 109 s. ISBN 978-80-7414-499-8.**
SMID, Peter. *CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming* **. 3rd ed. New York, NY: Industrial Press, c2008, xx, 540 s. ISBN 978-0-8311-3347-4. 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 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce:	**24. května 2019**

Ve Zlíně dne 19. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Příjmení a jméno: Bublík Pavel Obor: Technologická zařízení

P R O H L Á Š E N Í

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby *1)*;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 *2)*;
- beru na vědomí, že podle § 60 *3)* odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 *3)* odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....

.....

[1)] zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:
(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.
(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.
(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.
[2)] zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:
(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).
[3)] zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:
(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.
(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.
(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je vytvoření obráběcího programu tvarové části vstřikovací formy. Bakalářskou práci tvoří dvě části a to teoretická část a praktická část. Teoretická část pojednává o technologickém postupu výroby, výrobních operacích a kontrole součástí. Praktická část obsahuje postup programování pro CNC frézku.

Klíčová slova: obrábění, frézování, CNC stroje, programování.

ABSTRACT

The main aim of this bachelor thesis is creation of machining program for mold core. This bachelor thesis is divided into theoretical and practical part. The theoretical part includes technological process, machining operations and part control. The practical part includes sut up for programming of given part.

Keywords: Machining, Milling, CNC Machine Tools, Programming.

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při vypracovávání bakalářské práce, firmě SKD Bojkovice s.r.o. za umožnění vypracování a poskytnutí podkladů k bakalářské práci a panu Kamilu Bartošovi, se kterým probíhaly konzultace za firmu SKD Bojkovice s.r.o.

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

OBSAH

ÚVOD **10**

I TEORETICKÁ ČÁST **11**

1 TECHNOLOGICKÉ POSTUPY **12**

1.1 Význam a použití technologických postupů 12

1.2 Druhy technologických dokumentů 13

1.3 Členění technologických postupů 14

1.4 Navrhování technologických postupů 15

1.5 Zásady voleb základen 16

1.6 Technologie výroby tvarových dutin forem 16

2 VÝROBNÍ OPERACE **18**

2.1 Frézování 18

2.1.1 Podstata metody 19

2.1.2 Parametry při frézování 19

2.1.3 Nástroje 19

2.2 Soustružení 21

2.2.1 Nástroje 22

2.3 Vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování 23

2.3.1 Vrtání 23

2.3.2 Vyhrubování a vystružování 24

2.3.3 Zahlubování 24

3 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ **25**

3.1 Žíhání 25

3.1.1 Žíhání ocelí 25

3.1.2 Žíhání litin 26

3.1.3 Žíhání neželezných kovů 26

3.2 Kalení 26

4 DOKONČOVACÍ OPERACE **27**

4.1 Broušení 27

4.2 Honování 27

4.3 Lapování 27

4.4 Superfinišování 28

5 METODY MĚŘENÍ A KONTROLY **29**

5.1 Kontrola ve strojírenském podniku 29

5.1.1 Vstupní kontrola 30

5.1.2 Výrobní kontrola 30

5.1.3 Výstupní kontrola 30

5.1.4 Kontrola pracovních prostředků 30

5.1.5 Měření délek a úhlů 31

5.1.5.1 Mechanická měřidla 31

5.1.5.2 Souřadnicové měřící stroje (SMS) 33

5.1.5.3 Měření tvrdosti 34

6 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ **35**

6.1 SOUŘADNÝ SYSTÉM 35
6.2 ZPŮSOBY PROGRAMOVÁNÍ 36
6.2.1 Absolutní programování 36
6.2.2 Inkrementální programování 36
6.3 CNC PROGRAM 37
6.3.1 Stavba CNC programu 37
6.3.2 Postup tvorby CNC programu 37
6.4 METODY PROGRAMOVÁNÍ 38
7 CAM PROGRAM SIEMENS NX 39
7.1 FRÉZOVÁNÍ V PROGRAMU NX 39
7.2 VYBRANÉ FUNKCE PRO FRÉZOVÁNÍ 40
8 SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE 41
II PRAKTICKÁ ČÁST 42
9 SKD BOJKOVICE – VÝROBNÍ PROGRAM 43
9.1 ZÁVOD NÁSTROJÁRNA 43
9.2 ZÁVOD LISOVNA PLASTŮ 43
10 CNC OBRÁBĚCÍ CENTRUM 44
11 OBRÁBĚNÁ TVAROVÁ ČÁST VSTŘIKOVACÍ FORMY 45
12 OBRÁBĚNÍ V PROGRAMU SIEMENS NX 46
12.1 VOLBA POLOTOVARU 46
12.2 SEZNAM NÁSTROJŮ 47
12.3 OBRÁBĚNÍ NA PRVNÍ UPNUTÍ 47
12.3.1 Hrubování obvodu součásti 47
12.3.2 Hrubování tvarových ploch 49
12.3.3 Dohrubování tvarových ploch 50
12.3.4 Obrobení oblých ploch 51
12.3.5 Obrobení drážek mezi oblými plochami 52
12.3.6 Obrobení obvodu načisto 53
12.3.7 Vrtání děr 54
12.4 OBRÁBĚNÍ NA DRUHÉ UPNUTÍ 55
12.4.1 Frézování obvodu 55
12.4.2 Frézování plochy 56
12.4.3 Frézování otvoru 57
12.4.4 Frézování otvoru pro tvarovou vložku 58
12.4.5 Obrobení spodní plochy načisto 60
12.4.6 Vrtání a zahloubení děr 60
12.4.7 Sražení hran 63
12.5 OBRÁBĚNÍ NA TŘETÍ UPNUTÍ 64
12.5.1 Frézování ploch pro tvarovou vložku 64
12.5.2 Vrtání dlouhých děr, zahloubení, sražení 65
12.6 OBRÁBĚNÍ NA ČTVRTÉ UPNUTÍ 66
12.6.1 Vrtání, zahloubení a sražení 66
12.7 OBRÁBĚNÍ NA PÁTÉ UPNUTÍ 67
12.7.1 Frézování ploch pro tvarovou vložku 67

12.7.2 Vrtání dlouhých děr, zahloubení a sražení 68
12.8 OBRÁBĚNÍ NA ŠESTÉ UPNUTÍ 69
12.8.1 Frézování zahloubení 69
12.8.2 Navrtání, vrtání, zahloubení 69
12.9 CELKOVÁ VERIFIKACE PO OBROBENÍ A KONTROLA KOLIZÍ 70
ZÁVĚR 72
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 73
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 75
SEZNAM OBRÁZKŮ 76
SEZNAM TABULEK 79
SEZNAM PŘÍLOH 80

ÚVOD

Tvarová část formy (tvárník či tvárnice) udává vstřikovanému dílu jeho tvar a vzhled. Ke vstřikování se používají vstřikovací stroje. Součást je tvořena negativem tvaru součásti, otvory pro tvarové vložky a kanály temperačního systému. Součást je nejdříve obrobena na CNC obráběcím centru za pomocí obráběcího programu. Postup tvorby tohoto programu je cílem této bakalářské práce. Dále je předána k dalšímu zpracování, jako je broušení, leštění atd. Následující operace se odvíjí od tvaru součásti a požadovaného vzhledu či struktury povrchu. Po vyrobení je tvarová součást smontována do sestavy vstřikovací formy, kde jde odzkoušena. Poté se na základě vzorkování vystříknutého výrobku, který je kompletně proměřen rozhoduje, zda bude součást potřebovat další úpravy, nebo je způsobilá pro výrobu. Teoretická část bakalářské práce se bude zabývat operacemi provedenými na součásti, praktická část se bude zabývat postupem programování obrábění pro CNC obráběcí centrum, tak aby na konci bylo možné vygenerovat kód pro CNC obráběcí centrum a součást obrobit.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGICKÉ POSTUPY

Strojírenská technologie má cíl dosažení co největší produktivity a hospodárnosti výroby. Jako věda se zabývá výrobním procesem do všech detailů tak, aby všechny vytvořené podmínky byly účelné a ekonomické s využitím a aplikací nejnovějších poznatků ve výrobním procesu [1]

1.1 Význam a použití technologických postupů

Technologické procesy lze rozdělit do dvou základních skupin:

- Chemická technologie – změna chemické stavby látek
- Mechanická technologie – jde o technologický proces, ve kterém hledáme co nejideálnější postup, jak z výchozího polotovaru dosáhnout tvaru s požadovanými vlastnostmi:
    - Tvar (geometrické tolerance tvaru, kruhovitosti, válcovitosti)
    - Rozměr (rozměrová tolerance od jmenovité hodnoty)
    - Struktury povrchu (tolerance drsnosti *Ra*, *Rz*, *Rt*)
    - Povrchová vrstva (zabránění vzniku reziduálních napětí)
    - Přesnost vzájemné polohy ploch

Výrobní proces zahrnuje všechny nezávislé činnosti, které jsou provedeny při přetváření polotovaru na hotový výrobek. Je realizován za pomocí technologických postupů, která slouží jako návod na zpracování polotovaru v součást nebo hotový výrobek. Dělí se na technologické postupy hlavní a technologické postupy pomocné. Mezi hlavní patří technologické postupy součástí a montáže konečných výrobků. Mezi pomocné postupy patří výroba a údržba nástrojů, oprava strojů a přípravků, manipulace s výrobky apod.

Technologický postup definuje výrobní stroje, nástroje, přípravky, měřidla a pracovní podmínky potřebné k uskutečnění konkrétní operace. Výroba musí být ekonomická a musí splňovat požadovanou kvalitu a kvantitu danou technickou dokumentací.[1]

Komplexní technologický postup musí mít tyto náležitosti:

- Výrobní prostředky (stroje, přípravky, nástroje, měřidla)
- Posloupnost operací s popisem práce
- Množství produkovaných kusů
- Technologické podmínky jednotlivých operací

- Rozměry pro jednotlivé operace
- Náklady na zaměstnance
- Časy jednotkové práce t_A u jednotlivých operací

1.2 Druhy technologických dokumentů

Rozdělení technologických dokumentů podle účelu:

- Základní – aplikují se při zpracování technologického procesu, dělí se na všeobecné a speciální
- Pomocné – zhotovují se pro přípravu a realizaci technologického procesu

Druhy technologických dokumentů:

- Technologický postup – slouží k popisu technologického postupu produkce nebo oprav pomocí utvořením sledem operací a je vhodný pro všechny druhy výroby a pro všechny její fáze
- List náčrtků – vyobrazuje obsah technologických dokumentů
- Technologický předpis – slouží k popsání postupů a operací, které se opakují. Jeho myšlenkou je zmenšení množství zpracovávané dokumentace
- Soupiska průběhu výroby – stanovuje průběh technologie produkce nebo oprav a je určena pro vnitropodnikové účely.
- Montážní rozpiska – slouží k popisu montážního procesu
- Seznam technologického nářadí – zahrnuje použité nářadí užité při výrobě nebo opravě
- Materiálový list – uvádí údaje o použitém materiálu při výrobě nebo opravě
- Soupiska technologických dokumentů – souhrn všech dokumentů nutných pro výrobu nebo opravu
- Technicko-normovací list – slouží k určení času na konkrétní operaci a výpočtu nákladů na zaměstnance
- Návodka – sled technologických procesů výroby, montáže a oprav výrobku s uvedením vybavení, nákladů na materiál a spotřeby práce
- Typová návodka – popisuje operace typového technologického postupu
- Operační návodka – popisuje operace s uvedením úseků a úkonů, strojů, nástrojů, přípravků a měřidel
- Typová operační návodka – je určena k popisu typové technologické operace

- List technologického postupu kontroly výrobků – popisuje kontrolu výrobku v průběhu výroby[1]

1.3 Členění technologických postupů

Kvalita zpracování technologických postupů má vliv na konečnou kvalitu výrobků (přesnost rozměrů, tvaru a povrchu opracovávaných ploch) a dále na kvantitativnost produkce (ovlivňují výrobu z hlediska ekonomického) [1]

Pro vyhovění uvedeným podmínkám se technologické postupy dělí dle typu produkce až na čtyři jednotlivé stupně:

- Operace
- Úsek
- Úkon
- Pohyb

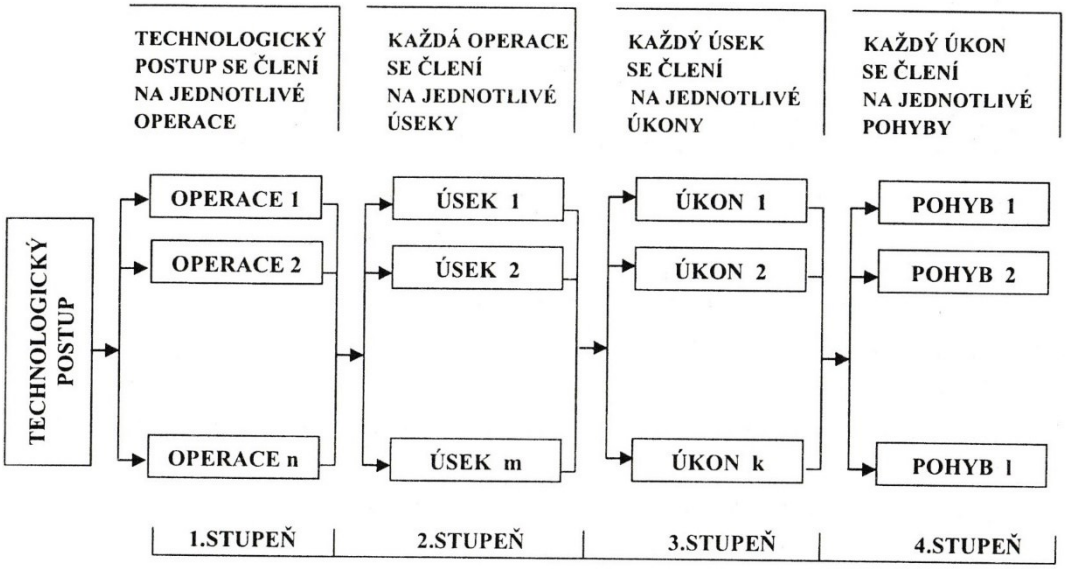
Operace je část procesu výroby provedená souvisle při jednom čase. Vykonává se na konkrétním dílci nebo více shodných dílcích na jednom pracovišti nebo jedním zařízením a obvykle jedním pracovníkem.

Úsek je částí operace, kdy je práce vykonávána při stejných technologických podmínkách a to jedním nebo skupinou nástrojů pracujících najednou na jedné nebo více ploch dílce.

Úkon je částí úseku, charakteristický elementární činností, která je nedělitelná. Například upnutí polotovaru, spuštění stroje atd. Činnost, při které je realizována vlastní předepsaná práce se nazývá úkon hlavní, například odebírání třísky při obrábění. Všechny ostatní činnosti, bez kterých nelze provést hlavní úkon se nazývají úkony vedlejší.

Pohyb je nejzákladnější částí pracovní činnosti. Uvádí se hlavně při velkosériové produkci a při montážích. Jedná se nejmenší měřitelnou část operace.

Členění technologických postupů při kusové a malosériové produkce bývá zpravidla na operace a úseky. U středně-sériové produkce se dělí na úkony, hlavně u komplikovaných operací. Členění na jednotlivé pohyby se používá u velkosériové produkce, při které se analyzují jednotlivé operace, aby bylo možné odhalit neproduktivní činnosti a zajistit automatizaci výroby. [1]



Obr. 1 Členění technologického postupu pro velkosériovou produkci [1]

1.4 Navrhování technologických postupů

Technologický postup je předpisem výroby konkrétního dílce nebo celého zařízení a definuje způsob výroby daného produktu. Stanovuje výrobní zařízení a pomůcky potřebné k výrobě, dále definuje podmínky, které mají být při výrobě použity. [1]

Technologický postup by měl splňovat následující požadavky:

- Vyhovění požadavkům na funkci danou technickým výkresem, technologickými podmínkami a normami
- Produkce s minimálními náklady a minimální pracností
- Maximální využití použitého výrobního zařízení

Funkčnost požadovaná po produktu odpovídá volbě výrobní metody, posloupnosti operací, volbě stroje a technologickým podmínkám. Kvalita každé obrobené plochy je ovlivněna čtyřmi údaji:

- Přesnost rozměrů
- Přesnost tvaru
- Jakostí povrchu
- Přesností vzájemné polohy ploch

Žádný rozměr na výkrese nelze vyrobit ve jmenovitém rozměru, jelikož neexistuje výrobní zařízení, které by zaručilo výrobu dané veličiny naprosto stejných rozměrů. Navíc čím jsou požadovány menší dovolené tolerance, tím jsou náklady na produkci vyšší. Tudíž je důležité

při tvorbě technologického postupu volit vhodné dovolené tolerance, tak aby bylo dosaženo požadované funkčnosti, při co nejmenších nákladech. [1]

1.5 Zásady voleb základen

Obrobek musí bát orientován podle hlavního a vedlejšího řezného pohybu. Má za cíl dosažení vzájemné polohy ploch a to jak obráběných, tak i neobráběných. Danou polohu ploch a rozměrovou přesnost lze docílit jen za pomocí správné volby základen.

Základnou myslíme plochu nebo jejich kombinaci, která definuje polohu součásti při upnutí do obráběcího stroje nebo při měření. [1]

Lze je rozdělit na:

- Konstrukční základny – tvoří je plochy nebo osy, které určují polohu součásti vůči jiným součástem (například vzájemná poloha hřídelů).
- Montážní základny – tvoří je plochy, které spojují součást s jinou součástí (například otvor, kterým je nasazeno ozubené kolo na hřídel).
- Technologické základny – určují plochy pro ustavení součásti do obráběcího stroje.
- Měřící základny – určují plochy na odměřování rozměrů.

Volba základen se řídí následujícími pravidly:

- Je žádoucí volit pro obrábění součásti technologické základny tam, kde jsou základny hlavní
- Používání měřících základen pro ustavení součásti
- Zachovávání jednotnosti základen (používání stejných základen pro všechny operace pokud je to možné)[1]

1.6 Technologie výroby tvarových dutin forem

Pro tvárnici či tvárník se volí materiály, které jsou odolné proti opotřebení. Vhodné jsou oceli třídy 19, u kterých jsou ještě tyto vlastnosti vylepšeny kalením. Toto je zapotřebí, protože vstřikovací forma může za svou životnost provést několik milionů vstřikovacích cyklů.

Prvním úkonem je dělení materiálu na polotovar, po němž se musí polotovar ofrézovat, aby byla zajištěna kolmost stěn polotovaru a tím i jeho upínaní do obráběcích strojů. Po úhlování stěn polotovaru následuje vrtání chladících kanálů na horizontální vyvrtávačce. Poté se pro-

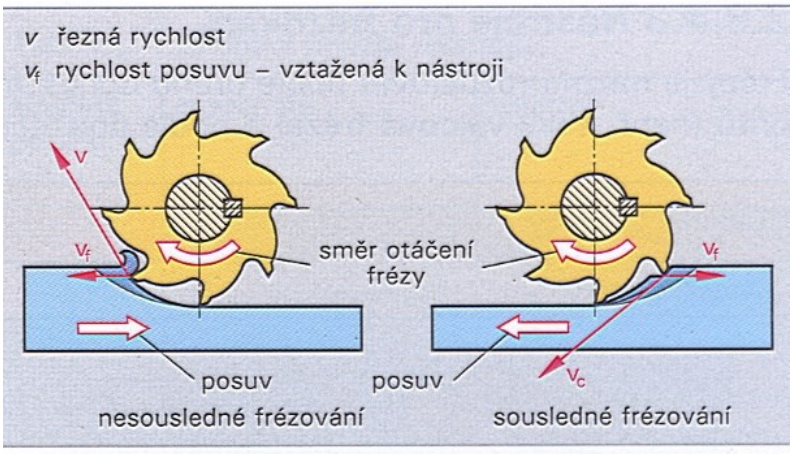
vedou hrubovací operace frézování, při němž je v polotovaru obroben hrubý tvar s přídavkem 0,5-2mm. Po hrubování následuje proměření dílu dílenskými měřidly a na souřadnicovém měřícím stroji. Pokud díl odpovídá požadavkům, je odeslán ke kalení. Po kalení se provádí dokončovací operace. Díl je broušen, aby byla co nejpřesněji zajištěna jeho poloha v sestavě vstřikovací formy, následně jsou pomocí metody W-EDM vyřezány dlouhé otvory. Teprve teď je díl připraven pro frézování na čisto. Když je díl ofrézován, jsou na něm provedeny finální úpravy metodou EDM, kdy jsou za pomocí grafitové elektrody doobrobeny jemné detaily jako jsou různá drážkování, dezén apod. Poté je díl komplexně proměřen na souřadnicovém měřícím stroji. Nyní je díl připraven k montáži do sestavy vystřikovací formy.

2 VÝROBNÍ OPERACE

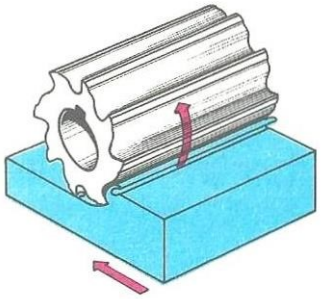
V následující kapitole je věnována pozornost technologiím konvenční výroby, které se uplatňují při výrobě vstřikovacích forem, jejich dutin a komponent. Nachází se zde základní vlastnosti těchto operací.

