


Výroba plastových dílů na vakuově upínaných systémech

Vilém Feix

Bakalářská práce
2022

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Vilém Feix**
Osobní číslo: **T19293**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Výroba plastových dílů na vakuově upínaných systémech**

Zásady pro vypracování

- 1.- teoretická studie na téma frézování, obrábění plastů, CNC obrábění a upínacích systémů
- 2.- návrh vakuového přípravku pro daný plastový díl
- 3.- výroba vakuového přípravku a demonstrace obrábění na daném plastovém dílu

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

Seznam doporučené literatury:

VRABEC, Martin. *Metodika programování obráběcích strojů s číslicovým řízením*. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2012, 109 s. ISBN 9788074144998.

WALKER, John R. a Bob DIXON. *Machining fundamentals*. 10th edition. Tinley Park, IL: The Goodheart-Willcox Company, [2019], xxii, 650 s. ISBN 9781635632088.

SCALLAN, Peter. *Process planning: the design/manufacture interface*. Elsevier, 2003.

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

Datum zadání bakalářské práce: **3. ledna 2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2022**

L.S.

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

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

Ve Zlíně dne 24. února 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá frézováním plastů za pomoci vakuového upínacího systému. V teoretické části je provedena studie na téma frézování, obrábění plastů, CNC obrábění a upínací systémy. Cílem praktické části bylo navrhnout vakuový upínací přípravek pro upnutí tvarově složitého plastového dílu. Přípravek bylo nutné zkonstruovat tak, aby nedošlo k porušení pohledové strany výrobku. Dále proběhla výroba přípravku a plastového dílu s popisem konkrétních metod jejich obrobění.

Klíčová slova: frézování, obrábění plastů, CNC obrábění, vakuové upínací systémy

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the milling of plastic parts with help of vacuum clamping system. In the theoretical part there is a study on the themes of milling, machining of plastic parts, CNC machining and clamping systems. The objective of the practical part was to design a vacuum clamping system for clamping a complicated plastic part. The clamping fixture had to be constructed in order not to scrape the visible side of the part. Another work was a production of clamping fixture and plastic part with a description of the specific method of machining.

Keywords: Milling, Machining of Plastic Parts, CNC Machining, Vacuum Clamped Systems

Rád bych poděkoval doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při zpracování této práce.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 FRÉZOVÁNÍ	11
1.1 PODSTATA FRÉZOVÁNÍ	11
1.2 ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY FRÉZOVÁNÍ	11
1.2.1 Frézování čelní frézou	11
1.2.2 Frézování válcovou frézou	12
1.3 TEORIE FRÉZOVÁNÍ	13
1.3.1 Řezné síly	13
1.3.2 Řezné podmínky	15
1.3.3 Přesnost frézování	17
1.4 FRÉZOVACÍ STROJE.....	17
1.5 NÁSTROJE	18
1.5.1 Nástrojové materiály	18
1.5.2 Typy nástrojů	22
1.6 CHLAZENÍ	24
1.6.1 Minerální oleje	24
1.6.2 Emulzní kapaliny	25
1.6.3 Syntetické kapaliny	25
1.6.4 Plynné chlazení	25
2 OBRÁBĚNÍ PLASTŮ	26
2.1 VLASTNOSTI PLASTŮ	26
2.2 SROVNÁNÍ OBRÁBĚNÍ PLASTŮ A KOVŮ	27
2.3 ZÁSADY PŘI OBRÁBĚNÍ PLASTŮ	28
2.4 VÝBĚR MATERIÁLU Z PLASTU PRO OBRÁBĚNÍ	29
2.5 NÁSTROJE PRO OBRÁBĚNÍ PLASTŮ	30
3 CNC OBRÁBĚNÍ	32
3.1 PODSTATA CNC OBRÁBĚNÍ	32
3.2 ROZDĚLENÍ METOD CNC OBRÁBĚNÍ	32
3.3 PŘESNOST CNC OBRÁBĚNÍ.....	33
3.4 KONSTRUKCE CNC FRÉZKY	33
3.5 PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ	35
3.5.1 Souřadnicový systém	36
3.5.2 Programování u stroje	37
3.5.3 CAM programování	37
3.6 AUTOMATIZACE CNC OBRÁBĚNÍ	38

3.7	SONDY.....	39
4	UPÍNACÍ SYSTÉMY.....	41
4.1	TYPY UPÍNACÍCH SYSTÉMŮ	41
4.1.1	Mechanické upínací systémy	41
4.1.2	Pneumatické a hydraulické upínací systémy.....	42
4.1.3	Magnetické upínací systémy	43
4.2	PŘÍPRAVKY	43
4.3	USTANOVENÍ OBROBKU.....	44
4.4	UPÍNACÍ SÍLY.....	45
4.5	VAKUOVÉ UPÍNACÍ SYSTÉMY	47
5	SHRnutí TEORETICKÉ ČÁSTI PRÁCE.....	49
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	50
6	CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	51
7	VÝROBEK.....	52
8	NÁVRH VAKUOVÉHO PŘÍPRAVKU.....	53
9	CNC STROJ	57
10	VÝROBA.....	58
10.1	VÝROBA – PRVNÍ STRANA VÝROBKU	61
10.2	VÝROBA – PŘÍPRAVEK.....	63
10.3	VÝROBA – DRUHÁ STRANA VÝROBKU	67
11	SHRnutí PRAKTICKÉ ČÁSTI	69
	ZÁVĚR	70
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	73
	SEZNAM OBRÁZKŮ	77
	SEZNAM TABULEK.....	79
	SEZNAM PŘÍLOH.....	80

ÚVOD

Třískové obrábění je jedno z nejčastěji používanou výrobní technologií ve strojírenském průmyslu. Mezi třískovou obráběcí metodu právě patří i frézování, kterému je hlavně věnována tato práce. S rostoucí požadovanou kvalitou vyrobených dílů je potřeba stále zdokonalovat i výrobní technologie. Mezi ně patří CNC obráběcí stroje s vysokou výrobní a opakovatelnou přesností. To však provází i požadavek na kvantitu vyrobených dílů, proto je v dnešní době vyvíjen tlak i na automatizaci výroby, která udržuje konkurenceschopnost na trhu práce.

Dalším důležitým vývojem obráběcí technologie jsou řezné nástroje, ty mají velký vliv na kvalitní řezný proces a je důležité je přizpůsobovat k obráběnému materiálu. Správná volba řezného nástroje zlepší nejen jakost obrobených ploch, ale také zvýší produktivitu výroby.

Obrábět lze širokou škálu materiálů, tato práce je však zaměřena na frézování plastových dílů. I když se zdá, že plastové výrobky jsou napohled snadno zpracovatelné, tak jejich výroba je doprovázena řadou problémů.

S tvarovou složitostí výrobků vzniká také komplikovanost jejich upínání, proto je potřeba věnovat čas i této problematice. Jedním ze způsobu upínání jsou vakuové upínací systémy, které jsou nejčastěji používány pro různé druhy plastových výrobků. Tyto přípravky, které drží obrobek pomocí sací síly, je potřeba správně navrhnout a tomu přizpůsobit obráběcí program.

Cílem praktické části této práce bude právě navrhnout upínací systém ve formě vakuového přípravku. Přípravek bude sloužit pro ustanovení plastového dílu a jeho obrobení. Dále bude probíhat výroba s demonstrací obrobení plastového dílu a vakuového přípravku.

Toto téma jsem si vybral, protože se mu věnuji v profesním životě už několik let. Díky novým technologiím je stále zajímavějším a je možné se v něm pořád zdokonalovat. Význam této práce vidím v nastínění problematiky frézování plastů a stylu upínání tvarově složitých dílů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 FRÉZOVÁNÍ

Frézování je neodmyslitelnou technologií ve strojírenském průmyslu. Pomocí této metody obrábění můžeme získat široké spektrum tvarových dílů z různých materiálů. Kvůli rozvíjícímu požadavku složitosti a přesnosti výrobků se stále tato technologie vyvíjí a zdokonaluje, a to jak ve strojích, programovacích softwarech, nástrojových materiálech a automatizaci výroby.

1.1 Podstata frézování

Frézování je strojní obrábění, které slouží k postupnému oddělování třísky z obrobku pomocí vícebřitého nástroje (frézou). Tato nejrozšířenější obráběcí metoda nejčastěji probíhá na frézovacích strojích (frézkách), ale bývá součástí i různých CNC obráběcích center. Při frézování koná hlavní otáčivý pohyb nástroj a vedlejší pohyb vykonává obrobek, který je nejčastěji přímočarý, ale může být i rotační. Víceosé CNC frézky mohou tyto posuvné pohyby plynule měnit ve všech směrech. [1] [2]

1.2 Základní způsoby frézování

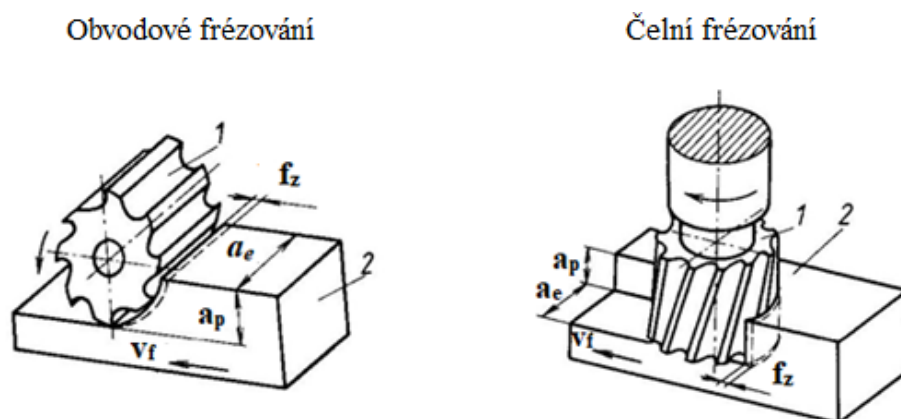
Frézování nejčastěji slouží k obrábění rovinných nebo tvarových ploch. Základními způsoby, jakými můžeme tyto plochy opracovávat, můžeme rozdělit podle polohy nástroje k obrobku, a to na čelní a válcové. [1] [2]

1.2.1 Frézování čelní frézou

Čelním frézováním zabírá nástroj do obrobku čelem frézy a zároveň i svým obvodem. Osa rotace nástroje je kolmá k obráběné ploše. Díky záběru většímu počtu zubů k obráběné ploše dochází ke klidnějšímu chodu, proto dochází k větším posuvovým rychlostem než u válcového frézování. Čelní frézování se dá rozdělit v závislosti na poloze frézy k šířce obráběné plochy na frézování symetrické a nesymetrické. [1]

1.2.2 Frézování válcovou frézou

Válcovým frézováním zabírá nástroj do obrobku obvodem frézy. Osa rotace nástroje je rovnoběžná s obráběnou plochou. Tento typ frézování se uplatňuje především při obrábění s válcovými frézami, které mají tvar šroubovice s určitým počtem zubů. Při tomto typu frézování se také mohou použít frézy tvarové, které mohou mít různý tvar. Válcové frézování se rozděluje podle záběru nástroje do obrobku na sousledné (sousměrné) a nesousledné (protisměrné). [1]



Obrázek 1 Obvodové a čelní frézování [2]

1 – fréza, 2 – obrobek, v_f – posuvová rychlost, f_z – posuv na zub, a_p – hloubka řezu, a_e – šířka řezu

1.2.2.1 Sousledné frézování

Fréza se otáčí ve směru posuvu obrobku. Řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu a při záběru každého zubu vznikají silové rázy, proto je nutné mít přizpůsobený stroj s tuhou konstrukcí, aby nedošlo k poškození nástroje nebo stroje. Tloušťka třísky se zmenšuje z maximální hodnoty k nule. Výhody sousledného frézování jsou hladší obrobené plochy, menší utahovací momenty na obrobek, větší trvanlivost břitů nástroje a menší tvorba nárůstků. [1]

1.2.2.2 Nesousledné frézování

Fréza se otáčí proti směru posuvu obrobku. Řezná síla působí směrem nahoru a zvedá obrobek od stolu. Tloušťka třísky se zvětšuje od nuly k maximální hodnotě, nejdříve dochází

k pěchování materiálu a tření hřbetu. Dochází k většímu opotřebení břitu a k horší kvalitě obrobené plochy než u sousledného frézování. Výhodou nesousledného frézování je menší vznik vibrací, a proto nedochází k tak velkému opotřebení pojezdových částí stroje. [1]

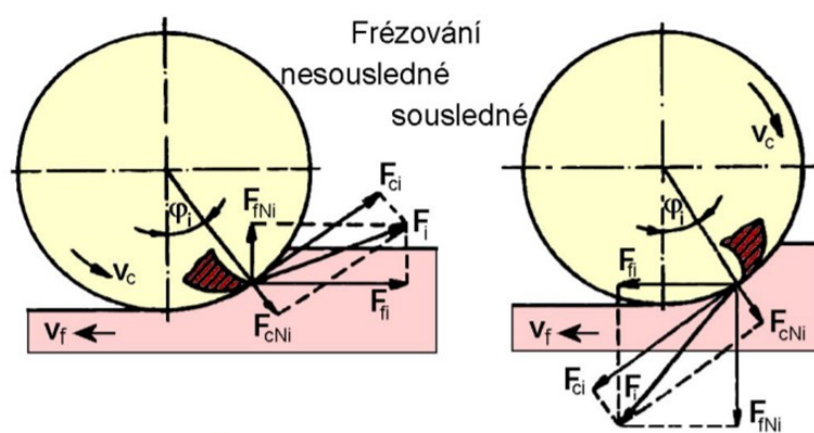
Dalším negativem je vznik vyšších teplot v místě řezu a zvyšuje se také pravděpodobnost zalomení břitu, proto pokud to dovoluje stroj svou tuhou konstrukcí a svým výkonem, tak se nejčastěji volí frézování sousledné. [3]

1.3 Teorie frézování

Teorie obrábění je důležitou součástí řezného procesu. Pomocí správně zvolených řezných podmínek můžeme předejít nekvalitnímu průběhu obrábění, rychlému otupení nástroje, vibracím, špatné jakosti povrchu a vysokému zatěžování stroje.

1.3.1 Řezné síly

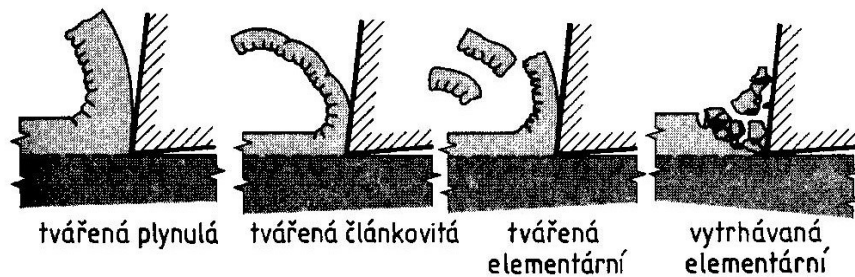
Čelní frézování patří mezi ortogonální řezání, ostří je kolmé ke směru řezného pohybu, při odebrání třísky nejdříve dochází k pružným a plastickým deformacím a následně k tzv. pěchování. Charakter a tvar odebírané třísky vypovídá o průběhu a kvalitě řezného procesu. [1]



Obrázek 2 Řezné síly při nesousledném a sousledném frézování [19]

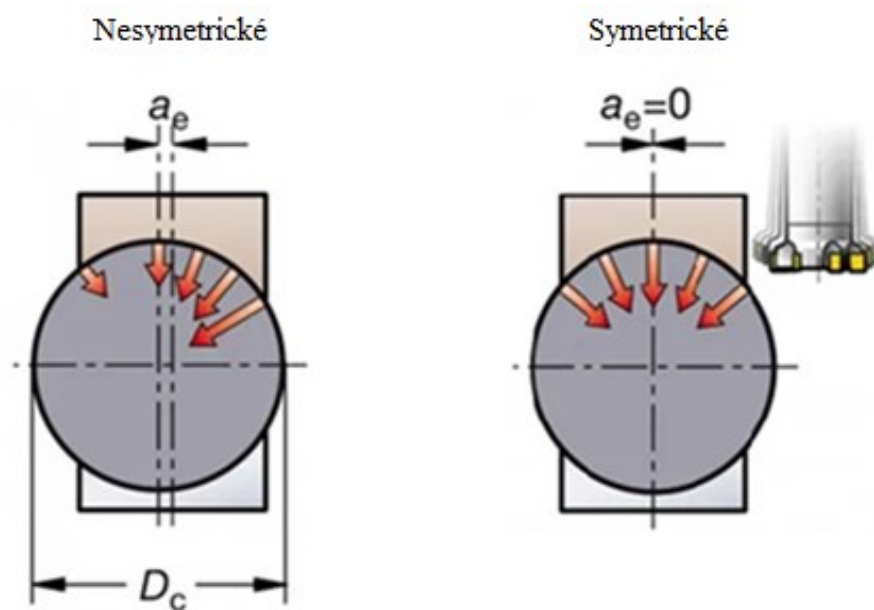
v_f – posuvová rychlost, v_c – řezná rychlost, F – složky řezné síly, φ_i – úhel okamžité polohy zubu

Na tvar třísky má také velký vliv materiál, který obrábíme. Při obrábění ocelí, slitin hliníku a mědi vznikají plynulé nebo člankovité třísky s celistvou a soudržnou strukturou. Křehké materiály jako jsou např. litiny při obrábění vytváří tvářené elementární třísky. Vytrhávaná elementární třísky vznikají při obrábění plastů, dřeva a skla. [4]



Obrázek 3 Druhy třísek [4]

Při obrábění čelní frézou, v ideálním případě, kdy je nástroj větší než obrobek, se fréza posune mírně mimo střed polotovaru, aby docházelo k menšímu silovému zatížení, tudíž k zamezení vzniku vibrací a poškození stroje, tento postup má také vliv na zlepšení kvality povrchu. [3]



Obrázek 4 Nesymetrické a symetrické čelní frézování [20]

a_e – šířka řezu, D_c – průměr nástroje

1.3.2 Řezné podmínky

Vypočítané řezné podmínky se berou jako orientační. Na řezný proces má dopad několik vlivů, např. upnutí obrobku, tuhost a výkon stroje, řezný nástroj, řezná kapalina apod., proto je potřeba řezné podmínky ještě doladit podle chování stroje a kvality obrobenej plochy.

Řezná rychlost označuje obvodovou rychlost nástroje při opracovávání obrobku pro co nejúčinnější řezný proces.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_c \cdot n}{1000} \text{ [m/min]} \quad (1)$$

Otáčky se rozumí jako počet otáček nástroje upnutého ve vřetenu za minutu. Tato hodnota je závislá na stroji.

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_c} \text{ [ot/min]} \quad (2)$$

Rychlost posuvu udává rychlost pohybu nástroje nebo obrobku podle konstrukčního řešení stroje.

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z \text{ [mm/min]} \quad (3)$$

Posuv na zub je závislý na počtu zubů vícebřitého nástroje (frézy). Je důležitý pro zajištění nejlepších řezných podmínek každého břitu.

$$f_z = \frac{v_f}{n \cdot z} \text{ [mm]} \quad (4)$$

Objem odebraného materiálu udává objem odebraného materiálu za jednotku času. Je závislý na hloubce řezu, šířce řezu a rychlosti posuvu.

$$V = a_p \cdot a_e \cdot v_f \text{ [mm}^3\text{/min]} \quad (5)$$

Doba obrábění je důležitá pro výpočet časů výrobního cyklu, měla by být co nejnižší pro co nejefektivnější výrobu.

$$T = \frac{l}{v_f} [min] \quad (6)$$

Trvanlivost nástroje udává jeho životnost. Pro co největší trvanlivost nástroje je důležité zvolit optimální řezné podmínky. Hodnoty C_T a m nalezneme v tabulkách.

$$T = C_T \cdot v_c^{-m} [min] \quad (7)$$

Řezný výkon je závislý na druhu obráběného materiálu kvůli vzniku řezného odporu.

