



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE VÝROBY FRÉZOVÁNÍM NA CNC STROJÍCH

TECHNOLOGY OF PRODUCTIVE MILLING ON CNC MACHINES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JIŘÍ TRUNDA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL OSIČKA

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Trunda Jiří, Bc.

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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 diplomové práce:

Technologie výroby frézováním na CNC strojích

v anglickém jazyce:

Technology of productive milling on CNC machines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Technologická příprava výroby součástky pro CNC frézovací centrum za použití progresivních frézových nástrojů.

Cíle diplomové práce:

Rozbor obecných možností frézování na CNC strojích.

Rozbor technologičnosti konstrukce.

Řešení technologického postupu.

Návrh technologie pro konkrétní CNC frézovací obráběcí stroj MAS MCV 1016 QUICK včetně řídicího programu pro systém Heidenhain iTNC 530.

Rozbor použití jednotlivých progresivních nástrojů.

Technicko - ekonomické vyhodnocení.

Seznam odborné literatury:

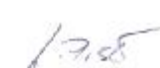
1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. KOČMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. KOČMAN, K. Speciální technologie - Obrábění. 2. vyd. Brno: PC- DIR Real, 1998.
4. SVOBODA, E. Technologie a programování CNC strojů. 1. vyd. H.Brod: FRAGMENT, 1998.
5. PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M., VAČKÁŘ, J. Jakost a metrologie: Část metrologie. 2.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 151 s. ISBN 80-214-1997-0.


Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Osička

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 19.11.2008




doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce, je stanovit a navrhnout optimální variantu výroby dílce sloužící jako podstavec elektronového mikroskopu. Jako výrobní metody je použito třískové obrábění na číslicově řízeném stroji za pomoci využití progresivních řezných nástrojů. Ke zhotovení řídicího programu byl použit 3D CAD/CAM systém od společnosti Solid Vision, s.r.o. Výsledkem práce je kompletní návrh a postup při výrobě dílce, který je v závěru podložen technicko-ekonomickým zhodnocením.

Klíčová slova

CAD/CAM systém, třískové obrábění, vertikální frézovací centrum, řídicí systém Heidenhain iTNC530, technologický postup, řídicí program, přípravek

ABSTRACT

Objective graduation theses, is determining and propound optimal alternate manufacturing section servant as base of electron microscope. As a production method is used chippy cutting on numerical controlled machine behind by the help of usage progressive cutting tools. To construction control program was use 3D CAD/CAM system of Solid Vision, Ltd. Corporation. Product working is complete project and procedure on manufacturing section, that is in finish well-founded technoeconomic evaluation.

Key words

CAD/CAM system, chip machining, vertical milling machine, control system Heidenhain iTNC530, technologic process, control program, preparation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TRUNDA, J. *Technologie výroby frézováním na CNC strojích*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 77s. Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Osička.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Technologie výroby frézování na CNC strojích** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....
Jméno a příjmení diplomanta

Poděkování

Děkuji tímto **Ing. Karlovi Osičkovi** za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Dále bych poděkoval **Radimovi Reňákovi** a spolupracujícímu kolektivu firmy SPOLMETAL s.r.o. za cenné rady a ochotu při vypracovávání tohoto projektu.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod	9
1 Nasazování CNC strojů do výroby.....	10
1.1 Důvody nasazování CNC strojů	10
1.2 Vývoj CNC strojů	10
1.3 Vlastnosti a konstrukce CNC strojů	12
1.3.1 Hlavní přednosti obráběcích center:	12
1.3.2 Hlavní části obráběcích center.....	12
1.4 Volba obráběcího centra a jeho vybavení.....	12
1.5 Pohony stroje.....	14
1.6 Zásobníky nástrojů	15
2 Programování frézovacích center	17
2.1 Souřadnicové systémy stroje	17
2.2 Vztažné a nulové body.....	18
2.3 Korekce nástrojů	20
2.3.1 Korekce délkové	20
2.3.2 Korekce průměrové.....	21
2.3.3 Korekce rádiusové	23
2.4 Struktura programu.....	24
2.4.1 Stavba věty (bloku)	25
2.4.2 Význam nejběžnějších přípravných a pomocných funkcí dle norem ISO	25
2.4.3 Pevné cykly na CNC frézkách.....	26
2.4.4 Podprogramy na CNC frézkách.....	28
2.5 Tvorba programu.....	29
2.6 CAD/CAM systém	31
3 Vertikální frézovací centrum mcv 1016 quick	32
3.1 Technické parametry	33
3.2 Ovládací panel.....	34
3.3 Příslušenství	35
4 Zhotovení technické dokumentace pro danou součást.....	36
4.1 Volba materiálu obrobku	36
4.2 Volba nástrojů a držáků	40
4.3 Technologický postup.....	40
4.4 Přípravek	50
5 Zpracování cnc programu pro danou součást	51
5.1 Rozbor chronologie programu	51
5.2 Simulace NC programu na stroji.....	54
5.3 Výroba na stroji	56
6 Technicko-ekonomické zhodnocení výroby	57
6.1 Náklady na vypálení polotovaru	57
6.2 Náklady na úhlování polotovaru	58
6.3 Náklady na výrobu přípravku	58

6.4 Náklady na výrobu součásti	59
6.5 Konečné náklady na výrobu	60
Závěr	61
Seznam použitých zdrojů	62
Seznam použitých zkratk a symbolů	64
Seznam příloh	67

ÚVOD

Strojírenství má v naší zemi velkou tradici a také dobrou pověst. Už od dob konce 19. století, bylo české strojírenství téměř na špici. Bylo to způsobeno jednak zručností kovoobraběčů, ale také potřebným vybavením ve strojírenství a to jak z pohledu nástrojů, tak také strojů.

Aby se české strojírenství mohlo i nadále prosazovat na světových a především evropských trzích, musíme tzv. držet krok se světovými trendy výroby a s tím spojeným vybavováním a obnovováním strojového parku.

Pokud naše podniky v minulosti excelovaly ve výrobě součástí za pomoci konvenčních strojů jako např. soustruhů a frézek, v dnešní době, by již těžko obstávaly na již zmiňovaných světových trzích.

Proto se strojové parky začaly vybavovat NC stroji (Numeric Control), které byly ovládány pomocí programů zapsaných na děrnou či magnetickou pásku. Zpočátku byly nejvíce rozšířené u souřadnicových vyvrtávaček, kde pracovním pohybem byl pouze posuv vrtáku. Nevýhodou NC strojů bylo uchovávání záznamů na děrné či magnetické pásce. Často vlivem vlhkosti nebo stárí docházelo ke zničení záznamového média a tím pádem ke ztrátě řídicího programu.

Za pomoci rozvoje výpočetní techniky se přistoupilo k CNC zařízení (Computer Numeric Control), kde program na děrné pásce nahradil pevný disk a čtecí zařízení mikroprocesor, který se v současné době nadále používá. CNC stroje mají oproti NC stroji širokou škálu výhod a prakticky jedinou nevýhodou je vysoká pořizovací cena. Ta ovšem v poslední době začala stagnovat, ba dokonce i klesat. Výhody současného frézování či soustružení se projevují ve vysokém výkonu obrábění, velké přesnosti rozměrů, vynikající jakosti obrobeného povrchu, flexibilitě a v neposlední řadě při obrábění tvarově složitých obrobků, které by jinak nebylo možné vyrobit. Neposlední výhodou CNC strojů je minimalizace chyby způsobené lidským faktorem.

Cílem této diplomové práce je stanovit a navrhnout, optimální variantu výroby podstavce elektronového mikroskopu a to jak z pohledu technologického, tak také z pohledu ekonomického. Nutné je podotknout, že součást bude pracovat ve vakuu.

1 NASAZOVÁNÍ CNC STROJŮ DO VÝROBY

1.1 Důvody nasazování CNC strojů

Jak již bylo zmíněno v úvodu, NC a následně CNC stroje nahrazují konvenční stroje jakožto soustruhy, frézky, brusky apod. Napomohl tomu rozvíjející se design, díky němuž by některé tvary nebylo možné na klasických strojích zhotovit, nebo by výroba dílce byla velice nákladná.

CNC stroje jsou číslicově řízené obráběcí stroje, vybavené vysokým stupněm automatizace, pružně přizpůsobitelné změnám ve výrobě. Pouhou změnou údajů v programu lze provádět menší nebo i větší úpravy na vyráběné součásti.

Jednou z hlavních úloh nasazování CNC techniky do výrobního provozu je výroba součásti na co nejmenší počet upnutí na stroji. Při každém přepnutí obrobku dochází k chybám v podobě nepřesnosti rozměrů nebo špatné geometrie tvaru dílce. Takovým chybám se snažíme předcházet a volit správně tzv. technologické základny.

Dalším důvodem proč nasazovat CNC techniku do výroby je zkrácení času výměny nástroje označovaného jako t_{AX} . Jelikož má každý CNC stroj svůj zásobník nástrojů, není běh stroje závislý na rychlosti výměny nástroje na obsluze. Tím se zkracují nevýrobní časy a zvyšuje se produktivita práce.

CNC systémy nám také umožňují širšího využití při více strojové obsluze, kde lze na jednoho pracovníka přidělit daleko větší počet strojů, než-li tomu bývá u konvenčních strojů.

1.2 Vývoj CNC strojů

Výrobní stroje prodělaly v posledních desítkách let značný vývoj. Je to především v jejich konstrukci a obsluze.

Z klasických konvenčních strojů vznikají přidáním kopírovacího přístroje tzv. kopírovací stroje. Z počátku se jednalo o soustruhy, ale později sem řadíme i frézky (pantografy). Byl to jakýsi skok v mechanizaci, kdy pomocí již zmíněného kopírovacího příslušenství bylo možné dotykovým palcem kopírovat tvar a současně obrábět polotovar. Princip spočíval v přitlačení dotykového palce na „kopyto“, což byla tvarová plocha, kterou jsme chtěli zhotovit do materiálu připevněného na stroji, přes mechanismus spojený s nožovým suportem u soustruhu nebo křížovým stolem u frézky.

Později se dotykový palec nahradil řídicím systémem v podobě čtecího zařízení. Napomohl tomu také rozvoj elektrotechniky, kdy se rozvíjelo využívání polovodičových součástek, především tranzistorů. Vznikly čtecí zařízení, které dokázali číst kódy z děrných pásek (obr. 1.1) a později i z magnetonových pásek (obr.1.2). První takto řízené stroje byly souřadnicové vyvrtávačky, kde polohování nástroje zajistil kód z děrné pásky nebo magnetické pásky a pracovní pohyb ve svislé poloze vykonával ručně pomocí páky pracovník později hydraulický či pneumatický agregát. Jednalo se o systém stavění souřadnic.



Obr.1.1 Čtečka děrných pásků [15]



Obr.1.2 Čtečka magnetických pásků [16]

Po systému stavění souřadnic následuje řízení pravoúhlé, které umožňuje rovnoběžné obrábění se souřadnými osami. Vykonává se pohyb v podélném nebo příčném směru (nikdy ne souběžně), kdy nástroj je přímo v místě řezu. Toho to řízení se využívá pro frézky či soustruhy k výrobě tvarově jednoduchých součástí.

Jako posledním stádiem vývoje řídicího systému CNC stoje je aplikace procesorů a mikroprocesorů do řídicí jednotky. Jedná se o jakousi modifikaci NC řízení, při kterém mikropočítač přebírá část nebo veškeré logické funkce systému, které byly doposud neměnné. Mikroprocesory dokážou zpracovávat velké množství dat a provádět složité výpočty. Tím se rýsuje velká variabilita

programování a následná výroba. Dokážeme tak vytvářet jakoukoliv zakulacenou či jinak zborcenou plochu a lze tak dostat i náročnějším designérským požadavkům. K tomu se v poslední době začalo využívat CAD/CAM technologií.

1.3 Vlastnosti a konstrukce CNC strojů

Mezi základní vlastnosti obráběcího centra patří vysoká manipulační schopnost (výměna nástroje, obrábění ve více osách, manipulace s dílcem apod.), provádění posloupnosti úkonů podle zadaného programu, opětovné zahájení výroby určitého sortimentu bez nutnosti nastavení stroje a možnost přeprogramování.

1.3.1 Hlavní přednosti obráběcích center:

- možnost práce stroje ve více osách
- vysoká přesnost a spolehlivost výrobního zařízení bez nutnosti seřizování
- velmi rychlá a pružná výměna nástroje
- možnost fixace polohy obráběného dílce při opracování
- omezení rozsahu činnosti lidské obsluhy a ponechání její práce v oblasti manipulace a tvorby programu

1.3.2 Hlavní části obráběcích center

- stojan s pohony hřídelí osazených nástroji
- lože s pohonem nebo posuvnými prvky
- stůl s upínacími systémy
- ovládání
- bezpečnostní prvky
- odsávání
- příslušenství (přípravky, nářadí apod.)

[17]

1.4 Volba obráběcího centra a jeho vybavení

Pokud pořizujeme CNC obráběcí centrum, musíme brát v potaz několik důležitých kritérií, které rozhodují o rozsahu používání, složitosti obsluhy, ale také o ceně. Mezi již zmíněná kritéria řadíme např. pracovní rozpětí vřetena, pojezd v podélné a příčné ose, upínací plocha stolu, výkon elektrovřetene, velikost zásobníku a s tím spojená výměna nástroje.

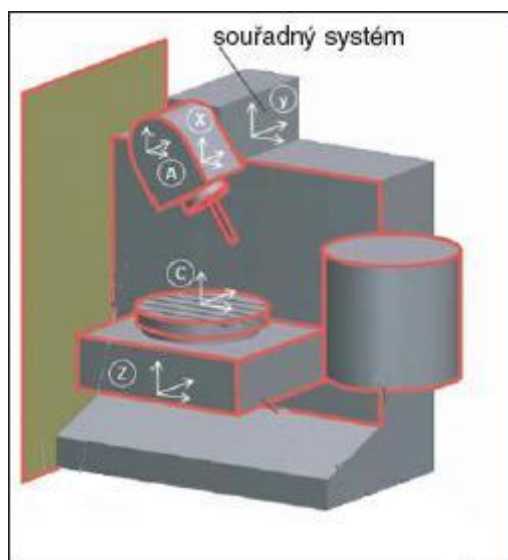
Podle druhu pohybu konstrukčních částí lze vybrat jednu ze tří základních koncepcí:

§ koncepci otevřené C, používá pevný kratší pracovní stůl. Na podélném loži je shora umístěn pohyblivý portál ve tvaru C a agregát, který je součástí portálu, se pohybuje příčně a svisle

§ koncepci s pohyblivým portálem a pevným stolem, přičemž portál je na loži zavěšen z boků a opatřen agregátem. Protože je stůl pevný, může být značně velký a může mít rozměry až 3 x 14m. Tato koncepce je vhodná zejména pro obrábění dlouhých výrobků.

§ Koncepci s pevným portálem a pohyblivým stolem. Této koncepcce se využívá zejména v kusové nebo malosériové výrobě, kdy potřebujeme obrábět tvarově složité součásti. [17]

Obráběcí centra jsou situovány jako stavebnicový systém, to umožňuje každý stroj osazovat libovolnými nástroji a agregáty. Dle použitelnosti stroje můžeme volit mezi třemi druhy agregátů, a to z hlediska pohybu řízených os jako 3, 4 a 5-ti osé stroje. U tříosého stroje vřetenem vykonává svislý pohyb vzhledem k obrobku (osa Z) a pracovní stůl příčný (osa Y) a podélný (osa X) pohyb. U čtyřosého stroje koná vřetenem svislý pohyb a pracovní stůl příčný a podélný posuv jako u tříosého řešení, navíc je opatřen otočným agregátem, který umožňuje otáčet pracovním stolem kolem vlastní osy (osa C). Může-li vřetenem obrábět ve čtyřech osách a má možnost naklápět se vlevo či vpravo o určitý úhel, jedná se o pětiosý stroj (osa A) (obr.1.4.1).



Obr.1.4.1 Pětiosý stroj [18]

Někdy se výklopný mechanismus vřeteníku nahrazuje tzv. kolébkou upínacího stolu, který se naklápí pod určitým úhlem (obr.1.4.2). Na takto vybaveném stroji lze vyrobit zvláště složité tvary.

Na tříosém obráběcím centru lze také obrábět až v pěti osách. K tomu slouží přidavný mechanismus v podobě otočného stolu, který doplňuje stroj o osu B a C (obr. 1.4.3). Velkou nevýhodou je, že otočný stůl zabírá podstatnou část upínacího stolu. Většinou se jedná až o polovinu upínací plochy stolu.



Obr.1.4.2 Kolébkový mechanismus [19]



Obr.1.4.3 Příkladový otočný stůl [20]

1.5 Pohony stroje

Vřeteníky – pokud budeme mluvit o běžných vřetenících v klasických obráběcích centrech, otáčky zde dosahují 6000 až 8000/min někdy dokonce i 10 000 až 12 000 ot/min. Elektrovřetena a vřetena s vlastním pohonem můžou dosahovat až 20 000ot/min. Jedná se již o vysoké otáčky, a proto nároky na konstrukci stroje jsou značné. Především řešení ložisek, jejich mazání a chlazení.