2.1 Frézování

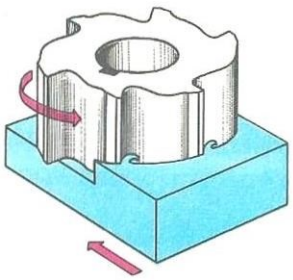
Frézování je metodou obrábění, při které je možné obrábět rovinné plochy, tvarové plochy kolmé k jedné rovině, plochy ozubení anebo zcela obecné plochy a to rotujícím nástrojem (frézou) upnutou ve stroji (frézce). Posuv nejčastěji vykonává obrobek, převážně v kolmém směru k ose rotace nástroje. Řez jednotlivých břitů je přerušovaný, každý břit tvoří třísky proměnlivé tloušťky. Během procesu frézování se užívá řezné kapaliny, stejně jako u soustružení například. S ohledem na technologii se v závislosti na použitém nástroji rozlišuje válcové frézování (frézování obvodem) a čelní frézování (frézování čelem). Dále s ohledem na kinematiku obráběcího procesu lze frézování rozdělit na frézování sousledné (sousměrné) a frézování nesousledné (protisměrné). [1][2]



Obr. 2 Sousledné a nesousledné frézování [2]



Obr. 3 Válcové frézování [3]



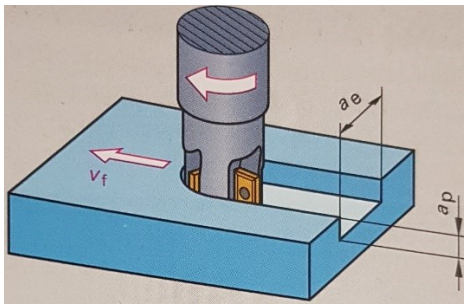
Obr. 4 Čelní frézování [3]

2.1.1 Podstata metody

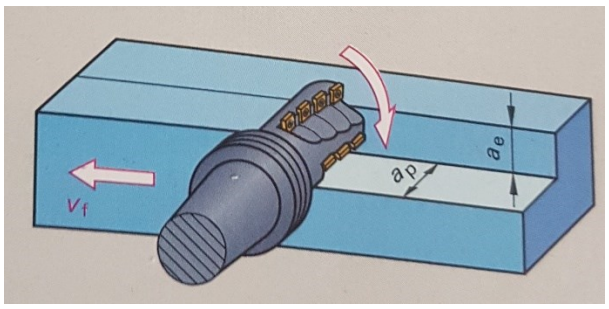
Fréza je obvykle vícebřitý nástroj. Z důvodu chvění je při frézování vhodné, aby bylo v záběru více břitů najednou. Hlavním řezným pohybem je otáčení frézy a vedlejší posuvné pohyby vykonává obrobek. Řezný proces není kontinuální, ale přerušovaný, protože jednotlivé břity nástroje vcházejí a vycházejí z obráběné součásti a odebírají třísku proměnlivého průřezu.[3]

2.1.2 Parametry při frézování

Řeznou rychlost v_c volíme podle materiálu obrobku a použitého nástroje, přičemž se doporučuje respektovat rozdělení výrobce na nástroje pro hrubování a dokončování. Posunutí na jedno otočení frézy s a posunutí na jeden břit f_z definují jakost povrchu a zátěž břitů. Během čelního frézování je tloušťka třísky h stejná, kdežto během obvodového frézování se tloušťka mění od maxima k nule, proto zátěž břitu stanovujeme podle střední tloušťky třísky h_m. Během obvodového frézování je tloušťky třísky na hloubce řezu a_e, dále na průměru frézy a také na posuvu na jeden břit f_z. Šířka řezu a_e určuje šířku frézované plochy. U obvodového frézování definuje hloubka řezu a_e hloubku záběru obvodové frézy. Při frézování stopkovou frézou se axiální nastavená hloubka řezu označuje jako hloubka řezu a_p. [2]



Obr. 6 Hloubka řezu a_p (axiální) a šířka frézování a_e čelní frézou [2]



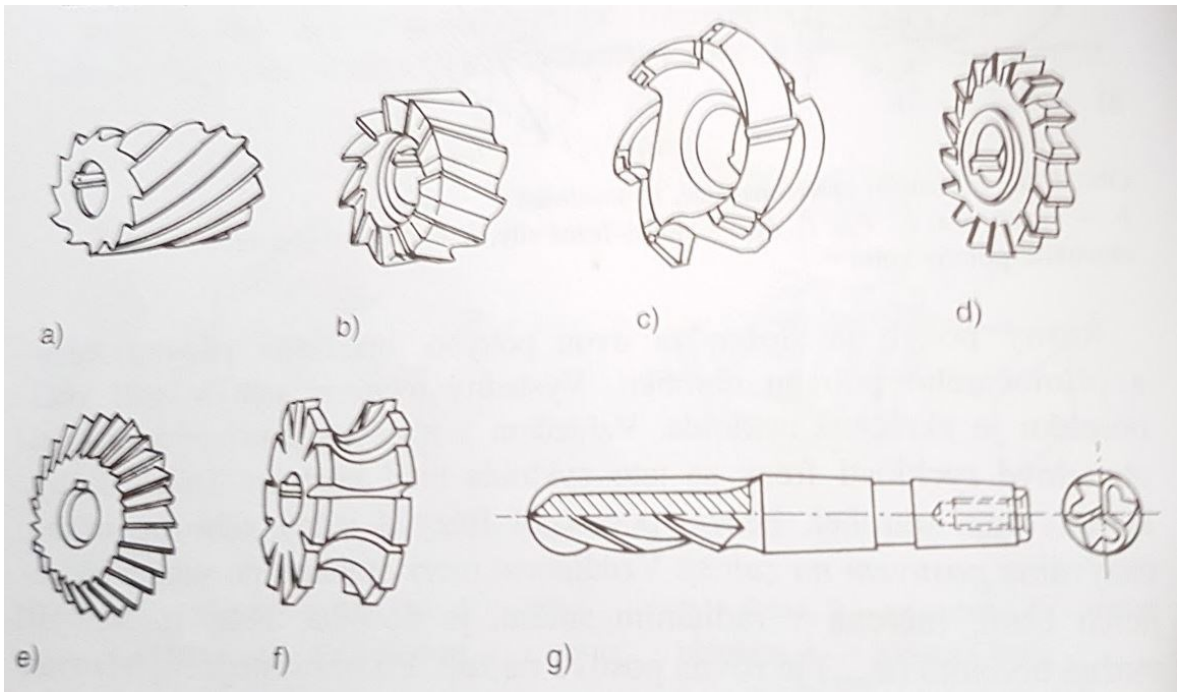
Obr. 5 Hloubka řezu a_p (radiální) a šířka frézování a_e při obvodovém frézování [2]

2.1.3 Nástroje

Frézy dělíme podle následujících parametrů:

- Podle konstrukce:
  - Celistvé
  - S vyměnitelnými břitovými destičkami
  - Skládané

- Podle tvaru břitů:
    - S frézovanými zuby – mezery mezi břity jsou vytvářeny pomocí kuželové frézy
    - S podsoustruženými zuby – výroba se provádí na podsoustružovacích soustruzích, břity mají tvar Archimédovy spirály
- Podle průběhu ostří břitů:
    - S přímými břity – břity jsou umístěny rovnoběžně s osou
    - S břity do šroubovice – pravotočivé, levotočivé
- Podle způsobu upínání:
    - Stopkové – s kuželovou nebo válcovou stopkou
    - Nástrčné
- Podle plochy umístění břitů:
    - Válcové – mají břity na válcové ploše
    - Čelní – mají břity na válcové a čelní ploše
    - Kotoučové – mají břity na válcové ploše a na obou čelních plochách
    - Kuželové – mají břity na kuželové ploše
    - Tvarové – mají břity na tvarové ploše [3]



Obr. 7 Vybrané druhy fréz [3]

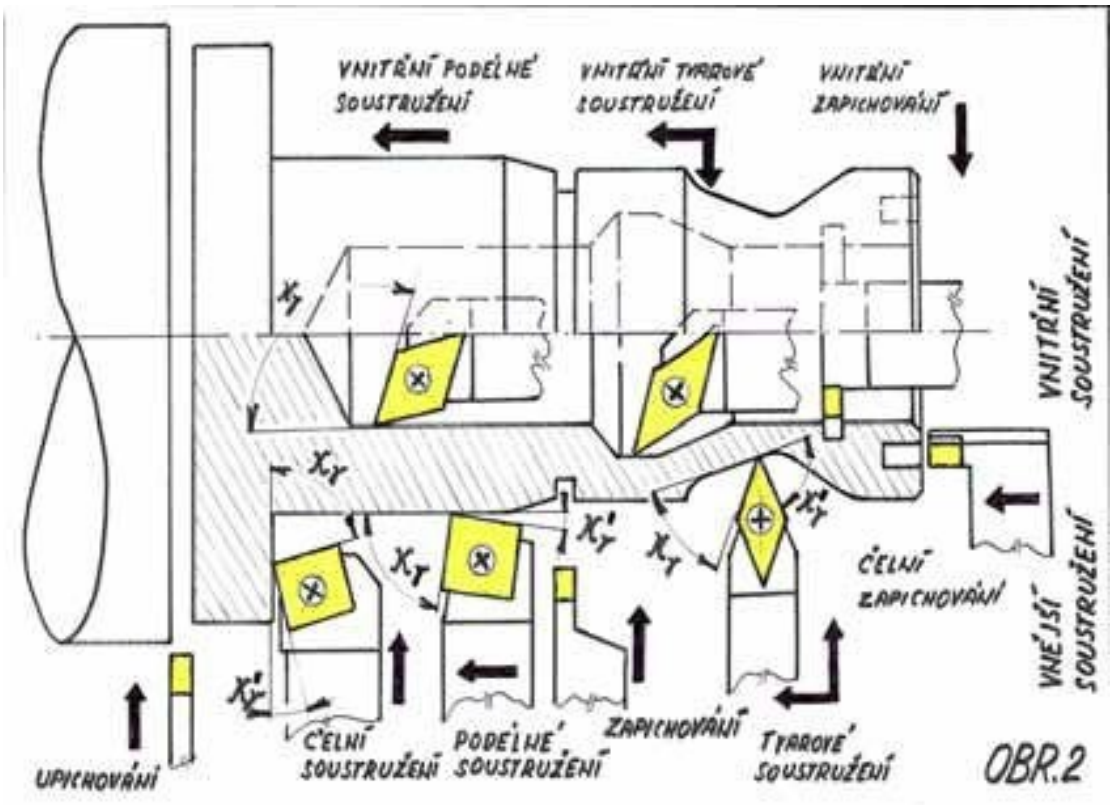
a) válcová, b) čelní, c) frézovací hlava, d) kotoučová, e) kuželová, f) tvarová, g) stopková s kulovým čepem

2.2 Soustružení

Soustružení je proces obrábění používaný pro výrobu rotačních součástí a řezání závitů zpravidla jedním nástrojem. Hlavním řezným pohybem je rotace obrobku a vedlejšími pohyby jsou posuv a přísuv nástroje. Nástrojem je většinou jednobřité soustružnické nože různých provedení. [1][2]

Soustružnické operace:

- Soustružení válcových ploch
- Soustružení rovinných ploch
- Soustružení závitů
- Zapichování, upichování
- Soustružení složitých rotačních ploch
- Soustružení profilů



Obr. 8 Základní soustružnické operace [5]

2.2.1 Nástroje

Soustružnické nože mají obvykle jednoduchou geometrii ostří a většinou bývají jednobřité. [3]

Materiál břitu:

- Nástrojová ocel
- Slinuté karbidy
- Cermety
- Keramika
- Polykrystalický diamant
- Kubický nitrid boru

Konstrukce:

- Celistvé nože
- Nože s pájenou břitovou destičkou
- S mechanicky upínanou výměnnou destičkou

Směr posuvu:

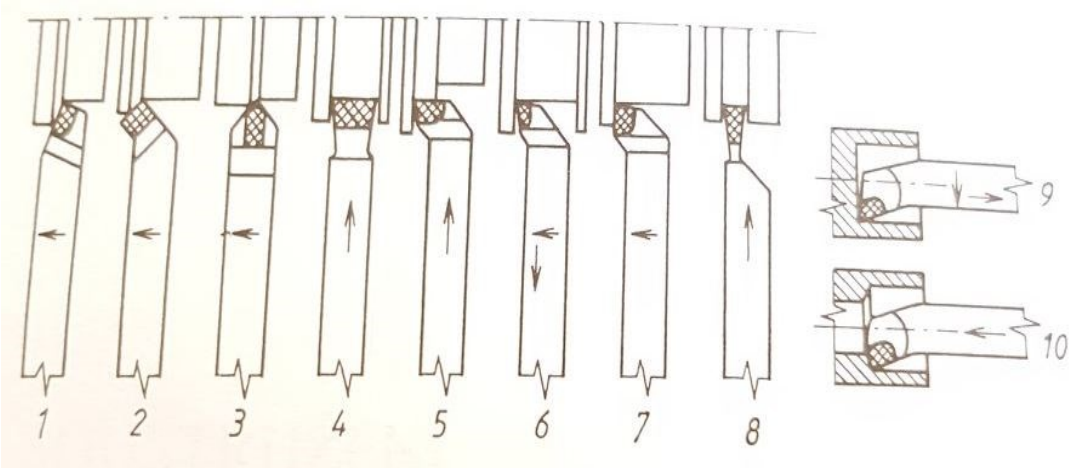
- Pravé nože
- Levé nože
- Souměrné nože

Způsob obrábění:

- Ubírací nože
- Zapichovací a upichovací nože
- Závitové nože
- Kopírovací nože
- Tvarové nože

Tvar stopky nože:

- Přímé nože
- Ohnuté nože



Obr. 9 Základní tvary nožů pro soustružení [3]

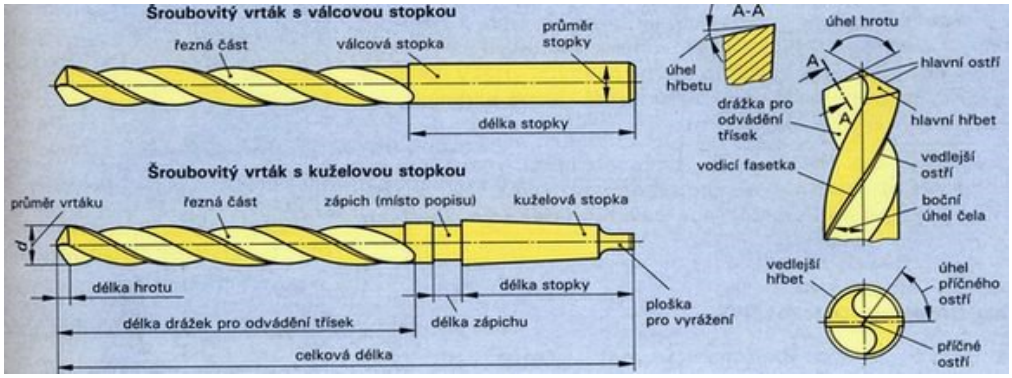
1-ubírací přímý, 2-ubírací ohnutý, 3-hladící, 4-nabírací, 5-ubírací čelní, 6-rohový, 7-ubírací stranový, 8-zapichovací, 9-vnitřní rohový, 10-vnitřní ubírací

2.3 Vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování

Jedná se o výrobní operace používané při obrábění válcových děr. Provádí se většinou vícebřitým nástrojem. Obrábění se uskutečňuje rotačním pohybem nástroje a posuvem v ose nástroje. [1]

2.3.1 Vrtání

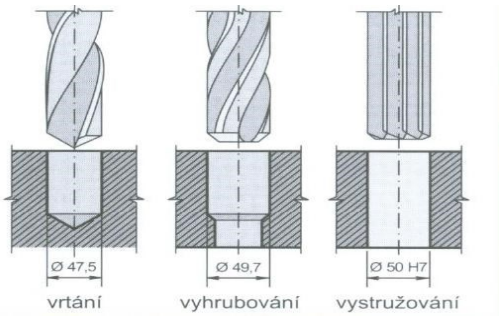
Slouží ke zhotovení nebo zvětšení již předpřipravené díry. Hlavním pohybem je rotační pohyb nástroje, vedlejším pohybem je posuv v ose nástroje. O velikosti řezné rychlosti na vnějším průměru v_c se rozhoduje podle použitého nástroje, materiálu a jakosti obrobené díry. Pro díry do průměru 20 mm, jejichž hloubka není větší, než pětinásobek jejich průměru jsou nejčastěji používané šroubovité vrtáky. Ty se skládají z upínací stopky a šroubovité řezné části. Tu tvoří dva hlavní břity ve tvaru klínu, dále dvě šroubovice (nacházející se naproti sebe) sloužící k odvodu třísky. Břity a šroubovice tvoří hlavní a vedlejší ostří a vodící fazetky. Průměr vrtáku se směrem od hlavních břitů ke stopce zužuje z důvodu snížení tření fazetky při vrtání [1][2]



Obr. 10 Popis šroubovitého vrtáku [6]

2.3.2 Vyhrubování a vystružování

Pokud je daná jakost povrch vyšší, než je možné splnit pomocí vrtání, tak se užívá k dokončení děr výhrubníků a výstružníků. U děr do 10 mm se používají jen výstružníky, větší díry se nejprve vyhrubují a až poté vystružují. Přídavek na vystružení se volí dle požadované jakosti povrchu, typu obráběného materiálu a typu nástrojového materiálu, konstrukci nástroje a dalších faktorech. [1]



Obr. 11 Postup vystružování [7]

2.3.3 Zahlubování

Slouží k vyvrtávání již předvrtaných otvorů, jejichž průměr je minimálně 70% z daného průměru. Zahlubovací vrtáky jsou dvou až čtyřbřité nástroje.[2]

3 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

Tepelné zpracování je postup, během kterého dochází k řízené změně teploty a někdy také ke změně chemického složené kovu. Hlavním cílem je docílit potřebných mechanických a technologických vlastností kovů. Proces tepelného zpracování je ve všech případech v základě stejný. Sestává se z ohřevu na požadovanou teplotu, vytrvání na této teplotě z důvodu prohřátí v celém objemu zpracovávané součásti a poté chlazení. Toto se může několikrát opakovat. Jednotlivé druhy tepelného zpracování jsou charakterizovány jejich rychlostí a průběhem ohřevu, konečnou výškou teploty při ohřevu, dobou po jakou se setrvává na dané teplotě a rychlostí jakou je součást ochlazována, eventuálně podmínkami při jakých je tento cyklus opakován. [8]

3.1 Žíhání

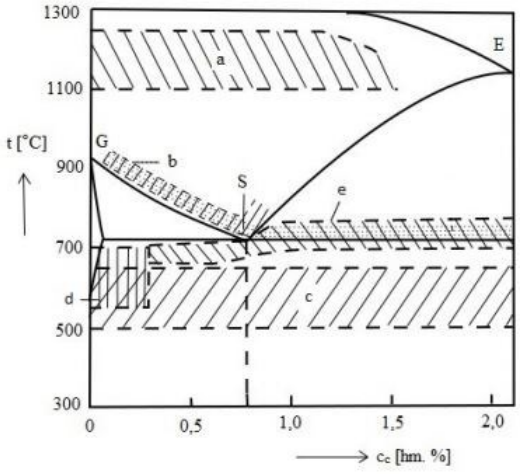
Základním principem žíhání je postupný ohřev součásti na teplotu při které se bude žíhat, poté se po určitou dobu setrvá na této teplotě a následně dochází z pomalému až velmi pomalému chladnutí. Žíhání je vhodné rozdělit do tří následujících skupin:

- Žíhání ocelí
- Žíhání litin
- Žíhání neželezných kovů

3.1.1 Žíhání ocelí

Oceli je možné žíhat bez překrystalizace, kdy není překročena překrystalizační teplota, s překrystalizací, kdy je překročena tato teplota, anebo kombinací těchto možností. Nejběžnější způsoby jsou vyznačeny v obr. 10 v oblasti teplot pro žíhání diagramu Fe-Fe_3C. Žíhání oceli lze rozdělit na: [8]

- Žíhání homogenizační (a)
- Žíhání normalizační (b)
- Žíhání ke snížení pnutí (c)
- Žíhání rekrystalizační (d)
- Žíhání na měkko (e)



Obr. 12 Oblasti teplot pro žíhání podle diagramu Fe-Fe_3C [10]

3.1.2 Žíhání litin

Většinou jsou využívány podobné postupy jako u žíhání ocelí. Nejčastěji se využívá ke snížení vnitřních pnutí. Lze jej rozdělit na:

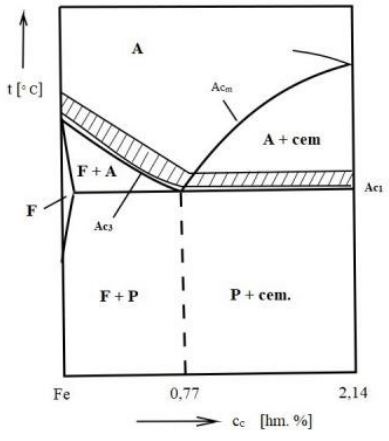
- Žíhání na snížení vnitřních pnutí
- Žíhání ke zmenšené tvrdosti
- Žíhání normalizační

3.1.3 Žíhání neželezných kovů

U neželezných kovů se nejčastěji využívá rekrystalizační žíhání, z důvodu obnovení tvárných vlastností po té co byl materiál deformován. Výjimečně se neželezné kovy žíhají ke snížení vnitřních pnutí, při kterém nedochází ke změnám mechanických vlastností. Častěji se žíhají homogenizačně a to z důvodu odstranění chemických nestejnorodostí například u odlitků. [8]

3.2 Kalení

Hlavním účelem je zvýšení tvrdosti oceli. Základním principem kalení je ohřev součásti na teplotu při které se bude kalit, poté dochází k ochlazení kritickou rychlostí. Rychlým ochlazeném se zamezí vzniku feritu a perlitu, austenit se při teplotě kolem 500°C přemění na bainit nebo martenzit. Z toho vyplývá, že kalící teplota musí být vyšší než je překrystalizační teplota oceli. Pro kalení oceli se používá pásmo teplot viz. obr. 13. Ocel po kalení má značné pnutí a je velmi tvrdá, ale zároveň i křehká. Takovouto ocel lze použít jen zcela výjimečně, proto se po kalení ocel popouští. Při popouštění dojde ke snížení vnitřního pnutí a tím se i sníží křehkost.[9]

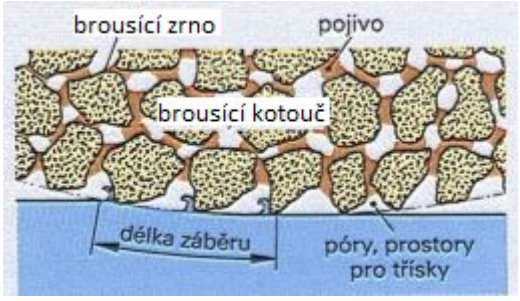


Obr. 13 Pásmo kalících teplot podle diagramu Fe-Fe₃C [10]

4 DOKONČOVACÍ OPERACE

4.1 Broušení

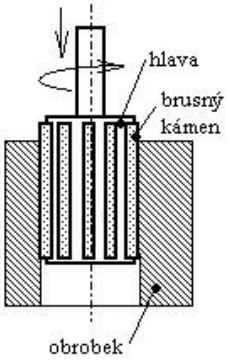
Obráběním broušením lze opracovat tvrdý materiál s dobrou přesností rozměrů a povrchovou kvalitou, kterou nelze dosáhnout soustružením nebo frézováním. Nástrojem je mnohobřitý nástroj - brousící kotouč. Ten se sestává z pojiva a brusiva. Brusivo jsou ostrohranná zrna tvořící břity nástroje. Pojivo je materiál, který tato zrna spojuje a udržuje požadovaný tvar nástroje. [19]



Obr. 14 Broušení [19]

4.2 Honování

Používá se pro vnitřní a vnější rotační plochy. Podstatou je broušení za použití honovacích kamenů upnutých v honovací hlavě. Dosahuje se přesnosti *IT* 5 a drsnosti povrchu *Ra* 0,1. [17] [18]

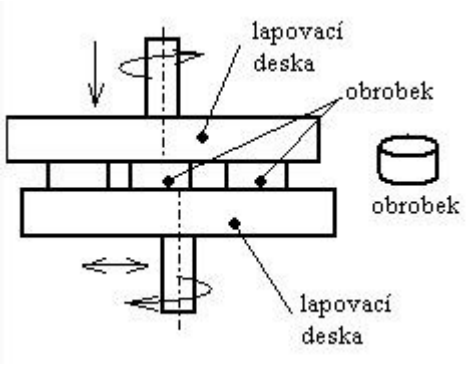


Obr. 15 Honování [18]

4.3 Lapování

Tato metoda je vhodná pro obrábění kalené oceli, nitridovaných povrchů, otěruvzdorných povlaků a těžce obrobitelných materiálů. Obrábí se plochy u kterých je kladen důraz na velmi

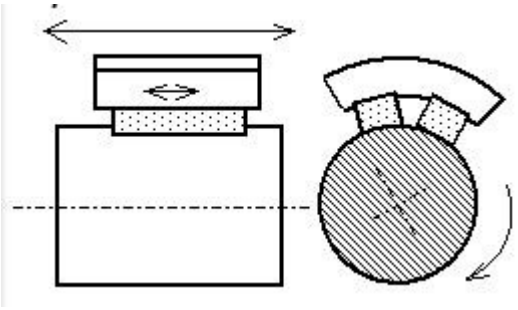
velkou přesnost a jakost. Metoda dosahuje přesnosti *IT* 1 až *IT* 3 a drsnosti povrchu *Ra* 0,02 až 0,05. [17] [18]



Obr. 16 Lapování [18]

4.4 Superfinišování

Slouží k obrábění vnitřních a vnějších rotačních ploch a také rovinných ploch. Používá se pro plochy, jenž mají předepsaný vysoký stupeň jakosti. Podstatou je obrábění jemnozrnnými finišovacími kameny za nízkých řezných rychlostí. Přesnost superfinišování se pohybuje mezi *IT* 1 až *IT* 3 a drsnosti povrchu se pohybují mezi *Ra* 0,012 až *Ra* 0,1 [17] [18]



Obr. 17 Superfinišování [18]

5 METODY MĚŘENÍ A KONTROLY

Měření a kontrola není jen nedílnou součástí strojírenství, ale dalších oborů jako jsou například stavebnictví, doprava, lékařství a nespočet dalších. Základní předpoklady jsou však pro všechny obory stejné. Kontrola a měření spadají pod vědní disciplínu zvanou Metrologie. Tu lze rozdělit do tří částí:

- Vědecká
- Legální
- Praktická

Legální metrologie se zaobírá legislativním ošetřením metrologie, což zahrnuje zákony a vyhlášky platné v České republice. Zabývá se zákony o metrologii na rozdíl od technických norem, které slouží pouze jako informace. Nedodržování zákonů o metrologii může vyplynout ve velké hmotné škody, nebo přejít až v újmu na zdraví. Proto je důležité, aby tyto zákony znali a dodržovali jak kvalifikovaní pracovníci, tak i jejich nadřízení. Všechna měřidla jsou v přímě návaznosti na mezinárodní etalon a to z důvodu jejich reprodukovatelnosti. Samotným měřením je myšlen soubor činností, která mají za cíl stanovit velikost měřené veličiny. Jelikož pro měření nemáme absolutně přesná měřidla a ani nemůžeme zajistit referenční podmínky, je nutné si uvědomit, že nejsme schopni naměřit skutečnou hodnotu veličiny. Proto k naměřené hodnotě musíme přidat tzv. nejistotu měření. [11]

5.1 Kontrola ve strojírenském podniku

Kontrola je nedílnou součástí procesu řízení jakosti. Hlavním cílem je zjišťování a předcházení chybám. Pokud jsou v podniku vynakládány odpovídající finanční prostředky na kontrolu, investice se navrací v podobě snížení nákladů vzniklého výrobou zmetků, opravami atd. [11]

Podnikovou kontrolu lze rozdělit do čtyř částí:

- Vstupní kontrola
- Výrobní kontrola
- Výstupní kontrola
- Kontrola pracovních prostředků

Podstatnou podmínkou pro zajištění jakosti je kvalifikovanost a odpovědnost pracovníků. To jakým způsobem zasahuje kontrola do procesu výroby definuje technologický postup.

