



Upínání polotovarů v obráběcích centrech při automatizované výrobě ve firmě MISAN s.r.o.

Diplomová práce

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

Strojírenská technologie a materiály

Autor práce:

Bc. Tomáš Hron

Vedoucí práce:

doc. Ing. Jan Jersák, CSc.

Katedra obrábění a montáže

Konzultant práce:

Ing. Josef Kolář

MISAN, s.r.o.





Zadání diplomové práce

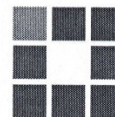
Upínání polotovarů v obráběcích centrech při automatizované výrobě ve firmě MISAN s.r.o.

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Hron**
Osobní číslo: S17000242
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie a materiály
Zadávací katedra: Katedra obrábění a montáže
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

1. Shrnutí poznatků o upínání polotovarů ve frézovacích obráběcích centrech.
2. Přehled způsobů upínání realizovaných ve firmě MISAN s.r.o.
3. Návrh nového způsobu upínání přířezů z tažených profilů Al-slitin v obráběcích centrech při automatizované výrobě.
4. Realizace návrhu a testování funkčnosti.
5. Hodnocení navrhovaného řešení z hlediska stability funkce.
6. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků, vyvození závěrů.

Rozsah grafických prací: Obrázky, tabulky a grafy dle potřeby.
Rozsah pracovní zprávy: Cca 60 – 70 stran textu.
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická



Seznam odborné literatury:

1. NOVOTNÝ, F. – HORÁK, M. *Efektory průmyslových robotů*. Liberec: skriptum TU v Liberci, 2015, 116 s. ISBN 978-80-7494-195-5.
2. SANDVIK Coromant, Sandviken: Příručka obrábění – kniha pro praktiky. Překlad M. Kudela. -. vyd. 1997. 800 s. ISBN 91-972299-4-6.
3. SANDVIK Coromant, Sandviken: Technická příručka obrábění – soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů. 2005. 601 s. ISBN -.
4. *Top trendy v obrábění – IV. část – Upínanie, prípravky a meradlá (příručka)*. MONKA, P., aj. Žilina: MEDIA/ST, s.r.o., Máj 2007. ISBN 80-968954-2-7.
5. DUŠÁK, K. *Obráběcí přípravky*. 1. vyd. Liberec: TU v Liberci, 2007. 185 s. ISBN 978-80-7372-260-9.
6. ZEMÁNEK, M. *Řešení technologie hromadné výroby klíčů při náhradě automatové mosazi za ocel 11 109, [Diplomová práce]*. Liberec, VŠST Liberec, 1993. 57 s.

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
Katedra obrábění a montáže

Konzultant práce: Ing. Josef Kolář
MISAN, s.r.o.

Datum zadání práce: 19. února 2019

Předpokládaný termín odevzdání: 19. srpna 2020

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

V Liberci 19. února 2019



doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

5. dubna 2020

Bc. Tomáš Hron

Upínání polotovarů v obráběcích centrech při automatizované výrobě ve firmě MISAN s.r.o.

Anotace

Diplomová práce se zabývá problematikou upínání přířezů z tažených profilů hliníkových slitin, a to v obráběcích centrech při automatizované výrobě ve firmě Misan s.r.o. Tato firma zastupuje zejména vybrané japonské výrobce obráběcích strojů, zaměřuje se na komplexní řešení nasazení CNC obráběcích strojů, aditivní technologie laserového spékání práškových kovů a automatizaci.

Cílem praktické části diplomové práce je výběr vhodných strojů a technických zařízení, návrh a výroba potřebných komponent a následná realizace přípravků pro řešení upnutí polotovarů těles ventilů z hliníkových slitin v obráběcích centrech. Závěrem je odzkoušení upínacích přípravků, které jsou součástí robotického technologického pracoviště, a zhodnocení stability funkce pro efektivní využití v automatizované strojírenské výrobě.

Klíčová slova

Automatizace, hliníkové slitiny, vrtání, upínací přípravek, silové poměry

Blank clamping in machining centers during automated production in Misan s. r. o. company

Annotation

This thesis follows up subject matter of clamping cuts made of aluminum alloy drawn profiles in machining centers during automated production in Misan s.r.o. company. This company is an exclusive distributor of Japanese machine tools and focuses on complex solution in deployment of CNC machine tools, additive technologies regarding metal powder laser cusing and automation.

The objective of thesis practical part is the selection of appropriate machines and technical equipment, design and production of required components and subsequent fixture realization for blank clamping solution of aluminum alloy valve body in machining centers. The conclusion consists of fixture tests that were carried out in robotic technological workplace and evaluation of function stability for effective application in automated machining production.

Key words

Automation, aluminum alloys, drilling, fixture, force ratio

Katedra obrábění a montáže

Evidenční číslo práce: **KOM 1288**

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Hron**

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
Konzultant: Ing. Josef Kolář – firma Misan s.r.o.

Počet stran: 80
Počet příloh: 10
Počet tabulek: 4
Počet obrázků: 29
Počet grafů: 0

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Janu Jersákovi, CSc. za věcné konzultace, připomínky a lidský přístup v odborném vedení mé diplomové práce. Dále firmě Misan s.r.o. v čele s Ing. Ondřejem Svobodou, Ph.D. za podporu při realizaci řešení diplomové práce, za možnost získání několikaletých zkušeností nabytých v této firmě, a mým kolegům za kvalitní připomínky a cenné rady. V neposlední řadě děkuji i své partnerce, Pavlíně Netíkové, za podporu během mého studia nejen magisterského programu.

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	10
1 Úvod	12
1.1 Představení firmy Misan s.r.o.	12
1.2 Cíle diplomové práce	13
1.3 Stručný úvod k upínacím přípravkům	13
2 Teoretická část	14
2.1 Technologie obrábění	14
2.1.1 Frézování	14
2.1.2 Vrtání	14
2.2 Řezné síly při obrábění	16
2.2.1 Složky řezné síly	16
2.3 <i>SNOP</i>	18
2.4 Obráběcí přípravky	18
2.4.1 Upínací přípravky	19
2.5 Konstrukce přípravků – zásady a postupy	22
2.6 Prvky upínací soustavy	23
2.6.1 Struktura upínacího přípravku pro obrábění	23
2.6.2 Polohování obrobku v upínacím přípravku	23
2.6.3 Ustavovací prvky	24
2.6.4 Opěrné prvky	24
2.6.5 Podpěrné prvky	24
2.6.6 Těleso přípravku	24
2.6.7 Ustavovací a upínací prvky tělesa přípravku	24
2.6.8 Upínací silový blok	25
2.6.9 Upínací prvky	25
2.7 Bezpečnost uchopení	25
2.7.1 Bezpečnost z hlediska vyvození upínací síly silovým blokem	25
2.7.2 Provozní bezpečnost z hlediska výpadku zdroje energie	25
2.8 Životnost výstupních členů	26
2.8.1 Nároky na údržbu	26
2.9 Schéma principu způsobu upnutí	26
2.9.1 Směr vnější síly působí proti opěrkám	26
2.9.2 Vnější síla působí proti směru upínací síly	27

2.9.3	Vnější síla, kolmá na směr upínací síly	28
2.10	Přehled způsobů upínání realizovaných ve firmě Misan s.r.o.....	31
2.10.1	Upnutí nástrojů	31
2.10.2	Upnutí obrobků	31
2.10.3	Upínací přípravek tělesa brzdy v případě automatizované výroby.....	32
2.10.4	Způsob upínání krytu rozvodového řetězu v sériové výrobě.....	33
3	Praktická část.....	37
3.1	Metodika praktické části diplomové práce	37
3.1.1	Materiál obráběného dílce.....	37
3.1.2	Materiál řezného nástroje.....	38
3.1.3	Řezné podmínky technologie vrtání.....	41
3.1.4	Ukazatele způsobilosti procesu.....	44
3.1.5	Polotovary obráběného tělesa.....	46
3.1.6	Vyrobený obrobek tělesa ventilu	46
3.2	Robotické technologické pracoviště	48
3.2.1	Cyklus výrobní linky	48
3.3	Způsob založení a natočení dílce.....	50
3.3.1	Natočení kolébky NC01-0ST	50
3.3.2	Natočení kolébky NC01-90ST	50
3.3.3	Natočení kolébky NC02-0ST	51
3.3.4	Natočení kolébky NC02-270ST	51
3.3.5	Natočení kolébky NC02-90ST	51
3.4	Nástroje použité v CNC.....	51
3.4.1	Sdružené vrtáky T8 a T10	51
3.4.2	Vrtáky T6 a T7.....	52
3.5	Ukázka NC programu pro obrábění nástrojem T8	52
3.6	Výpočet axiální síly	53
3.7	Statická určitost upnutí	54
3.8	Výpočet upínací síly.....	55
3.9	Vybraný upínací hydraulický silový blok.....	57
3.9.1	Hydraulický silový blok KSH-LH plus 100 – 5,4 mm.....	58
3.10	Vybrané stroje a komponenty.....	60
3.10.1	Robot Fanuc M-20iA.....	60
3.10.2	Obráběcí stroj Brother Speedio R450 X1	60
3.10.3	Pneumatická kontrola dosednutí obrobku SMC ISA3-GFP-1N.....	61

3.10.4	Laserová bezkontaktní sonda Renishaw <i>TRS2</i>	61
3.10.5	Hydraulický agregát Hydac.....	62
3.10.6	Čtvrtá přídatná rotační osa	63
3.11	Navržené a vyrobené komponenty	63
3.11.1	Základová deska	64
3.11.2	Bočnice	64
3.11.3	Deska upínačů	65
3.11.4	Ustavovací plocha základny	66
3.11.5	Upínací čelisti	67
3.12	Instalace přídatné rotační osy obráběcího stroje	68
3.12.1	Zakrytování přídatné rotační osy	72
3.13	Kontrolní činnosti po instalaci přípravků	72
3.13.1	Instalace, kontrolní činnost a zhodnocení provozu <i>RTP</i>	73
4	Závěr, shrnutí hodnocení a návrh doporučení	75
	Citovaná literatura	78
	Seznam příloh.....	80

Seznam symbolů a zkratek

A_D	mm ²	průřez třísky
a_p	mm	šířka záběru ostří
b_D	mm	jmenovitá šířka třísky
C_{Ff}	-	konstanta charakterizující výběr obráběného materiálu
C_p	-	ukazatel způsobilosti procesu
C_{pk}	-	ukazatel způsobilosti procesu
d	mm	průměr původního otvoru
D_c	mm	průměr vrtáku (díry)
h_D	mm	jmenovitá tloušťka třísky
h_m	mm	střední tloušťka třísky
h_{max}	mm	maximální tloušťka třísky
F	N	výsledná řezná síla
F_c	N	řezná síla
F_f	N	posuvová síla
F_p	N	radiální síla
f_n	mm·ot ⁻¹	posuv na otáčku
F_R	N	reakční síla
F_t	N	třecí síla
F_U	N	upínací síla
f_z	mm	posuv na zub
k	-	koeficient bezpečnosti
k_c	MPa	měrná řezná síla
k_{c11}	MPa	specifická řezná síla
L	mm	hloubka díry / zvolená vzdálenost
m	kg	hmotnost
m_c	-	nárůst měrné řezné síly
n	ot·min ⁻¹	otáčky vřetene
P	W	výkon
p	bar	tlak
p_0	bar	tlak akumulátoru
p_{ex}	bar	tlak hlavního pojistného ventilu
p_{max}	bar	tlak maximální
Q	l·min ⁻¹	průtok
s	-	výběrová směrodatná odchylka
t	°C	teplota
v_c	m·min ⁻¹	řezná rychlost
v_f	mm·min ⁻¹	posuvová rychlost
x_{Ff}	-	exponent upravující vliv průměru vrtáku
y_{Ff}	-	exponent upravující vliv posuvu na otáčku
Z_n	-	počet břitů na nástroji
γ	°	úhel čela
η	-	účinnost stroje

κ_r	°	úhel nastavení hlavního ostří
μ	-	koeficient tření; parametr polohy
σ	-	směrodatná odchylka
σ^2	-	rozptyl

Al_2O_3	oxid hlinitý
<i>BBT</i>	typ upínacího systému
<i>BT</i>	typ upínacího systému
<i>CKR160</i>	NC otočný stůl Kitagawa (motor osy)
<i>CNC</i>	počítačem řízený stroj
<i>Co</i>	kobalt
<i>ČSN</i>	česká státní norma
<i>EF</i>	end effector – koncový efektor robotu
<i>ER</i>	typ kleštiny
<i>HB</i>	tvrdost podle Brinella
<i>HSK</i>	typ upínacího systému
<i>HV</i>	tvrdost podle Vickerse
<i>ISO</i>	mezinárodní norma / typ upínacího systému
<i>LSL</i>	dolní mezní rozměr
<i>NbC</i>	karbid niobu
<i>NC</i>	numeric control – číslicově řízený
<i>PKD</i>	polykrystalický diamant
<i>PLC</i>	programovatelný logický automat
<i>QT</i>	QT stůl stroje Brother (Quick Turn)
<i>RTP</i>	robotické technologické pracoviště
<i>SK</i>	slinutý karbid
<i>SNOP</i>	stroj, nástroj, obrobek, přípravek
<i>TiC</i>	karbid titanu
<i>TiCN</i>	karbonitrid titanu
<i>TiN</i>	nitrid titanu
<i>TRS2</i>	laserová nástrojová bezkontaktní sonda
<i>TSR142</i>	protiložisko s brzdou – Kitagawa
<i>USL</i>	horní mezní rozměr
<i>VBD</i>	vyměnitelná břitová destička
<i>WC</i>	karbid wolframu

1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá problematikou upínání přířezů z tažených profilů hliníkových slitin, a to v obráběcích centrech při automatizované výrobě ve firmě Misan s.r.o. Na základě vytyčených cílů diplomové práce bude vypracována rešerše uvádějící do problematiky. V teoretické části budou představeny postupy a zásady konstrukce upínacích přípravků v závislosti na působení vnějších sil. Podkladem pro experimentální část je pak rešerše řezných silových poměrů obrábění dílce se zaměřením na řezné síly při technologii vrtání. Tato technologie je stěžejní pro výrobu těles ventilů, na kterou je experimentální část práce zaměřena. Dále budou představeny vybrané aplikace upínání dílců v automatizované výrobě realizované ve firmě Misan s.r.o.

V úvodu praktické části diplomové práce jsou popsány použité metody pro řešení vytyčených cílů. Pro stanovení maximálních řezných sil obrábění budou představeny řezné podmínky vrtání, geometrie řezného nástroje, materiály nástroje a obrobku tvořící souhrn informací, na které naváže realizace experimentální části. Cílem praktické části diplomové práce je návrh, realizace, odzkoušení a zhodnocení přípravků pro upínání polotovarů těles ventilů z hliníkových slitin v obráběcím centru. Konkrétně se práce bude zabývat výběrem hydraulických upínacích silových bloků na základě stanovených upínacích sil, které budou vycházet z výpočtu kritických hodnot sil působících během obrábění. Následně se práce bude věnovat výběru vhodných strojů a periférií, konstrukčnímu návrhu a realizaci potřebných technických zařízení přípravků pro automatizovaný charakter výroby. Závěrem bude odzkoušení upínacích přípravků v robotickém technologickém pracovišti a jejich zhodnocení pro efektivní využití v automatizované strojírenské výrobě na základě dosažení požadovaných hodnot ukazatele způsobilosti procesu C_{pk} a změřeného cyklového času.

Mezi hlavní požadované cíle robotického technologického pracoviště (*RTP*) je zahrnuta vysoká produktivita a kvalita výroby, tudíž je požadován návrh upínacích přípravků, které budou stabilně, pevně, rychle a opakovatelně upínat dílce. Z hlediska automatizovaného charakteru výroby bude třeba obráběcí stroje vybavit kontrolou zalomení nástroje, automatickými dopravníky třísek a externími silovými zdroji pro upnutí dílců. V případě potřeby je možné nainstalovat přídavnou osu obráběcího stroje. Obráběcí stroje budou muset být vybaveny rozhraním pro komunikaci s ostatními zařízeními, která jsou součástí výrobní linky. Skrze komunikační rozhraní probíhá též přenos informací ovládacích a kontrolních prvků upínacích přípravků. Ten je řízen programem obráběcího stroje nebo externím programovatelným logickým automatem. Tento průmyslový počítač (*PLC*), na základě cyklicky prováděného programu a získaných informací z periférií, bude přes připojené silové zdroje ovládat výstupní členy přípravků, např. hydraulické silové upínací bloky.

1.1 Představení firmy Misan s.r.o.

Firma Misan s.r.o. se sídlem v Lysé nad Labem poskytuje komplexní řešení ve strojírenském průmyslu. Je specializována jak na soustružení, frézování a broušení, které patří mezi nejdůležitější třískové výrobní technologie ve strojírenství, tak i na aditivní technologie laserového spékání práškových kovů. Firma na českém trhu zastupuje výrobce japonských *CNC* obráběcích strojů Okuma, Brother a Okamoto. Dále se zabývá aditivní technologií spékání práškových kovů za pomoci laserového nebo elektronového paprsku ve spolupráci s firmami ConceptLaser a Arcam. Společnost Misan s.r.o. nabízí komplexní služby v oblasti instalace, školení, technické podpory a servisu zmíněných strojů včetně automatizace. Automatizované výrobní linky jsou řízeny programovatelnými logickými automaty a obsluhovány angulárními roboty japonských výrobců.

1.2 Cíle diplomové práce

Na základě zadaného tématu diplomové práce bylo stanoveno těchto sedm hlavních cílů:

- vypracování rešerše dílčích komponent a postupů při konstrukci upínacích přípravků,
- představení vybraných způsobů upínání realizovaných ve firmě Misan s.r.o.,
- výběr upínacího silového bloku dle vypočtené upínací síly závislé na kritické technologické síle,
- výběr strojů a komponent potřebných pro výrobu těles ventilů,
- návrh technických zařízení upínacích přípravků a zajištění jejich výroby,
- realizace přípravků, testování funkčnosti, hodnocení navrhovaného řešení z hlediska stability funkce,
- shrnutí a zhodnocení upínacích přípravků, návrh doporučení.

1.3 Stručný úvod k upínacím přípravkům

Obráběcí přípravky slouží k dosažení a zachování stabilní polohy dílce vůči řeznému nástroji během procesu obrábění.