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \cdot 10^3} [kW] \quad (8)$$

Potřebný řezný výkon je předem stanovená veličina, pro zjištění možnosti obrábění na daném stroji s výkonem, který se nesmí překročit. Hodnoty C_K a γ_K jsou konstanty pro zjištění objemového součinitele, které nalezneme v tabulkách.

$$P_p = \frac{a_e \cdot a_p \cdot f_z \cdot 10^{-3}}{K} [kW]$$

$$Po \text{ úpravě : } P_p = \frac{a_e \cdot a_p \cdot f_z \cdot 10^{-3}}{C_K \cdot f_z^{\gamma_K}} = \frac{a_e \cdot a_p \cdot f_z^{(1-\gamma_K)} \cdot n \cdot z}{10^3 \cdot C_K} [kW] \quad (9)$$

Teplota třísky je ovlivněna řezným výkonem, měrnou tepelnou kapacitou, hmotnosti třísek a konstantami q a q_t , které udávají podíl přeměněné práce v teplo a podíl tepla přeneseného do třísky, tyto hodnoty nalezneme v tabulkách.

$$t_t = \frac{6 \cdot P_c \cdot q \cdot q_t}{m_t \cdot c} + t_o [^\circ C] \quad (10)$$

1.3.3 Přesnost frézování

Žádný výrobek není opakovatelně vyrobitelný v absolutně stejném rozměru, jako je ve výkresové dokumentaci. Proto se volí dané tolerance, podle technologičnosti a hospodárnosti výroby. Díky velkému výběru nástrojů lze dosáhnout různých povrchových přesností. Výrobní nepřesnosti může způsobovat řada činitelů, např. nedostatečná tuhost stroje, otupení nástroje nebo jeho špatná volba, řezné podmínky apod. [1] [2]

Tabulka 1 Přesnost rovinných ploch po frézování [2] – str.71

Přesnost rovinných ploch po frézování			
Nástroj	Způsob frézování	Přesnost IT	Drsnost povrchu Ra [μm]
Válcová fréza RO	Hrubování	10 až 13	6,3 až 25
	Načisto	8 až 11	1,6 až 6,3
Čelní fréza RO	Hrubování	10 až 13	6,3 až 25
	Načisto	6 až 11	1,6 až 3,2
Frézovací hlava s břity SK		7 až 11	1,6 až 6,3

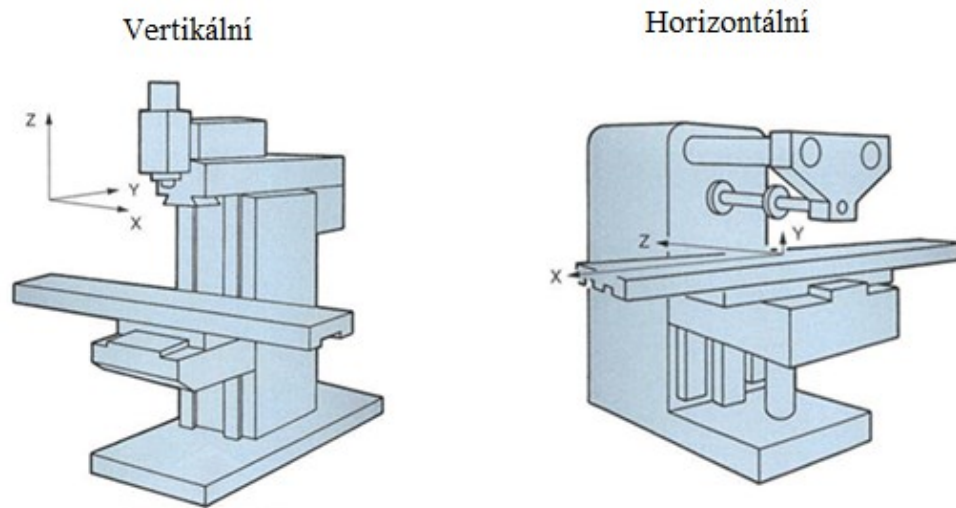
1.4 Frézovací stroje

Frézovací stroje se nazývají frézky. V dnešní době se nejčastěji používají CNC frézky nebo CNC obráběcí centra, ale i přesto se mohou stále objevit i klasické frézky, které mohou být konzolové, rovinné nebo speciální.

Konzolové frézky se dále mohou rozdělit na vodorovné (horizontální), svislé (vertikální) nebo univerzální. Na vodorovných konzolových frézkách je vřeteno uloženo horizontálně vůči stolu. Svislé konzolové frézky mají vřeteno umístěné vertikálně, které lze většinou otáčet o 45°. Obrábí se na nich většinou rovinné plochy pomocí čelních fréz. Univerzální konzolové frézky jsou podobné vodorovným, ale umí navíc ještě otáčet stůl o 45°.

Rovinné frézky slouží k frézování velkých součástí, pracovní stůl se pohybuje jen v podélném směru. Mezi rovinné frézky patří i portálové frézky s velkým výkonem a velkými frézovacími hlavami, kterých může být i větší počet.

Mezi **speciální frézky** patří ty, které jsou určeny jen na určitou specifickou operaci, jako je např. výroba ozubených kol, vaček nebo závitů. [2]



Obrázek 5 Vertikální a horizontální frézka [7]

1.5 Nástroje

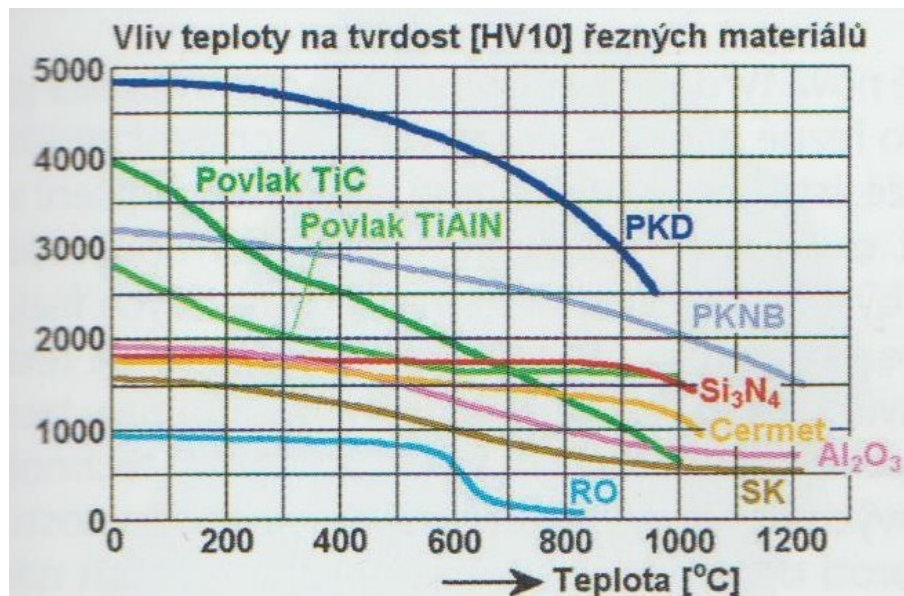
Se zvyšováním tvarové složitosti výrobků je nutné, aby byla možnost velkého výběru sortimentu nástrojů. Proto je kladen velký důraz na to, aby byl nástroj co nejvhodnější a výroba byla díky tomu co nejproduktivnější.

1.5.1 Nástrojové materiály

Volba správného materiálu nástroje se volí podle materiálu obrobku (obrobitelnosti), typu obráběcí operace, tvarové složitosti výrobku, tuhosti a výkonu stroje, požadované kvality obráběné plochy a hospodárnosti výroby. Je důležité, aby nástroj splňoval požadovanou tvrdost, pevnost v ohybu, houževnatost, tepelnou vodivost a potřebnou odolnost proti opotřebení. Nástroj by měl mít dostatečnou trvanlivost, a to i při vysokých teplotách. Další důležitou vlastností nástroje je jeho řezivost a odolnost proti mechanickým rázům.

Materiály, z kterých se vyrábí řezné části nástrojů jsou rychlořezné oceli (HSS), slinuté karbidy, slinuté karbidy s tvrdými povlaky, cermety, nástrojové oceli uhlíkové, nástrojové oceli nízkolegované, stelly, keramické nástrojové materiály a supertvrdé řezné materiály mezi které patří polykrystalický diamant, přírodní diamant a polykrystalický kubický nitrid bóru. [1] [5]

„V aplikaci na automatizované výrobní linky a obráběcí centra se zpravidla používají nástroje s vyměnitelnými destičkami ze slinutého karbidu, včetně povlakovaných destiček, a to v rozsahu cca 80 %“ [1] – str. 71.



Obrázek 6 Závislost tvrdosti nástrojových materiálů na teplotě [5]

1.5.1.1 Rychlořezné oceli, RO

Vysokolegované rychlořezné oceli obsahují společně s C legující prvky, jako jsou např. Co, W, Cr, Mn, Mo. Tyto legující prvky mají vliv na tvrdost oceli. Při frézování dochází k přerušovanému řezu a nástroje jsou vystavené rázům a vyšším teplotám, snášenlivost RO při obrábění je až 600 °C, proto je lepší tyto nástroje chladit s řeznými kapalinami. Jejich výhodou je možnost tepelného zpracování, které má velký vliv na mechanické vlastnosti. Příkladem některých rychlořezných ocelí podle označení normy dle ČSN mohou být např. 19 802, 19 830, 19 861. [1] [6]

1.5.1.2 Slinuté karbidy, SK

Výhodou slinutých karbidů oproti RO je její tvrdost, a to i při vyšších teplotách až na 800 °C, avšak její nevýhodou je menší houževnatost a křehkost, proto mají tendenci k vydrolování svého ostří. Výrobní metodou slinutých karbidů je prášková metalurgie. Při této výrobní metodě dochází ke spékání WC, TiC, Ta, Cr a dalších kovů. Jako pojivo se při slinování

používá Co. Při slinování dosahuje teplota až okolo 1600 °C. Nejčastěji se využívají slinuté karbidy s tvrdými povlaky, a to buď jedno nebo vícevrstvé. Pomocí povlaku získá břit nejen vyšší tvrdost a odolnost při obrábění za vyšších teplot, ale zvýší se tím také jeho trvanlivost, vliv na tyto vlastnosti má druh povlaku a její tloušťka. Nejčastěji se používají povlaky TiC, TiN, Al₂O₃. [1][5][6]

Slinuté karbidy se podle ISO rozdělují do několika skupin podle obráběného materiálu (viz. tabulka 2).

Podle tabulky 3 jdou vidět zřetelné výhody SK s povlakem nad SK bez povlaku, proto jejich využitelnost ve výrobě převládá.

Tabulka 2 Použití VBD pro určité materiály [3] – str. D26

Použití VBD pro určité materiály				
P	Ocel nelegovaná	Nízkolegovaná	Vysokolegovaná	Ocel na odlitky
M	Korozivzdorná ocel			
S	Žáruvzdorné slitiny		Titanové slitiny	
H	Kalená ocel	Tvrzená litina	Tvrdá ocel	
K	Šedá litina	Temperovaná litina	Nodulární SG litina	
N	Hliníkové slitiny	Měď a její slitiny	Plasty	

Tabulka 3 Porovnání nástroje z SK bez povlaku a z SK s povlakem [1] – str. 76

Porovnání nástroje ze slinutého karbidu bez povlaku a s povlakem								
Obráběný materiál	Obsah C	Tvrdość HB	Nástroj P 25					
			SK bez povlaku			SK s povlakem		
			Posuv na zub f_z [mm]			Posuv na zub f_z [mm]		
			0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,4
			Řečná rychlost v_c [m.min ⁻¹]			Řečná rychlost v_c [m.min ⁻¹]		
Uhlíkové oceli (tř. 10,11,12)	C < 0,25%	< 170	180	135	95	280	250	200
	C < 0,60%	170 ÷ 230	115	85	60	280	250	200

1.5.1.3 Cermety, CT

Nástrojové materiály z cermetu jsou vhodné pro obrábění korozivzdorných ocelí. Také se osvědčily jako nástroje pro dokončovací obrábění pro vysokou jakost povrchu výrobku. Je možné s nimi obrábět vysokými posuvovými rychlostmi, ale kvůli nízké houževnatosti pouze s nízkou hloubkou řezu. Pro jejich výrobu se používají stejné materiály jako u SK, ale jako pojivo se používá více nikl. S rostoucí teplotou klesá tvrdost cermetu podobně jako u SK. [5] [6]

1.5.1.4 Stellity

Stellity patří mezi křehké materiály, proto se při zpracování do tvaru nástroje nemohou obrábět, ale pouze odlévat a následně přebrušovat. Největší zastoupení ve stellitu má Co, Cr, W, C, dále může obsahovat i Ni, Mo, aj. [1]

1.5.1.5 Keramické nástrojové materiály

Řezné keramiky patří mezi jedny z nejtvrdějších rezných materiálů. Snášejí vysoké teploty při obrábění, a to až okolo 1200 °C, při těchto teplotách má stále vysokou odolnost proti otěru díky jemné struktuře korundové keramiky a příměsi karbidu titanu. Kvůli své křehkosti se do keramiky přidávají různé prvky, aby zvýšila jeho houževnatost. Řezná keramika se rozděluje podle chemického složení, vlastností a použití na čistou keramiku, směsnou, vyztuženou a neoxidickou.

Mezi materiály obráběné řeznou keramikou nejčastěji patří cementační oceli, litiny, nástrojové oceli a žáruvzdorné slitiny.

Typickou vlastností pro řeznou keramiku je, že při vysokých obráběcích teplotách neztrácí své mechanické vlastnosti a je odolná proti opotřebení a chemickým vlivům. Při obrábění s tímto nástrojovým materiálem je zapotřebí vysokého výkonu obráběcího stroje a dostatečná tuhost kvůli klidnému a přesnému chodu. [1] [6]

1.5.1.6 PKNB, PD

Polykrystalický kubický nitrid bóru a polykrystalický diamant patří mezi supertvrdé syntetické rezné materiály. Nejsou tak často využívané kvůli své vysoké pořizovací ceně, proto se používají většinou jen pro speciální aplikace.

Vyrábí se metodou slinování a do svého finálního tvaru břitové destičky se musí mechanicky opracovávat pomocí broušení s diamantovým kotoučem a poté se připájí na podložku z SK. PKNB se využívá pro obrábění velmi tvrdých materiálů, jako jsou kalené oceli, tvrdé litiny a kobaltové a niklové slitiny, protože při obrábění měkkých materiálů se břit rychle opotřebovává.

PD je nejtvrdším rezným materiálem, ale kvůli své vysoké tepelné vodivosti a přeměně na grafit při 650 °C se využívá pro obrábění materiálů s nižší teplotou tavení, jedná se především o slitiny hliníku, mědi, titanu, ale také o materiály jako jsou plasty, sklo, grafit, dřevo atd. [1] [5] [6]

1.5.2 Typy nástrojů

Nástroje pro frézování lze rozdělit podle jejich konstrukce na frézy celistvé (monolitní), skládané, s pájenými břity a na frézovací hlavy s vyměnitelnými břitovými destičkami. Typ nástroje volíme podle tvaru obráběné plochy. Mezi základní typy frézovacích nástrojů patří stopkové frézy, nástrčné frézy, drážkovací frézy, kotoučové frézy, kopírovací frézy, frézy na osazení a vrtací frézy. Pro specifický tvar obráběné plochy je možno použít monolitní tvarovou frézu.

Při návrhu konstrukce frézovacího nástroje se musí brát ohledy na některé zásady:

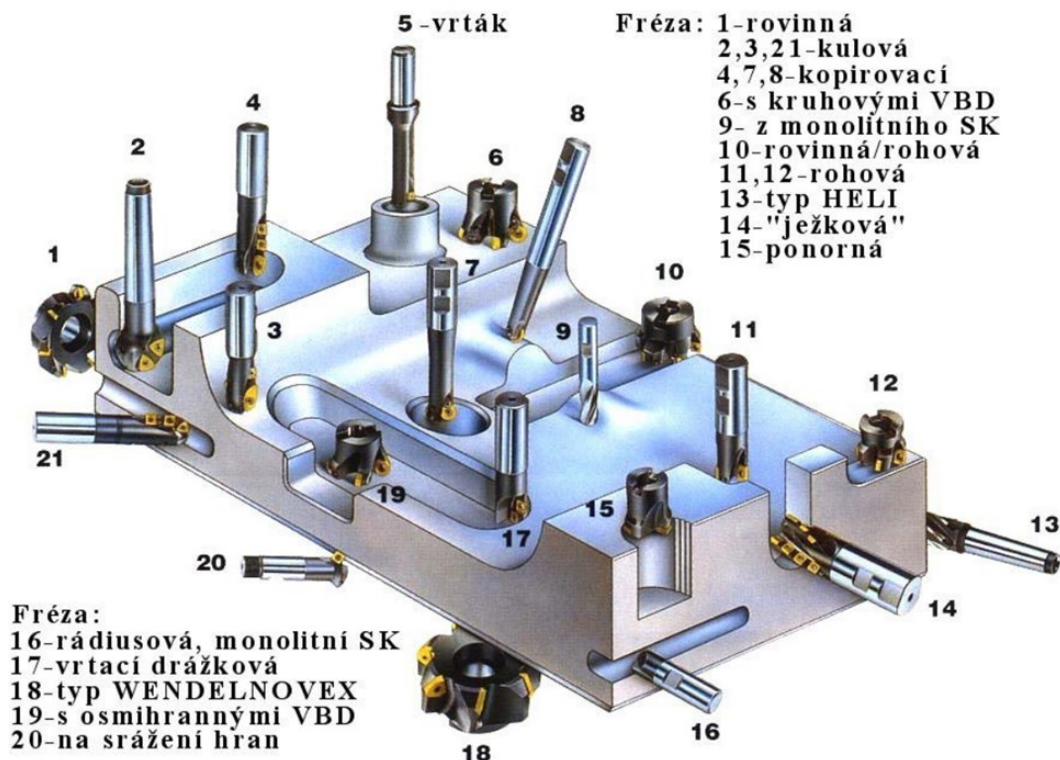
- dostatečná tuhost
- počet zubů, zubová mezera musí být dostatečně velká pro odebíranou třísku
- tělo nástroje pro dostatečné upnutí, chvění nástroje
- směr otáčení (pravořezné a levořezné)
- geometrické parametry břitu (průměr nástroje, úhel hlavního a vedlejšího ostří, šroubovice, fazetka, apod.)
- vyrobiteľnosť nástroje a možnosť preostřenie. [6]

1.5.2.1 Vyměnitelné břitové destičky

Břitové destičky jsou připevněny na tělo nástroje pomocí šroubů. Jejich počet je individuální podle konstrukčního řešení nástroje. VBD mohou mít také různý tvar, který je vhodný pro specifickou operaci.

Při obrábění s vyměnitelnými břitovými destičkami má velký vliv na řezný proces tvar a úhel, jakým je břit nastavený vůči obrobku. Břitové destičky mohou mít různý úhel nastavení hlavního ostří, nejčastěji se používají s hodnotou 45° , 90° a 10° nebo mohou mít i kruhový tvar, který je vhodný pro obrábění materiálů z žáruvzdorných slitin. Frézy s úhlem břitu 90° vytváří pouze radiální síly, proto jsou vhodné pro obrábění tenkostěnných obrobků. Břitové destičky s úhlem 45° vytváří rovnoměrně radiální a axiální síly, proto snižují vznik vibrací. Pro obrábění s vyššími řeznými rychlostmi jsou vhodné VBD s úhlem 10° . Při volbě tvaru VBD je taky důležité přihlížet na konečný tvar a požadovanou drsnost obrobku.

Další velkou problematikou je správná volba upínacího prvku nástroje, je důležité mít nástroj co nejméně vyložený od vřetene, aby se zamezilo vzniku vibrací, proto se volí co nejmenší délka, jakou rozměrová složitost obrobku dovolí. Při frézování hlubokých dutin je vhodné použít kuželové nástrojové adaptéry ke zvýšení stability a tuhosti řezného procesu. Mezi druhy opotřebení břitu patří jeho vydrolování, opotřebení hřbetu, opotřebení ve tvaru vrubu, vytvoření nárůstku a vznik trhlinek působením vyšších teplot. Při vzniku těchto nežádoucích vad je potřeba upravit řezné podmínky nebo zvolit jiný nástroj. [3]



Obrázek 7 Typy nástrojů [19]

1.6 Chlazení

Důležitou součástí při obrábění je odvod třísek a tepla z místa řezu. Tento proces nám umožňují nejčastěji řezné kapaliny ve formě emulzí, které se dodávají do místa řezu pomocí trysek. Dalším pozitivním účinkem řezné kapaliny je snížení tření mezi nástrojem a obrobkem, což může vést ke zvýšení životnosti bříty. Má také velký vliv na kvalitu obráběné plochy, její drsnost a rozměrovou přesnost, proto je její použití důležité především u dokončovacích operací. Při obrábění dochází v důsledku vysokých teplot k nežádoucímu natavení materiálu na břit nástroje tzv. nárůstku, který má negativní vliv na řezný nástroj a jeho otupení, při použití řezné kapaliny do místa řezu dojde k čistícímu účinku a sníží šanci jeho vzniku.

Řeznou kapalinu a její koncentraci volíme podle obráběného materiálu a typu nástroje, avšak při obrábění některých materiálů nebo některých obráběcích metod není její použití vhodné kvůli snižování teploty nebo teplotním šokům, např. při vysokorychlostním HSC obrábění je chlazení nevhodné. Také při obrábění některými řeznými nástrojovými materiály není nutný přívod řezné kapaliny, mezi ně patří např. slinuté karbidy nebo řezné keramiky.

Řezné kapaliny by neměly mít negativní vliv na zdraví obsluhy a neměla by způsobovat korozi stroje, proto je také dáván důraz na její ekologičnost. K zamezení vdechování mlhy způsobené řeznou kapalinou je potřeba místo odsávat příslušným zařízením. Řezná kapalina časem ztrácí své funkční vlastnosti, proto by mělo docházet k jejímu pravidelnému čištění nebo výměně.

Řezná kapalina může být ve formě emulze, vodního roztoku, syntetického roztoku nebo různých olejů. Ve formě oleje slouží především jako mazivo ke snížení tření mezi nástrojem a obrobkem, využívá se např. u výroby závitů. Další možností snížení teploty v řezu a odvodu třísek se využívá chlazení pomocí stlačeného vzduchu nebo chlazení mlhou. [1]

1.6.1 Minerální oleje

Jsou vhodné pro nenáročné operace s nízkými řeznými rychlostmi a je možné je používat i s přísadami. Mezi jejich výhody patří velmi dobrá mazací schopnost a šetrnost k životnímu prostředí. Mezi jejich nevýhody patří nejhorší chladicí schopnost ze všech řezných kapalin, vyšší cena a potřeba časté údržby. [7]

1.6.2 Emulzní kapaliny

Řeznou kapalinu ve formě emulze získáme sloučením dvou kapalin, v tomto případě vody a oleje. Jejich poměr nám dává mléčný vzhled. Poměr kapalin volíme podle obráběného materiálu a použité operace. Obrábění za pomoci emulzních kapalin je čistější, ale kvůli poměru vody hrozí vznik koroze. Údržba by měla být pravidelná, aby se zabránilo vzniku bakteriím. Kvůli odpařování vody je potřeba poměr emulze sledovat a průběžně dolévat.