Kontrola probíhá zpravidla po každé operaci provedené na součásti a především v těchto případech:

- Kontrola polotovarů
- Kontrola před a po tepelném zpracování
- Kontrola před a po náročné operaci
- Kontrola hotové součásti [11]

5.1.1 Vstupní kontrola

Vstupní kontrola zabezpečuje, aby všechen materiál, který je dodán měl odpovídající jakost. Cílem je kontrola rozměrů a jakosti dodávaných materiálů a součástí, kontrola funkčnosti a kompletnosti dodávky. Z každé nové dodávky se odebírají vzorky, z nichž se určuje správnost dodávky a poté se vyhotoví protokol o provedených kontrolách. V případě kdy dodávka nesplňuje smluvenou jakost, vstupní kontrola projednává nápravu s dodavatelem. [11]

5.1.2 Výrobní kontrola

Zabezpečuje kontrolu během procesu výroby. Náplní výrobní kontroly je kontrola jakosti prvních kusů po seřízení stroje, nebo při jakékoliv změně technologie. Provádí kontrolní úkony dané technologickým postupem, přebírá kusy, které jsou v pořádku, označuje kusy, které lze ještě přepracovat a vylučuje zmetkové kusy. Taktéž odhaluje příčiny vzniku vad a jejich viníky. Zabezpečuje veškeré požadované zkoušky, vypracovává návody pro kontrolu složitých součástí, aby byla zajištěna opakovatelnost měření. [11]

5.1.3 Výstupní kontrola

Výstupní kontrola se stará o kontrolu již hotových produktů. Má na starosti kontrolu funkce a kompletnosti balení před expedicí, kontrolu provedení konečných úprav a konzervace produktů potvrzuje, že produkty byly vyrobeny dle požadavků, připravuje kontrolní dokumentaci. Její náplní je taktéž řešení reklamací, určení příčin a viníků vad produktů. [11]

5.1.4 Kontrola pracovních prostředků

Tato kontrola se zabývá přejímáním a kontrolou nářadí, kontrolou speciálních strojů a přípravků a kontrolou přesnosti výrobních zařízení po dokončení výroby. [11]

5.1.5 Měření délek a úhlů

Ve většině průmyslových odvětví patří k základním prvkům kontroly výroby. V základu se dělí na metody přímé a nepřímé. Při přímé metodě se hledaný rozměr určí přímo měřidlem, kdežto u nepřímé metody se měřený rozměr zjistí výpočtem z jiného rozměru (např. zjištění velikosti rádiusu kružnice po to co jsme změřili její obvod). Dále můžeme dělit podle způsobu snímání na dotykové a bezdotykové. Během dotykového snímání je měřidlo v přímém kontaktu s měřenou součástí, u bezdotykového snímání se měření provádí v určité vzdálenosti od součásti, nebo při jejím pohybu. [11]

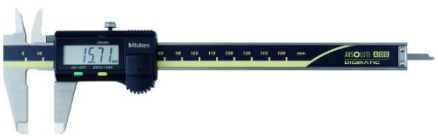
5.1.5.1 Mechanická měřidla

Můžeme mezi ně zařadit:

- Posuvné měřidlo
- Mikrometr
- Hloubkoměr
- Výškoměr
- Číselníkový úchylkoměr
- Zhmotněné míry:
    - Koncové měrky
    - Rozměrové kalibry
    - Délková měřítka

Posuvné měřidlo

Jejich princip je velmi jednoduchý, jsou lehce ovladatelná. Jejich použití je vhodné pro měření vnějších a vnitřních rozměrů, hloubky a stupňovitých rozměrů. Klasická posuvná měřidla jsou opatřena základní stupnicí, která je doplněna jemnou stupnicí na pohyblivém rameni tzv. nonius. Při měření se nejdříve odečtou celé milimetry, poté se odečtou desetiny, případně setiny na noniu, podle přesnosti měřidla. Digitální posuvné měřidlo je v dnešní době mnohem používanějším než klasické, neboť umožňují vejmi snadné a rychlé odečtení s rozlišitelností 0,01 mm. Navíc díky mikroprocesorové jednotce umožňují propojení s PC, což umožňuje přenos naměřených dat přímo do PC a tím urychlují jejich zápis. [11]



Obr. 18 Posuvné měřítko [12]

Mikrometr

Lze s nimi měřit vnější a vnitřní rozměry. Z důvodu jejich konstrukce mívají malý rozsah, ten bývá většinou odstupňován po 25 mm (0-25 mm; 25-50 mm…). Základem mikrometru je bubínek s přesným mikrometrickým závitem, který je uchycen ve válcovém těle. Odečítání naměřené hodnoty probíhá tak, že se nejprve odečtou milimetry na pevné válcové části a poté se odečtou setiny milimetru na pohyblivém noniu. Stejně jako u posuvného měřidla bývají často opatřeny mikroprocesorovou vyhodnocovací jednotkou, což umožňuje stejné výhody při měření.[11]

Obr. 19 Digitální mikrometr [12]

Hloubkoměr

Slouží k měření hloubky u otvorů, zápichů, dutin a vybrání. Konstrukčně jsou odvozeny od mikrometrů nebo posuvných měřidel. [11]

Výškoměr

Používá se k měření výšek, osazení atd. Dělí se na výškoměry s pevným nebo výkyvným dotekem. Konstrukčně se oba druhy podobají posuvnému měřidlu, jsou však vertikálně upevněné. Výškoměr s pevným dotekem má rozlišitelnost 0,02 mm, u digitální varianty to bývá až 0,01 mm. Při měření výškoměrem s výklopným dotekem se v měřeném místě dotýká součásti kulička a to vždy stejnou přítlačnou silou. Jejich rozlišení bývá až 0,001 mm. [11]

Číselníkový úchylkoměr

Měřidlo pracuje na principu měření úchylky o daného rozměru. Jejich rozlišitelnost bývá od 0,01 mm do 0,001 mm a rozsah od 0,5 mm do 100 mm. Mají i digitální variantu, která umožňuje nulování stupnice v libovolném bodě, zobrazení minima a maxima a komunikaci s PC. [11]

Kalibry

Umožňují kontrolu jednoho konkrétního rozměru. Jejich obsluha je velmi snadná, mají dobrou a zmetkovou stranu, čímž je vymezeno toleranční pole kontrolovaného rozměru. Při měření mohou nastat následující stavy:

- Rozměr je příliš velký, kalibr nejde nasunout
- Rozměr je příliš malý, mezi kalibrem a tělesem je vůle
- Kontrolovaný rozměr se nachází v toleranci, kalibr se lehce nasune [11]

Koncové měrky

Jsou ztělesněnou mírou pravoúhlého průřezu. Vyrábí se z materiálů odolných proti opotřebení. Jejich měřící plochy jsou navzájem rovnoběžné a mají schopnost přilnout k plochám jiné měrky a to za pomocí molekulárních sil. V praxi jsou používány jako délkové etalony pro účely kalibrace měřidel. [11]

Obr. 20 Koncová měrka [12]

5.1.5.2 Souřadnicové měřící stroje (SMS)

Slouží ke komplexnímu měření geometrie součásti. Pracují na principu zjišťování souřadnic bodů, ze kterých se poté skládá geometrie součásti. Dělíme je do tří základních skupin:

- Jednosouřednicové měřící stroje – měří pouze v jedné ose
- Dvousouřadnicové měřící stroje – měří ve dvou navzájem kolmých osách
- Třísouřadnicové měřící stroje – měří v prostoru (ve 3D) [11]

Jednosouřadnicové měřící stroje

Jejich rozsah může být až v řádech metrů. Rozměry objektu se snímají mechanicky nebo opticky. Používají se pro měření kalibrů, závitů apod. [11]

Dvousouřadnicové měřící stroje

Jsou vyspělejší než měřící mikroskopy, mají větší rozsah a také rozlišitelnost. Obraz není převracený, mají schopnost automatického zaostření. Veškerá data vystupující ze stroje jsou zpracovávána počítačem. [11]

Třísouřadnicové měřící stroje

Tvoří špičku v měření geometrie součástí. Umožňují měření složitých součástí a to na jedno upnutí. Jejich použití je možné jak přímo ve výrobě, tak v měrových laboratořích s klimatizací při potřebě velmi přesných měření. [11]

5.1.5.3 Měření tvrdosti

Tvrdost je mechanická vlastnost, definovaná jako odpor materiálu, proti vnikání jiného tělesa. Měřítkem pro tvrdost je velikost stopy zanechané po vniknutí zkušebního tělesa. [11]

Zkouška podle Brinella HB

Během této zkoušky je silou F zatlačována kulička průměru D. Průměr zanechané stopy se měří ve dvou na sebe kolmých směrech. Tvrdost se vyjádří jako poměr zaťežující síly na plochu zanechané stopy. [11]

Zkouška podle Vickerse HV

U této zkoušky je intendorem pravidelný čtyřboký jehlan vyrobený z diamantu, jehož vrcholový úhel je 136°. Tvrdost se určí změřením obou úhlopříček otisku. Výsledná tvrdost se musí vypočítat z daného vztahu pro tuto zkoušku. [11]

Zkouška podle Rockwella

Zkušebním intendorem pro tuto zkoušku je kužel vyrobený z diamantu, jehož vrcholový úhel je 120° anebo kulička s průměrem 1/16“. U zkoušky se vyhodnocuje hloubka vtisku po zkušebním tělese. [11]

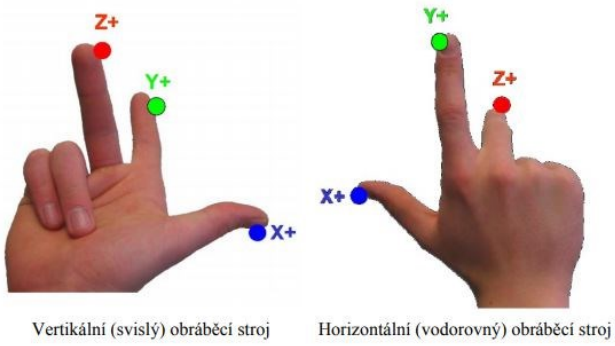
6 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ

Slouží k vytvoření obráběcího programu pro CNC stroj, podle kterého bude stroj obrábět součást.

6.1 Souřadný systém

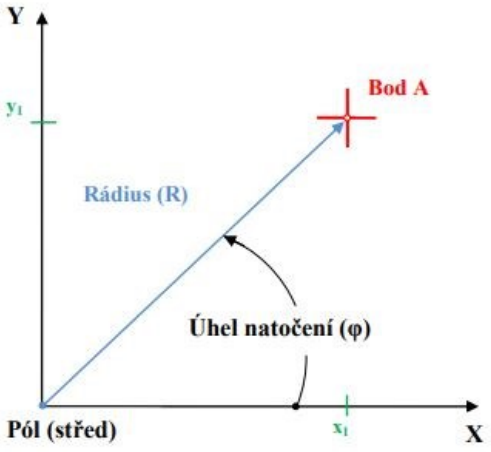
Za pomocí souřadného systému určujeme polohu nástroje a obrobku. Jeho pomocí je navá-děn nástroj (obrobek) do určené polohy. Určení souřadného systému je základní prací při programování. Rozlišujeme dva druhy souřadných systémů a to Kartézský a Polární.

Kartézský souřadný systém je základním systémem os u většiny CNC strojů. Je to tzv Pravoúhlá pravotočivá souřadná soustava. Jako pomůcka při orientaci lze použít tzv. pravidlo pravé ruky.



Obr. 21 Pravidlo pravé ruky [15]

Polární souřadný systém se využívá např. o kruhových obrobků, u otvorů na roztečné kružnici nebo u úhlových údajů. Poloha se určuje pomocí výchozího bodu, rádiusu nebo úhlu natočení. Polární souřadnice popisují polohu vždy pouze v jedné rovině.



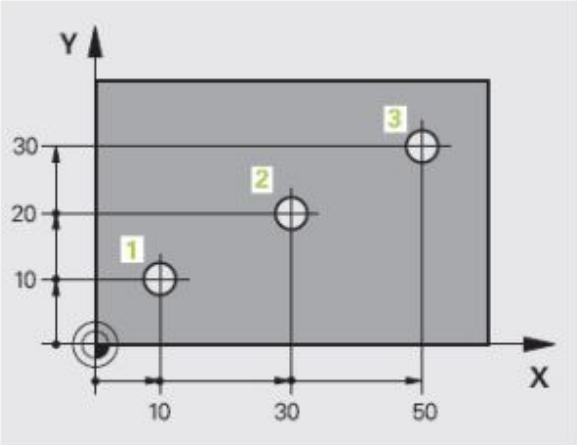
Obr. 22 Polární souřadný systém [15]

6.2 Způsoby programování

Během programování je snahou popsání dráhy nástroje co nejjednodušeji, ale při podmínce zachování požadavků daných dokumentací

6.2.1 Absolutní programování

Jeho zkratka je G90. Po zadání táto zkratky budou všechny námi zadané souřadnice vztaženy k určenému nulovému bodu viz. Obr.19.



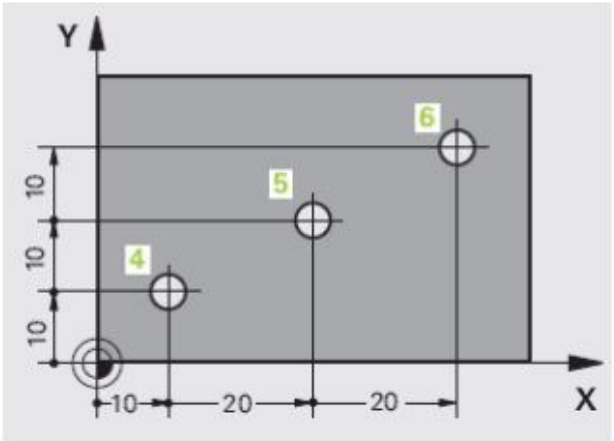
Určení polohy bodů v absolutních souřadnicích

č. bodu	souřadnice X	souřadnice Y
1	10	10
2	30	20
3	50	30

Obr. 23 Absolutní programování [15]

6.2.2 Inkrementální programování

Jeho zkratka je G91. souřadnice každého bodu jsou vztaženy k bodu předchozímu (tam kde se nástroj nacházel naposled) viz. Obr. 20.



Určení polohy bodů v inkrementálních souřadnicích

č. bodu	souřadnice X	souřadnice Y
4	10	10
5	20	10
6	20	10

Obr. 24 Inkrementální programování [15]

6.3 CNC program

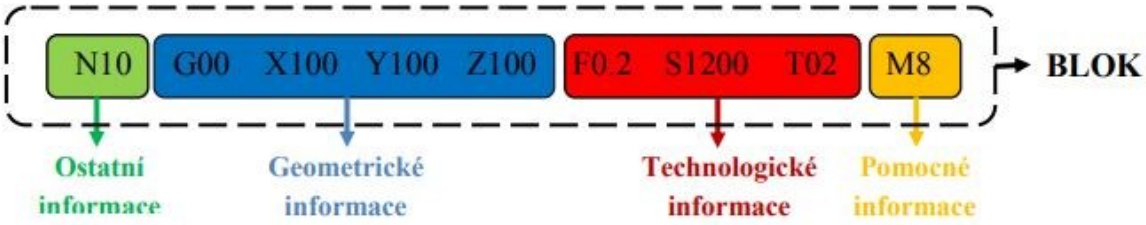
CNC program se skládá z informací, které popisují činnost numericky ovládaného stroje.

Informace můžeme rozdělit na:

- Geometrické (dráhy nástroje dané tvarem obráběná součásti)
- Technologické (definují řezné podmínky jako řeznou rychlost, posuvy atd.)
- Pomocné (ovládání řezné kapaliny, konec programu atd.)
- Ostatní (čísla bloků, poznámky atd.)

6.3.1 Stavba CNC programu

Program je složen z bloků, které dále dělíme na příkazy. Příkazy obsahují část adresovou a část významovou.



Obr. 25 Blok CNC programu [15]

Popis struktury bloku		Druh informace
N	Číslo bloku	Ostatní
G	Přídavné funkce	Geometrické
X, Y, Z	Souřadnice	
F	Rychlost posuvu	Technologické
S	Otáčky vřetena	
T	Volba nástroje	
M	Pomocné funkce	Pomocné

Obr. 26 Popis bloku [15]

6.3.2 Postup tvorby CNC programu

- Prostudování technické dokumentace součásti
- Výběr vhodné obráběcí technologie
- Výběr vhodných nástrojů
- Založení programu

Hlavička programu:

- Definování tvaru a rozměrů polotovaru
- Určení nulového bodu a způsobu programování
- Vyvolání nástroje s náležitými řeznými podmínkami

Tělo programu:

- Pohyby nástrojů dle dokumentace součásti, dělí se na hlavní a vedlejší programovou část:
  - Hlavní programová číst udává technologické informace o obrábění
  - Vedlejší programová část udává souřadnice, kde bude operace prováděna
- Ukončení programu funkcí M30

Po vytvoření programu následuje jeho simulace a verifikace. Toto má za cíl odhalení chyb a nedostatků program a tím pomáhá předejít problémům při výrobě. Odzkoušená program je možno přenést na CNC stroj. Na stroji se program ještě odlaďuje, přitom se ověří vhodnost nástrojů, použité technologické podmínky, tuhost upnutí atd. Nyní je možné vyrobení součásti. [15]

6.4 Metody programování

Podle způsobu tvorby programu a náročnosti obráběné součásti rozdělujeme metody programování na:

- Manuální: jednoduché součásti, obyčejně v G kódu
- Dialogové: středně složité součásti, kusová výroba, programování pomocí jednoduchý dialogů (Shopmill)
- CAM (Computer Aided Manufacturing): využití softwaru, složité tvarové součásti, víceosé obrábění

7 CAM PROGRAM SIEMENS NX

Program Siemens NX verze 10 nabízí větší flexibilitu pro vývoj součástí. Objevují se nové nástroje jako je 2D koncepční návrh, který zjednodušuje a urychluje tvorbu návrhů. Dalším je technologie NX Realize Shape, která nabízí velkou flexibilitu při návrhu složitých tvarů na bázi dělení ploch. Uživatelské prostředí navíc zajišťuje intuitivní přístup ke všem možnostem programu. Se zvyšujícími se nároky na součásti se stalo 3D modelování upřednostňovaným způsobem návrhu součástí. Program obsahuje několik modulů, z nichž jsou nejzákladnějšími moduly pro tvorbu součástí a výkresů (CAD), pro programování obrábění (CAM) a pro inženýrské analýzy (CAE). Funkce NX CAE je navržena pro co nejvyšší produktivitu programátorů a kvalitu obrábění. [13]

Program NX umožnuje v modulu „Manufacturing“ tyto operace:

- Soustružení
- Frézování
- Kombinaci frézování a soustružení
- Vrtání
- Řezání metodou W-EMD
- Snímání
- Obecné umístění

7.1 Frézování v programu NX

Program je vybaven množstvím funkcí pro frézování. Je možné vytvářet jak rovinné, tak i konturové dráhy nástroje. Mezi frézovací funkce patří např. rovinné frézování, frézování dutin nebo frézování stěn. Funkce se volí podle typu obrábění a také závisí na geometrii obrobku. [16]

Při frézování lze tvořit následující operace:

- Vytváření drah nástrojů pro hrubování a dokončování
- Vytváření obráběcích nástrojů
- Definování řezných rychlostí a posuvů
- Definování osy nástroje
- Nastavení parametrů společných pro různé operace

7.2 Vybrané funkce pro frézování

Rovinné frézování

Nástroj následuje 2D hranice a odebírá materiál podél svislých stěn anebo sten rovnoběžných s osou nástroje. Dále se odebírá materiál v rovinách kolmých na pevnou osu nástroje. Mohou být obrobeny rovinné ostrůvky a rovinná dna kolmá na pevnou osu nástroje. [16]

Obr. 27 Ikony rovinného frézování [16]

3D profilování

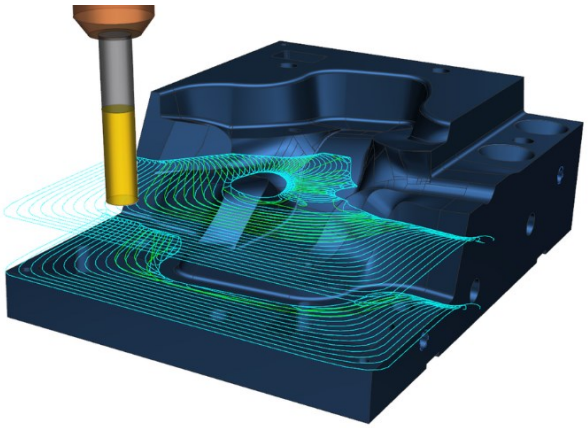
Nástroj má jeden nebo více záběrů. Obrábí se podél 3D profilu součásti. Meze obrábění jsou dány hranami nebo křivkami modelu. [16]

Obr. 28 Ikony pro 3D profilování [16]

Frézování dutin

Funkce pro odebírání velkého množství materiálu. Odebírá se materiál v rovinách kolmých na osu nástroje. Součást může mít geometrii rovinnou nebo konturovanou. Funkce je vhodná pro operace hrubování. [16]

Obr. 29 Ikony pro funkci Frézování dutin [16]



Obr. 30 Přizpůsobení dráhy nástroje obráběnému modelu v NX [14]

8 SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE

Teoretická část bakalářské práce se zabývá jednotlivými aspekty, které zasahují do výroby tvárnice či tvárníku. Nejdříve bylo pojednáváno o technologických postupech, poté byly rozebrány základní metody obrábění. V dalším bodě bylo popsáno tepelné zpracování součásti. Tepelné zpracování následují metody kontroly součástí. Na konci se práce zabývá základy programování CNC strojů a samotným programem Siemens NX v němž bude součást programována. Praktická část se zabývá přípravou 3D modelu součásti, která má být obrobena, volbou polotovaru, ze kterého má být součást zhotovena, výběrem nástrojů pro obrábění. Dalším cílem je vytvoření obráběcího programu pro tuto součást, který následně bude verifikován pomocí simulace obráběcího cyklu. Během simulace bude provedena kontrola kolizí nástroje, aby při obrobení nedošlo k poškození, či zničení nástroje nebo obrobku.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

9 SKD BOJKOVICE – VÝROBNÍ PROGRAM

Společnost SKD Bojkovice s.r.o. se dělí na dva závody. Závod Nástrojárna se zabývá konstrukcí vstřikovacích forem, jejich výrobou a montáží. Závod Lisovna plastů se zabývá vstřikováním a montáží plastových dílů pro automobilový průmysl. [20]

9.1 Závod Nástrojárna

Nástrojárna se zabývá zejména výrobou složitých vstřikovacích forem, forem pro tvarově, vzhledově nebo dezénově složité výrobky. Dále se zabývá zkouškami, dolaďováním a optimalizací vstřikovacích forem. Oddělení vývoje a konstrukce zajišťuje servis jak pro zákazníky, tak i pro vlastní produkci. Další činnostmi jsou konstrukce vstřikovacích nástrojů, jejich korekce a optimalizace. Výroba je zde dělena na následující sekce:

