



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**OVĚŘENÍ TECHNOLOGIE VÝROBY
PNEUMATICKÉHO MECHANISMU AUTOMATICKÉ
ZBRANĚ MINIMI FN M249**

VERIFICATION OF PRODUCTION TECHNOLOGY OF PNEUMATIC MECHANISM FOR
AUTOMATIC WEAPON MINIMI FN M249

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Matějek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Martin Matějek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Ověření technologie výroby pneumatického mechanismu automatické zbraně Minimi FN M249

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je zaměřena na výrobu součástí pneumatického mechanismu automatické zbraně Minimi FN M249. Součástí práce bude popis automatické zbraně, rozbor vyráběné součásti, popis jednotlivých použitých strojů a rezných nástrojů. V práci bude dále uveden technologický postup a výkresová dokumentace.

Cíle bakalářské práce:

1. Rozbor vyráběné součásti.
2. Návrh technologie výroby.
3. Výroba reálné součásti.
4. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

HUMÁR, Anton. Materiály pro rezné nástroje. Praha: MM Publishing, 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.

PÍŠKA, Miroslav. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s.r.o., 2000. ISBN 80-7183-164-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 3. 11. 2016



prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na výrobu části pneumatického mechanismu simulátoru automatické zbraně Minimi FN M249 od návrhu polotovaru, až po hotovou součást včetně návrhu další povrchové úpravy. Součást je vyráběna v kusové výrobě ze dvou materiálů, jejichž vlastnosti jsou dále porovnávány. Tato práce je zaměřena na návrh technologie výroby součásti z materiálu oceli, druhou variantou je pak výroba součásti z hliníkové slitiny. Hlavní výrobní technologii zde zastupuje frézování, přičemž materiál je dělen na pásové pile. Bakalářská práce dále obsahuje technologický postup výroby.

Klíčová slova

technologický postup, výroba součásti, frézování, vrtání, NC program, povrchová úprava

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on the production of a part of the pneumatic mechanism of the automatic weapon simulator Minimi FN M249 from the design of the semi-finished product to the finished part, including the determining of further surface treatment. The part is made in piece production from two materials, the properties of which are further compared. This work is focused on the design of the technology of production of a component of steel material, the second variant is the production of a component of aluminum alloy. The main production technology here represents milling, the material being divided into a band saw. The bachelor thesis also contains the technological process of production.

Key words

technological process, component manufacturing, milling, drilling, NC program, surface treatment

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MATĚJEK, Martin. *Ověření technologie výroby pneumatického mechanismu automatické zbraně Minimi FN M249*. Brno 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 45 s. 3 přílohy. Vedoucí práce Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Ověření technologie výroby pneumatického mechanismu automatické zbraně Minimi FN M249 vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

22. 5. 2017

Datum

Martin Matějka

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto společnosti Saab Czech s.r.o., konkrétně pánům Ing. Pavlu Hlaváčkovi a Bc. Petru Friesovi za jejich pomoc a umožnění sepsání této bakalářské práce. Velké poděkování rovněž patří Ing. Aleši Jarošovi, Ph.D. za vedení při sepsání práce a jeho cenné připomínky.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ	7
OBSAH.....	8
ÚVOD.....	10
1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI.....	11
2 ŘEŠENÁ SOUČÁST.....	12
2.1 Popis součásti a její využití.....	12
2.2 Technologičnost konstrukce	12
3 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ	13
3.1 Technologie frézování	13
3.1.1 Rozdělení frézování	13
3.1.2 Frézovací nástroje	14
3.2 Technologie vrtání	15
3.2.1 Rozdělení vrtání	16
3.2.2 Vrtací nástroje.....	16
3.3 Způsob tvorby třísky	18
3.3.1 Typy třísek.....	19
3.3.2 Tvary třísek.....	19
4 ZPŮSOBY UPÍNÁNÍ OBROBKU PŘI FRÉZOVÁNÍ	21
5 NÁVRH MATERIÁLU A JEHO VLASTNOSTI	23
5.1 Slitina hliníku.....	23
5.1.1 Polotovar z hliníkové slitiny	24
5.2 Konstrukční ocel	24
5.2.1 Polotovar z konstrukční oceli	25
6 VÝBĚR STROJŮ A NÁSTROJŮ.....	26
6.1 Výběr strojového parku	26
6.2 Nástrojový list.....	28
7 TECHNOLOGICKÝ POSTUP.....	29
8 NC PROGRAM.....	30
8.1 Základ NC programu a jeho funkce	30
8.2 Ukázka programu řešené součásti	32
9 POVRCHOVÁ ÚPRAVA	33
9.1 Eloxování.....	33

9.2 Nitridace v solné lázni.....	34
10 PRŮBĚH VÝROBNÍHO PROCESU.....	36
11 ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	40
12 ZÁVĚR	41
SEZNAM ZDROJŮ	42
SEZNAM PŘÍLOH	44
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	45

ÚVOD

V dnešní době, kdy je veřejnost stále informována o častých nepokojích či válečných konfliktech je čím dál více důležité zajistit bezpečí, ať už lidem, kteří nejsou v jejich bezprostředním dosahu, ale také vojenským složkám, které se těchto střetů přímo účastní. Naštěstí s rostoucími možnostmi, jak rozvíjet technologie se tento nelehký úkol daří. Příímím příkladem toho jsou simulátory pro nácvik krizových situací.

Společnost Saab Czech, sídlící ve Slavkově u Brna, která se zabývá vývojem a výrobou simulátorů pro vzdušné, pozemní nebo námořní operace tak může přispět ke značnému zvýšení bezpečnosti vojska a jejich připravenosti k provedení operace v terénu. Maximálně realistické simulace střelby, při kterých si voják může vyzkoušet i ty nejnáročnější situace, tak doslova může zachránit životy ¹.

Samotný nácvik probíhá ve speciálně upravené místnosti, ve které je simulátor integrován. Účastník výcviku stojí se simulátorem reálné zbraně před projekční plochou, na kterou je promítáno okolí a připravený scénář. Instruktor v průběhu vyhodnocuje jeho konání ¹.

Speciálně vyrobená zbraň, určená pro tento typ výcviku, je na první pohled téměř nerozeznatelná od skutečného modelu zbraně. Skládá se z mnoha komponentů, ať už mechanických nebo elektronických ¹.

Právě návrhem výroby součásti tohoto simulátoru a provedením celým procesem od návrhu technologie, až po výrobu hotové součásti, která v simulátoru slouží jako část pneumatického mechanismu, je tématem této práce. Součástí práce je rovněž stanovení technologického postupu a nástrojový list.

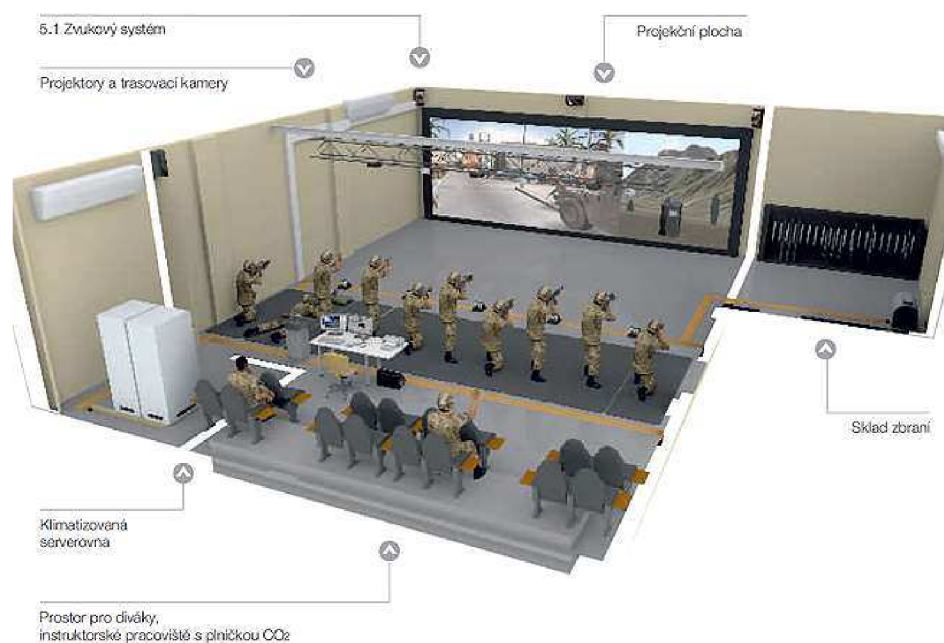


Obr. 0.1 Simulace střelby ^[2].

1 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI

Společnost Saab Czech s.r.o., sídlící ve Slavkově u Brna, je dceřinná společnost firmy Saab, působící v oblasti obrany a bezpečnosti. Saab Czech je významným vývojovým centrem, které se zabývá vývojem a výrobou virtuálních simulátorů jako jsou letecké a vozidlové simulátory, dále to jsou simulátory ručních zbraní, protitankových střel či simulátory řízení leteckého provozu ¹.