Při obrábění hořčičných slitin by se neměly používat řezné kapaliny s příměsí vody kvůli vzniku požáru, proto při obrábění tohoto materiálu není chlazení pomocí emulze vhodné. [7]

1.6.3 Syntetické kapaliny

Syntetické řezné kapaliny mohou obsahovat grafit, bílé olovo nebo slídu. S příměsí minerálního oleje pro zvýšení mazacích vlastností nazýváme tyto kapaliny polysyntetické. Výhodou použití tohoto typu řezné kapaliny je rychlý odvod tepla z místa řezu. Nevýhodou je menší mazací schopnost a možnost podráždění kůže obsluhy stroje. [7]

1.6.4 Plynné chlazení

Mezi nejčastěji používané plyny pro chladicí účinky patří stlačený vzduch. Formou stlačeného vzduchu může být také dusík nebo oxid uhličitý. Chlazení vzduchem je vhodné při obrábění plastů kvůli jejich nízké teplotě tání. Při chlazení stlačeného vzduchu odlétávají třísky vysokou rychlostí, proto musí prostor dobře chráněný. Při tomto druhu chlazení nedochází k mazacímu účinku, ale výhodou je menší nárok na údržbu. [7]

Tabulka 4 Přehled doporučených řezných kapalin pro frézování [1] – str. 66

Přehled doporučených řezných kapalin pro frézování								
Ocel			Litina	Nikl a jeho slitiny	Bronz a mosaz	Měď a jeho slitiny	Hliník a jeho slitiny	Hořčík a jeho slitiny
Nízko-uhlíková	S vyšším obsahem uhlíku	Nerez						
D 5	D 5	D 10	D 5	F	B	D 3	D 3	B

B – mastné oleje, D – emulze (koncentrace v %), F – lehké minerální oleje s přísadami

2 OBRÁBĚNÍ PLASTŮ

Jedním z největších problémů při obrábění plastů je jejich tepelná roztažnost, proto je problém s dodržením některých výkresových tolerancí. Další nevýhodou při obrábění plastů je časté vyštípnutí hran na obrobku, proto je důležitý směr obrábění, hloubka řezu a dostatečná ostrost nástroje, tyto podmínky mají velký vliv i na jakost povrchu. Na rozdíl od kovů mají plasty nízkou tepelnou vodivost, proto většinu tepla odnáší nástroj a dochází k jeho většímu opotřebení. Tento problém jde však vyřešit intenzivním chlazením pomocí emulze, avšak některé typy plastů jsou citlivější vůči některým typům řezných kapalin, proto může dojít k porušení struktury obrobku.

U vyztužených plastů dochází k většímu opotřebení nástrojů kvůli abrazivnímu otěru, tyto plasty mají srovnatelný měrný řezný odpor s běžnými oceli. U nevyztužených plastů se tvoří podobná tříška jako u oceli a u vyztužených plastů se tvoří podobná tříška jako u litiny.

Pro dodržení výkresových tolerancí je užitečné výrobek nejdříve vyhrubovat s menším přídavkem pro následné začištění, poté nechat obrobek alespoň jeden den odležet při běžné teplotě, vysušit a následně obrábět načisto. [2]

2.1 Vlastnosti plastů

Plasty čím dál víc nahrazují některé kovové materiály kvůli vhodnějším vlastnostem, patří mezi ně např. izolační schopnost, malá hmotnost, nižší cena, nízká tepelná vodivost a určité mechanické a fyzikální vlastnosti.

Plasty jsou syntetické materiály založené na makromolekulárních látkách – polymerech. Lze je rozdělit na termoplasty a reaktoplasty.

Typickým znakem termoplastů je opakovatelné tepelné zpracování, takže je lze znovu roztavit a použít pro jiný tvar. Při zahřívání dochází pouze k fyzikálním změnám. Obsahují lineární rozvětvené řetězce a podle struktury je lze rozdělit na amorfní a semikrystalické polymery (obr.5). *Termoplasty představují asi 80 % všech používaných plastů.* [6] – str.106

U reaktoplastů při zahřívání dochází k chemické reakci tzv. vytvrzování. Touto reakcí vznikne prostorově zesíťovaná struktura. Tento proces je nevratný, ale lze je v budoucnu použít jako plnivo. Reaktoplasty tedy nelze opakovatelně tavit ani rozpouštět pro získání nového vytvrzené hmoty. [6]

Tabulka 5 Vlastnosti některých plastů (při 20 °C) [6] – str.114

Vlastnosti některých plastů (při 20 °C)				
Materiál	Hustota ρ (g.cm ⁻³)	Pevnost R_m (Mpa)	Modul pružnosti E (10 ³ MPa)	Roztažnost α (10 ⁻⁵ .K ⁻¹)
PETP	1,33 až 1,37	55 až 80	2,2 až 3,1	7 až 8
PTFE	2,14 až 2,19	20 až 40	0,5 až 0,75	12
PP	0,91	26 až 38	1 až 1,6	18
PS	1,05	32 až 60	2,5 až 3,2	6 až 8
PVC	1,4	45 až 65	2,9 až 3,4	7 až 9
PMMA	1,18	60 až 80	2,8 až 3,3	7
PA	1,1 až 1,15	70 až 85	1,7 až 3,2	7 až 12
POM	1,42	70 až 80	2,8 až 3,5	10 až 14
PC	1,18 až 1,22	60 až 75	2 až 2,2	6 až 7

2.2 Srovnání obrábění plastů a kovů

Při obrábění plastů je dobré znát jejich vlastnosti a použití. Ve srovnání s kovy se zdají být plasty měkké a dobře obrobitelné, avšak mohou být vyztuženy plnidly nebo skelnými a grafitovými vlákny pro lepší pevnost a rozměrovou stabilitu, ty mají však negativní abrazivní účinek na řezný nástroj a dochází k jeho rychlému otupení. Např. plastový materiál PEEK je typický svou velkou pevností. Využití plastových dílů může snížit náklady na materiál a mohou nabídnout i lepší mechanické vlastnosti, typickým příkladem jsou např. implantáty ve zdravotnictví. Na obrábění plastů mají velký vliv výkyvy teplot kvůli tepelné roztažnosti, proto by měla mít chladicí kapalina konstantní teplotu.

Kvůli vzniku vysoké teploty a hromadění třísek mezi břitem nástroje bývá rozdílný úhel břitu než u obrábění kovů. Nadměrné otupení nástroje má také vliv na vznik vyšších teplot, které se přenáší hlavně na výrobek a dochází k nekvalitnímu povrchu. Při vyšších teplotách dochází ke spálení a popraskání povrchu na plastovém výrobku, proto není agresivní obrábění moc vhodné. Pro snížení vnitřního pnutí a zvýšení rozměrové stability je vhodné plastové výrobky tepelně upravovat pomocí žíhání. Obrábění plastů je tedy v porovnání obrábění kovů dosti odlišné, proto je nutné zohlednit správné technologické řešení těchto výrobků. [8]

Tabulka 6 Porovnání vybraných fyzikálních vlastností [6] – str. 112

Porovnání vybraných fyzikálních vlastností		
Materiál	Tepelná vodivost λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	Měrný tepelný obsah c_p ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
Hliník	260	0,89
Uhlíková ocel	45 až 70	0,4 až 45
Nerezavějící ocel	17 až 30	0,43 až 0,5
PE	0,3 až 0,5	2,1 až 2,4
PVC	0,19 až 0,24	0,9 až 1
PMMA	0,22 až 0,28	1,46 až 1,68
PA	0,3 až 0,45	1,6 až 2,1

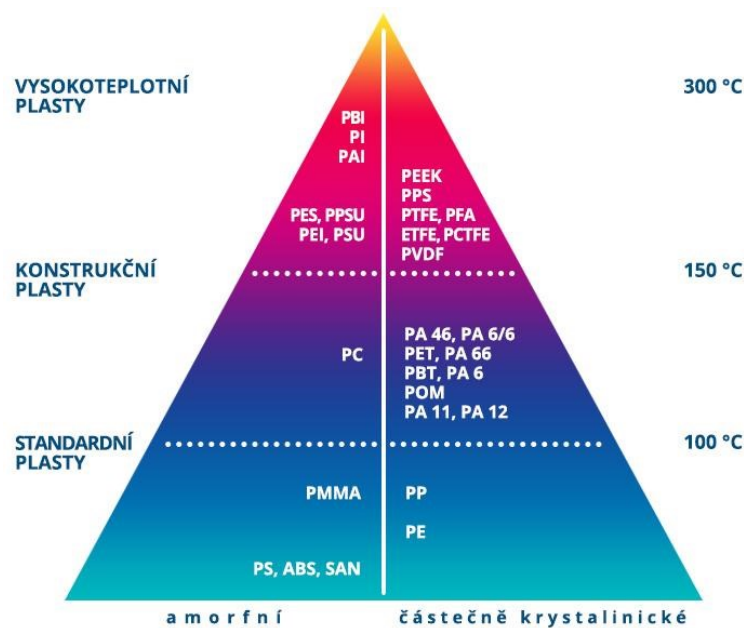
2.3 Zásady při obrábění plastů

Při obrábění plastů je nutné dodržet některé zásady, aby byla výroba co nejefektivnější:

- Odvod třísek z místa řezu
- Ostré nástroje
- Při operacích, kde vzniká vysoká teplota je nutné použít chladící kapalinu, např. při vrtání děr
- Vyšší posuv
- Nižší upínací síly kvůli deformaci výrobku
- Chlazení vzduchem, případně řeznou kapalinou

Tolerance při obrábění plastových dílů je větší než u kovových dílů, avšak u některých materiálů lze dosáhnout i velmi přesných rozměrů, patří mezi ně např. PEEK nebo PSU. Některé plastové materiály jsou velmi náchylné na změnu teplot a dochází u nich k rozměrové nestabilitě, např. materiál PTFE je potřeba obrábět při teplotě minimálně 23°C. Při obrábění amorfních polymerů jako např. PMMA nebo PC je nevhodné využívat chlazení pomocí emulze kvůli možnosti vnitřního popraskání materiálu. Pro tyto materiály je potřeba využít chlazení vodou nebo stlačeným vzduchem.

Při obrábění plastů se používají frézy s úhlem břitu 5-20° a s úhlem čela 0-15°. Pro vrtání děr se používají šroubovitě vrtáky s vrcholovým úhlem 60-120° podle tvrdosti materiálu. Při vrtání měkčích plastů jako je např. PVC je vhodné použít vrtáky s menším úhlem pro lepší odvod třísek. Pro vrtání větších průměrů je možné díry předvrtat menšími průměry vrtáků. [9]



Obrázek 8 Pyramida termoplastů [9]

2.4 Výběr materiálu z plastu pro obrábění

Výběr materiálu z plastu pro určitou aplikaci je náročný proces. Při výběru je nutné zohlednit několik specifických požadavků, např. v jakém prostředí bude plast využíván, mechanické vlastnosti, funkčnost, teplotní zatížení, povrchová úprava a výrobní náklady, které rostou s cenou materiálu. I přesto jsou plastové materiály oproti kovovým levnější.

Porovnání některých plastových dílů:

Výrobky z materiálu **ABS** jsou vhodné pro díly automobilového průmyslu díky své odolnosti proti nárazu. Díky své dobré obrobiteľnosti a nízké ceně je také využíván pro prototypové díly.

POM je vhodný pro výrobky, které nevyžadují vysoké třecí vlastnosti, je odolný proti opotřebení a je využíván pro technické výrobky, jako jsou např. ozubená kola.

PMMA je transparentní plastový materiál s dobrou pevností a tuhostí. Využívá se pro interiérové výrobky nebo do chemického průmyslu.

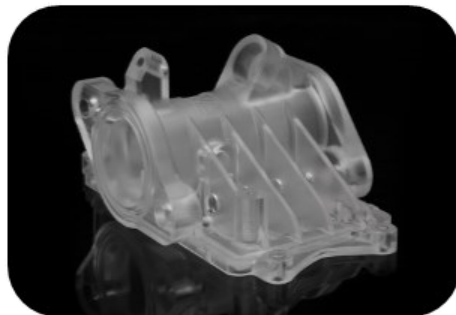
Výrobky z **PA** se využívají pro konstrukční díly s dobrou elektrickou izolací, chemickou odolností a dobrými mechanickými vlastnostmi. [10]



ABS



POM



PMMA



PA

Obrázek 9 Různé plasty pro CNC obrábění [10]

2.5 Nástroje pro obrábění plastů

Materiály nástrojů pro obrábění plastů jsou stejné jako při obrábění kovů, ale nejčastěji se používají nástroje z RO, SK a PD. Většinou bývá odlišná pouze geometrie nástroje, např. s větší roztečí zubů. U běžných plastů, které mají menší hodnoty měrných řezných odporů se mohou při obrábění volit větší úhly bříty.

Důležité je především dostatečná ostrost nástrojů pro hladký povrch obrobku, protože při otupení nástroje nedochází k čistému řezu a vznikají na povrchu výrobku trhliny. Při obrábění vyztužených a vrstvených plastů nesmí dojít k většímu otupení nástroje v důsledku vyvolání vyšších teplot v místě řezu, které vedou k zahnědnutí materiálu obrobku, pro takovéto materiály jsou vhodnější nástroje ze slinutého karbidu.

Při vyřezávání závitů se kvůli namotávání třísek používají do uzavřených děr závitníky s drážkou do šroubovice s tendencí vytlačování třísky ven z otvoru a u děr průchozích jsou vhodné závitníky s neprůběžnou drážkou s tendencí tlačení třísky před nástroj. [2]

Tabulka 7 Řezné podmínky pro obrábění termoplastů a reaktoplastů [2] - str. 249

Řezné podmínky pro obrábění termoplastů a reaktoplastů					
Termoplasty				Reaktoplasty	
Operace	Nástroj	Řezná rychlost [m.min ⁻¹]	Posuv na zub [mm]	Řezná rychlost [m.min ⁻¹]	Posuv na zub [mm]
Frézování	RO	120 až 200	0,3 až 1	50 až 160	0,2 až 0,5
Frézování	SK	160 až 270	0,2 až 0,8	200 až 800	0,04 až 0,6
Vrtání	RO	15	0,3	40 až 60	0,5
Vrtání	SK	220	0,3	80 až 140	0,5

3 CNC OBRÁBĚNÍ

CNC obrábění slouží k automatizaci výroby a k zamezení lidské chyby při výrobě většího počtu dílů pomocí obráběcího programu. I když není žádný výrobek absolutně vyrobitelný ve stejném rozměru jako předešlý, tak i přesto dokáže CNC stroj v určitých tolerancích tento díl vyrobit opakovatelně. Oproti klasickým obráběcím strojům tedy dochází k úspoře výrobních časů při výrobě většího počtu kusů, k větší produktivitě a k výrobě mnohem složitějších dílů. Ale i přesto jsou klasické obráběcí stroje pro výrobu kusově jednoduchých dílů výhodnější pro svou rychlost zpracování a seřízení, proto se tyto stroje stále mohou objevit.

3.1 Podstata CNC obrábění

CNC stroje jsou počítačem číslicově řízené obráběcí stroje, které opracovávají výrobek pomocí programu. Hlavní součástí CNC obráběcích strojů je řídicí systém, který zpracovává informace o průběhu vykonaných operací. Podstatou CNC stroje je automatizovat výrobní cyklus s vysokou výrobní přesností bez zásahu obsluhy. Program ovládá pohyby stroje, výměnu nástroje, řezné podmínky, dopravník atd. Je důležité mít kvalitně zpracovaný program, aby byla zaručena vysoká kvalita výrobku, a to i ve větším požadovaném množství vyrobených součástí. Díky své pružnosti výrobního cyklu je CNC obrábění vhodné i pro malosériovou výrobu. Pohyby CNC stroje jsou plynulé a mohou se uskutečňovat do různých směrů. [11]

3.2 Rozdělení metod CNC obrábění

CNC stroje lze rozdělit do několika skupin podle metody obrábění:

- Frézování
- Soustružení
- Broušení
- Vyvtávání
- Vrtání, závitování, zahlubování
- Výroba ozubení (odvalování)

Pokud CNC stroj dokáže realizovat více technologických operací, je z části zautomatizován pomocí automatické výměny nástrojů a obrobků, tak se jedná o CNC obráběcí centrum. Mezi další počítačově řízené stroje můžeme zařadit vysokorychlostní CNC stroje pro HSC obrábění nebo těžké CNC obráběcí stroje pro velice rozměrné součásti do leteckého, kosmického nebo lodního průmyslu. [12]

3.3 Přesnost CNC obrábění

Na přesnost obrábění má vliv několik účinků, např. teplotní vlivy, statická a dynamická tuhost stroje, volba nástroje, typ upnutí obrobku, řezné podmínky, chladivo a mazivo, kvalita programu anebo geometrické úchyly stroje. Tyto chyby lze dodatečně kompenzovat pomocí korekcí u nástroje. [12]

3.4 Konstrukce CNC frézky

CNC frézky patří mezi nejvýkonnější obráběcí stroje, proto musí být jejich konstrukce dostatečně tuhá. Rám stroje udává velikost a tuhost celého stroje, mezi částí rámu můžeme zařadit sloupy, konzole, lože, stojany a příčníky. Tyto rámové části mají velký vliv na přesnost obrábění a bývají nejčastěji z šedé litiny, ale mohou být také z oceli nebo z neželezných kompozitních materiálů jako je např. polymer-beton.

Další součástí CNC stroje, který je důležitý svou tuhostí je vřeteník s vřetenem. Vřeteno slouží jako přenos otáčivého pohybu na nástroj s přesným uložením s označením např. SK nebo HSK. Nástroj uvolňuje hydraulický válec a je pojištěný silou pomocí talířových pružin. Vřeteno je uložené ve vřeteníku pomocí valivých ložisek a jeho pohon uskutečňuje servomotor nebo elektromotor s automatickou převodovkou pro plynulou změnu otáček. Konstrukční řešení vřetena je velmi důležité z hlediska vysoké přesnosti, souososti jednotlivých částí, tuhosti, dlouhodobé životnosti a spolehlivosti. U některých víceosých CNC frézek může být vřeteno vyklápěno do více poloh.

Nástroj je vytahován a vkládán do vřetene pomocí automatického výměníku nástrojů. Při výměně nástroje může dojít k znečištění dutiny obrobem materiálem, proto při každé výměně dochází ke stlačení vzduchu ven z vřetene, aby nedošlo k jeho poškození. Výměník nástrojů uschovává nástroje do zásobníku s různým počtem úložných míst. Díky své

flexibilitě a dobrému konstrukčnímu řešení se nejčastěji používají zásobníky řetězové, ale mohou být i další, např. diskové.

Kvůli bezpečnosti a čistotě je pracovní prostor CNC stroje uzavřený pomocí ochranných krytů. Kryty můžeme rozdělit na vnitřní a vnější. Vnitřní kryty se nazývají teleskopické, skládají se z plechů, které se do sebe zasouvají při posouvání pohybových částí. Mezi vnější kryty patří např. dveře, přes které je potřeba vidět do pracovního prostoru stroje, proto se z části skládá z průhledného polykarbonátu.

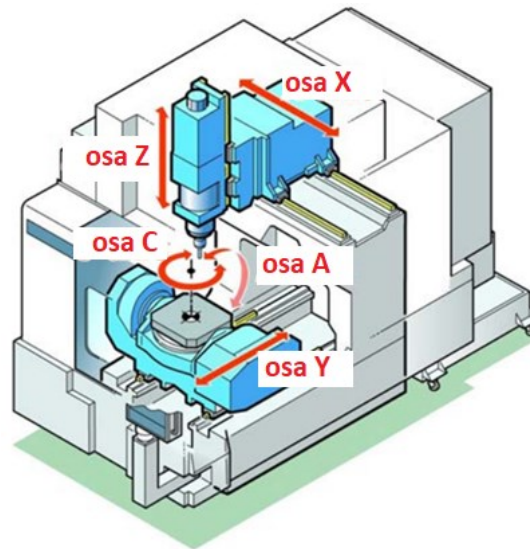
CNC stroj je také vybavený dopravníkem třísek, který odřezaný materiál odvádí ven ze stroje do kontejneru. K oplachování třísek slouží chladicí systém s tryskami kolem vřetena k usměrnění toku řezné kapaliny. Řezná kapalina může být vstříkována také pomocí tzv. vnitřního chlazení, kde je pomocí otvoru uvnitř nástroje stlačována kapalina přímo do místa řezu, tato metoda je vhodná např. při vrtání děr. Řezná kapalina je uskladňována v nádrži a je stlačována pomocí čerpadla. Po vstříknutí do pracovního prostoru je řezná kapalina přes filtry znovu dopravená zpět do nádrže umístěné vedle stroje. CNC stroj také obsahuje odsávací zařízení pro vyčištění pracovního prostoru od olejové mlhy vznikající z řezné kapaliny.

Obrobek je umístěný a upnutý na pracovním stole s T drážkami. Podle typu a počtu os stroje může stůl i rotovat nebo se vyklápět. Lineární pohyb stolu uskutečňuje kuličkový šroub s maticí poháněný pomocí servomotoru. Kuličkový šroub je typický svým hladkým chodem, velkou účinností a vysokou životností. Jednotlivé pohybové části CNC stroje jsou důkladně mazány k zamezení třecího odporu a opotřebení vodících ploch. Odměřování rotačních os zajišťují snímače s jednotkou $0,001^\circ$ a k odměřování přímých os se využívají pravítka s jednotkou $0,001$ mm.

Součástí CNC stroje může být také paletový systém k automatické výměně obrobků anebo mohou být ke stroji přiřazeny různé manipulátory a roboty ke zvýšení automatizace a produktivity výroby.