- CNC frézování
- EDM obrábění
- Montáž forem

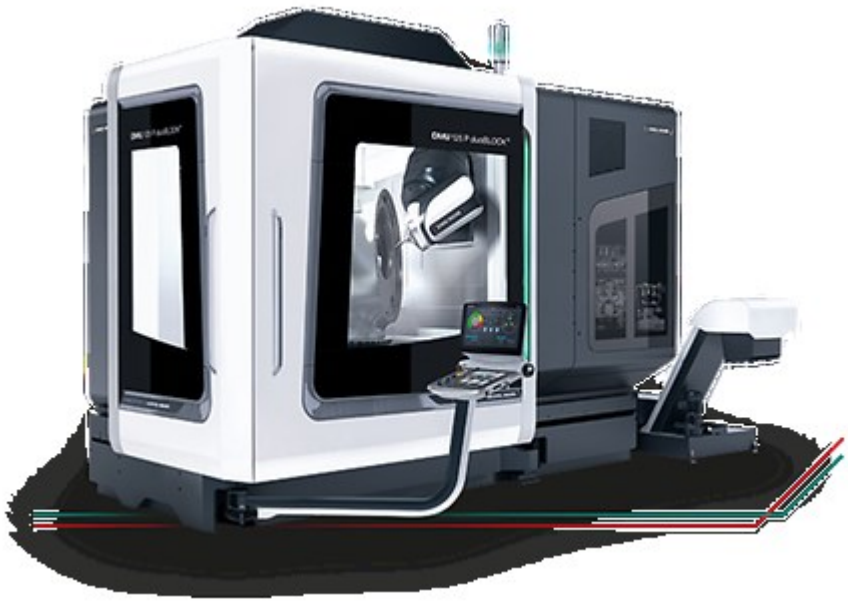
9.2 Závod Lisovna plastů

Moderní závod vybavení různými velikostmi vstřikovacích strojů, vertikálním vstřikovacím strojem s otočným stolem. Vstřikovací stoje jsou vybaveny roboty z toho 9 strojů šestiosým robotem Kuka. Dále závod disponuje rychloběžným lisem Bruderer 25 T pro lisování plechových zálisků. Zpracovávají se téměř všechny druhy materiálů, mezi nejčastější patři PA66 GF30, ABS, POM, EPDM, PUR atd. [20]

Obr. 31 Součást vyrobená firmou SKD Bojkovice s.r.o. [20]

10 CNC OBRÁBĚCÍ CENTRUM

Pro obrobení tvarové části formy bude použito CNC obráběcí centrum DMG MORI DMU 125 P duoBLOCK. Maximální pojezd v ose X činí 1250 mm, maximální pojezd v ose Y činí 1250 mm a maximální pojezd v ose Z činí 1000 mm. Průměr stolu je 1250 mm a jeho maximální zatížitelnost 2800 kg. [21]



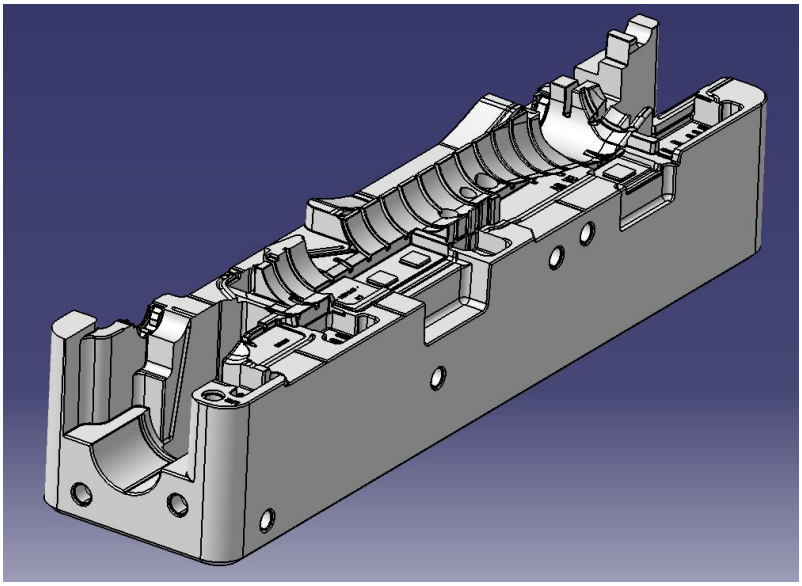
Obr. 32 DMG MORI DMU 125 P duoBLOCK [21]

Tab. 1 Technické parametry DMG MORI DMU 125 P duoBLOCK

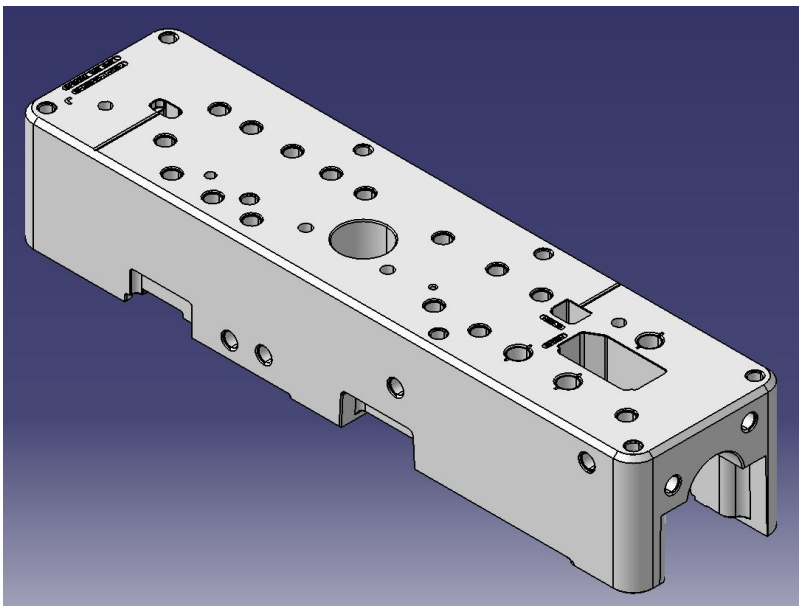
max. pojezd v ose X	1250 mm
max. pojezd v ose Y	1250 mm
max. pojezd v ose Z	1000 mm
max. zatížení stolu	2800 kg
průměr stolu	1250 mm
max. výška obrobku	1600 mm
standartní otáčky	15000 ot/min
max. otáčky	30000 ot/min
výkon pohonu	25 kW
kroutící moment	86 Nm
počet nástrojů	40

11 OBRÁBĚNÁ TVAROVÁ ČÁST VSTŘIKOVACÍ FORMY

Obráběnou součástí je tvarová část vstřikovací formy (tvárnice). Na součásti budou obráběny plochy, které budou dodávat budoucí vstřikované součásti její tvar. Dále budou obráběny otvory, které budou tvořit vedení pro posuvné čelisti a otvory pro temperační systém. Všechny operace po sobě budou zanechávat přídavek pro další metody obrábění, které budou následovat, například vytvoření popisů metodou EDM, broušení, leštění atd.



Obr. 33 Pohled 1 na zadaný 3D model



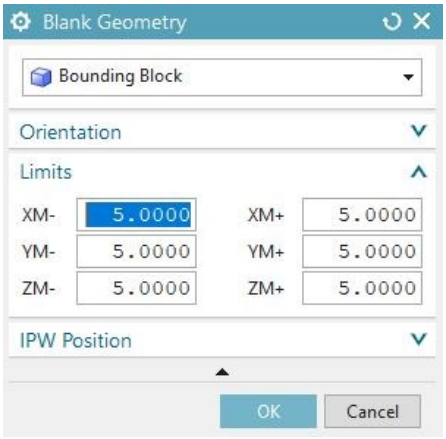
Obr. 34 Pohled 2 na zadaný 3D model

12 OBRÁBĚNÍ V PROGRAMU SIEMENS NX

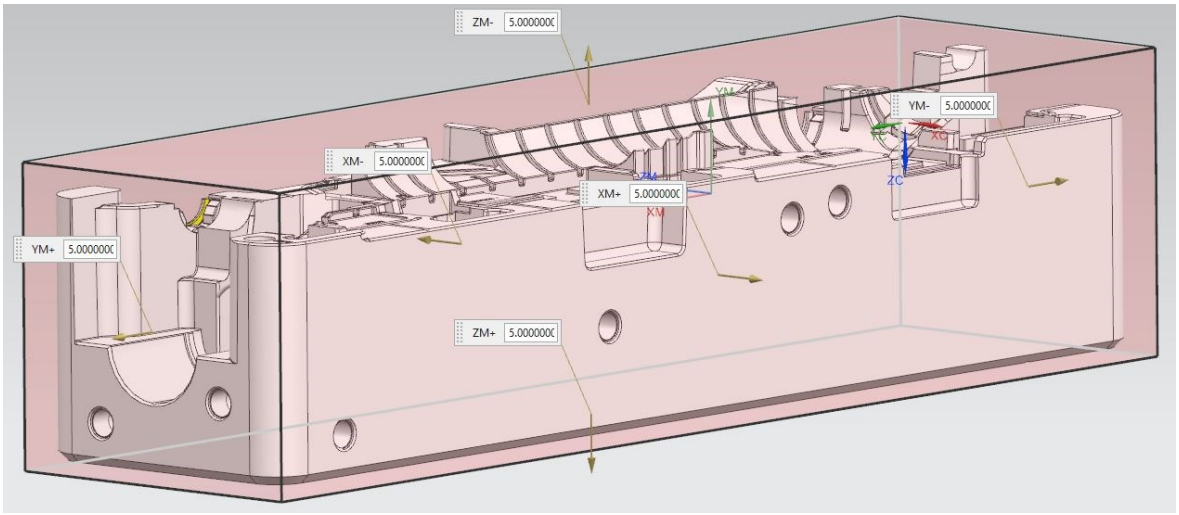
Před samotným obráběním je nutné provést několik nastavení několika parametrů, například nastavení rozměrů polotovaru nebo souřadného systému. Metody a podmínky obrábění budou voleny tak, aby bylo dosaženo co nejoptimálnějšího poměru mezi dobou obrábění a dosaženými přesahy po obrobení. Upnutí obrobku je ve svěráku, před obrobením se pomocí sondy zachytí obrobek, aby si obráběcí centrum mohlo nastavit jeho polohu pro obrábění. Nulový bod každého upnutí je volen v levém dolním rohu tvárnice.

12.1 Volba polotovaru

Polotovar je ofrézován na kvádr s přídavky 5mm z rozměrů obráběné součásti, tudíž jeho rozměry jsou 570x150x135 mm. Materiál polotovaru 1.2083 (19 433).



Obr. 35 Nastavení polotovaru



Obr. 36 Vizualizace nastavení polotovaru

12.2 Seznam nástrojů

Použité nástroje jsou vybrány dle katalogu firmy WNT. Nástroj T0101 válcová čelní fréza s břitovými destičkami Ceratizit. Nástroje T0202-T0606, T1313 a T1717 jsou monolitní ze slinutého karbidu s povlakem AlCrN. Nástroje T0707-T1212 a T1414-T1616 jsou monolitní ze slinutého karbidu s povlakem Ti 700.

Tab. 2 Seznam použitých nástrojů

Č. NÁSTROJE	NÁZEV NÁSTROJE	KAT. Č.
T0101	válcová čelní fréza ø50 mm	50757250
T0202	válcová čelní fréza ø20 mm	52613200
T0303	volná pozice	-
T0404	rádiusová fréza ø12 mm	52611121
T0505	válcová čelní fréza ø3 mm	50951031
T0606	válcová čelní ø1,5 mm	52801151
T0707	navrtávák ø5 mm	10703005
T0808	vrták ø10,5 mm	10755105
T0909	vrták ø4,3 mm	10755043
T1010	vrták ø10 mm	10755100
T1111	vrták ø15 mm	10755150
T1212	záhlubník ø25 mm	30115250
T1313	úhlová fréza ø16 mm	50246016
T1414	dlouhý vrták ø9 mm	11040090
T1515	vrták s vrcholovým úhlem 180° ø11,2 mm	10721112
T1616	dlouhý vrták ø10 mm	11030100
T1717	válcová fréza čelní ø10 mm	52500100

12.3 Obrábění na první upnutí

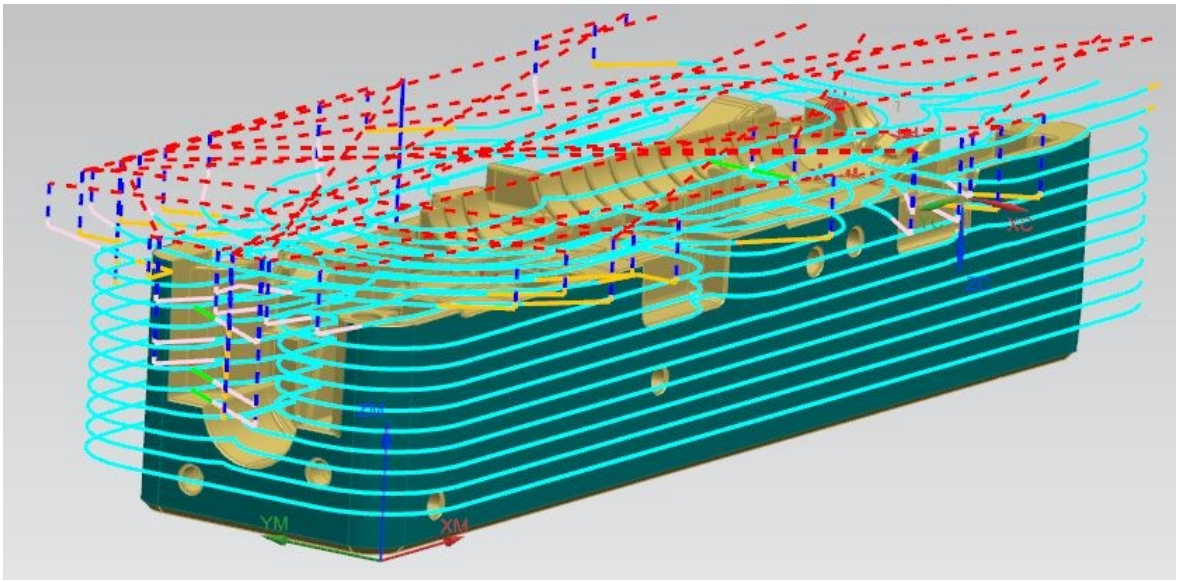
Nejdříve bylo nutné nastavit souřadný systém a to tak, aby osa Z tvořila osu nástroje. Poté je možné začít s obráběním součásti.

12.3.1 Hrubování obvodu součásti

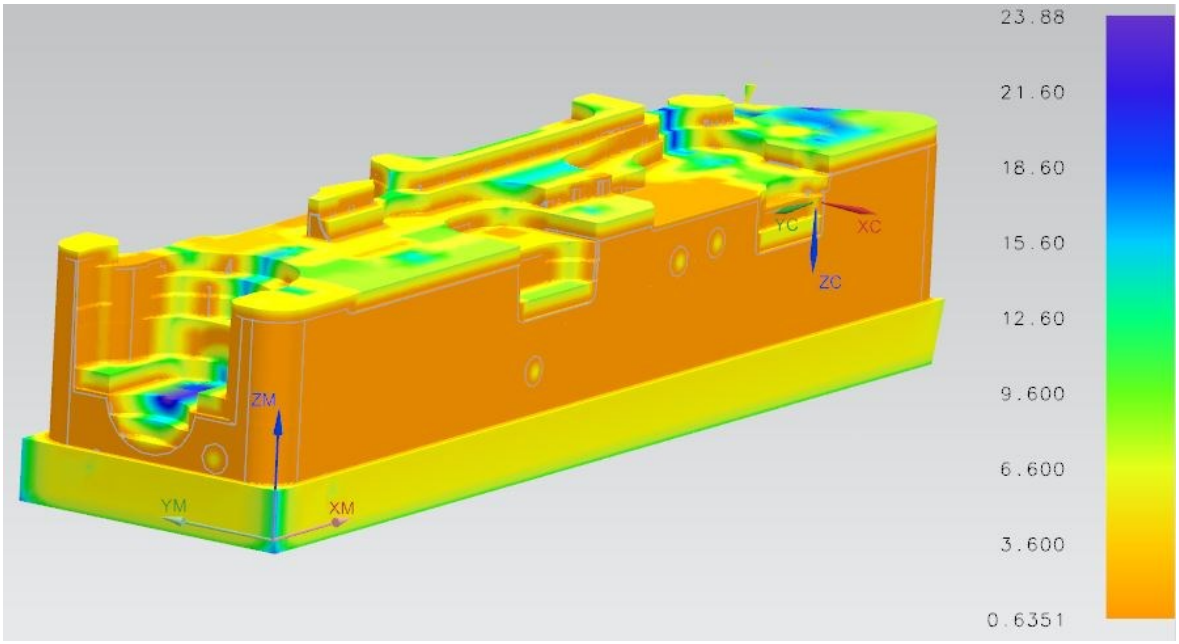
V tomto kroku bude odebrán největší přebytek materiálu na součásti vůči polotovaru. K tomuto je použita funkce cavity mill s nastavením meze obrábění kvůli upnutí. Bude použit nástroj T0202. Řezné podmínky byly voleny:

Tab. 3 Řezné podmínky hrubování obvodu

v_c [m/min]	a_e [mm]	a_{pmax} [mm]	f_z [mm]	přídavek [mm]	funkce	nástroj
120	50%*D	10	0,05	1	Cavity mill	T0202



Obr. 37 Dráhy hrubování



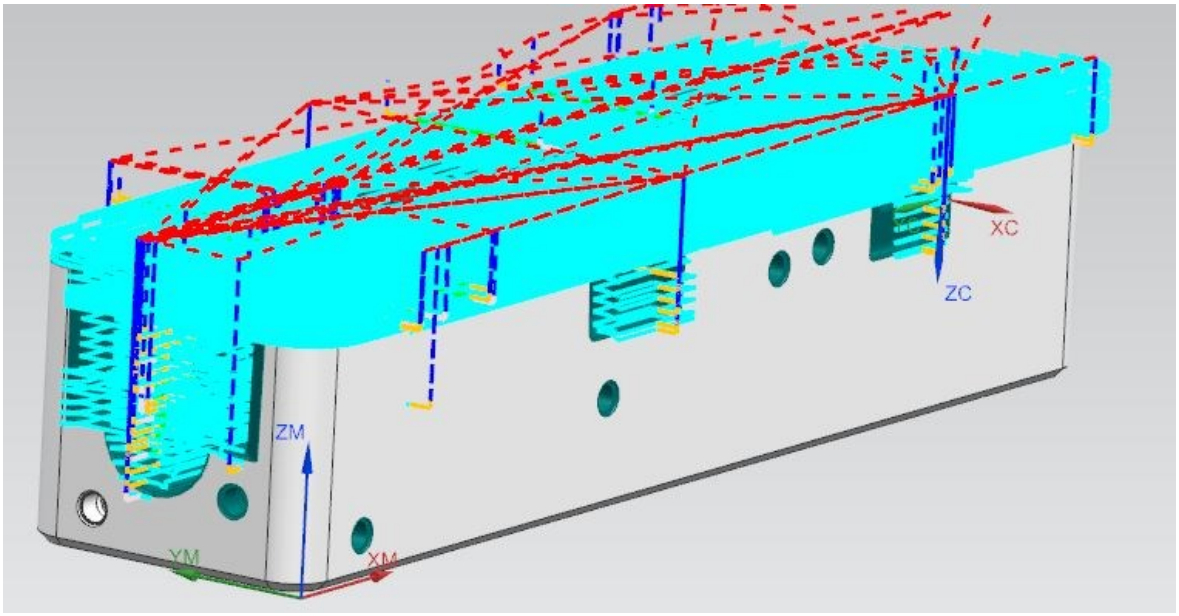
Obr. 38 Analýza součásti po hrubování

12.3.2 Hrubování tvarových ploch

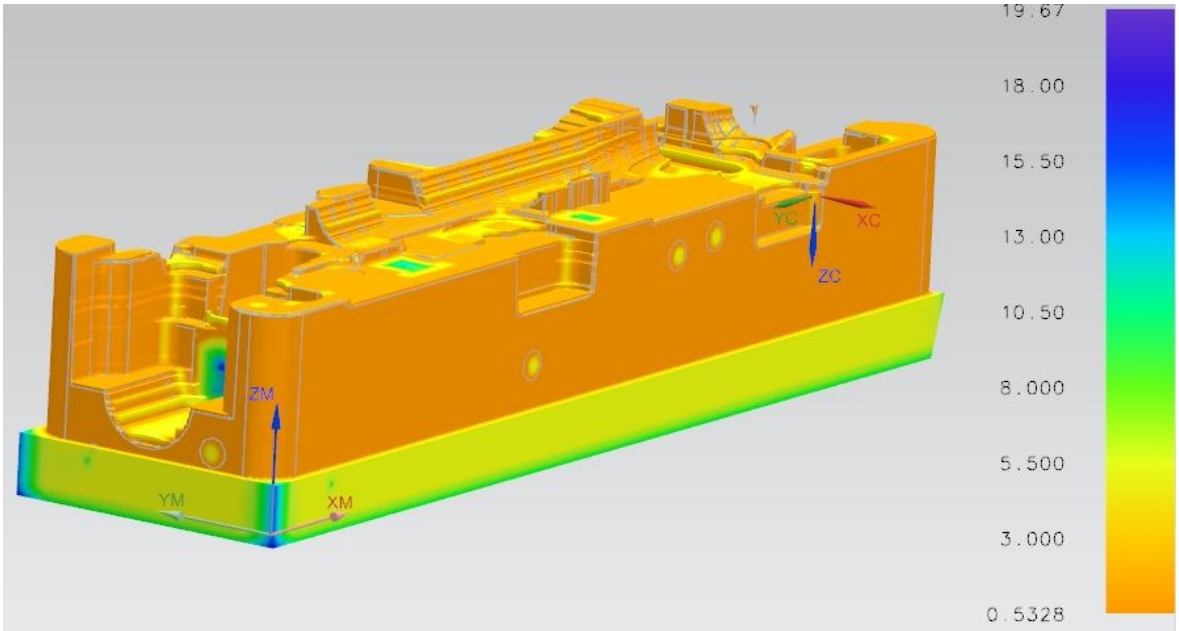
Cílem tohoto kroku je hrubování ploch, které budou tvořit tvarovou část součásti pomocí funkce cavity mill s použitím nástroje T0101.