Hlavní pohon vřetena stroje – jsou na něho kladeny nároky na zajištění plynulosti změny otáček při zatížení stroje při obrábění, vysoké zrychlení a zpomalení. Je-li stroj vybaven i přídatnou „osou C“, musí zajistit přesné polohování o požadovaný úhel. [7]

Pohony posuvů

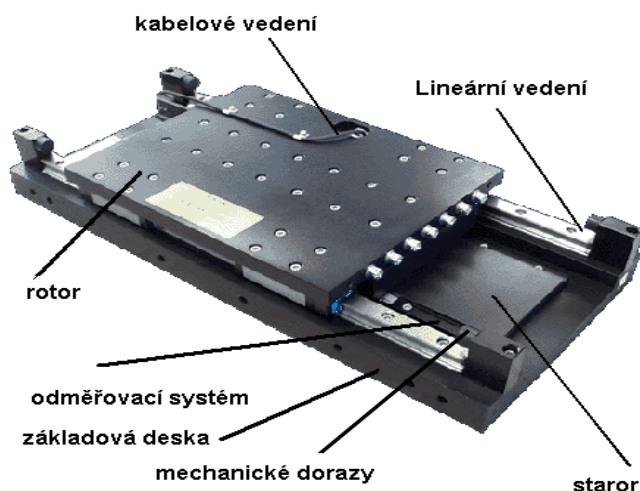
- ▼ **Servomotory posuvů a kuličkové šrouby** – jsou nedílnou součástí vybavení stroje. Kuličkový šroub zprostředkovává

pohyb mezi servomotorem a suportem (u soustruhu) nebo pracovním stolem (u frézky). Závisí na něm přesnost celého stroje, která se udává v tisícinách milimetru. Pracují s minimálním třením a minimální téměř nulovou vůlí, která je dána předepjatou maticí a šroubem. S většími požadavky na rychlost polohování a zároveň na dodržení přesnosti polohování, jsou vyráběny kuličkové šrouby s vysokým stoupáním a vícechodé šrouby. Servomotor je konstrukčně dán počtem impulzů na otáčku motoru a může také být vybaven snímačem zrychlení. [7]



Obr.1.5.1 Kuličkový šroub s maticí [23]

- ▼ **Lineární pohony** – stále více nahrazují tradiční kuličkové šrouby. Vykazují vysokou rychlost posuvů, ale jejich nevýhoda spočívá v zahřívání, proto musí být chlazeny. Stále jsou podrobeny technickému vývoji. [7]



Obr.1.5.2 Lineární pohon [24]

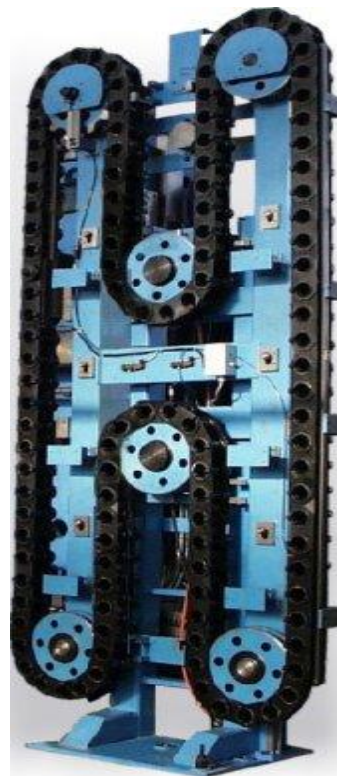
1.6 Zásobníky nástrojů

Obráběcí frézovací centra mohou být vybavena různými zásobníky nástrojů. Zpravidla se používají rotační bubnové podavače, ve kterém může být umístěno 10 až 25 nástrojů. Většího počtu se nepoužívá v rámci neefektivity využití místa v pracovním prostoru. Pro větší počty nástrojů se

využívají řetězové zásobníky, nebo regálové zásobníky. U řetězových zásobníků se obvykle přichystá požadovaný nástroj do pozice výměny již v předstihu a po zadání příslušného příkazu pro výměnu nástroje se vymění pomocí manipulátoru za nástroj ve vřetenu. Toho to principu se začalo využívat i u již zmíněných bubnových zásobníků. Regálové zásobníky využívají dvou manipulátorů, první přichystá nástroj na výměnu a druhý výměnu provede. [25]



Obr. 1.6.1 Zásobník nástrojů frézovacího centra (bubnový) [21]



Obr. 1.6.2 Zásobník nástrojů frézovacího centra (řetězový) [22]

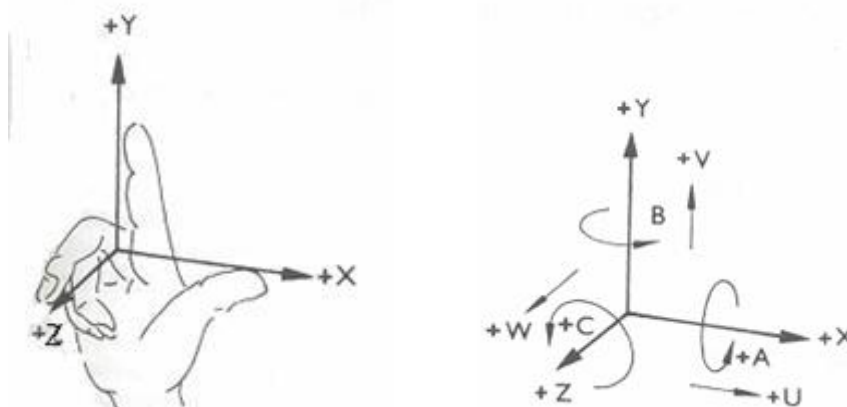
2 PROGRAMOVÁNÍ FRÉZOVACÍCH CENTER

2.1 Souřadnicové systémy stroje

Aby mohl programátor provozovat svoji činnost, musely se stanovit jasná pravidla, která se budou dodržovat při CNC aplikacích. Mezi tyto pravidla patří i souřadnicový systém.

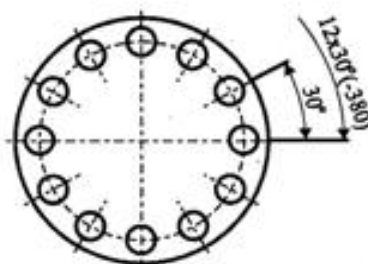
Frézovací centra se řídí jednak kartézským souřadnicovým systémem, ale také polárním souřadnicovým systémem.

Kartézský systém souřadnic je nutný pro řízení stroje, vněm, se pohybuje nástroj dle zadaných příkazů v daném CNC programu. Dále je nutný pro měření nástrojů. [7] Tento systém souřadnic, zvaný také kartézský kříž vychází od osy Z, která je vždy rovnoběžná s osou hlavního vřetene a také je kolmá na pracovní plochu stolu. Osa X je orientovaná vodorovně a rovnoběžně s plochou upnutí obrobku, osa Y doplňuje osy X a Z na pravoúhlou souřadnicovou soustavu. Otáčivé pohyby, kolem os X, Y, Z jsou označovány jako A, B, C. Kladný smysl rotačních pohybů se musí shodovat se smyslem posuvu pravotočivých šroubů v kladných osách X, Y, Z K osám X, Y, Z také náleží výklopné osy U, V, W. Jejich pohyb viz. obr. 2.1.1 [10]



Obr. 2.1.1 Pravotočivý kartézský systém [11]

Polární systém souřadnic se nejčastěji používá u obrobků s víceúhlovými rozměry jako jsou např. otvory umístěné na roztečné kružnici pod daným úhlem, drážky na obvodu apod. [10]



Obr. 2.1.2 Příklad souřadnicového systému [11]

2.2 Vztažné a nulové body

V pracovním prostoru CNC obráběcího stroje jsou určeny některé základní vztažné body, jejichž znalost je důležitá i pro vlastní programování. Umožňují určit vzájemnou polohu obrobku a nástroje vzhledem k tomuto prostoru.

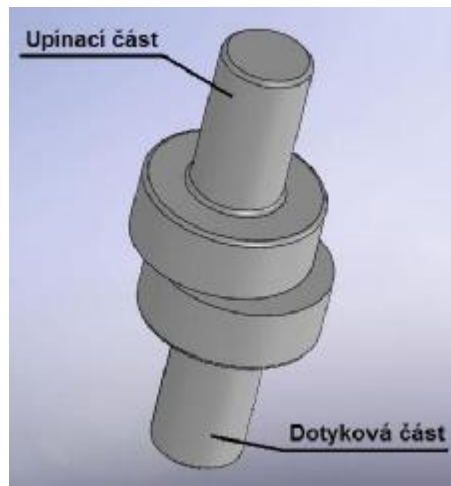
▼ M – Nulový bod stroje: Je pevným bodem v systému a je dán výrobcem. Je výchozím bodem pro všechny další souřadnicové systémy a vztažné body na stroji. V drtivé většině případů, výrobci řídicích systémů používají variantu, kdy spojnice nulového bodu M a referenčního bodu R, tvoří úhlopříčku pracovního prostoru stroje. Z pohledu obsluhy je to obvykle vlevo, vpředu.

▼ R – Referenční bod stroje: Je přesně stanoven výrobcem a jeho aktivací dochází ke sjednocení mechanické a výpočetní části stroje. Aktivace je realizována koncovými spínači, na které najíždíme bezprostředně po zapnutí stroje. Bez této aktivace není stroj schopen pracovat v automatickém režimu. Slouží k přesnému nastavení odměřovacího systému a také k odstranění chyb, které mohou vzniknout vlivem interpolací (pokud stroj nemá zpětnou vazbu).

▼ W – Nulový bod obrobku: Lze ho nastavit pomocí speciální funkce G (G54 až G59) v libovolném místě na obrobku, nebo také i mimo něj. S výhodou se umísťuje do takového místa, aby se co nejvíce zjednodušilo programování. To je např. do míst na obrobku, kde začíná kótování na výkrese. Tento bod lze v průběhu programu i několikrát změnit.

Určení nulového bodu na frézce:

- 1. Dotykem (naškrábnutím) nástroje na obrobku:** spočívá v dotyku nástroje s obrobkem v osách X, Y, Z a výpočtu vzhledem k poloměru nástroje a přídatku na opracování. Tento způsob nepatří mezi nejpřesnější, neboť přesnost ovlivňují fakta jako: ovalita polotovaru, možná excentricita upnutí nástroje a zručnost obsluhy.
- 2. Dotykem pomocí excentrického měřicího dotyku:** tato pomůcka se skládá ze dvou válcových čepů, které jsou k sobě ve vnitřní části přitahovány pružinou nebo nověji magnetem. Princip spočívá: horní čep je upnut ve vřetení stroje a spodní čep je excentricky vyhnut. Celá soustava se otáčí. Spodním čepem najíždíme na stěnu obrobku a tím se excentricita zmenšuje až dojde k soustřednému pohybu obou částí. Nastává okamžik odečítání poloměru spodního čepu a zápis hodnoty do řídicího systému. Tento způsob se používá tam, kde není možné vlivem dotyku nástroje poškodit povrch obrobku.



Obr. 2.2.1 Excentrický měřicí dotyk (autor Bc. Jiří Trunda)

3. **Dotykovou sondou:** mezi nejpoužívanější patří mechanické sondy a elektrokontaktní. Mechanické obsahují číselník, podle kterého obsluha nulování provádí.



Obr. 2.2.2 3D dotykové sondy od firmy Haimer [26]

Elektrokontaktní jsou založené na optickém nebo radiovém principu. Pomocí speciálního programu v řídicím systému stroje dokážou vytvořit nulový bod obrobku, ale také se s výhodou používají pro měření těžce měřitelných rozměrů.



Obr. 2.2.3 3D dotyková sonda Heidenhain TS 640 [27]

▼ T – Vztažný bod upínače nástrojů: je bod na upínací ploše nosiče nástroje. Obsluha stroje musí provést pro každý nástroj korekci nástroje, to je určení rozdílu mezi špičkou nástroje a bodem T a tento rozdíl zapsat do tabulky nástrojů na stroji nebo přímo do programu.

▼ P – Vztažný bod nástroje: je bod, který se teoreticky programuje. Začíná zde pracovní pohyb nástroje řízený CNC programem. [9]

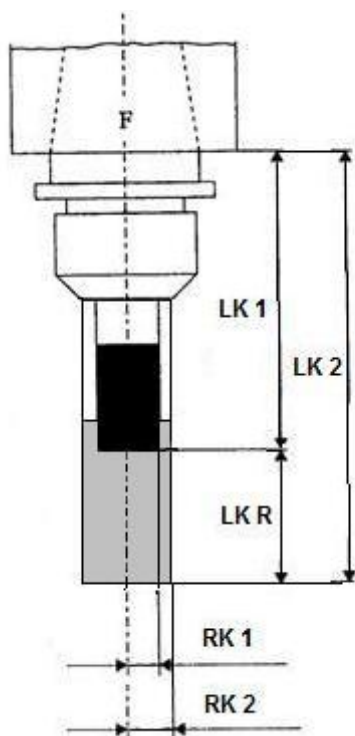
Zobrazení vztažných bodů v pracovním prostoru je v příloze č.1

2.3 Korekce nástrojů

Při práci na frézovacím centru se využívá několik typů nástrojů (vrtáky, závitníky, frézy, výstružníky apod.). Každý z těchto nástrojů má svou délku a svůj průměr. Korekce v podstatě vyjadřuje délkový či průměrový rozdíl, mezi jednotlivými nástroji. Programování spočívá ve vedení vztažného bodu nástroje P po dané programované kontúře (tvaru). Jelikož má každý nástroj díky své délce a průměru tento bod posazen jinde, zavádí se nutná korekce nástrojů. Tím je jednoznačně dán výchozí bod. [9]

2.3.1 Korekce délkové

Rozdíly jsou dány v kartézských souřadnicích. Velikost se vztahuje k nulovému bodu výměny nástroje. Zjišťuje se rozdíl v délkách mezi každým nástrojem, abychom je mohli používat bez nutnosti přepočítání jejich rozdílů v délce a tyto nedostatky muset upravovat v programu. Jak z textu vyplývá, délková korekce se provádí v ose Z, od vztažného bodu na držáku nástroje, po špičku nástroje do bodu P. [7]

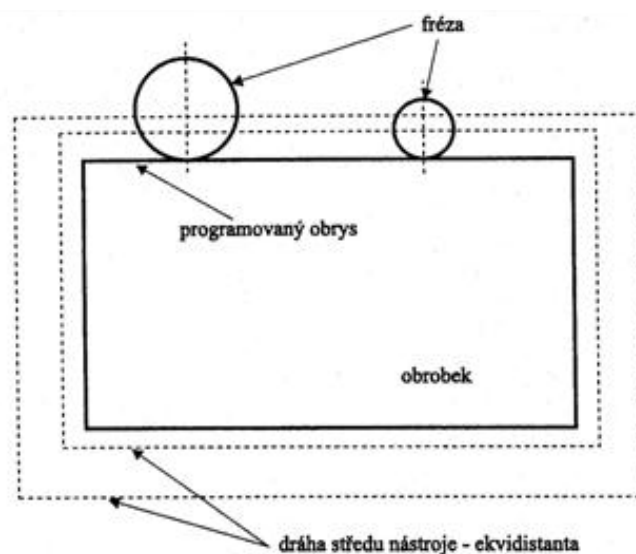


Kde: LK 1 – délka 1. nástroje od vřetena
 LK 2 – délka 2. nástroje od vřetena
 LK R – rozdíl délek mezi nástroji
 1 a 2 (korekce délky)
 RK 1 – poloměr nástroje 1
 RK 2 – poloměr nástroje 2

Obr. 2.3.1 Délková korekce [11]

2.3.2 Korekce průměrové

Vyhodnocují se vzhledem ke středu frézovacího nástroje, to znamená, že korekce v osách X, Y se vsahují nikoli k průměru, ale k poloměru nástroje. Důvody aplikace průměrových korekcí je obdobný jako u délkových korekcí. [10]



Obr. 2.3.2.1 Průměrové korekce [11]

Tyto korekce se do řídicího systému zapisují dvěma způsoby:

- a) Pomocí tabulky nástrojů – je to nejpoužívanější způsob. Většinou ve tvaru T1D1, kde T1 označuje nástroj na první pozici, D1 značí, že nástroj T1 má skutečné korekce, které jsou uvedeny pod symbolem D1. Toto značení platí i pro ostatní značení nástrojů T2D2. Tento způsob má velkou výhodu v tom, že např. při zalomení vrtáku nebo zlomení frézy, stačí provést délkovou korekci pro nový nástroj, uložit tuto hodnotu do tabulky nástrojů a program může pokračovat bez jiného zásahu.
- b) Zápisem do programu – některé řídicí systémy, vyžadují zápis přímo do programu. Zapsány jsou zároveň s funkcí M06 (výměna nástroje). Nevýhodou tohoto zadávání je, že při zalomení vrtáku či zlomení frézy musíme při jejich výměně provést opětovnou korekci a tyto hodnoty zapsat přímo do programu, ale do každé výměny s tímto nástrojem. Může tak docházet k haváriím v důsledku opomenutí změny tohoto údaje. [7]

Ke zjišťování těchto korekcí se zpravidla používají čtyři způsoby:

- a) Koncovými měrkami (délkové korekce) – koncovou měрку postavíme např. na upínací stůl frézky a na její horní část se pomalu přibližujeme špičkou nástroje. Postupným prosmýkáváním koncové měřky mezi stolem frézky a nástrojem vymezujeme co nejmenší vůli.
- b) Třmenovým mikrometrem (průměrová korekce) – jednotlivé nástroje změříme. Jeden nástroj se zvolí jako „nulový“, k němuž se dalším přepočtem upravují korekce ostatních nástrojů.
- c) Dotykovou sondou – stroj musí být vybaven patřičným řídicím systémem, který dovoluje použití dotykové nástrojové sondy. Jednotlivé nástroje se „oťukají“ o měřicí sodu a řídicí systém automaticky zapíše tyto korekce do tabulky nástrojů. Nehrozí zde záměna naměřených korekcí jako u ručního měření, stroj si pod daným číslem nástroje sám přiřadí potřebnou korekci. Slouží k měření jak délkové tak i průměrové korekce. [4]



Obr. 2.3.2.2 Nástrojová dotyková sonda Heidenhain TT 140 [27]

- d) Přístrojem na měření a kontrolu nástrojů – nástroj se upne do zařízení a pomocí obrazovky obsluha změří danou délku nástroje. Zapiše tuto hodnotu na tzv. průvodku nástroje nebo prostřednictvím sítě tuto hodnotu zapiše přímo na daný stroj. Výhoda tohoto zařízení je, že může nahradit nástrojové sondy na všech strojích a ušetřit tak nemalé peníze na jejich pořízení. S tím jsou spojené i náklady na pořízení patřičného řídicího systému. [28]



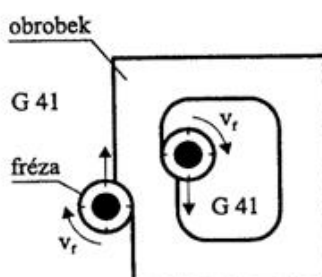
Obr. 2.3.2.3 Přístroj na měření a kontrolu nástrojů [28]

2.3.3 Korekce rádiusové

Rádiusové korekce se v současné době zjišťují u všech nástrojů, z důvodů přesnosti rozměrů a geometrie výrobku. Některé starší stroje nemají v řídicím systému funkce G41, G42 a G40, které tuto korekci konfigurují. Proto se musí počítat ekvidistanta ručně, ta následně konfiguruje dráhu nástroje.

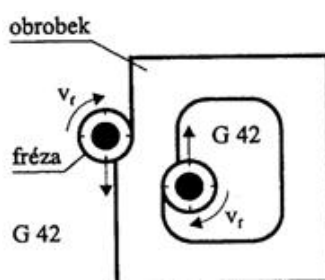
Každá fréza má svůj průměr a tím i daný poloměr. Pokud nechceme tuto korekci brát v úvahu jako např. při frézování kontury nebo při frézování drážek širokých jako je průměr nástroje, budeme programovat, tedy i obrábět osou rotace nástroje. Průměry fréz jsou dány konstrukcí nástroje a lze je přeměřit, pokud dochází ke změnám. [7]

G41 – vlevo od kontury – funkce přesune skutečnou dráhu nástroje na ekvidistantu vzdálenou od programované dráhy o poloměr nástroje. Funkce se použije tehdy, leží-li obráběná plocha vpravo od programované dráhy nástroje.



Obr. 2.3.3.1 Průměrová korekce zleva [11]

G42 – vpravo od kontury – význam funkce je stejný jako u G41, s tím rozdílem, že obráběná plocha má ležet vlevo od programované dráhy nástroje.



Obr. 2.3.3.2 Průměrová korekce zprava [11]

G40 – ruší již zmíněné korekce (G41 a G42). Je vhodné ji použít vždy po dokončení kontury se zadanou korekcí před odjetím do výchozího bodu nástroje.

2.4 Struktura programu

Programování CNC strojů je náročná a vysoce kvalifikovaná činnost. Kvalita řídicích programů je ovlivňována znalostmi programátora. Vysoká náročnost a složitost programů pro souvislé řídicí systémy, stále více vyžadují soustředěnost práce programátora a tím možnost rizika výskytu chyb. Proto se tvorba programů stále více směřuje do počítačové podpory.

Řídicí program je soubor číselně vyjádřených informací o činnosti CNC stroje, uložených na nositeli informací. Tyto informace jsou postupně předávány stroji v průběhu operace. [10]

Jsou to informace:

- Geometrické** – určují tvar součástí, způsob pohybu nástroje (pracovní posuv, rychloposuv), dráhu nástroje (přímka, kruhový oblouk),
- Technologické** – určují velikost posuvu, otáčky vřetene, výměnu nástroje, zapnutí či vypnutí chlazení,
- Pomocné a přípravné** – zahrnují všechny ostatní informace nutné pro výrobu součástí.

2.4.1 Stavba věty (bloku)

Věta obsahuje několik skupin znaků, kterým říkáme slova. Skládá se ze dvou částí:

Adresná část – je tvořena písmenem a udává druh povelu (funkci, kterou má stroj vykonat),

Významová část – je tvořena číslem, které určuje hodnotu funkce.