CNC stroj může také vybaven různými diagnostickými snímači, které kontrolují správný chod stroje, patří mezi ně např. měření vibrací, hluku, teploty a zatížení vřetena. Ovládání všech základních funkcí je v automatickém režimu kontrolováno a prováděno pomocí řídicího systému. Ruční ovládání stroje nebo úprava programů probíhá na ovládacím panelu připevněném ke stroji. [12]

Ovládací panel slouží k co nejjednodušší obsluze CNC stroje. Panel se skládá z několika částí: monitoru, ovládacích prvků a klávesnice. Může však být řešen různým způsobem podle výrobce. Součástí ovládacího panelu bývá často i přenosný panel, který je přizpůsoben k seřizování ve větší blízkosti stroje, obsahuje však jen základní ovládací prvky. [13]



Obrázek 10 CNC obráběcí centrum
Mori Seiki GV 5035AX [19]

3.5 Programování CNC strojů

Obráběcí program slouží k definici opracování tvaru výrobku. Kvůli stále se zdokonalujícím technologiím je programování CNC strojů náročná činnost a požaduje vysokou znalost a kvalifikovanost programátora.

Programování pohybů stroje může probíhat v několika rozdílných metodách, které se určí podle výhodnosti na určitém typu obráběného dílu. Nejčastěji používanou metodou je programování v absolutním tvaru (od vztažného bodu). Další možností je programování v inkrementálním tvaru (přírůstkově od předchozí polohy). Kvůli menší pravděpodobnosti výskytu chyb je programování v absolutním tvaru vhodnější. Programování může také probíhat v polárních souřadnicích, které je výhodné pro určení polohy děr pomocí úhlů. Dalším méně častým typem je parametrické programování, které definuje výrobek pomocí parametrů vyjadřující různé matematické funkce.

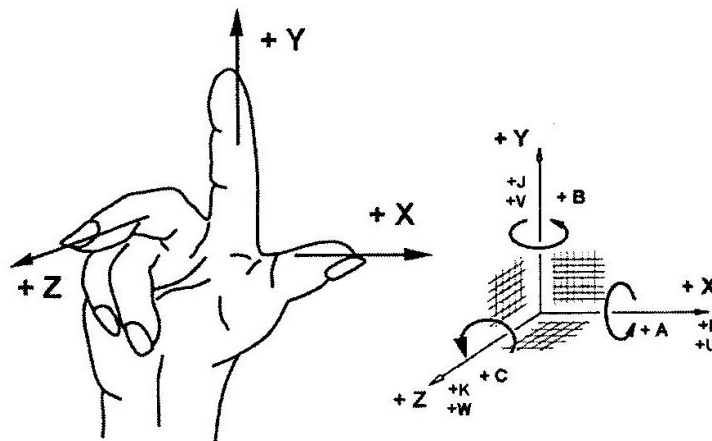
Program se skládá z několika příkazů ve formě čísel a písmen, které udávají např. souřadnici, nástroj, otáčky, funkci apod. [13]

3.5.1 Souřadnicový systém

Souřadnicový systém CNC stroje nám udává směr a polohu pohybu nástroje nebo obrobku. Používá se tzv. kartézský souřadnicový systém s pravouhlými osami X, Y, Z, které jsou rovnoběžné s vodícími plochami. Víceosé obráběcí stroje s rotačními pohyby stolu nebo vřeteníku mají další osy s označením A, B, C. Vždy platí, že osa Z je ve směru osy vřeteníku (záporná hodnota udává směr k obráběnému materiálu). Při programování se řídíme pravidlem pravé ruky, který nám udává kladný smysl přímočarého pohybu. [12] [13]

Každý CNC stroj obsahuje vztažné body, od kterých se při programování orientujeme, patří mezi ně:

- Referenční bod stroje – je pevně stanovený bod stroje, který je uložený v řídicím systému. Do tohoto bodu najíždí pohybové členy při zapnutí stroje
- Nulový bod stroje – tento bod určuje výrobce, je to počátek souřadné soustavy stroje
- Nulový bod obrobku – tento bod si volí programátor pro snadnější popis obráběcích operací, nejčastěji se volí podle kótování výrobku pro snadnější výpočet
- Bod špičky nástroje – je důležitý pro správnou korekci nástroje, proto je nutné při měření nástrojů dbát na přesnost a počítat i s možnými rádiusy
- Vztažný bod vřeteníku – je umístěn na čele vřeteníku v ose rotace
- Bod nastavení nástroje – je umístěn na upínači nástroje, nejčastěji je měřen na optických přístrojích mimo stroj
- Bod výměny nástroje – bod pro výměnu nástroje ze zásobníku [13]



Obrázek 11 Kartézský souřadnicový systém [13]

3.5.2 Programování u stroje

I přesto, že je nutné, aby stroj vyráběl co možná nejvíce, tak je často potřeba sepsovat jednoduché programy přímo na stroji. Dílenské programování je proto výhodné kvůli určité flexibilitě a rychlosti zpracování programu jednodušších dílů.

CNC stroje využívají různé řídicí systémy, které mohou obsahovat své vlastní programovací cykly, ty velmi zjednoduší naprogramování jednoduchých kontur. Pro napsání programu složitějších dílů je potřeba dokonalá znalost určitého řídicího systému a vyžaduje kvalifikovanější pracovníky. Mezi nejčastěji používané řídicí systémy patří Heidenhain nebo Siemens. [13] [14]

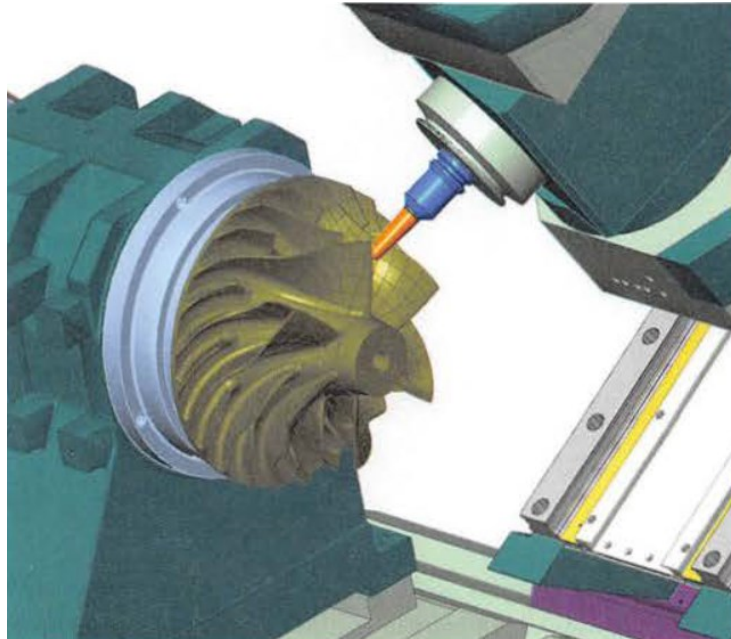
3.5.3 CAM programování

Složitější programy jsou pro vytvoření přímo na stroji většinou moc zdlouhavé, proto se tato činnost většinou přenechává na počítačové zpracování pomocí CAD/CAM programování, které ve značné míře zrychlí vytvoření programu s návrhem řezných drah, řezných podmínek a nástrojů. Pomocí postprocesoru se poté pro určitý CNC stroj transformují řezné dráhy dle řídicího a souřadnicového systému. [11] [13]

Programování pomocí CAD/CAM systémů je velmi prospěšné pro optimalizaci výroby a pro co největší produktivitu stroje. Program je vytvářen mimo stroj s určitým předstihem, a to je z hlediska přípravy velmi efektivní. Mezi složité výrobky, které lze programovat pouze pomocí CAM programování patří např. formy pro vstřikování plastů. [13]

Programy lze vytvářet ve 2D nebo ve 3D. Většinou se provádí nakreslení součásti v modelářském prostředí CAD a poté se pomocí softwaru CAM definují řezné dráhy a potřebné nástroje pro obrábění. V některých CAM softwarech lze zároveň vytvářet i modely a lze i vytvořit upínací prvky pro obráběný díl. Pomocí simulací v CAM prostředí lze také najít nejlepší způsob obráběcích operací a možnost kolize s upínacím prvkem obrobku. [7]

Široký sortiment CAM softwarů nabízí několik variant s rozdílem technologických možností, patří mezi ně např. PowerMill, Catia nebo NX. [14]

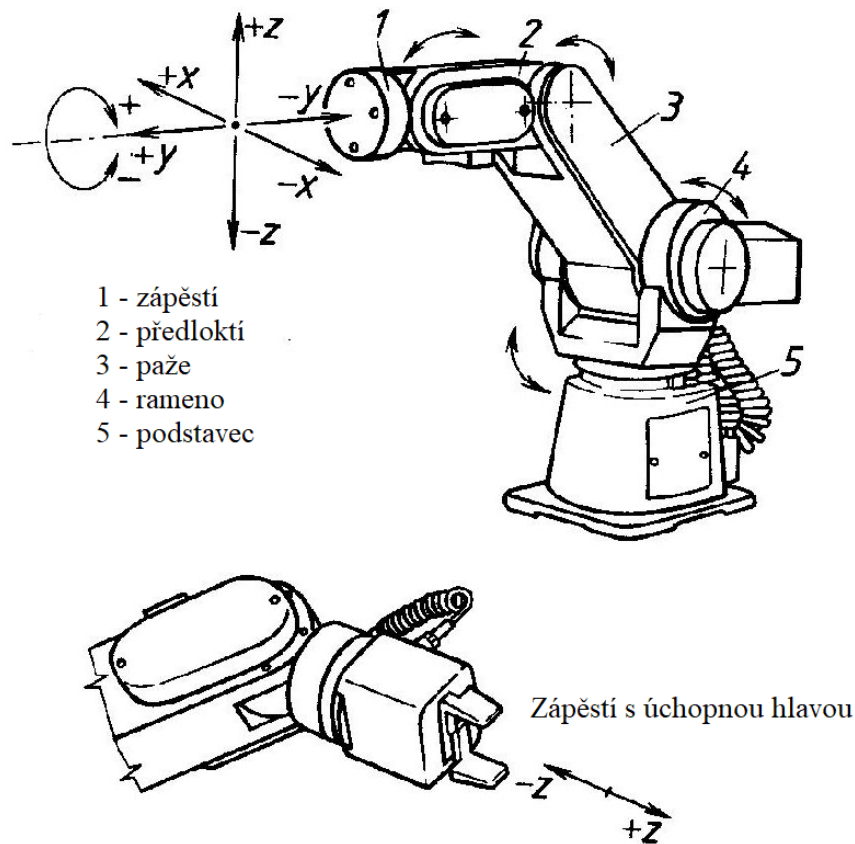


Obrázek 12 CAM simulace [7]

3.6 Automatizace CNC obrábění

Automatizace CNC obrábění je důležitá pro zvýšení efektivnosti výroby. Cílem automatizace výroby je obstát v konkurenci na trhu, aby byla výroba co nejekonomičtější a přinášela řadu technických výhod. Mezi plně zautomatizované CNC stroje můžeme zařadit obráběcí centra, která jsou co nejvíce schopna pracovat bez obsluhy, zvládnou více druhů technologických operací, disponují automatickou výměnou nástrojů, měřením obrobků pomocí dotykové sondy, kontrolou nástrojů, diagnostickými prostředky a automatickou výměnou obrobků.

Pro urychlení výměny obrobků je vhodné použít upínání mimo obráběcí prostor pomocí palet s otočným výměníkem nebo využití průmyslového robota. V procesu obrábění lze k zamezení vzniku chyb využít měřicí sondu, která změří kritický rozměr obrobku a pomocí výsledné hodnoty určí automatickou korekci. Tato chyba může vzniknout např. otupením nástroje. Pomocí předem naprogramované trvanlivosti nástroje lze nastavit jeho automatickou výměnu za náhradní nástroj, aby se předešlo k jeho porušení nebo k nedodržení výkresových tolerancí. [11] [12]



Obrázek 13 Univerzální průmyslový robot [11]

3.7 Sondy

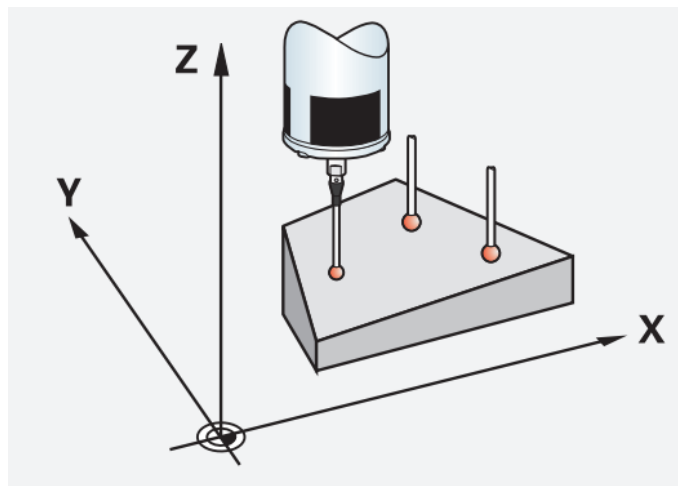
Sondy se nejčastěji využívají pro najetí nulového bodu obrobku, mohou se také ale použít pro měření součástí nebo nástrojů, proto jsou velmi důležité pro automatizaci výroby. Sondy lze rozdělit na měřicí, nástrojové nebo skenovací.

Dotykové sondy pro měření se používají pro ustanovení obrobku, určení nulového bodu, natočení pomocí rotace anebo pro měření dílce. Sondu lze i napsat do programu pro automatické najetí nulového bodu polotovaru pomocí cyklů daného řídicího systému. To má velký vliv na zpřesnění výroby a možnosti nedorážení obrobku o doraz. Výrobek lze i pomocí sond měřit přímo ve stroji a poté pomocí korekcí nástroje dosáhnout co nejpřesnějšího rozměru. Tuto metodu lze i využít automatizovaně při automatické výměně

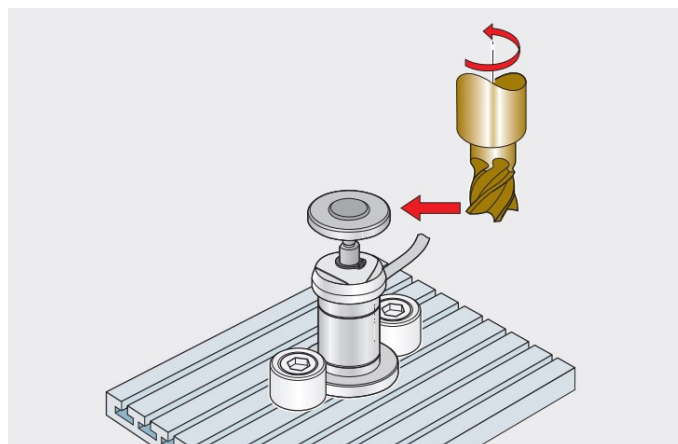
obrobků. Sondu je nutné pravidelně kalibrovat pro co nejpřesnější měření. Pro dotyk s obrobkem sonda využívá nejčastěji kuličku.

Pro měření nástrojů se využívají nástrojové sondy. Ty mohou být ve formě kontaktního tělesa nebo laseru. S využitím těchto sond můžeme měřit údaje o nástroji přímo ve stroji za pomoci cyklů. Tato metoda je výhodná kvůli vzniku lidské chyby při měření nástroje mimo stroj, ale navyšuje čas při obrábění. V automatizované výrobě mohou pravidelně kontrolovat stav rizikových nástrojů, u kterých může docházet k zalomení břitu nebo jeho otupení, poté dojde k okamžitému zastavení stroje nebo vyvolání náhradního nástroje ze zásobníku. [13]

TS sonda slouží pro měření a ustanovení obrobku. TT sonda slouží pro měření nástrojů přímo na stroji. [21]



Obrázek 14 TS sonda pro měření dílců [21]



Obrázek 15 TT sonda pro měření nástrojů [21]

4 UPÍNACÍ SYSTÉMY

Upínací systémy slouží k zamezení pohybu obrobku na pracovním stole. Obrobek by měl být dostatečně upnut, aby se zamezilo případnému chvění nebo jeho posunutí, které může vést k poškození nástroje nebo stroje.

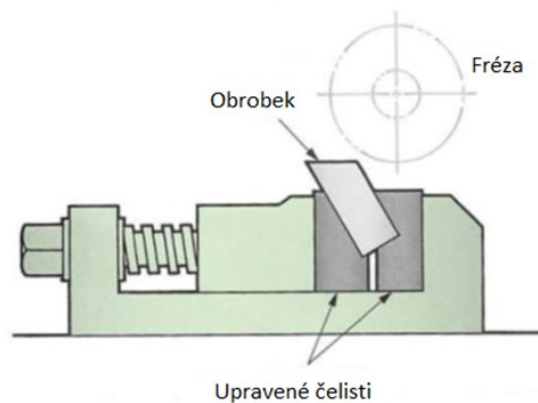
Návrh upínacího systému se volí podle předpokládaného směru působení řezné síly, počtu obrobků, typu nástroje, velikosti obrobku a jeho složitosti. Obrobek by neměl být upínací silou deformován, proto se volí různé typy svěráků, které mohou být utahovány mechanicky, pneumaticky nebo hydraulicky. [2]

4.1 Typy upínacích systémů

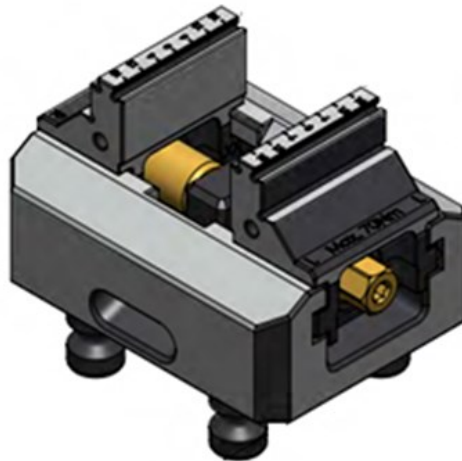
Složitost upínacích systémů závisí na složitosti obráběného dílce a podle použití na určitém stroji. Může se jednat o jednoduchou úpravu čelistí svěráků až po různá složitá zařízení. Pro většinu složitějších tvarových dílů je potřeba vyfrézovat kapsu do těla čelisti, pro vložení opracované strany obrobku, aby bylo možno na dílu obrobit zbytek ploch. [7]

4.1.1 Mechanické upínací systémy

Mechanické upínací systémy mohou být ve formě upínek, vaček, výstředníků, šroubu s maticí, svěráků pro 3osé a 5osé frézování a také různých mechanismů. Pro upínání některých dílů je možné použít různých pomocných upínacích prvků, např. pro válcové díly lze použít prizmatické opěrky. Výhodou mechanického upínání je možnost vyvinutí velké upínací síly a výběr z širokého sortimentu. [6]



Obrázek 16 Svěrák pro 3osé frézování s upravenými čelistmi [7]



Obrázek 17 Svěrák pro 5osé frézování [22]

4.1.2 Pneumatické a hydraulické upínací systémy

Pneumatické a hydraulické systémy jsou v některých ohledech výhodnější než mechanicky upínané. Urychlují upínací dobu svou snadnou obsluhou a umožňují automatizaci upínání obrobků.

4.1.2.1 Pneumatické upínací systémy

Pneumatické upínací systémy jsou díky své jednoduchosti využívanější než hydraulické. Zdrojem pneumatického systému je vzduch o tlaku 0,4 až 0,6 MPa. Vzduch proudí potrubím a je stlačován pomocí centrálního zařízení s pístovým nebo membránovým pohonem. Stlačený vzduch postupně proudí čističem, odlučovačem, redukčním ventilem a maznicí. Rozdělovač přivádí stlačený vzduch do upínače. Upínací systém také obsahuje zpětný ventil, který zabrání obrobku k uvolnění při náhlé změně tlaku.

4.1.2.2 Hydraulické upínací systémy

Hydraulické systémy vyvíjejí tlak na obrobek pomocí stlačené kapaliny poháněné pomocí čerpadla. Tyto systémy dokážou vyvinout větší upínací sílu než pneumatické. Jsou však složitější a náročnější na údržbu. Oba tyto systémy jdou spojit pomocí tzv. multiplikátoru, ten je jakýmsi kompromisem využívajícím výhod obou těchto systémů. [6]



Obrázek 18 Pneumatický upínací systém pro vícenásobné upnutí [7]

4.1.3 Magnetické upínací systémy

Magnetické upínání je vhodné pouze pro ploché výrobky z oceli, nejlépe s nízkým obsahem uhlíku. Tyto systémy rozdělujeme na permanentní magnety, elektromagnetické upínače a na elektropermanentní magnetické upínače. [6]

4.2 Přípravky

Pro některé výrobky nejsou klasické svěráky dostačující, proto se navrhují různé konstrukčně řešené přípravky, pro co nejlepší upnutí a přesného uložení obrobku. Díky správnému využití přípravků dochází k přesnější výrobě, vyšší produktivitě a k jednodušší manipulaci s obrobky. Kvůli hospodárnosti výroby je velmi důležité, aby se zohlednily všechny technologické způsoby výroby a možnosti použití stejného přípravku pro více typů výrobků s možností drobných úprav. Na návrh přípravku má také velký vliv stroj, na kterém se bude využívat. Přesnost zpracování přípravku bude mít velký vliv na kvalitu vyráběných

dílů, je také nutné počítat s určitou vůlí pro snadné vyjímání. Pro malé díly je vhodné opracovat čelisti svěráku podle tvaru obrobku.

Při návrhu přípravku je nutné nejprve zohlednit počet výrobků a jejich velikost. S jejich velikostí a složitostí roste i komplikovanost upínacího přípravku. Obrobek by měl být ustanovený takovým způsobem, aby při obrábění působily síly do opěrných bodů. Přípravek by měl být také dostatečně tuhý, ale neměl by svou konstrukcí bránit při obrábění, proto je také důležité brát ohled na sortiment nástrojů a upínačů. Ovládací prvky sloužící k upnutí a odepnutí by měly být dobře zpřístupnitelné, aby byla manipulace co nejpohodlnější.