Tab. 4 Řezné podmínky hrubování tvarových ploch

v_c [m/min]	a_{emax} [mm]	a_{pmax} [mm]	f_z [mm]	funkce	nástroj
60	50%*D	4	0,051	Cavity mill	T0101



Obr. 39 Dráhy hrubování tvarových ploch



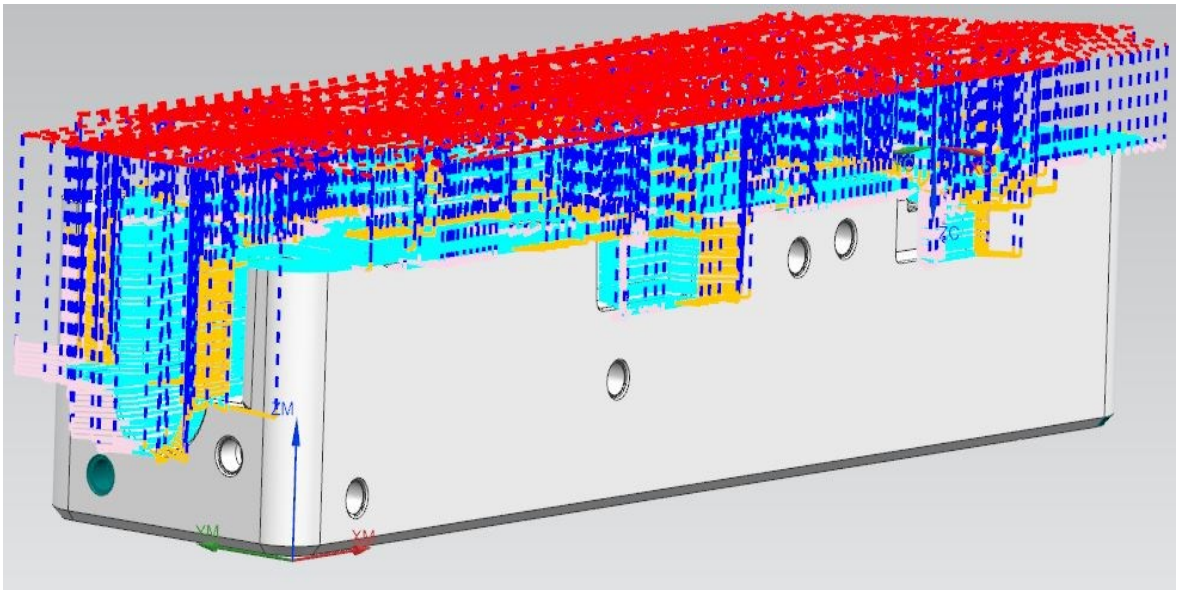
Obr. 40 Analýza součásti po hrubování tvarových ploch

12.3.3 Dohrubování tvarových ploch

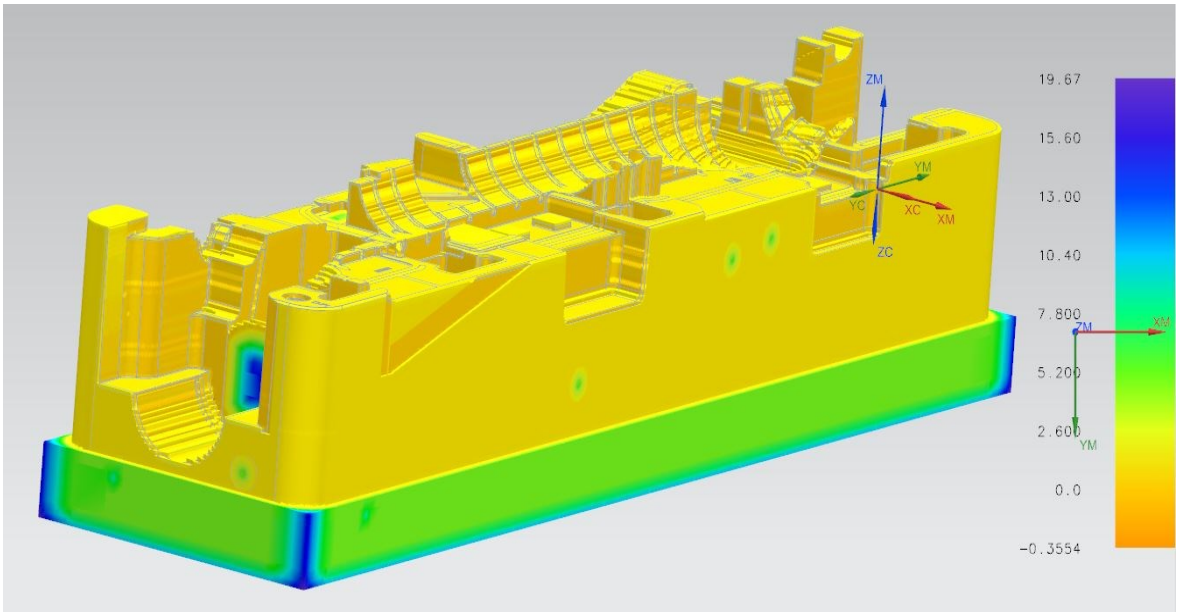
Tímto krokem dosáhneme zjemnění stop po předchozím hrubování tvarových ploch. Dráhy nástroje jsou vygenerovány pomocí funkce rest milling. Obrábění proběhne nástrojem T0505.

Tab. 5 Řezné podmínky dohrubování tvarových ploch

v_c [m/min]	a_{emax} [mm]	a_{pmax} [mm]	f_z [mm]	funkce	nástroj
60	20%*D	2	0,051	Rest milling	T0505



Obr. 41 Dráhy dohrubování tvarových ploch



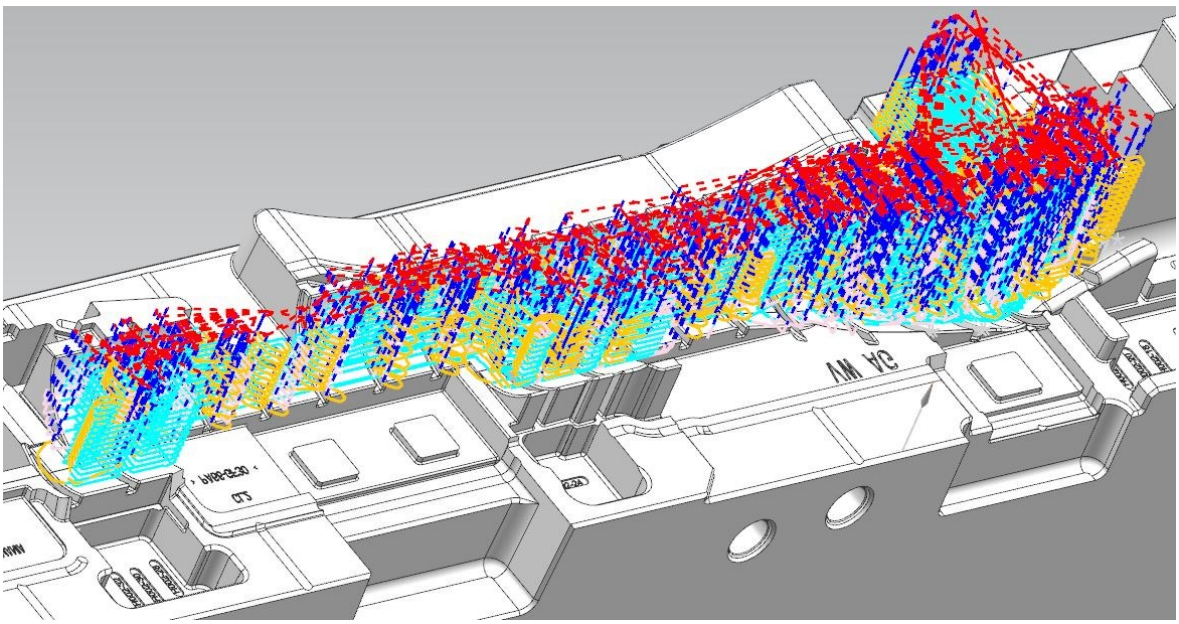
Obr. 42 Analýza součásti po dohrubování tvarových ploch

12.3.4 Obrobení oblých ploch

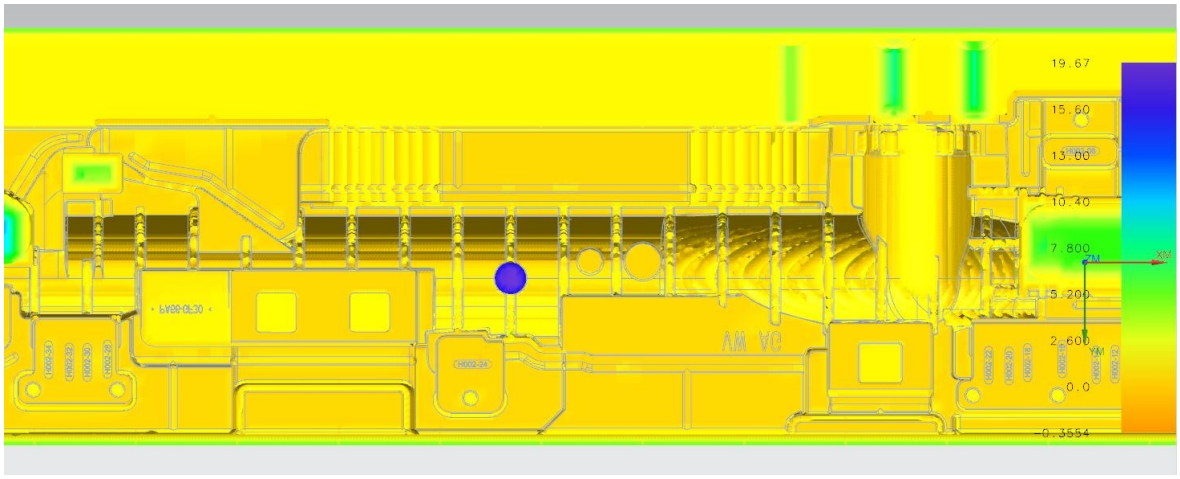
Za pomocí kulové frézy budou načisto obrobeny oblé plochy. Použitá funkce cavity mill a nástroj T0404.

Tab. 6 Řezné podmínky obrábění oblých ploch

v_c [m/min]	a_e [mm]	a_{pmax} [mm]	f_z [mm]	funkce	nástroj
80	50%*D	2	0,12	Cavity mill	T0404



Obr. 43 Dráhy kulové frézy pro obrobení načisto



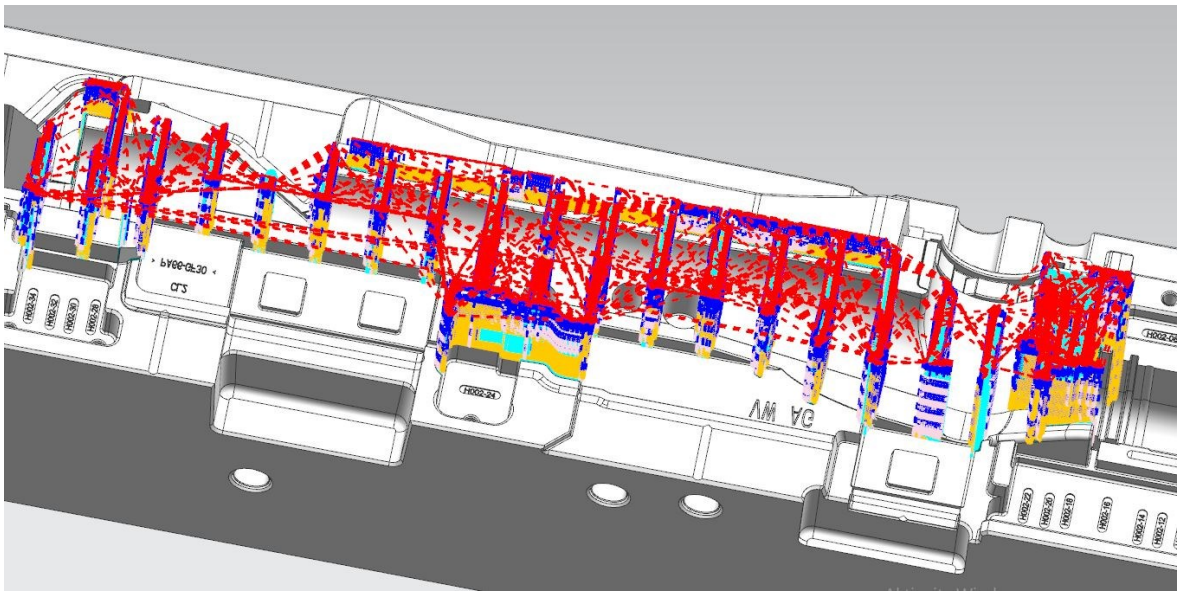
Obr. 44 Analýza oblých ploch po obrobení

12.3.5 Obrobení drážek mezi oblými plochami

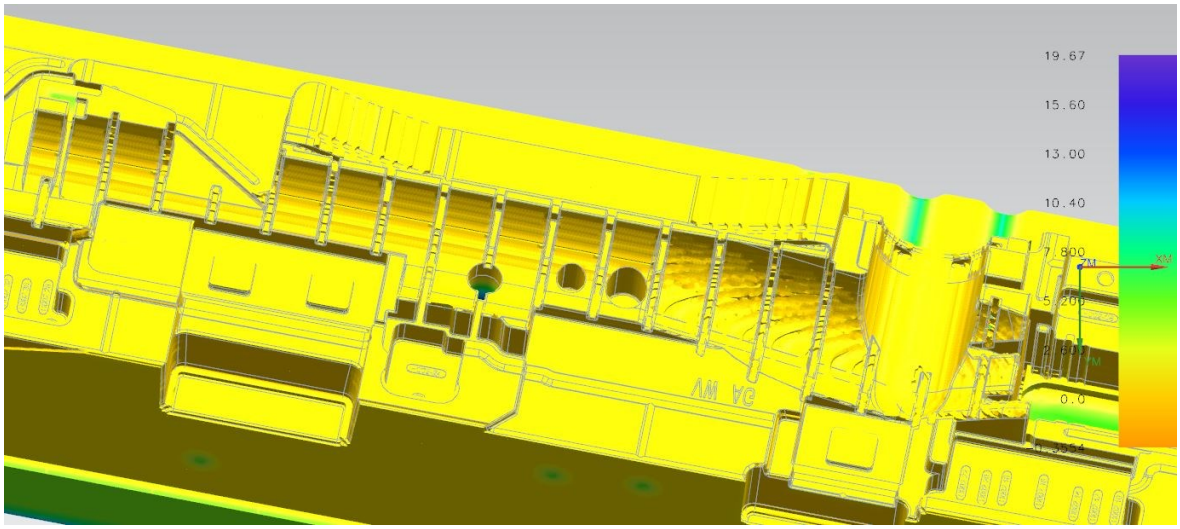
Tímto krokem dochází k obrobení jednotlivých drážek mezi oblými plochami, které budou tvořit žebrování budoucí vstřikované součásti.

Tab. 7 Řezné podmínky při obrábění drážek

v_c [m/min]	a_{emax} [mm]	a_{pmax} [mm]	f_z [mm]	funkce	nástroj
120	100%*D	1	0,0014	Cavity mill	T0404



Obr. 45 Dráhy obrábění drážek



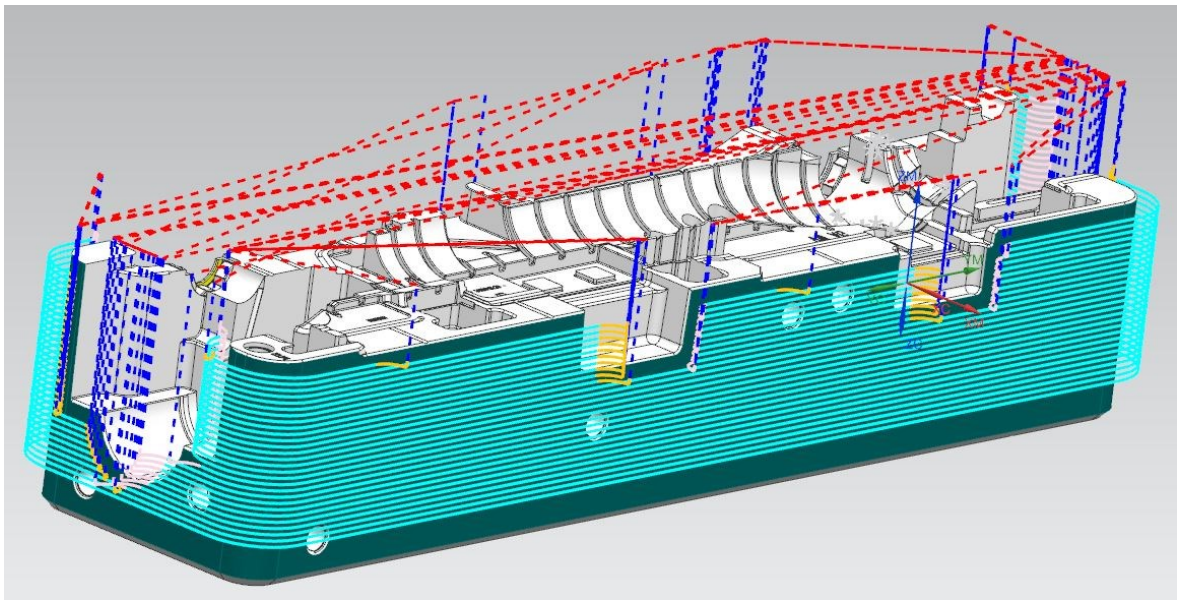
Obr. 46 Analýza drážek po jejich obrobení

12.3.6 Obrobení obvodu načisto

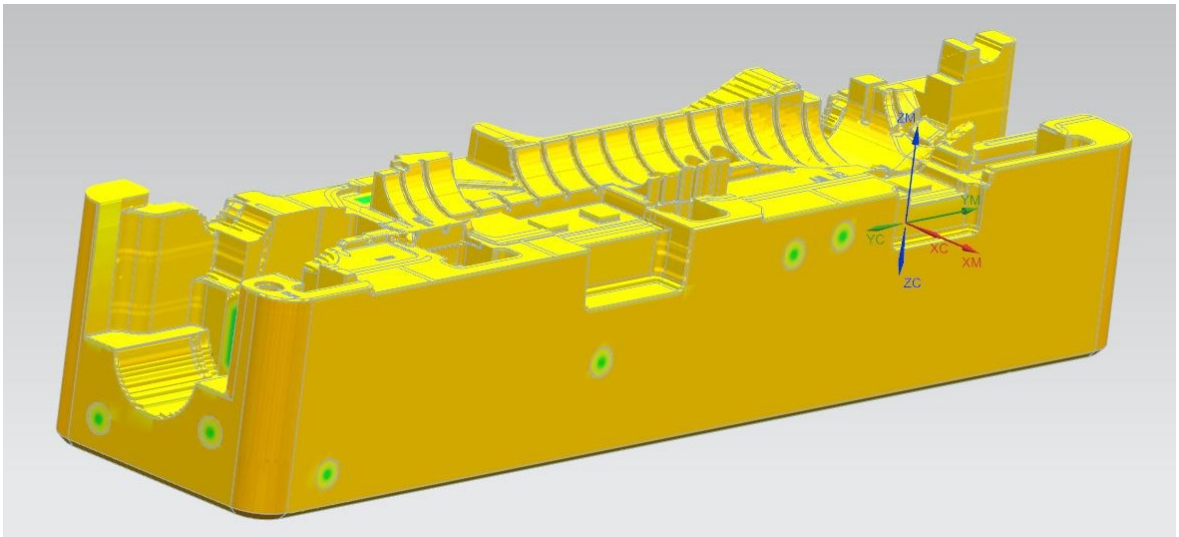
Obrobení obvodu součásti po předchozím hrubování za použití funkce cavity mill a nástroje T0606.

Tab. 8 Řezné podmínky při obrábění obvodu načisto

v_c [m/min]	a_{emax} [mm]	a_{pmax} [mm]	f_z [mm]	funkce	nástroj
60	2	6	0,051	Cavity mill	T0606



Obr. 47 Dráhy pro obrobení obvodu načisto



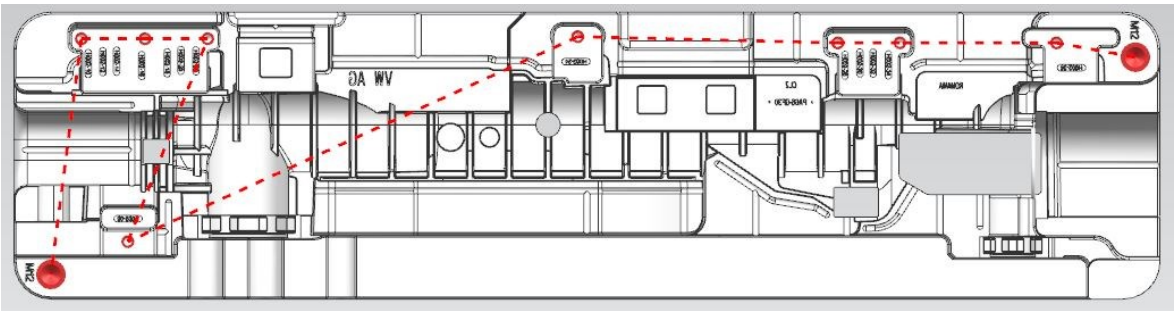
Obr. 48 Analýza součásti po obrobení obvodu načisto

12.3.7 Vrtání děr

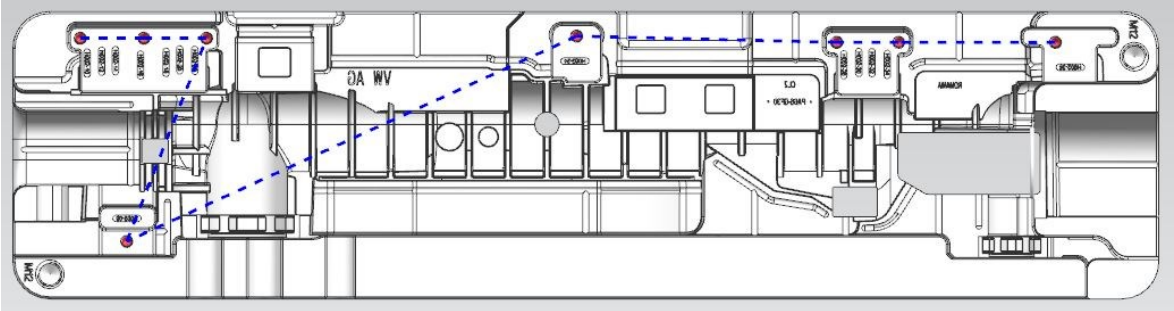
Každému vrtání děr nejdříve předchází navrtání, poté jsou vrtány jednotlivé otvory. Pro navrtání je použita funkce spot drilling a nástroj T0707, pro vrtání malých děr funkce drilling a nástroj T0909. Při vrtání velkých děr je taktéž použita funkce drilling, ale nástroj T0808.

Tab. 9 Řezné podmínky při vrtání

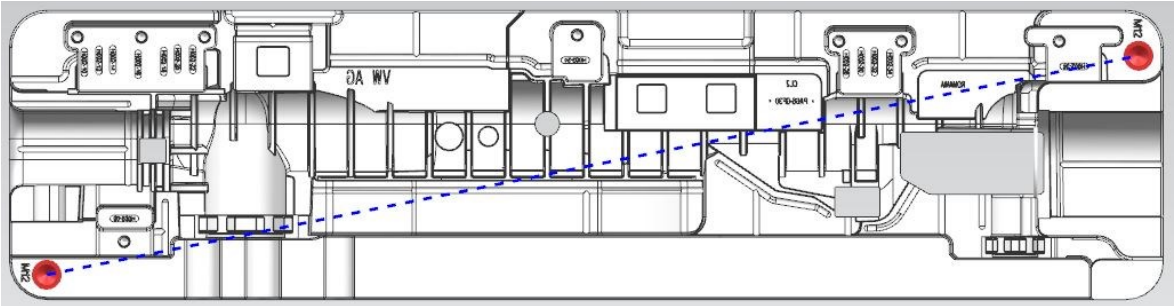
OPERACE	v_c [m/min]	f_z [mm]	funkce	nástroj
navrtání	15	0,10	Spot drilling	T0707
vrtání malých děr	15	0,09	Drilling	T0909
vrtání velkých děr	15	0,18	Drilling	T0808



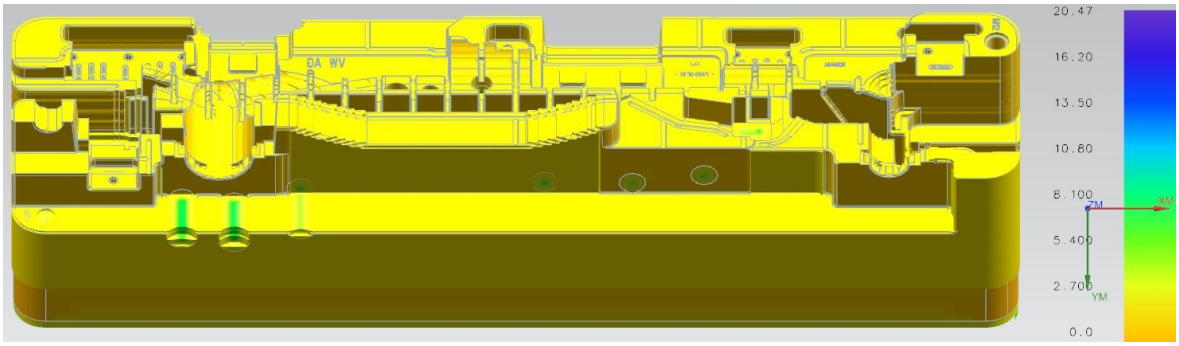
Obr. 49 Dráhy navrtání



Obr. 50 Dráhy vrtání malých děr



Obr. 51 Dráhy vrtání velkých děr



Obr. 52 Analýza součásti po vrtání děr

12.4 Obrábění na druhé upnutí

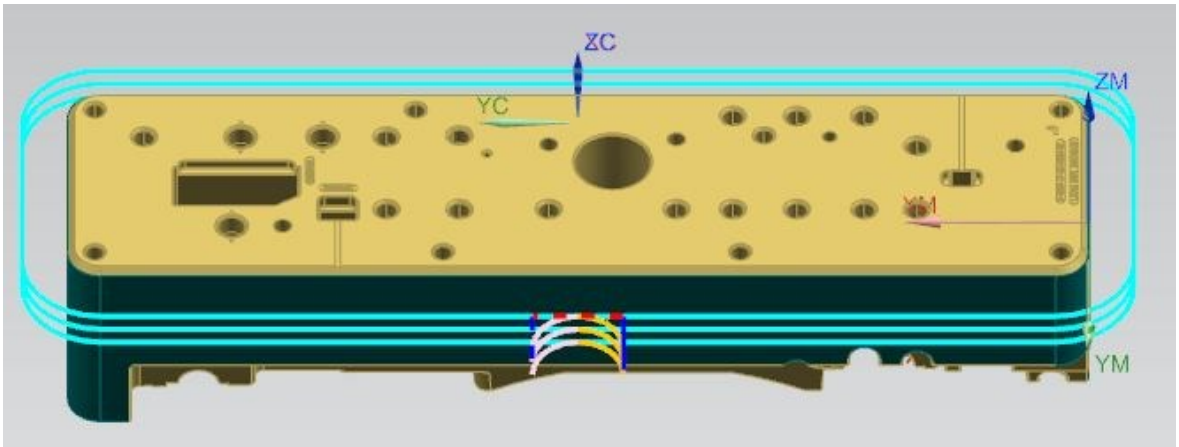
Pro další obrábění je nutné součást otočit, tudíž se musí v programu NX změnit souřadný systém tak, aby odpovídal tomuto otočení.