Obráběcí přípravky jsou zařízení, která obvykle zabezpečují následující [1]:

- stabilní, spolehlivé, opakovatelné, jednoznačné ustavení a rychlé, pevné, tuhé upnutí dílce,
- podepření obrobku v místě jeho možné deformace vlivem působení technologických, gravitačních, odstředivých, nebo upínacích sil,
- možnost upnutí více obráběných dílců,
- rychlou výměnu nástroje upnutého v nástrojovém upínacím systému,
- vedení nástroje během obrábění dílce.

Hlavní cíle obráběcích prostředků jsou [1]:

- schopnost výroby,
- zvýšení kvality výroby,
- zabezpečení konstantní kvality výroby,
- zkrácení vedlejších časů,
- zvýšení produktivity výroby,
- usnadnění a zrychlení výroby,
- snížení počtu zmetků,
- snížení nákladů,
- snadná a rychlá změna na jiný obráběný dílec.

Mezi obráběcí přípravky zahrnujeme upínací přípravky. Upínací přípravky jsou přesná, tuhá zařízení, která precizně, rychle, snadno a opakovatelně upnou dílec obráběný ve výrobním procesu. Stabilní a rychlá fixace obráběného tělesa zabezpečí přesné obrábění s konstantní opakovatelností kvality a zvýšení produktivity výroby. Upínací přípravky jsou univerzální nebo speciální [2].

Upínací přípravky se dále dělí například dle nasazení do výroby na [3]:

- soustružnické,
- frézovací,
- brousicí,
- vrtací,
- svařovací,
- montážní,
- kontrolní.

Přípravky se mohou dělit dle zdroje upínací síly na [4]:

- ruční,
- pneumatické / hydraulické,
- elektromagnetické.

2 Teoretická část

Zpracovaná teoretická část diplomové práce je rešerší uvádějící do problematiky upínání obrobků ve frézovacích centrech. Věnuje se technologii třískového obrábění, především technologii vrtání, která je stěžejní pro výrobu těles ventilů. Představeny jsou zásady a postupy konstrukce přípravků a prvky, ze kterých se upínací soustava skládá. V poslední části práce jsou představeny způsoby upnutí dílce, realizované ve firmě Misan s.r.o., se zaměřením na automatizovanou výrobu.

2.1 Technologie obrábění

Z pohledu technologie obrábění je přířez z hliníkových slitin obroben do tvaru tělesa ventilu především čelním frézováním rovinných ploch, tvorbou děr vrtáním, frézováním drážky za závitem a řezáním závitů. Z pohledu dimenzování silového upínacího bloku bude mít největší vliv axiální síla vyvozená technologií vrtání. V následující rešerší je představena technologie frézování se zaměřením na frézování dutin a na způsoby a charakteristiky vrtání.

2.1.1 Frézování

Proces frézování je v dnešní době velmi univerzální metodou třískového obrábění téměř libovolného tvaru obrobku. Vývoj nástrojů zvýšil produktivitu, hospodárnost, spolehlivost a kvalitu obrábění. Frézování probíhá rotujícím vícebřitým nástrojem – frézou. Každý zub frézy odebírá určitě množství materiálu, který odchází ve formě třísek. Vzhledem k pohybu nástroje ve všech třech osách, často i více osách, je frézování efektivní a univerzální metodou. Dříve se frézování používalo k obrábění rovinných ploch, kdy byl pohyb realizován v posloupnosti přímočarých pohybů, dnes pětiosá obráběcí centra obrábí interpolací všech strojních os různé tvarové plochy [5].

Frézy obrábějí axiálním posuvem, tj. s posuvem ve směru osy frézy, provádí operaci vrtání. V tomto případě je obrábění vykonáváno břity na čele frézy. Tímto způsobem ponorného frézování jsme schopni obrábět válcové otvory, které dříve byly vrtány na vrtačce [6].

Frézování dutin

Frézování dutin v obrobku předpokládá schopnost frézy vrtat do určité hloubky a následně případně frézovat. Frézovací nástroj musí mít v případě vrtání do plného materiálu alespoň jeden břit na čele frézy o délce s přesahem přes osu frézy, aby tím byla zajištěna jeho schopnost vrtat. Právě tato vlastnost, kdy jeden nebo několik břitů dosahuje až k ose, odlišuje vrtací stopkové frézy od ostatních stopkových fréz. Dále existují frézy s omezenou schopností vrtání. S těmito frézami jsme schopni vrtat do určité hloubky, závislé na axiální vzdálenosti mezi čelním ostřím frézy a volným prostorem na tělese frézy. V případě, kdy potřebujeme vrtat do větší hloubky, je třeba po zavrtání se do hloubky rozfrézovat tuto vrstvu a následně po vytvoření rovného dna obrobku opět můžeme frézu zahloubit [6].

2.1.2 Vrtání

Proces vrtání se používá k obrábění válcových děr obrobku. Mezi základní vrtací operace patří [5]:

- vrtání (příloha 1, obrázek 30 A-A),
- vrtání na jádro (příloha 1, obrázek 30 B-B),
- zahlubování (příloha 1, obrázek 30 C-C),
- vyvrtávání.

Společnou vlastností těchto procesů je hlavní rotační pohyb nástroje a lineární axiální posuv. V případě vrtání na soustruhu je ale hlavní rotační pohyb obrobku ve vřetení stroje a lineární axiální posuv je vyvozen nástrojem upevněným v revolverové hlavě, frézovacím vřeteníku nebo pinole koníku. S použitím moderních nástrojů a výkonných obráběcích strojů se již díry vrtají v celém průřezu při jedné

operaci, bez nutnosti předvrtávání vodící díry či předobrobení středu díry. Vrtání do plna je nejběžnějším druhem vrtání, kdy se vrtá do plného materiálu v jediné operaci do určité hloubky. Proces zahlubování znamená zvětšení průměru díry již vyvrtané menším průměrem [5].

Při vysoce produktivním procesu vrtání musí mít třísky vznikající v zóně řezu žádaný a stálý tvar, kterým dosáhneme spolehlivého odvodu třísky z místa řezu. V případě delších hloubek obráběné díry je odvod třísky komplikovanější. Odvod třísek se s delší hloubkou vrtání zhoršuje, potřeba správného lámání třísky je zde podstatně větší než u soustružení nebo frézování. V případě nahromadění a špatného lámání třísek při vrtání způsobí tlačení třísek na již obrobenou plochu obrobku zhoršení kvality povrchu a následně napěchované třísky mohou způsobit nevyhnutelné zalomení vrtáku [6].

Hlavní faktory ovlivňující proces vrtání [5]:

- průměr díry,
- hloubka díry,
- materiál obrobku,
- produktivita a hospodárnost,
- kvalita obrobené díry,
- stabilita procesu.

Síla potřebná k vrtání závisí na specifické řezné síle charakterizující daný materiál obrobku [5].

Během procesu vrtání by měla být použita procesní kapalina nejen z důvodu chlazení nástroje, ale také pro zajištění lepšího odvodu třísek z místa řezu a mazání kontaktních ploch nástroje s obrobkem [6].

Právě tvorba třísek dobrého tvaru a rozměrů je v procesu vrtání hlavním požadavkem pro stabilní průběh procesu. Tuto podmínku můžeme považovat za splněnou, pokud je odvod třísek spolehlivý. Odvod třísek můžeme podpořit přiváděním procesní kapaliny skrz nástroj pod vysokým tlakem, čímž dochází k lepšímu vyplachování třísek v místě řezu. Tlak a množství procesní kapaliny závisí na průměru vrtáku a hloubce vrtané díry. V případě rotačních nástrojů musí být tlak přívodu kapaliny vyšší než u nerotujících nástrojů. Tento fakt je způsoben vlivem odstředivých sil. Pokud není již uvedená podmínka splněna, nástroj se tupí, povrch díry obrobku není kvalitní a může vést až k ucpání drážek vrtáku a jeho následnému zalomení. Zásadní vliv na utváření třísek požadovaného tvaru a odvod třísek z místa řezu má materiál obrobku, procesní kapalina, geometrie vrtáku a řezné podmínky. Pro lepší podmínky procesu vrtání se využívají cykly postupného vrtání, které jsou popsány v experimentální části této diplomové práce v kapitole 3.5 Ukázka NC programu pro obrábění nástrojem T8 [5].

Upínací kleština a stopka nástroje musí být v dobrém stavu, jinak hrozí nestabilita a nepřesnost vrtání. Dobrý stav je bez nečistot, otláčenin, vrypů a otřepů. Po upnutí nástroje do držáku je třeba zkontrolovat házení vrtáků, které nesmí překročit dovolenou mez [5].

Vrták s více průměry a zkosením – sdružený vrták

Vrtací nástroj je nástroj s jedním nebo několika břity umístěnými na čele, na těle vrtáku je jedna nebo několik šroubových drážek pro odvod třísek. Vrtací nástroje pracují za extrémních podmínek. Zmíněné vrtáky se dělí do dvou skupin, a to na přeastřitelné a osazené vyměnitelnými břitovými destičkami.

Sdruženým vrtákem obrobíme v jedné operaci otvor definovaných odstupňovaných průměrů, zkosení a zahloubení. Zmíněná metoda přispívá ke zvýšení produktivity obrábění, používá se v případě sériové a hromadné výroby. Řezné podmínky je potřeba přizpůsobit (většinou zmírnit) různým rychlostem na obvodě sdruženého vrtáku, skládajícího se z různých průměrů řezných ostří [5].

2.2 Řezné síly při obrábění

Během procesu obrábění polotovaru řezným nástrojem je třeba vynaložit značnou sílu pro oddělení třísky od obrobku. Velikost řezných sil se z historického hlediska moc nemění. Dnešní nástroje jsou mnohem kvalitnější a ostřejší, tudíž vyvozují menší řezné síly, zato vzhledem k poměru ceny nástroje a CNC stroje jsou na ně kladeny vyšší nároky a produktivita obrábění se znatelně zvýšila. Zvýšením objemu obrobeneho materiálu za jednotku času se dostáváme na obdobné řezné síly jako v 1. polovině 20. století [6].

Řezné síly je možno teoreticky spočítat za pomoci empirických vzorců nebo změřit siloměrem. Síly vznikají při oddělování materiálu ve formě třísky vlivem pronikání ostří do obrobku a také během tvorby pružně plastických deformací. Síly působící na břit jsou nejen tlakové, ale také smykové. Největší tlak působí přímo na ostří břitu a dále na čelo nástroje, které je kontaktní plochou mezi nástrojem a třískou. Tato geometrie plochy je nejdůležitější v případě optimalizace technologie obrábění. Optimalizace slouží ke kontrole utváření třísky a ke vhodnému působení řezných sil pro vyšší stabilitu břitu. Řezné síly také ovlivňuje materiál řezného nástroje, protože se během obrábění vlivem materiálu mění mikrogeometrie, a tím poměry v kontaktní zóně. Na řezné síly má také značný vliv přívod procesní kapaliny [7].

Řezné síly ovlivňují spotřebu energie během procesu obrábění a dle maximálních řezných sil je stanoven minimální výkon stroje. Vysoké řezné síly způsobují větší deformace obrobku a nástroje, což může mít za následek horší kvalitu povrchu obrobku a nižší životnost nástroje [7].

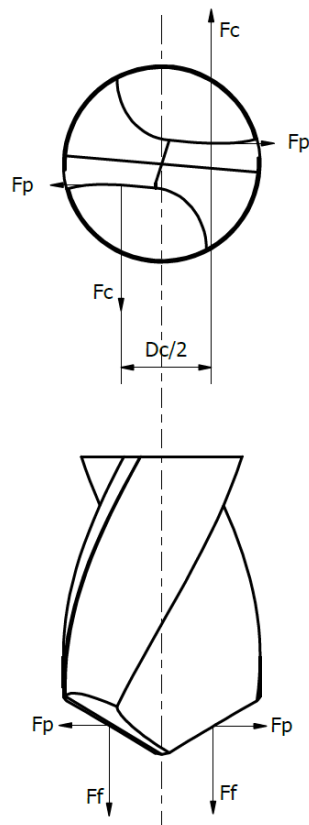
2.2.1 Složky řezné síly

Výslednou řeznou sílu můžeme rozdělit na tři jednotlivé síly (obrázek 1). (Formátování textu ve formě spodního indexu není ve výkresové části programu *Autodesk Inventor* podporováno. Z tohoto důvodu není v popisících doprovodných obrázců této diplomové práce dodrženo správné značení ve formě spodního indexu znaku.)

F_c – je řeznou složkou síly, která vzniká důsledkem kontaktu a tření mezi obrobkem a nástrojem. Průběh utváření třísky na čele nástroje má značný vliv na tangenciální – řeznou sílu. Velikost tangenciální síly lze ovlivnit tloušťkou odebíraného materiálu, řeznou rychlostí, mírou teploty v rovině stříhu, geometrií a materiálem nástroje a stavem materiálu obrobku. Kroutící moment, a tím i příkon obráběcího stroje, přímo ovlivňuje stanovení maximální tangenciální síly. Tangenciální síly dominují především v případě frézování a soustružení [6].

F_p – je radiální složka řezné síly a je kolmá k síle tangenciální. Tato pasivní síla je často nejmenší složkou řezné síly. Radiální složka je ovlivněna úhlem čela nástroje, kdy pozitivní úhel čela snižuje radiální sílu. V případě nestabilních podmínek během procesu obrábění vznikají vibrace, které znatelně ovlivňují nárůst pasivních sil. Odtlačování štíhlých obrobků radiální silou má vliv na přesnost rozměrů při obrábění. Radiální síla dominuje v případě obrábění vnitřních ploch obrobku [8].

F_f – je posuvovou složkou řezné síly. Směr síly je ve směru osy obrobku nebo nástroje. Síla posuvu má významný vliv při technologii vrtání a vyvrtávání. Řezivost geometrie vrtáku má významný vliv na velikost axiální řezné síly. Větším průměrem vrtáku se zvyšuje velikost axiální síly. V geometrii vrtáku má největší vliv na axiální a radiální složku síly úhel nastavení hlavního ostří κ_r a úhel čela nástroje γ . V případě technologie vrtání je tato složka významná a je závislá především na rychlosti posuvu, viz rovnice 1 [8].



Obrázek 1 – Řezné síly vrtáku

U frézy s tvarem šroubovice a šroubovitých vrtáků ovlivňuje úhel sklonu této šroubovice velikost axiální složky řezné síly. Tato axiální složka řezné síly je ovlivněna jak při frézování rovinném, tak při posuvu frézy pouze v axiálním směru [6].

Síla posuvu F_f má zásadní vliv na výkon procesu vrtání. Tato síla směřující v ose působí na vrták pronikající do obrobku. Během zařazení vrtání je třeba zkontrolovat nároky na výkon posuvového mechanismu obráběcího stroje a pevnost vřetena tak, aby bylo zabezpečeno produktivní obrábění [5].

$$F_f = k * \frac{(D_C - d)}{2} * f_n * k_c$$

Rovnice 1 – Posuvová síla F_f

d – původní otvor

Při teoretickém výpočtu posuvné síly je třeba zohlednit účinnost stroje a stav opotřebení břitu [5].

Posuvovou sílu lze také spočítat dle empirického vztahu. Tento vztah pro výpočet posuvové síly je ve tvaru, viz rovnice 2 [9].

$$F_f = C_{Ff} * D^{x_{Ff}} * f^{y_{Ff}}$$

Rovnice 2 – Posuvová síla empirickým vztahem

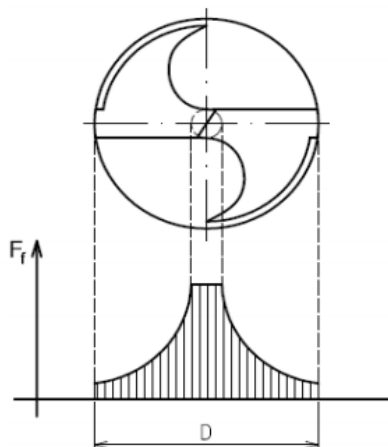
C_{Ff} Konstanta charakterizující výběr obráběného materiálu.

x_{Ff} Exponent, který upravuje vliv průměru vrtáku.

y_{Ff} Exponent, který upravuje vliv posuvu na otáčku.

Hodnoty konstant a exponentů jsou zjišťovány empiricky a lze je nalézt v tabulkách, odborné literatuře a katalogích výrobců nástrojů. Vliv řezných podmínek a geometrie nástroje není příliš zohledněn.

Jádro a příčné ostří vrtáku má značný vliv na velikost posuvové síly. Na obrázku 2 je schematicky znázorněno rozložení posuvové síly na průměru vrtáku a ukazuje se, že jádro zahrnuje okolo 60 % celkové posuvové síly. Poměr jádra ku průměru vrtáku bývá 1/5 [10].



Obrázek 2 – Rozložení posuvové síly vrtáku [10]

2.3 SNOP

Strojní výroba sestává z technologické soustavy: stroj, nástroj, obrobek, přípravek – nástrojový či obrobkový (příloha 1, obrázek 31) [2].

Uložení přípravku v obráběcím stroji v požadované poloze vůči nástroji musí být stabilní, spolehlivé a bezpečné, aby při obrábění tvořil přípravek s obrobkem jeden celek. Jak z důvodu zachycení působení sil na obrobek, tak z důvodu přesnosti výroby [2].

Upínací přípravek slouží k ustálení obrobku do takové polohy, aby byly možné všechny potřebné pohyby výrobního procesu a aby zabezpečil spolehlivé upnutí obrobku, které zabrání jeho posunutí. Důležitou vlastností upínacího přípravku v automatizované výrobě je opakovatelnost a rychlost upnutí obrobku. Význam upínacího přípravku spočívá ve snížení vedlejších časů, zvýšení produktivity, zvýšení přesnosti, opakovatelnosti a zjednodušení výrobního procesu. Z tohoto hlediska se zdá být použití upínacích přípravků v automatizované výrobě hospodárné, počítačem řízený obráběcí stroj je využit efektivněji. Zvýšit produktivitu lze i založením více dílců do upínacího přípravku. Často se upínacím přípravkem snižují nároky na kvalifikaci obsluhy a její fyzické i psychické dispozice [11].