Současné řídicí systémy používají proměnnou délku bloku, tzn. obsahují pouze funkce, které jsou nové nebo se mění. Např. pokud se v další větě nemění souřadnice, ale pouze se mění velikost posuvu nebo se zapíná chlazení, uvedou se v následující větě pouze patřičné příkazy. [9]

Příklad zápisu formátu: **N03 G02 X±40 Y±35 Z±29 F150 S1500 T12 M03**

kde: **N** – označení určitého bloku, adresa, číslo (z anglického NUMBER),

G – označení přípravné funkce „jdi na“ (z anglického GO), udává smysl pohybu nástroje (lineární interpolace, kruhová interpolace, cyklus,...),

X – přesun nástroje ve vodorovném směru na zadanou hodnotu v mm,

Y – přesun nástroje v příčném směru na zadanou hodnotu v mm,

Z – přesun nástroje v kolmém směru na zadanou hodnotu v mm,

F – adresa velikosti posuvu v $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ (z anglického FEED),

S – adresa velikosti otáček v $\text{ot}\cdot\text{min}^{-1}$ (z anglického SPEED),

T – označení pozice nástroje v zásobníku (z anglického TOOL),

M – označení pomocné funkce jako druh směru otáčení vřetene, spuštění chladicí kapaliny, výměna nástroje, ... (z anglického MODE). [10]

Pozn.: výraz *blok* se používá v anglosaské literatuře, výraz *věta* se používá v evropské literatuře, čili *blok* = *věta*

2.4.2 Význam nejběžnějších přípravných a pomocných funkcí dle norem ISO

Funkce G00 – rychlé polohování (rychlý posuv), provede lineární přestavení nástroje maximální možnou rychlostí současně ve všech osách do programovaného bodu.

Funkce G01 – lineární interpolace (pracovní posuv), provede přestavení nástroje zadanou rychlostí posuvu F současně ve všech osách v nichž je programovaná změna.

Funkce G02 – kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček CW, nástroj se pohybuje po kruhovém oblouku o poloměru (R) pracovním posuvem (F) z výchozího bodu do cílového bodu určeného souřadnicemi X, Y, Z.

Funkce G03 – kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček CCW, význam stejný jako u G02.

Funkce G04 – pohyb nástroje se po danou dobu (T) zastaví. Čas prodlevy se zadává v sekundách. Během prodlevy se otáčení vřetene nezastavuje.

Funkce G31 – najetí na sondu, funkce se používá pro využití dotykové sondy. Sonda se v tomto režimu pohybuje maximálně ve dvou osách takovou rychlostí, jež umožňuje její okamžité zastavení až do doby, dokud se dotyk sondy nedostane do kontaktu s překážkou, v tomto okamžiku se zaznamenají souřadnice bodu.

Funkce G98 – reference (X, Y) je vyvolán nájezd suportu do reference. [4]

Podrobnější výpis přípravných funkcí viz. příloha č.2

Funkce M00 – programové zastavení (STOP programu např. pro vyfoukání třísek z frézované kapsy).

Funkce M03 – spouštění otáček vřetene doprava tj. ve smyslu pohybu hodinových ručiček CW.

Funkce M04 – spouštění otáček vřetene doleva tj. proti smyslu pohybu hodinových ručiček CCW.

Funkce M05 – vypnutí otáček vřetene, ruší konstantní řeznou rychlost. Použití funkce je nutné, např. při reverzaci otáček.

Funkce M06 – výměna nástroje (X, Z, T). Program čeká na výměnu nástroje T. Hodnoty X, Z mají význam korekce. Korekce ostatních nástrojů se určí vzhledem k prvnímu nástroji, který má korekce nulové.

Funkce M17 – konec podprogramu. Funkcí se povinně ukončuje každý podprogram nebo cyklus.

Funkce M30 – konec programu. Ukončí činnost CNC programu. Řídící systém se vrátí do stavu, kdy je připraven k opětovnému spouštění programu. Funkce automaticky vypíná otáčky vřetena. [4]

Podrobnější výpis pomocných funkcí viz. příloha č.3

2.4.3 Pevné cykly na CNC frézkách

Pevné cykly jsou softwary (programy), které jsou uloženy v řídicím systému stroje. Často bývají naprogramovány parametricky. Jsou určeny k usnadnění programování a výraznému zkrácení programu a tudíž většinou zbytečně nezahlcují operační paměť stroje.

Každý cyklus má určené úseky pohybů, které by bylo nutné programovat pomocí základních funkcí G00, G01, G02,...

Lze také často vytvářet tzv. volně programovatelné cykly. Programátor si tak vytvoří vlastní cyklus, který často využívá, kde standardní nabídka cyklů mu nedostačuje. S oblibou se tyto cykly využívají k vytvoření firemního loga.

Všechny cykly jsou tvořeny tak, že po provedení všech předepsaných operací cyklu se nástroj vrátí zpět do výchozí polohy, tedy do bodu, ze kterého byl cyklus vyvolán. [6]

Cykly usnadňují práci programátora tím, že nemusí programovat např. několik třisek (např. použít opakovaně G00, G01 při hrubování povrchu, ale stačí zadat daný cyklus. Cykly zpravidla u CNC frézek řeší tvarové vybrání (kapsy), závitování, vrtání hlubokých děr, otvory na roztečné kružnici apod. [7]

Klady pevných cyklů na CNC frézkách:

- 1) zkracují přípravný čas,
- 2) zkracují počet vět, což zmenšuje počet chyb při programování,
- 3) využívají podpůrnou grafiku – obsluha přímo vidí, co jaký cyklus bude provádět.

Zápory pevných cyklů na CNC frézkách:

- 1) potřebují výkonnější řídicí systém,
- 2) nutnost kvalifikované obsluhy,
- 3) ekonomicky nákladné.

Rozdělení pevných cyklů na CNC frézkách

- 1) Vrtací
- 2) Tvarové vybrání
- 3) Řezání závitů
- 4) Speciální
- 5) Firemní
- 6) Volně programovatelné

Výběr pevných cyklů běžně dodávaných ve výbavě stroje

G72 – cyklus obdélníkové tvarové vybrání

G78 – cyklus vrtání na roztečnou kružnici

G81 – cyklus vrtání na zadanou hloubku

G83 – cyklus vrtání na zadanou hloubku s výplachem

G85 – cyklus vystružování

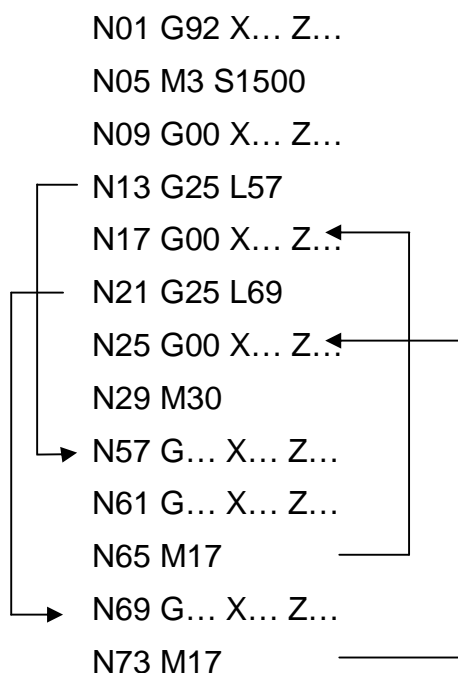
G90 – definování absolutního programování, vztahuje se k nulovému bodu obrobku (jed' na adresu)

G91 – definování inkrementálního (přírůstkového) programování (jed' o danou hodnotu od posledního bodu) [3]

2.4.4 Podprogramy na CNC frézkách

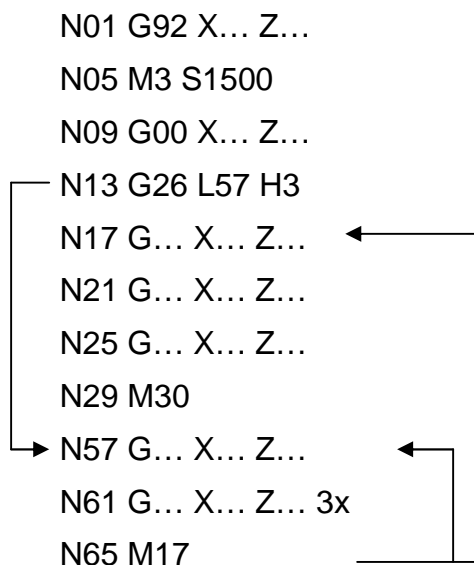
Slouží nám ke zjednodušení programování opakujících se částí obráběcího procesu. V průběhu programování pak stačí tento podprogram vyvolat patřičnou funkcí. Může být součástí hlavního programu nebo za hlavním programem, případně v knihovně podprogramů. Chová se jako samotný program, musí mít začátek (návěští) a konec. Vyvolání v programu se provádí funkcí G25, dále voláme číslo řádku (pokud je součástí hlavního programu) nebo cestu. Ukončení podprogramu je příkazem M17.

Funkce G25 (skok do programu) – tato funkce umožní skok do programu na číslo uvedené v adrese (L). Podprogram se ukončí funkcí M17. Řídicí systém se vrátí do hlavního programu na blok, který následuje za blokem, z něhož byl skok do podprogramu realizován. Z podprogramu je možný skok do dalšího tzv. vnořeného podprogramu. Struktura programu s vnořenými podprogramy je složitá a její využití není příliš běžné.



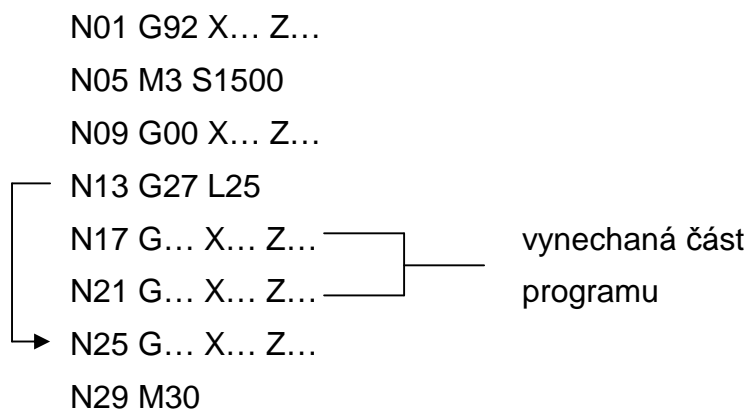
Obr. 2.5.1 Funkce G25 – skok do programu [10]

Funkce G26 (programový cyklus) - Funkce způsobí skok v programu na číslo bloku uvedené v adrese (L). Po vykonání podprogramu a jeho ukončení funkcí M17 se podprogram opakuje s počtem opakování daným adresou (H).



Obr. 5.2 Funkce G26 – programový cyklus [10]

Funkce **G27** (programový skok) - Funkce způsobí skok v programu na číslo bloku uvedené v adrese (**L**). Tím můžeme libovolnou část programu vynechat. Naprogramujeme-li skok na předcházející blok, vytvoříme nekonečnou uzavřenou smyčku a program se pak nekonečně opakuje až do přerušení. [10]



Obr. 5.3 Funkce G27 – Programový skok [10]

2.5 Tvorba programu

- 1) **Ruční** – spočívá v zadávání CNC programu přímo na obráběcím stroji zpravidla pomocí předdefinovaných pevných cyklů v řídicím systému stroje.
- 2) **Editor** – program je zapisován pomocí editoru zpravidla na uživatelském PC odkud je posléze zkopírován do obráběcího centra.

- 3) **Interaktiv** – můžeme ovlivnit proces řízení CNC obráběcího centra použitím podpůrné grafiky a vrátit proces zpět, aniž by se program vykonal.
- 4) **Teach-In** – s výhodou se používá k programování hrubovacích operací, větší využití ale nachází v oblasti robotiky. Tvorba programu spočívá v navádění nástroje pomocí kurzorových šipek na klávesnici nebo pohybem myši, kdy řídicí systém si zaznamenává dráhu pohybu do interní paměti. Z této dráhy posléze vyhotoví CNC kód, podle kterého danou součást obrábí.
- 5) **DOP (WOP)** – dílensky orientované programování (z anglického Work Operation Process). Tento druh programování nevyžaduje velké znalosti programovacího jazyka, je zapotřebí podpůrné grafiky. Pomocí DOP jsme schopni vidět programovanou součást přímo na display a to ve formě kontúry. Při programování se využívají veškeré možnosti zadávání (kartézskými souřadnicemi, polárními souřadnicemi,...) a také lze s výhodou použít i použití korekce na kontúru.
- 6) **Parametrické** – parametry v programu zastupují konkrétní číselné hodnoty. Tyto číselné hodnoty můžeme libovolně měnit beze změny programu. V průběhu programu můžeme provádět také matematické výpočty.
- 7) **Scanning** – programování je založeno na „scanování“ modelu pomocí dotykové sondy, která přenáší naměřené rozměry do počítače, kde se za pomoci postprocesoru generuje CNC kód, využívaný pro následné obrábění.
- 8) **CAD/CAM** – používá se pro programování složitých tvarů ve 2,5D ÷ 3D, U tohoto programování jsme schopni součást namodelovat, vyřešit problémy technologie, upínání (CLAMPING) a následně pomocí PC součást vyrobit. Slouží k pružnému výrobnímu procesu a zkracuje přípravné časy do zavedení výroby. [10]

Programování pomocí CAD/CAM systému je v poslední době nejpoužívanějším způsobem, a proto i já budu tohoto způsobu využívat při tvorbě programu pro řešení dané součásti.

Tvorba programu obsahuje dva kroky:

- 1) část CAD, kde je definována uzavřená kontura obráběného dílce na základě převzatých informací z výkresu kresleného v systému CAD,
- 2) část CAM, kde je zpravidla dialogovým způsobem vytvářen vlastní CNC program s možností jeho doplnění a upravení. [10]

2.6 CAD/CAM systém

Slouží k programování složitých tvarů ve 2,5 až 3D. Jsme schopni součást nakonstruovat, namodelovat, vyřešit problémy technologie, problémy upínání (CLAMPING) a následně pomocí postprocesoru vytvořit program a součást vyrobit. Je určen k pružnému výrobnímu procesu, zkracuje přípravné časy do zavedení výroby. Do CAD systémů zasahují ještě CAE a CAP

Základní rozdělení CAD/CAM systémů:

Malé – aplikovaný 2D CAD pro tvorbu programování jednodušších součástí ve 2D až 2,5D . Nejvyšší DOP (WOP) splňuje požadavky nejnižšího CAD. Nepodporují tvorbu programu s technologií obrábění. Patří sem např. CADKEY Light, AutoCAD LT,...

Střední – jsou využívány na kusovou ale i hromadnou výrobu, dovedou zpracovávat upínací prostředí, technologii obrábění, havárie, zafrézování, podsoustružení, řeší problém životnosti nástrojů, ...
Obsahují různé postprocesory, někdy i volně programovatelné. Patří sem např. PowerMill, AlphaCAM, SurfCAM, MTS, SolidWorks, ...
Nehodí se pro RP (Rapid prototyping) – vizualizaci

Profesionální – často v sobě obsahují modeláře, designéry a taktéž mají schopnost vizualizace kinematických pohybů součástek v sestavě. Představitelem je Catie, která již několik let udává trend ve výrobě, v leteckém, automobilovém či vojenském průmyslu. Napojují se do ní nejnovější poznatky z vědy a techniky. Využívají ji nejmodernější stroje a grafické stanice. [25]

CAD/CAM systémy realizují vyšší stupeň počítačové podpory než klasické (ruční) CNC programování. Výkres vytvořený v systému CAD lze zkopírovat pro další práci v modulu CAM. Programátorské rutinní vědomosti jako funkce G, M, popis dráhy, apod. není třeba uvádět. Postprocesor tyto záležitosti vygeneruje automaticky pomocí zadávaných příkazů z převzaté kontury CAD ve 2D výkresu neb z modelu ve 3D. CAD/CAM programování vyžaduje od uživatele vyšší znalosti obsluhy modulu CAM. Na vyšší znalosti programátora závisí kvalita výsledného programu.

Programátor často vyhotoví více variant programů daného obrobku a rozhoduje se mezi nimi, vybírá takový program, jehož výroba je časově méně náročná, aniž by docházelo k ničení nástroje a byla zaručena požadovaná kvalita výroby. Modul CAM pracuje v dialogu s programátorem. Dialogová nabídka, je zpravidla dána těmito body:

- 1) Celková strategie obrábění – značí jak postupovat při zhotovování dílce (hrubování, závitování, vrtání, dokončování, ...)
- 2) Volba nástroje – (tvar a rozměry), spadá sem i volba řezných podmínek, které programátor volí vzhledem k výkonu stroje a tuhosti nástroje.

- 3) Podmínky vlastního obrábění – jsou to ty podmínky, které se při ručním zadávání řeší funkcemi G, M. Strategie obrábění daného operačního úseku vázaný na jeden nástroj, poloha obrábění ke kontuře, chlazení nástroje a další.
- 4) Simulace – procesor po zadání příkazu, automaticky vytvoří CL data potřebná pro simulaci. Simulace je určena k odhalení chyb a kolizí, které by mohly nastat v průběhu obrábění.
- 5) Postprocesing – následuje výběr postprocesoru (překladače) pro daný řídicí systém CNC stroje, na kterém se součást bude vyrábět.
- 6) Vyhotovení CNC programu v modulu CAM – zapisuje se automatizovaně v blocích v kódu ISO jako při ručním programování se specifiky daného řídicího systému. Vygenerovaná NC kód se uloží a následně se zkopíruje na daný stroj.
- 7) Zpracování CNC kódu – program je do stroje nahrán v ISO kódu a lze ho případně upravit. Následuje kopírování programu do paměti stroje, odkud je zpracováván procesorem a probíhá samotné obrábění. [14]

3 VERTIKÁLNÍ FRÉZOVACÍ CENTRUM MCV 1016 QUICK

Jedná se o stroj firmy Kovošvit MAS, a.s. se sídlem v Sezimově Ústí. Stroj je charakteristický zejména svou tuhostí své konstrukce, vysokou spolehlivostí a přesností. Je vhodný všude tam, kde se jedná o komplexní obrábění většiny plochých a skříňových součástí z kovových i nekovových materiálů a to jak v kusové, tak i sériové výrobě. Také je ideální k výrobě tvarově složitých součástí a forem v nástrojárnách.

Hlavní přednosti stroje

- Lineární a valivá vedení os X, Y, Z zajišťují dlouhodobě vysokou pracovní přesnost
- Přímé odměřování - rychlé a přesné polohování
- Použití výkonných nástrojů s vysokotlakým středovým chlazením
- Rychlá výměna nástrojů - zásobník nástrojů s mechanickou rukou
- Velký pracovní rozsah při minimálním zástavbovém prostoru stroje
- Účinné odstraňování třísek
- Vodotěsné kabinové zakrytí pracovního prostoru s levými bočními prosklenými dveřmi
- Široký sortiment zvláštního příslušenství
- Možnost 4 a 5-ti osého obrábění s využitím přídavného otočného a sklopného stolu
- Transportní provedení stroje [29]



Obr.3 Vertikální frézovací centrum MCV 1016 QUICK [29]

3.1 Technické parametry [29]

Stůl

Upínací plocha stolu	1300 x 600 mm
Maximální zatížení stolu	700 kg

Pracovní rozsah

X-osa	1016 mm
Y-osa	610 mm
Z-osa	710 mm

Vřeteno

Výkon motoru SIEMENS (S1/S6 -40%)	17 / 25 kW
Max. otáčky vřetena	10 000 ot/min
Kuželová dutina vřetena	ISO 40

Zásobník nástrojů

Počet míst v zásobníku	24
------------------------	----

Rozměry stroje

Délka x šířka x výška	3080 x 2700 x 2940 mm
-----------------------	-----------------------

Hmotnost a příkon stroje

Hmotnost stroje	5500 kg
Celkový příkon	40 kVA

3.2 Ovládací panel

Funkcí ovládacího panelu je umožnit komunikaci programátora s obráběcím strojem. Obsahuje tlačítka pro tvorbu a simulaci NC programů, ovládání stroje v ručním i automatickém režimu, a také ovládací prvky pro upínání nástroje nebo spouštění kapaliny.