12.4.1 Frézování obvodu

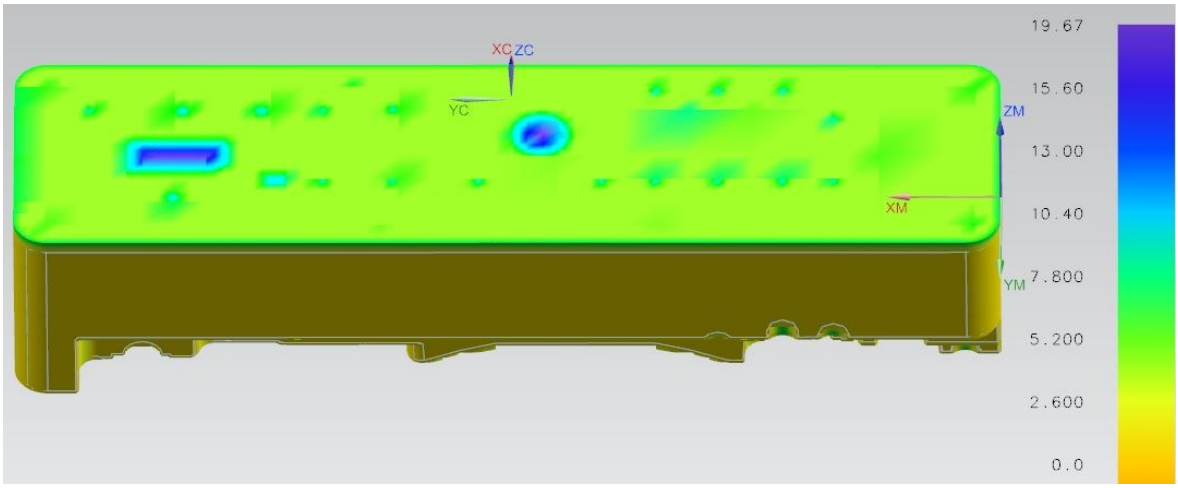
Při této operaci se ofrézuje zbytek obvodu, který nebylo možné obrobit během předchozího upnutí. Nyní již upnutí nebude bránit v obrobení tohoto zbytku. Použita funkce Zlevel profile s nastavením meze obrábění, aby došlo jen k obrobení přebytku po předchozím upnutí. Bude použit nástroj T0202.

Tab. 10 Řezné podmínky při frézování obvodu

v_c [m/min]	a_{emax} [mm]	a_{pmax} [mm]	f_z [mm]	funkce	nástroj
120	3	10	0,05	Zlevel profile	T0202



Obr. 53 Dráha frézování obvodu



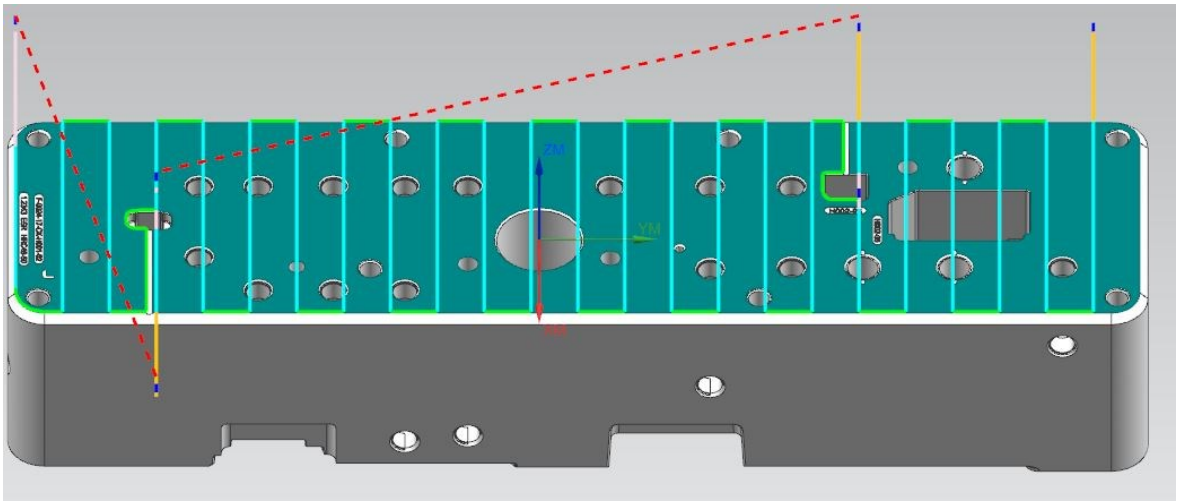
Obr. 54 Analýza po frézování obvodu

12.4.2 Frézování plochy

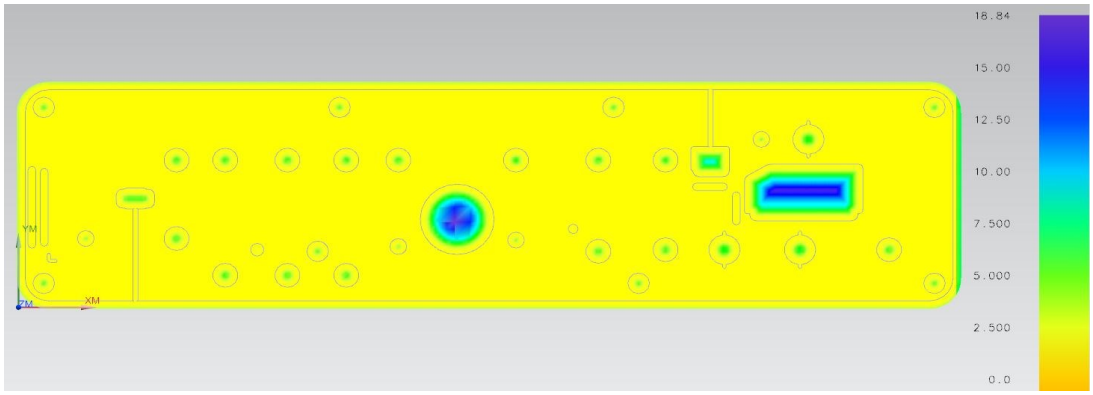
Tento krok zajistí ofrézování spodní plochy součásti pomocí funkce Cavity mill a drahou Zig Zag nástrojem T0202.

Tab. 11 Řezné podmínky při frézování plochy

v_c [m/min]	a_e [mm]	a_{pmax} [mm]	f_z [mm]	funkce	nástroj
120	50*D	5	0,05	Cavity mill	T0202



Obr. 55 Dráha pro ofrézování spodní plochy



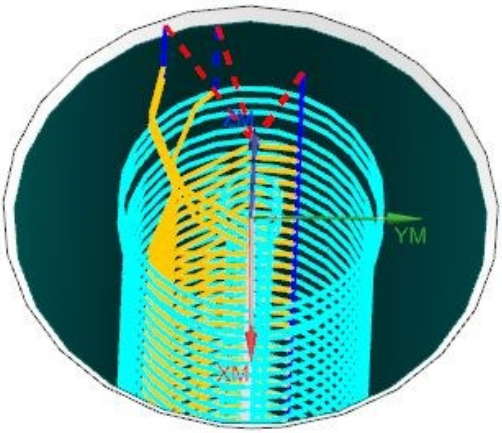
Obr. 56 Analýza součásti po obrobení spodní plochy

12.4.3 Frézování otvoru

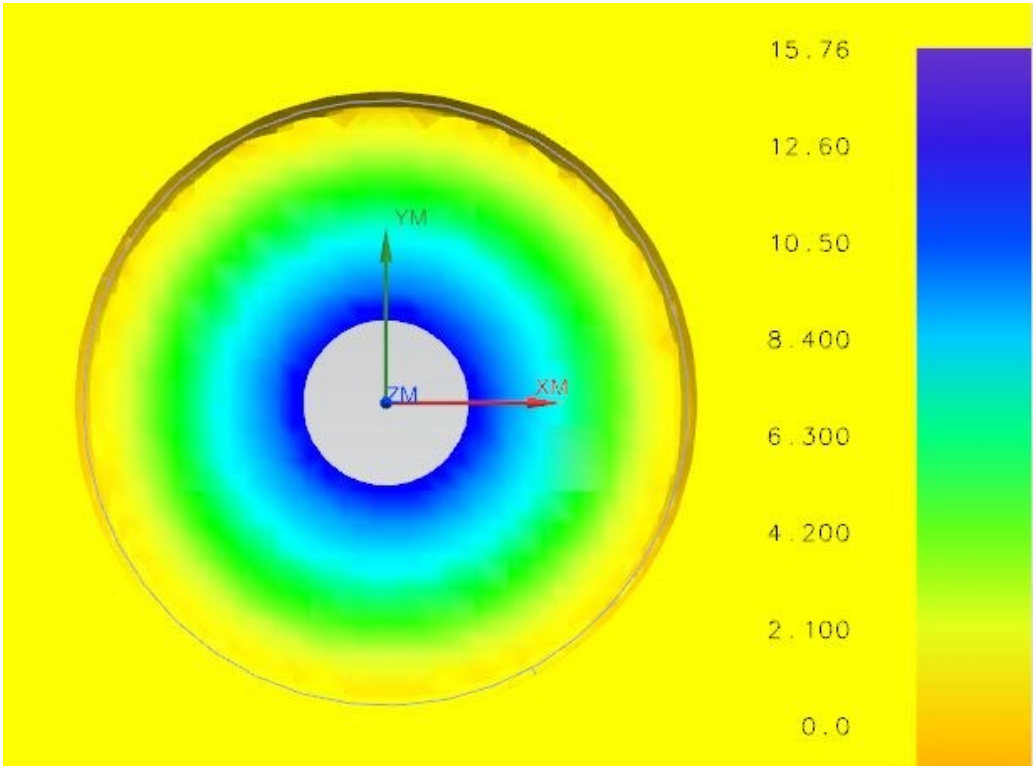
Následujícím krokem vznikne otvor pro vtokovou vložku. Otvor má na svém dně větší zbytek materiálu, který již nebude obroben frézováním, ale bude následně broušen, neboť se jedná o dosedací plochu. Dráha byla vygenerována funkcí cavity mill za použití nástroje T0101.

Tab. 12 Řezné podmínky frézování otvoru

v_c [m/min]	a_e [mm]	a_{pmax} [mm]	f_z [mm]	funkce	nástroj
60	50*D	2	0,051	Cavity mill	T0101



Obr. 57 Dráha frézy při frézování otvoru



Obr. 58 Analýza otvoru po frézování

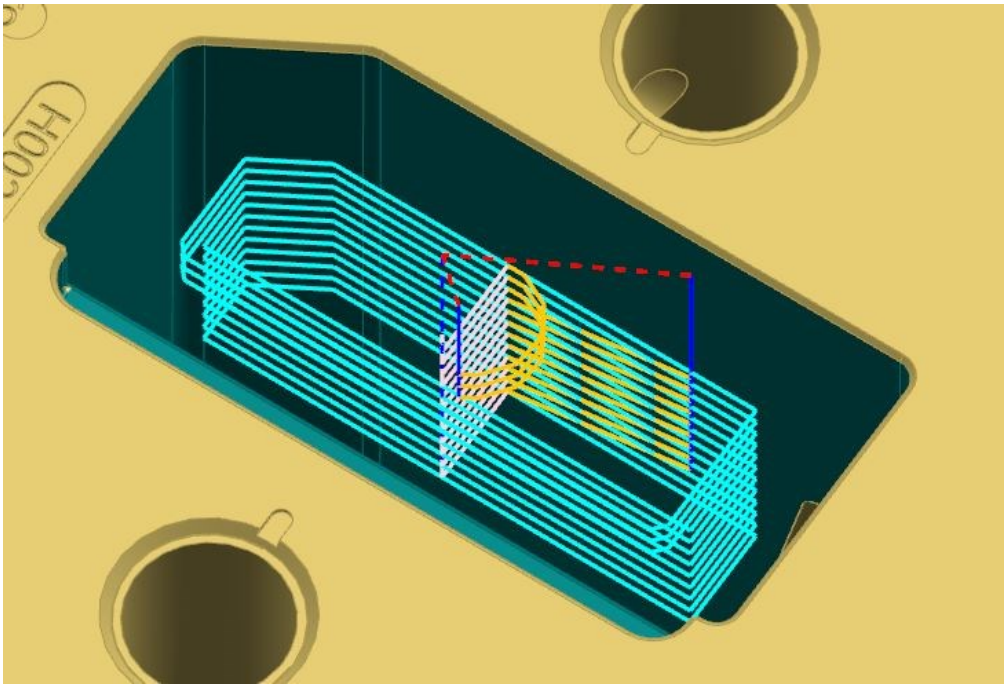
12.4.4 Frézování otvoru pro tvarovou vložku

Dalším obrobením vznikne otvor, do kterého se po zhotovení vloží tvarová vložka. Dráha nebude v celé hloubce otvoru, neboť jeho část byla obrobena při předešlém upnutí. Otvor

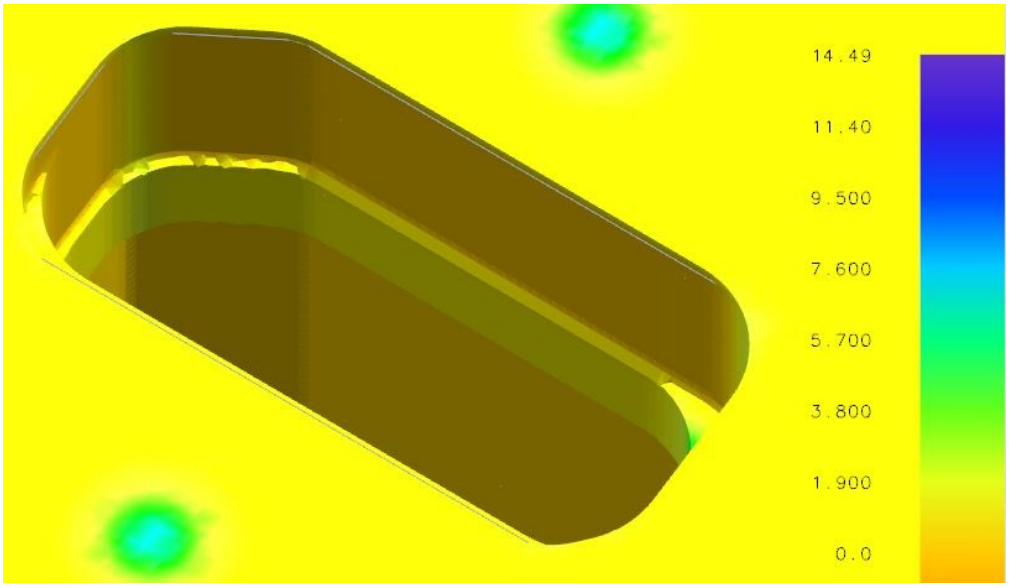
bude dále obráběn po frézování. Dráha byla vygenerována funkcí cavity mill s nastavením maximální hloubky a za použití nástroje T0101.

Tab. 13 Řezné podmínky frézování otvoru pro tvarovou vložku

v_c [m/min]	a_e [mm]	a_{pmax} [mm]	f_z [mm]	funkce	nástroj
60	50*D	2	0,051	Cavity mill	T0101



Obr. 59 Dráhy pro obrobené otvoru vložky



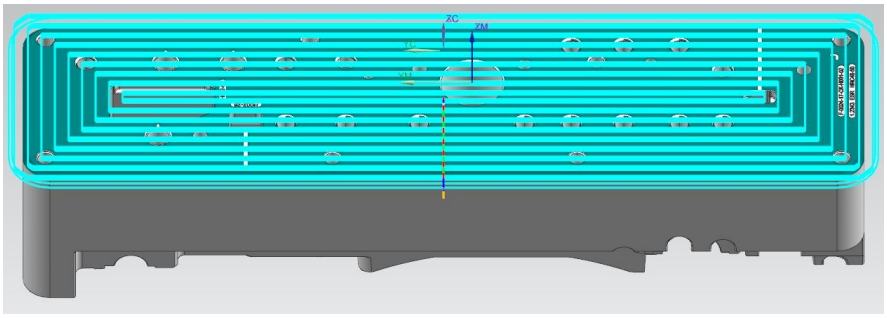
Obr. 60 Analýza otvoru pro tvarovou vložku po obrobení

12.4.5 Obrobení spodní plochy načisto

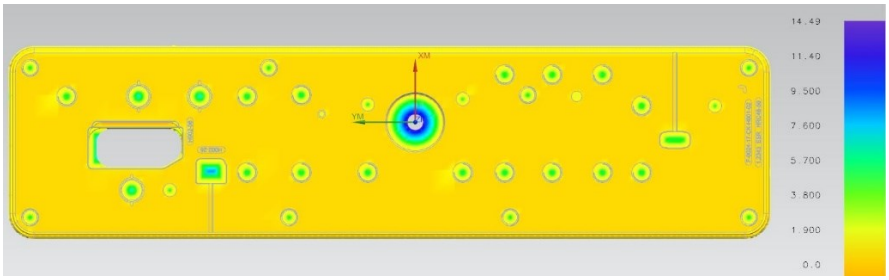
Obrobení spodní plochy po předchozím hrubování. Dráha byla vygenerována funkcí cavity mill za použití nástroje T0101.

Tab. 14 Řezné podmínky při obrábění spodní plochy načisto

v_c [m/min]	a_{emax} [mm]	a_{pmax} [mm]	f_z [mm]	funkce	nástroj
60	50*D	2	0,051	Cavity mill	T0101



Obr. 61 Dráhy frézování načisto



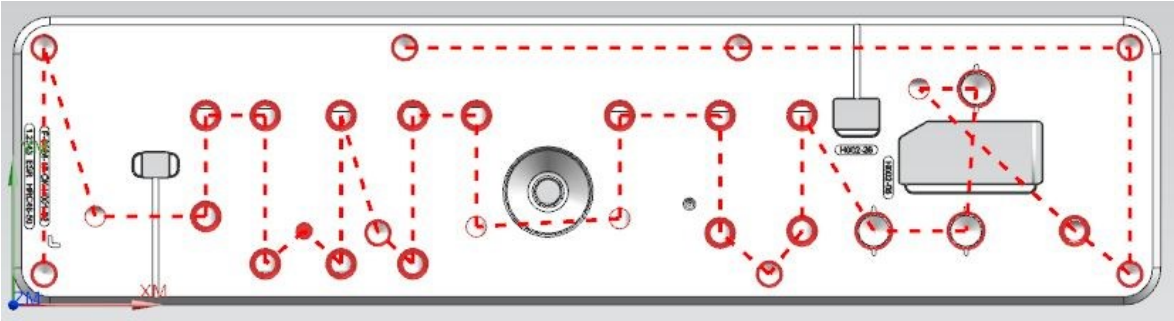
Obr. 62 Analýza po frézování na čisto

12.4.6 Vrtání a zahloubení děr

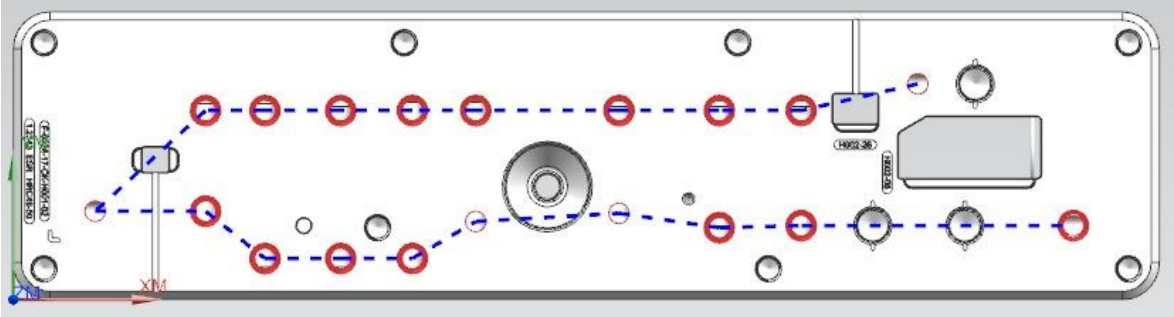
Posledními kroky na toto upnutí bude navrtání, vrtání a zahloubení děr. Nejdříve proběhne navrtání děr a poté jejich vrtání. Po vrtání bude provedeno zahloubení děr, které toto zahloubení mají mít a nakonec se provede sražení hrany odpovídajících děr. Navrtání proběhlo pomocí funkce spot drilling a nástroje T0707. Vrtání děr o průměru 10mm proběhlo pomocí funkce deep hole a nástroje T1010. K vrtání zahloubení byla použita funkce drilling a nástroj T1515. Vrtání děr průměru 10,5mm bylo generováno funkcí deep hole a nástrojem T0808. Vrtání děr průměru 15mm bylo generováno funkcí deep hole a nástrojem T1111. Sražení děr bylo provedeno funkcí coutersinking a nástrojem T1212

Tab. 15 Řezné podmínky pro vrtání

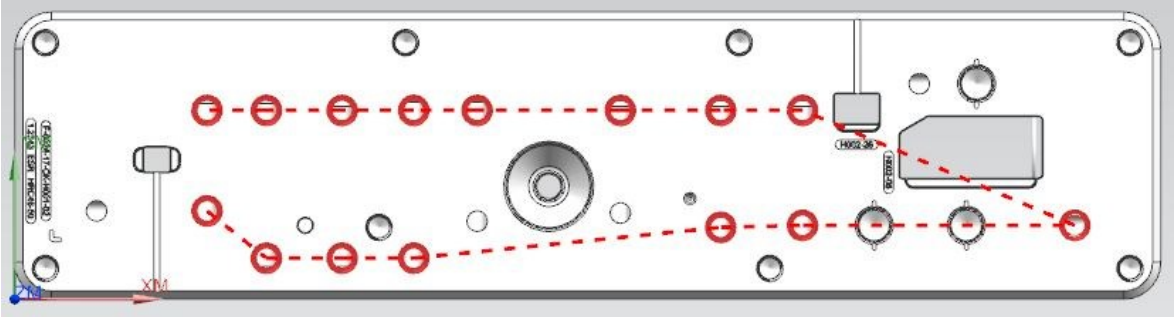
OPERACE	v_c [m/min]	f_z [mm]	funkce	nástroj
navrtání	15	0,10	Spot drilling	T0707
vrtání ø10	15	0,18	Deep hole	T1010
vrtání zahloubení pro ø10	15	0,19	Drilling	T1515
vrtání ø10,5	15	0,18	Deep hole	T0808
vrtání ø15	15	0,20	Deep hole	T1111
sražení děr	15	0,25	countersinking	T1212