Vedlejší časy se dále eliminují dvoupaletovým systémem otočného stolu, tzv. střídavým upínáním. Čas potřebný na upnutí obrobku se překrývá s časem hlavním, kdy se obrábí. To znamená, že na jedné straně palety se obrobek zaměňuje za polotovár a na straně druhé se obrábí [11].

2.4 Obráběcí přípravky

Obráběcí přípravky jsou řazeny mezi pasivní zařízení oproti nástrojům, které patří mezi nářadí aktivní. Přípravky slouží k dosažení a zachování polohy obrobku vůči nástroji během procesu obrábění. Pro zjednodušení výrobního procesu, dosažení produktivity výroby a požadované kvality obrobku slouží obráběcí přípravky. Zvýšení produktivity výroby lze také dosáhnout upnutím více dílců v jedné dávce. Výrobní prostředek je určen k jednoznačnému, stabilnímu upnutí dílce, případně k podepření dílce v místě působení technologických sil, nebo k vedení nástroje během obrábění [11].

Existují různé směry dělení přípravků [2]:

- Dle technologických operací na
 - o soustružnické,
 - o frézovací,
 - o vrtací,
 - o broušící.
- Dle silového zdroje upínací síly na
 - o ruční,
 - o pneumatické,
 - o hydraulické,
 - o elektromagnetické,
 - o vakuové.
- Dle rozsahu užití na
 - o univerzální,
 - o speciální,
 - o hybridní.

Mezi univerzální přípravky patří běžné vybavení stroje používané u menší sériovosti obrobků. K univerzálním upínacím přípravkům se řadí například: univerzální sklíčidla, dělicí přístroje, strojní svěrčky, lícní desky atd. Mezi univerzální upínací nářadí patří: nožové držáky, vrtací tyče, upínací a redukční pouzdra, soustružnické hroty a trny, unašeče, lunety. Dále sem patří normalizované prvky, mezi které jsou zahrnuty: šrouby, upínky, opěry, vrtací pouzdra a výstředníky [11].

Speciální operační přípravky jsou konstruovány pro určitý obrobek stálých rozměrů a v definované toleranci. Speciální obráběcí přípravky složené z normalizovaných i vyrobených prvků využíváme v případě větší sériovosti výroby [11].

Hybridní přípravky jsou na pomezí mezi univerzálními a speciálními [2].

2.4.1 Upínací přípravky

Smyslem upínání je zajištění polohy obrobku v přípravku a jeho tuhé fixování. Upínací soustava působí upínací silou, která eliminuje všechny vnější síly (technologické i tíhové), které by mohly způsobit změnu polohy obrobku. Upínací přípravek zabezpečí konstantní kvalitu, rozměrovou přesnost výrobku, vyšší produktivitu výroby, a to při zvýšení kvality [11].

Upínací síla je dimenzovaná v závislosti na míře bezpečnostního koeficientu pro zamezení pohybu dílce během technologických operací. Stanovení upínací síly probíhá na základě zjištění maximální technologické síly ve směru nejméně výhodného působení [12].

Upínač vyvozující sílu upnutí přitlačuje obrobek na ustavovací nebo opěrné prvky. Upínací síla vytváří napětí obráběného dílce a ve stykových plochách deformaci obrobku. Tato tuhost, poddajnost obrobku významně ovlivňuje dynamické vlastnosti soustavy obrobek – upínač. Tuhost soustavy ovlivňuje charakter a míru dynamických projevů – chvění. Míra možné plastické deformace závisí na požadované funkci ploch obráběného dílce. Vznik deformace způsobuje přemístění obrobku, a tím podporuje vznik jedné ze složek chyb upnutí. Tato chyba se pohybuje v řádu mikrometrů a způsobuje nepřesnosti polohy během technologické operace. Stykové deformace, které vznikají v uložení obrobku vlivem technologických i upínacích sil, vymezují vůle soustavy. Dále způsobují přechod mezi

možným bodovým stykem na styk plošný působením pružné deformace v místě kontaktu. Kontaktní deformace jsou značně složité vlivem nehomogenity materiálu obrobku [2].

V automatizované výrobě jsou upínací systémy rychločinné, zabezpečují rychlé upnutí a odepnutí obrobku.

Z hlediska upínání obrobku se nesmí opomenout, že hodnoty a směr řezné síly se mění. Přípravek na upnutí obrobku by měl být dostatečně stabilní, aby dokázal spolehlivě upnout polotovar [6].

Cíle upínacího přípravku [11]:

- spolehlivost,
- rychlost,
- přesnost,
- tuhost,
- bezpečnost,
- opakovatelnost.

Vlastnosti a požadavky na upínací přípravky [13]:

- upínací síla,
- hmotnost,
- rozměry,
- velikost zdvihu,
- konstrukční řešení přívodu energie,
- způsoby připevnění na nosný systém,
- sensorika,
- životnost,
- doba cyklu odepnutí a upnutí dílce,
- odolnost,
- přesnost a opakovatelnost,
- spolehlivost,
- nároky na údržbu.

Druhy upínací soustavy

Rozlišujeme dva druhy upnutí, které jsou závislé na převodu mezi ovládací silou vzniklou zdrojem a upínací silou na výstupu upínacích prvků [11].

Upínání tuhé [11]:

- klínové,
- vačkové,
- hřebenové,
- pákové,
- šroubové.

Upínání pružné [11]:

- pneumatické,
- hydraulické,
- hydroplastické,
- pružinové.

Dle ovládání upínací soustavy rozlišujeme [11]:

- upínání ruční,
- upínání automatické.

Upnutí tuhé je s časově nekonstantní upínací silou. Při mechanickém upnutí obrobku, kdy se nám během technologických operací upínací síla nemění, tudíž nepřizpůsobí, hrozí snížení upínacích sil vlivem deformace a otláčení stykových míst obrobku. V případě působení technologické síly proti směru upnutí se může obrobek odtlačit od opěrek a narušit tak původní ustavení obrobku. Tento fakt je třeba zohlednit v míře bezpečnostního koeficientu [2].

Upínací přípravky s konstantní upínací silou, které jsou nezávislé na deformaci obrobku, zajišťují aplikace hydraulické, pneumatické a pneuhydraulické. Zde lze zanedbat kontrolu tuhosti přípravku, která jinak významně ovlivňuje velikost upínací síly. Tuhost soustavy je schopnost odolávat deformacím vznikajícím z technologických sil [2].

Hydraulické upínání

Hydraulických pohonů využíváme tehdy, vyžadujeme-li upínací síly 10 – 100 kN [13].

V případě hydraulického upínání se pracuje za vysokých ovládacích tlaků (až 10 MPa) a s většími upínacími silami (až 100 kN). Upnutí obrobku je tužší vzhledem k téměř nestlačitelné tekutině, oproti upnutí za pomoci stlačeného vzduchu. Doba upnutí či odepnutí obrobku je zde delší. Řešení hydraulické soustavy upínání je ale dražší než upínání pneumatické. Také jsou v případě hydraulického upínání vyšší nároky na těsnost a montáž sestavy. V případě netěsnosti hydraulického upínače je třeba zabezpečit filtraci a odstranění hydraulického oleje. Tento druh upínání je nezávislý na obsluze, upínání je stabilní a stálé, upínací sílu lze snadno měnit nastavením ovládacího tlaku a tlak upínacích větví lze snadno kontrolovat senzory. Snadná změna síly upínání zaručí vhodné podmínky pro minimální deformace obrobku a jeho spolehlivé upnutí. Tento způsob upínání je hojně používán v sériové výrobě. Hydraulický válec (hydromotor) je hlavní částí mechanismu. Tyto aktivní prvky jsou jednočinné nebo dvojitě činné. Dále je zde vysokotlaké čerpadlo s pojistným (přepouštěcím) ventilem, automaticky a ručně ovládaný rozdělovač, zpětný ventil, filtr a akumulátor. Pokud je ovládací tlak, působící na určitý průměr válce pístnice, nedostatečný, používají se převodové mechanismy pro zvýšení výstupné síly. Zdroj tlakového média je často namontován individuálně ke stroji. Tímto řešením se liší oproti vzduchovému upínání, kde je zdroj většinou centrální, distribuce média probíhá při větších vzdálenostech, a tím vznikají větší ztráty [11].

Výhodou upínání prostřednictvím tlakového média oproti upnutí tuhému je také větší rychlost upnutí, odepnutí obrobku, tím se zkracují vedlejší pracovní časy. Rychlost upnutí a uvolnění závisí především na rychlosti působícího silového zdroje a převodu upínače. Upínací síla je konstantní od upnutí obrobku, během provádění technologických operací až do doby odepnutí obrobku. V případě odtlačení obrobku se upínací síla dostane opět na původní hodnotu. Je zde možná snadná regulace upínacích sil a snadné zařazení do automatizovaného provozu. Hydraulické tlakové soustavy zabezpečují značně vysoké upínací síly při kompaktním řešení [2].

Hydraulického agregátu se využívá pro vysoké upínací síly a tehdy, když mají řezné síly charakter rázu. Nevýhodou hydraulického upínání oproti vzduchovému je vyšší počáteční cena řešení [2].

2.5 Konstrukce přípravků – zásady a postupy

Při navrhování přípravků je hlavním cílem zajistit opakovatelné ustavení dílců a zabránit jejich uvolnění během působení vlivu technologických sil [2].

Z konstrukčního hlediska by před návrhem upínacího přípravku měl být znám výrobní výkres upínaného obrobku, výrobní postup a požadované množství vyrobených dílců za jednotku času. Po těchto znalostech je třeba provést analýzu polotovaru vstupujícího do operace, dále analýzu průběhu operace a výstupního výrobku. Z hlediska provádění operace je třeba se zaměřit na velikost a směr řezných sil vyplývajících z řezných podmínek, analýzu ploch, které budou obráběny, volbu nástrojů, kterými budeme obrábět a na to, jak bude zabezpečen spolehlivý odvod třísek. V této fázi je třeba znát operační prostory nástrojů, aby nekolidovaly s navrhovaným upínacím přípravkem. Je třeba návrhu ustavovacích ploch přípravku pro polohování obrobku, prvků opěrných a podpěrných v případě možné deformace obrobku způsobené řeznými nebo upínacími silami. Následně se určí upínací plochy obrobku a vyberou se (navrhnou) upínací prvky upínacího silového bloku. Silová dvojice upínacích prvků a polohovacích ploch by měla působit co nejbližší k působení technologických sil. Dle upínacích prvků se doplní přípravek o další komponenty – převod, zdroj, ovládání, senzorika. Z hlediska výsledku kvality výrobku je třeba se zaměřit na geometrické rozměry výrobku, jejich stanovenou toleranci a stav povrchu obrobků a přípravkem upnutých ploch. Pro obdobné série výrobků je výhodné navrhnout upínač, který zabezpečí upnutí geometricky a rozměrově podobných dílců bez přestavby upínacích prvků nebo se snadno přestavitelnými dobře vyměnitelnými díly. Přeseřízení je možné, pokud používáme co největší množství normalizovaných prvků, případně prvků, které vyrobíme a při nevyužití uložíme na sklad. Výměnné součásti přípravku musí být vyrobeny v přísné toleranci pro snadnou záměnu dílů [11].

Při komplexním návrhu hydraulických upínacích bloků do CNC strojů je třeba jednoduchosti konstrukce a výroby s respektováním požadavků automatizace výroby a technologie obrábění. Z hlediska procesu obrábění je nutno znát technologický postup, použité nástroje a jejich držáky a jiné faktory ovlivňující technologické prostory [13].

V úvahu také musíme vzít stav, kdy je poloha zdroje technologické síly nejméně příznivá. Tento stav nastává v největší vzdálenosti od zdroje upínací síly. Stanovená upínací síla zajistí bezpečné, stabilní a spolehlivé upnutí dílce a funkční schopnost silového bloku. Všechny tyto znalosti by nám měly pomoci při konstrukci komponent optimální hmotnosti, tvarů a rozměrů se zajištěním stabilní opakovatelnosti a přesnosti upínání [13].

Tehdy, když zjistíme velikost řezných sil, spočteme potřebné upínací síly a poté stanovíme sílu hydraulického zdroje pomocí vztahu mezi výstupní a ovládací silou, tzv. převodem. V tomto smyslu jsme schopni zkontrolovat a případně korigovat změnu zdroje nebo převodu pro dostatečné upnutí dílce [11].

Dále musíme brát v úvahu, že silový blok s upínacími prvky může být v kontaktu s dalšími periferiemi výrobní linky, například s úchopnou hlavicí robotu. Tato interakce bude návrh upínacích bloků také významně ovlivňovat. Nejde zde pouze o funkční vazbu upínače s obrobkem, ale i celkově o interakci silového bloku s okolím. Zakončení robotu s chapadlem je navrženo pro spolupráci s dalšími periferiemi robotického technologického pracoviště, ovlivňuje tudíž i upínací elementy silového bloku [13].

Z hlediska upínací síly jsou velmi důležité fyzikální, zejména mechanické vlastnosti upínaného materiálu. Jedná se především o křehkost, pružnost, charakteristiky závislé na teplotě, ale také magnetické vlastnosti obráběného materiálu. Výsledek výpočtu upínací síly je závislý na třecích

poměrech, které se odvíjí od povrchových vlastností obrobku a upínacích prvků. Do povrchových vlastností zahrnujeme druh materiálu, jakost povrchu a jeho provozní stav. V provozním stavu povrchu rozlišujeme, zda je povrch suchý či znečištěný (mastný). Snížení tření také způsobují znehodnocující faktory jako je přítomnost rzi, třísek nebo brusiv [13].

Hmotnost obrobku musíme brát v úvahu tehdy, když je upínací soustava s obrobkem v otočném nebo sklopném přípravku, při rotujícím nevyváženém obrobku a u obrobků vystavovaných náhlým změnám rychlosti [2].

U upínacích obráběcích přípravků je třeba řešit spolehlivý odvod třísek, procesní kapaliny a možnost čištění přípravku od třísek a nečistot ofukem. Je také třeba analyzovat opotřebení funkčních prvků přípravku, plochy vystavené otěru je třeba kalit, cementovat nebo nitridovat. Prvky, které jsou během technologického procesu vystavené opotřebení, musí být navrženy tak, aby bylo snadné je v případě výskytu opotřebení vyměnit za nové [11].

V případě obrobku kruhového profilu je vhodné volit upínací systémy zabezpečující vycentrování obrobku. Tuto funkci mají sklíčidla, kleštinové upínače a upínací prvky tvaru prizmatu.

V neposlední řadě je třeba se zamyslet nad druhy, počty a umístěním ovládacích prvků. Ovládací prvky mají být dobře dostupné a jejich počet by měl být co nejmenší, aby obsluha nebyla jejich existencí příliš zahlcena [2].

2.6 Prvky upínací soustavy

V této kapitole jsou představeny jednotlivé prvky přípravku pro upnutí obrobku, které mohou být použity pro realizaci upnutí dílce.

2.6.1 Struktura upínacího přípravku pro obrábění [14]:

- silový zdroj, např. hydraulický pohon,
- nosný systém – těleso, rám,
- výstupní člen, např. hydraulický silový upínací blok,
- převod,
- upínací prvky,
- polohovací prvky – ustavovací a opěrné prvky,
- prvky upnutí a ustavení přípravku,
- ovládací prvky,
- speciální a kontrolní prvky,
- rozvod energie,
- obrobek.

2.6.2 Polohování obrobku v upínacím přípravku

Těleso má v prostoru šest stupňů volnosti, upnutím v přípravku odebereme všechny stupně volnosti, obrobek je stabilně ustaven a upnut v poloze neměnné vůči stroji v požadované přesnosti. Rovina je určena třemi body neležícími na jedné přímce. Polohovací plochy obrobku vytváří kontakt s polohovacími prvky přípravku. Polohování obrobku je stav, kdy je obrobek v žádané zvolené poloze a je vnějšími vlivy přinucen v tomto stavu zůstat. Mezi polohovací prvky patří prvky ustavovací a opěrné. Ustavovací prvky vymezují obrobek ve směru jeho důležité polohovací plochy pro následnou přesnost obrábění [2].

Návrh rozmístění upínacích, ustavovacích a opěrných prvků s poměry tuhosti soustavy musí reflektovat dovolenou hranici pružných deformací soustavy. Pro málo tuhé obrobky je vhodné zvýšit počet nebo velikost plochy opěrných prvků, podpěrných prvků a zdrojů upínacích sil. Pro případy upínání plošným tlakem se využívá pouzdrové a kleštinové upínání [2].

2.6.3 Ustavovací prvky

Obrobky jsou pokládány na ustavovací plochu přípravku obráběcího stroje. Teoretický styk plochy obrobku s ustavovacími prvky může být tříbodový. Tato část přípravku vytváří pevnou ustavovací plochu pro obrobek. Souvislé opěrné plochy se nevyužívá vzhledem k nejednoznačnosti upnutí neobrobeného povrchu, který může být zdrojem značných geometrických odchylek. Dalším zdrojem chyb při plošném styku bývají nečistoty. Velikost plochy musí být taková, aby nedošlo k poškození ložné plochy obrobku otláčením vlivem gravitačních, upínacích a především technologických sil. Z hlediska stability jsou ložné prvky v co největší vzdálenosti od sebe s přihlédnutím na tuhost obrobku. Hlavní technologické složky sil by měly působit proti ustavovacím prvkům nebo pevným opěrným prvkům [2].

Po ustavení přípravku na stůl obráběcího stroje se poloha upínacího přípravku vůči stroji nemění, poloha jednotlivých upínaných obrobků se však mění. Tato diference polohy dílce se promítá do chyb ustavení obrobku, způsobuje chyby rozměru dílce. Obráběný rozměr si lze představit jako imaginární úsečku s počátečním bodem v základně obrobku, která je doražena na ustavovací plochy přípravku, a konečným bodem sestrojeným pozicí nástroje [11].

2.6.4 Opěrné prvky

Opěrné prvky se používají především tehdy, pokud ustavovacími prvky nebyly obrobku odebrány všechny stupně volnosti. Tímto zlepšením upínacího mechanismu jsme schopni lépe zachycovat řezné síly působící rovnoběžně s ustavovací rovinou. Velmi často se opěrné prvky konstrukčně řeší stejně (se stejnou přesností) jako ustavovací prvky, a proto se tyto pojmy často zaměňují [14].