Součástí ovládacího panelu je i obrazovka, která poskytuje přímou vizualizaci při programování, obrábění a celkovou kontrolou stavu CNC řízení stroje. Dělený obraz umožňuje sledovat v první části obrazovky část programu a v druhé části grafický průběh obrábění nebo stavové záznamy. Najdeme zde také záznamy, které poskytují informaci o typu a poloze nástroje, aktuální čas programu, aktivní cyklus apod. [30]

Stručný popis částí řídicího systému

- 1 Abecední klávesnice pro zadávání textů a programů
- 2 Správa souborů
- 3 Strojní provozní režimy
- 4 Programovací provozní režimy
- 5 Vytváření programovacích dialogů
- 6 Zadávání čísel a volba os
- 7 Klávesy se šipkou a klávesa s příkazem skoku GOTO
- 8 Regulace velikosti otáček od 0% do 150%
- 9 Regulace velikosti posuvu od 0% do 150%
- 10 Přepínání lišt softkláves
- 11 Definování rozdělení obrazovky
- 12 Tlačítko přepínání obrazovky mezi strojními a programovacími provozními režimy
- 13 Tlačítka pro výběr softkláves
- 14 Softklávesy



Obr.3.2 Ovládací panel iTNC 530 HEIDENHAIN [21]

3.3 Příslušenství

- Středové chlazení – zaručuje lepší přívod chladicí kapaliny do oblasti obrábění a tím se zvyšuje chladicí účinek.
- 3D dotyková sonda – slouží k automatickému vyrovnávání obrobků, rychlému a přesnému nastavení vztažných bodů a umožňuje provádět měření obrobku za běhu programu.
- Nástrojová sonda – usnadňuje, urychluje a zpřesňuje měření délkových a průměrových korekcí nástrojů.
- Dopravník třísek
- Ruční oplach pracovního prostoru

- Elektronické ruční kolečko – zjednodušuje přesné ruční pojiždění strojními suporty. Velikost inkrementu pojezdu lze nastavit od 1mm do 0,01mm [29]



Obr. 3.3 Elektronické ruční kolečko HR 410 [21]

4 ZHOTOVENÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE PRO DANOU SOUČÁST

Technická dokumentace níže uvedená, obsahuje nezbytné parametry a poznatky k vlastní přípravě a také k výrobě součásti. Obsahuje technologický postup, nástrojové vybavení včetně řezných podmínek a také jednotlivé popisy rozměrů součásti. Technická dokumentace zohledňuje i již v úvodu zmiňovaný poznatek, že uváděná součást bude tvořit základovou desku optického přístroje, který bude uložen ve vakuovém prostoru. V neposlední řadě je nutné uvést i parametr požadavku počtu kusů dodaných odběrateli, který činí 100ks/rok po dobu 3 let.

Závity nacházející se na součásti, budou zhotoveny dodatečně na závitovacím stroji, kterým firma disponuje, kde zalomení závitníku je daleko nižší než na samotném CNC centru.

4.1 Volba materiálu obrobku

Z výše uvedeného poznatku lze předpokládat, že přístroj, tj. i základová deska, bude umístěn ve sterilním prostředí. Musíme také zohlednit, že se jedná o část optického přístroje, a tudíž budou muset být dodrženy parametry jako rovinnost, teplotní stálost a celková čistota materiálu. Na přání zákazníka má mít povrch obrobku povlak niklu. To znamená, že veškeré přesné rozměry se musí zvětšit, popř. zmenšit o 0,02 mm, aby po nanesení niklové vrstvy byly rozměry korektní s rozměry na výkrese. [8]

Z praxe se nabízí tyto varianty volby materiálů a polotovarů:

- Přířez
- Svařenec
- Odlitek
- Výkovek

Z důvodů, které byly zmiňovány výše, lze usoudit, že nejvhodnější způsob je vycházet z přířezu.

Z výchozích poznatků lze usoudit, že na výrobu dílce bude plně dostačovat konstrukční ocel, jmenovitě konstrukční ocel W. Nr. 1.0060, značení dle EN 10027-1 E335 (ČSN 11 600)

Tato ocel je vhodná na strojní součásti namáhané staticky i dynamicky, u nichž se nevyžaduje svařitelnost. Pro výrobu součástí vystavené velkému měrnému tlaku.

Dle způsobu výroby se jedná o ocel uklidněnou. To znamená, že se odkysličuje úplně před odléváním ještě v peci, resp. v pánvi. Má vyrovnanější složení než ocel neuklidněná. Největší koncentrace doprovodných prvků je pod staženinou, v hlavě ingotu. [31]

Chemické složení oceli ČSN 11 600													
Značka oceli	Chemické složení v %											Tvrдость ve stavu	
												Žíh. na měkko	Zušlechtěném
	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max	Co	P max.	S max.	HB max.	HRC min.
DIN není													
ČSN 11 600							0,009			0,045	0,040		

Tab. 4.1a Chemické složení oceli ČSN 11 600 [31]

Tepelné zpracování oceli ČSN 11 600		
Způsob	Teplota [°C]	Postup
Normalizační žíhání	840 až 870	Ochlazovat na vzduchu
Popouštění	670 až 700	Ochlazovat na vzduchu

Tab. 4.1b Tepelné zpracování oceli ČSN 11 600 [31]

Chemické niklování oceli

Patří k funkčním povlakům. Provádí se slitinou Ni + P. Autokatalyticky vyloučený nikl umožňuje pokovit tvarově složité součásti, otvory a hrany, přičemž vyloučená vrstva niklu je na celé ploše povrchu rovnoměrná (nevyžaduje žádné další broušení).

Částečně nahrazuje technologii tvrdého chromování, neboť tepelným zpracováním se zvýší tvrdost.

Vlastnosti povlaku

- » vysoká korozní odolnost téměř bezporézní vrstvy (nad 10 μm)
- » rovnoměrná vrstva povlaku
- » atraktivní vzhled (pololesklý až lesklý)
- » vysoká tvrdost – po tepelném zpracování (obvykle 800 +/- 50 HV)
- » dobré kluzné vlastnosti

Tloušťka vrstvy

- » obvykle do 20 μm
- » mimořádně do 50 μm

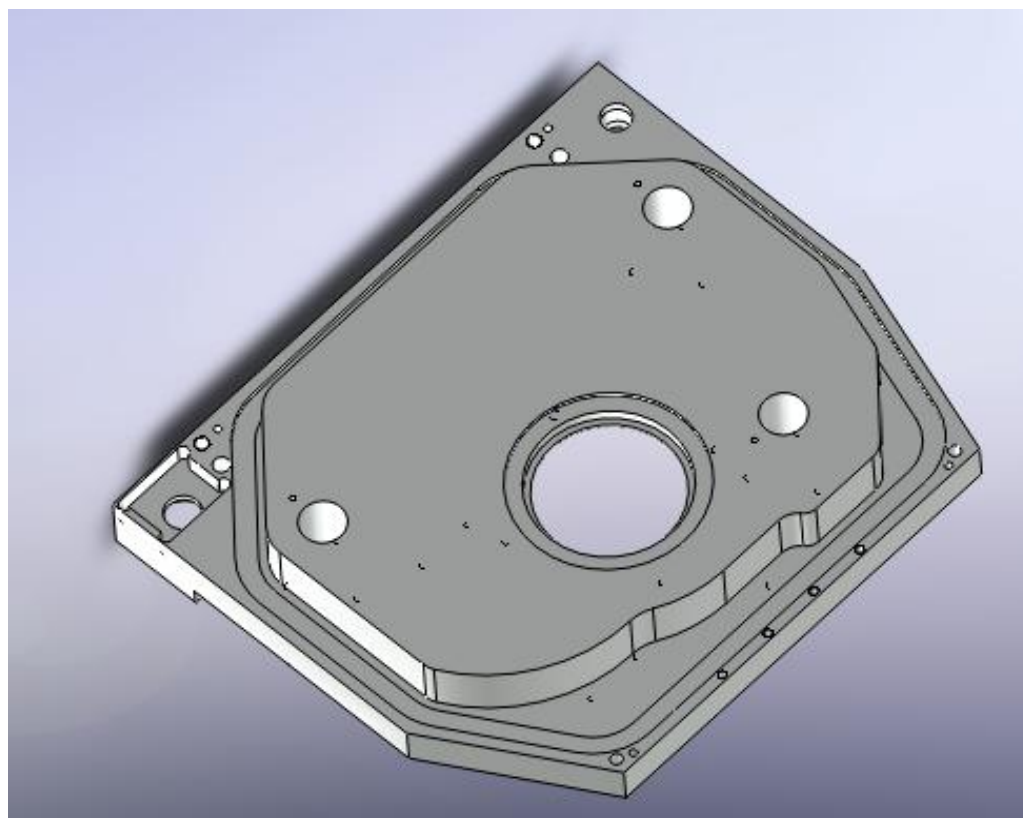
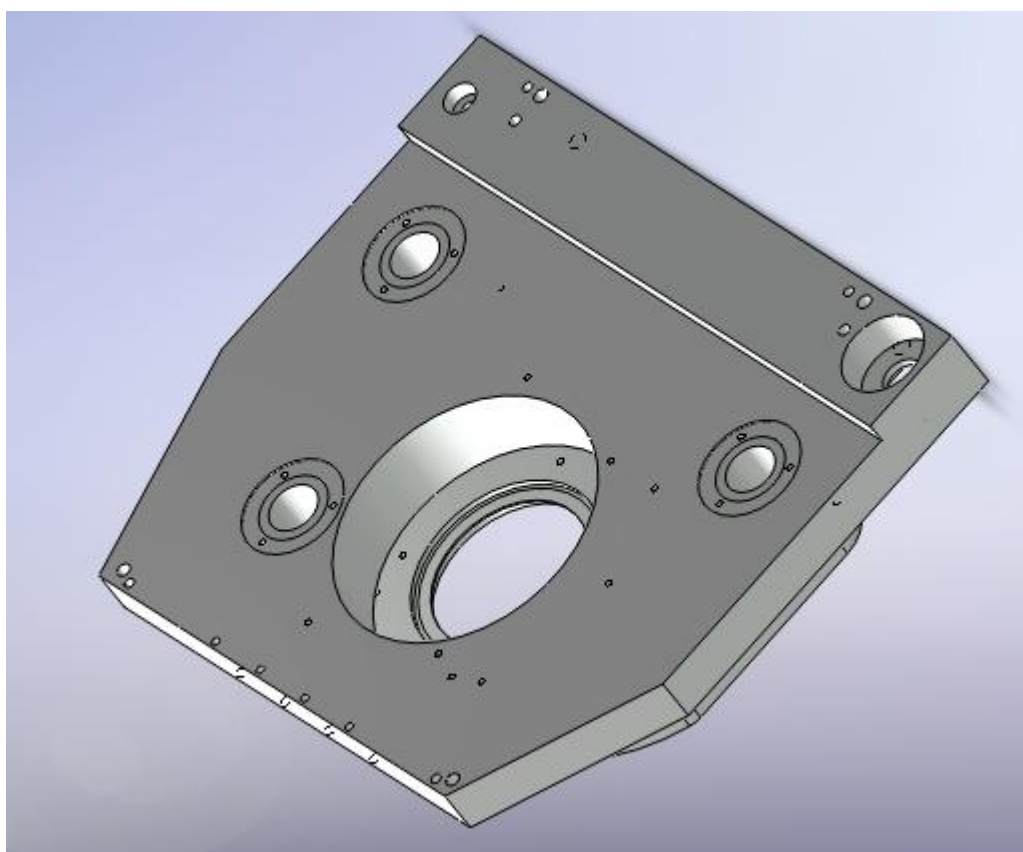
Základní materiál

- » ocel, litina, hliník a neželezné kovy

Použití

- » strojírenství, automobilový průmysl, letecký a chemický průmysl
- » součástky pro čerpací techniku, kompresory, hydraulické stroje
- » díly pro jaderný průmysl, elektroniku [5]

Pro zvýšení produkce a zefektivnění výroby jsme se rozhodli, že dodávaný materiál bude z úhlováný na daný rozměr, pouze síla polotovaru bude o 0,5mm větší z důvodu zarovnání.



Obr. 4.1 Náhled součásti (autor: Bc. Jiří Trunda)

4.2 Volba nástrojů a držáků

Nástrojové vybavení firmy, ve které jsem tuto diplomovou práci vyhotovoval, obsahuje nástroje od více značek. A to od firmy ISCAR, Innotool, Hoffmann Group, Narex a Pramet. Některé z těchto jmenovaných firem osazuje i obráběcí centra včetně držáků nástrojů.

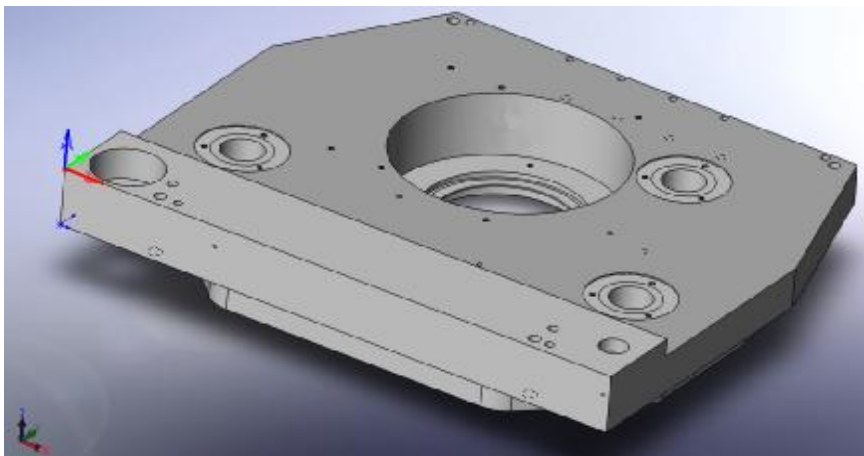
Použité vrtáky a navrtávačky byly převážně od firmy Hofman Group, stopkové frézy od firmy Innotool, frézovací hlavy od firmy Iscar a závitníky od firmy Narex.

Kompletní tabulka nástrojů je umístěna v příloze č.4

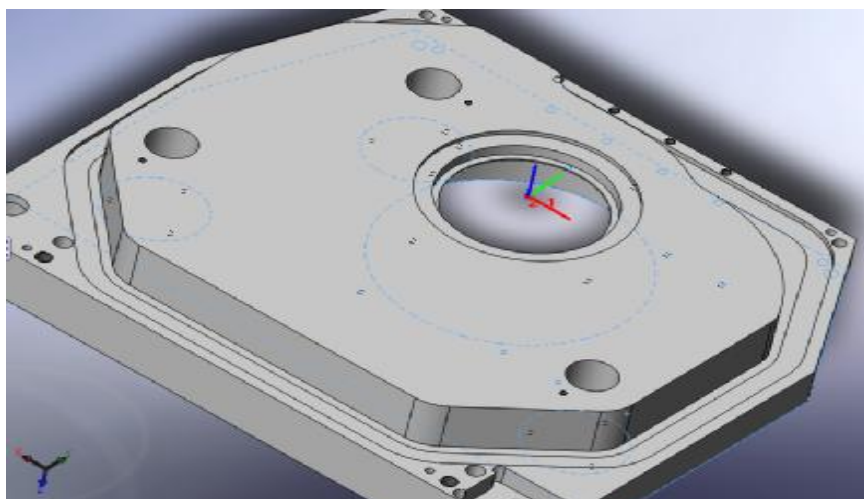
Nejvíce používané nástroje při obrábění jsou zobrazeny v příloze č.5

4.3 Technologický postup


Programování vychází od nulového bodu obrobku, který je umístěn v případě první polohy v dolním levém rohu součást, jak je zobrazeno na obr. 4.3.1 a ve středu otvoru v případě druhé polohy jak je tomu na obr. 4.3.2



Obr. 4.3.1 Nulový bod pro první polohu (autor: Bc. Jiří Trunda)



Obr. 4.3.2 Nulový bod pro druhou polohu (autor: Bc. Jiří Trunda)

	Číslo zakázky: 567-52-368	Ks: 300	Datum: 4.2.2009
	Název: FRONT PLATE QDB – 1.poloha		
	Hrubá hmotnost: 93 Kg	Čistá hmotnost: 68Kg	
	Materiál: ČSN 11 600	Číslo výkresu: 4022 290 22691	
	Rozměr polotovaru: 423 x 359 x 78	Středisko: MAS 1016 Quick	

Výrobní postup

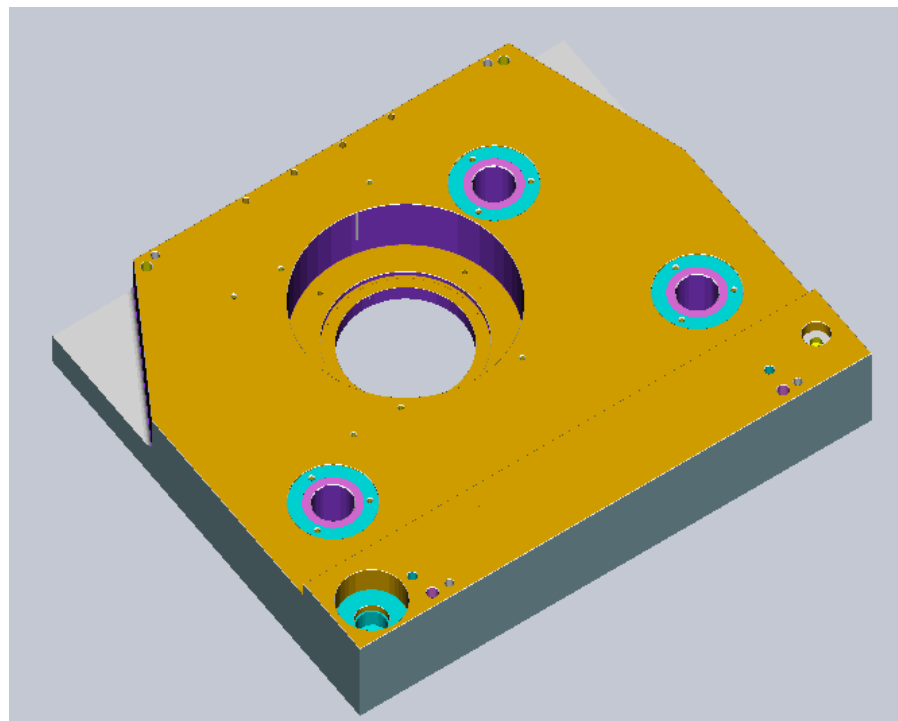
Úkon	Popis operace	Nástroj	a_p [mm]	t_{AC} [min]	Otáčky [ot.min ⁻¹]	Posuv [mm.min ⁻¹]
1.	Navrtání pro instalaci upínacího šroubu M16, hloubka 2,5mm	navrtávák ø8K	2,5mm	00:03	3000	80
2.	Vrtat otvor pro šroub M16, hloubka 2,5mm	vrták ø16,5HSS	3mm	01:27	350	60
3.	Přepnout upínky pol.2					
4.	Hrubovat levý horní roh, hloubka 48mm	fréza ø52K-R5	1mm	05:00	1300	5000
5.	Hrubovat pravý horní roh, hloubka 48mm	fréza ø52K-R5	1mm	02:15	1300	5000
6.	Hrubovat horní plochu (Z-13,2mm), hloubka 10mm	fréza ø52K-R5	1mm	10:57	1300	5000
7.	Dokončit horní plochu (Z-13,2mm), hloubka 13,2mm	fréza ø52K	0,5mm	01:13	1000	100
8.	Vrtat 3x ø30mm, 66,2mm od plochy (Z-13,2mm)	vrták plátkový ø30K	0,5mm	01:03	2200	200
9.	Hrubovat 3x ø62mm, hloubka 1mm od plochy (Z-13,2mm)	fréza ø20K	1mm	01:36	1600	300
10.	Vrtat 3 x 3 díry pro M4 na otvorech ø62mm, hloubka 12mm od plochy (Z-14,2mm)	vrták ø3,3K	2mm	00:29	5000	300
11.	Vrtat 6x otvor pro M4 na horní ploše (Z-13,2mm), hloubka 20mm od plochy (Z-13,2mm)	vrták ø3,3K	2mm	00:27	5000	300
12.	Dokončení 3x ø42mm, hloubka 0,05mm od plochy (Z-13,2mm)	fréza ø25K-Super	0,05mm	01:31	1000	100