Propracovanost a druh materiálu přípravku ovlivní četnost použití a množství vyrobených kusů. Části přípravku, které podléhají opotřebení je možné konstruovat tak, aby byly vyměnitelné. Přípravek může mít několik konstrukčních řešení, nejvhodnější však bude ten, který splní několik kritérií, jako je cena, rychlost výroby a přesnost zpracování výrobků.

Kvůli bezpečnosti by neměl přípravek obsahovat žádné ostré hrany. Při upevnění těžkého přípravku na rotující stůl s velkými otáčky, je vhodné ho umístit a vystředit na střed stolu, je také nutné zohlednit maximální nosnost pracovního stolu. Pro těžké přípravky by měly být vyrobené vhodné úchytné body pro rychlé a bezpečné vyjímání pomocí zdvihacího zařízení.

[6] [15]

Nejčastěji se pro přípravky volí materiál z hliníku, ale kvůli jeho tepelné roztažnosti se pro přesnější výrobky používá také ocel, která může být i kalená. Při obrábění více kusů na jedno upnutí je vhodné vymyslet speciální upínací systém pro urychlení výrobních časů a ušetření manipulace. [7]

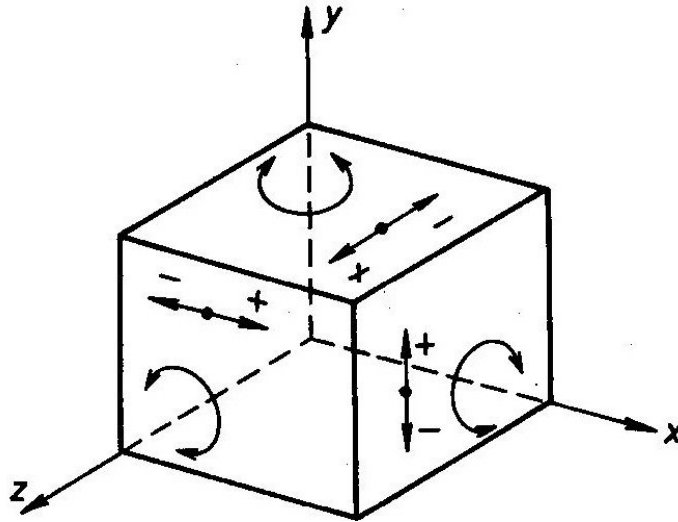
4.3 Ustanovení obrobku

Předmět má v prostoru 6 stupňů volnosti, může se posouvat v osách a zároveň kolem nich rotovat, proto je potřeba obrobku těmto pohybům zamezit.

Při návrhu upínání součásti by měl být výrobek ustavován co možná nejméně. Ustavovací plochy se rozdělují na hrubé (neobrobené plochy za které se díl upíná v první operaci) a na čisté (obrobené plochy).

Pro správné ustanovení a zajištění polohy obrobku se mohou použít různé opěrné nebo aretační prvky, které by měly být rozmístěny po co největší vzdálenosti k zajištění stability. Patří mezi ně opěrky s válcovou hlavou, opěrné lišty, stavitelné opěrky anebo pevné boční opěrky, které jsou vhodné pro těžké obrobky. K zajištění co nejlepší polohy u výrobků

s větším počtem děr je vhodné použití válcových kolíků nebo čepů. Pro co nejlepší vyjímání a vkládání obrobku by měly být boky hladké a na čele by měly být sražené hrany. [6] [15]



Obrázek 19 Stupně volnosti obrobku [6]

4.4 Upínací síly

Při zvolení upínací síly je potřeba zohlednit, že řezné síly se při obrábění různě mění. Velikost upínací síly také ovlivňuje hmotnost výrobku, na který má i vliv, jestli je ustanoven svisle nebo šikmo. Dalšími účinky, které mohou mít vliv na upínací sílu jsou odstředivé nebo setrvačné síly, způsobené rychlým pohybem stolu.

Při upínání dílů nám také mohou pomoci tvarové dotykové plochy upínacích čelistí, poté vzniká větší součinitel tření a výrobek je více držen. Je potřeba také zohlednit, jestli upínáme za obrobenou nebo neobrobenou plochu, proto mohou mít čelisti různý tvar dotykových ploch. Neobrobené plochy je vhodné upínat s čelistmi s ostrými hroty, hrubě obrobené plochy s hladkými rýhovanými čelistmi a obrobené plochy je nutné upínat s naprosto hladkými čelistmi, aby na výrobku nebyly znát žádné stopy po upnutí. Pro zvolení velikosti upínací síly je nutné také dbát na možnou deformaci výrobku, která je ovlivněna typem materiálu. Výpočet upínacích sil je třeba řešit staticky a je potřeba počítat se součinitelem bezpečnosti $k > 1$, u hydraulických a pneumatických upínacích systémů je součinitel bezpečnosti $k = 1$. [4]

Řezná síla F_z se snaží obrobek posunout (obr. 20):

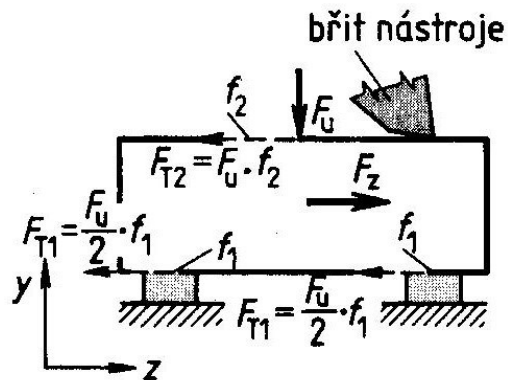
$$F_u = \frac{k \cdot F_z}{f_1 + f_2} [N] \quad (11)$$

Složka řezné síly F_1 působí proti opěrám, složka F_2 se snaží obrobek posunout (obr. 21):

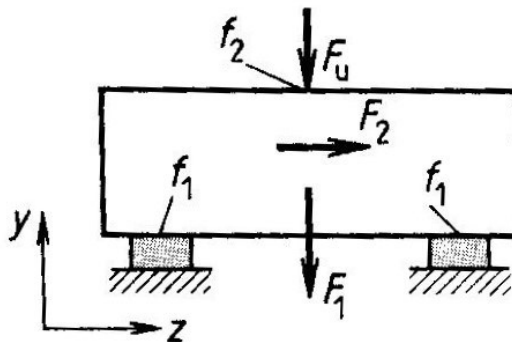
$$F_u = \frac{k \cdot F_2 - F_1 \cdot f_1}{f_1 + f_2} [N] \quad (12)$$

Složka řezné síly F_1 působí proti upínací síle, složka F_2 se snaží obrobek posunout (obr. 22):

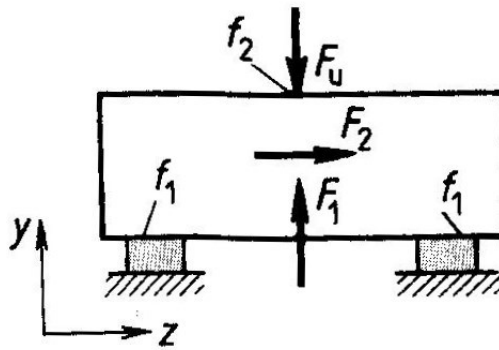
$$F_u = \frac{k \cdot F_2 + F_1 \cdot f_1}{f_1 + f_2} [N] \quad (13)$$



Obrázek 20 Varianta řezných sil č.1 [4]



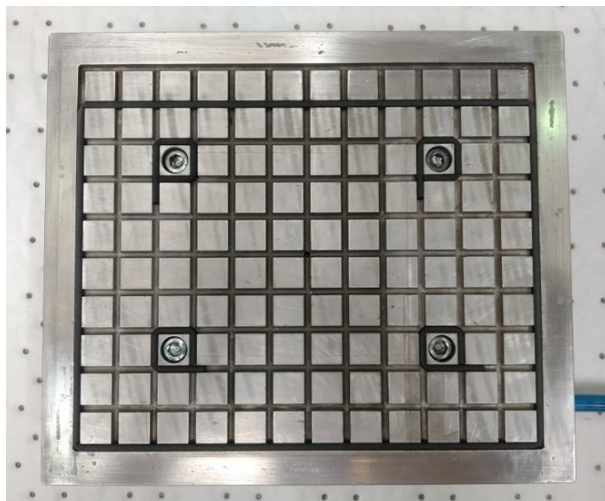
Obrázek 21 Varianta řezných sil č.2 [4]



Obrázek 22 Varianta řezných sil č.3 [4]

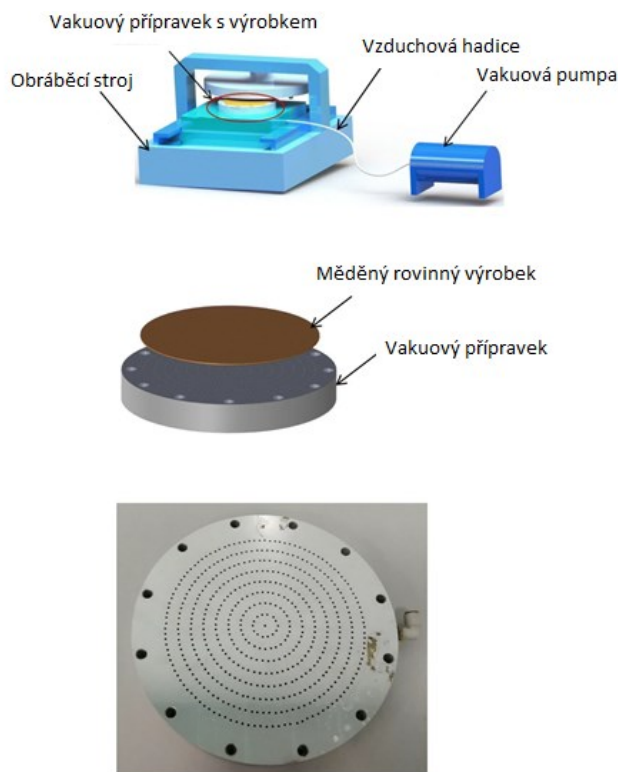
4.5 Vakuové upínací systémy

Vakuové upínací systémy drží obrobek pomocí podtlaku. Tím je obrobek tlačěn ke stolu silou, závislou na velikosti stykové plochy. Mezi hlavní výhody toho upínání patří snadná manipulace dílů a zvýšení produktivity. Velkou výhodou oproti mechanickým upínacím systémům je zamezení vzniku poškození povrchu dílu. Přídržná síla je závislá na drsnosti povrchu dílu a velikosti upínací plochy. Tlak je vyvíjen vakuovou pumpou a je veden pomocí hadic. Nejčastěji se používají univerzální hliníkové desky s různými excentrickými dorazy nebo kolíky. Obrobek je po obvodě ohraničen těsnící gumou umístěnou v mřížkových drážkách k zamezení úniku vzduchu a vyrovnání nerovnosti. Vakuové upínací systémy mají také několik doplňkových komponentů, které usnadňují manipulaci, patří mezi ně uzavírací ventily, manometry, středící čepy a různé upínací prvky. [16]



Obrázek 23 Univerzální upínací vakuová deska

Díky tomuto typu upínání nedochází k tak velké deformaci dílu jako u mechanického upnutí. Deformace obrobku je na místech upínacího styku různá. S rostoucím upínacím tlakem a větším průměrem sacích otvorů dochází k větším deformacím. Průměr sacích otvorů je vhodné volit o průměru 2 mm. Na deformaci dílu má také vliv tuhost obrobku, s rostoucí tloušťkou dochází k menším deformacím než u tenkostěnných dílů. Vakuové přípravky bývají často vyrobené z hliníkových slitin. [17]



Obrázek 24 Vakuový upínací systém [17]

Při upínání tenkostěnných dílů dochází k velkým pružným deformacím, proto není vhodné díl upínat pomocí mechanických upínadel, ale je lepší využít vakuové upínací systémy. Tenkostěnné výrobky mohou být často využívány např. do leteckého, automobilového nebo plastikářského průmyslu. Pomocí této metody upínání je možné upnout různé tvary obrobku, ale s nekonstantní tloušťkou dílu se zvyšuje složitost upínacího systému. Nejčastěji se vakuové upínací systémy využívají pro upínání plastů, neželezných kovů nebo dřeva. Pro CNC stroje je tato upínací metoda velmi výhodná, může zvýšit produktivitu a může mít také dobrý vliv na zamezení vzniku vibrací oproti jiným upínacím systémům. Na kvalitu obrábění má však vliv podtlaková sací síla a kvalita povrchu stykové plochy. Na velikost upínací síly má také vliv velikost upínací plochy. Vakuum znamená stav prázdného prostoru. [18]

5 SHRNUÍ TEORETICKÉ ČÁSTI PRÁCE

Teoretická část bakalářské práce se zabývá technologií frézování. Tato práce je rozdělena do čtyř kapitol, které popisují důležité body o této metodě třískového obrábění.

První kapitola „Frézování“ pojednává o základních způsobech této výrobní metody a o teorii, která je důležitá pro co nejoptimálnější rezný proces. Dále jsou popsány frézovací stroje (frézky) a nástroje (frézy) s charakteristikou jednotlivých nástrojových materiálů. Konec kapitoly je věnován rezným kapalinám, které jsou důležité pro efektivitu a životnost frézovacích nástrojů.

Další kapitola s názvem „Obrábění plastů“ se zabývá problematikou třískového obrábění plastů, jejími vlastnostmi, rozdělením a porovnáním s obráběním kovů s použitím vhodných nástrojů.

Třetí kapitola „CNC obrábění“ se věnuje podstatou počítačově řízeným strojům, programováním, konstrukcí základních částí CNC stroje a automatizací, na kterou je v dnešní době kladen velký důraz.

Poslední kapitola „Upínací systémy“ se zabývá rozdělením upínacích systémů. Volba upnutí polotovaru pro obrábění je velmi důležitá a je potřeba v přípravě výroby brát na toto téma velký důraz. Tato kapitola se také zabývá vhodným ustanovením a upínacím silám obrobku. Pro různé tvarové díly je potřeba upravovat čelisti upínadel a konstruovat různě složité přípravky, tomuto tématu je také věnována část textu. Závěrem a koncem teoretické části se věnují vakuovým upínacím systémům, které jsou důležité pro upínání tenkostěnných dílů, zejména plastových, kvůli vzniku deformací při upínání. Tomuto tématu je podrobněji věnována praktická část bakalářské práce, kde je popsána na výrobě konkrétního plastového dílu a návrhu vakuového přípravku.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem praktické části bakalářské práce je navrhnout vhodný vakuový přípravek pro tvarově složitý plastový díl. Vakuový přípravek bude navrhnout tak, aby pohledová plocha výrobku byla zhotovená bez možnosti poničení nebo poškrábání. Dále je cílem zhotovit plastový díl z materiálu POM-C a vakuový přípravek z materiálu PP-H. Výroba bude probíhat na CNC obráběcím centru DMU 50 eVo linear s řídicím systémem Heidenhain iTNC 530.

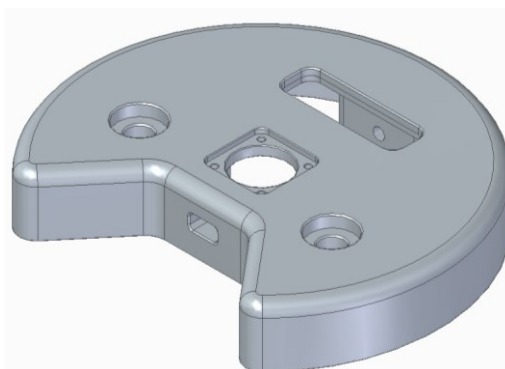
7 VÝROBEK

Výrobek je z konstrukčního semikrystalického termoplastu POM-C (Polyoxymetylen). Měl by být použit jako vrchní kryt ovládacího panelu manipulátoru. Jedná se o prototypový díl, proto bude vyhotoven pouze jeden díl.

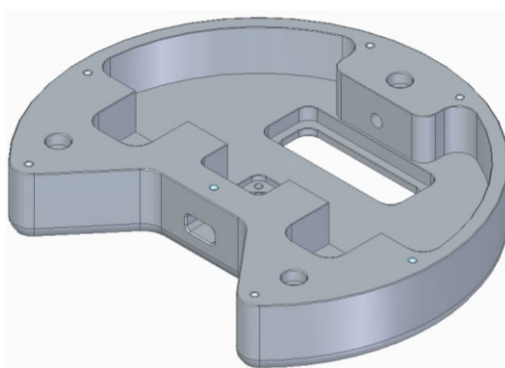
Tento konstrukční plastový materiál vzniká polymerací formaldehydu, proto bývá také přezdíván jako polyformaldehyd. Díky své houževnatosti, tvrdosti a tuhosti se POM-C používá i v technické praxi a přesné mechanice, např. pro ozubená kola. Tento materiál má také dobré kluzné vlastnosti a málo pohlcuje vodu.

Tabulka 8 Vlastnosti materiálu POM-C

Vlastnosti materiálu POM-C	
E	2700–3200 MPa
T _g	-60 °C
HB	145 MPa
T _m	164–172 °C



Obrázek 25 Vrchní pohled modelu výrobku



Obrázek 26 Spodní pohled modelu výrobku

8 NÁVRH VAKUOVÉHO PŘÍPRAVKU

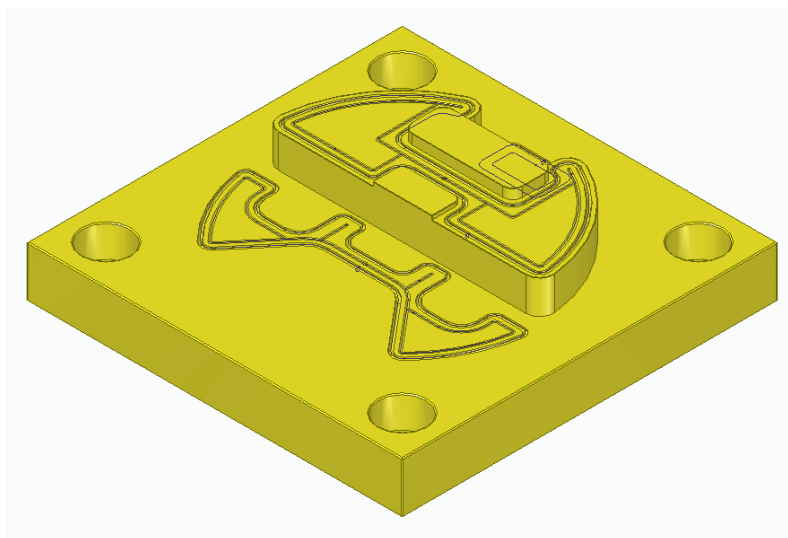
Kvůli prototypové výrobě bude vakuový přípravek vyroben ze standartního plastu PP-H. Tento materiál byl také zvolen kvůli nižší pořizovací ceně a jeho momentálního dostatku. V případě, že by šlo o větší počet výrobní série a přípravek by byl více zatěžován manipulací, zvolil by se pro výrobu materiál ze slitiny hliníku.

PP-H patří mezi semikrystalické polymery a je často využíván ve všech odvětví průmyslu. Absorpce minerálních a rostlinných olejů tohoto materiálu je velmi malá a nemá vliv na mechanické vlastnosti, proto bude možné použít řeznou kapalinu ve formě emulze.

Tabulka 9 Vlastnosti materiálu PP-H

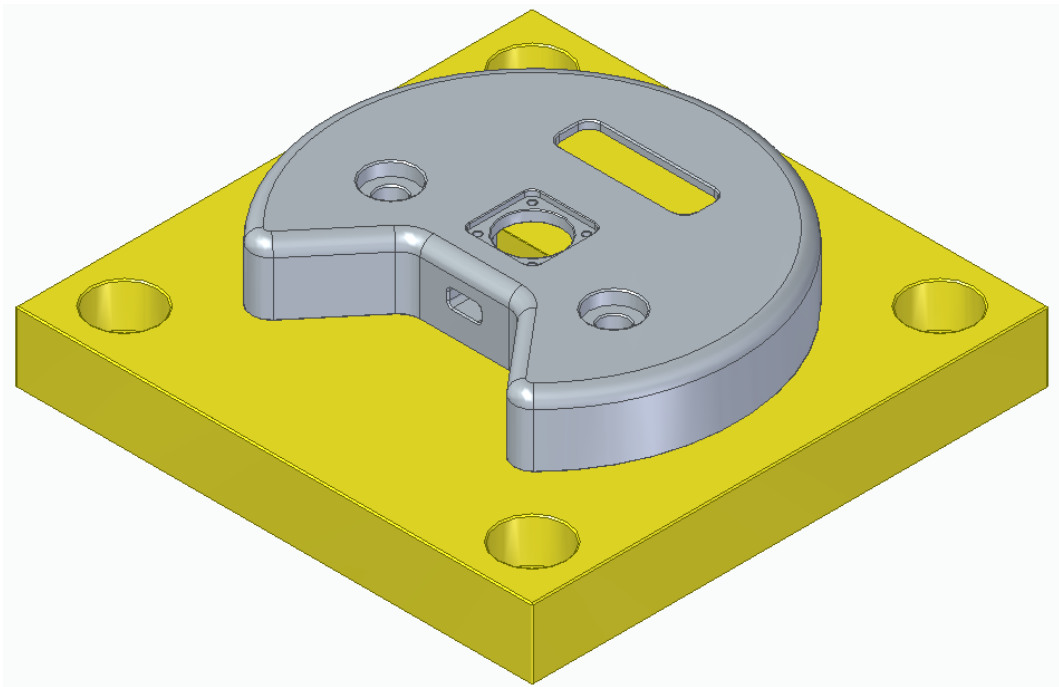
Vlastnosti materiálu PP-H	
E	1100-1500 MPa
T _g	25 °C
σ _p	34-38 MPa
T _m	170 °C
Stupeň krystalinity	60-70 %
Křehkost	pod 0 °C

Kvůli tvarové složitosti výrobku byl zvolen upínací systém ve formě vakuového přípravku. Jeho výhodou je snazší manipulace a zamezení možného poškození obrobku při vkládání nebo vyjímání z pracovního prostoru.