2.6.5 Podpěrné prvky

Podpěrné prvky neslouží jako prvek polohovací, ale pouze jako element pro zamezení deformace obrobku, na který působí vnější síly. Vnější síly jsou vyvozeny silami tíhovými, technologickými a upínacími. Podpěrné prvky obrobku neodebírají dílci žádné stupně volnosti [11].

2.6.6 Těleso přípravku

Všechny navržené prvky se spojí v jeden celek tělesem, které definuje jejich vzájemnou požadovanou polohu. Toto těleso, které je základní částí přípravku, slouží pro zabezpečení prvků v jeden celek, který je stabilně a jednoznačně ustaven na stroj vůči nástroji. Hlavním požadavkem na těleso je tuhost, a to z důvodu tuhého upnutí a následného dosažení stanovené přesnosti obrábění. Tvarově by těleso přípravku mělo být jednoduché a výrobně proveditelné, výhodou je i nižší hmotnost. Těchto vlastností docílíme správnou volbou materiálu a správně navrženým tvarem tělesa přípravku [14].

2.6.7 Ustavovací a upínací prvky tělesa přípravku

Stůl na frézovacím centru má obvykle 3 T-drážky ve směru strojní osy X, z nichž střední lze využít k ustavení za pomoci ustavovací vložky – kamene. Upínací přípravek je ve strojní ose Y kamenem ustaven pomocí drážky 12H8 pro pero. Přípravek je ustavený kameny přišroubovanými k tělesu přípravku, které zapadají do drážek stolu obráběcího stroje. K upnutí přípravku je použito 4 matic do T-drážky.

2.6.8 Upínací silový blok

Upínací silový blok, jinak řečeno svěrák, vytváří stabilní a spolehlivý kontakt mezi obrobkem a upínacími prvky (čelistmi) silovým stykem. Upínací, normálová síla je vyvozena mechanickým způsobem a je základním konstrukčním parametrem upínacích bloků. Velikost zdvihu posuvných výstupních členů patří k základním rozměrovým parametrům. S větším zdvihem dosáhneme většího prostoru pro založení dílce, ale zároveň se zvyšuje doba otevření a sevření upínacího bloku. Tento druh upnutí obrobku se řadí mezi aktivní způsob vyvození upínací síly [13].

2.6.9 Upínací prvky

Čelisti vyvozují pomocí výstupního členu, upínacího silového bloku, bezprostřední kontakt s obrobkem. Mechanickým kontaktem upínacích prvků s povrchem obrobku dojde k znehybnění obrobku a jeho tuhému fixování. Vhodným konstrukčním řešením upínacích prvků je zabezpečeno stabilní uchopení a držení obrobku během celého procesu obrábění.

Je třeba stanovení ploch obrobku, za které obrobek budeme moci bezpečně upínat tak, aby se nedoformoval. Bezpečné upnutí obrobku nesmí bránit nástrojům při obrábění. Řezné síly a síly upnutí by měly nejčastěji působit do pevných ustavovacích a opěrných prvků [2].

Čelisti často navrhujeme jako výměnné pro další typy podobných dílců. V tomto případě je vzhledem k zaměnitelnosti zásadní požadavek na návrh správného uložení upínacího prvku a následné výroby ve stanovených tolerancích. Tento předpoklad zajistí jednoznačné spojení upínacího prvku s výstupním členem i po výměně čelistí. Výměnné čelisti také využijeme v případě nutnosti záměny způsobené opotřebením, pokud je povrch čelistí náchylný na otěr vlivem upínání obrobku nebo odlétajících třísek při technologii obrábění. Upínací prvky je třeba montovat velmi přesně do správné polohy pomocí ustavovacích prvků. Špatná montáž může být zdrojem chyb fixace obrobku. Tyto chyby mohou způsobit uchycení obrobku nedostatečnou silou, směr a zdroj upínací síly může být odlišný a také může být obrobek odtlačován od původně navržené pozice [13].

2.7 Bezpečnost uchopení

Během konstrukce upínacího přípravku se musí brát v potaz mnoho faktorů s cílem návrhu bezpečného řešení. Krom běžného používání přípravku musí návrh zohlednit i možný výskyt nouzových stavů.

2.7.1 Bezpečnost z hlediska vyvození upínací síly silovým blokem

Během návrhu a výběru upínacího bloku je třeba stanovit kvalifikovaný odhad velikosti všech sil, které působí na obráběné těleso určitou velikostí a v určitém směru. Výsledná upínací síla je stanovena dle zákona o skládání sil. Po výpočtu kritické vnější síly je třeba volby vhodného bezpečnostního koeficientu pro bezpečný provoz upínacího bloku během obrábění dílce a pro celkovou funkční spolehlivost. Výše koeficientu bezpečnosti je také ovlivněna důležitostí prvku z globálního hlediska pro případ celého výrobního procesu [1].

2.7.2 Provozní bezpečnost z hlediska výpadku zdroje energie

V tomto případě je vhodná aplikace speciálních ventilů, hydraulických zámků, které jsou pro řešení nouzové situace používány. Při aplikaci hydraulických zámků a výpadku zdroje energie se aktuální poloha upínacích čelistí nemění – průtok se uzavře do té doby, než je přiveden pilotní (ovládací) tlak pro odblokování zámků. Dnes je z bezpečnostního hlediska použití hydraulických zámků již standardem. V případě výpadku zdroje energie dojde k uzavření průtoku hydraulické kapaliny [13].

2.8 Životnost výstupních členů

Životnost upínacích bloků závisí na stanovené míře bezpečnosti. Tato navržená rezerva mezi běžnou maximální vnější silou a zvolenou upínací silou upínacích bloků velmi ovlivňuje jejich životnost. Při návrhu upínacích prvků jsme schopni, především při stanovení jejich délky vyložení vzhledem k působení otáčivého účinku síly, ovlivnit životnost upínacích bloků. Životnost je v neposlední řadě ovlivněna charakteristikami upínacích bloků, mezi které patří druh pohybu, druh transformačního bloku, způsob uložení a druh těsnění s mazáním pohyblivých částí [13].

Mezi provozní faktory, které ovlivňují životnost upínacích bloků, patří pracovní prostředí, tedy teplota, prašnost a druh procesní kapaliny. Životnost dále ovlivňují pracovní podmínky, na které má vliv počet pracovních cyklů a kvalita údržby vzhledem ke stanoveným nárokům [13].

2.8.1 Nároky na údržbu

Dnešní upínací bloky od renomovaných výrobců mají velké intervaly servisních zákroků pro údržbu. Je to z důvodu automatizované výroby v nepřetržitých provozech. Vzhledem k velkým intervalům je třeba kvalitních těsnicích prvků a stabilních materiálů, které si udržují stejné vlastnosti během provozu [13].

2.9 Schéma principu způsobu upnutí

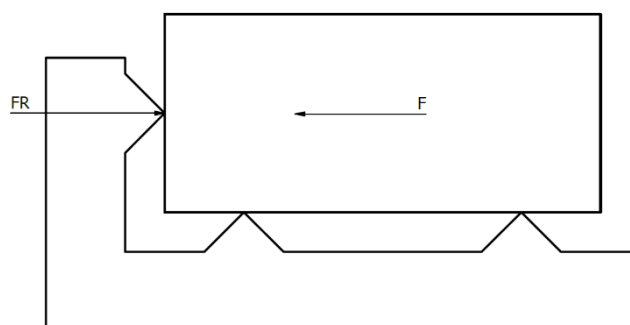
Zavedení upínacích sil působících proti polohovacím prvkům vytváří silovou vazbu polohovaného obrobku s upínacím přípravkem, dochází k upnutí obrobku.

Velikost maximální řezné síly závisí na způsobu obrábění, materiálu obrobku, tvaru a průřezu třísky. Výsledná síla působící na obrobek je dána vektorovým součtem všech dílčích sil, které na něj působí při obrábění za nejméně příznivých podmínek [2].

Z hlediska vztahu technologické síly F , upínací síly Q a reakce v opěrných pevných bodech F_R existují tři způsoby upnutí.

2.9.1 Směr vnější síly působí proti opěrkám

V prvním způsobu vnější technologická síla působí ve směru pevných opěrek (obrázek 3). Technologické síly přitlačují obrobek k pevným opěrkám a po ustálení dílce a deformací vznikne reakce v opěrkách o velikosti vnější technologické síly ($F_R = F$). Reakce v opěrkách závisí na míře technologické síly, tudíž při jejím zániku zaniká i reakční síla v opěrkách [2].



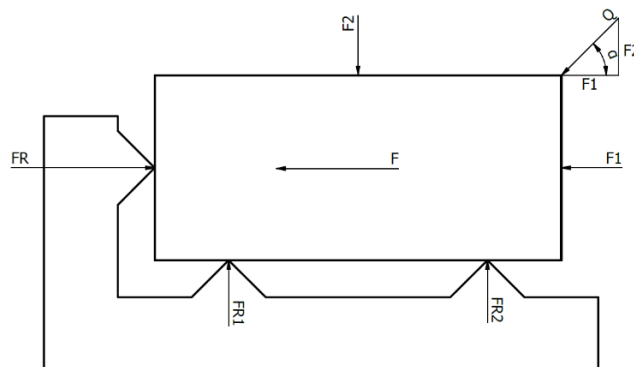
Obrázek 3 – Schéma upnutí 1A

Vzhledem k nestabilitě řezného procesu, kdy mají technologické síly dynamický charakter, je třeba pomocné upínací síly F_1 , která přitlačuje obrobek k opěrkám (obrázek 4). Tato síla nezávisí na velikosti zdroje vnější síly, ale na vyvození vhodné míry deformace dílce a opěrky. Reakce síly v opěrkách má hodnotu v případě upnutí $F_R = F_1$ a v případě působení technologických sil se reakce v opěrkách skládá ze síly technologické a pomocné ($F_R = F_1 + F$). Za nepříznivého rozmístění opěrek a vnější síly vznikají

klopné momenty, které mohou dílec oddalovat od opěrek. Z tohoto důvodu je vhodné zavedení pomocné síly upnutí F_2 , která zamezí vzniku klopných momentů a vytváří stykové deformace na dalších opěrkách. V závislosti na poměru velikosti a směru sil F_1 a F_2 jsme schopni stanovit výslednou sílu upnutí Q působící pod úhlem α , viz rovnice 3 [2].

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_2}{F_1}$$

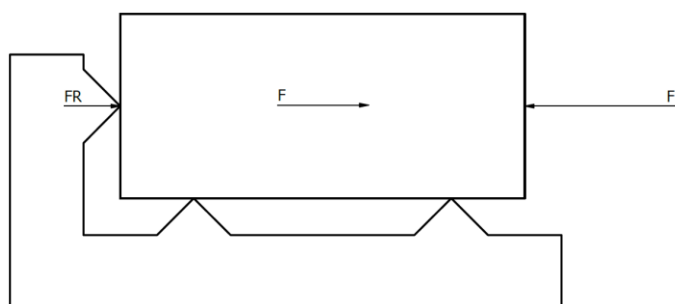
Rovnice 3 – Úhel výsledné síly prvního upnutí



Obrázek 4 – Schéma upnutí 1B

2.9.2 Vnější síla působí proti směru upínací síly

Ve druhém případě směřuje technologická síla ve směru od opěrek (obrázek 5). V tomto případě je třeba zanést upínací síla F_1 působící proti směru technologické síly F [2].



Obrázek 5 – Schéma upnutí 2A

Tato síla je stanovena s ohledem na koeficient bezpečnosti dle rovnice 4.

$$F_1 = k * F$$

Rovnice 4 – Upínací síla druhého upnutí

Reakce v opěrkách je závislá na velikosti síly upnutí F_1 a velikosti působení technologické síly F , viz rovnice 5.

$$F_r = F_1 - F$$

Rovnice 5 – Reakce v opěrkách druhého upnutí

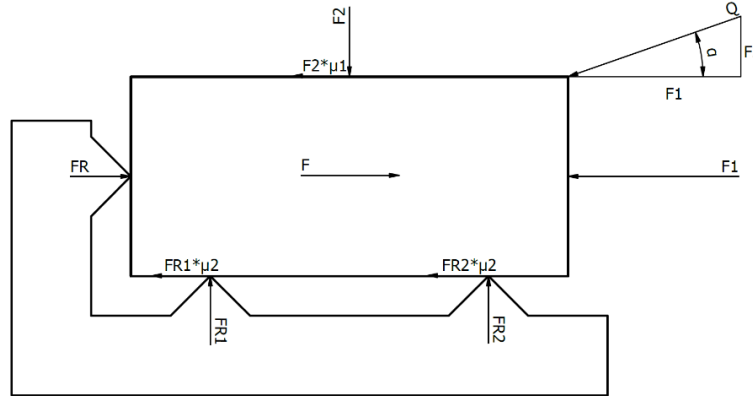
Opět je zde možný výskyt klopných momentů způsobující nevhodné odtlačení dílce od opěrek. Snížení klopných momentů jsme schopni dosáhnout zvolením pomocné upínací síly F_2 , která zabezpečí stykové deformace na dalších opěrkách (obrázek 6). Navíc nám použití této pomocné síly vytváří reakce v opěrkách $FR1$ a $FR2$ působící proti technologické síle F třením, viz rovnice 6 a 7 [2].

$$F_2 = F_{R1} + F_{R2}$$

Rovnice 6 – Pomocná upínací síla druhého upnutí

$$k * F = F_1 + F_2(\mu_1 + \mu_2)$$

Rovnice 7 – Působící síly druhého upnutí



Obrázek 6 – Schéma upnutí 2B

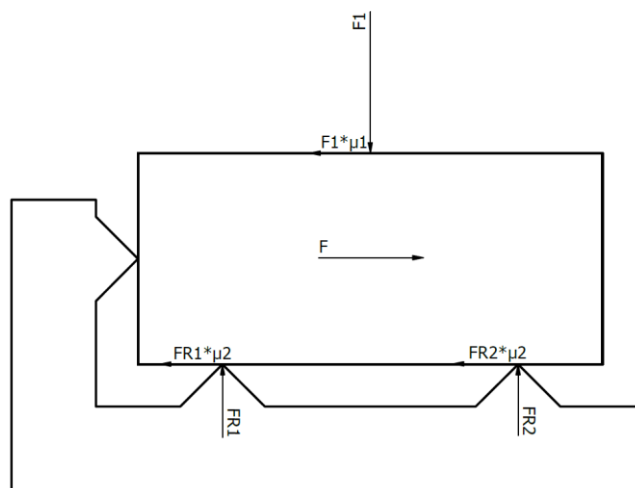
Upínací síla F_1 a pomocná upínací síla F_2 může být složkou jedné upínací síly Q působící pod úhlem α , viz rovnice 8 [2].

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_2}{F_1}$$

Rovnice 8 – Úhel výsledné síly druhého upnutí

2.9.3 Vnější síla, kolmá na směr upínací síly

Ve třetím případě nám technologická síla působí ve směru od pevných opěrek a upínací síla F_1 působí kolmo na technologickou sílu F , viz rovnice 9 (obrázek 7). V případě tohoto schématu upnutí upínací síla F_1 přitlačuje obrobek na opěrky v rovině rovnoběžné se směrem technologické síly, a tím vyvozuje směr třecí síly proti působení technologické síly, viz rovnice 10 [2].



Obrázek 7 – Schéma upnutí 3A

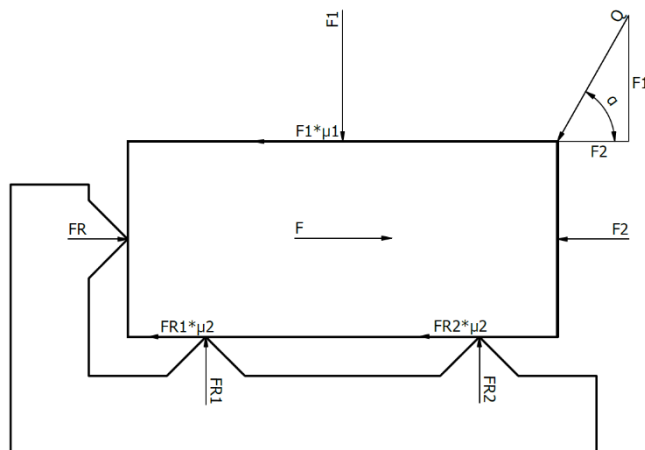
$$F_1 = F_{R1} + F_{R2}$$

Rovnice 9 – Reakce v opěrkách třetího upnutí

$$k * F = F_1(\mu_1 + \mu_2)$$

Rovnice 10 – Působící síly třetího upnutí

Opět je vhodné pro vytvoření dobrých stykových deformací v opěrkách zvolení pomocné síly F_2 působící proti opěrkám (obrázek 8). Složka jediné upínací síly Q složena z upínací síly F_1 a pomocné síly F_2 působící ve směru pod úhlem α , viz rovnice 11 [2].



Obrázek 8 – Schéma upnutí 3B

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_1}{F_2}$$

Rovnice 11 – Úhel výsledné síly třetího upnutí

Pro tato tři schémata upnutí jsou dále uvedeny hodnoty potřebné upínací síly F_1 v případě bezpečnostního koeficientu $k = 3$ a hodnot tření $\mu_1 = \mu_2 = \mu = 0,2$ [2]:

- 1) $F_1 = 0$
- 2) $F_1 = 2 F$
- 3) $F_1 = 7,5 F$

Vzorci třech základních druhů upnutí byly odvozené za předpokladu, že upínací síla je po dobu času konstantní, nedochází k otláčení stykových ploch obrobku, a tím ke snížení upínacích sil při tuhém mechanickém upnutí obrobku. V případě nedodržení těchto podmínek je řešení idealizovaného výpočtu upínací síly značně složitější. Řešením může být volba vyššího koeficientu bezpečnosti [2].

Obrodek je ustaven a zabezpečen proti posunutí, často vlivem tření. Na velikost třecí síly má významný vliv normálová, upínací síla a koeficient tření, který je závislý především na [2]:

- materiálu obrobku a upínacího prvku,
- prostředí, např. procesní kapalině,
- konstrukční úpravě povrchu kontaktních ploch, např. hladké plochy, rýhování, rez,
- drsnosti povrchu stykových ploch,
- tvaru ložné plochy obrobku.