13.	Srazit hrany 3x $\varnothing 62\text{mm}$, hloubka 0,8mm od plochy (Z-13,2mm)	srážeč $\varnothing 10\text{K}$	0,8mm	00:40	6000	100
14.	Srazit hrany 3x $\varnothing 30\text{mm}$, hloubka 3,6mm od plochy (Z-13,2mm)	srážeč $\varnothing 10\text{K}$	3,6mm	00:21	6000	100
15.	Zahloubení 3 x 3 díry pro M4 na otvorech $\varnothing 62\text{mm}$, hloubka 3,2mm od plochy (Z-13,2mm)	srážeč $\varnothing 10\text{K}$	3,2mm	00:16	6000	200
16.	Zahloubení 6x díry pro M4 na ploše (Z-13,2mm), hloubka 2,2mm od plochy (Z-13,2mm)	srážeč $\varnothing 10\text{K}$	2,2mm	00:11	6000	200
17.	Srazit hranu na ploše (Z-13,2mm), hloubka 2,4mm od plochy (Z-13,2mm)	srážeč $\varnothing 10\text{K}$	2,4mm	00:56	6000	1000
18.	Dokončit 3x $\varnothing 62\text{mm}$, hloubka 1mm od plochy (Z-13,2mm)	fréza $\varnothing 10\text{K}$	1mm	01:46	2500	350
19.	Dokončit levý a pravý horní roh, hloubka 44mm	fréza $\varnothing 14\text{K}$	44mm	08:14	1000	33
20.	Předvrtat 2x $\varnothing 8\text{mm}$ na ploše (Z-13,2mm), hloubka 32,8mm od plochy (Z-13,2mm)	vrták $\varnothing 6,8\text{K}$	2mm	00:18	3000	250
21.	Vrtat 2x $\varnothing 8\text{mm}$ na ploše (Z-13,2mm), hloubka 33,8mm od plochy (Z-13,2mm)	vrták $\varnothing 8\text{HSS}$	3mm	00:44	1100	100
22.	Vrtat 2x $\varnothing 3,2\text{mm}$ na ploše (Z-13,2mm), hloubka 23,8mm od plochy (Z-13,2mm)	vrták $\varnothing 3,2\text{K}$	2mm	00:11	5000	300
23.	Vrtat 2x $\varnothing 6\text{mm}$ na ploše (Z-13,2mm), hloubka 10,3mm od plochy (Z-13,2mm)	vrták $\varnothing 6\text{K}$	2mm	00:06	2500	250
24.	Vrtat 4x otvor pro M6 na ploše (Z-13,2mm), hloubka 29,8mm od plochy (Z-13,2mm)	vrták $\varnothing 5\text{K}$	2mm	00:26	3500	300


25.	Zarovnat 2x dno díry ø6mm na ploše (Z-13,2mm), hloubka 10mm od plochy (Z-13,2mm)	fréza ø6K	10mm	00:15	2000	100
26.	Srazit 2x hranu na díře ø8mm na ploše (Z-13,2mm), hloubka 2,4mm od plochy (Z-13,2mm)	srážeč ø10K	2,4mm	00:09	6000	300
27.	Srazit 2x hranu na díře ø6mm na ploše (Z-13,2mm), hloubka 2,35mm od plochy (Z-13,2mm)	srážeč ø10K	2,35mm	00:08	6000	200
28.	Srazit 4x hranu na díře ø5mm pro M6 na ploše (Z-13,2mm), hloubka 2,35mm od plochy (Z-13,2mm)	srážeč ø10K	2,35mm	00:12	6000	200
29.	Přepnout upínky pol.3					
30.	Frézovat odebrání ostrůvku po upínacím šroubu M16, hloubka 13,2mm	fréza ø50K-R5	1mm	00:18	1300	3000
31.	Hrubovat ø160mm, hloubka 47mm od plochy (Z-13,2mm)	fréza ø50K-R5	1mm	08:56	1300	4000
32.	Hrubovat ø115G7, hloubka 4mm od plochy (Z-60,2mm)	fréza ø50K-R5	1mm	00:36	1300	3000
33.	Hrubovat ø94,5mm, hloubka 17,7mm od plochy (Z-64,2mm)	fréza ø50K-R5	1mm	01:22	1300	2000
34.	Dokončit dno díry ø160mm, hloubka 47,3mm od plochy (Z-13,2mm)	fréza ø50K	47,3mm	01:18	1800	400
35.	Dokončit dno díry ø115G7, hloubka 51,3mm od plochy (Z-13,2mm)	fréza ø50K	51,3mm	00:46	1800	400
36.	Dokončit dno díry ø110mm, hloubka 51,5mm od plochy (Z-13,2mm)	fréza ø50K	51,5mm	00:32	1800	400
37.	Zarovnat horní plochu (Z0), hloubka 2mm	fréza ø50K	2mm	01:37	1800	600

38.	Předvrtat ø24mm, hloubka 45mm	vrták plátkový ø22K	0,5mm	00:14	2500	200
39.	Hrubovat díru ø50mm, hloubka 23mm	fréza ø20K	2mm	04:59	1600	300
40.	Hrubovat díru ø24mm, hloubka 6mm od plochy (Z-23mm)	fréza ø20K	2mm	00:29	1600	100
41.	Vrtat ø9mm, hloubka 18mm	vrták ø9K	2mm	00:06	2500	200
42.	Vrtat 2x ø3,2mm, hloubka 37mm	vrták ø3,2mm	2mm	00:16	5000	300
43.	Vrtat 2x ø6mm, hloubka 10,5mm	vrták ø6mm	2mm	00:07	2500	250
44.	Zarovnat 2x dno díry ø6mm, hloubka 10mm	fréza ø6K	10mm	00:15	2000	100
45.	Vrtat 2x díru pro M10, hloubka 46mm	vrták ø8,5K	2mm	00:24	2500	250
46.	Hrubovat díru ø20mm, hloubka 10,5mm	fréza ø8K	2mm	01:32	2200	200
47.	Vrtat 2x díru pro M10, hloubka 46mm	vrták ø8,5K	2mm	00:50	3000	250
48.	Předvrtat 2x díru pro ø7mm, hloubka 19mm	vrták ø6,8K	2mm	00:11	3000	60
49.	Navrtat 4x díru pro M4 v otvoru ø160mm, hloubka 2mm od plochy (Z-60,5mm)	navrtávák ø8K	2mm	00:18	3000	60
50.	Vrtat 4x díru pro M4 v otvoru ø160mm, hloubka 13,4mm od plochy (Z-60,5mm)	vrták ø3,3HSS	2mm	01:03	1300	60
51.	Srazit tvar plochy (Z0), hloubka 2,4mm	srážeč ø10K	2,4mm	01:00	6000	1000
52.	Srazit díru ø50mm, hloubka 2,35mm	srážeč ø10K	2,35mm	00:10	6000	1000
53.	Srazit díru ø24mm, hloubka 2,35mm od plochy (Z-23mm)	srážeč ø10K	2,35mm	00:13	6000	400
54.	Srazit 2x díru pro M10, hloubka 2,4mm	srážeč ø10K	2,4mm	00:09	6000	300
55.	Srazit díru ø20mm, hloubka 2,35mm	srážeč ø10K	2,35mm	00:07	6000	600
56.	Srazit 2x díru ø6mm + 2x díru ø7mm, hloubka 2,35mm	srážeč ø10K	2,35mm	00:18	6000	200
57.	Srazit díru ø160mm, hloubka 2,4mm od plochy (Z-13,2mm)	srážeč ø10K	2,4mm	00:31	6000	1000

58.	Srazit díru $\varnothing 115G7$, hloubka 2,4mm od plochy (Z-60,5mm)	srážeč $\varnothing 10K$	2,4mm	00:23	6000	1000
59.	Srazit díru $\varnothing 94,5mm$, hloubka 2,4mm od plochy (Z-64,5mm)	srážeč $\varnothing 10K$	2,4mm	00:19	6000	1000
60.	Dokončit díru $\varnothing 160mm$, hloubka 60,5mm	fréza $\varnothing 14K$	60,5mm	04:52	1400	100
61.	Dokončit díru $\varnothing 94,5mm$, hloubka 78,9mm	fréza $\varnothing 14K$	78,9mm	02:46	1400	100
62.	Dokončit boční plochu (Z0), hloubka 13,2mm	fréza $\varnothing 10K$	13,2mm	01:29	2500	300
63.	Dokončit díru $\varnothing 50mm$, hloubka 23mm	fréza $\varnothing 10K$	23mm	01:28	2500	200
64.	Dokončit díru $\varnothing 24mm$, hloubka 29mm	fréza $\varnothing 10K$	29mm	00:35	2500	200
65.	Dokončit díru $\varnothing 20mm$, hloubka 10,5mm	fréza $\varnothing 10K$	10,5mm	00:33	2500	150
66.	Dokončit díru $\varnothing 115G7$, hloubka 64,5mm	fréza $\varnothing 10K$	64,5mm	02:20	2500	300



Obr.4.3.3 Obrobená první poloha (autor: Bc. Jiří Trunda)

	Číslo zakázky: 567-52-368	Ks: 300	Datum: 4.2.2009
	Název: FRONT PLATE QDB – 2.poloha		
	Hrubá hmotnost: 93 Kg	Čistá hmotnost: 68Kg	
	Materiál: ČSN 11 600	Číslo výkresu: 4022 290 22691	
	Rozměr polotovaru: 423 x 359 x 78	Středisko: MAS 1016 Quick	

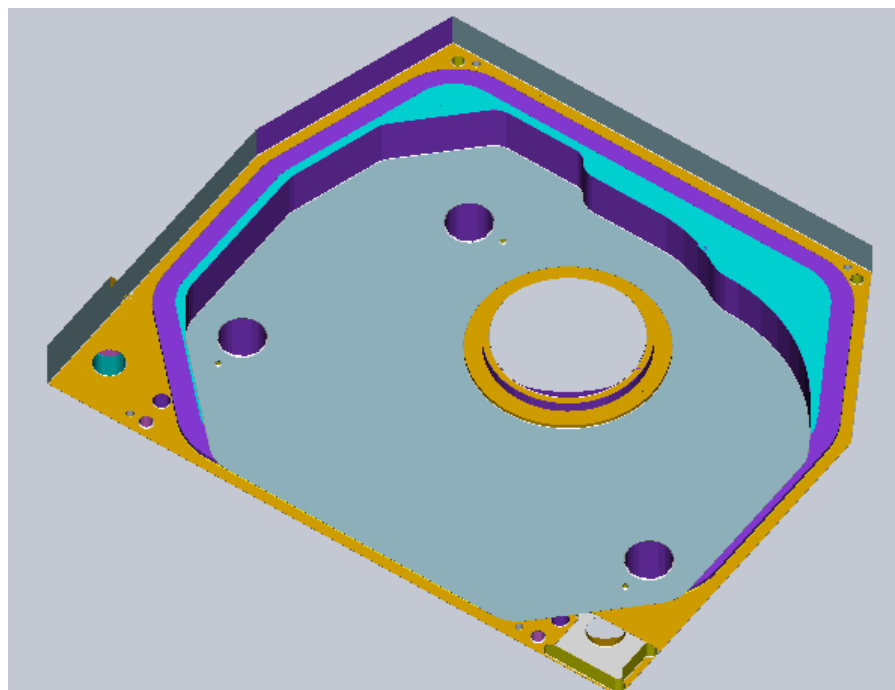
Výrobní postup

Úkon	Popis operace	Nástroj	a_p [mm]	t_{AC} [min]	Otáčky [ot.min ⁻¹]	Posuv [mm.min ⁻¹]
67.	Přepnout upínky pol.4					
68.	Vrtat 3x díru pro M4, hloubka 13mm	vrták ø3,3K	2mm	00:10	5000	300
69.	Srazit 3x díru pro M4, hloubka 2,5mm	srážec ø10K	2,5mm	00:06	6000	200
70.	Srazit 3x díru ø30K, hloubka 2,5mm	srážec ø10K	2,5mm	00:20	6000	1000
71.	Přepnout upínky pol.5					
72.	Hrubovat levý horní roh 30°, hloubka 34,6mm	fréza ø52K-R5	1mm	01:37	1300	5000
73.	Hrubovat pravý horní roh 18°, hloubka 34,6mm	fréza ø52K-R5	1mm	04:11	1300	5000
74.	Hrubovat pravý dolní roh, hloubka 34,6mm	fréza ø52K-R5	1mm	04:30	1300	5000
75.	Hrubovat levý dolní roh, hloubka 34,6mm	fréza ø52K-R5	1mm	04:30	1300	5000
76.	Hrubovat levý horní roh 45°, hloubka 34,6mm	fréza ø52K-R5	1mm	01:35	1300	5000
77.	Hrubovat horní část (R10, R15, R95, R30, R115, R16), hloubka 34,6mm	fréza ø52K-R5	1mm	03:08	1300	5000
78.	Hrubovat tvarový obvod, hloubka 34,9mm	fréza ø52K-R5	1mm	10:02	1300	5000
79.	Hrubovat díru ø126mm, hloubka 3mm	fréza ø52K-R5	1mm	00:18	1300	3500
80.	Hrubovat díru ø104mm, hloubka 11,65mm	fréza ø52K-R5	1mm	00:32	1300	3000
81.	Vyhrubovat R15, hloubka 34,6mm	fréza ø16K	2mm	01:15	1600	400
82.	Dokončit pravý dolní roh, hloubka 34,9mm	fréza ø52K	34,9mm	00:42	1800	600

83.	Dokončit levý dolní roh, hloubka 34,9mm	fréza ø52K	34,9mm	00:42	1800	600
84.	Dokončit levý horní roh 45°, hloubka 34,9mm	fréza ø52K	34,9mm	00:20	1800	600
85.	Dokončit horní část (R10, R15, R95, R30, R115, R16), hloubka 34,9mm	fréza ø52K	34,9mm	00:39	1800	600
86.	Dokončit tvarový obvod, hloubka 34,9mm	fréza ø52K	34,9mm	02:27	1800	600
87.	Dokončit dno díry ø126mm, hloubka 3,4mm	fréza ø52K	3,4mm	00:38	1800	500
88.	Dokončit dno díry ø104mm, hloubka 11,95mm	fréza ø52K	11,95 mm	00:28	1800	500
89.	Hrubovat tvarovou kapsu po obvodu, hloubka 3,98mm	fréza ø16K	2mm	06:46	1000	100
90.	Hrubovat tvarovou kapsu 30x42E9, hloubka 15mm od plochy (Z-34,9mm)	fréza ø8K	2mm	08:50	2200	350
91.	Vrtat 2x ø11mm, hloubka 27,3mm od plochy (Z-34,9mm)	vrták ø11K	2mm	00:15	2000	250
92.	Předvrtat ø20H6, hloubka 28,2mm od plochy (Z-34,9mm)	vrták ø11K	2mm	00:07	2000	250
93.	Předvrtat ø20H6, hloubka 28mm od plochy (Z-34,9mm)	vrták ø16,5HS S	2mm	00:22	350	80
94.	Hrubovat ø20H6, hloubka 28mm od plochy (Z-34,9mm)	fréza ø10K	3mm	02:11	2000	200
95.	Navrtat 4x ø5,1mm, hloubka 2,7mm od plochy (Z-34,9mm)	navrtává k ø8K	2,7mm	00:21	3000	60
96.	Vrtat 4x ø5,1mm, hloubka 10mm od plochy (Z-34,9mm)	vrták ø5,1HSS	10mm	00:26	1300	120
97.	Srazit ø126mm, hloubka 2,35mm	srážeč ø10K	2,35mm	00:25	6000	1000
98.	Srazit ø94,5mm, hloubka 14,295mm	srážeč ø10K	14,295 mm	00:18	6000	1000
99.	Srazit tvarový obvod, hloubka 2,4mm	srážeč ø10K	2,4mm	01:10	6000	1000

100.	Srazit tvar v (Z-34,9mm), hloubka 2,4mm od plochy (Z-34,9mm)	srážeč ø10K	2,4mm	01:31	6000	1000
101.	Srazit díru 2x ø8mm, hloubka 2,4mm od plochy (Z-34,9mm)	srážeč ø10K	2,4mm	00:07	6000	400
102.	Srazit díru ø20H6, hloubka 2,4mm od plochy (Z-34,9mm)	srážeč ø10K	2,4mm	00:08	6000	500
103.	Srazit 2x díru pro M10, hloubka 2,4mm od plochy (Z-34,9mm)	srážeč ø10K	2,4mm	00:10	6000	300
104.	Srazit tvarovou kapsu 30x42E9, hloubka 2,4mm od plochy (Z-34,9mm)	srážeč ø10K	2,4mm	00:15	6000	800
105.	Srazit ø24mm, hloubka 15mm od plochy (Z-34,9mm)	srážeč ø10K	15mm	00:11	6000	300
106.	Srazit 2x ø11mm, hloubka 2,4mm od plochy (Z-34,9)	srážeč ø10K	2,4mm	00:10	6000	400
107.	Srazit ø94,5mm, hloubka 14,295mm	srážeč ø10K	14,295 mm	01:18	6000	500
108.	Srazit drážku po obvodu, hloubka 2,4mm	srážeč ø8K	2,4mm	01:08	5000	1000
109.	Srazit ø104mm, hloubka 6,3mm	srážeč ø25K 15°	6,3mm	03:29	3000	100
110.	Dokončit tvarový obvod, hloubka 38,875mm	fréza ø14K	38,875 mm	09:42	1500	250
111.	Dokončit tvarovou drážku, hloubka 38,925mm	fréza ø10K	38,925 mm	07:28	2000	300
112.	Dokončit 2x dno díry ø11mm, hloubka 27mm od plochy (Z-34,9mm)	fréza ø10K	27mm	01:20	1800	50
113.	Dokončit ø20,5mm+ odlehčit ø20H6, hloubka 21 od plochy (Z-34,9mm)	T-fréza ø10HSS	2,5mm	01:47	1200	150
114.	Dokončit ø126mm, hloubka 3,4mm	fréza ø10K	3,4mm	01:21	2000	300
115.	Dokončit ø104mm, hloubka 11,945mm	fréza ø10K	11,945 mm	02:31	2000	250

116.	Dokončit tvarovou kapsu 30x42E9, hloubka 15mm od plochy (Z-34,9mm)	fréza ø8K	15mm	01:56	2000	200
117.	Dokončit ø20H6, hloubka 28mm od plochy (Z-34,9mm)	fréza ø8K	28mm	00:44	2000	150



Obr.4.3.4 Obrobená druhá poloha (autor: Bc. Jiří Trunda)

Řezné podmínky byly voleny na základě katalogových doporučení výrobců. Katalogové hodnoty řezné rychlosti v_c , jsem přepočítal dle vzorce:

$$\text{Řezná rychlost} \quad v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (4.1)$$

$$\text{Otáčky} \quad n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} \quad [\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (4.2)$$

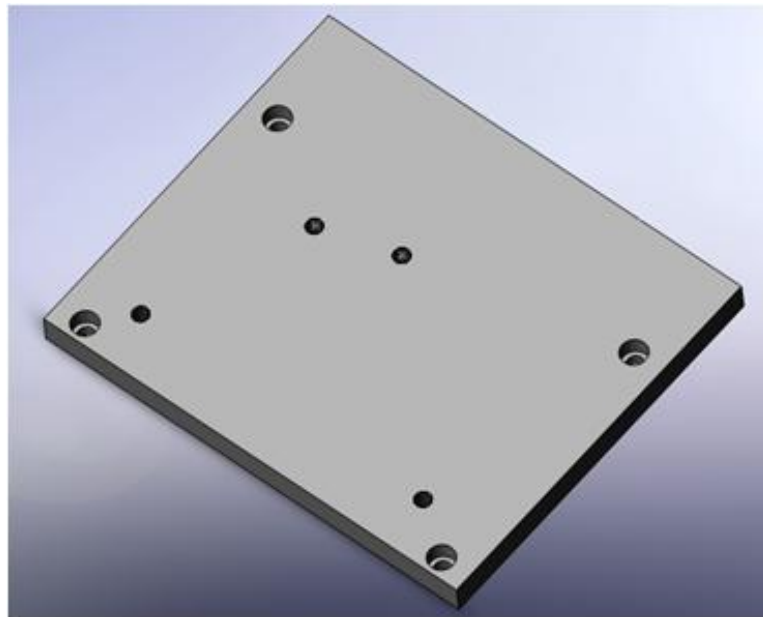
$$\text{Posuv} \quad f_{ot} = f_z \cdot z \quad [\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}] \quad (4.3)$$

$$f_{min} = f_{ot} \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (4.4)$$

Dle tvaru obráběné dráhy byly řezné podmínky nadále upravovány v průběhu obrábění na stroji, přičemž nebyly překročeny doporučené hodnoty výrobcem.