Obrázek 27 Model vakuového přípravku

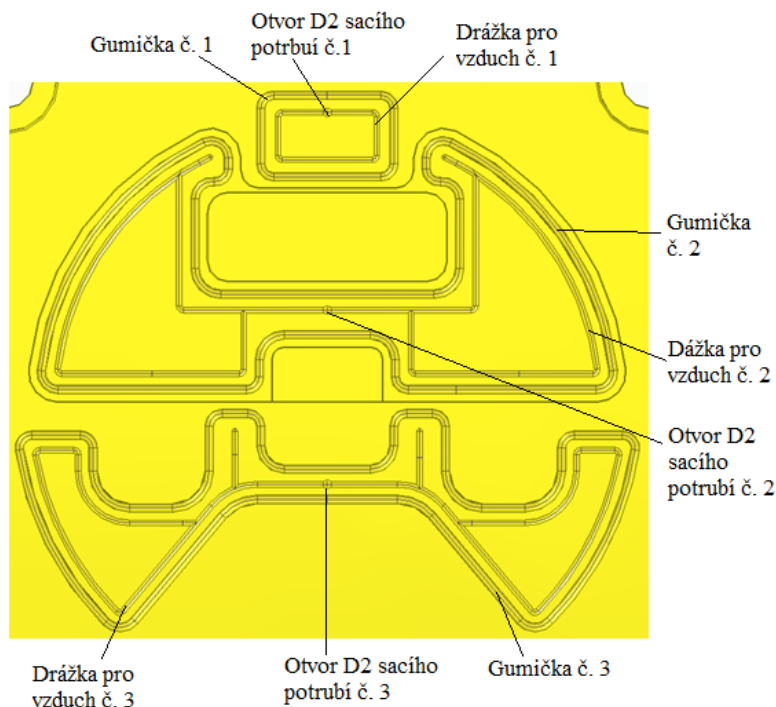
Vakuový přípravek byl navrhnout tak, aby pohledová strana výrobku byla obrobená až nakonec a tím bylo znemožněno její poškození. Tomuto návrhu bylo také potřeba přizpůsobit výrobní postup a obráběcí program.



Obrázek 28 Sestava modelu vakuového přípravku a výrobku

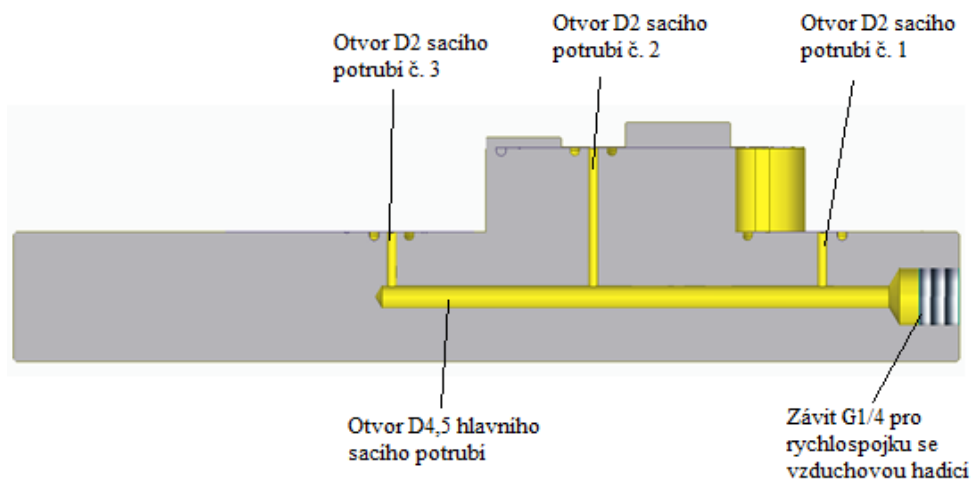
Pro vznik kvalitní sací síly (podtlaku) byly zvoleny drážky v nejrizikovějších místech přípravku. Po obvodu dosedacích ploch přípravku s obrobkem byla použita těsnicí guma o průměru 2 mm. Ta má za úkol zamezit únik vakua a možný vnik řezné kapaliny do upínací soustavy. Tyto negativní procesy by měly za následek povolení upnutého obrobku a následnou kolizi. Pro snadnou aplikaci gumičky do drážek přípravku bylo zvoleno minimální zaoblení rohů R3. V případě ostrých rohů by měla gumička tendenci vyskočit z drážky.

Pro snadné vyjímání výrobku byly na vakuovém přípravku zvoleny rozdílné hodnoty rádiusů, tedy obrobek v rozích nedoléhal o stěnu přípravku. Dále byly zvoleny záporné hodnoty mezních úchylek rozměrů dosedacích ploch mezi přípravkem a obrobkem. V případě, že by obrobek nešel na přípravek lehce nasadit, došlo by k deformacím a nedodržení výkresových tolerancí.



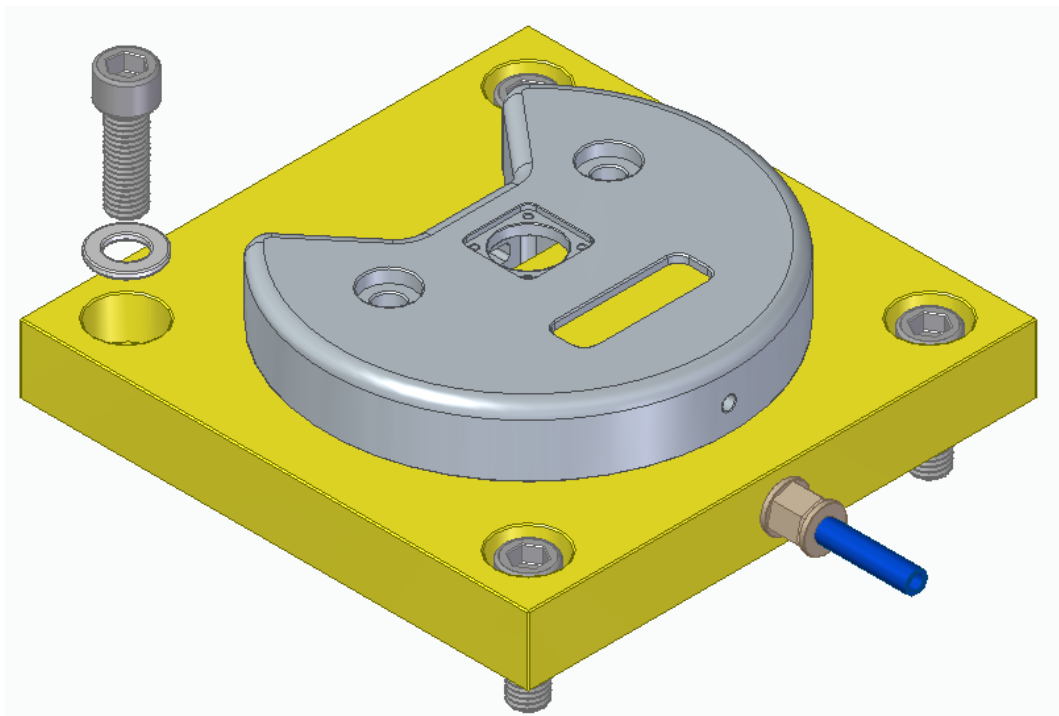
Obrázek 29 Geometrie drážek na modelu vakuového přípravku

Přípravek je rozdělen na 3 části (okruhy), kde dochází k podtlaku. Každá část je uzavřena drážkou pro gumičku s navrhnutou trajektorií podle tvaru výrobku. V každé části je v drážce pro vzduch umístěn otvor o průměru 2 mm. Ty jsou navrhnuté tak, aby byly propojeny s jedním hlavním sacím potrubím na středu přípravku. Na obvodě přípravku v hlavním sacím potrubí je umístěn trubkový závit G1/4. Ten slouží pro zašroubování rychlospojky a propojení se vzduchovou hadicí.



Obrázek 30 Řez modelu vakuového přípravku

Vzduchová hadice propojující přípravek s vakuovou pumpou má vnitřní průměr 5,5 mm a vnější průměr 8 mm. Přípravek bude upevněn na pracovním stole CNC stroje pomocí 4 šroubů M12x1,75 s roztečí 150 mm. Šrouby budou utáhnuté momentovým klíčem o síle 6 N.m, aby se předešlo případné deformaci vakuového přípravku. Pod šrouby budou umístěny podložky o průměru 23,65 mm. Upnutím přípravku ke stolu pomocí šroubů nedochází k tak velkým deformacím, na rozdíl od upnutí ve svěrácích, kvůli kterým by došlo k prohnutí přípravku a k nedodržení jeho rovinnosti.



Obrázek 31 Sestava modelů

9 CNC STROJ

Výroba probíhala na 5osém frézovacím centru DMU 50 eVo linear s řídicím systémem Heidenhain iTNC 530. Upínání nástrojů do vřetene je řešeno pomocí nesamosvorné kuželové stopky SK-40 s utahovacím svorníkem. Zásobník nástrojů má kapacitu 60 míst. Výměna nástrojů probíhá pomocí automatického výměníku nástrojů. Celková hmotnost stroje je 6500 kg s maximálním zatížením středu pracovního stolu 200 kg. Systém měření drah tohoto CNC obráběcího stroje ve všech osách 0,001 mm s tolerancí pozice 0,01 mm.

Tabulka 10 Technické parametry DMU 50 eVo linear

Pracovní rozsah		Počet otáček vřetene [min^{-1}]	
osa X	500 mm	Plynule programovatelný	20–18 000
osa Y	450 mm	V režimu seřizování	20–800
osa Z	400 mm	Rychlost posuvu (plynule programovatelný) [mm/min]	
osa B	0° do 161,955°		
osa C	n x 360°	osa X, Y, Z	do 20 000

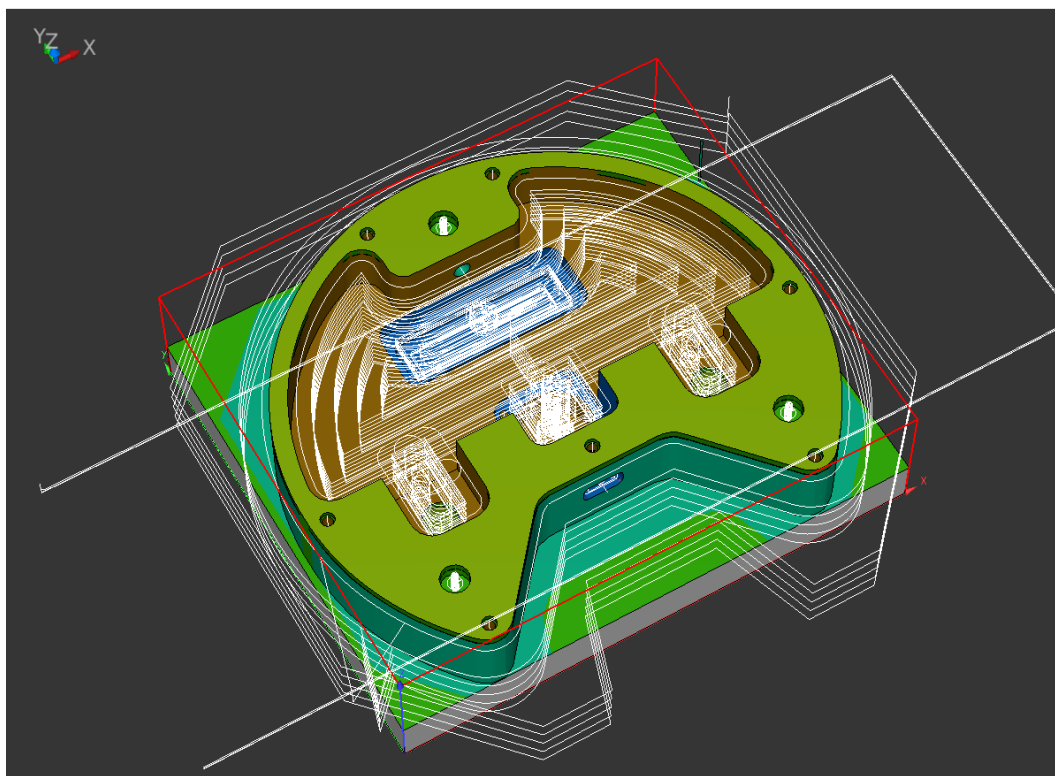


Obrázek 32 DMU 50 eVo linear

10 VÝROBA

Výroba je rozdělena do 3 kapitol, nejdříve bylo potřeba vyrobit první stranu výrobku, podle které byl navrhnout vakuový přípravek. Po obrobení první strany byl vyroben vakuový přípravek. Přípravek bylo nutné vyrobit až po první straně výrobku, kvůli možnosti odzkoušení lícování a dostatečné vůle s přípravkem pro snadnou manipulaci. Nakonec po odzkoušení funkčnosti vakuového přípravku byla obrobena pohledová strana obrobku.

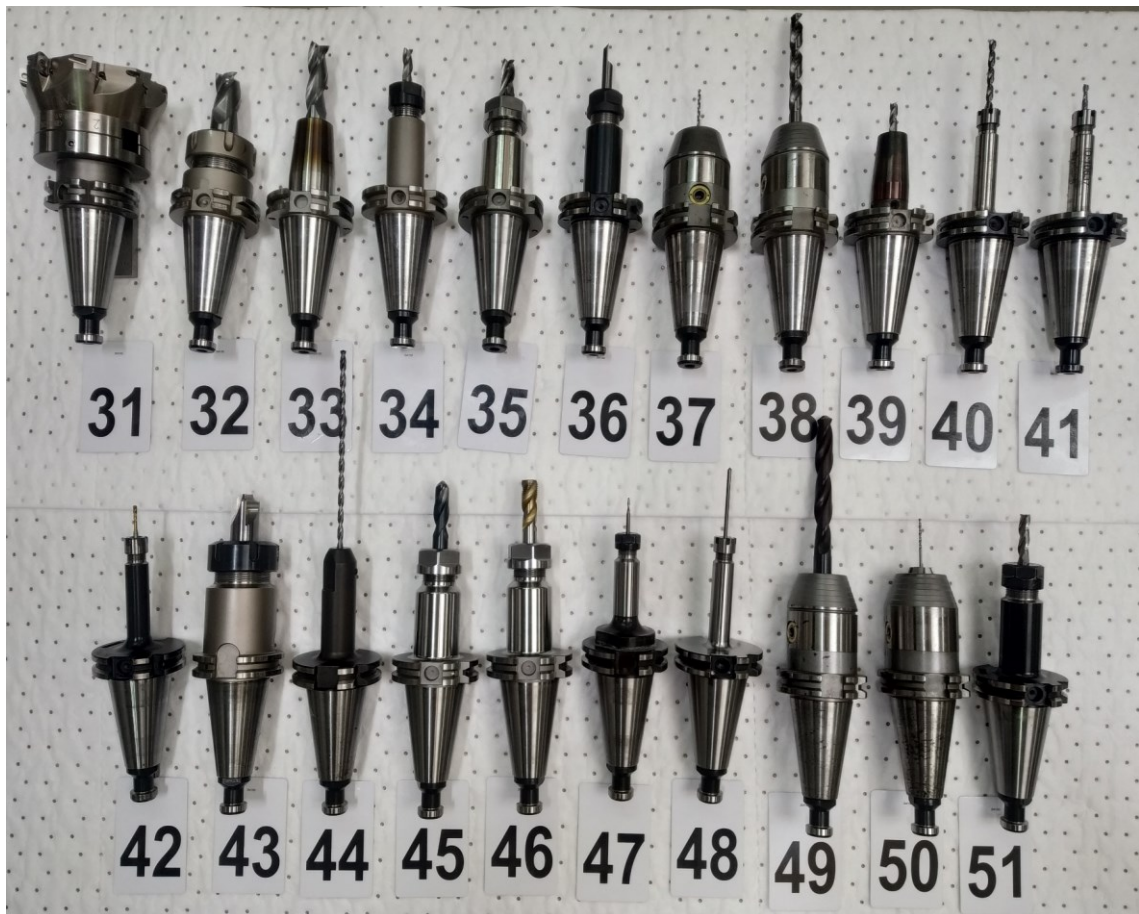
Programy byly vytvořeny ručním programováním v řídicím systému Heidenhain iTNC 530 pomocí výkresové dokumentace a 3D modelu. Kvůli lepší kvalitě bylo obrábění simulováno na jiném stroji s řídicím systémem Heidenhain iTNC 640.



Obrázek 33 Simulace v Heidenhain iTNC 640

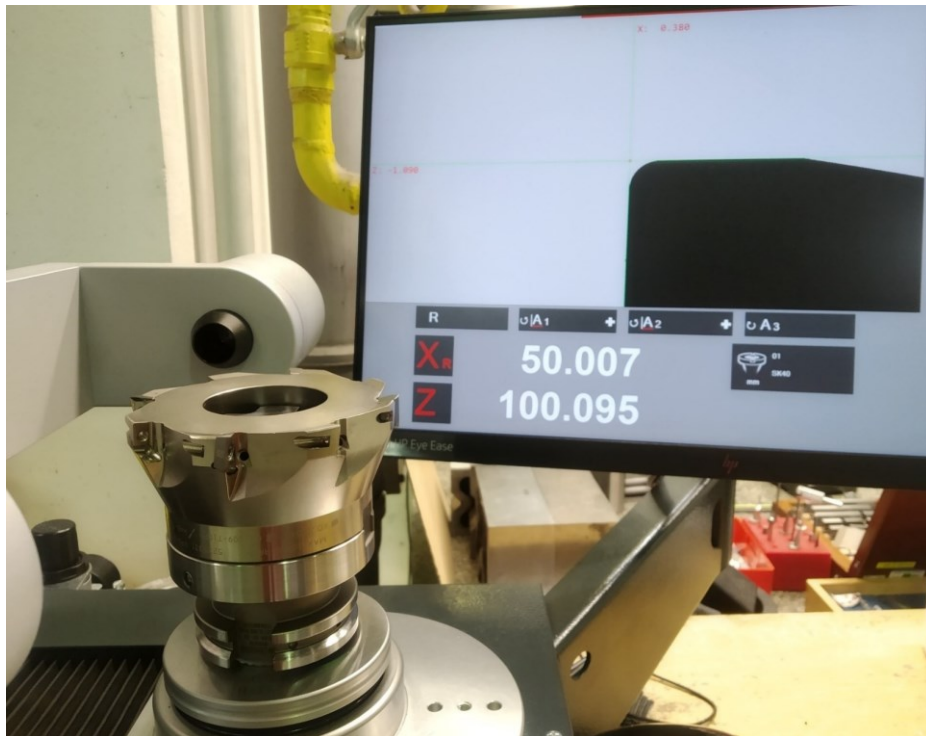
Pro výrobu bylo použito celkem 21 nástrojů složených z různých fréz, vrtáků, srážeců a závitníků. Pro frézování rovinných ploch se použila frézovací hlava o průměru 100 mm značky SECO s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu s označením N (viz tabulka č. 2). Dále byly použity celistvé frézy z rychlořezné oceli z tvrdokovu různých průměrů a počtu břitů od 2 do 4. Vrtáky a závitníky byly taktéž z rychlořezné oceli, ale závitníky byly se zlatým povlakem TiN.

Nástroje byly upnuty do nástrojových upínačů s typem upínání do vřetene SK-40. Tvary upínačů byly použity podle upnutého nástroje, nejčastěji se jednalo o upnutí do kleštiny, ale byly použity i tepelné upínače a upínače typu Weldon. Pro vrtáky byly nejčastěji použity rychloupínací hlavy, pokud nebylo potřeba použít tenký upínač, který byl např. nutný při vrtání u vytočeného stolu v ose B.



Obrázek 34 Nástroje

Všechny nástroje byly proměřeny s optickým měřícím zařízením značky PWB pro co nejlepší rozměrovou přesnost obroběných ploch. Při správné kalibraci tohoto měřícího přístroje lze dosáhnout velmi přesných hodnot, které ušetří práci při následném odladění programu v podobě korekcí u nástrojů.