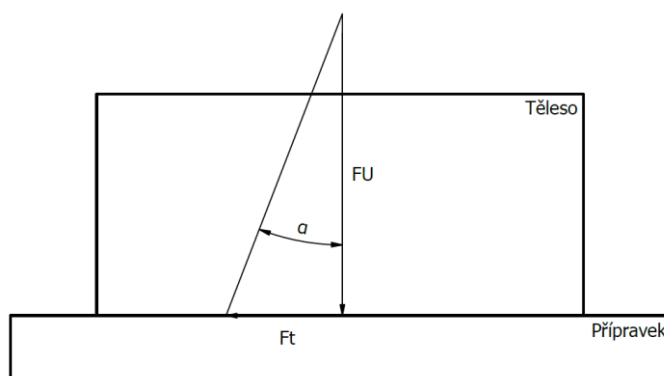
Upínací síly by měly být co největší z hlediska tuhosti upnutí. Velikost upínací síly je omezena dovolenou pružnou deformací dílce a případným otláčením povrchu obrobku, který je v interakci s upínacími čelistmi a ustavovacími opěrnými prvky přípravku. Překročením pružných deformací vznikají deformace plastického charakteru, kterých využíváme v případě působení velkých

technologických sil při hrubovacích operacích. Plastická deformace obrobku, způsobená tvrdými kalenými hrubovacími čelistmi s vroubkou, zvýší tuhost upnutí. Tento způsob upnutí vede k otlacení obrobku, používá se u upnutí neopracovaných ploch. Velikost kontaktních ploch, mezi kterými dochází k tření, působí na koeficient tření jen minimálně [2].

Z obrázku 9 je možno určit třecí sílu F_t . Těleso je upnuto silou F_U , která jako normálová síla vyvozuje síly třecí F_t . Pokud budou působit vnější technologické síly větší silou, než je třecí síla vyvozená silou upínací, uvede se těleso do pohybu. Z obrázku 9 vyplývá vztah rovnice 12 [2].

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_t}{F_U}$$

Rovnice 12 – Vyjádření úhlu tření α



Obrázek 9 – Koeficient tření

Z pozorování experimentů třecích sil je stanoven pro danou interakci povrchu materiálů a vlivu prostředí poměr síly F_U a F_t . To má za následek v dané kombinaci materiálu povrchu právě třecí úhel α , který je dále nazván jako koeficient tření, viz rovnice 13. Tento úhel, případně koeficient tření, vyjadřující poměry normálové síly a síly tření, je konstantní [2].

$$\mu = \operatorname{tg}(\alpha)$$

Rovnice 13 – Úhel α jako koeficient tření

Spojením rovnic dostáváme rovnici 14.

$$F_t = \mu * F_U$$

Rovnice 14 – Síla tření

2.10 Přehled způsobů upínání realizovaných ve firmě Misan s.r.o.

Ve firmě Misan s.r.o. se využívá pravděpodobně všech způsobů upnutí nástroje i obrobku. V následujícím textu si vyjmenujeme základní univerzální způsoby upnutí. V dalších kapitolách budou představeny dva speciální upínací přípravky navržené a vyrobené ve firmě Misan s.r.o. Zmíněná firma realizuje desítky upínacích přípravků ročně, představené upínací přípravky byly vybrány z důvodu jejich nasazení v hromadné výrobě.

2.10.1 Upnutí nástrojů

V případě upnutí nástroje je vždy třeba vybrat způsob upnutí, aby vyhověl následujícím požadavkům:

- jednoduchosti upnutí,
- rychlosti výměny nástroje,
- opakovatelnosti výměny nástroje,
- tuhosti upnutí,
- dostatečnému přenosu kroutícího momentu.

V případě upnutí vrtáku na stojanové vrtačce se upne vrták s Morse kuželem přímo do dutiny vřetene. V případě kužele jiných rozměrů se využívají normalizované redukční vložky pro zabezpečení upnutí nástroje. V případě válcové stopky nástroje se užívá samostředícího sklíčidla. Tento způsob tříčelistového upnutí vrtáku je v provedení rychloupínacím nebo zubovým.

Při upnutí vrtáku na soustruhu je využito kleštinového upínání pro jejich přesnost upnutí a možnost přívodu procesní kapaliny středem nástroje. Soustružnické nože jsou upnuty v držáku nože. V případě CNC soustruhu s frézovacím vřeteníkem jsou rozšířené upínací systémy typu *ISO*, *HSK*, *BT*, *Capto*. Tyto typy upínacích systému jsou používány v různých velikostech – 30, 40, 50, v případě *HSK* 63, 100. *HSK* systém je preferován z důvodu tužšího upnutí. Vyjmenované způsoby jsou též použity v případě frézovacích center.

Nástroj je výjimečně součástí zmíněného upínacího systému. Tak je tomu u fréz při hlubokém bočním frézování, tzv. kukuřic. Často je pro upnutí válcových stopkových nástrojů využito systému weldon nebo whistle notch. Nevýhodou tohoto upnutí může být vyosení nástroje způsobené upínacím šroubem držáku. Držák s průměrem pouzdra je určen pouze na nástroj o stejném průměru stopky, následně je možné dotáhnout nástroje tímto systémem. Pro svoji jednoduchost a vyšší univerzálnost z hlediska sevření průměru nástroje je použito také kleštin typu *ER*. Kleština umožňuje upnutí stopky nástroje často v rozmezí průměru jednoho milimetru. Pro přesné upnutí nástrojů, například výstružníků, je využito hydraulických upínačů. Při utahování upínacího šroubu působícího na hydraulický píst upínače se zvyšuje tlak kapaliny a rozpínáním upínacího pouzdra dojde k upnutí nástroje. Tepelných upínačů upínajících se na principu tepelné roztažnosti materiálu firma Misan s.r.o. nevyužívá. Výhodou smršťovacího upínání je vysoká upínací síla a přesnost upnutí ve velmi kompaktním provedení držáku. Nevýhodou je potřeba elektrického nebo indukčního ohřevu držáku.

2.10.2 Upnutí obrobků

Pro upnutí obráběného dílce je třeba zaměřit se na následující požadavky:

- tuhost a pevnost upnutí,
- opakovatelnost upnutí vůči nástroji,
- rychlost a jednoduchost upnutí,
- polohu upínacích a ustavovacích prvků přípravku vzhledem k obráběnému dílci.

V případě nejjednoduššího způsobu upnutí na stojanové vrtačce je použito ručních svěrek nebo strojního svěráku. Na pásové pile je využito upnutí za pomoci rychloupínacího svěráku. Pro upnutí dílce kruhového tvaru je užito univerzálního tříčelistového sklíčidla, které lze nasadit na vrtačku, soustruh či frézku. V případě nutnosti přesného upnutí dílce kruhového profilu je využito kleštiny. Na frézkách je užito pro upnutí menších až středních dílců strojního svěráku. Upnutí je možné mechanicky pomocí samosvorného šroubu nebo hydraulicky za pomoci přivedeného tlaku z hydraulického agregátu. Na upnutí obrobku větších rozměrů je užito upínek. V případě frézovacího centra nebo brusky na broušení rovinných ploch je pro upnutí feromagnetického dílce o velké stykové upínací ploše využito magnetického stolu. Při broušení rotačního povrchu je obrobek upnut mezi hroty nebo letmo ve sklíčidle.

V následujících kapitolách jsou představeny dva speciální upínací přípravky použité ve výrobě hromadného typu. Uvedené rozměry součástí jsou pouze orientačního charakteru, nejsou skutečné.

2.10.3 Upínací přípravek tělesa brzdy v případě automatizované výroby

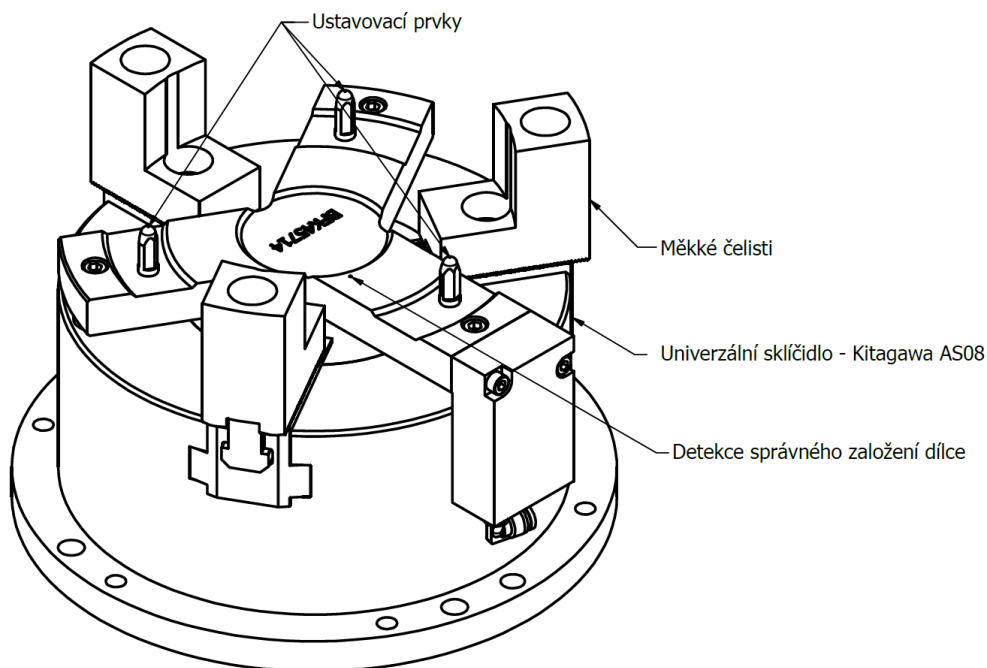
Jeden z mnoha způsobů realizovaných ve firmě Misan s.r.o. je upínání obrobku tělesa elektromagnetické brzdy ve frézovacím centru Brother R450 X1. Dílec vyobrazený v příloze 1, na obrázku 32 je z polotovaru tvaru kulatiny. Těleso brzdy je vyrobeno na robotickém technologickém pracovišti, které je složeno z CNC soustruhu Okuma LT3000EX 2T2MY, frézovacího centra Brother R450 X1, mycího zařízení a výstupní kontroly. Toto výrobní, mycí a kontrolní zařízení je obsluhováno pomocí robotu.

Polotovar je zprvu obroben na CNC soustruhu značky Okuma. Tento soustruh je vybaven dvěma plnohodnotnými vřeteny a dvěma revolverovými hlavami, přejezdy hlav jsou možné k oběma vřetenům. Revolverové hlavy, s šestnácti místy na nástroje, jsou vybaveny možností pohybu v ose Y, také lze nasadit poháněné nástroje. C osa je určena pro polohování a aretaci vřetene, dále je díky synchronnímu řízení vřeten možnost přeuchopení dílce během rotace vřeten. Tato specifikace stroje je nutná pro obrobení dílce brzdy. Kulatina je upnuta do univerzálního sklíčidla s hrubovacími čelistmi, dále je vyvrtána vnitřní díra, obrobena čelo dílce a vnější průměr. Trepanační vrták je použit pro tvorbu drážky. Při upnutí dílce do druhého sklíčidla s měkkými čelistmi jsou na dílci vyvrtány otvory se zahloubením, za které budeme následně dílec polohovat pro další operace. Po obrobení rotačních ploch a tří otvorů se zahloubením je dílec transportován do obráběcího centra Brother R450 X1.

Tento obráběcí stroj je vybaven paletovým systémem otočného stolu pro možnost zakládání polotovaru ze přední strany prostoru obsluhy. Na straně druhé probíhá obrábění dílce. Tímto způsobem se čas potřebný pro výměnu obrobku za polotovar překrývá s časem hlavním, kdy se obrábí. Na obrobku je provedeno rozšíření drážky a následně jsou provedeny vrtací operace děr a zahloubení. Obrobení dílce by mohlo být realizováno pouze na CNC soustruhu, ale z důvodu vyšší produktivity výrobní linky jsou vrtací operace prováděny na obráběcím centru.

Na obou stranách palety se nachází upínací sestava, skládající se ze dvou univerzálních sklíčidel pro uchopení rotační součásti. Univerzální sklíčidlo je vyrobeno japonskou společností Kitagawa a jedná se o typ AS08 (obrázek 10). Tento druh stacionárního sklíčidla je ovládán pneumaticky. Při působení tlaku vzduchu 0,7 MPa činí upínací síla 33 kN. Sklíčidlo je osazeno třemi měkkými čelistmi pro vnější upnutí dílce. Polohování dílce je zabezpečeno ustavovacími prvky ve formě tří trnů tvaru odlehčeného válce. Každý trn vymezuje polohu vyrobeného zahloubení pomocí dotyku nejširších ploch trnů ve formě dvou přímk. Správné nasazení dílce na trny a dosednutí dílce na vodorovné ustavovací plochy je kontrolováno vzduchovou detekcí propojenou s otvorem základny pro kontrolu správného založení dílce. Automatickou výrobní linku je možno přestavit na dílec obdobného geometrického tvaru, ale jiné

velikosti. Možnost přeseřízení výrobní linky, a tedy i upínacích prvků přípravku na obrobek geometricky a rozměrově podobný, je jedním z hlavních atributů při návrhu upínacího přípravku stroje. V příloze 1, na obrázku 33 je vyobrazena sestava upínacího přípravku frézovacího centra Brother se dvěma konfiguracemi sklíčidel osazených komponenty pro dva různé dílce. Při výrobním cyklu jsou obě sklíčidla na obou stranách palety osazena stejnými komponenty potřebnými pro výrobu zvoleného dílce. Upínací přípravek je zakrytovaný z důvodu snazšího odvodu třísek do vany stroje.



Obrázek 10 – Sklíčidlo s upínacími a ustavovacími prvky

2.10.4 Způsob upínání krytu rozvodového řetězu v sériové výrobě

Dalším z představených způsobů realizace upínacího přípravku ve firmě Misan s.r.o. je přípravek pro upnutí krytu rozvodového řetězu (obrázek 11). Tento upínací přípravek je vybrán z důvodu rozmanitosti použitých komponent pro realizaci upínání v obráběcím centru Brother. V příloze 1, na obrázku 34 je vyobrazen odlitek, na kterém budou otvory, zahloubení a stykové plochy krytu obrobny. Dílec je vyroben ze slitiny hliníku.

Přípravek je navržen tak, aby byl schopen stabilního a pevného upnutí čtyř druhů podobných dílců. Z tohoto důvodu jsou některé komponenty sestavy upínacího přípravku pro příkladový dílec nevyužity. Dílec je založen a po obrobení vyjmut obsluhou stroje, z tohoto důvodu je upínací přípravek přizpůsoben pro zakládání dílce operátorem. Názvy komponent v závorkách jsou převzaté z anglického jazyka, v praxi jsou tyto názvy pro následující komponenty použity častěji.

Upínací přípravek pro představený dílec se skládá z následujících komponent:

Otočný hydraulický upínač (swing clamp)

Použité druhy: – Pascal PLG048-R
 – Pascal PLG048-L

Tento druh otočného upínače od značky Pascal se vyznačuje vysokou tuhostí upnutí, rychlostí a opakovatelností (příloha 1, obrázek 35-A). Swing upínače jsou charakteristické svým pohybem. V případě uvolnění je upínka otočena o 90° v ose oproti stavu upnutému. Při pohybu upnutí je první pohyb upínky rotační s lehkým posuvným pohybem k obrobku. Po otočení se upínka spustí svisle dolů

translačním pohybem a upne obrobek. Proces upnutí je realizován hydraulicky. V případě odepnutí jsou pohyby zpětně totožné, jen je v našem případě síla vyvozena mechanicky pružinou. Těleso zvoleného hydraulického upínače je z oceli a jedná se o typ jednočinného válce. Při pohybu odepnutí je možnost výběru upínače s rotací upínky vlevo nebo vpravo. Součástí této komponenty je upínka požadovaného tvaru a vysoké mechanické odolnosti, jelikož je v interakci s dílcem. Upínka se musí navrhnout a vyrobit dle požadované aplikace. Pro upnutí představeného dílce jsou použity dva hydraulické upínače. Celkový počet prvků na upínacím přípravku, vzhledem k upnutí jiných druhů krytů rozvodového řetězu, je tři. Stejně vlastnosti upínačů nabízí i firma Kosmek s typem LG0481-CR [15].

Lineární hydraulický upínač (link clamp)

Použitý druh: – Pascal PLJ048-F

Další z použitých upínacích prvků je lineární hydraulický upínač od značky Pascal (příloha 1, obrázek 35-B). Upínání je zde realizováno úhlovým (pákovým) pohybem upínky spojené s ramenem a pístem, píst vyvozuje upínací sílu translačním pohybem. Způsob síly pro upnutí je vyvozen hydraulicky a pro odepnutí je využito síly pružiny. Varianty natočení upínky vzhledem k tělesu upínače jsou možné ve třech modifikacích. V našem případě je použit lineární hydraulický upínač v pozici upínky centrálně. Součástí tělesa upínače je i již zmíněné rameno. Opět je potřeba navržení, výroba a povrchová úprava upínky, která je v kontaktu s obráběným dílcem. Upínka může být vybavena seřizovacím šroubem výšky pro nastavení požadované polohy upínky pro upnutí obrobku. V našem případě je upínka rozdvojená, zabezpečuje upnutí dvou druhů dílců. Lineární hydraulický upínač firmy Pascal může být zaměněn za Kosmek LJ0482-CC [16].

Naváděcí prvek pro založení dílce operátorem (rough guide)

Rough Guide tyče slouží obsluze pro usnadnění manipulace s dílcem (příloha 1, obrázek 36-A). Navádění je řešeno umístěním dvou vodicích tyčí. Celkový počet naváděcích prvků pro možnost navedení čtyř druhů dílců je pět. Vodicí tyče jsou umístěny na strategických místech charakteristických pro dílec tak, aby nebylo možno založit dílec jiným způsobem. Vzdálenost 2,5 milimetru mezi dílcem a tyčí je dostatečná pro hrubé navedení dílce do správné polohy. Vzdálenost lze upravit díky excentrickému umístění osy závitu vůči vodicí tyči. Závitový spoj je zajištěn kontramaticí.