Můj první kontakt s touto společností byl na Mezinárodním strojírenském veletrhu v Brně, při veletrhu pracovních příležitostí Job Fair, kde mi byla nabídnuta možnost za jejich spolupráce zpracovat bakalářskou práci.



Obr. 1.1 Simulátory ručních zbraní ^[2].

2 ŘEŠENÁ SOUČÁST

Následující podkapitoly jsou věnovány popisu vyráběné součásti, jejímu použití a technologičnosti samotné výroby.

2.1 Popis součásti a její využití

Vyráběná součást slouží jako část pneumatického mechanismu simulátoru automatické zbraně Minimi FN M249. Simulátor této a dalších zbraní je využíván při výcviku vojenských jednotek, aniž by byli lidé vystavováni zbytečnému riziku.

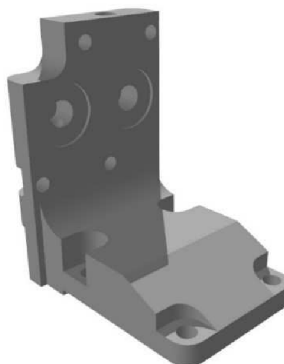


Obr. 2.1 Model simulátoru Minimi FN M249.

2.2 Technologičnost konstrukce

Rozměrově se jedná o relativně malou součást, která v sobě obsahuje několik děr o malém průměru, ale velké hloubce, což komplikuje jejich výrobu a dodržení daných přesností a tolerancí. Součást je namáhána tlakem až 1 MPa proudícího média. Při výrobě součásti jsou porovnávány mechanické vlastnosti z hliníkové slitiny a konstrukční oceli, pro kterou je uveden technologický postup v této práci.

Pro obrobení všech ploch je součást upnuta na dvou základnách. Celá součást je vyrobena na jednom CNC frézovacím centru.



Obr. 2.2 Model řešené součásti.

3 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ

Technologie obrábění je vědecký obor, který zkoumá a popisuje celkový proces výroby součásti za odebrání třísek původního materiálu. Za pojmem obrábění se ve strojírenské technologii skrývá množství metod, které nám umožňují vytvořit požadovaný tvar či hotový výrobek, nazývaný obrobek. Podstatou třískového obrábění je odebrání třísky ze základního polotovaru pro vytvoření požadovaného tvaru plochy výrobku ³.

Hlavní technologie obrábění a jejich podstata, které byly použity k výrobě součásti popisované v této práci, jsou dále rozebrány v následujících podkapitolách.

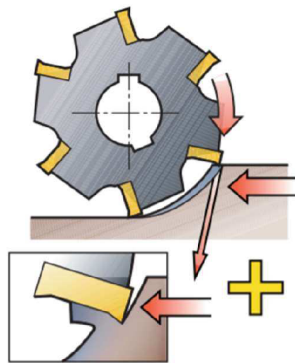
3.1 Technologie frézování

Podstatou frézování je úběr materiálu pomocí rotujícího vícebřitého nástroje. U konvenčních strojů (Frézek) koná posuvný pohyb nejčastěji obrobek. Namísto toho u modernějších, numericky řízených strojů, se nástroj (Fréza) pohybuje po předem naprogramované dráze a obrobek může být pouze nakláněn pro umožnění přístupu nástroje k vytvoření úhlových ploch ^{6,7}.

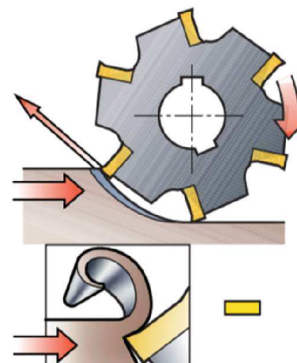
3.1.1 Rozdělení frézování

Frézování se dělí jednak podle směru frézování na dva druhy, kdy v prvním je obrobek posouván vzhledem k nástroji po směru jeho rotace, nazývané sousledné (sousměrné) frézování (viz. Obr. 3.1a). Při tomto způsobu frézování se tříška od počátku záběru zužuje, až do chvíle, kdy je její tloušťka nulová a dojde k jejímu oddělení. Výhodou sousledného frézování je, že nedochází ke vzniku vysokých teplot, další z výhod může být uvedena ta, že síly, které působí na obráběný materiál na něj zároveň vytváří tlakovou složku, jež tlačí materiál pod nástroj. Oproti tomu nevýhodou může být, že se třísky mohou navařit na břit a být vneseny opět do dalšího řezu, přičemž může dojít ke zlomení břitu ⁶.

Při druhém způsobu je obrobek posouván v protisměru rotace nástroje. Tento typ je nazýván nesousledný (protisměrný) (viz. Obr. 3.1b). Při nesousledném frézování je tříška odebrána postupně od nulové tloušťky. Jednou z výhod tohoto způsobu frézování je vytvoření kvalitnějšího povrchu vlivem vzniku hladicího efektu, naproti tomu jednou z hlavních nevýhod je, že řezné síly, působící na obrobek se ho snaží zvednout z upínací plochy. Další z nevýhod je vznik vysokých teplot při řezu ⁶.



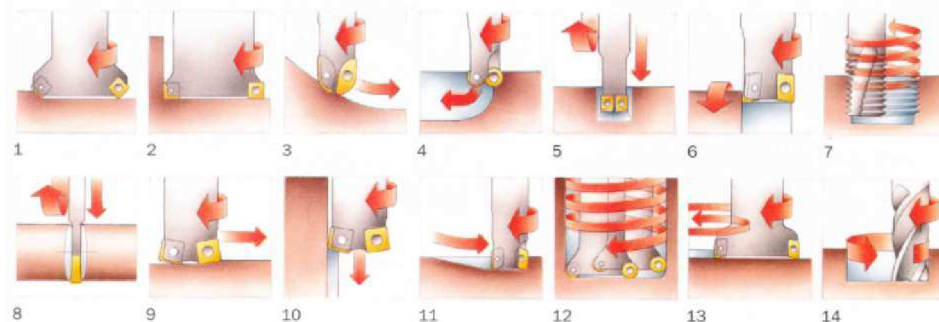
Obr. 3.1a Sousedné frézování ^[6].



Obr. 3.1b Nesousledné frézování ^[6].

Dalším hlediskem při dělení frézování je rozdělení frézovacích operací podle dráhy konané nástrojem, nebo podle tvaru plochy, která je v dané operaci vyráběna (viz. Obr. 3.2). V tomto hledisku dělíme frézování na ⁸:

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1. Rovinné frézování | 8. Dělení materiálu |
| 2. Čelní frézování | 9. Frézování s vysokým posuvem |
| 3. Kopírování | 10. Ponorné frézování |
| 4. Frézování dutin | 11. Zahlubování |
| 5. Frézování kotoučovou frézou | 12. Šroubovitá interpolace |
| 6. Rotační frézování | 13. Kruhová interpolace |
| 7. Frézování závitů | 14. Odvalovací frézování |



Obr. 3.2 Hlavní typy frézovacích operací ¹⁸⁾.

3.1.2 Frézovací nástroje

Existuje mnoho druhů frézovacích nástrojů, které jsou vyvíjeny v závislosti na stupňující se nároky na kvalitu, složitost tvaru obráběných ploch a optimalizaci rezných podmínek. Všeobecně lze frézy rozdělit dle následujících hledisek ⁶⁾:

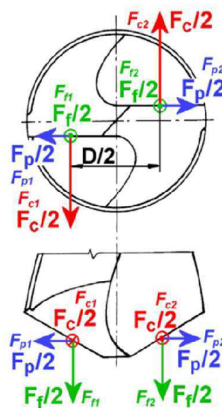
- Podle účelu – rozeznáváme frézy válcové, které slouží k obrábění rovinných ploch, frézy drážkovací a kotoučové pro vytváření drážek a dále frézy kuželové, úhlové a zaoblovací k obrábění tvarových ploch ⁶⁾,
- Podle průběhu břitu – v tomto hledisku rozeznáváme frézy s přímým a šikmým ozubením. Tento rozdíl má vliv především na plynulost záběru břitu do materiálu ⁶⁾,
- Podle provedení a výroby zubů – zde jsou frézy děleny způsobem výroby zubu. Zuby mohou být vyrobeny podsoustružením, podbroušením nebo frézováním ⁶⁾,
- Podle počtu zubů – zde rozeznáváme frézy jemnozubé, polohrubozubé a hrubozubé. Z tohoto výběru jsou frézy voleny v závislosti na prováděné operaci. Jemnozubé frézy jsou voleny výhradně pro operace dokončovací, naopak hrubozubé především pro hrubování ⁶⁾,

- Podle způsobu upínání – v tomto hledisku rozlišujeme frézy nástrčné a stopkové ⁶,
- Podle smyslu otáčení – dle smyslu otáčení frézy je dělíme na pravořezné a levořezné. Toto hledisko se určuje při pohledu od vřetene ⁶,
- Podle počtu dílců – rozlišujeme frézy monolitní, dělené a frézovací hlavy ⁶.

Obr. 3.3 Frézovací nástroje ^[5].