4.4 Přípravek

K výrobě součásti z důvodu zpřesnění a zjednodušení výroby byl navrhnut a použit přípravek.



Obr.4.4 Výrobní přípravek (autor: Bc. Jiří Trunda)

Přípravek je navrhnut tak, aby byl univerzální a bylo ho možné použít pro obrábění obou poloh.

Použití přípravku je znázorněno v příloze č.6

5 ZPRACOVÁNÍ CNC PROGRAMU PRO DANOU SOUČÁST

Uvedená součást je zpracovávána pomocí software SolidCAM 2008 pro řídicí systém Heidenhain iTNC530. Chronologie tohoto systému se odehrává v následujících krocích [30]:

1. začátek programu,
2. definování tvaru a rozměrů polotovaru,
3. definování nástrojů,
4. volání nástroje,
5. vlastní výrobní program,
6. konec programu.

5.1 Rozbor chronologie programu

1. Začátek programu – obsahuje název programu, název stroje, verzi řídicího software a datum zhotovení programu.

```
0 BEGIN PGM FRONTPLATEQDB402229022691 MM
1 ; MCV 1016 Ver.:02_09_2008
2 ; Date:26-FEB-2009 Time:15:38:11
3 ; FRONT PLATE QDB 4022 290 22691
```

2. Definování tvaru a rozměrů polotovaru – prvotně se zvolí osa vřetene a poté se volí souřadnice polotovaru v osách X, Y, Z a to v pořadí X, Y, Z MIN a X, Y, Z MAX (úhlopříčkou).

```
4 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-77.9
5 BLK FORM 0.2 X+423 Y+359 Z+0.3
```

3. Definování nástrojů – příkaz načítá informace o korekcích nástroje z tabulky nástrojů.

```
42 TOOL DEF 2
```

4. Volání nástroje – příkaz volá nástroj dle pořadového čísla v zásobníku nástrojů, který se předem nadefinoval. Zadává se zde i osa vřetene a otáčky vřetene.

```
41 TOOL CALL 1 Z S3000
```

5. Vlastní výrobní program – obsahuje různé programovací příkazy.

Uváděná součást je zpracována pomocí aplikace CAM. Aplikace CAM využívá programování na konturu, vrtací cykly a podprogramy.

a) Vrtací cyklus

45 CYCL DEF 200 VRTANI ~

Q200=2 ;BEZPEC. VZDALENOST ~

Q201=-2.5 ;HLOUBKA ~

Q206=80 ;POSUV NA HLOUBKU ~

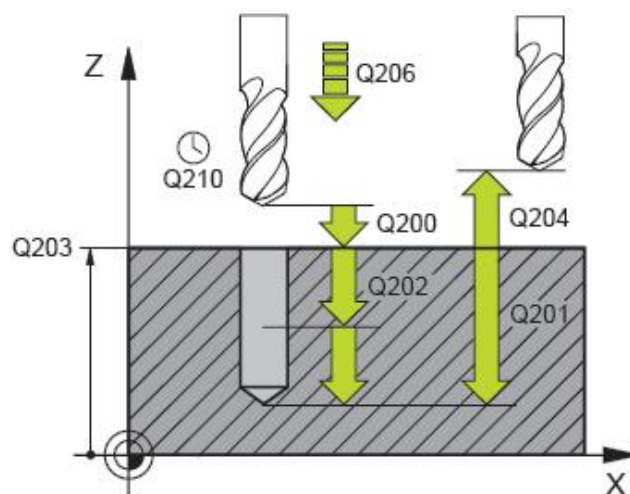
Q202=2.5 ;HLOUBKA PRISUVU ~

Q210=0.0 ;CAS.PRODLEVA NAHORE ~

Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~

Q204=+50 ;2. BEZPEC.VZDALENOST ~

Q211=0.0 ;CAS. PRODLEVA DOLE



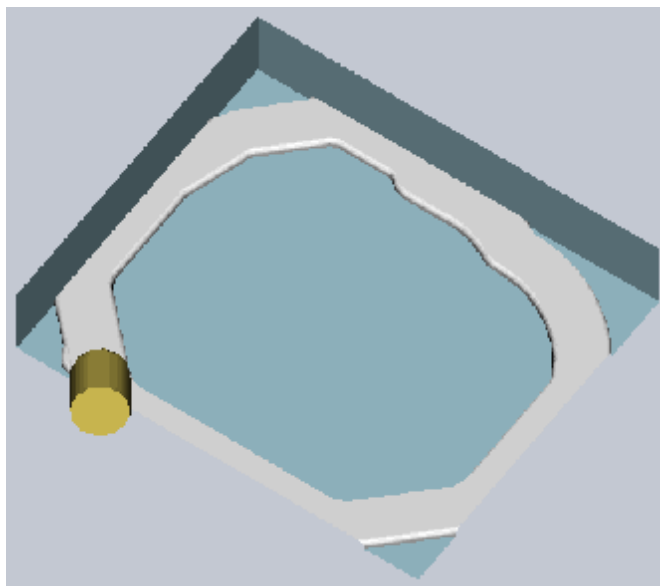
Obr. 5a Vrtací cyklus [32]

b) Programování na konturu

1911 ; F-HRUB TVAR - OBVOD-T3
 1912 L X-104,52 Y-253,253 R0 FMAX
 1913 L Z+50 R0 FMAX
 1914 L Z+2 FMAX
 1915 L Z-1 F1000
 1916 L X-86,135 Y-234,868 RL F5000
 1917 L X-190,526 Y-130,476
 1918 CC X-172 Y-111,95
 1919 C X-198,2 Y-111,95 DR-
 1920 L Y-15,511
 .
 .
 .
 2212 CC X+83,95 Y-171
 2213 C X+83,95 Y-197,2 DR-
 2214 L X-112,95
 2215 CC X-112,95 Y-171

2216 C X-131,476 Y-189,526 DR-
 2217 L X-146,239 Y-174,764
 2218 L X-168,159 Y-196,684 R0

.
 .
 .



Obr. 5b Programování na kontúru
 (autor: Bc. Jiří Trunda)

Tento způsob programování je softwarem CAM využíván jak pro frézování vnějších ploch, tak pro frézování vnitřních ploch (kapes).

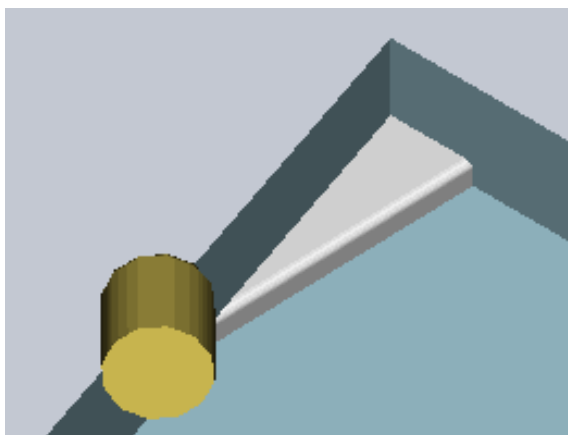
c) Programování s využitím podprogramu

```

107 TOOL CALL 3 Z S1300
108 TOOL DEF 5
109 L X-198,938 Y+161,118 R0 FMAX M3
110 L Z+50 R0 FMAX
111 L Z+2 FMAX
112 L Z-1 F1000           —————> Frézování v hloubce Z-1mm
113 CALL LBL 3
114 L Z+50 R0 FMAX
115 L X-198,938 Y+161,118 R0 FMAX
116 L Z+1 FMAX
117 L Z-2 F1000           —————> Frézování v hloubce Z- 2mm
118 CALL LBL 3
119 L Z+50 R0 FMAX
120 L X-198,938 Y+161,118 R0 FMAX
121 L Z+0 FMAX
122 L Z-3 F1000           —————> Frézování v hloubce Z- 3mm
  
```

```
.  
. .  
3022 L M30  
3023 ; ----- KONEC PROGRAMU -----  
3024 ;  
3025 LBL 3  
3026 L X-174,21 Y+153,083 RR F5000  
3027 L X-229,28 Y-16,407  
3028 L X-254,008 Y-8,372 R0  
3029 LBL 0
```

Opakující se část



Obr. 5c Programování s využitím podprogramu
(autor: Bc. Jiří Trunda)

Pokud se tvar kontury nemění a mění se pouze hloubka odebíraného materiálu v ose Z, aplikace CAM automaticky zavádí využití podprogramu. Tzn. software zhotoví soubor bloků, které jsou nezbytné pro obrábění dané kontury a uvede je do programu jako LBL X, kde X označuje číselné označení daného podprogramu. Podprogramy jsou uvedeny na konci hlavního programu, až za funkcí M30. Hlavní program probíhá až do okamžiku, kdy se v programu objeví funkce CALL LBL X. Tento příkaz vyvolá patřičný podprogram, ten se provede až do příkazu LBL 0 a dále opět pokračuje hlavní program.

Hlavní výhodou podprogramů, je úspora bloků, které by jinak zbytečně prodlužovaly program a tím zvětšovaly zaplnění paměti stroje. [32]

5.2 Simulace NC programu na stroji

Před vlastní výrobou byla provedena simulace výrobního programu přímo na stroji. Je to osvědčená praxe, kdy posuzujeme simulaci na stroj se simulací na PC. Mohou zde být mnohdy velké rozdíly. Simulaci programu na stroji provádíme v provozním režimu TEST. V tomto režimu je stroj v klidu a provádí se pouze grafická simulace. Tento režim nám umožňuje pozorovat současně běh programu a pozici nástroje.

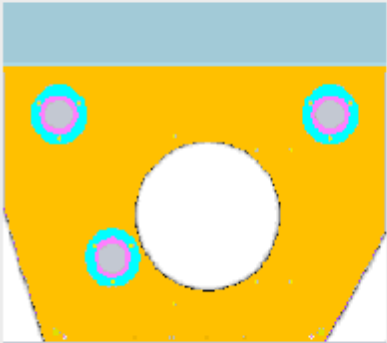
Program run
single block

Programming and editing

```

65 L X-41.264 Y+243.682 R0 FMAX M3
66 L Z+50 R0 FMAX
67 L Z+2 FMAX
68 L Z-1 F2000
69 L X+30.236 Y+301.30 F5000
70 L Z+50 R0 FMAX
71 L X-92.69 Y+298.792 FMAX
72 L Z+2 FMAX
73 L Z-1 F2000
74 L X-10.173 Y+225.732 RL F5000
75 L X+89.927 Y+363.43
76 L X+46.81 Y+376.43 R0
77 L Z+50 R0 FMAX
78 L X-41.284 Y+243.802 FMAX
79 L Z+2 FMAX
80 L Z-2 F2000
81 L X+38.236 Y+381.38 F5000
82 L Z+50 R0 FMAX
83 L X-92.88 Y+290.792 FMAX
84 L Z+2 FMAX
85 L Z-2 F2000
86 L X-10.173 Y+225.732 RL F5000
87 L X+89.927 Y+363.43
88 L X+46.01 Y+376.43 R0
89 L Z+50 R0 FMAX
90 L X-41.264 Y+243.682 FMAX
91 L Z+2 FMAX
92 L Z-3 F2000
93 L X+38.236 Y+381.38 F5000
94 L Z+50 R0 FMAX
95 L X-92.69 Y+298.792 FMAX
96 L Z+2 FMAX

```



BEGIN END PAGE PAGE FIND START START SINGLE RESET + START

Obr. 5.2.1 Simulace na stroji 1. strana (autor: Bc. Jiří Trunda)

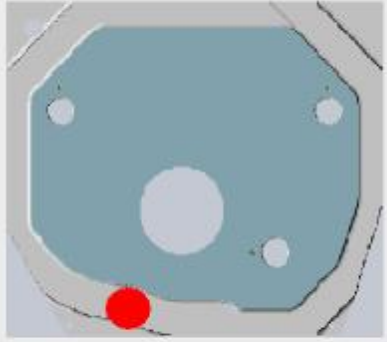
Program run
single block

Programming and editing

```

68 C X+141.899 Y-185.199 DR+
69 CC X+141.899 Y-189.287
70 C X+144.588 Y-186.388 DR-
71 L X+144.899 Y-186.7
72 CC X+142 Y-189.599
73 C X+146.1 Y-189.599 DR-
74 L Y-214.3
75 CC X+142 Y-214.3
76 C X+144.899 Y-217.199 DR-
77 L X+144.588 Y-217.511
78 CC X+141.899 Y-214.612
79 C X+141.899 Y-218.7 DR-
80 CC X+142 Y-218.8
81 C X+142 Y-218.9 DR+
82 L X+192
83 CC X+192 Y-218.8
84 C X+192.007 Y-218.7 DR+
85 CC X+192.312 Y-214.612
86 C X+189.412 Y-217.511 DR-
87 L X+189.101 Y-217.199
88 CC X+192 Y-214.3
89 C X+187.9 Y-214.3 DR-
90 L Y-189.599
91 CC X+192 Y-189.599
92 C X+189.101 Y-186.7 DR-
93 L X+189.412 Y-186.388
94 CC X+192.312 Y-189.287
95 C X+192.007 Y-185.199 DR-
96 CC X+192 Y-185.099
97 C X+192 Y-184.999 DR+
98 L X+167
99 L Y-186.899

```



BEGIN END PAGE PAGE FIND START START SINGLE RESET + START

Obr. 5.2.2 Simulace na stroji 2. strana (autor: Bc. Jiří Trunda)

5.3 Výroba na stroji

Po zapnutí stroje, se v prvním případě musí nastavit referenční body (viz. kapitola 2.2), poté následuje osazení zásobníku nástrojů dle seznamu nástrojů. Provede se přenos programu z externího PC prostřednictvím portu RS 232 do stroje. Poté musíme provést korekce nástrojů (viz. kapitola 2.3) a tyto hodnoty zapsat do tabulky nástrojů v řídicím systému. Pro měření korekcí nástrojů, byla použita dotyková sonda Heidenhain TT 140 (viz. obr. 2.3.2.2). Následovalo umístění přípravku společně s polotovarem. Pomocí 3D dotykové sondy Heidenhain TS 640 (viz. obr. 2.2.3) se provedlo určení nulového bodu obrobku, který se zapsal do řídicího systému stroje. Následuje finální simulace v provozním režimu TEST (viz. kapitola 5.2)

Po tzv. odladění prvního kusu, následovala výroba dalších součástí bez problémů. Po obrobení byla pořízena fotografie součásti (obr. 5.3)



Obr. 5.3 Fotografie fyzické součásti (autor: Bc. Jiří Trunda)

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBY

Celkové technicko-ekonomické zhodnocení výroby je nutno rozdělit do čtyř složek, které ve finálním součtu vyobrazí konečné hodnoty. Pro jednoduchost je výpočet proveden pro jeden rok.

Rozdělení:

- náklady na vypálení polotovaru,
- náklady na úhlování polotovaru,
- náklady na výrobu přípravku,
- náklady na výrobu součástí.

Výpočet hmotnosti obrobku:

$$m = (a \cdot b \cdot c) \cdot r = (423 \cdot 359 \cdot 78) \cdot 7,85 \cdot 10^{-3} = 92,982 \text{ kg} \cong 93 \text{ kg} \quad (6.1)$$

Vstupní hodnoty potřebné k výpočtu nákladů na výrobu:

– cena vypalování*	C_{vyp}	200	[Kč/m]
– cena úhlování*	C_{uhl}	650	[Kč/ks]
– cena materiálu obrobku*	C_{m}	19	[Kč/kg]
– cena materiálu přípravku*	C_{mp}	15	[Kč/kg]
– velikost roční série	N	100	[Ks/rok]
– velikost celé série	N_{F}	300	[Ks]
– hodinová sazba stroje**	N_{ss}	800	[Kč / hod]
– hrubá mzda dělníka*	N_{d}	180	[Kč / hod]
– hmotnost obrobku	m	93	[kg]
– doba výroby dílce	T_{kus}	270	[min]
– doba výroby přípravku	$T_{\text{př}}$	150	[min]

(* uvedené ceny jsou platné ke dni 1.4.2009)

(** uvedená cena je platná ke dni 1.4.2009 a zahrnuje veškeré náklady spojené s provozem stroje, jako náklady na nástroje, elektrickou energii, provozní kapaliny apod. Nezahrnuje náklady za hrubou mzdu dělníka.)

6.1 Náklady na vypálení polotovaru

Jak již bylo zmíněno, materiál je dodáván v úhlované podobě, a proto je nutné do ekonomického zhodnocení uvést i náklady s tím spojené.

Daná firma si za vypálení tohoto polotovaru účtuje 200Kč/m. Z jednoduchého vzorce zjistíme celkové roční náklady na vypálení 100ks/rok.

Obvod výpalku:

$$O_{\text{vyp}} = (2a_v + 2b_v) = (2 \cdot 429 + 2 \cdot 365) = 1588\text{mm} \approx 1,59\text{m} \quad (6.2)$$

a_v, b_v - délky vypálených stran včetně přídavků na obrábění

Celková vypalovaná dráha za rok:

$$O_c = N \cdot (2a + 2b) = 100 \cdot (2 \cdot 429 + 2 \cdot 365) = 158800\text{mm} \approx 159\text{m} \quad (6.3)$$

Náklady na vypálení jednoho polotovaru:

$$N_{\text{vyp}} = C_{\text{vyp}} \cdot O_{\text{vyp}} = 200 \cdot 1,59 = 318\text{Kč} \quad (6.4)$$

Náklady na vypálení roční série polotovarů:

$$N_{\text{vypc}} = C_{\text{vyp}} \cdot O_c = 200 \cdot 159 = 31800\text{Kč} \quad (6.5)$$

6.2 Náklady na úhlování polotovaru

Úhlování polotovaru bylo prováděno ve stejném podniku jako vypalování polotovarů.

Firma si za úhlování polotovaru účtuje 650Kč/ks.