Ustavovací kolíky s vodicím pouzdrům

Dílec je v osách stroje X a Y polohován za pomoci dvou zakládacích kolíků (příloha 1, obrázek 36-B). Ustavovací kolík je odpružená hřídel usazená ve vodicím pouzdře, na které je nasazen aretační čep. Tyto ustavovací prvky nepolohují dílec ve strojní ose Z. Aretační čep je dvou druhů. Kruhový aretační čep ustavuje otvor dílce v obou osách, zatímco aretační čep tvaru odlehčeného válce polohuje díru dílce přímkovým stykem v jedné ose. Těmito dvěma body jsou dílci odebrány tři stupně volnosti. Celkový počet ustavovacích kolíků na upínacím přípravku je čtyři. V příloze 1, na obrázku 36-B je vyobrazen aretační čep tvaru odlehčeného válce.

Hydraulické podpěry (work support)

Použité druhy: – Pascal CSN03-L + Rozpěrný čep (headcap) – 2x
– Pascal CSN03-L + Rozpěrný čep vysunutý na rameni podepřeném na hřídeli v pouzdře – 1x

Hydraulické podpěry neslouží pro polohování dílce, ale pouze pro jeho vyztužení, pro zamezení deformací způsobených vnějším působením sil na obrobek (příloha 1, obrázek 37-A). Podpěry neodebírají dílci žádné stupně volnosti. Pohyb pístu podpěry je tlakem hydraulické kapaliny vyvozen vzhůru a při kontaktu s dílcem se silou horní pružiny podpěra opře o obrobek a následně se vlivem

tlaku hydraulické kapaliny zpevní. Při uvolnění je tlak hydraulické kapaliny odlehčen a píst hydraulické podpěry je stlačen působením druhé (spodní) pružiny. Na tělese hydraulické podpěry se nachází rozpěrný čep (headcap), který je v kontaktu s obrobkem. Tato komponenta je navržena a vyrobena s povrchovou úpravou pro zabezpečení vyšší mechanické odolnosti. Dále je v sestavě vyobrazena realizace podpěry na rameni. Sestava se skládá z hydraulické podpěry, ramene podepřeného hřídelí usazenou v pouzdře a z rozpěrného čepu. Tato sestava je použita z důvodu prostorového uspořádání [17].

Podpěra s kanálkem kontroly dosednutí dílce

Podpěra dílce s kanálkem kontroly dosednutí je komponenta sloužící pro ustavení dílce v ose Z a pro detekci jeho správného založení a upnutí (příloha 1, obrázek 37-B). Nutný počet dosedacích ploch podpěr pro ustavení dílce ve svislém směru je tři. Podpěra je ve formě sloupku s vnitřním otvorem pro přívod tlakového vzduchu. Tento způsob detekce závisí na dobré kvalitě povrchu obrobku, a to z důvodu míry utěsnění otvoru proudícího vzduchu dosednutým dílcem. Spolehlivě je kontrola využívána na obrobené plochy. Záležitost detekce správného založení dílce při obrábění je v sériové výrobě klíčovou. V případě vyhodnocení špatně založeného dílce je upozorněna na tento stav obsluha stroje, která provede kontrolu založení, odstraní problém a následně se pokusí o nový start výrobního cyklu. Odtlačení dílce je nejčastěji způsobeno špatným oplachem dosedacích ploch podpěr, ustavovacích kolíků nebo upínek. V tomto případě obsluha vyjme dílec, manuálně pečlivě opláchne komponenty upínacího přípravku a provede vizuální kontrolu, zda se na klíčových komponentách nenachází třísky z obrábění. Následně je dílec založen zpět. Dále je dílec vyhodnocen jako špatně upnutý v případě založení odlitku špatného geometrického tvaru, který není v toleranci pro zakládací kolíky s aretačními čepy nebo pro podpěry s kontrolou dosednutí dílce. Pneumatická kontrola správně založeného dílce také slouží pro rozlišení druhu obráběného dílce v kooperaci s ventilem Clippard, který je představen dále. Celkový počet podpěr s kontrolou dosednutí dílce je pět.

Clippard MAV-2P ventil

Tento vzduchový ventil je v provedení NC – normálně uzavřen (příloha 1, obrázek 38-A). V případě zatlačení hřídele je ventil přepnut do polohy otevřené a stlačený vzduch protéká výfukovým otvorem. Tento průtok vyhodnotí snímač průtoku vzduchu, díky kterému jsme schopni v součinnosti s kontrolou dosednutí dílce určit, o který obrobek se jedná. Tento prvek je umístěn v prostoru založeného dílce tak, aby jej jiný druh obráběného dílce nestiskl. V případě stlačení hřídelky jiným dílcem musí tento dílec dosedat na jinou kombinaci podpěr s kontrolou dosednutí dílce. V případě odepnutí dílce se hřídel ventilu opět pružinou vysune ven. Tato kontrola dílce je vyhodnocena až po jeho upnutí upínkami. Prvek je ve verzi normálně uzavřen (NC) z důvodu úspory stlačeného vzduchu, kdy stav stlačení hřídelky (průtoku vzduchu) nastává vzhledem k detekci čtyř druhů dílců nejméně často. Tento způsob detekce přítomnosti dílce je také využíván v případě ploch odlitku horší kvality, kde by podpěra s kontrolou dosednutí dílce neplnila svoji funkci spolehlivě. Vyhodnocení výšky polohy dílce není ventilem Clippard tak přesné jako v případě vzduchové kontroly dosednutí dílce, proto není tento způsob upřednostňován. Vyhodnocení druhu založeného dílce slouží pro kontrolu navoleného programu obráběcího stroje, pro kontrolu nastavení nástrojů v databázi stroje, a také v případě přestavby upínacího přípravku na jiný druh obrobku. V případě přestavby upínacího přípravku jsou kontrolované komponenty vloženy k detekci vyměněných dílů přípravku. Pokud by tato komponenta, například podpěra, mohla způsobit kolizi s nástrojem nebo špatné založení dílce, musí se vložit do speciálního pouzdra pro detekci přítomnosti vyměnitelných komponent upínacího přípravku. Na upínacím přípravku jsou celkem dva ventily Clippard.

Oplachové trysky

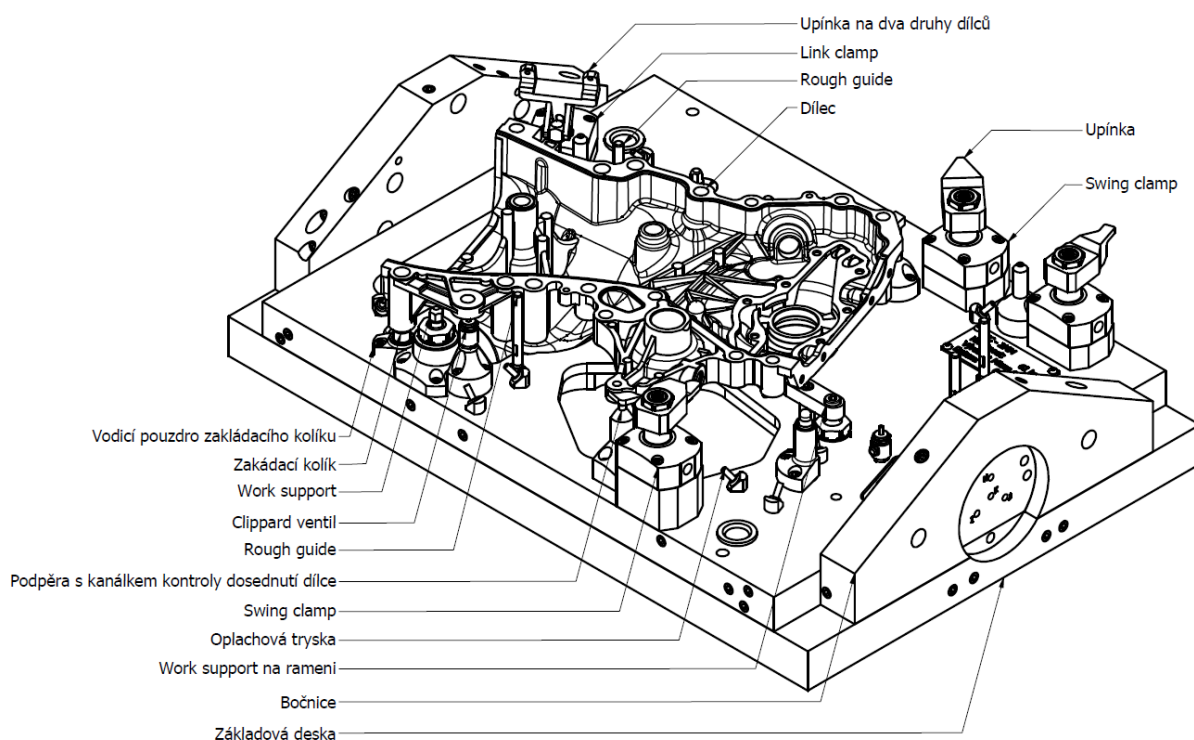
Pro oplach důležitých komponent upínacího přípravku slouží přívod procesní kapaliny přes oplachové trysky (příloha 1, obrázek 38-B). Pozice trysek je navržena tak, aby byl oplach realizován na aretační čepy, sloupky podpěr s kontrolou dosednutí dílce a ventil pro detekci správného založení dílce. Správný návrh množství a pozic trysek je klíčový pro stabilitu upínání dílce v obráběcím stroji. Pro dostatečné množství přivedené kapaliny na obrobek je třeba vysokotlakého čerpadla, které zvládne zásobovat 33 oplachových trysek s dostatečným průtokem kapaliny. Směr oplachu lze manuálně nastavit a seřadit podle zakládaného odlitku a právě použitých komponent.

Základová deska

Základová deska je prvek pro spojení komponent do jednoho celku. Je připojena bočnicemi k motoru a protiložisku přidavné rotační osy. Základová deska je navržena s kanálky pro přívod hydraulického média, stlačeného vzduchu a oplachové procesní kapaliny. V případě některých zapuštěných komponent je vyrobeno zahlužení pro usazení těchto komponent. Na stykových plochách dvou součástí je v místě distribuce tekutin použito těsnění ve formě O-kroužku. Základová deska je ve vhodných místech odlehčena vybráním materiálu.

Bočnice

Tato součást spojuje základovou desku s motorem přidavné rotační osy a protiložiskem. Obsahuje kanálky s porty pro distribuci médií mezi těmito komponenty. Výrobní pomocné otvory jsou zaslepeny zátkami s lepeným závitovým spojem.



Obrázek 11 – Sestava upínacího přípravku krytu rozvodového řetězu

3 Praktická část

Praktická část diplomové práce se věnuje návrhu, realizaci a odzkoušení přípravků na upínání obrobků z hliníkových slitin. Konstrukční návrh přípravků bude vycházet ze spočtených hodnot upínací síly, které jsou závislé na zjištěné velikosti působení technologických sil. Upínací přípravky jsou součástí dvou CNC frézovacích center nasazených v robotickém technologickém pracovišti. Konkrétně se práce věnuje výběru vhodných strojů a komponent, konstrukčnímu návrhu a výrobě nutných technických zařízení k realizaci přípravků pro automatizovaný charakter výroby. Vybrané stroje, nástroje a komponenty RTP, které nejsou přímo součástí upínacích přípravků, nejsou stěžejní náplní diplomové práce, a tudíž nejsou, i vzhledem k rozsahu práce, do detailu popsány. Zařízení jsou pouze zmíněna z důvodu pochopení postupu řešení realizace přípravků. Závěr zahrnuje test zařízení, zhodnocení a návrh doporučení s cílem zlepšení stability provozu.

3.1 Metodika praktické části diplomové práce

V této kapitole je uveden přehled a popis použitých prostředků k řešení cílů experimentální části diplomové práce. Za účelem stanovení potřebné upínací síly, která závisí na kritické hodnotě působení technologických sil, je uvedeno několik faktorů, které výpočet ovlivňují. Představen je materiál obrobku a materiály použitých řezných nástrojů. Dále je popsán přehled vybraných vzorců řezných podmínek obrábění, pomocí kterých bude následně spočtena vybraná složka řezné síly. Pro schopnost posouzení stabilní výroby obrobků ve stanovených tolerancích je představen ukazatel způsobilosti procesu, kterým bude statisticky vyhodnocena stabilita upínání přířezů z hliníkové slitiny. Geometrický tvar polotovaru a obrobku je popsán v poslední kapitole metodické části diplomové práce. Tato sada informací je použita pro řešení a dosažení zkoumaných výsledků. Během řešení experimentu je na tyto zvolené nástroje v praktické části odkazováno.

3.1.1 Materiál obráběného dílce

Robotické technologické pracoviště, jímž se tato diplomová práce zabývá, je určeno k výrobě dílců, ventilů, kterých se využívá v automobilovém průmyslu do klimatizačních jednotek osobních i nákladních vozů. Základní tvar polotovaru je kvádr o rozměrech 74 x 31 x 34 mm s dírou o průměru 15 mm a se sražením jedné hrany kvádrů. V této kapitole budou představeny informace o slitině hliníku a její vlastnosti při obrábění, se zaměřením na obráběnou slitinu hliníku EN AW 6063.

Polotovar obrobku je přířez z taženého válcovaného profilu ze slitiny hliníku. Válcováním za studena dosáhneme dobré jakosti povrchu, geometrické přesnosti tvaru polotovaru a lepší materiálové jakosti [18].

Materiál obrobku, a s tím spojené vlastnosti jako je tvrdost, pevnost, obrobitelnost a stav povrchu, významně ovlivňuje výběr nástroje pro obrábění [5].

Slitiny hliníku

Čistá forma hliníku jako chemického prvku je nestabilní, kujný kov, který velmi dobře vede elektrický proud. Při obrábění tohoto neželezného kovu s ním pracujeme pouze ve formě slitin. Druh zpracování slitiny hliníku velmi ovlivňuje výsledné vlastnosti tohoto materiálu. Dělíme dva základní druhy slitin hliníku, a to slitiny tvářené a slévárenské. Slévárenské slitiny se odlévají do písku nebo do kokil a následně se tepelně zpracovávají či nikoliv. Rozlišujeme slitiny tepelně nezpracované, tepelně zpracované a zastudena vytvrditelné. Pro zlepšení vlastností tvářených slitin hliníku se provádí vytvrzování a žihání na snížení pnutí společně s rozpouštěcím žiháním. Tepelně zpracované slitiny jsou pevnější a vykazují lepší stabilitu [6].

Ve slitinách hliníku se vyskytují různé legující prvky, které ovlivňují výsledné vlastnosti slitin hliníku. Chemický prvek měď zlepšuje obrobitelnost a zvyšuje pevnost. Tvárnost a slévateľnosť slitiny zlepšuje mangan. Korozivzdornost a slévateľnosť zlepšuje křemík. Pro slévárenské slitiny je křemík klíčovým prvkem pro zlepšení charakteru tekutosti, slitiny obsahují okolo 11,6 % křemíku. Pevnost a korozivzdornost zlepšuje hořčík. Zinek zlepšuje slévateľnosť a zvyšuje pevnost. Chemický prvek železo zvyšuje pevnost a tvrdost. Neznámější je slitina dural, ve které jsou přidanými prvky: křemík, hořčík, měď a mangan. Dural má vysokou pevnost a tvrdost při zachování nízké hustoty. Pro tyto vlastnosti a také odolnost proti rzi je vhodnou slitinou do automobilového i leteckého průmyslu a všude tam, kde je třeba nízké hmotnosti a zároveň vysoké pevnosti [6].

Slitina hliníku EN AW 6063 T6 dle ČSN EN 5731:2005

Jako polotovar v experimentální části diplomové práce používáme slitinu hliníku AW6063-T6, nazývanou také He9, která se považuje za středně kvalitní slitinu s obsahem hořčíku (0,4 – 0,9 % hmotnosti) a křemíku (0,2 – 0,6 % hmotnosti), díky kterým má o něco větší pevnost a tvrdost. Dle normy značí slitinu hliníku písmeno A a tvářené výrobky písmeno W. Slitina se vyznačuje dobrou povrchovou úpravou a vysokou odolností proti korozi, považuje se za velmi dobře svařitelnou a dobře eloxovatelnou. Nejvíce se vyskytuje právě ve verzi T6, která má pevnost v tahu nejméně 190 MPa a tvrdost podle Brinella je 73 HB. Tato slitina je chemicky stálá, vhodná i do potravinářského průmyslu. Lze ji obrábět, tvářet a leštit. Během procesu obrábění se u této slitiny za vhodných podmínek dosahuje velmi hladkého a lesklého povrchu. Dle ČSN normy nese tato slitina označení 424401 s chemickým složením AlMg0,7Si, patří do řady 6 000 – chemické složení slitiny hliníku s hořčíkem a křemíkem. Označení T6 charakterizuje stav výrobku po rozpouštěcím žíhání a umělém stárnutí k získání stabilního stavu. Tento způsob tepelného zpracování v případě tvářené slitiny hliníku vychází z ČSN EN 515 [19].

Obrábění slitin hliníku

Výsledný výrobek s definovanou jakostí povrchu získáme třískovým obráběním polotovaru. Do jakosti povrchu obrobku z hlediska technologie výroby zahrnujeme přesnost rozměrů, geometrického tvaru a polohy, a drsnost povrchu. Technologii obrábění oddělujeme z polotovaru nežádoucí částice ve formě třísek [18].

Při obrábění slitin hliníku dosahujeme vysokých řezných rychlostí a relativně nízkých pracovních teplot. Většinou se slitiny hliníku obrábí nástrojem s velkým pozitivním úhlem čela a velmi ostrým úhlem ostří. Úhel čela může dosahovat až 25° a v kombinaci s leštěným ostřím dosahujeme lepšího odvodu třísky, zlepšujeme výslednou kvalitu povrchu obrobku a rozměrovou přesnost. Leštěním břitové destičky snížíme koeficient tření a možný výskyt nárůstku, pracujeme-li v oblasti vysokých řezných rychlostí [6].

Částice křemíku způsobují opotřebení břitu, čela a hřbetu nástroje. Opotřebení nástroje těmito tvrdými částicemi jsme schopni snížit osazením diamantovou břitovou destičkou. Břitové destičky z diamantu, případně část břitové destičky osazená diamantem, se používají u výkonných obráběcích strojů. Ty dosahují vysokých otáček vřetene, a to s ohledem na řeznou rychlost, která závisí na průměru nástroje. Tloušťka třísky velmi ovlivňuje průběh obrábění hliníku. V případě velkých řezných rychlostí a malého posuvu vzniká spíše silové tření, než aby se dobře odřezávala tříška od materiálu. Tento stav je nám indikován zbarvením třísky od vzniku tepla v místě řezu. Tření nástroje o materiál nám trvanlivost nástroje zřetelně snižuje [6].