3.2 Technologie vrtání

Vrtání zastupuje výrobu válcových děr v obrobku pomocí rotačních nástrojů. Tento proces je prováděn pomocí hlavního pohybu, kombinovaný s lineárním posuvem, který provádí nástroj. V této technologii rozlišujeme vrtání krátkých děr a hlubokých děr, u kterých lze dosáhnout hloubky až 150x průměr nástroje. Druhů vrtacích operací je velké množství, v následující podkapitole je rozebráno několik nejzákladnějších ^{4,7,8}.



F_c – řezná síla, F_f – posuvová síla, F_p – pasivní síla

Obr. 3.4 Kinematika vrtání ^[4].

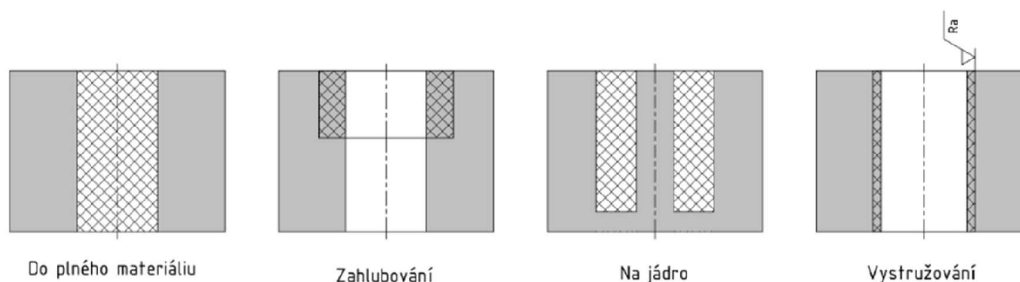
3.2.1 Rozdělení vrtání

Za nejběžnější druh vrtání se dá považovat vrtání do plného materiálu, u kterého je s neustálou inovací nástrojů často možné vrtat díru v jedné operaci bez nutnosti předvrtávání⁸.

U velkých průměrů se používá takzvané vrtání na jádro, při kterém se zvětšuje průměr předvrtané díry. Výhodou tohoto způsobu je, že není třeba takového příkonu vrtacího stroje, jako u vrtání do plného materiálu. Rovněž je možné dosáhnout přesnějších rozměrových úchylek⁸.

Dalším způsobem vrtání a zároveň častou přidruženou operací je zahlubování děr. Zahlubováním se rozumí zvětšení průměru díry do určité hloubky. Zahlubování je prováděno speciálně konstruovaným nástrojem, který ubírá část objemu materiálu polotovaru. Zahloubením se vytváří především dosedací plochy šroubů. Částečně je také možné snížení hmotnosti výrobku⁸.

Jako dokončovací operace při vrtání se využívá tzv. vystružování. Při vystružování je nutné zanechat v původní díře přídavek, který se následně odebírá. Touto metodou je možné dosáhnout kvalitního povrchu a přesných tolerancí⁸.



Obr. 3.5 Rozdělení vrtacích operací.

3.2.2 Vrtací nástroje

Nástroje pro vrtání a přidružené operace jsou rozlišovány především podle tvaru na^{4,6}:

- **Šroubovitě vrtáky** – nejnámější a nejčastěji používaný typ vrtáku. Nejčastěji se jedná o dvoubřitý nástroj s drážkami pro přívod řezné kapaliny a odvod třísek. Materiálem pro výrobu šroubovitých vrtáků je nejčastěji rychlořezná ocel, méně častější jsou vrtáky s připájenou břitovou destičkou ze slinutého karbidu. Šroubovitě vrtáky se dále dělí podle^{4,6}:
 - Tvaru stopky – (válcová, kuželová)
 - Směru otáčení – (pravořezné, levořezné)
 - Délky – (krátké, dlouhé)
 - Úhlu stoupání šroubovice – (malý, střední, velký),

Obr. 3.6 Šroubovitý vrták ^[4].

- Kopinatý vrták – vrtáky disponují vysokou tuhostí. Umožňují vrtat díry velkých průměru do poměru délky $L/D=3/1$. Jejich konstrukce umožňuje přívod chladicí kapaliny středem nástroje. Nevýhodou těchto vrtáků je kvalita obrobene díry, která je zpravidla horší než při vrtání šroubovitým vrtákem. Břitové destičky jsou vyráběny buď z rychlořezných ocelí nebo slinutých karbidů ^{4,6},

Obr. 3.7 Kopinatý vrták ^[4].

- Dělové a hlavňové vrtáky – určeny především pro vrtání hlubokých děr. Dělové vrtáky je nutné po vyvrtání určité hloubky vytáhnout pro odstranění třísky, kterou geometrie vrtáku neodstraňuje. Pomocí hlavňového vrtáku je možné dosáhnout vyšší přesnosti obráběných děr. Řezná část, která je vyráběna z rychlořezné oceli nebo slinutého karbidu je připájena na konec trubky nebo tyče potřebné délky. Při vrtání těmito typy vrtáku se používají speciálně upravené soustruhy ^{4,6},

Obr. 3.8 Dělový vrták ^[8].

- **Středicí vrták** - speciální typ vrtáku, který je určený pro navrtání středícího důlku v ose obrobku pro následně snazší upnutí. Rozlišujeme tři typy těchto vrtáků, typy A, B a R, které se liší tvarem přechodu mezi navrtávací a zahlubovací částí^{4,6},



Obr. 3.9 Středicí vrták typu A^[4].

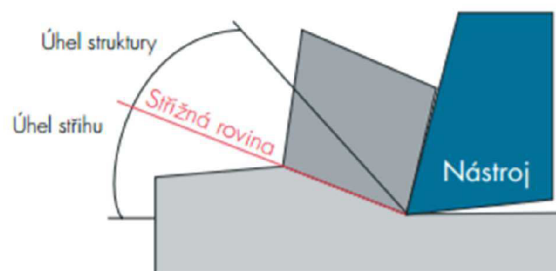
- **BTA a STS vrtáky** - speciální vrtací hlavy, umožňující jak vrtání do plného materiálu, tak i do předvrtaných děr. Hlavice pro vrtání do plného materiálu jsou vyráběny maximálně do průměru 180 mm. Hlavice pro vrtání do předvrtaných děr lze dosáhnout průměrů v rozsahu 120 až 300 mm. Řezná kapalina je přiváděna mezi tělem vrtáku a stěnou vrtané díry. Při odvodu kapaliny z díry s sebou odvádí rovněž třísky a tento „odpad“ je odváděn středem vrtací hlavice ven z místa řezu^{4,6}.



Obr. 3.10 STS vrtací hlavice firmy Sandvik Coromant^[8].

3.3 Způsob tvorby třísky

Při obrábění vniká nástroj do obrobku, který se následně deformuje. Materiál, který je při třískovém obrábění odebírán ve tvaru lamel, které se pohybují ve směru střížné roviny (viz. obr. 3.11 Tvorba třísky)^{6,7}.



Obr. 3.11 Tvorba třísky^[6].

Střížná rovina (viz. obr. 3.11) je vypočítána dle následujícího vztahu. Je závislá na ortogonálním úhlu řezu a třecím úhlu, mezi odcházející třískou a čelem nástroje ²⁰.

$$\varphi = 90^\circ - \frac{\varphi_t - \delta_o}{2} [^\circ]$$

φ ...úhel střížné roviny [°]

φ_t ...třecí úhel [°]

δ_o ...ortogonální úhel řezu [°]

3.3.1 Typy třísek

Obecně jsou rozlišovány tři základní typy tvorby třísek. Typ třísky je významně ovlivněn vzájemným působením smykového napětí a smykové deformace obráběného materiálu. Při samotném obrábění se mohou jednotlivé typy třísek překrývat a tvořit kombinace. Tři základní typy třísek jsou ⁶:

- Plynulá tříska – prvním z uvedených typů. Třísky jsou souvislé a všechny mají stejný tvar. Spodní strana je charakteristická hladkým povrchem. Tříska je plynule odváděna z polotovaru a její elementy nejsou v oblasti stříhu odděleny, ale plynule deformovány. Podmínkou pro tvorbu plynulé třísky je houževnatý materiál a příznivé řezné podmínky ⁶,
- Dělená tříska – charakteristickými rysy tohoto typu třísky jsou jednotlivé nesouvislé části, které jsou na povrchu vroubkované. Lamely třísky se ve střížné rovině oddělují a následně opět svažují dohromady. Tento typ třísky vzniká, za předpokladu příliš malého úhlu čela, vibrací při obrábění, velké hloubce řezu a malé řezné rychlosti ⁶,
- Drobivá tříska (lámavá) – je dána nesouvislými částmi třísky, které jsou vyznačeny velkou drsností povrchu z důvodu struktury lomu. Tato tříska vzniká především při obrábění křehkých materiálů jako např. tvrzená litina, bronz, mosaz ⁶.