Celkové náklady na výrobu roční série polotovarů:

$$N_{\text{polc}} = C_{\text{uhl}} \cdot N = 650 \cdot 100 = 65000\text{Kč} \quad (6.6)$$

Celkové náklady na jeden polotovar:

$$N_{\text{polk}} = \frac{N_{\text{polc}}}{N} = \frac{65000}{100} = 650\text{Kč} \quad (6.7)$$

6.3 Náklady na výrobu přípravku**Výpočet hmotnosti přípravku:**

$$m_p = (a_p \cdot b_p \cdot c_p) \cdot r = (440 \cdot 370 \cdot 30) \cdot 7,85 \cdot 10^{-3} = 38,339\text{kg} \approx 38,4\text{kg} \quad (6.8)$$

Náklady za materiál přípravku:

$$N_{mp} = C_{mp} \cdot m_p = 15 \cdot 38,4 = 576Kč \quad (6.9)$$

Náklady hodinového provozu stroje:

$$N_{sp} = N_{ss} + N_d = 800 + 180 = 980Kč \quad (6.10)$$

Celkové náklady na výrobu přípravku:

$$N_{př} = N_{mp} + N_{sp} \cdot \left(\frac{T_{př}}{60} \right) = 576 + 980 \cdot \left(\frac{150}{60} \right) = 3026Kč \quad (6.11)$$

Náklady na výrobu přípravku pro celou sérii:

$$N_{př} = \frac{N_{př}}{N_F} = \frac{3026}{300} \approx 10,1Kč \quad (6.12)$$

6.4 Náklady na výrobu součásti**Náklady za materiál na jeden kus:**

$$N_m = C_m \cdot m = 19 \cdot 93 = 1767Kč \quad (6.12)$$

Náklady za materiál pro roční sérii:

$$N_R = N_m \cdot N = 1767 \cdot 100 = 176700Kč \quad (6.13)$$

Náklady hodinového provozu stroje:

$$N_s = N_{ss} + N_d = 800 + 180 = 980Kč \quad (6.14)$$

Čas potřebný k výrobě roční série:

$$T_{celk} = T_{kus} \cdot N = 270 \cdot 100 = 27000min \equiv 450hod \quad (6.15)$$

Náklady na provoz stroje pro roční sérii:

$$N_{cs} = N_s \cdot T_{celk} = 980 \cdot 450 = 441000Kč \quad (6.16)$$

Celkové náklady na výrobu roční série:

$$N_{obrc} = N_{cs} + N_R = 441000 + 176700 = 617700 \text{Kč} \quad (6.17)$$

Celkové náklady na jeden kus:

$$N_{obrkc} = \frac{N_{obrc}}{N} = \frac{617700}{100} \cong 6177 \text{Kč} \quad (6.18)$$

6.5 Konečné náklady na výrobu**Celkové náklady na výrobu jednoho kusu za rok:**

$$N_k = N_{vyp} + N_{polk} + N_{přř} + N_{obrkc} = 318 + 650 + 10,1 + 6177 = 7155,1 \text{Kč} \quad (6.19)$$

Celkové náklady na výrobu roční série:

$$N_c = N_{vypc} + N_{polc} + N_{př} + N_{obrc} = 31800 + 65000 + 3026 + 617700 = 717526 \text{Kč} \quad (6.20)$$

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout technologickou přípravu výroby součástky pro CNC frézovací centrum za použití progresivních řezných nástrojů.

V první části této práce je popsán rozbor obecných možností frézování na CNC strojích, teorie programování frézovacích center a použití CAD/CAM systémů. Jedná se o moderní, vysoce výkonnou a produktivní metodu obrábění, která se na světě více a více rozšiřuje. Poptávka po výrobcích s vysokými nároky na přesnost a geometrickou náročnost stále roste. S tím je spjat i vývoj nových řezných nástrojů, které musí pracovat za stále se zvyšujících řezných podmínek.

Druhá část této práce popisuje konkrétní praktickou realizaci. K výrobě součástky byl použit materiál ČSN 11 600, který je pro tuto součást vhodný. Je lehce dostupný, vyhovuje v rámci mechanických vlastností, snadno obrobitelný a v neposlední řadě i ekonomicky dostupný.

Jako výrobní stroj byl použit MAS MCV 1016 QUICK, který disponuje dostatečně rozmanitou výbavou progresivních nástrojů, včetně měřících sond. Pro tento stroj byl navrhnout přípravek, který zjednodušuje a zefektivňuje celkovou výrobu. Náklady na výrobu přípravku jsou „vykoupeny“ úsporou času při ustavování polotovarů.

K vyhotovení výrobního programu byl použit software firmy SolidVision, konkrétně SolidWorks včetně integrovaného CAM systému. Jako řídicí systém byl použit Heidenhain iTNC 530 z důvodu zastoupení v dané firmě.

Před vlastním procesem obrábění byla provedena simulace výrobního programu, tím se zjistila funkčnost programu a předešlo se případným kolizním stavům a haváriím. Patří to ke standardnímu postupu před vlastní výrobou.

Proces obrábění proběhl bez problému, proto lze hovořit o úspěšném splnění cíle této diplomové práce.

Výroba součásti je na závěr podložena technicko-ekonomickým zhodnocením.

Výrobní program je uložen z důvodu velkého objemu dat pouze na disku CD této diplomové práce.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. KOČMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. KOČMAN, K. *Speciální technologie – Obrábění*. 2. vyd. Brno: PC- DIR Real, 1998
4. SVOBODA, E. *Technologie a programování CNC strojů*. 1. vyd. H.Brod: FRAGMENT, 1998.
5. PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M., VAČKÁŘ, J. *Jakost a metrologie: Část metrologie*. 2.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 151 s. ISBN 80–214–1997–0.
6. OPLATEK, F., LUNER, M., OSOBA, J., SVOBODA, K., ŠMEJKAL, L. *Automatizace a automatizační technika*. 1. vyd. Praha 4: COMPUTER PRESS, 2000 ISBN 80-7226-249-1
7. ŠTULPA, M. *Obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN, 2006 ISBN 80-7300-207-8
8. KÖSZEGI, A., NOVÁK, E. *Kniha ocelí* 1. vyd. Olomouc: FERONA Olomouc, 1996
9. KARAFIÁTOVÁ, S. *Technologie 3 – učební texty pro 3. Ročník oborů s předměty programování a obsluhou CNC strojů*, Brno 2001
10. TRUNDA, J. *Technologie obrábění na CNC frézovacích obráběcích centrech (bakalářská práce)*, Brno, 2007
11. NEXTNet a.s., CNC programování, dostupné na CHUDOBA Milan, *Základy programování a obsluha CNC strojů – učební texty*, SPŠ Jihlava Dostupné na (<http://www2.sps-jia.cz>)
12. Katalog ISCAR MILLPLUS, *The Complete Range of Milling and Drilling Tools*, January 2000
13. Katalog Hoffmann Group – hlavní katalog 2008/2009
14. BARTOŠ, V., KRÁL, M., MINÁRIK, R., ŠTULPA, M. *Základy CNC obráběcích strojů*. H. Brod: FRAGMENT, 1998
15. *Čtečka děrných pásků*. [online], [cit. 2009-02-08]. URL: < <http://www.techtronex.cz> >
16. *Čtečka magnetických pásků*. [online], [cit. 2009-02-08]. URL: < <http://www.emag.cz> >
17. KRÁL, P., HRÁZSKÝ, J., MM Průmyslové spektrum. 2001/10. *CNC technologie - ano, či ne?* [online], [cit. 2009-02-19]. URL: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/cnc-technologie-ano-ci-ne> >
18. *Pětiosý stroj*. [online], [cit. 2009-03-11]. URL: < <http://www.automatizace.cz> >
19. *Kolébkový mechanismus*. [online], [cit. 2009-03-12]. URL: < <http://www.kovosvit.cz> >
20. *Přídavný otočný stůl*. [online], [cit. 2009-03-12]. URL: < <http://stroje.bost.sk> >
21. *Zásobník nástrojů frézovacího centra (bubnový)*. [online], [cit. 2009-03-13].

- URL: < <http://www.fermatmachinery.com>>
22. *Zásobník nástrojů frézovacího centra (řetězový)*. [online], [cit. 2009-03-13].
URL: < <http://www.tosvarnzdorf.cz> >
23. *Kuličkový šroub s maticí*. [online], [cit. 2009-03-18].
URL: < <http://www.technikaatrh.cz> >
24. *Lineární pohon*. [online], [cit. 2009-02-21].
URL: < <http://pavel.lasakovi.com/projekty/elektrotechnika/linearni-pohony> >
25. Studijní materiály ISS-COP Olomoucká 61, Brno. *Zásobníky nástrojů*.
Brno, 2003
26. ZIEGLTRUM, F. MM Průmyslové spektrum. 2006/6.
3D dotykové sondy pro malá obráběcí centra [online], [cit. 2009-03-09].
URL: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/3D-dotykove-sondy-pro-mala-obrabeci-centra> >
27. HODÁČ, V. MM Průmyslové spektrum. 2009/1.
Obráběcí centrum pro obrábění dřeva a plastů [online], [cit. 2009-03-18].
URL: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeci-centrum-pro-obrabeni-dreva-a-plastu> >
28. T+T Technika a trh, *Přístroj na měření a kontrolu nástrojů* [online]
URL: < http://www.technikaatrh.cz/index.php?sec=rubrika&id_rubrika=41&start=6 >
29. KOVOSVIT MAS, *MCV 1016 QUICK* [online], [cit. 2009-03-26].
URL: < <http://www.kovosvit.cz/2008/cs/technologie-frezovani/vertikalni/mcv-1016-quick> >
30. HEIDENHAIN: *Průvodce popisný dialog iTNC530 9/2006*, Německo, Traunreut, 1.vyd., 126 s.
31. *Konstrukční ocel ČSN 11600* [online], [cit. 2009-02-24].
URL: < <http://www.jkz.cz/ocel.php?ocel=11600&lang=cz> >
32. HEIDENHAIN: *Příručka uživatele Popisný dialog HEIDENHAIN iTNC 530. 9/2006*, Německo, Traunreut, 1.vyd., 751 s.
33. *Frézovací hlavy*. [online], [cit. 2009-04-20].
URL: < <http://www.iscar.cz> >
34. *Stopkové nástroje*. [online], [cit. 2009-04-25].
URL: < <http://www.innotool.cz> >
35. *Upínače nástrojů*. [online], [cit. 2009-04-28].
URL: < <https://www.verko.cz> >

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
t_{AX}	[s]	čas výměny nástroje
t_{AC}	[min/ks]	jednotkový čas práce
LK 1	[mm]	délka 1. nástroje od vřetena
LK 2	[mm]	délka 2. nástroje od vřetena
LK R	[mm]	rozdíl délek mezi nástroji 1 a 2 (korekce délky)
RK 1	[mm]	poloměr nástroje 1
RK 2	[mm]	poloměr nástroje 2
CW	[min ⁻¹]	otáčení ve směru hodinových ručiček
CCW	[min ⁻¹]	otáčení proti směru hodinových ručiček
R	[mm]	poloměr
F	[mm]	posuv
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
π		Ludolfovo číslo
d	[mm]	průměr nástroje
n	[ot.min ⁻¹]	otáčky nástroje
f_{ot}	[mm.ot ⁻¹]	posuv za otáčku
f_{min}	[mm.min ⁻¹]	posuv za minutu
m	[kg]	hmotnost
a, b, c	[mm]	délky stran obrobku
ρ	[kg.m ⁻³]	hustota materiálu
C_{vyp}	[Kč.m ⁻¹]	cena vypalování plazmou
C_{uhl}	[Kč.ks ⁻¹]	cena úhlování

C_m	[Kč.kg ⁻¹]	cena materiálu obrobku
C_{mp}	[Kč.kg ⁻¹]	cena materiálu přípravku
N	[Ks.rok ⁻¹]	velikost série
N_F	[Ks]	velikost celé série
N_{ss}	[Kč.hod ⁻¹]	hodinová sazba stroje
N_d	[Kč.hod ⁻¹]	hrubá mzda dělníka
T_{kus}	[min]	doba výroby dílce
$T_{př}$	[min]	doba výroby přípravku
O_{vyp}	[mm]	obvod výpalku
O_c	[mm]	celková vypalovaná dráha za rok
a_v, b_v	[mm]	délky vypálených stran včetně přídavků na obrábění
a_p, b_p, c_p	[mm]	délky stran přípravku
N_{vyp}	[Kč]	náklady na vypálení jednoho polotovaru
N_{vypc}	[Kč]	náklady na vypálení roční série polotovarů
N_{polc}	[Kč]	celkové náklady na výrobu roční série polotovarů
N_{polk}	[Kč]	celkové náklady na jeden polotovar
m_p	[kg]	hmotnost přípravku
N_{mp}	[Kč]	náklady za materiál
N_{sp}	[Kč]	náklady hodinového provozu stroje
$N_{př}$	[Kč]	celkové náklady na výrobu přípravku
$N_{přc}$	[Kč]	náklady na výrobu přípravku pro celou sérii
N_m	[Kč]	náklady za materiál na jeden kus

N_R	[Kč]	náklady za materiál pro roční sérii
N_s	[Kč]	náklady hodinového provozu stroje
T_{celk}	[Kč]	celkový čas potřebný k výrobě roční série
N_{cs}	[Kč]	náklady na provoz stroje pro roční sérii
N_{obrc}	[Kč]	celkové náklady na výrobu roční série
N_{obrk}	[Kč]	celkové náklady na jeden kus
N_k	[Kč]	celkové náklady na výrobu jednoho kusu
N_c	[Kč]	celkové náklady na výrobu roční série

CNC – Computer Numerical Control – číslicově řízený stroj

CAD –Computer Aided Design – 2D a 3D počítačové projektování

CAM – Computer Aided Manufacturing – počítačem podporovaná výroba

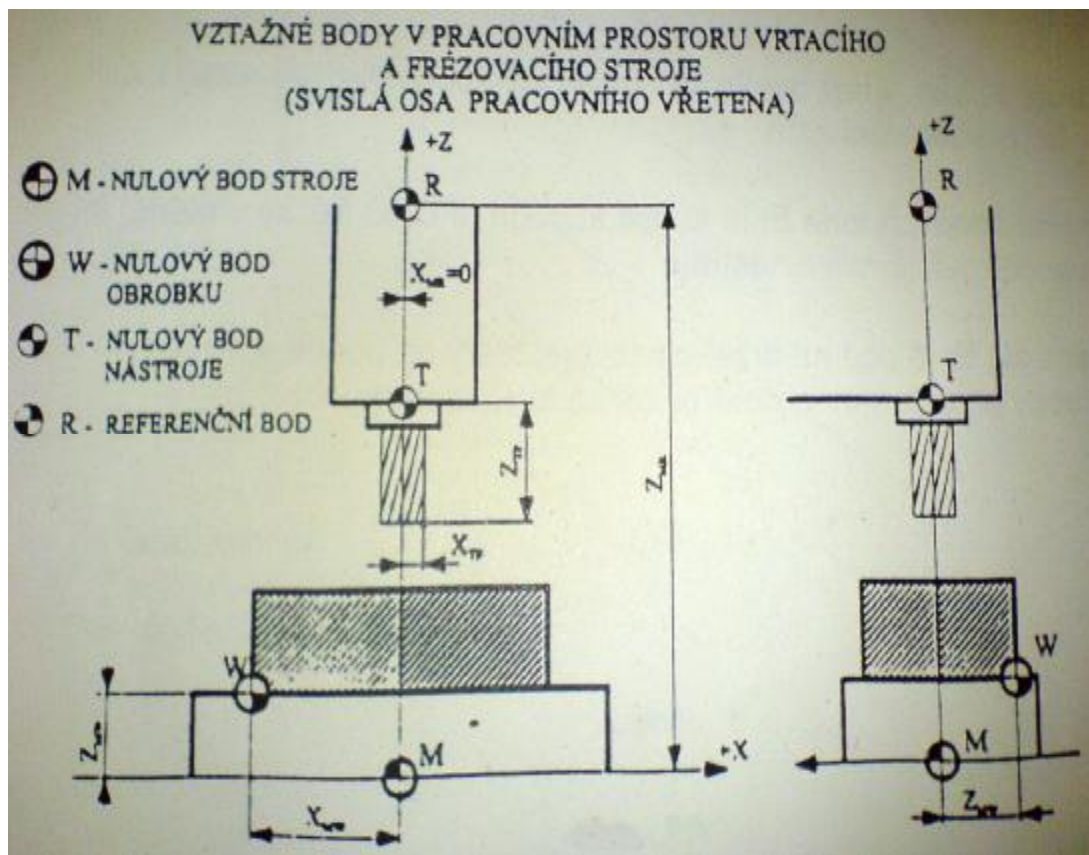
CAE –Computer Aided Engineering – počítačem podporovaná kontrola

CAP – Computer Aided Planing – počítačem podporované plánování

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Vztažné body v pracovním prostoru frézovacího stroje
Příloha 2 Přehled přípravných funkcí na CNC strojích
Příloha 3 Přehled pomocných funkcí na CNC strojích
Příloha 4 Tabulka nástrojů
Příloha 5 Ukázka nejvíce používaných nástrojů při procesu obrábění
Příloha 6 Ukázky upnutí součásti na přípravku

Příloha 1



Vztažné body v pracovním prostoru frézovacího stroje [9]

Příloha 2

PŘEHLED PŘÍPRAVNÝCH FUNKCÍ Frézování

Funkce	Význam	Adresy
G00	RYCHLOPOSUV - pohyb nástroje po přímce max. rychlostí do bodu (X, Y, Z)	X Y Z
G01	LINEÁRNÍ INTERPOLACE – pohyb nástroje po přímce pracovním posuvem (F) do bodu (X, Y, Z)	X Y Z F
G02	KRUHOVÁ INTERPOLACE ve směru hodinových ručiček - pohyb nástroje po kružnici o poloměru (R) pracovním posuvem (F) do bodu (X, Y, Z)	X Y Z R F
G03	KRUHOVÁ INTERPOLACE proti směru hodinových ručiček - pohyb nástroje po kružnici o poloměru (R) pracovním posuvem (F) do bodu (X, Y, Z)	X Y Z R F
G04	ČASOVÁ PRODLEVA – přerušení běhu programu na dobu (T) sekund	T
G08	FUNKCE DALŠÍ OSY – pohyb další osy o počet impulsů (A) posuvem (F)	A F
G17	VOLBA ROVINY X – Y	
G18	VOLBA ROVINY X – Z	
G19	VOLBA ROVINY Y – Z	
G21	PRÁZDNÝ BLOK – slouží k vymazání nežádoucího bloku (N...)	
G25	SKOK DO PODPROGRAMU – skok do podprogramu na číslo bloku uvedené v adrese (L)	L
G26	PROGRAMOVÝ CYKLUS – skok do podprogramu na číslo bloku uvedené v adrese (L) s počtem opakování uvedeným v adrese (H)	L H
G27	PROGRAMOVÝ SKOK – skok na libovolný blok programu uvedený v adrese (L)	L
G29	TEXTOVÁ POZNÁMKA – text v rozsahu dvaceti znaků v ASCII	
G31	NAJETÍ NA SONDU v jedné ose	X Y Z
G40	ZRUŠENÍ KOREKCE	