3.1.2 Materiál řezného nástroje

Tato kapitola se věnuje dvěma řezným materiálům, kterých je využito v případě sdružených vrtáků pro vytvoření otvorů v tělese ventilu. Otvory obrobku musí být obrobena ve velmi přísné rozměrové toleranci a ve vysoké kvalitě povrchu. Z důvodu vysoké kvality a produktivity obrobání jsou

představeny hrubovací vrtáky ze slinutého karbidu. Pro některé dokončovací obráběcí operace je využit nástroj vybavený břitovou destičkou z polykrystalického diamantu. Tyto materiály řezných nástrojů jsou vhodné v případě automatizované výroby pro svoji vysokou odolnost proti opotřebení. Stupňovitého sdruženého vrtáku je použito pro jeho produktivitu obrábění. Tvorba díry různých průměrů proběhne během dvou vrtacích operací, a to hrubovací operací a vrtání načisto. Řezné podmínky se musí přizpůsobit rozdílným podmínkám způsobeným různými průměry otvoru, tudíž různými řeznými rychlostmi na obvodě sdruženého vrtáku.

Mezi hlavní vlastnosti řezných materiálů patří [6]:

- odolnost proti opotřebení,
- houževnatost – odolnost proti lomu,
- chemická stálost za různých řezných teplot,
- průběh tvrdosti v závislosti na řezných teplotách.

Polykrystalický diamant

Jeden z nejtvrděších známých materiálů je přírodní diamant. Tento nerost má tvrdost 10 v Mohsově stupnici. Této tvrdosti téměř dosahuje i syntetický polykrystalický diamant – *PKD*. Tato krystalická forma uhlíku dosahuje tvrdosti 9 000 *HV*. Vzhledem k velké tvrdosti odolává vysokému abrazivnímu opotřebení, a proto má hlavní zastoupení v případě orovnávačů brousicích kotoučů. Jemné krystaly jsou spojovány slinováním. Tato prášková metalurgie probíhá za vysokých tlaků a teplot. Poloha a směr krystalů diamantu je zcela náhodná, tudíž se zamezí výskytu míst s možným zdrojem lomu. Tvrdost a odolnost proti opotřebení v případě *PKD* je ve všech směrech stejná. Tvrdost polykrystalického diamantu je až stonásobná oproti slinutým karbidům [6].

Obrábění polykrystalickým diamantem má i svá omezení. Teplota v místě řezu nesmí překročit hranici 600 °C. Vzhledem k chemické příbuznosti nelze *PKD* použít při obrábění železných kovů z důvodu chemické afinity. Houževnaté materiály s vysokou pevností se též *PKD* nástroji neobrábí. Vzhledem ke křehkosti diamantu je potřeba zaručit stabilní řezné podmínky a vyvarovat se přerušovanému řezu. Při soustružení je třeba co nejmenšího vyložení nástroje a v případě frézování co nejmenšího axiálního a radiálního házení. Polykrystalický diamant se používá v případě obrábění abrazivních neželezných a nekovových materiálů. Tím je zaručena vysoká trvanlivost nástroje, vysoká přesnost rozměrů obrobku a vysoká jakost obrobeného povrchu. Syntetický diamant se hojně využívá v případě obrábění abrazivních slitin hliníku, křemíku a kompozitních materiálů. Alternativní volbou řezného materiálu pro obrábění zmíněných materiálů jsou nepovlakované karbidové nástroje, vyrobené broušením jemnozrného slinutého karbidu. Základními předpoklady pro bezproblémový proces obrábění je ostrý břit a pozitivní úhel čela nástroje. Umělý diamant se také používá pro obrábění pryže, plastů, slinutého karbidu, keramiky, mědi, bronzu a mosazi. Polykrystalický diamant je vzhledem k vyjmenovaným vlastnostem vhodný pro obrábění načisto [20].

Slinutý karbid

V současné době jsou řezné nástroje ze slinutého karbidu nesporně hojně využity pro obrábění většiny běžných materiálů obrobků soustružením, frézováním a vrtáním. Šíře oblastí využití se zvýšila povlakováním z tvrdých moderních materiálů. U slinutého karbidu jsou základem tvrdé částice karbidu spojené kovovým pojivem. Jedná se tedy o nástroje, které jsou produktem práškové metalurgie abraziva a pojiva. Tato kombinace materiálů poskytuje skvělé vlastnosti, struktura je homogenní, s nástroji obrábíme za vysokých řezných rychlostí. Dosažením vysokých řezných podmínek obrábíme produktivně, tato výsada se týká především povlakovaných nástrojů z karbidu. Obrábění hliníku je

prováděno právě nástroji s nepovlakovanými slinutými karbidy. U všech druhů slinutých karbidů je značný pokles tvrdosti za vysokých řezných teplot [21].

Nejpoužívanějšími karbidy jsou [20]:

- karbid wolframu (WC),
- karbid niobu (NbC),
- karbid titanu (TiC).

Mezi nejpoužívanější povlaky patří [6]:

- nitrid titanu (TiN),
- karbid titanu (TiC),
- karbonitrid titanu ($TiCN$),
- oxid hlinitý – keramika (Al_2O_3).

Povlaky se nanášejí v tloušťce 2 – 15 μm . Větší tloušťka povlaku sice způsobuje větší odolnost proti opotřebení, ale také snižuje houževnatost, zvyšuje křehkost a náchylnost k odlupování nanášené vrstvy [6].

Nejpoužívanějším pojivem je kobalt (Co). Poměr karbidů v řezném materiálu se pohybuje od 80 do 95 %. $WC-Co$ řezné materiály se používají především pro obrábění šedé litiny, jelikož při obrábění oceli dochází vlivem afinity ke značnému opotřebení čela nástroje ve formě žlábků [6].

U slinutého karbidu s větším podílem kovového pojiva je větší odolnost proti lomu, zvyšuje se houževnatost řezného materiálu. Vyšší podíl měkkého kobaltu snižuje odolnost proti deformacím. Nejen složení, ale i struktura vede k jiným vlastnostem řezného materiálu, a je tak potřeba zabezpečit vhodné řezné podmínky. Vyšší houževnatost též vyjadřuje vyšší pevnost v ohybu. Velikost karbidových částic má také vliv na houževnatost řezného materiálu. Menší jemná zrna způsobují vysokou tvrdost, větší karbidová zrna přináší materiálu vyšší houževnatost. Modul pružnosti je až třikrát vyšší než u oceli, proto se používá u nástrojů s dlouhým vyložení [6].

Se zvyšující se teplotou klesá tvrdost a pevnost v tlaku, přesto má slinutý karbid stále dobrou odolnost proti opotřebení i za vysokých řezných rychlostí [6].

Vrtáky ze slinutých karbidů mají zhruba dvacetinásobnou životnost oproti vrtákům z rychlořezné oceli a také při stejném axiálním posuvu zvládají několikanásobně vyšší řezné rychlosti. Monolitní karbidové vrtáky využíváme při nižších řezných rychlostech a za vyššího posuvu oproti vrtákům s vyměnitelnými břitovými destičkami. Šroubovitých vrtáků z masivního slinutého karbidu využíváme tehdy, pokud potřebujeme vyvrtat díru s vysokou kvalitou povrchu a nižšími nároky na rozměrovou toleranci. Hlavní výhodou je při obrábění vrtákem z masivního karbidu, v případě potřeby kvalitního povrchu díry o vyžadované přesnosti, minimální házení nástroje. To nám také zabezpečí vyšší životnost nástroje. Monolitních přeostřitelných vrtáků také využijeme v případě děr malých rozměrů, kde použití nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami není možné. V případě vrtání průměru menšího než 12 mm zpravidla nelze použít vrtáky s VBD , ale pouze vrtáky z masivního slinutého karbidu nebo vrtáky s tvrdě pájenými břity. Nástroje z masivního slinutého karbidu běžně pokrývají rozměry děr od 0,3 do 20 mm. Tolerance rozměru děr vyvrtaných s těmito vrtáky bývá IT8 a drsnost povrchu díry Ra 1. Tyto hodnoty velmi ovlivňuje přesnost, stabilita, tuhost a stav obráběcího stroje, řezné podmínky, materiál obrobku a délka vrtáku. Pozitivní vlastností slinutého karbidu je tuhost proti ohybu, tudíž jsme schopni za stabilních řezných podmínek vrtat až do hloubky 14D. Charakteristika vrtáků z masivního slinutého

karbidu je ovlivněna vysokou tuhostí materiálu nástroje, která zároveň přispívá ke kvalitě obráběné díry za vysokých řezných podmínek. V případě nekvalitního upnutí nástroje či obrobku nebo obráběcího stroje ve špatném stavu je třeba se vyvarovat karbidovým vrtákům a volit raději houževnatější materiál, a to rychlořeznou ocel. Vibrace soustavy zdatelně ovlivňují životnost nástroje a spolehlivost obrábění. Pokud je nestabilní soustava vřetena, držáku nástroje, vrtáků a obrobku, nebo pokud plocha, do které vrták proniká, není rovná, je potřeba vrtat vrtáky s *VBD*. Této volby také využijeme v případě předvrtaných nebo křížících se děr [5].

V případě karbidových sdružených vrtáků použitých pro obrábění děr dílců ventilů je použito karbidu s označením DK460UF. Zmíněný druh karbidu o tvrdosti podle Vickerse 1 620 *HV* obsahuje 90 % karbidu wolframu a 10 % kobaltu jako pojiva. Tento řezný materiál se používá pro obrábění ocelí a slitin hliníku. Hustota materiálu se pohybuje okolo 14,5 g·cm⁻³. Řezný materiál je velmi houževnatý a zároveň tvrdý, používá se především na rotační nástroje [22].

3.1.3 Řezné podmínky technologie vrtání

V následujícím textu jsou představeny řezné podmínky vztažené na průběh technologie vrtání. Technologie vrtání je stěžejní pro výrobu těles ventilů. Řezné podmínky se musí přizpůsobit materiálu obráběného tělesa, požadované jakosti obrobeného povrchu, materiálu a geometrii nástroje, způsobu obrábění, řeznému prostředí a stabilitě soustavy stroje, nástroje, obrobku a přípravku. Volba řezných podmínek je v dnešní době často závislá na doporučených hodnotách výrobce nástroje z katalogu nebo online kalkulaček s přihlédnutím na hloubku díry a možnosti způsobu přívodu procesní kapaliny.

Otáčky vřetena n [ot·min⁻¹] je počet otáček, které nástroj vykoná za minutu. Rotace nástroje či obrobku je hlavním pohybem obrábění.

Řezná rychlost v_c [m·min⁻¹] označuje obvodovou rychlost nástroje, kterou břit obrábí obrobek (obrázek 12). Tato velmi důležitá veličina patří mezi základní řezné podmínky ovlivňující průběh, hospodárnost a účinnost obrábění. V případě vrtání se řezná rychlost určuje obvodovou rychlostí vrtáku. Směrem k ose vrtáku se rychlost na čele ostří plynule snižuje až k hodnotě rovné nule. V případě doporučených rychlostí stanovených výrobcem nástroje se opět jedná o rychlosti povrchové – maximální, obvodové. Povrchová rychlost se spočte vzorcem, který je závislý na počtu otáček za minutu a obvodu vrtáku charakterizovaným průměrem v milimetrech, viz rovnice 15. [5]:

$$v_c = \frac{\pi * D_c * n}{1000}$$

Rovnice 15 – Řezná rychlost v_c

Průměr nástroje D_c [mm] – vrtáku.

Příliš vysoká hodnota řezné rychlosti v procesu vrtání způsobuje plastickou deformaci břitu nástroje, vyšší opotřebení hřbetu nástroje a vyvrtání díry obrobku horší jakosti. [5].

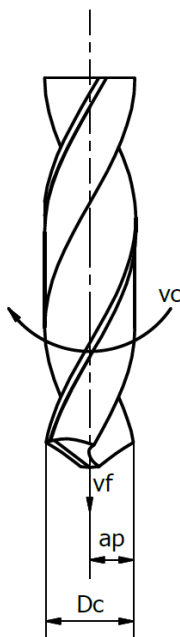
Nízká hodnota řezné rychlosti vede k tvorbě nárůstku, zhoršuje odvod třísek a nepříznivě působí na produktivitu obrábění [5].

Posuv za minutu v_f je také označován jako rychlost posuvu v_f [mm·min⁻¹] a jedná se o veličinu vyjadřující relativní rychlost mezi osou nástroje a obrobkem (obrázek 12). Posuv za minutu je vyjádřen vztahem v rovnici 16. Nazývá se také *posuv stroje* nebo v případě technologie vrtání *rychlost pronikání* a je velmi důležitým parametrem pro obráběcí operace z hlediska tloušťky třísky [8].

$$v_f = f_z * n * Z_n$$

Rovnice 16 – Posuv za minutu v_f

Z_n [-] – Celkový počet břitů na nástroji.



Obrázek 12 – Vrták – v_c , v_f , a_p , D_c

V případě procesu vrtání rychlost posuvu značně ovlivňuje potřebný výkon stroje, utváření třísky a stabilitu procesu [5].

Vyšší rychlost posuvu vytváří lepší podmínky pro utváření třísky a zkrátí dobu vrtání. Je zde ale možná tvorba díry horší kvality a hrozí riziko zlomení vrtáku. Nižší rychlost posuvu zlepší povrch obráběné díry, zato vede ke vzniku dlouhých třísek, rychlejšímu opotřebení vrtáku a prodloužení doby výroby díry [5].

Posuv na otáčku f_n [$\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$] je veličina, která stanoví délku ve směru posuvu, kterou nástroj urazí za jednu otáčku, viz rovnice 17 [6].

$$f_n = \frac{v_f}{n}$$

Rovnice 17 – Posuv na otáčku f_n

V případě technologie vrtání tato hodnota vyjadřuje posunutí vrtáku v axiálním směru během jedné otáčky, vyjadřuje schopnost nástroje pronikat do řezu, jsme tím schopni spočítat rychlost pronikání [5].

Posuv na zub f_z [mm] je v případě vrtáku jako vícebřitého nástroje velmi zásadní veličinou (obrázek 13). Tato veličina určuje délku dráhy ve směru posuvu, kterou urazí nástroj v průběhu záběru jednoho břitu zubu nástroje, viz rovnice 18. Stanovení ideální hodnoty je závislé na tom, zda břit obrábí za vhodných podmínek a zda vychází z doporučených hodnot největší tloušťky třísky. Posuv na zub závisí na obrobiteľnosti materiálu, volbě nástroje, požadované kvalitě obráběné plochy a průřezu třísky [23].

$$f_z = \frac{v_f}{n * Z_n}$$

Rovnice 18 – Posuv na zub f_z

Jmenovitá tloušťka třísky h_D [mm] je rozměr kolmý na ostří břitu, který zásadně ovlivňuje životnost a opotřebení nástroje (obrázek 13). Při velké tloušťce se může vlivem velkých sil obrábění břit vylomit. V případě malé tloušťky na břitu vzniká větší tření a zdroj tepla, a tím se snižuje trvanlivost nástroje [24].

Hodnota jmenovité tloušťky třísky h_D je stanovena rovnicí 19.

$$h_D = f_z * \sin(\kappa_r)$$

Rovnice 19 – Jmenovitá tloušťka třísky h_D

Maximální tloušťka třísky h_{max} [mm] je veličina omezující nástroj pro zvolenou vrtací operaci. Doporučením výrobce je stanovena horní a spodní hodnota tloušťky třísky [5].

Střední tloušťka třísky h_m [mm] slouží k určení měrné řezné síly a pro výpočet potřebného výkonu obráběcího stroje [5].

Jmenovitá šířka třísky b_D [mm] je měřena rovnoběžně se zabírajícím ostřím břitu nástroje, viz rovnice 20 (obrázek 13) [25].

$$b_D = \frac{a_p}{\sin(\kappa_r)}$$

Rovnice 20 – Jmenovitá šířka třísky b_D

Šířka záběru ostří a_p [mm] je tloušťka obráběné vrstvy (obrázek 13). V případě procesu vrtání je radiální hloubka řezu stanovena polovičním rozdílem průměrů mezi předvrtaným průměrem díry a průměrem vrtáku, viz rovnice 21 [6].

$$a_p = \frac{D_c - d}{2}$$

Rovnice 21 – Šířka záběru ostří a_p

Úhel nastavení hlavního ostří κ_r [°] je součástí geometrie břitu s faktorem, který má zásadní vliv na tloušťku třísky a směr působení výslednic řezných sil (obrázek 13). Úhel nastavení hlavního ostří je mezi břitem nástroje a směrem posuvu. Hodnoty úhlů hlavního ostří jsou od 45° do 90° [5].

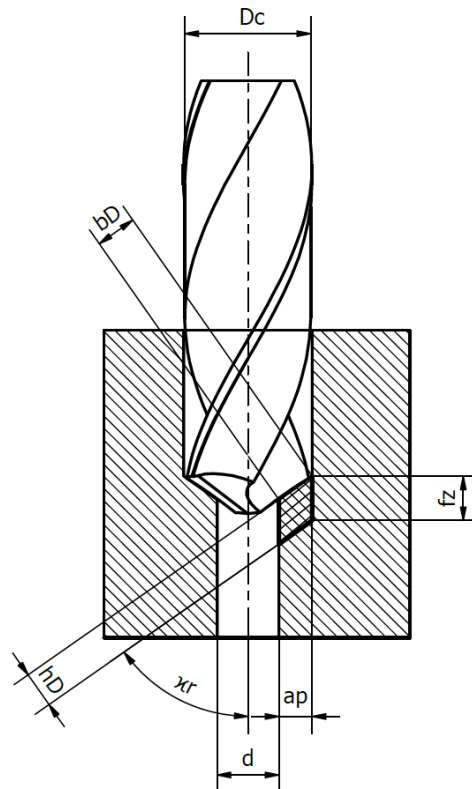
Z obrázku 13 je patrný vliv úhlu nastavení hlavního ostří na profil třísky. Při daném průměru vrtáku a rychlosti posuvu nám větší úhel nastavení hlavního ostří zmenšuje jmenovitou šířku třísky b_D a zvětšuje jmenovitou tloušťku h_D a naopak. Tlustší tříska se hůře ohýbá a vytváří tak větší řezný odpor. Zmenšují se radiální síly a také se snižuje případné chvění nástroje.