3.3.2 Tvary třísek

Tvar třísky je velmi důležitým faktorem pro dlouhou životnost nástroje a kvalitní povrch obrobku. Tvar je ovlivněn mnoha faktory, působících při procesu obrábění. Tvary třísek se nesmějí zaměňovat s typy třísek ^{6,7}.

Nejdůležitějšími faktory, které ovlivňují výsledný tvar třísky jsou ⁶:

- Vlastnosti obráběného materiálu,
- Geometrie nástroje a tvar bříty,
- Řezné podmínky,
- Materiál nástroje.

Tvary třísek podle jejich příznivosti na výsledný obrobek ⁶:

- Příznivé: - Šroubová lámavá tříška,
- Spirálová lámavá tříška,
- Kousky spirálové třísky,



Obr. 3.12a ^[6]
Šroubová lámavá tříška.



Obr. 3.12b ^[6]
Spirálová lámavá.



Obr. 3.12c ^[6]
Kousky spirálové třísky.

- Uspokojivé: - Kousky lámavé třísky,
- Šroubová tříška,



Obr. 3.12d ^[6]
Kousky lámavé třísky.



Obr. 3.12e ^[6]
Šroubová tříška.

- Nepříznivé: - Pásková tříška,
- Smotaná tříška.



Obr. 3.12f ^[6]
Pásková tříška.



Obr. 3.12g ^[6]
Smotaná tříška.

4 ZPŮSOBY UPÍNÁNÍ OBROBKU PŘI FRÉZOVÁNÍ

Při frézování vznikají vlivem obrábění několika zuby současně velké řezné síly, což klade velký důraz na spolehlivé upnutí obrobku. Při upínání polotovaru je důležité zohlednit potřebnou upínací sílu, která však polotovar nesmí deformovat a dále ho umístit tak, aby byl co nejbliže vřetenu^{3,9,10}.

Při upínání menších obrobků jsou nejčastěji využívány následující přípravky¹⁰:

- Pevný strojní svěrák (Obr. 4.1),
- Otočný sklopný svěrák (Obr. 4.2),
- Samostředící svěrák pro válcové součásti (Obr. 4.3).

Tyto svěráky je možné ovládat jak ručně, pneumaticky, tak i hydraulicky.



Obr. 4.1 Pevný strojní svěrák^[10].

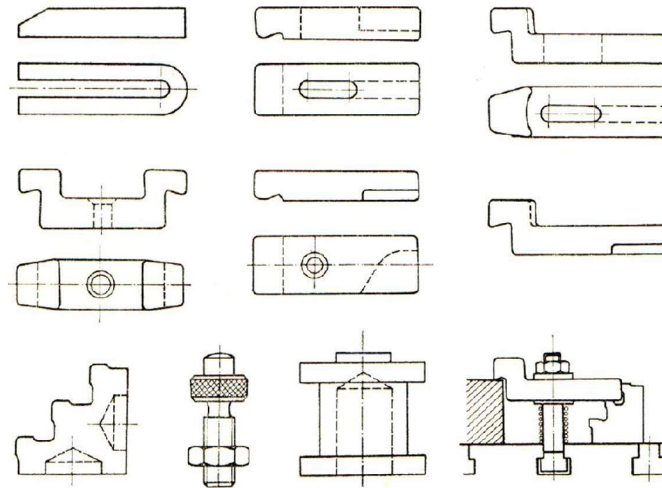


Obr. 4.2 Otočný sklopný svěrák^[10].



Obr. 4.3 Samostředící svěrák^[10].

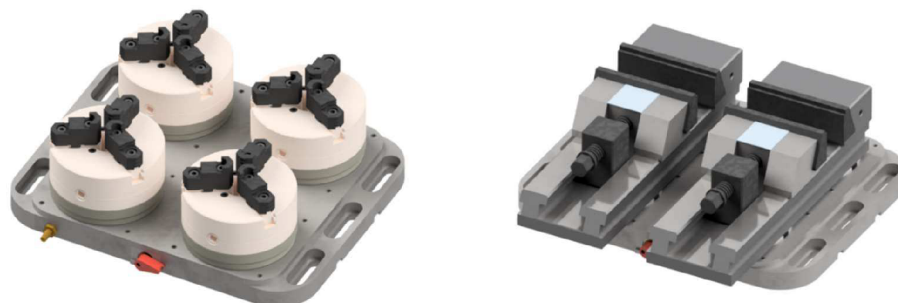
Při upínání rozměrově větších obrobků je využíváno různých upínacích pomůcek jako upínky, opěrky, podložky apod., které jsou upínány přímo do T-drážek frézovacího stolu pomocí speciálně navržených šroubů se čtvercovou hlavou. Základní typy upínek jsou uvedeny na obrázku 4.4³.



Obr. 4.4 Základní typy upínacích pomůcek a podpěr^[3].

K upnutí velmi přesných obrobků na číslicově řízených (CNC) frézkách se využívají takzvané technologické palety, pomocí kterých se obrobek může pohybovat mezi různými obráběcími stroji podle požadavků technologického postupu. Technologická paleta má na stroji přesně dané místo, na které je před obráběním připevněna. Díky tomu je upínání rychlejší, jelikož odpadá časově náročné upínání a seřizování polohy obrobku³.

Jako příklad může být uvedena moderní upínací sestava ZERO-POINT vyráběná společností v-tech s.r.o. Na obrázku 4.5 jsou uvedeny dvě varianty této technologické palety. První z variant obsahuje 4 upínací sklíčidla, druhá disponuje dvěma strojními svěraky⁹.



Obr. 4.5 Upínací systém ZERO-POINT firmy v-tech s.r.o.^[9].

5 NÁVRH MATERIÁLU A JEHO VLASTNOSTI

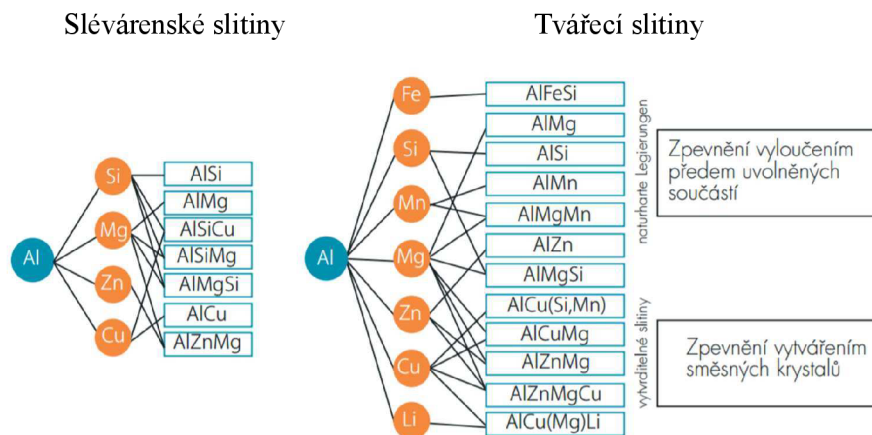
Od následující kapitoly se obsah práce dostává k praktické části, kde jsou rozebrány a popsány jednotlivé kroky vedoucí k navržení technologie výroby řešené součásti.

V kapitole jsou popsány oba materiály, ze kterých je součást vyráběna. Jak hliníková slitina, tak i konstrukční ocel, která je použita dále pro technologický postup.

5.1 Slitina hliníku

Hliníkové materiály jsou rozdělovány do dvou základních skupin. V první skupině, tedy v tvářecích slitinách, je dominantní plastická tvařitelnost. Druhou skupinou jsou pak slitiny slévárenské, u které je podstatná její zabíhavost ⁶.

Dále se pak slitiny hliníku dělí na vytvrditelné a nevytvrditelné, v závislosti na legujících přísadách ve slitině. Nejběžnějšími legujícími prvky v hliníkových slitinách jsou hořčík, křemík, zinek, měď a mangan ⁶.



Obr. 5.1 Rozdělení hliníkových slitin ^[6].

Slitiny hliníku jsou obecně považovány za snadno obrobitelné. Oproti oceli se stejnou pevností je při obrábění hliníkové slitiny zapotřebí podstatně menší řezné síly, která je zhruba 30 % ve srovnání s ocelí podobných pevnostních vlastností ⁶.

Komplikace mohou nastat při soustružení hliníkových slitin, z důvodu tvorby dlouhých a těžko oddělitelných třísek, které mohou poškodit již obrobený povrch ⁶.

Životnost nástroje při obrábění hliníkové slitiny se může pohybovat ve velkém rozsahu, nejdůležitějším faktorem z hlediska opotřebení je opotřebení plochy hřbetu nástroje, jelikož při obrábění hliníkové slitiny nedochází k vymílání ⁶.

5.1.1 Polotovár z hliníkové slitiny

Východím polotovarem pro součást v případě volby hliníkové slitiny je slitina hliníku EN AW 7075, značena dle ČSN 42 4222. Polotovár je dodáván v kruhové tyči a následně dělen pásovou pilou na Ø65x75 mm. Chemické složení slitiny je uvedeno v tabulce 5.1. Materiálové vlastnosti slitiny jsou následně uvedeny v tabulce 5.2.