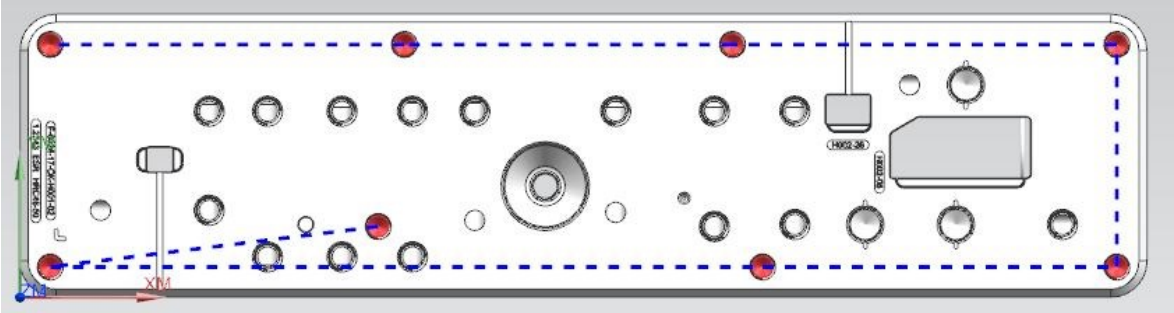
Obr. 63 Dráhy navrtání děr



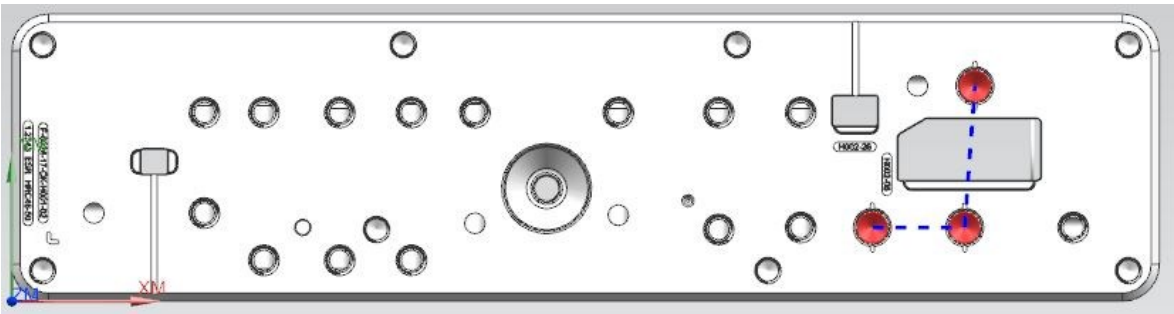
Obr. 64 Dráhy vrtání děr o průměru 10mm



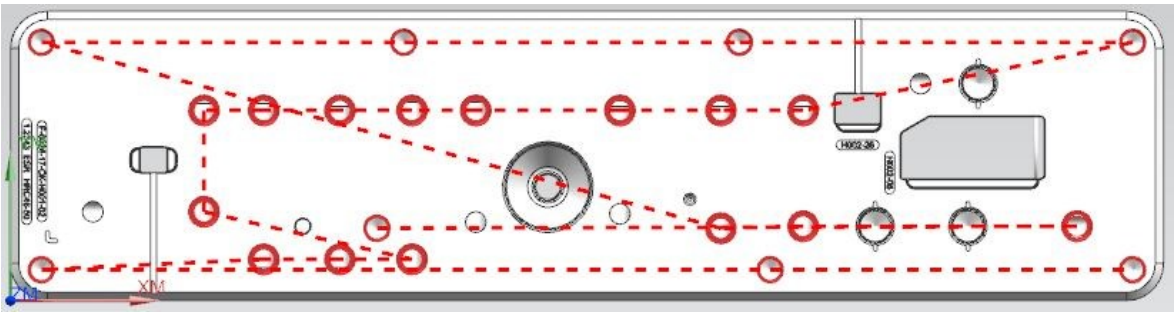
Obr. 65 Dráhy vrtání zahloubení u děr o průměru 10mm



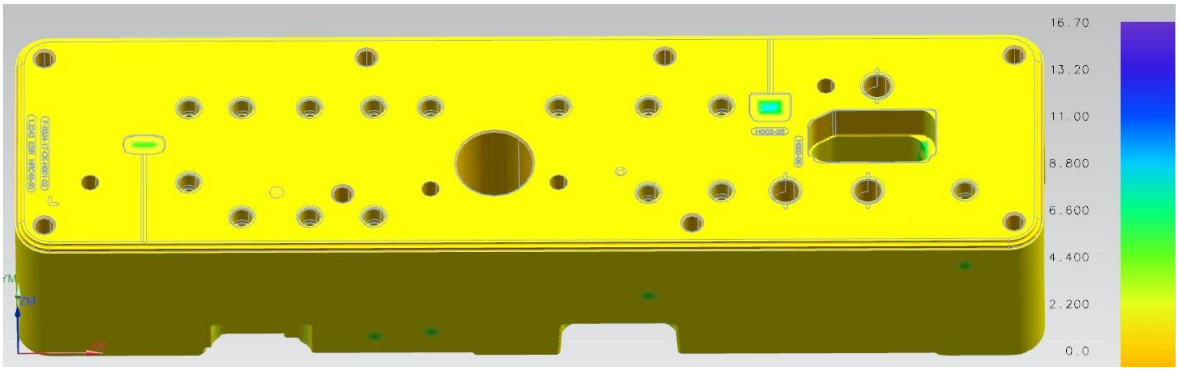
Obr. 66 Dráhy vrtání děr o průměru 10,5mm



Obr. 67 Dráhy vrtání děr o průměru 15mm



Obr. 68 Dráhy pro sražení děr



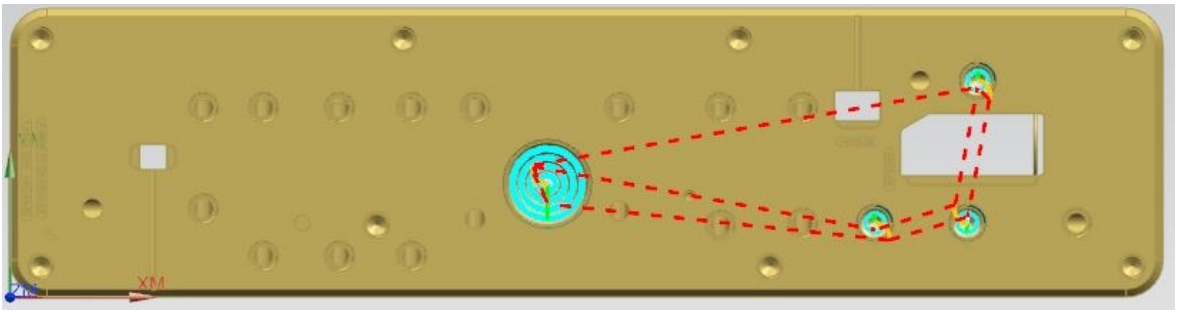
Obr. 69 Analýza součásti po vrtání děr

12.4.7 Sražení hran

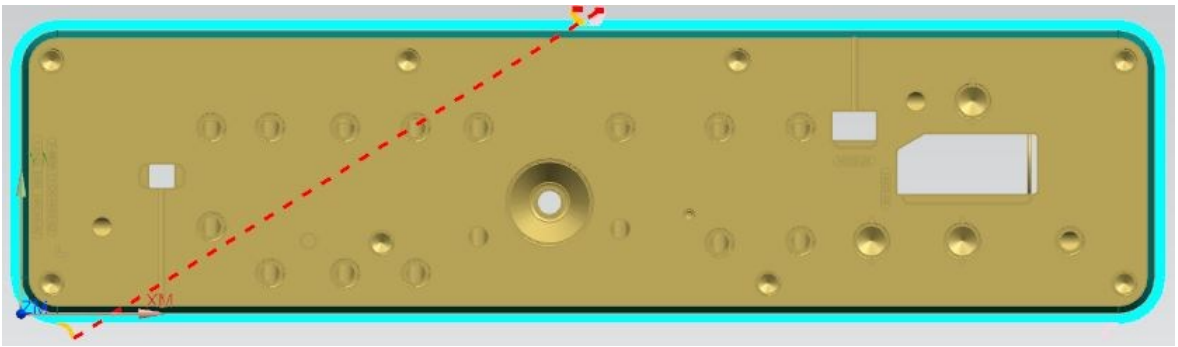
Posledním krokem na toto upnutí bude sražení hran na součásti. To bude provedeno nástrojem T1313 a funkcí cavity mill pro sražení děr průměru 15mm a díry pro vtokovou vložku. Pro sražení obvodu je použita funkce Zlevel profile a taktéž nástroj T1313.

Tab. 16 Řezné podmínky pro sražení hran

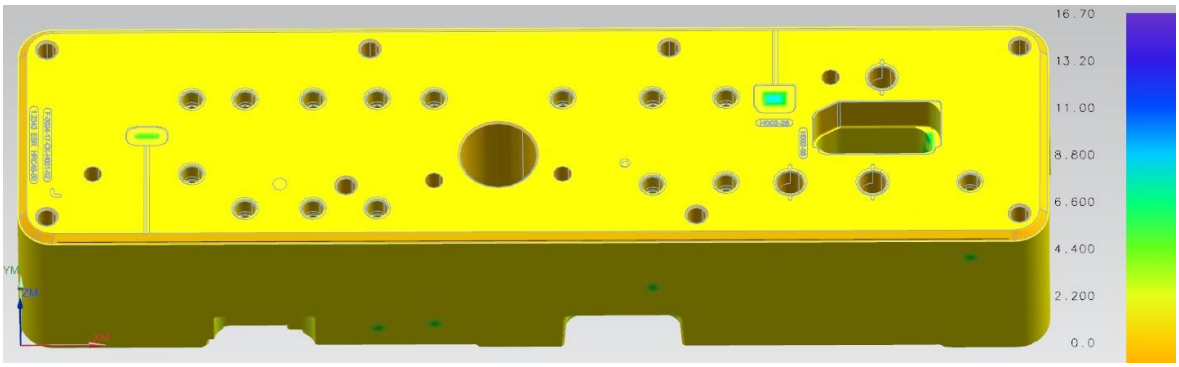
v_c [m/min]	a_{emax} [mm]	a_{pmax} [mm]	f_z [mm]	funkce	nástroj
10	50%*D	0,5	0,54	Cavity mill	T1313
10	50%*D	0,5	0,54	Zlevel profile	T1313



Obr. 70 Dráhy vrtání sražení u velkých děr



Obr. 71 Dráhy sražení obvodu součásti



Obr. 72 Analýza součásti po frézování sražení

12.5 Obrábění na třetí upnutí

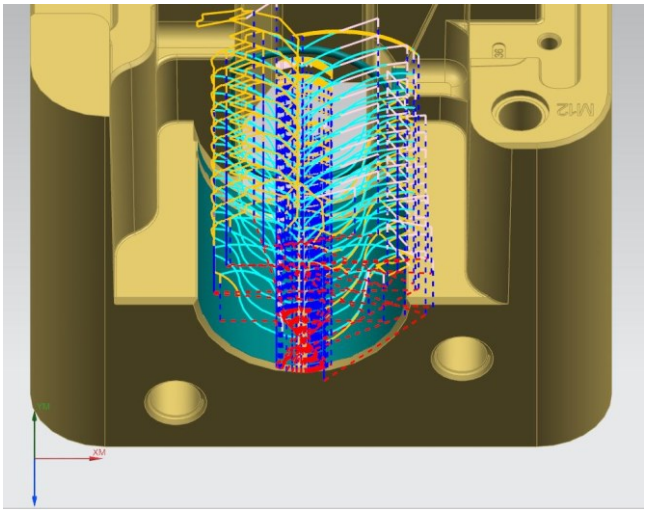
Aby bylo možné součást dále obrábět, je nutné změnit upnutí součásti a zadat odpovídající souřadný systém.

12.5.1 Frézování ploch pro tvarovou vložku

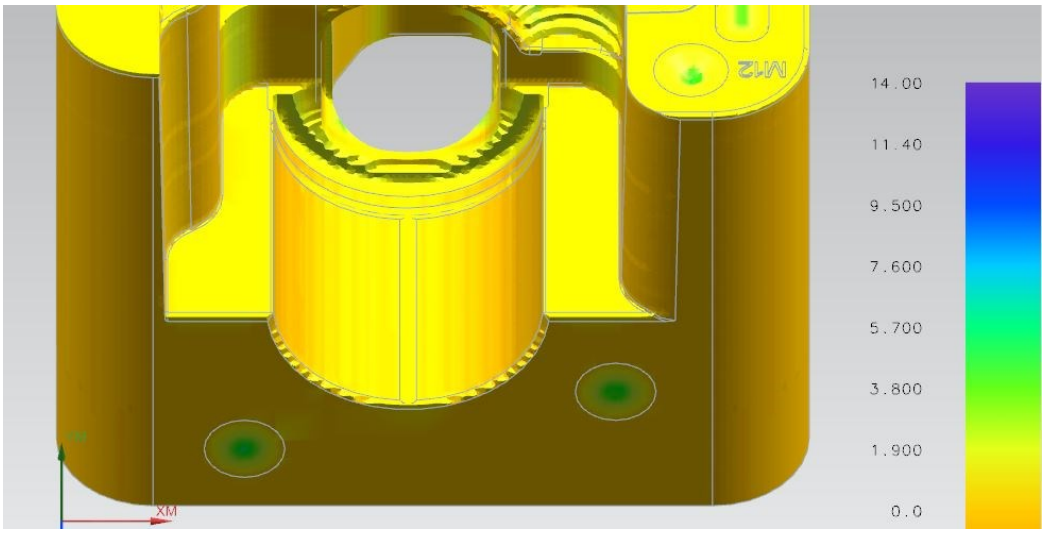
Obrobí se plochy pro tvarovou vložku, tyto plochy budou dále obráběny jinými metodami obrábění. Pro obrobení ploch byla použita funkce cavity mill a nástroj T0101.

Tab. 17 Řezné podmínky frézování ploch

v_c [m/min]	a_{emax} [mm]	a_{pmax} [mm]	f_z [mm]	funkce	nástroj
60	50%*D	6	0,051	Cavity mill	T0101



Obr. 73 Dráhy frézování ploch



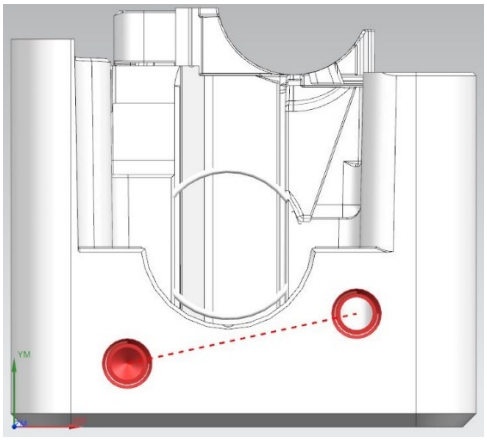
Obr. 74 Analýza ploch po frézování

12.5.2 Vrtání dlouhých děr, zahloubení, sražení

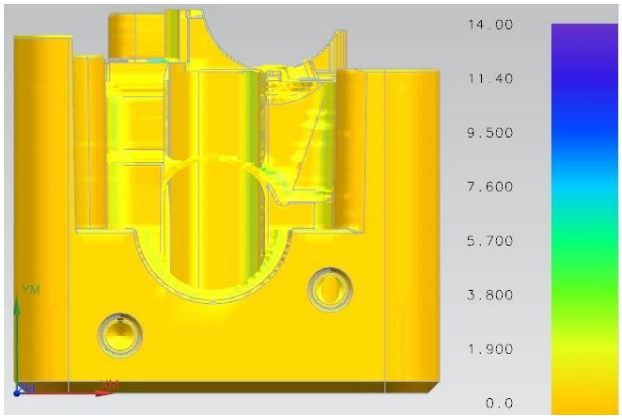
Nejdříve dojde k navrtání a poté vrtání dlouhých děr pro temperační systém. Pro toto vrtání je vzhledem k hloubce děr nutné zvolit dlouhý vrták, který bude mít dostatečnou délku. Poté bude následovat zahloubení děr a jejich sražení. Toto bude posledními kroky tohoto upnutí. Pozice všech operací jsou shodné, pouze se liší v hloubce vrtání. Navrtání proběhlo pomocí funkce spot drilling a nástroje T0707. Vrtání děr temperančního systému proběhlo pomocí funkce deep hole a nástroje T1414. K vrtání zahloubení byla použita funkce drilling a nástroj T1515. Poté byly díry sraženy pomocí funkce countersinking a nástrojem T1212.

Tab. 18 Řezné podmínky vrtání

OPERACE	v_c [m/min]	f_z [mm]	funkce	nástroj
navrtání	15	0,10	Spot drilling	T0707
vrtání dlouhých děr	15	0,10	Deep hole	T1414
vrtání zahloubení	15	0,19	Drilling	T1515
sražení děr	15	0,25	Countersinking	T1212



Obr. 75 Dráhy navrtání, vrtání, zahloubení a sražení



Obr. 76 Analýza vrtání

12.6 Obrábění na čtvrté upnutí

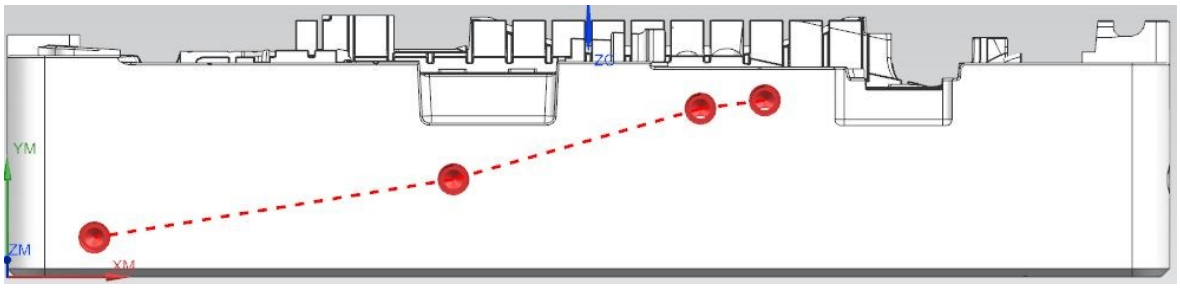
Pro vrtání dalších temperačních kanálů je nutné změnit upnutí součásti a nastavit správný souřadný systém.

12.6.1 Vrtání, zahloubení a sražení

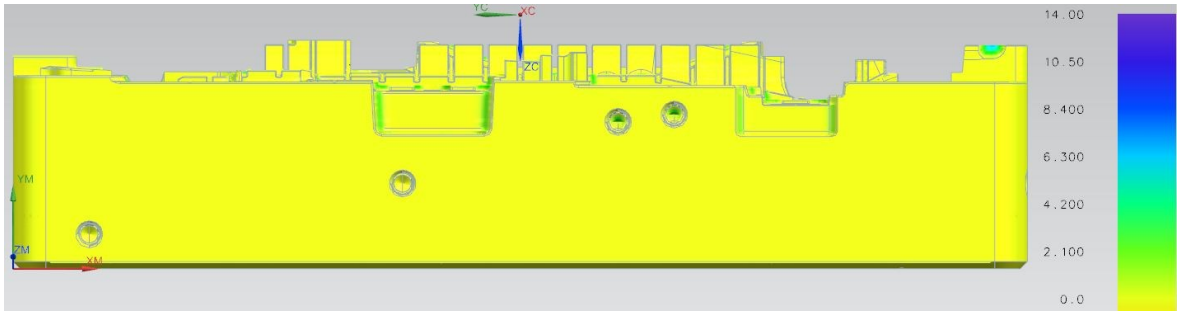
V tomto kroku se budou vrtat propojení temperačních kanálů, jejich zahloubení a sražení. Navrtání bylo generováno pomocí funkce spot drilling a nástroje T0707. Vrtání děr temperančního systému proběhlo pomocí funkce deep hole a nástroje T1010. K vrtání zahloubení byla použita funkce drilling a nástroj T1515. Poté byly díry sraženy pomocí funkce countersinking a nástrojem T1212.

Tab. 19 Řezné podmínky vrtání

OPERACE	v_c [m/min]	f_z [mm]	funkce	nástroj
navrtání	15	0,10	Spot drilling	T0707
vrtání děr	15	0,10	Deep hole	T1010
vrtání zahloubení	15	0,19	Drilling	T1515
sražení děr	15	0,25	Countersinking	T1212



Obr. 77 Dráhy navrtání, vrtání, zahloubení a sražení



Obr. 78 Analýza po vrtání

12.7 Obrábění na páté upnutí

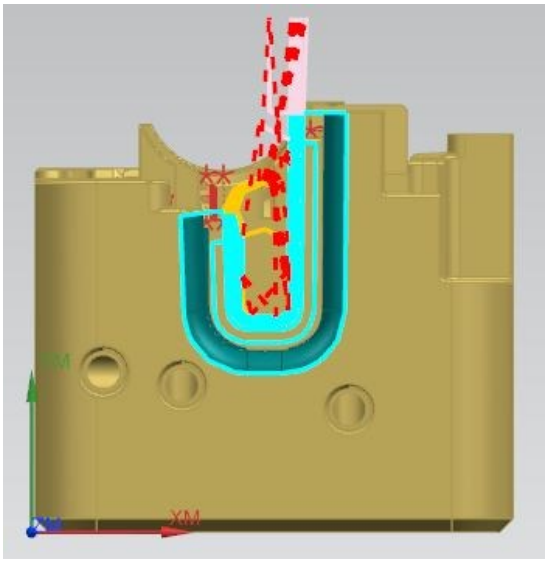
Při tomto upnutí se budou obrábět plochy pro tvarovou vložku a dlouhé díry pro temperační systém. Opět je nutné změnit odpovídajícím způsobem souřadný systém.

12.7.1 Frézování ploch pro tvarovou vložku

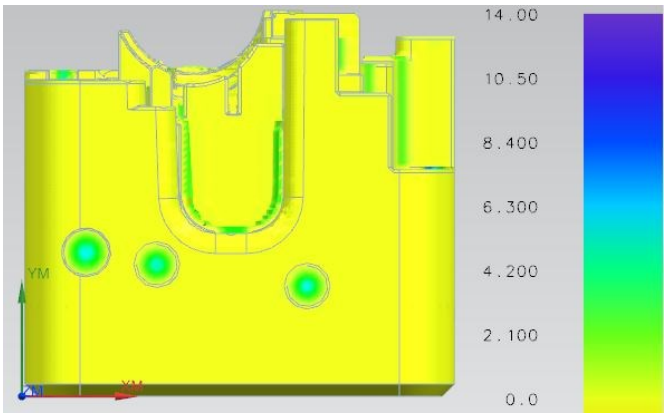
Frézovaní ploch pro tvarovou vložku s ohledem na další metody obrábění. Pro toto obrobení je vhodná funkce cavity mill a použití nástroje T0101.