G43	KOREKCE Kladná	
G44	KOREKCE Záporná	
G45	KOREKCE Kladná poloviční	
G46	KOREKCE Záporná poloviční	
G72	OBDELNÍKOVÝ CYKLUS - zhotoví obdélníkové vybrání, definované souřadnicemi (X, Y, Z) s hloubkou záběru (W), posuvem (F)	X Y Z W F
G81	CYKLUS VRTÁNÍ – vrtání otvoru do hloubky (Z) posuvem (F)	Z F
G83	CYKLUS VRTÁNÍ S VÝPLACHEM – vrtání otvoru do hloubky (Z) posuvem (F), po vyvrtání úseku (W) dojde k vypláchnutí třísek rychloposuvem	Z W F
G85	CYKLUS VYSTRUŽOVÁNÍ – vystružování do hloubky (Z) posuvem (F) a návrat do výchozí pozice posuvem (F)	Z F
G90	ABSOLUTNÍ PROGRAMOVÁNÍ	
G91	INKREMENTÁLNÍ PROGRAMOVÁNÍ – programování přírůstkové	
G92	ABSOLUTNÍ PROGRAMOVÁNÍ S POSUNUTÍM NULOVÉHO BODU – umístění nulového bodu kdekoli v pracovním prostoru stroje, (X, Y, Z) – souřadnice nástroje vzhledem k novému nulovému bodu	X Y Z

Tab. 1 Přehled přípravných funkcí na CNC strojích [10]

Příloha 3

PŘEHLED POMOCNÝCH FUNKCÍ Frézování

M00	PROGRAMOVÉ ZASTAVENÍ – zastavení běhu programu a otáček vřetena, opětovné spuštění programu po stisknutí tlačítka START	
M03	ROZTOČENÍ VŘETENE DOPRAVA – roztočení vřetena v kladném směru na hodnotu otáček (S)	S
M04	ROZTOČENÍ VŘETENE DOLEVA – roztočení vřetena v záporném směru na hodnotu otáček (S)	S
M05	ZASTAVENÍ OTÁČEK VŘETENA –vypnutí otáček vřetena	
M06	VÝMĚNA NÁSTROJE – zastavení otáček vřetena a výměna nástroje číslo (T), průměr (D), délková korekce (Z)	D Z T
M07	ZAPNUTÍ CHLADICÍ KAPALINY	
M09	VYPNUTÍ CHLADICÍ KAPALINY	
M17	KONEC PODPROGRAMU – ukončení podprogramu a návrat do hlavního programu	
M30	KONEC PROGRAMU - ukončení hlavního programu a všech činností stroje	
M99	DEFINICE VELIKOSTI POSUVU	

Tab. 2 Přehled pomocných funkcí na CNC strojích [10]

Příloha 4

Tabulka nástrojů			
Pozice	Název nástroje	Upínač	Poznámka
1	Navrtávák ø8K		Vysunout min. 51mm
2	Vrták ø16,5HSS		
3	Fréza ø52K-R5		
4	Fréza ø50K		
5	Fréza ø16K Vrták ø30K	1.strana 1.strana	Vysunout min 39mm
6	Fréza 15° Fréza ø20K	2.strana 1.strana	R 9,7
7	Vrták ø3,3K		
8	Vrták ø5,1HSS Fréza ø25K	2.strana 1.strana	
9	Srážeč ø10K	DL~80 prodl. Weldon	R2
10	Fréza ø10K – dokonč. 1.+2.strana	Vysunout min. 30mm, ostří 23,5mm	Ø50; ø20; ø24; ø62 Z-1; Bok 66 Z-13,2; ø20 Z- 10,5
11	Fréza ø14K – dokonč.	Kleština	(H7); ostří min 40mm
12	T-Fréza ø10HSS Vrták ø6,8K	2.strana 1.strana	Síla kotouče 3mm
13	Fréza ø10K – dokonč. Vrták ø8HSS	2.strana 1.strana	Vysunout min 40mm (ostří 4,5mm)
14	Vrták ø3,2K		DI 37mm
15	Vrták ø6K		
16	Vrták ø5K		(M7) chlazení
17	Fréza ø8K – dokonč. Fréza ø6K – dokonč.	2.strana 1.strana	Kapsa 42 E9; prodl. Weldon
18	Vrták ø11K Vrták ø22K	2.strana 1.strana	Max ø8mm; ostří 15,5 DL 10mm
19	Fréza ø8K – dokonč. Vrták ø9K	2.strana 1.strana	Ø20H6; kleština delší (H7)
20	Vrták ø8,5K		(M7)
21	Fréza ø8K – hrub. 1.+2.strana	2.strana - Prodl. Weldon	2.strana - ostří 15,5 1.strana – ostří min.11mm
22	Fréza ø10K –hrub Vrták ø3,3HSS	2.strana 1.strana	Prodl. Weldon
23	Fréza ø10K – dokonč. 1.+2.strana	1.str.-prodl. Weldon 2.str.-krátký Weldon	Na druhou stranu vyměň
24	Dotyková sonda Heidenhain		TS 640

Příloha 5

Ukázka nejvíce používaných nástrojů při procesu obrábění



Vysoce produktivní frézovací hlava s označením FRW od firmy ISCAR. V NC programu je uvedena pod položkou nástrojů jako T3. Je určena k hrubování. [33]



F90SP-10 je frézovací hlava určená pro vysoké výkony obrábění. Lze ji použít jednak jako hrubovací ale taktéž jako dokončovací nástroj. V NC programu je uvedena pod položkou nástrojů jako T4. [33]



UF4404-10 je stopková fréza od firmy Innotool vhodná jak pro hrubování tak pro dokončování. Lze ji použít pro frézování materiálů s tvrdostí do 48HRC. V NC programu je uvedena pod položkou nástrojů jako T23. [34]



ECF D-4/45-4C10 je stopkový srážecí ostřin s vrcholovým úhlem 90° a hloubkou záběru $a_p=4\text{mm}$. V NC programu je uveden pod položkou nástrojů jako T9. [34]

Ukázka nejvíce používaných upínačů při procesu obrábění



Držák fréz Weldon DIN 69871 AD/B, slouží k upínání stopkových fréz s břity ze slinutého karbidu. Tyto frézy mají broušenou upínací stopku. [35]



Držák fréz Weldon DIN 69871 AD/B - prodloužený, je určen k tuhému prodloužení stopkových fréz s břity ze slinutého karbidu. Tyto frézy mají broušenou upínací stopku. [35]

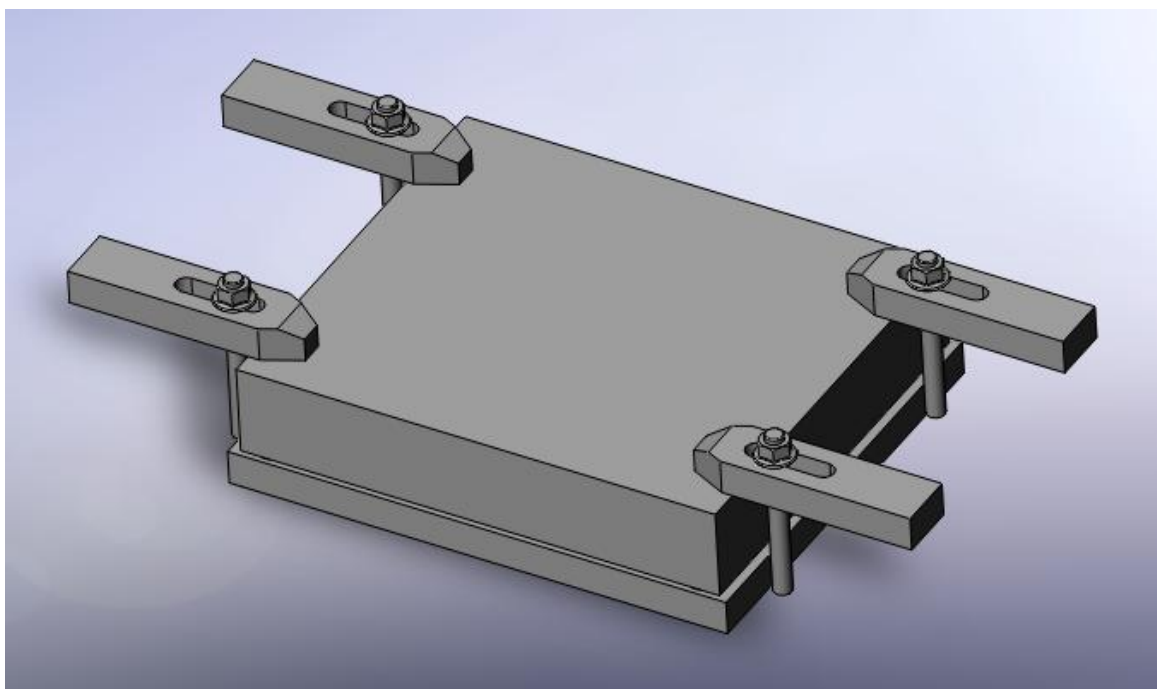


Kleštinový upínač DIN 69871 AD/B, je určen k upínání stopkových fréz, které nemají broušenou upínací stopku. Upnutí není tak tuhé jako u způsobu Weldon. Je vhodný převážně pro dokončovací nástroje. [35]

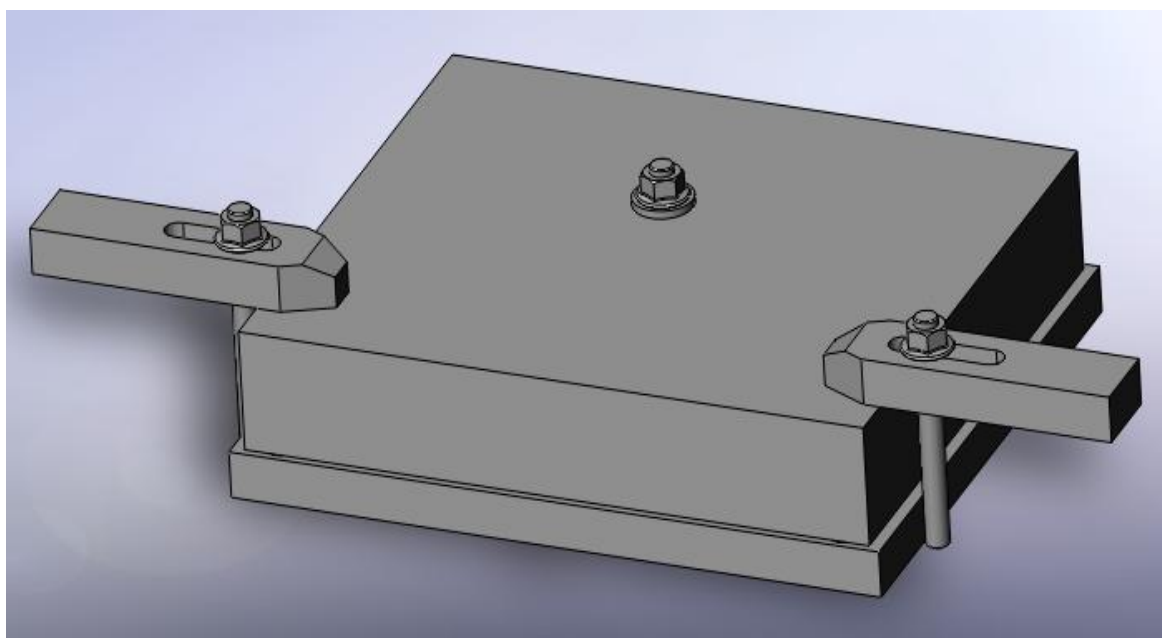


Frézovací trn pro frézovací hlavy MAS-BT, slouží k upínání malých frézovacích hlav do $\varnothing 60\text{mm}$. [35]

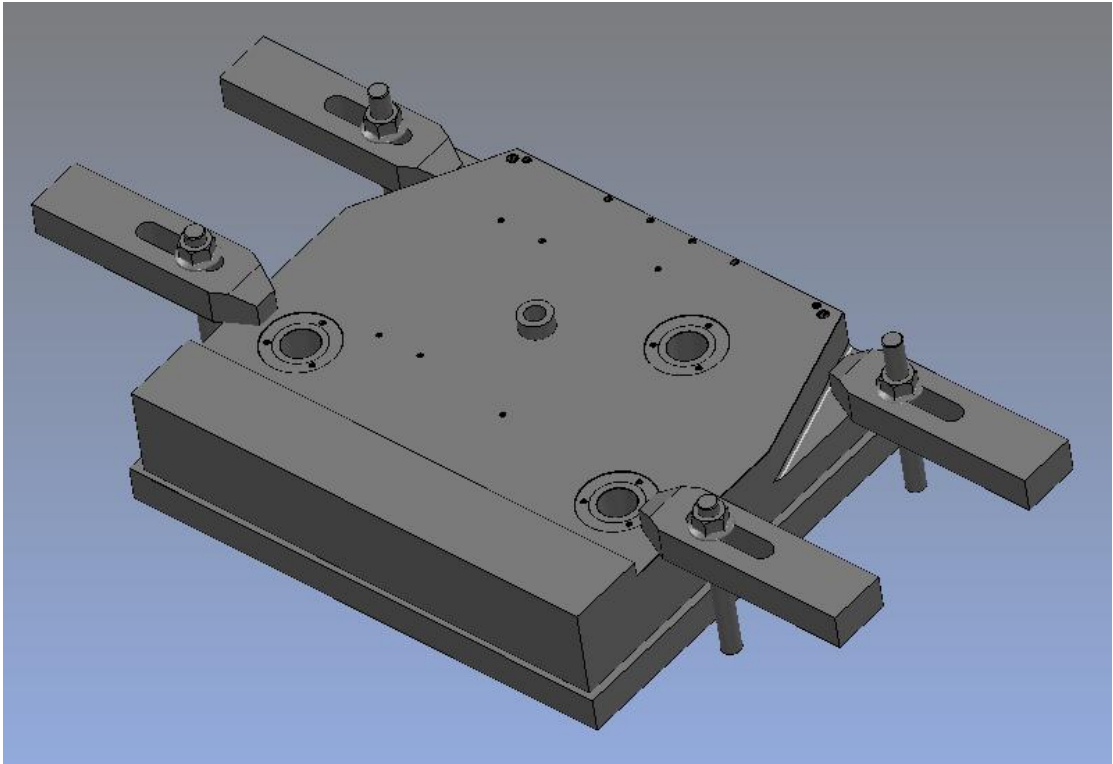
Příloha 6



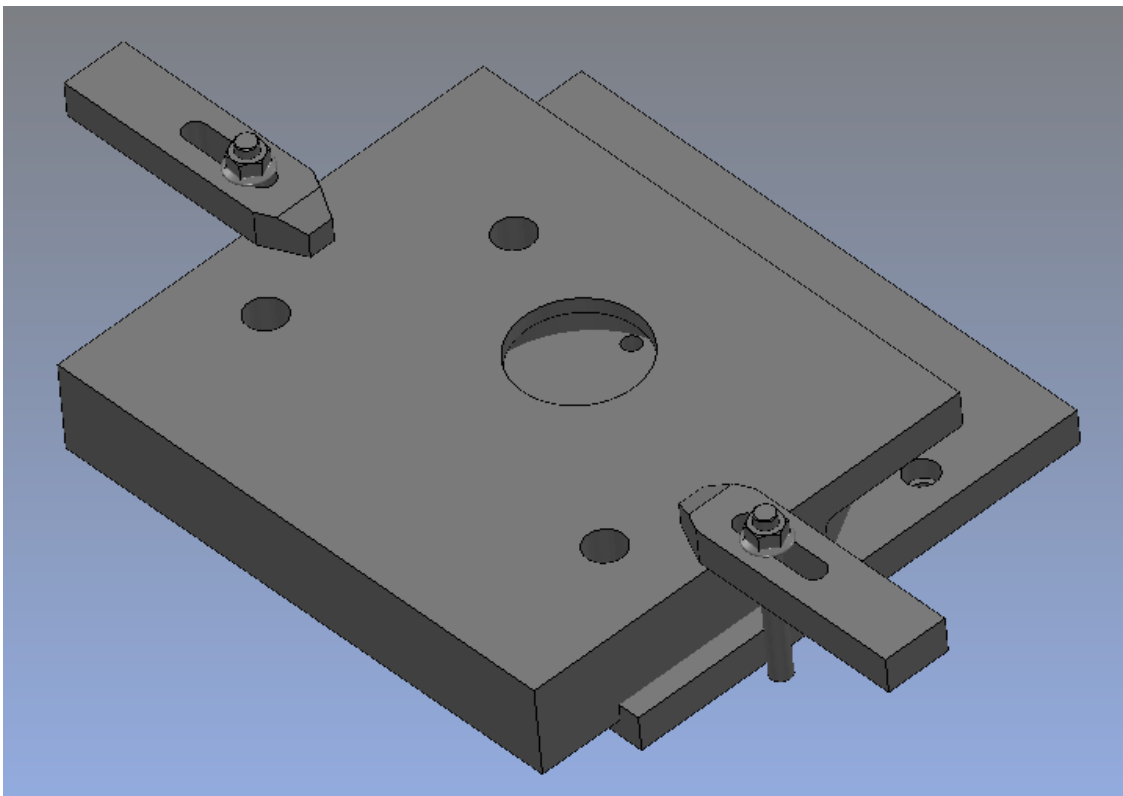
První pozice upínek – první poloha (autor: Bc. Jiří Trunda)



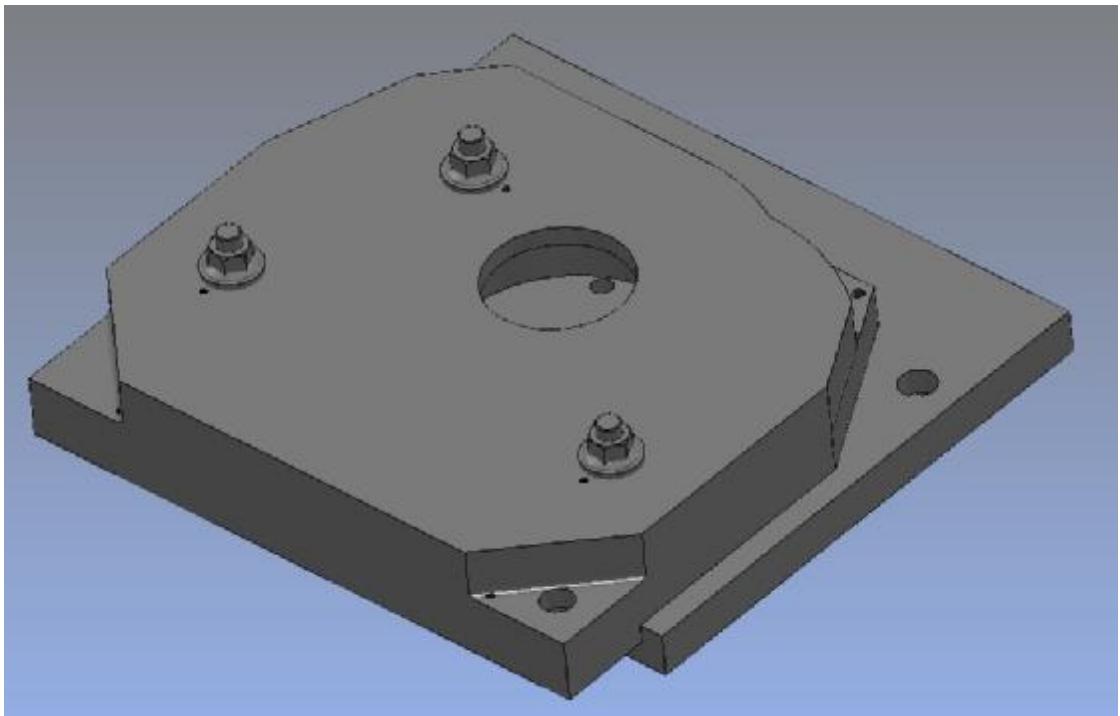
Druhá pozice upínek – první poloha (autor: Bc. Jiří Trunda)



Třetí pozice upínek – první poloha (autor: Bc. Jiří Trunda)



První pozice upínek – druhá poloha (autor: Bc. Jiří Trunda)



Druhá pozice upínek – druhá poloha (autor: Bc. Jiří Trunda)