Tab. 5.1 Chemické složení hliníkové slitiny AW 7075 ^[19].

Označení		Chemické složení [%]							
EN	DIN	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
AW 7075	AlZnMgCu1,5	≤ 0,4	≤ 0,5	1,2 – 2,0	≤ 0,3	1,2 – 0,2	0,18 – 0,28	5,1 – 6,1	≤ 0,2

Tab. 5.2 Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny AW 7075 ^[19].

Označení	Stav	Rm [MPa]		Rp _{0,2} [MPa]	Tažnost [%]
		min	max		
AW 7075	0		275	max. 165	10
AlZnMgCu1,5	T6	530		480	6

Stav 0 – materiál je žíhaný

Stav T6 – materiál podstoupil rozpouštěcí žíhání a následné stárnutí. Rozpouštěcí žíhání probíhá za teplot 470 – 480 °C s následným ochlazením ve vodě. Následující stárnutí probíhá ve dvou krocích. V prvním kroku je materiál zahříván na teplotu 115 až 125 °C po dobu 12 až 24hodin. V druhém kroku následuje zvýšení teploty na 165 až 180 °C na dobu 4 až 6hodin ¹⁹.

Hliníková slitina EN AW 7075 je výhradně využívána v odvětvích, které vyžadují kombinaci vysoké tvrdosti a nízké hmotnosti, naopak nevýhodou tohoto materiálu je náchylnost k atmosférické korozi a vzniku vrubů, které můžou při měnící se zátěži vést k prasklinám. Nicméně tato záporná vlastnost nemusí být při způsobu využití řešené součásti brána v potaz.

5.2 Konstrukční ocel

Druhou variantou materiálu pro výrobu řešené součásti je využití neušlechtilé uhlíkové konstrukční oceli třídy 11. Tyto oceli mají zaručenou čistotu, obsah fosforu a síry a minimální hodnoty mechanických vlastností jako je mez pevnosti v tahu, mez kluzu a tažnost ¹³.

Konkrétní ocel, která je použita pro výrobu řešené součásti, ocel ČSN 41 1109, patří do zvláštní skupiny ocelí, které jsou nazývány oceli automatové. Automatové oceli obsahují až 0,2% síry, která je vázána zvýšeným obsahem manganu (cca 1%) na MnS. Tento druh ocelí je charakteristický dobrou obrobiteľností s kvalitním povrchem při obrábění za velkých rezných rychlostí a snadnou lámavostí třísky ¹³.

5.2.1 Polotovar z konstrukční oceli

Hutní polotovar oceli ČSN 41 1109 je dodáván v tyčích válcovaných zastudena. Tyč je dále dělena pásovou pilou na $\text{Ø}65 \times 75$ mm. Chemické složení oceli ČSN 41 1109 a její mechanické vlastnosti jsou uvedeny v následujících tabulkách.

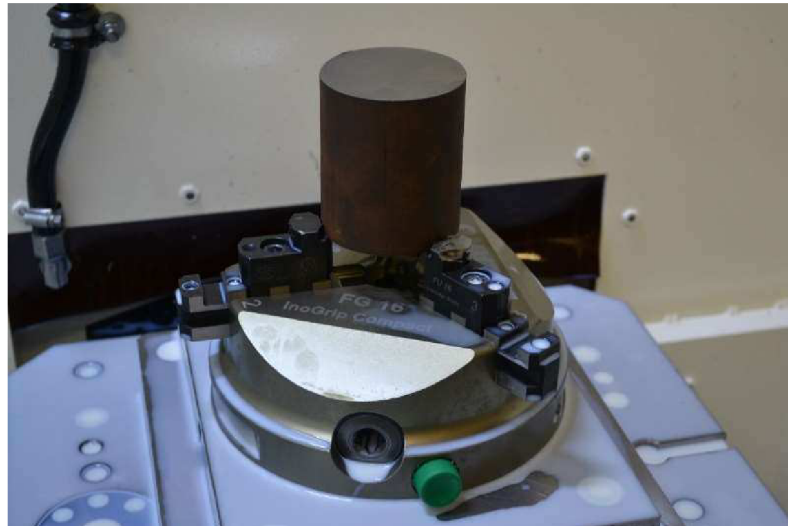
Tab. 5.3 Chemické složení oceli ČSN 41 1109 [14].

Označení			Chemické složení [%]			
ČSN	EN	DIN	C	Mn	P	S
41 1109	11SMn30	9SMn28	$\leq 0,13$	0,9 – 1,5	0,1	0,21 – 0,32

Tab. 5.4 Mechanické vlastnosti oceli ČSN 41 1109 [14].

Označení	Provedení	Rm [MPa]	Re [MPa]
11 109	Tepelně nezpracované	380 - 520	≥ 215

Na obrázku 5.2 je znázorněno upnutí polotovaru do sklíčidla pro zahájení samotného frézování součásti.



Obr. 5.2 Upnutý polotovar v obráběcím centru.

6 VÝBĚR STROJŮ A NÁSTROJŮ

Výběr vhodných strojů a nástrojů podstatně ovlivňuje kvalitu, rychlost a efektivitu obrábění. V této kapitole jsou popsány parametry strojů a nástrojů vhodných k výrobě řešené součásti.

6.1 Výběr strojového parku

- Pásová pila Pilous ARG 130 – universální pásová pila pro řezání kovových hutních polotovarů. Vhodná pro řezání tyčí do průměr 130 mm. Technické údaje pily jsou uvedeny v tabulce 6.1 ¹².



Obr. 6.1 Pásová pila Pilous ARG 130 ¹².

Tab. 6.1 Parametry pásové pily ¹².

Hlavní motor	230 V / 50 Hz / 0,55 kW; 400 V / 50 Hz / 0,37/0,55 kW
Motor čerpadla	230 V / 50 Hz / 0,065 kW; 400 V / 50 Hz / 0,05 kW
Rychlost pásu	75 m/min. / 40/80 m/min.
Pracovní výška svěráku (s podstavcem)	905 mm
Nádrž chladicí kapaliny	cca 15l
Rozměry stroje	1600 x 800 x 1100 mm
Hmotnost stroje	99 kg

- Obráběcí centrum DMU 60 evo linear – pětiosé obráběcí centrum s řídicím systémem Heidenhain ^[11].



Obr. 6.2 CNC centrum DMU 60 evo linear ^[11].

Tab. 6.2 Parametry obráběcího centra ^[11].

Pojezd v osách X, Y a Z	600 x 500 x 500 mm
Upínací plocha stolu	600 x 500 mm
Maximální zatížení stolu	400 kg
Maximální otáčky vřetena	18 000 ot/min
Počet míst v zásobníku nástrojů	30
Rozměry stroje (Š x D x V)	2 150 x 2 830 x 2 780 mm

6.2 Nástrojový list

Nástrojový list je dokument, který shrnuje důležité informace o použitých nástrojích při výrobě. Jeho obsahem je značení nástrojů, které odpovídá značení v technologickém postupu, výrobce nástrojů a identifikační číslo, podle kterého je možné nástroje dohledat u výrobce.

Nástrojový list je k dispozici pro nahlédnutí zařazen do příloh této práce.

7 TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Technologický postup je část výrobního postupu, který popisuje dílčí kroky v průběhu změn tvaru či vlastností zpracovávané součásti a zároveň dokument, který obsahuje sled technologií a operací při výrobě požadované součásti.

V přiloženém technologickém postupu jsou uvedeny řezné podmínky, vycházející z mechanických vlastností materiálu, technického vybavení výroby a výsledků simulace obrábění ze softwaru iMachining pro SolidCAM. Řezné podmínky je nutné v průběhu výroby upravit pro optimální výsledek.

Technologický postup navržený pro řešenou součást je k dispozici pro nahlédnutí zařazen do příloh této práce.

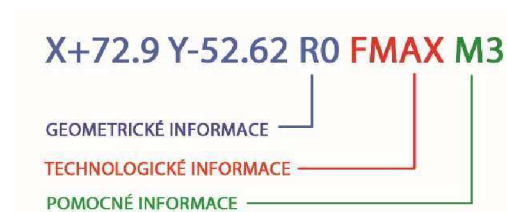
8 NC PROGRAM

Obrábění pomocí číslicově řízených strojů je v dnešní době nedílnou součástí drtivé většiny výrobních strojírenských provozů. Výhoda použití CNC strojů je především při obrábění tvarově složitých součástí, nebo při výrobě velkých sériích, kde by použití konvenční techniky bylo příliš složité a časově náročné^{17,18}.

Aby bylo možné s číslicově řízeným strojem pracovat, je nutné sestavit vhodný program, kterým bude stroj řízen. Existuje více řídicích systémů, ve kterých jsou tyto programy tvořeny, ať už se jedná o universální jazyky např. Heidenhain, který je instalován do námi použitého obráběcího centra, nebo speciálně navržené systémy konkrétních výrobců obráběcích strojů jako je Mazak^{17,18}.