Obrázek 35 Optické měření nástrojů

Po změření všech nástrojů byly hodnoty délek a poloměrů zapsány do tabulky nástrojů CNC stroje. Symbol T udává umístění nástroje v zásobníku, L – délka nástroje, R – poloměr nástroje, R2 – druhý poloměr nástroje (např. poloměr špičky břitu), DR a DL – korekce nástroje

T	NAME	L	R	R2	DL	DR
31	FR-100	+100.095	+50	+0	+0	+0
32	FR-20	+121.092	+10	+0	+0	+0
33	FR-16	+143.16	+7.99	+0	+0	+0
34	FR-8	+128.277	+3.894	+0	+0	+0
35	FR-12	+137.389	+5.548	+0	+0.03	+0.01
36	8X45ST	+139.12	+2	+0	+0	+0
37	VRT-2.5	+123.626	+0	+0	+0	+0
38	VRT-10	+188.723	+5	+0	+0	+0
39	FR-6	+104.173	+2.978	+0	+0	-0.01
40	VRT-5	+153.347	+0	+0	+0	+0
41	FR-4	+120.799	+1.993	+0	+0	+0
42	M3-ZAVITNIK	+123.594	+0	+0	+0	+0
43	FR-20-R5	+135.216	+5	+0	+0	+0
44	VRT-4.5-DL	+244.432	+0	+0	+0	+0
45	VRT-11.8	+148.967	+0	+0	+0	+0
46	G1-4-ZAVITNIK	+146.428	+0	+0	+0	+0
47	FR-2-R1	+126.702	+1	+0	+0	+0
48	3X45ST	+150.873	+1	+0	+0	+0
49	VRT-13	+210.745	+0	+0	+0	+0
50	VRT-2	+131.41	+0	+0	+0	+0
51	FR-8-DL	+135.887	+3.89	+0	-0.01	-0.09

Obrázek 36 Tabulka nástrojů

Poté mohlo dojít k ustanovení jednotlivých pozic na pracovní stůl CNC stroje. Ty však kvůli rozměru výrobku a upínacího systému bylo nutné upnout zvlášť, aby nedošlo ke kolizi. Pro obrábění všemi frézami bylo zvoleno sousledné frézování doprovázeno chlazením řeznou kapalinou ve formě emulze.

10.1 Výroba – první strana výrobku

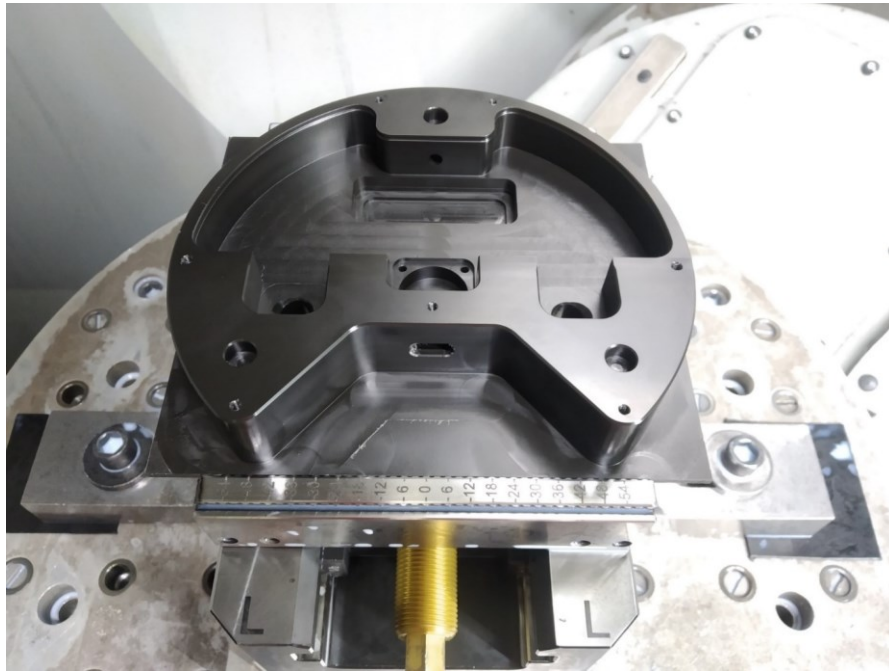
Pro první ustanovení polotovaru je důležité, aby se obrobilo co nejvíce ploch, kvůli rozměrové přesnosti výrobku. Pro upnutí polotovaru byl použit upínací svěrák pro 5osé obrábění od značky LANG. Polotovar byl držen v hloubce 3 mm v čelisti svěráku s ostrými zuby pro hrubé obrábění. Pro utáhnutí polotovaru byl použit momentový klíč o síle 10 N.m. Kvůli operacím s vytočeným stolem bylo nutné použít podstavec, aby nedošlo ke kolizi vřetene s pracovním stolem.

Po ustanovení polotovaru bylo už možné snímat nulový bod obrobku pomocí TS dotykové sondy. Polotovar měl rozměry 155x135x29, takže přídavek v ose X a Y byl celkově 5 mm a v ose Z +0,5 mm.

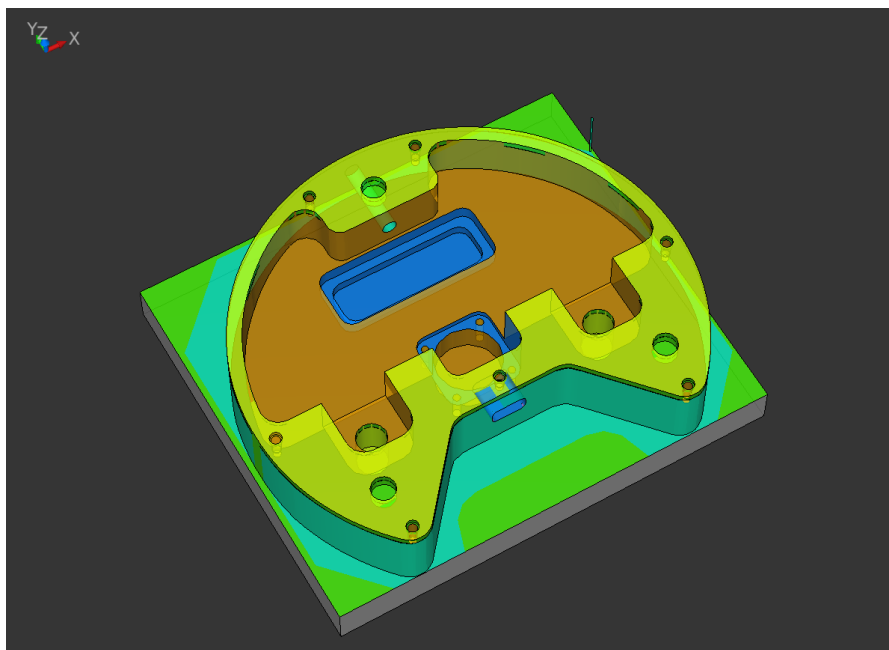


Obrázek 37 Polotovar výrobku

V průběhu obrábění byly postupně měřeny rozměry obrobku a poté byl upravován program v podobě korekcí u nástrojů. Pro měření bylo použito posuvné měřidlo, úchylkoměr, válcový kalibr a závitový kalibr (trn). Všechny rozměry byly naměřeny dle daných výkresových tolerancí. Poté bylo možné obrobek odepnout z pracovního stolu.



Obrázek 38 Obrobená první strana výrobku



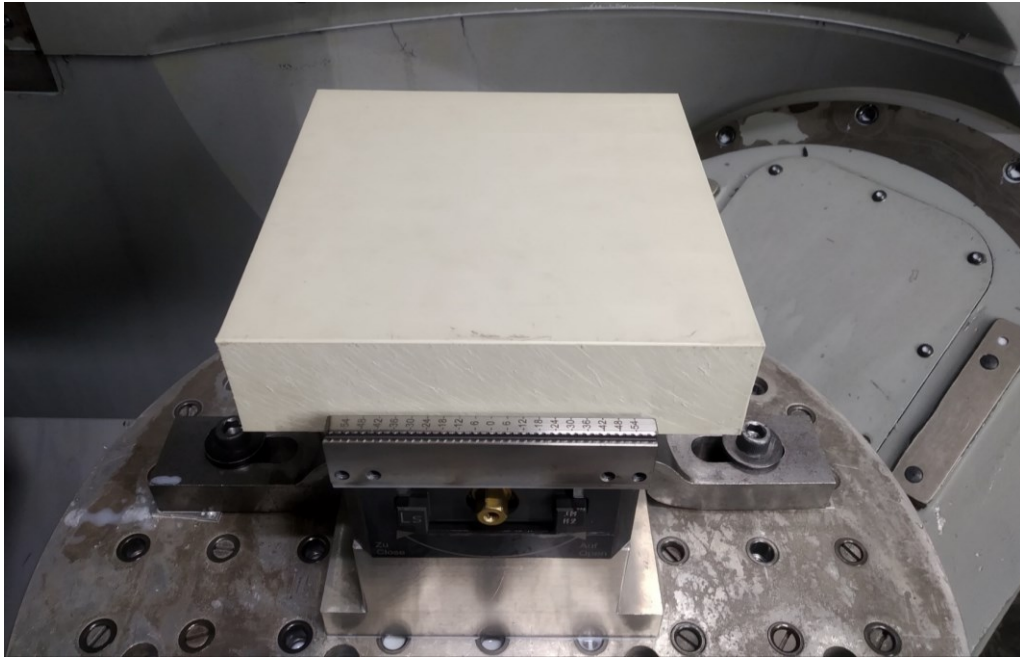
Obrázek 39 Simulace obrobení první strany výrobku

Tabulka 11 Výrobní postup obrobení první strany výrobku

Výrobní postup obrobení první strany výrobku				
Číslo operace	Druh operace	Číslo nástroje	Druh nástroje	Počet otáček [ot/min]
1	ČELO Z+0	T31	FR - 100	4000
2	HRUBOVAT OBVOD	T32	FR - 20	6000
3	PŘEDDOKONČIT OBVOD	T33	FR - 16	7000
4	KAPSA 26x26 HL.19	T34	FR - 8	9000
5	KAPSA HL.17	T35	FR - 12	8000
6	KRUHOVÁ KAPSA D22	T35	FR - 12	8000
7	2x KAPSA 22x22 HL.15	T35	FR - 12	8000
8	KAPSA 56x21 HL.22	T34	FR - 8	9000
9	KAPSA 50x15 HL.25	T34	FR - 8	9000
10	NAVRTAT 2xD10	T36	8x45°	4000
11	NAVRTAT D5 – ZADNÍ	T36	8x45°	4000
12	NAVRTAT 7xD2,5 PRO M3	T36	8x45°	4000
13	NAVRTAT 4xD2,5	T48	3x45°	5000
14	VRTAT 4xD2,5	T37	VRT - 2,5	5000
15	VRTAT 7xD2,5 PRO M3	T37	VRT - 2,5	5000
16	VRTAT 2xD10	T38	VRT - 10	2500
17	FRÉZOVAT 3xH8	T39	FR - 6	9000
18	VRTAT D5 – ZADNÍ	T40	VRT -5	4000
19	KAPSA 12x6 – PŘEDNÍ	T41	FR - 4	10000
20	ŘEZAT 7xM3	T42	ZÁVITNÍK – M3	700
21	SRAZIT OBVOD	T36	8x45°	8000
22	SRAZIT 3xH8	T36	8x45°	8000
23	SRAZIT 2xD10	T36	8x45°	8000
24	SRAZIT VNITŘNÍ KAPSU	T36	8x45°	8000
25	SRAZIT 2x KAPSU 22x22	T36	8x45°	8000
26	SRAZIT KAPSU 26x26	T36	8x45°	8000
27	SRAZIT KAPSU 12x6	T48	3x45°	10000

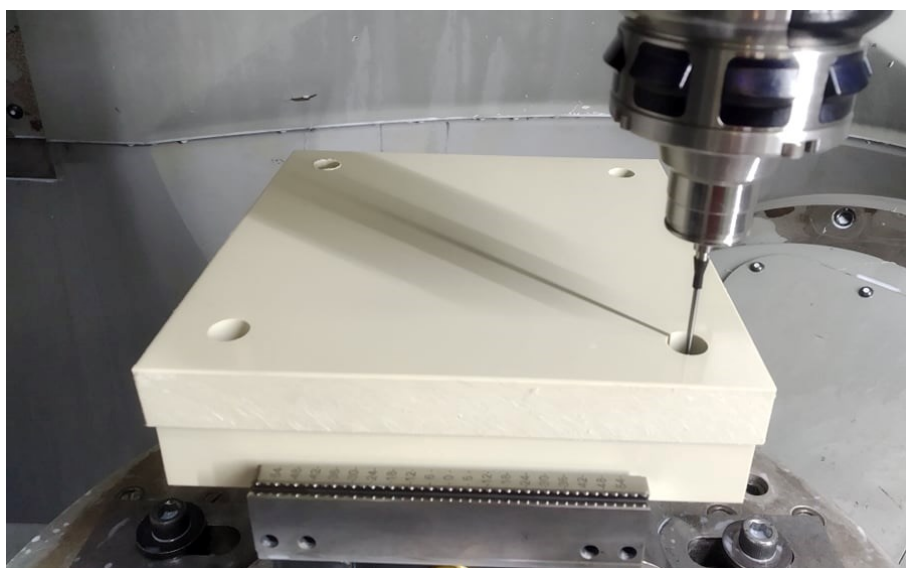
10.2 Výroba – přípravek

Polotovár pro výrobu přípravku z materiálu PP-H měl rozměry 194x194x50. Nulový bod přípravku se nacházel na středu polotovaru s přídavkem v ose Z+0,5 mm. Přípravek bylo nutné vyrobit na tři ustanovení. Nejdříve byla obrobena strana, která bude dosedat s pracovním stolem stroje. Zároveň se obrobí všechny operace s vytočením stolu, proto byl zvolen upínací svěrák s podstavcem.



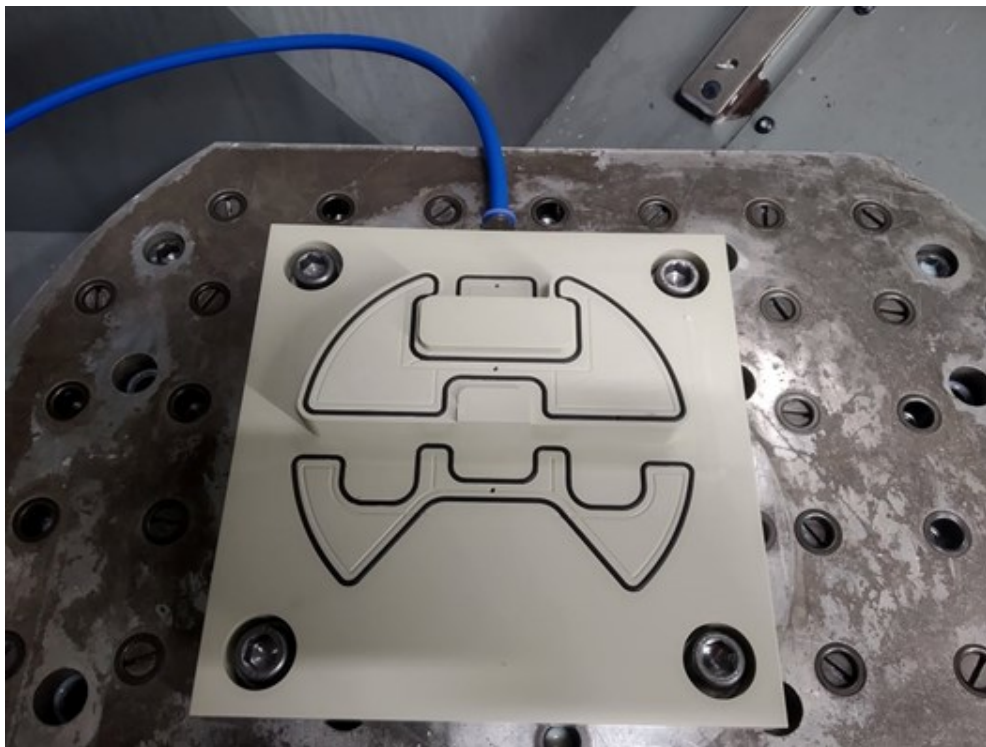
Obrázek 40 Polotovar vakuového přípravku

Po obrobení první strany se mohl přípravek otočit a vyfrézovat zahloubení pro šrouby, aby se mohl přípravek přišroubovat ke stolu a obrobit zbytek ploch. Pro snadnější najetí nulového bodu byla snímána rotace od průchozích děr a dopočítána hodnota podle výkresové dokumentace. Pro dlouhý vrták o průměru 4,5 mm pro hlavní sací potrubí bylo vhodné předfrézovat otvor do malé hloubky, aby se zamezilo vybočení z dráhy. Do takových hlubokých děr je užitečné použít vrtáky s možností vnitřního výplachu.



Obrázek 41 Ustanovení obrobku pro frézování zahloubení

Pro třetí ustanovení přípravku bylo zvoleno upnutí ke stolu pomocí čtyř šroubů M12. Šrouby pro upnutí přípravku byly zapuštěné v zahloubení tak, aby nemohlo dojít ke kolizi. Po obrobení ploch, které aretují polotovar výrobku a jejich rozměr má vliv na snadné vkládání na přípravek, se pomocí manipulace vyzkoušelo lícování. Po odladění všech rozměrů se k přípravku zašroubovala rychlospojka s hadicí a do drážek se vložily těsnící gumičky. Pro lepší těsnost závitu G1/4 byla použita teflonová páska.



Obrázek 42 Obrobený vakuový přípravek



Obrázek 43 Rychlospojka

Tabulka 12 Výrobní postup obrobení přípravku

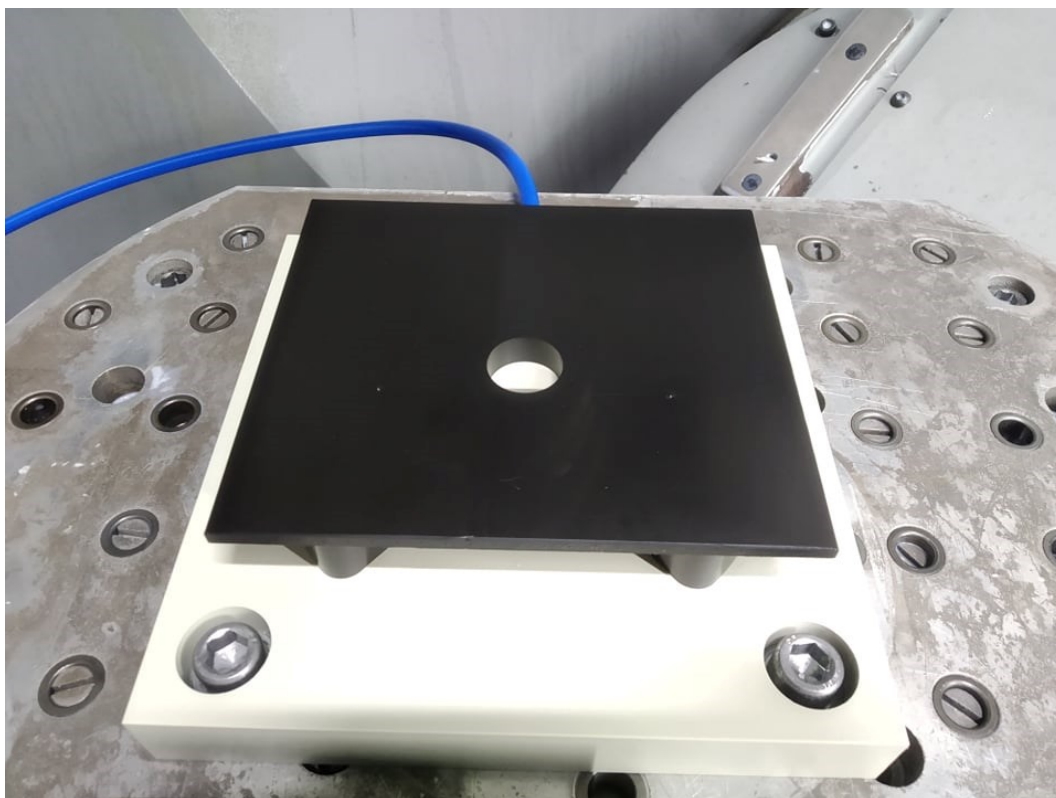
Výrobní postup obrobení přípravku				
Číslo operace	Druh operace	Číslo nástroje	Druh nástroje	Počet otáček [ot/min]
PRVNÍ USTANOVENÍ				
1	ČELO Z+0	T31	FR- 100	4000
2	DOKONČIT OBVOD 190x190	T33	FR - 16	7000
3	SRAZIT OBVOD 190x190	T36	8x45°	8000
4	NAVRTAT 4xD13	T36	8x45°	4000
5	VRTAT 4xD13	T49	VRT - 13	2000
6	SRAZIT 4XD13	T36	8x45°	8000
7	PŘEDFRÉZOVAT D4,5 - ZADNÍ	T41	FR- 4	10000
8	VRTAT D4,5 - ZADNÍ	T44	VRT - 4,5	3200
9	VRTAT D11,8 PRO G1-4 - ZADNÍ	T45	VRT - 11,8	2500
10	ŘEZAT ZÁVIT G1-4 - ZADNÍ	T46	ZÁVITNÍK – G1/4	300
DRUHÉ USTANOVENÍ				
11	FRÉZOVAT ZAHLOUBENÍ D24x15	T33	FR - 16	7000
TŘETÍ USTANOVENÍ				
12	FRÉZOVAT ČELO Z+0	T31	FR -100	4000
13	FRÉZOVAT ČELO Z-2	T31	FR -100	4000
14	HRUB OSTRŮVEK	T31	FR -100	4000
15	DOKONČIT OSTRŮVEK	T51	FR - 8	9000
16	VNEJŠÍ KASPY NA OSTRŮVKU	T34	FR - 8	9000
17	NAVRTAT 3xD2	T36	8x45°	4000
18	SRAZIT OBVOD 190x190	T36	8x45°	8000
19	SRAZIT VNĚJŠÍ KAPSU 56X21	T36	8x45°	8000
20	VRTAT 3xD2	T50	VRT - 2	5000
21	DRÁŽKA PRO GUMU 1	T47	FR-2R1	10000
22	DRÁŽKA PRO VZDUCH 1	T47	FR-2R1	10000
23	DRÁŽKA PRO GUMU 2	T47	FR-2R1	10000
24	DRÁŽKA PRO VZDUCH 2	T47	FR-2R1	10000
25	DRÁŽKA PRO GUMU 3	T47	FR-2R1	10000
26	DRÁŽKA PRO VZDUCH 3	T47	FR-2R1	10000

Pro operaci dokončení ostrůvku s použitou frézou o průměru 8 mm a počtem zubů 3 byla použita hloubka přísuvu $a_p = 2,5$ mm, posuv frézování $v_f = 2000$ mm/min, počet otáček $n = 9000$ ot/min. Podle vzorce č.1 byla tedy výsledná řezná rychlost $v_c = 226$ m/min. Nízký posuv frézování bylo nutné regulovat kvůli větší délce vysunutí frézy. Celková hloubka frézování činila 22 mm.