Tab. 20 Řezné podmínky frézování ploch

v_c [m/min]	a_{emax} [mm]	a_{pmax} [mm]	f_z [mm]	funkce	nástroj
60	50%*D	1	0,051	Cavity mill	T0101



Obr. 79 Dráhy frézování ploch



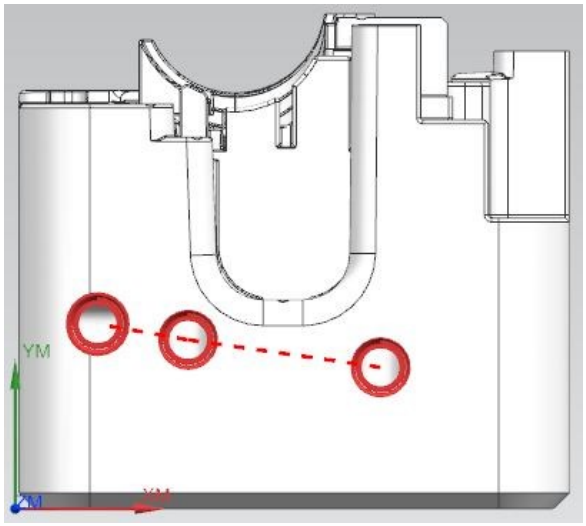
Obr. 80 Analýza ploch po frézování

12.7.2 Vrtání dlouhých děr, zahloubení a sražení

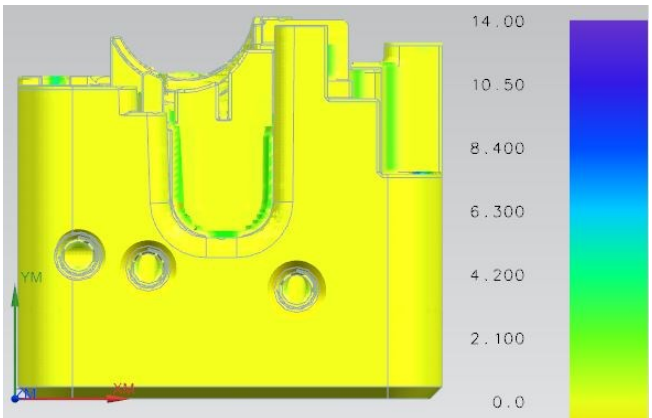
Vrtání dlouhých otvorů pro temperační systém, jejich zahloubení a sražení. Součást byla navrtána za pomocí funkce spot drilling a nástroje T0707. Vrtání děr temperančního systému proběhlo pomocí funkce deep hole a nástroje T1616. K vrtání zahloubení byla použita funkce drilling a nástroj T1515. Poté byly díry sraženy pomocí funkce countersinking a nástrojem T1212.

Tab. 21 Řezné podmínky vrtání

OPERACE	v_c [m/min]	f_z [mm]	funkce	nástroj
navrtání	15	0,10	Spot drilling	T0707
Vrtání dlouhých děr	15	0,10	Deep hole	T1616
vrtání zahloubení	15	0,19	Drilling	T1515
sražení děr	15	0,25	Countersinking	T1212



Obr. 81 Dráhy navrtání, vrtání, zahloubení a sražení



Obr. 82 Analýza po vrtání

12.8 Obrábění na šesté upnutí

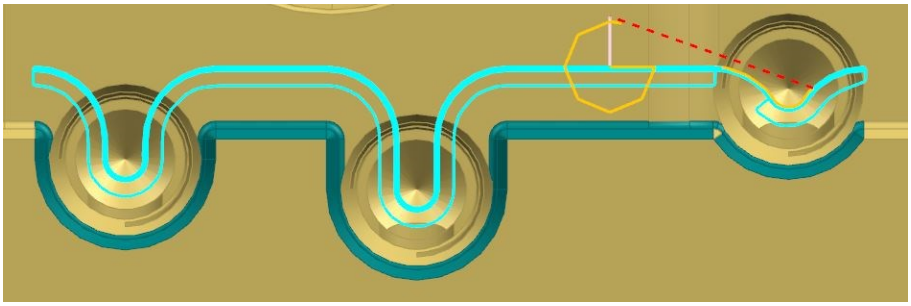
V posledním upnutí bude vyfrézováno zahloubení děr, poté proběhne vyvrtání děr propojujících temperační kanály.

12.8.1 Frézování zahloubení

Zahloubení bude frézováno, neboť vzhledem k jeho tvaru by nebylo vhodné jej vrtat. Zvolil jsem pro tuto operaci funkci cavity mill a nástroj T1717.

Tab. 22 Řezné podmínky frézování zahloubení

v_c [m/min]	a_{emax} [mm]	a_{pmax} [mm]	f_z [mm]	funkce	nástroj
80	30%*D	3	0,03	Cavity mill	T1717



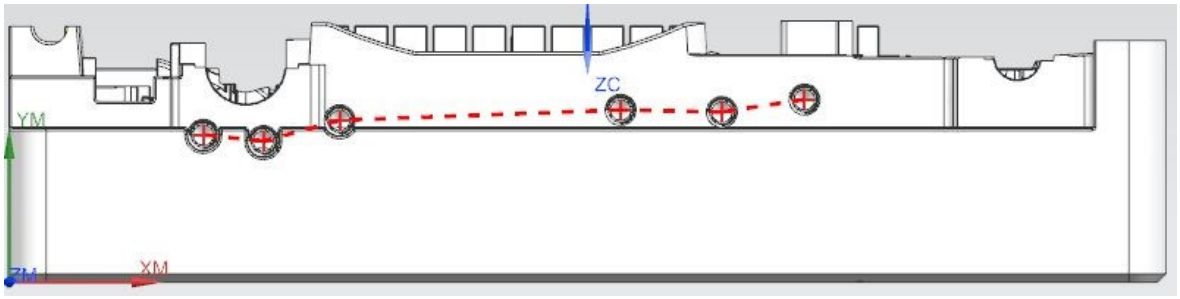
Obr. 83 Dráhy frézování zahloubení

12.8.2 Navrtání, vrtání, zahloubení

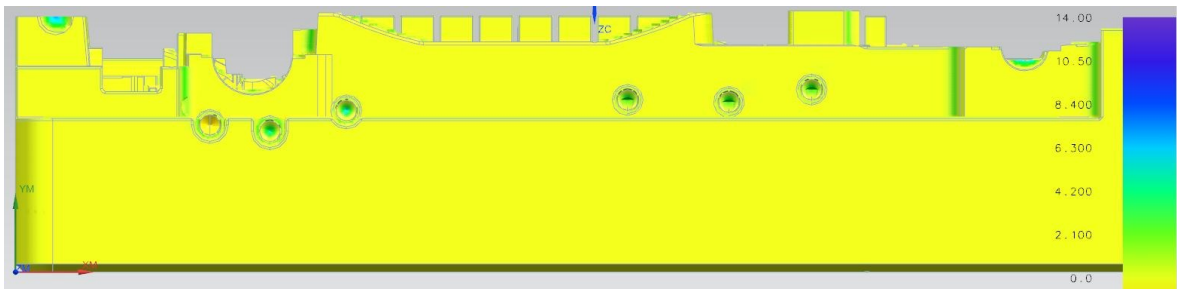
Posledními kroky obrábění na součásti je vrtání a zahloubení děr propojujících temperační kanály součásti. Součást byla navrtána za pomocí funkce spot drilling a nástroje T0707. Vrtání děr propojujících temperanční systém proběhlo pomocí funkce deep hole a nástroje T1010. K vrtání zahloubení byla použita funkce drilling a nástroj T1515.

Tab. 23 Řezné podmínky vrtání

OPERACE	v_c [m/min]	f_z [mm]	funkce	nástroj
navrtání	15	0,10	Spot drilling	T0707
vrtání děr	15	0,10	Deep hole	T1010
vrtání zahloubení	15	0,19	Drilling	T1515



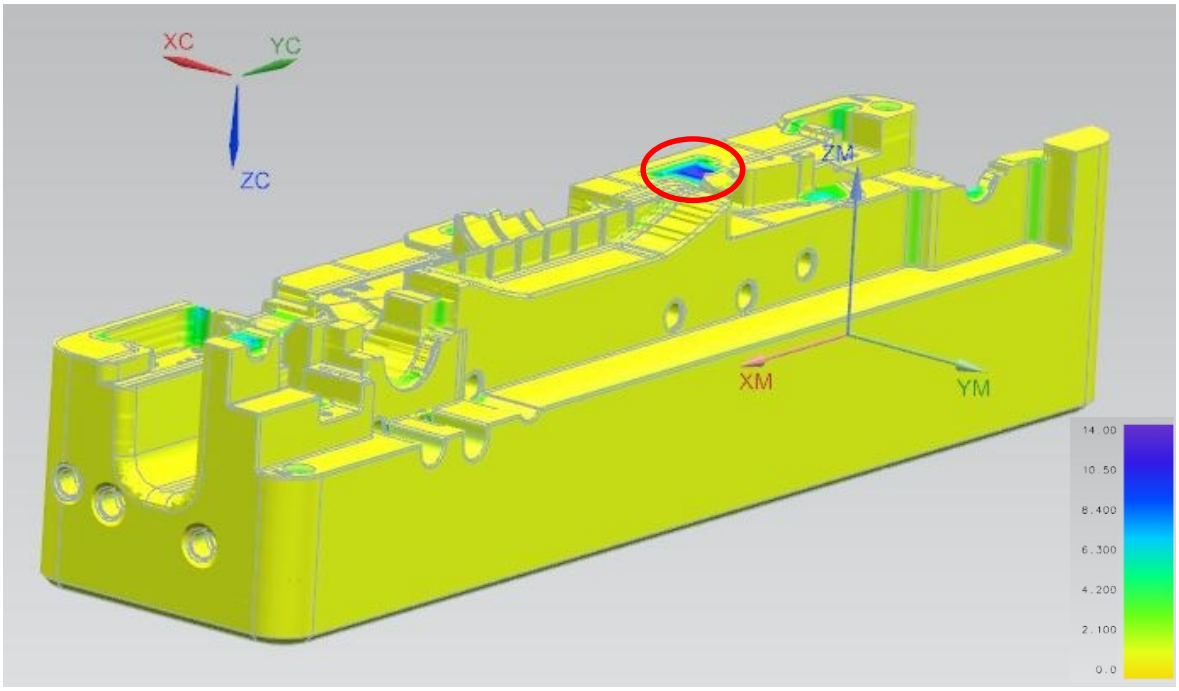
Obr. 84 Dráhy navrtání, vrtání, zahloubení



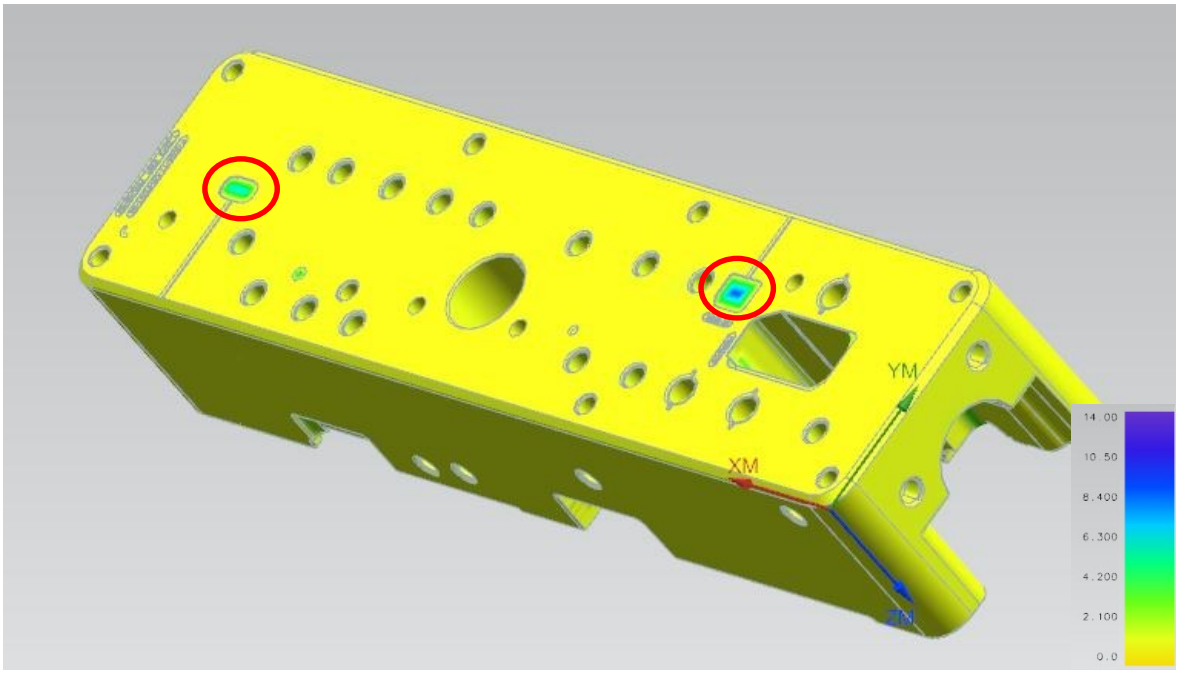
Obr. 85 Analýza po vrtání

12.9 Celková verifikace po obrobení a kontrola kolizí

Po obrobení na součásti stále zůstávají místa, na kterých je buďto přebytek materiálu nebo nebyla vůbec obrobena. To je z důvodu ponechání pro další metody obrábění, které jsou efektivnější a vhodnější pro toto obrobení. Nápisy na součásti budou obráběny metodou EDM. Po obrobení proběhla celková verifikace rozměrů součásti, kontrola kolizí probíhala po vytvoření každého kroku u během jeho analýzy. Na obrázcích celkové analýzy jsou zvýrazněny pozice pro obrábění metodou EDM (pozice 1) a obrábění metodou W-EDM (pozice 2). Odhadovaná doba obrábění je 3 dny a 16 hodin.



Obr. 86 Celková analýza po obrobení tvarové části – pohled 1



Obr. 87 Celková analýza po obrobení tvarové části – pohled 2

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá obráběním tvarové části formy, z něhož vznikl obráběcí program pro CNC obráběcí centrum. Podkladem pro obrábění byl 3D model tvárnice poskytnutý firmou SKD Bojkovice s.r.o. Vytvořením obráběcích operací, které byly odsimulovány a verifikovány, vznikly dráhy obrábění, tak aby nedocházelo ke kolizím nástroje a následně proběhla analýza rozměrů po obrobení vůči zadanému 3D modelu. Po obrobení pomocí simulací, verifikací a analýz vznikl obráběcí program, který je možné přenést na CNC obráběcí centrum. Poté může být součást obrobena a předána k dalšímu zpracování. Nastavené řezné podmínky nástrojů jsou voleny dle doporučení výrobce nástroje a nemělo by docházet k jejich úpravě.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM: 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.

[2] DILINGER, Josef a kol. *MODERNÍ STROJÍRENSTVÍ pro školu i praxi*. 1. Praha 10: Europa-Sobotáles cz., 2007. ISBN 978-80-8670619-1.

[3] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE 3 - 1.díl: Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. 2. vydání. Praha 6: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.

[4] NĚMEC, Dobroslav. *Strojírenská technologie 3: Strojní obrábění.* 2. vydání. Praha: SNTL, 1982.

[5] Řezné nástroje. In: *Technický portál* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/rezne-nastroje/rezne-nastroje-5_8517.html

[6] HRUBEC, Miroslav. Vrtání děr. *Ostravská univerzita* [online]. Ostrava, [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/vr-tani/nastroje.html

[7] FIALOVÁ, Dana a Vladislav GRADEK. Zámečnické práce a údržba 1. díl. Praha: Parta, 2006. ISBN 80-7320-086-4.

[8] Tepelné zpracování. In: Mgr. Jan Hamerník [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: http://jhamernik.sweb.cz/tepelne_zpracovani.htm

[9] HLUCHÝ, Miroslav, Oldřich MODRÁČEK a Rudolf PAŇÁK. *STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE 1 - 2.díl: Metalografie a tepelné zpracování*. 3., přepracované vydání. Praha 6: Scientia, 2002. ISBN 80-7183-265-0.

[10] KRAUS, Václav. Tepelné zpracování a slinování. 2. vydání. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-582-0.

[11] BUMBÁLEK, Leoš a kol. *KONTROLA A MĚŘENÍ*. Praha 4: INFORMATORIUM, 2009. ISBN 978-80-7333-072-9.

[12] Ruční měřidla a systémy přenosu dat. In: *Mitutuyo* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01/Small%20Tool%20Instruments%20and%20Data%20Management/index.xhtml

[13] Vyšší produktivita a větší flexibilita Siemens NX 10. In: *CAD* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://www.cad.cz/component/content/article/5585.html

[14] Siemens Blogs. In: *SIEMENS* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://community.plm.automation.siemens.com/t5/News-NX-Manufacturing/What-s-new-in-NX-12-for-manufacturing/ba-p/440289

[15] Obecný úvod do problematiky CNC programování In: *SOSBITES* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://www.sosbites.cz/images/stories/Pro-studenty/studijni-materialy/VUKOV_TEXT_-_1.ST.pdf

[16] Siemens Documentation: NX 12 Help In: *SIEMENS DOKUMENTATION CENTER* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/nx/12/nx_help/#uid:xid1128418:index_mfggeneral

[17] Dokončovací metody obrábění In: *STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA OSTRAVA - VÍTKOVICE* [online]. [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/texty/texty/ZAV/ZAV3-Dokončovací%20metody%20obrábění-UT.pdf

[18] Dokončovací operace In: Mgr. Jan Hamerník [online]. [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: http://jhamernik.sweb.cz/Dokoper.htm

[19] Broušení In: Elektronická učebnice [online]. [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1825

[20] SKD Bojkovice s.r.o. In: SKD Bojkovice [online]. [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: http://www.skd-bojkovice.cz/

[21] DMU 125 P duoBLOCK In: DMG MORI [online]. [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/frezovani/petiose-frezovani/dmu-duoblock/dmu-125-p-duoblock

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Ra	Střední aritmetická hodnota drsnosti
Rz	Maximální výška profilu
Rt	Největší hloubka drsnosti
t_A	Čas jednotkové práce
v_c	Řezná rychlost
f_z	Posuv na zub
h_m	Střední tloušťka třísky
a_e	Šířka řezu
a_p	Hloubka řezu
D	průměr

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Členění technologického postupu pro velkosériovou produkci [1] 15
Obr. 2 Sousledné a nesousledné frézování [2] 18
Obr. 3 Válcové frézování [3] 18
Obr. 4 Čelní frézování [3] 18
Obr. 6 Hloubka řezu a_p (axiální) a 19
Obr. 5 Hloubka řezu a_p (radiální) a šířka frézování a_e při obvodovém frézování [2] 19
Obr. 7 Vybrané druhy fréz [3] 20
Obr. 8 Základní soustružnické operace [5] 21
Obr. 9 Základní tvary nožů pro soustružení [3] 23
Obr. 10 Popis šroubovitého vrtáku [6] 24
Obr. 11 Postup vystružování [7] 24
Obr. 12 Oblasti teplot pro žíhání podle diagramu Fe-Fe_3C [10] 25
Obr. 13 Pásmo kalících teplot podle diagramu Fe-Fe_3C [10] 26
Obr. 14 Broušení [19] 27
Obr. 15 Honování [18] 27
Obr. 16 Lapování [18] 28
Obr. 17 Superfinišování [18] 28
Obr. 18 Posuvné měřítko [12] 31
Obr. 19 Digitální mikrometr [12] 32
Obr. 20 Koncová měrka [12] 33
Obr. 21 Pravidlo pravé ruky [15] 35
Obr. 22 Polární souřadný systém [15] 35
Obr. 23 Absolutní programování [15] 36
Obr. 24 Inkrementální programování [15] 36
Obr. 25 Blok CNC programu [15] 37
Obr. 26 Popis bloku [15] 37
Obr. 27 Ikony rovinného frézování [16] 40
Obr. 28 Ikony pro 3D profilování [16] 40
Obr. 29 Ikony pro funkci Frézování dutin [16] 40
Obr. 30 Přizpůsobení dráhy nástroje obráběnému modelu v NX [14] 40
Obr. 31 Součást vyrobená firmou SKD Bojkovice s.r.o. [20] 43
Obr. 32 DMG MORI DMU 125 P duoBLOCK [21] 44

Obr. 33 Pohled 1 na zadaný 3D model.....45
Obr. 34 Pohled 2 na zadaný 3D model.....45
Obr. 35 Nastavení polotovaru.....46
Obr. 36 Vizualizace nastavení polotovaru.....46
Obr. 37 Dráhy hrubování.....48
Obr. 38 Analýza součásti po hrubování.....48
Obr. 39 Dráhy hrubování tvarových ploch.....49
Obr. 40 Analýza součásti po hrubování tvarových ploch.....49
Obr. 41 Dráhy dohrubování tvarových ploch.....50
Obr. 42 Analýza součásti po dohrubování tvarových ploch.....51
Obr. 43 Dráhy kulové frézy pro obrobení načisto.....51
Obr. 44 Analýza oblých ploch po obrobení.....52
Obr. 45 Dráhy obrábění drážek.....52
Obr. 46 Analýza drážek po jejich obrobení.....53
Obr. 47 Dráhy pro obrobení obvodu načisto.....53
Obr. 48 Analýza součásti po obrobení obvodu načisto.....54
Obr. 49 Dráhy navrtání.....54
Obr. 50 Dráhy vrtání malých děr.....55
Obr. 51 Dráhy vrtání velkých děr.....55
Obr. 52 Analýza součásti po vrtání děr.....55
Obr. 53 Dráha frézování obvodu.....56
Obr. 54 Analýza po frézování obvodu.....56
Obr. 55 Dráha pro ofrézování spodní plochy.....57
Obr. 56 Analýza součásti po obrobení spodní plochy.....57
Obr. 57 Dráha frézy při frézování otvoru.....58
Obr. 58 Analýza otvoru po frézování.....58
Obr. 59 Dráhy pro obrobené otvoru vložky.....59
Obr. 60 Analýza otvoru pro tvarovou vložku po obrobení.....59
Obr. 61 Dráhy frézování načisto.....60
Obr. 62 Analýza po frézování na čisto.....60
Obr. 63 Dráhy navrtání děr.....61
Obr. 64 Dráhy vrtání děr o průměru 10mm.....61
Obr. 65 Dráhy vrtání zahloubení u děr o průměru 10mm.....61

Obr. 66 Dráhy vrtání děr o průměru 10,5mm 62
Obr. 67 Dráhy vrtání děr o průměru 15mm 62
Obr. 68 Dráhy pro sražení děr 62
Obr. 69 Analýza součásti po vrtání děr 62
Obr. 70 Dráhy vrtání sražení u velkých děr 63
Obr. 71 Dráhy sražení obvodu součásti 63
Obr. 72 Analýza součásti po frézování sražení.....63
Obr. 73 Dráhy frézování ploch 64
Obr. 74 Analýza ploch po frézování 64
Obr. 75 Dráhy navrtání, vrtání, zahloubení a sražení.....65
Obr. 76 Analýza vrtání.....65
Obr. 77 Dráhy navrtání, vrtání, zahloubení a sražení.....66
Obr. 78 Analýza po vrtání.....66
Obr. 79 Dráhy frézování ploch 67
Obr. 80 Analýza ploch po frézování 67
Obr. 81 Dráhy navrtání, vrtání, zahloubení a sražení.....68
Obr. 82 Analýza po vrtání.....68
Obr. 83 Dráhy frézování zahloubení 69
Obr. 84 Dráhy navrtání, vrtání, zahloubení 70
Obr. 85 Analýza po vrtání.....70
Obr. 86 Celková analýza po obrobení tvarové části – pohled 1.....71
Obr. 87 Celková analýza po obrobení tvarové části – pohled 2.....71

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Technické parametry DMG MORI DMU 125 P duoBLOCK 44
Tab. 2 Seznam použitých nástrojů 47
Tab. 3 Řezné podmínky hrubování obvodu 48
Tab. 4 Řezné podmínky hrubování tvarových ploch 49
Tab. 5 Řezné podmínky dohrubování tvarových ploch 50
Tab. 6 Řezné podmínky obrábění oblých ploch 51
Tab. 7 Řezné podmínky při obrábění drážek 52
Tab. 8 Řezné podmínky při obrábění obvodu načisto 53
Tab. 9 Řezné podmínky při vrtání 54
Tab. 10 Řezné podmínky při frézování obvodu 56
Tab. 11 Řezné podmínky při frézování plochy 56
Tab. 12 Řezné podmínky frézování otvoru 57
Tab. 13 Řezné podmínky frézování otvoru pro tvarovou vložku 59
Tab. 14 Řezné podmínky při obrábění spodní plochy načisto 60
Tab. 15 Řezné podmínky pro vrtání 61
Tab. 16 Řezné podmínky pro sražení hran 63
Tab. 17 Řezné podmínky frézování ploch 64
Tab. 18 Řezné podmínky vrtání 65
Tab. 19 Řezné podmínky vrtání 66
Tab. 20 Řezné podmínky frézování ploch 67
Tab. 21 Řezné podmínky vrtání 68
Tab. 22 Řezné podmínky frézování zahloubení 69
Tab. 23 Řezné podmínky vrtání 69

SEZNAM PŘÍLOH

CD … model tvárnice (.prt)

… CNC programový soubor (.prt)