8.1 Základ NC programu a jeho funkce

Samotný program je skládán z bloků, které obsahují jednotlivé příkazy. Příkazy jsou skládány z dvou částí, části adresové a významové. Ukázka jednoho bloku z použitého programu v části oddělení obrobku od zbylého polotovaru je zobrazena na obr. 8.1¹⁷.



Obr. 8.1 Ukázka bloku.

Příkazy, kterými je tvořen NC kód (NC program) jsou tvořeny jednotlivými funkcemi, které rozdělujeme podle jejich významu na přípravné G funkce a pomocné M funkce. Funkce jsou dány normou ISO 6983, která rozlišuje funkce v řadě G00 – G99 a M00 – M99, které jsou závazné¹⁷.

Přípravné G funkce zpracovávají geometrické informace z bloku. Následně vydávají povely stroji k vykonávání například pohybů či operaci jako je vrtání. Základní G funkce jsou uvedeny v tabulce 8.1¹⁷.

Tab. 8.1 Výběr základních G funkcí ^[18].

Název	Význam
G00	Rychloposuv
G01	Lineární posuv
G02	Kruhová interpolace ve smyslu otáčení
G04	Časově předurčená prodleva
G50	Omezení otáček stroje
G90	Absolutní programování
G94	Minutový posuv [1/min]
G95	Otáčkový posuv [1/ot]

Pomocné M funkce mají za úkol vyvolat specifické činnosti stroje, jako např. zapnutí a vypnutí otáčení vřetene, chlazení atd. Základní M funkce jsou uvedeny v tabulce 8.2 ¹⁸.

Tab 8.2 Výběr základních M funkcí ^[18].

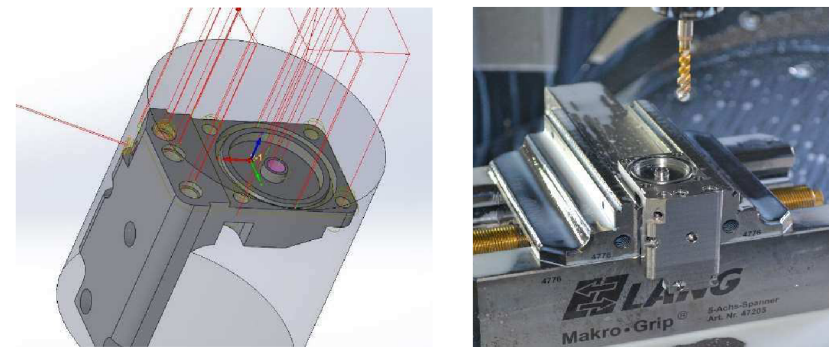
Název	Význam
M00/M01	Programový stop
M03	Otáčky vřetena vpravo
M04	Otáčky vřetena vlevo
M05	Vypnutí vřetena
M17	Konec podprogramu
M02/M30	Konce hlavního programu

8.2 Ukázka programu řešené součásti

V tabulce 8.3 je rozebrána operace vrtání závitu M6 na spodní straně součásti spolu s vizualizací drah nástroje a reálnou fotografií z průběhu obrábění. NC program byl vytvořen v CAM softwaru Solidcam.

Tab. 8.3 NC program pro vytvoření závitu na součásti.

Znázornění



NC kód pro danou operaci

```

1931 TOOL CALL 65 Z S160
1932 TOOL DEF 1
1933 ;
1934 CALL LBL 202 ;Mac 2 Position 1
1935 ;Stejna poloha
1936 CALL LBL 251 ;Nastavit polohu
1937 L M8 ;Kapalina
1938 L M23
1939 L X+21.6 Y-1.5 R0 FMAX M3
1940 L Z+50 R0 FMAX
1941 CYCL DEF 209 VRTANI ZAVITU S LOMEM TRISKY
1942 CALL LBL 2 ;vrtání11
1943 L Z+50 R0 FMAX
1944 ;
1945 L M5
1946 L M23
1947 L Z+0 R0 FMAX M92
1948 L X+0 Y+0 FMAX M92
1949 CALL LBL 252 ;Reset roviny obrabeni
1950 PLANE RESET TURN FMAX
1951 L M30

```


9 POVRCHOVÁ ÚPRAVA

Ke zlepšení mechanických i vizuálních vlastností je vhodné obrobek opatřit povrchovou úpravou. Metod, které se využívají ke zkvalitnění povrchu jednotlivých materiálů je v dnešní době velké množství, a každá dodá výrobku požadované specifické vlastnosti. Zvolením vhodné povrchové úpravy lze nahradit drahý materiál levnějším, s ne tak dobrými mechanickými vlastnostmi a následnou úpravou tyto vlastnosti značně vylepšit^{15,16}.

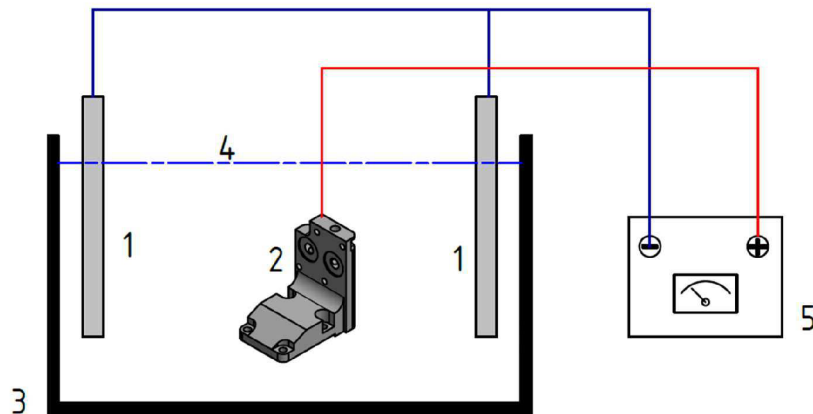
Při výrobě námi řešené součásti se využívá dvou metod povrchové úpravy v závislosti na obráběném materiálu, kterým může být ocel nebo hliníková slitina.

9.1 Eloxování

Eloxování neboli anodická oxidace je proces, který probíhá na principu elektrolýzy. Tato úprava patří mezi nejrozšířenější povrchové úpravy. Eloxování je využíváno k vytvoření oxidové vrstvy na povrchu součásti z hliníkové slitiny¹⁵.

Neupravený povrch vlivem atmosféry oxiduje a vytváří na povrchu oxidickou vrstvu, která materiál chrání před korozi, nicméně přirozená vrstva je velmi slabá. Vzniklá vrstva po eloxování podstatně zvyšuje odolnost proti korozi, ořezuvzdornost a tvrdost¹⁵.

Principem anodické oxidace je chemická reakce, která probíhá v lázni, tvořené elektrolytem (viz. obr. 9.1 Princip anodické oxidace). Vedením stejnosměrného proudu mezi anodou a katodou, kterou je eloxovaná součást se vytvoří na předmětech povlak hydroxidu hlinitého $\text{Al}(\text{OH})_3$. S rostoucí tloušťkou povlaku je následně bráněno vedení elektrického proudu, při čemž dochází k výraznému ohřevu kovu, díky čemu se vrstva hydroxidu hlinitého přetváří na oxid hlinitý, který disponuje požadovanými mechanickými vlastnostmi¹⁵.



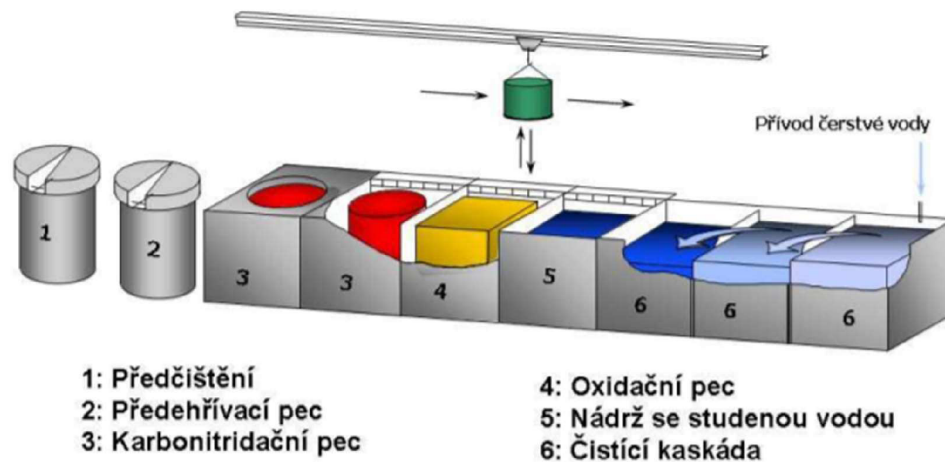
1 – anoda, 2 – katoda, 3 – eloxovací nádoba, 4 – lázeň, 5 – zdroj el. proudu

Obr. 9.1 Princip anodické oxidace.

9.2 Nitridace v solné lázni

Solná lázeň poskytuje materiálu, který je touto úpravou zpracováván, značné zlepšení mechanických vlastností, jako je otěruvzdornost, odolnost vůči korozi, zvýšení meze únavy a kluzu. Tímto způsobem nitridace lze upravovat veškeré typy ocelí a litin¹⁶.