10.3 Výroba – druhá strana výrobku

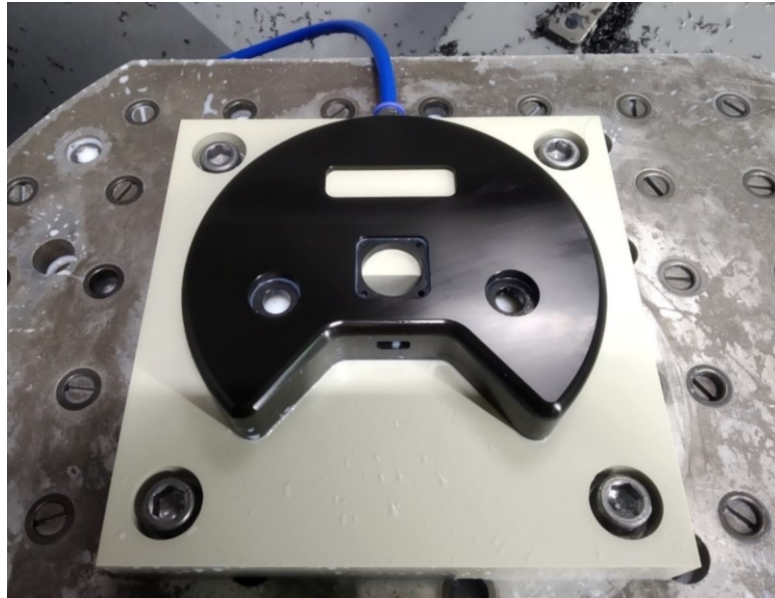
Nulový bod obrobku byl snímán kružnicí v díře o průměru 22 mm nacházející se na středu. Ta byla záměrně vyfrézována v prvním ustanovení skrz polotovar, aby snímání nulového bodu bylo co nejpohodlnější. V ose Z se zadala hodnota na dně přípravku Z-25.

Obrobek bylo nutné důkladně doklepat a zkontrolovat dosednutí všech ploch. Při nedosednutí všech ploch kvůli nepřesné předešlé výrobě vakuového přípravku a první strany výrobku by při obrábění vznikly vibrace a k nedostatečné drsnosti povrchu pohledové strany. Vakuová pumpa držela obrobek o podtlaku 0,08 MPa. V průběhu obrábění byla tato hodnota kontrolována na manometru.



Obrázek 44 Ustanovení obrobku na vakuovém přípravku

Aby byl rádius R5 co nejlépe napojený, nechalo se dokončení obvodu do této pozice. Při obrábění bylo použito chlazení pomocí řezné kapaliny ve formě emulze s obsahem oleje 5 %. Po obrobení všech ploch byl výrobek proměřen pomocí posuvného měřidla s výsledkem dodržení všech výkresových tolerancí. Následně byl výrobek umyt a odmaštěn.



Obrázek 45 Obrobená druhá strana výrobku

Pro dokončení čela výrobku byla použita fréza o průměru 100 mm značky SECO. Počet řezných plátků ze slinutého karbidu připevněných na frézovací hlavě byl 4. Hloubka řezu $a_p = 0,2$ mm, posuv frézování $v_f = 1200$ mm/min, počet otáček $n = 4000$ ot/min. Podle vzorce č.1 byla tedy výsledná řezná rychlost $v_c = 1257$ m/min. Při této operaci byl použit vnitřní výplach řeznou kapalinou.

Podle výkresu byla daná drsnost povrchu Ra 0,8. Povrch byl změřen na kontaktním měřicím zařízení s maximální naměřenou hodnotou Ra 0,59.

Tabulka 13 Výrobní postup obrobení druhé strany výrobku

Výrobní postup obrobení druhé strany výrobku				
Číslo operace	Druh operace	Číslo nástroje	Druh nástroje	Počet otáček [ot/min]
1	ČELO Z+0	T31	FR - 100	4000
2	DOKONČIT OBVOD	T33	FR - 16	7000
3	KAPSA 26x26 HL.2	T34	FR - 8	9000
4	2x KAPSA D18 HL.5	T34	FR - 8	9000
5	SRAZIT 2x KAPSU D18	T36	8x45°	8000
6	SRAZIT 2x DÍRU D10	T36	8x45°	8000
7	SRAZIT KAPSU 26x26	T36	8x45°	8000
8	SRAZIT KAPSU 50x15	T36	8x45°	8000
9	R5 OBVOD	T43	FR-TVAR. -R5	8000

11 SHRUTÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI

Prvním cílem praktické části bakalářské práce bylo navrhnout vakuový přípravek pro upnutí plastového dílu. Přípravek byl navrhnout tak, aby pohledová strana výrobku byla obrobena bez možnosti poškození jejich ploch. S tím bylo nutné také stanovit správný výrobní postup a připravit program v řídicím systému Heidenhain iTNC 530.

Pro výrobu bylo připraveno 21 nástrojů pro specifickou obráběcí operaci. Poté byly změřeny na optickém měřicím přístroji, který při správné kalibraci usnadní následnou práci při úpravách korekcí v programu.

Při výrobě byla nejprve obrobena spodní strana výrobku, která byla co nejpřesněji vyfrézována, aby co nejlépe lícovala s plochami vakuového přípravku. Poté co byly změřeny všechny důležité rozměry, byl vyroben vakuový přípravek, který byl potřeba obrobit na tři ustanovení. Po odzkoušení snadného vkládání obrobena první strany výrobku na vakuový přípravek, bylo možné do přípravku připojit komponenty ve formě těsnících gumiček, rychlospojky a hadice propojující přípravek s vakuovou pumpou. Nakonec byla obrobena pohledová strana výrobku a znovu proběhla měřicí kontrola.

Při výrobě druhé strany výrobku na vakuovém přípravku nedošlo ke ztrátě podtlaku a polotovar se nijak nepohnul. Při výrobě však došlo k několika nedokonalostem, které byly zapříčiněny chybami v obráběcím programu, došlo např. k zajištění tvarové frézy R5 do obvodu, což mělo za následek estetickou chybu na pohledové straně. Vakuový přípravek i přesto splnil očekávání svou funkčností.

Kvůli velkému odběru materiálu z vakuového přípravku došlo k poměrně velké deformaci. Ta po odepnutí z pracovního stolu byla znatelná v prohnutí spodních ploch. Podle tolerancí dle výkresové dokumentace byla daná rovinnost a rovnoběžnost 0,1 mm. Po změření na 3D měřicím zařízení byla naměřena hodnota rovinnosti 0,81 mm a rovnoběžnost 0,29 mm. Při opětovném ustanovení vakuového přípravku na pracovní stůl by měly tyto vysoké hodnoty za následek problém se srovnáním roviny. Proto po odzkoušení funkčnosti upínacího systému by bylo vhodné přípravek znovu zhotovit z vhodnějšího materiálu, např. ze slitiny hliníku.

ZÁVĚR

Teoretická část byla z větší části věnována technologii frézování. Nejprve byly popsány základní metody této třískové obráběcí metody. Dále byla rozebrána studie na téma teorie frézování, frézovací stroje, nástroje a jejich chlazení reznými kapalinami. Druhou kapitolou bylo obrábění plastů. Tato část se zabírala vlastnostmi a tipy při obrábění těchto materiálů. Také byl srovnán rozdíl mezi obráběním kovových a plastových dílů. Další kapitola byla věnována CNC obrábění, které už dávno z větší části převládlo nad používáním ručně ovládaných obráběcích strojů. V této kapitole byla rozebrána podstata CNC obrábění, konstrukce CNC obráběcího centra, programování a automatizace, na kterou je v dnešní době zaměřeno hlavní úsilí. Poslední kapitola teoretické části se zabývala upínacími systémy. Zaobírala se přípravkami pro tvarové upnutí obrobků, rozdělením upínacích systémů, ustanovením a vakuovým upínacím systémům, kterým je dále věnována praktická část.

Cílem praktické části této práce bylo navrhnout vakuový přípravek pro výrobu plastového dílu metodou frézování. Dále měla proběhnout jejich výroba s demonstrací jejich obrobení.

Vakuový přípravek byl navrhnout tak, aby pohledová strana výrobku byla vyrobena naposled a nemohlo dojít k jejímu poškození manipulací. Drážky pro vzduch byly vedeny nejrizikovějšími místy, kde mohlo dojít k nedosednutí obrobku na přípravek. Okolo vzduchových drážek bylo nutné vést drážku pro gumičku pro zamezení úniku vakua a vniku rezné kapaliny do upínací soustavy. Vakuový přípravek se zdál být při výrobě plně funkční. Kvůli prototypové výrobě byl materiál přípravku zvolen PP-H, avšak kvůli velkému odběru materiálu došlo k velké deformaci, která by po znovu ustanovení na pracovní stůl CNC stroje měla velký vliv se srovnáním roviny. Proto po odzkoušení funkčnosti toho přípravku by bylo nutné zvolit jiný materiál, jako je např. slitina hliníku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [2] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3: Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. 1. díl. Praha: Scientia, 2000. ISBN 80-718-3207-3.
- [3] *Technická příručka obrábění: soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů : příručka firmy Sandvik Coromant*. Praha: Sandvik Coromant, 2005.
- [4] HLUCHÝ, Miroslav a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 2: Koroze, základy obrábění, výrobní psotupy*. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-718-3127-1.
- [5] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM Publishing, 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [6] ŘASA, Jaroslav, Jindřich KAFKA a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 4: Návrhy nástrojů, přípravků a měřidel : zásady montáže*. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-718-3284-7.
- [7] WALKER, John a Bob DIXON. *Machining Fundamentals*. 10th edition. Tinley Park: IL: The Goodheart-Willcox Company, 2019. ISBN 9781635632088.
- [8] MOKJANO, F. Machining plastics: How metals techniques could lead you astray. *Trade Journal* [online]. 2009 [cit. 2022-02-05]. ISSN 0194844X. Dostupné z: <https://www.scopus.com>
- [9] Obrábění plastů. In: *Obrábění plastů - Úvodní* [online]. FTP Plastics s.r.o, 2019 [cit. 2022-02-05]. Dostupné z: <https://www.prumysloveplasty.cz/obrabeni-plastu/>
- [10] The Most Cost-Effective Materials to Use for Plastic Machining. In: *The Most Cost-Effective Materials to Use for Plastic Machining* [online]. Room 407, Building F, Tianyou Chuangke Industrial Park, Qiaotou Community, Fuhai Street, Baoan District, Shenzhen, China,: RapidDirect, 2020 [cit. 2022-02-05]. Dostupné z: <https://www.rapiddirect.com/knowledge-base/article/plastic-machining/>
- [11] ŘASA, Jaroslav, Přemysl POKORNÝ a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3: Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění*. 2. díl. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-718-3336-3.
- [12] MAREK, Jiří a A KOLEKTIV. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. 2010. Praha 10: MM publishing, s.r.o, 2010. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [13] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [14] VRABEC, Martin. *Metodika programování obráběcích strojů s číslicovým řízením*. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2012. ISBN 978-807-4144-998.
- [15] SCALAN, Peter. *Process planning: The design/Manufacture Interface* [online]. Butterworth-Heinemann: Elsevier, 2003. ISBN 0 7506 5129 6. Dostupné také z: databáze Knovel
- [16] Vakuová upínací technika. In: *Vakuová upínací technika - Naros spol. s.r.o* [online]. areál HESPO č.p. 974 763 02 ZLÍN – MALENOVICE: Naros spol. s.r.o, 2010 [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: http://www.naros.cz/katalog/Prospekt_Vakuum_CZ.pdf
- [17] KANG, Ju a ET AL. Prediction of clamping deformation in vacuum fixture–workpiece system for low-rigidity thin-walled precision parts using finite element method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. 2020, 109(7-

- 8), 1895-1916 [cit. 2022-02-03]. ISSN 0268-3768. Dostupné z: doi:10.1007/s00170-020-05745-5
- [18] ADLI, MA a ET AL. Micro-Influence of Vacuum Block Positions on Machinability of Acrylic Using Hybrid Vacuum Clamping System. *INTERNATIONAL JOURNAL OF NANOELECTRONICS AND MATERIALS* [online]. 2021, 14, 145-158 [cit. 2022-02-04]. ISSN 1985-5761. Dostupné z: <https://www.webofscience.com>
- [19] HUMÁR, Anton. Technologie 1: Technologie obrábění - 1. část. In: *Technologie 1 - Technologie obrábění* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně - Fakulta strojního inženýrství - Ústav strojírenské technologie, 2003 [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf
- [20] Sandvik Coromant: Dráha nástroje a utváření třísek. In: *Sandvik Coromant: Dráha nástroje a utváření třísek* [online]. SANDVIK Coromant [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/pages/cutter-path-and-chip-formation.aspx>
- [21] Home - HEIDENHAIN: Touch Probes For Machine Tools. In: *Home - HEIDENHAIN: Touch Probes For Machine Tools* [online]. Germany: HEIDENHAIN, 2022 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/1113984-27_Touch_Probes_en_web.pdf
- [22] LANG KATALOG. In: *Protechnik systems* [online]. Moravská Třebová: protechnik systems s.r.o, 2021 [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: https://www.protechnik-systems.cz/_files/ugd/156015_ab1f14139fde421c9220290bcc0fbb54.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

v_c	řezná rychlost [m/min]
F_c	tečná složka řezné síly [N]
K	objemový součinitel [$\text{cm}^3 \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$]
a_e	šířka frézované plochy [mm]
a_p	hloubka řezu [mm]
f_m	posuv za minutu [mm/min]
f_z	posuv na zub [mm]
n	otáčky nástroje [1/min]
z	počet zubů frézy [-]
v_f	posuvová rychlost [mm/min]
φ_i	úhel okamžité polohy [°]
$F_{fNc}, F_{ci}, F_i, F_{fi}, F_{cNi}$	složky řezné síly [N]
D_c	průměr nástroje [mm]
π	Ludolfovo číslo [-]
V	objem odebraného materiálu [mm^3/min]
T	doba obrábění, trvanlivost nástroje [min]
l	délka obráběné plochy [mm]
C_T, m, C_K, γ_K	konstanty [-]
P_c	řezný výkon [kW]
P_p	potřebný řezný výkon [kW]
q	podíl přeměněné práce v teplo [%, cca 98 %]
q_t	podíl tepla přecházející do třísky [%]
t_t	teplota třísky [°C]
m_t	hmotnost třísek [kg]
c	měrná tepelná kapacita [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$]
t_o	teplota okolí [°C, cca 20 °C]
R_a	drsnost povrchu [μm]

ρ	hustota [$\text{g}\cdot\text{cm}^3$]
R_m	pevnost [MPa]
E	Youngův modul pružnosti [MPa]
α	roztažnost [$10^{-5}\cdot\text{K}^{-1}$]
λ	tepelná vodivost [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
C_p	měrný tepelný obsah [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
T_g	teplota skelného přechodu [$^{\circ}\text{C}$]
T_m	teplota tavení [$^{\circ}\text{C}$]
σ_p	mez pevnosti [MPa]
F_u	upínací síla [N]
F_z	řezná síla [N]
F_{T1}, F_{T2}	třecí síly
k	součinitel bezpečnosti upnutí
f_1, f_2	třecí síly
RO	rychlořezná ocel
IT	stupeň přesnosti
SK	slinutý karbid
CNC	počítačem řízené číslicové stroje
HSS	rychlořezná ocel
TiAlN	nitrid titanu a hliníku
PD	polykrystalický diamant
PKNB	polykrystalický nitrid bóru
Si_3N_4	nitrid křemičitý
CT	cermet
Al_2O_3	oxid hlinitý
C	uhlík

Co	kobalt
W	wolfram
Cr	chrom
Mn	mangan
Mo	molybden
ČSN	České technické normy
WC	karbid wolframu
TiC	karbid titanu
Ta	tantal
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci
VBD	vyměnitelné břitové destičky
HB	tvrdost podle Brinella
Ni	nikl
HSC	vysokorychlostní obrábění
B	mastné oleje
D	emulze
F	lehké minerální oleje s přísadami
PETP	Polyethylentereftalát
PTFE	Polytetrafluorethylen
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
PMMA	Polymethylmethakrylát
PA	Polyamid
POM	Polyoxymethylen
PC	Polykarbonát

PEEK	Polyetheretherketon
PE	Polyethylen
PI	Polyimid
PPSU	Polyphenylsulfone
PSU	Polyethersulfon
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
SAN	Styren-akrylonitrilová pryskyřice
PPS	Polyfenylsulfid
PFA	Perfluoralkoxyalkan
ETFE	Tetrafluorethylen
PCTFE	Polychlorotrifluoroethylen
PVDF	Polyvinylidenfluorid
PET	Polyethylentereftalát
PA66	Polyamid 66 (Nylon 66)
PBT	Polybutylentereftalát
PA6	Polyamid 6 (Nylon 6)
PA11	Polyamid 11
PA12	Polyamid 12 (Nylon 12)
PE	Polyethylen
SK, HSK	druh upnutí nástroje do vřetene
CAD	počítačem podporované projektování
CAM	počítačová podpora obrábění
2D	dvourozměrná grafika
3D	třírozměrná grafika
TS, TT	druh snímací sondy

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Obvodové a čelní frézování [2]	12
Obrázek 2 Řezné síly při nesousledném a sousledném frézování [19].....	13
Obrázek 3 Druhy třísek [4]	14
Obrázek 4 Nesymetrické a symetrické čelní frézování [20].....	14
Obrázek 5 Vertikální a horizontální frézka [7]	18
Obrázek 6 Závislost tvrdosti nástrojových materiálů na teplotě [5].....	19
Obrázek 7 Typy nástrojů [19]	23
Obrázek 8 Pyramida termoplastů [9]	29
Obrázek 9 Různé plasty pro CNC obrábění [10]	30
Obrázek 10 CNC obráběcí centrum Mori Seiki GV 5035AX [19]	35
Obrázek 11 Kartézský souřadnicový systém [13]	36
Obrázek 12 CAM simulace [7]	38
Obrázek 13 Univerzální průmyslový robot [11].....	39
Obrázek 14 TS sonda pro měření dílců [21].....	40
Obrázek 15 TT sonda pro měření nástrojů [21].....	40
Obrázek 16 Svěrák pro 3osé frézování s upravenými čelistmi [7].....	41
Obrázek 17 Svěrák pro 5osé frézování [22]	42
Obrázek 18 Pneumatický upínací systém pro vícenásobné upnutí [7]	43
Obrázek 19 Stupně volnosti obrobku [6].....	45
Obrázek 20 Varianta řezných sil č.1 [4]	46
Obrázek 21 Varianta řezných sil č.2 [4]	46
Obrázek 22 Varianta řezných sil č.3 [4]	47
Obrázek 23 Univerzální upínací vakuová deska.....	47
Obrázek 24 Vakuový upínací systém [17].....	48
Obrázek 25 Vrchní pohled modelu výrobku.....	52
Obrázek 26 Spodní pohled modelu výrobku	52
Obrázek 27 Model vakuového přípravku	53
Obrázek 28 Sestava modelu vakuového přípravku a výrobku	54
Obrázek 29 Geometrie drážek na modelu vakuového přípravku	55
Obrázek 30 Řez modelu vakuového přípravku.....	55
Obrázek 31 Sestava modelů.....	56
Obrázek 32 DMU 50 eVo linear.....	57
Obrázek 33 Simulace v Heidenhain iTNC 640	58
Obrázek 34 Nástroje	59

Obrázek 35 Optické měření nástrojů	60
Obrázek 36 Tabulka nástrojů	60
Obrázek 37 Polotovár výrobku	61
Obrázek 38 Obrobená první strana výrobku	62
Obrázek 39 Simulace obrobení první strany výrobku	62
Obrázek 40 Polotovár vakuového přípravku	64
Obrázek 41 Ustanovení obrobku pro frézování zahloubení	64
Obrázek 42 Obrobený vakuový přípravek	65
Obrázek 43 Rychlospojka	65
Obrázek 44 Ustanovení obrobku na vakuovém přípravku	67
Obrázek 45 Obrobená druhá strana výrobku	68

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Přesnost rovinných ploch po frézování [2] – str.71	17
Tabulka 2 Použití VBD pro určité materiály [3] – str. D26	20
Tabulka 3 Porovnání nástroje z SK bez povlaku a z SK s povlakem [1] – str. 76	20
Tabulka 4 Přehled doporučených řezných kapalin pro frézování [1] – str. 66.....	25
Tabulka 5 Vlastnosti některých plastů (při 20 °C) [6] – str.114.....	27
Tabulka 6 Porovnání vybraných fyzikálních vlastností [6] – str. 112	28
Tabulka 7 Řezné podmínky pro obrábění termoplastů a reaktoplastů [2] - str. 249.....	31
Tabulka 8 Vlastnosti materiálu POM-C	52
Tabulka 9 Vlastnosti materiálu PP-H	53
Tabulka 10 Technické parametry DMU 50 eVo linear	57
Tabulka 11 Výrobní postup obrobení první strany výrobku.....	63
Tabulka 12 Výrobní postup obrobení přípravku.....	66
Tabulka 13 Výrobní postup obrobení druhé strany výrobku.....	68

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Kryt panelu

Příloha P II: Přípravek