Proces se skládá z několika kroků, které probíhají v oddělených modulech (viz. obr. 9.2 Proces nitridace v solné lázni). Prvním krokem je předčištění, které je prováděno rozstříkáním alkalického čistícího roztoku, které je následováno stříkáním čisté vody. Následujícím krokem je předehřev v peci na 350 až 400 °C po dobu 30 až 120 minut. Dalším krokem je ponoření vsázky do solné taveniny o teplotě 570 až 590 °C, při kterém dochází ke karbonitridaci, kde dochází k nasycení povrchu materiálu atomy dusíku, uhlíku a v malé míře kyslíku. Následuje přemístění do oxidační pece se solnou lázní o teplotě 430 °C a v konečné fázi následuje čištění v sérii čistících nádrží¹⁶.



Obr. 9.2 Proces nitridace v solné lázni^[16].

Metoda nitridace v solné lázni je rozlišována na TENIFER, což je nejstarší způsob nitridace v solné lázni. Při tomto procesu je nutné hlídat nízký obsah železa v materiálu. A dále proces ARCOR, který je využitelný na všechny železné materiály¹⁶.

Příklad vybraných materiálů zpracovávaných technologií ARCOR a jejich následné vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 9.1 Výběr materiálů po zpracování technologií ARCOR¹⁶.

Proces ARCOR se dále dělí na více metod ¹⁶:

- ARCOR V – proces feritické karbo-nitridace, která probíhá za teplot 570 až 590 °C podle zpracovávaného materiálu a požadovaných vlastnostech, materiál získává velmi dobré třecí vlastnosti,
- ARCOR N – austenitická nitrocementace probíhající za teploty 630 °C, vzniká velmi houževnatá vrstva, která chrání materiál před praskáním,
- ARCOR DT – metoda navržená pro nitridaci motorových ventilů při teplotě 490 až 530 °C, slouží jako náhrada tvrdého chromování,
- ARCOR L – karbo-nitridace ve feritické oblasti při teplotě 530 až 590 °C, při této metodě dochází k mírnému zvýšení drsnosti povrchu,
- ARCOR CS – feritická karbo-nitridace při teplotě 500 až 590 °C, při této metodě je dosahováno nejvyšší korozní odolnosti.

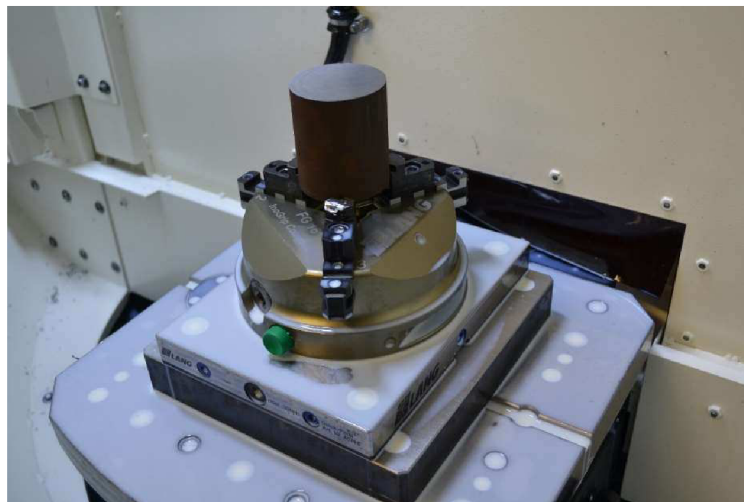
Tab. 9.1 Výběr materiálů a jejich mechanické vlastnosti získané technologií ARCOR V1 ^[16].

Druh materiálu	Označení technologie	Povrchová tvrdost					Max. hloubka nitrid. vrstvy [mm]
		HV0,2	HV0,3	HV1	HV5	HV10	
11 109	ARCOR V1			500-540		250-300	0,40
12 050	ARCOR V1	740-790	720-780	540-580	430-450	370-420	0,50
14 220	ARCOR V1	930-950	880-910	760-790	670-700		0,28
17 240.40	ARCOR V1		1400-1450	1050-1100	440-450		0,09

10 PRŮBĚH VÝROBNÍHO PROCESU

Tato kapitola bakalářské práce je věnována popisu s fotodokumentací samotné výroby řešené součásti, která byla pořízena ve společnosti Saab Czech s.r.o. při výrobě reprezentativního vzorku.

V prvním kroku výroby bylo nutné dostatečně upnout polotvar do obráběcího centra. K tomu bylo využito sklíčidlo, které zajišťuje dostatečnou oporu a disponuje natolik velkou upínací silou, že je naprosto zamezeno jakémukoliv nechtěnému pohybu obrobku, které by mohlo mít nežádoucí vliv jak na kvalitu výroby, tak i na bezpečnost.



Obr. 10.1 Upnutí polotovaru ve sklíčidle.

Následně, po bezpečném upnutí obrobku, je polotvar převeden do pracovního prostoru stroje, kde před samotným zahájením obrábění je pomocí 3D dotykové sondy přesně definována poloha polotovaru.



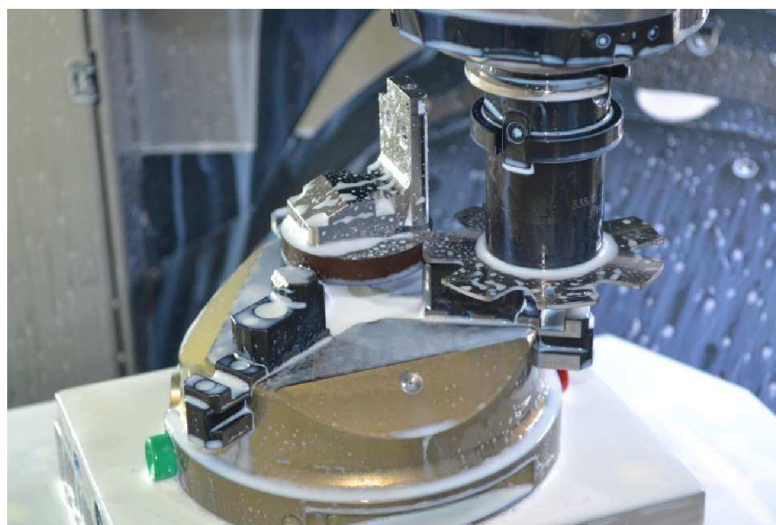
Obr. 10.2 Definování polohy polotovaru.

Při procesu obrábění je v hojné míře využíváno řezné kapaliny, která má za úkol snížit práci vlivem tření, snížit intenzitu otupení nástroje, odvést teplo z místa řezu a třísku, která by mohla poškodit již obrobený povrch. Nejčastěji se jako řezné kapaliny využívají roztoky mýdel, vodní roztoky uhličitanu, křemičitanu nebo dusičnanu sodného.



Obr. 10.3 Přívádění řezné kapaliny.

Po obrobení horní části obrobku následuje oddělení obrobené části od zbytku polotovaru, za který byl upnutý ve sklíčidle. Oddělení kotoučovou pilou je voleno proto, aby nebyl zbytečně opotřebován nástroj na odfrézování přebytečného materiálu. Obrobek však není odřezán úplně, aby nedošlo k poškození stroje. Nařezaná je jen část, pro zaručení přesného řezu, který je dokončen ručně.



Obr. 10.4 Oddělení obrobku od části pro upnutí.

Upnutí pro obrábění druhé strany obrobku je prováděno sevřením do svěráku, ve kterém je obrobek podepřen ocelovou podložkou do požadované výšky.



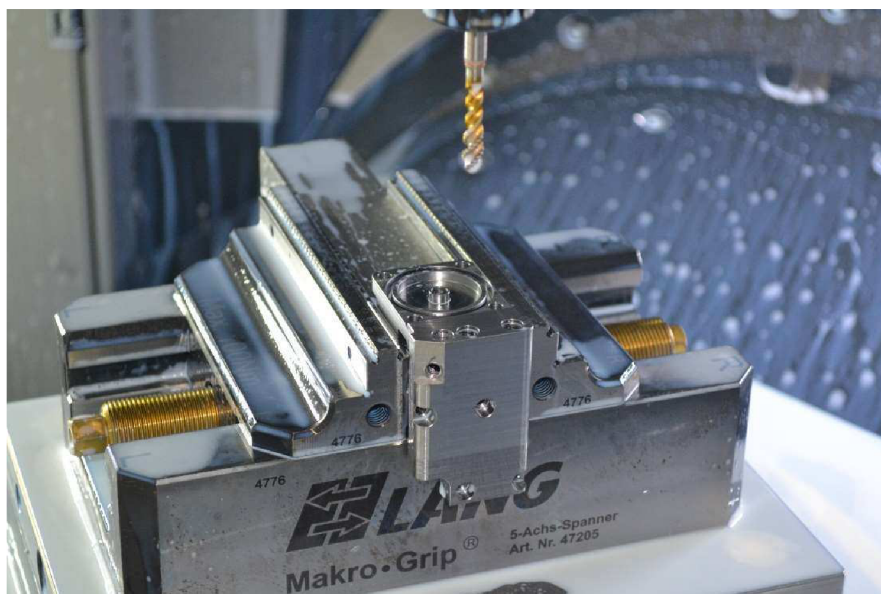
Obr. 10.5 Upnutí obrobku ve svěráku.

Pomocí 5osých frézovacích center je možné podstatně zkrátit čas obrábění. To především proto, že namísto dalšího upínání, aby bylo možné obrobit i jinak nedostupná místa, lze u těchto moderních strojů přímo naklopit lože s upnutým obrobkem a kolem něj dále pohybovat snadněji nástrojem.



Obr. 10.6 5osé frézování.

Bezprostředně po vyvrtání děr je možné vyrobít v součásti závit. CNC obráběcí centrum disponuje velkým zásobníkem nástrojů, tudíž čas na jejich výměnu je minimální.



Obr. 10.7 Výroba závitu.

11 ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

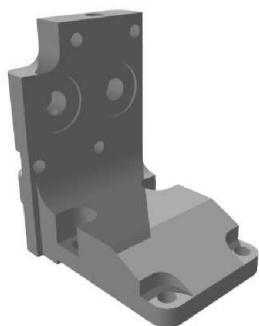
Na základě stávající výroby součásti, působící v pneumatickém mechanismu simulátoru automatické zbraně Minimi FN M249 byl navržen technologický postup výroby pro součást z materiálu automatové oceli ČSN 41 1109.

Technologický postup je zhotoven pro dílčí kroky výrobních operací od dělení materiálu, přes upnutí polotovaru ve stroji, až po jeho výrobu na CNC frézovacím centru DMU 60 evo linear.

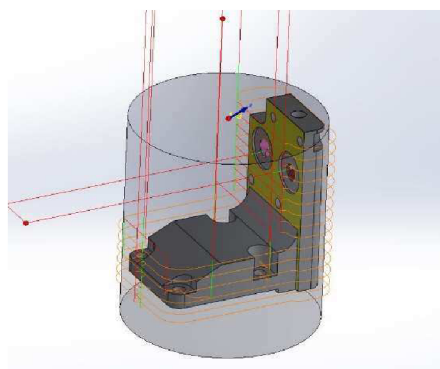
Další přílohou této bakalářské práce je nástrojový list, obsahující kompletní seznam vhodných nástrojů k výrobě dané součásti. Tyto konkrétní nástroje byly voleny pouze orientačně a je možné je nahradit typově stejnými nástroji jiného výrobce.

Po zvolení nástrojů a jejich nadefinování do CAM softwaru Solidcam, pomocí kterého bylo provedeno naprogramování výroby a vytvoření NC kódu, byla zahájena samotná výroba součásti. Polotovar pro výrobu byl stanoven jako kruhová tyč o $\varnothing 65$ mm dělený pásovou pilou na délku 75 mm.

Posledním výrobním krokem před finálním dokončením je nutné na obrobku provést povrchovou úpravu, jak pro zlepšení mechanických vlastností původního materiálu, tak i pro ochranu před korozi a zlepšení jakosti povrchu. Jako vhodná povrchová úprava pro danou funkci součásti byla navržena nitridace v solné lázni, která však na prezentačním modelu nebyla aplikována z finančních důvodů.



Obr. 11.1 CAD model.



Obr. 11.2 Simulace drah nástroje.



Obr. 11.3 Upnutý polotovar.



Obr. 11.4 Obráběná součást.

12 ZÁVĚR

Tématem bakalářské práce bylo navržení výroby a samotná výroba součásti, která slouží jako část pneumatického mechanismu simulátoru automatické zbraně Minimi FN M249. V úvodní části práce je rozebrána problematika obráběcích operací nutných k výrobě součásti.

Druhou částí práce jsou již dílčí kroky návrhu postupu výroby od návrhu materiálu, až po zvolení vhodné povrchové úpravy. Součást je vyráběna obráběním na CNC frézovacím centru DMU evo 60 linear od výrobce DMG Mori.

Výchozím polotovarem je zvolena automatová ocel ČSN 41 1109, z původního polotovaru tyče Ø65x75 mm, s velmi dobrou obrobiteľností. Součást malých rozměrů obsahuje několik děr s velkou hloubkou, které jsou složité na výrobu a vyžadují maximální přesnost výroby.

Pro následnou výrobu byl sestaven nástrojový list, který je obsahem přílohové části. Samostatnou přílohou je také technologický postup, obsahující dílčí kroky výroby od přípravy polotovaru, přes jeho upnutí ve stroji až po frézovací operace.

Po obrobení součástí je doporučeno provést povrchovou úpravu nitridací v solné lázni, označovaná jako technologie ARCOR. Tato technologie je zvolena pro dosažení lepších mechanických vlastností materiálu, které se po provedení úpravy mohou rovnat s vlastnostmi dražších materiálů.

SEZNAM ZDROJŮ

- [1] SAAB Czech s.r.o. [online]. Slavkov u Brna: www.saab.com, 2011 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://saab.com/cs-CZ/region/czech-republic/o-spolecnosti/company-profile/czech-in-slavkov/>
- [2] *Technika a trh* [online]. Brno: CCB spol., 2016 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <https://www.technikaatrh.cz/it-ve-vyrobe/simulatory-saab-ze-slavkova-nabizeji-ziskani-zkusenosti-bez-nebezpeci?device=desktop>
- [3] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 1. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, 138 s. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [4] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 2. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004, 94 s. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
- [5] Frézovací nástroje. In: [Http://www.for-metal.pl](http://www.for-metal.pl) [online]. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://www.for-metal.pl/sites/default/files/frezy.jpg>
- [6] GARANT příručka obrábění. s.l: s.n, 2006, obj.č. 11 0950, vydání kat. 34, 641 s.
- [7] DE VOS, Patrick a Jan-Eric STÅHL. *Obrábění kovů: teorie v praxi*. Lund : Fagersta: Division of Production and Materials Engineering, Lund University ; Seco Tools AB, 2014, 184 stran : barevné ilustrace, fotografie.
- [8] *Technická příručka obrábění: soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů*. Praha: Sandvik Coromant, 2005, [601] s. : il. (převážně barev.).
- [9] V-tech s.r.o. [online]. Přerov nad Labem: v-tech, 2008 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://v-techsro.cz/>
- [10] Svěráky. *I-frézy: MT-nástroje* [online]. Moravská Třebová: MT-nástroje [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <https://www.i-frezy.cz/i-frezy/eshop/18-1-Sveraky>
- [11] Pásová pila. *Pilous* [online]. Brno: Pilous [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://pilous.cz/metal/pasove-pily-na-kov/manualni/arg-130/>
- [12] CNC frézovací centrum. *DMG Mori* [online]. Brno: DMG Mori [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://cz.dmgmori.com/products/milling-machines/universal-milling-machines-for-5-sided-5-axis-machining/dmu-evo/dmu-60-evo-linear>
- [13] *Tumlikovo* [online]. Tumlikovo [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/>
- [14] Polotovary z konstrukční oceli. *CZ FERRO - STEEL, spol. s r.o* [online]. Napajedla: CZ FERRO - STEEL [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/cz/nas-sortiment/tycova-ocel-tazena-za-studena--kruhova/>
- [15] ARCOR. *Katring plus s.r.o.* [online]. Praha: Katring plus, 2017 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://www.katringplus.cz/index.php?nid=9686&lid=cs&oid=2119727>

- [16] Eloxování. *Bomex - CZ s.r.o.* [online]. Vsetín: Bomex, 2016 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <https://www.bomex.cz/technologie/eloxovani>
- [17] NC programování. *FACTORY AUTOMATION* [online]. FANUC, 2015 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/zaklady-cnc-programovani-tuhle-terminologii-musite-znat/>
- [18] KUBÍČEK, Jaromír. CNC Obrábění. In: <https://www.pslib.cz> [online]. Liberec: SPŠSE a VOŠ LIBEREC [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: https://www.pslib.cz/komplex_CNC_a_CAM/files/Prezentace_PDF/Komplex_CNC_Kk_04.pdf
- [19] ALFUN hliníková slitina. *ALFUN* [online]. Bruntál [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/hlinik>
- [20] KOČMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1: Technologický postup

Příloha č.2: Nástrojový list

Příloha č.3: Výkres součásti

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

<u>Název</u>	<u>Značka</u>	<u>Jednotka</u>
Frekvence	f	[Hz]
Hmotnost	m	[kg]
Napětí	U	[V]
Ortogonální úhel řezu	δ_o	[°]
Otáčky	n	[ot/min]
Pasivní síla	F_p	[N]
Posuvová síla	F_f	[N]
Rychlost	v	[m/s]
Řezná síla	F_c	[N]
Teplota	T	[°C]
Tlak	p	[MPa]
Třecí úhel	φ_t	[°]
Tvrdost dle Vickerse	HV	[kgF]
Úhel střížné roviny	φ	[°]
Výkon	P	[W]