Úhel čela γ_E [°] vrtáku klesá od obvodu břitu směrem ke středu, stejně jako klesá řezná rychlost. Zmíněné vlastnosti vedou k nedostatečným řezným podmínkám ve středu vrtáku. Zde dochází k plastické deformaci, odírání a vytlačování materiálu vzhledem k nulové řezné rychlosti a značně negativnímu úhlu čela příčného ostří. Tento stav nám zvyšuje axiální složku sil [26].

Měrná řezná síla k_c [MPa] je konstanta udávající hodnotu obrobitelnosti, ze které lze spočítat potřebný výkon stroje, axiální sílu a kroutící moment vřeten stroje. Měrná řezná síla souvisí s obrobitelností materiálu, vyjádřenou hodnotou specifické řezné síly, která je definována pro průřez třísky 1 mm². Dále je ovlivněna hodnotou tloušťky třísky h s exponentem m_c , viz rovnice 22. Během řezného procesu velikost měrné řezné síly definuje sílu potřebnou k překonání soudržnosti materiálu obrobku [27].

$$k_c = \frac{k_{c11}}{h^{m_c}}$$

Rovnice 22 – Měrná řezná síla k_c



Obrázek 13 – Průřez třísky

Specifická řezná síla k_{c11} [MPa] je konstanta stanovená na základě experimentálních měření. Zohledňuje mechanické vlastnosti materiálu obrobku. Tato veličina je definována jako tangenciální řezná síla potřebná k vytvoření třísky o průřezu 1 mm^2 . Příkon stroje potřebný k vrtání je velmi závislý na typu obráběného materiálu, a tudíž na specifické řezné síle. Specifická řezná síla je závislá především na pevnosti v tahu a tvrdosti obráběného materiálu [28].

Nárůst měrné řezné síly m_c [-] je exponent, který závisí na druhu obráběného materiálu a na tloušťce třísky [5].

3.1.4 Ukazatele způsobilosti procesu

V této kapitole jsou představeny ukazatele způsobilosti procesu C_p a C_{pk} . Vybrané ukazatele způsobilosti se liší poskytovanými informacemi, použitelností, vlastnostmi a způsobem vyhodnocení. Hodnota ukazatele C_p vyjadřuje stabilitu procesu. Komplexní zhodnocení stability výrobního procesu je definováno ukazatelem C_{pk} , který zohledňuje polohu parametru polohy vůči hranicím tolerance rozměru a polohy.

Ukazatel způsobilosti procesu C_p

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

Rovnice 23 – C_p

Zprvu se výrobní proces testuje na základě způsobilosti procesu C_p , který popisuje stabilitu procesu bez ohledu na centrování procesu mezi stanovenými tolerancemi, viz rovnice 23 (příloha 3, graf 2).

Způsobnost procesu C_p poukazuje na možné dosažení a udržení variability procesu v průběhu času, a to v případě vlivu pouze přirozených náhodných zdrojů chyb působících ve výrobní lince. Statisticky zvládnutý proces má známou a stálou směrodatnou odchylku σ . Směrodatná odchylka vyjadřuje soustředění hodnot okolo střední hodnoty. Znak σ značí směrodatnou odchylku základního souboru, která je, pokud není známa, nahrazena výběrovou směrodatnou odchylkou s , vypočtenou z naměřených hodnot. Po dosažení požadované způsobnosti procesu C_p je třeba se zaměřit na centrování polohy sledovaného znaku, abychom dosáhli požadované hodnoty způsobnosti procesu C_{pk} [29].

Vždy platí rovnice 24.

$$C_p \geq C_{pk}$$

Rovnice 24 – Poměr C_p a C_{pk}

Rovnost těchto hodnot nastává při centrovaném procesu výroby vzhledem ke specifikovanému rozmezí.

Ukazatel způsobnosti procesu C_{pk}

Hodnota ukazatele způsobnosti procesu C_{pk} je bezrozměrné číslo, sloužící pro popsání stability výrobního procesu. Tato hodnota stanovuje maximální počet neshodných výrobků při výrobě. Stabilizovaný proces výroby je v ideálním případě časově se neměnicí. Jakost sledovaného znaku dílce je v rozmezí mezi hranicemi tolerance. Hodnoty sledovaného znaku musí splňovat vlastnosti dle normálního rozdělení. Normální rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$ je definováno parametrem polohy, tzv. střední hodnotou μ , a rozptylem, tzv. střední kvadratickou odchylkou definovaného znaku σ^2 [29].

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma}\right)$$

Rovnice 25 – C_{pk}

V rovnici 25 LSL značí spodní hranici procesu a USL horní hranici procesu. Proces musí být statisticky zvládnut, tedy hodnota parametru polohy i úroveň variability nesmí podléhat náhodným vlivům. Maximální hodnota C_{pk} je 2, která nastává v případě procesu šesti sigma.

Minimální hodnota C_{pk} pro schválení výrobního technologického pracoviště, která je definovaná konstruktéry odběratelů vyrobeného dílce, činí 1,66 (příloha 3, graf 3). Dosažení této velmi přísné hodnoty C_{pk} , používané zejména v leteckém průmyslu, je zkomplikováno mnoha faktory. Největší vliv má správné založení a dotlačení dílce mezi hydraulické upínací bloky. Prostor pro založení dílce musí být dokonale ofouknut, a tím zbaven třísek tvořených při procesu obrábění. Další významný vliv má tvar a rozměry přířezu polotovaru z hliníkové slitiny. Vzhledem ke zkoumání tří dávek vyrobených vzorků během čtyřhodinového procesu obrábění je způsobnost procesu ovlivňována i opotřebením nástrojů. První zkoumaná dávka osmi dílců je ze začátku výroby, druhá po dvou hodinách, třetí dávka je tvořena dílci z konce zkušební doby. Sledovaný znak výrobního procesu vlivem opotřebením nástroje mění polohu v závislosti na čase lineárně, stabilně. Vliv na hodnotu C_{pk} má i tepelná roztažnost obrobku. Z hlediska konstantních podmínek prostředí obrábění je třeba obráběcí stroj připravit na provozní teplotu. Spuštěním a správným provedením zahřívacího cyklu se dosáhne provozních teplot komponent stroje a lineární vedení stroje se promaže. Dále je třeba přísunu procesní kapaliny stále teploty a nastavení tepelných kompenzací tak, aby měl kontrolovaný obrobek požadované rozměry při měření v klimatizované místnosti o teplotě 20 °C. Základem pro dosažení přísné hodnoty způsobnosti procesu je tuhost obráběcího stroje a upínacího přípravku.

Stěžejní pro nový proces s hodnotou $C_{pk} \geq 1,66$ je správné změření a vyhodnocení kritického parametru dílce. Po převzetí nového procesu je stanovena hodnota pro stávající proces se způsobilostí procesu 1,33. Tato hodnota ukazatele je velmi častá v automobilovém průmyslu. Vyjadřuje počet neshodných výrobků 60 kusů z jednoho milionu. Tento počet výrobků bude mít sledovaný znak mimo definovanou toleranci. Vztah mezi výkyvy rozměru anebo polohy sledovaného znaku ve stabilizovaném procesu a požadovaným výstupem je právě způsobilost procesu. V příloze 2, tabulce 11 se nachází přehled vztahu mezi směrodatnou odchylkou a počtem vyrobených dílců mimo toleranci [29].

Pokud použitá technologie umožní zpřísnění výrobních tolerancí na desetinásobek, lze očekávat hodnotu C_{pk} 1,66 nebo lepší. Například poloha díry s předepsanou přesností na výkresu $\pm 0,1$ mm je třeba obrábět za podmínek pro splnění přesnosti $\pm 0,01$ mm (příloha 3, graf 4). V případě konvenčních metod obrábění nelze předpokládat podmínky pro obrábění s přesností μm . V tomto případě je třeba požadavku méně přísné hodnoty C_{pk} nebo zvýšení výrobních tolerancí na výkrese. Normální rozdělení v grafu představuje možnou míru necentrování, nicméně neudává směr posunu této střední hodnoty.

3.1.5 Polotovar obráběného tělesa

Základní tvar polotovaru je kvádr o rozměrech 74 x 31 x 34 mm s dírou o průměru 15 mm a se sražením jedné hrany kvádrů. Polotovar pro automatizovanou výrobní linku musí být ve stanovené rozměrové toleranci a v toleranci geometrického tvaru a polohy. Chemické složení polotovaru má v automatizované výrobě významnou roli. Změna chemického složení polotovarů výrobní dávky vyžaduje změnu řezných podmínek při technologii obrábění, a to nejen z důvodu požadované jakosti výrobku, ale i z důvodu optimalizace tvorby třísek. Nedostatečný ofuk dílců a nekontrolovaný odvod třísek během obrábění způsobuje komplikace při vykládání a zakládání dílců chapadlem robotu.

3.1.6 Vyrobený obrobek tělesa ventilu

Těleso ventilu je tvaru kvádrů. Na obrázku číslo 14 jsou vyobrazeny pohledy hotového obrobku. Díry se od skutečného dílce mohou lišit, pohledy jsou pouze schematické pro vytvoření představy.

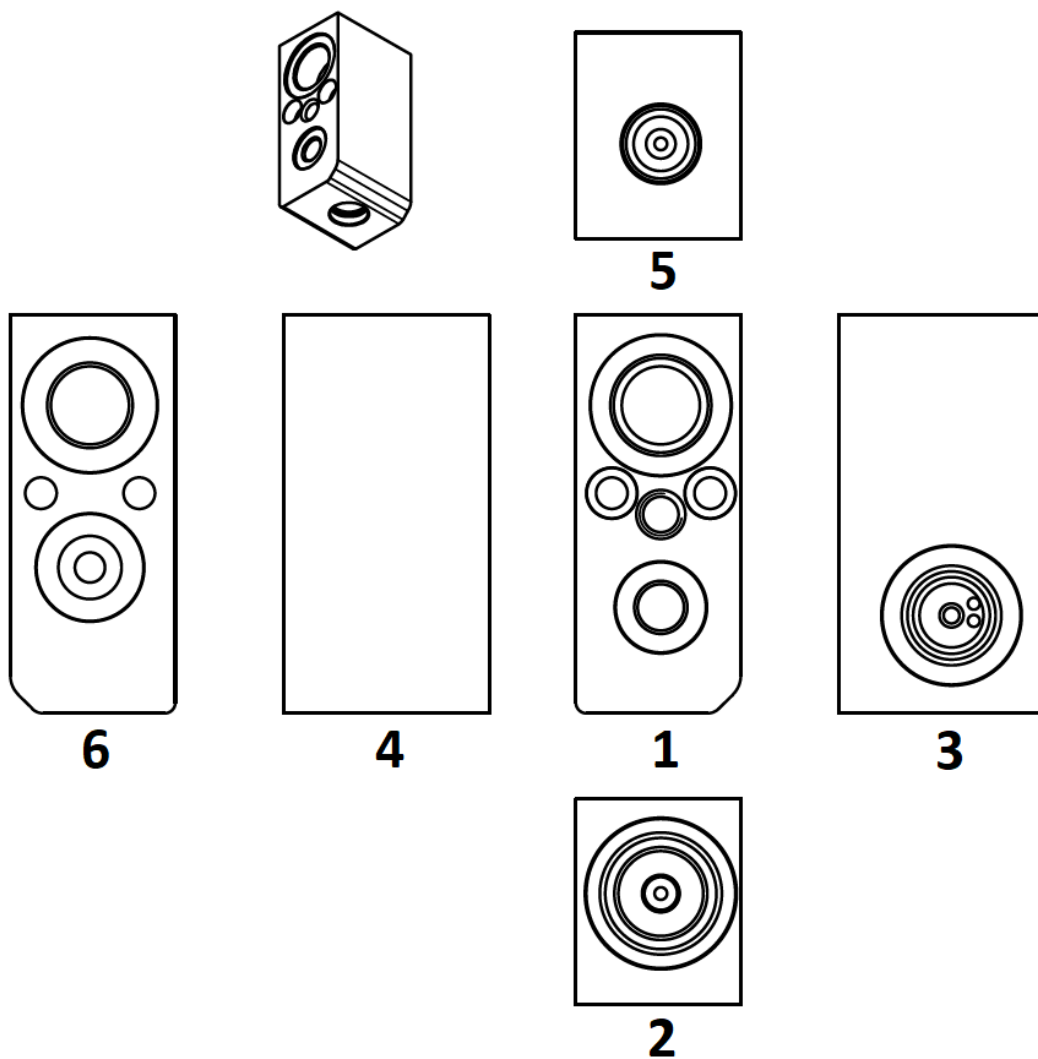
Na obrázku 14 je dílec ventilu vyobrazen v několika pohledech, které představují jeho jednotlivé plochy, na něž je v textu odkazováno. Na ploše nárysu, označeném na obrázku 14 číslem 1, se nachází 5 děr různých průměrů. Tato první strana bude obráběna na prvním stroji nejdříve. Při druhém založení dílce do druhého stroje bude tato již obrobená plocha ustavovací plochou. Na spodní ploše obrázku 14, vyobrazené jako strana číslo 6, se nachází 4 otvory. Tato strana je v případě prvního upnutí stanovena jako ustavovací. Obrábění těchto děr nemá na dimenzování upínacích bloků zásadní vliv z důvodu působení sil proti ustavovacím prvkům přípravků. Při otočení přídatné rotační osy na 270° , v případě založení na druhém stroji, bude obráběna strana 2. Axiální síla F_f při vrtání této díry bude působit proti pevnému dorazu, který je součástí základny upínacího silového bloku. Tato vnější síla nemá vliv na dimenzování upínacích prvků. Největší vliv na konstrukci upínacího mechanismu bude mít obrábění díry ze strany vpředu vyobrazené na pohledu 5. Tvorba díry vrtáním způsobuje vznik axiální síly. Technologická síla F působí ve směru od pevného dorazu a upínací síla F_u působí kolmo na technologickou sílu. Při obrábění plochy 5 upínací síly působí kolmo na směr hlavní technologické síly a fixace dílce je vyvozením třecích sil F_t působících proti technologické síle.

V případě obrábění plochy, vyobrazené na pohledu 3, bude otvor dílce ze strany obráběn po přestavbě robotického technologického pracoviště na tento druh výroby. Obráběním této strany se diplomová práce nezabývá. Plochy dílce 3 a 4 jsou upínacími plochami.

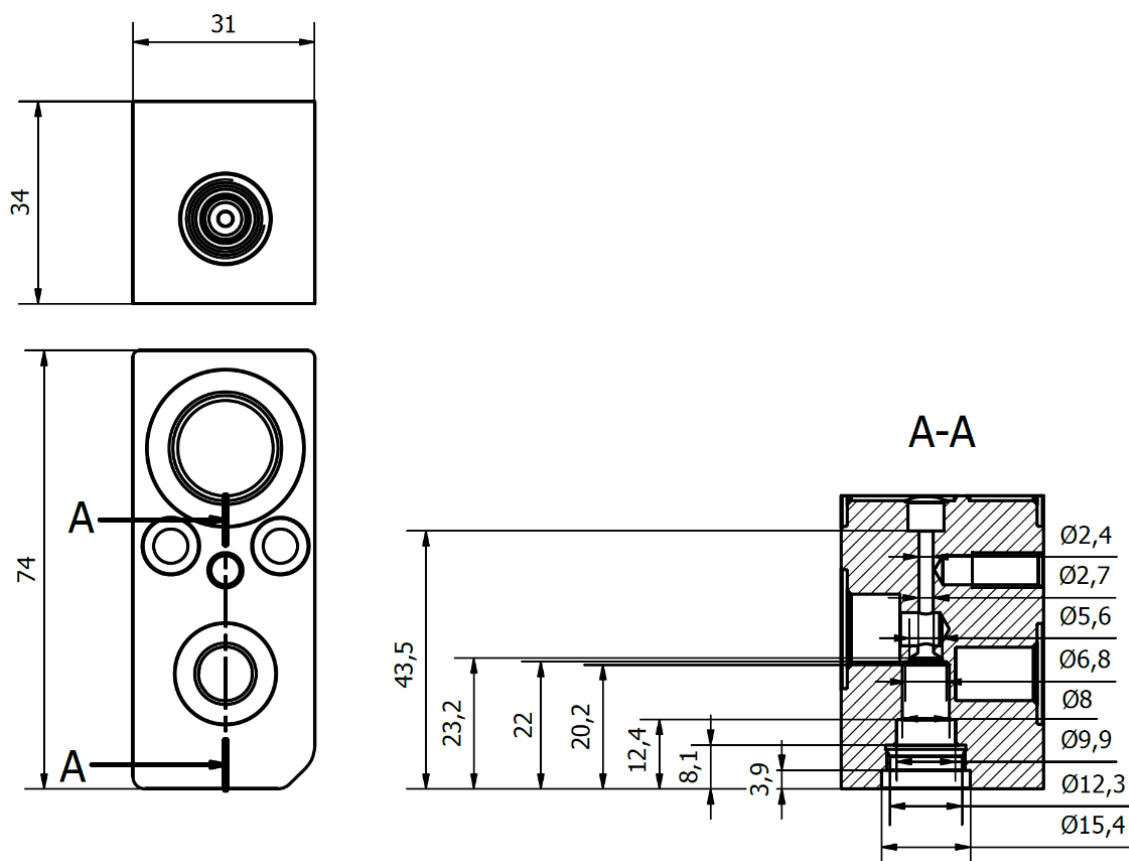
Rozbor díry okótovaných průměrů na ploše číslo 5 z obrázku 14 je zobrazen v řezu na obrázku 15. Hodnoty rozměrů, se kterými budeme pracovat, uvedené na obrázku 15, jsou rozdílné od skutečného

dílce z důvodu možné tvorby kopie. Propozičně jsou obdobné jako v případě skutečného tělesa ventilu. Obráběním dané díry se tato práce zabývá z důvodu zjištění kritických technologických sil. Při obrábění otvoru na ploše 5 působí axiální složka řezné síly vrtáku ve směru od pevného dorazu základny upínacího bloku, který je opěrným prvkem na upínacím přípravku. Dílec, na který působí vnější technologické síly, je fixován v čelistech upínacího bloku vyvozením třecích sil. Tento směr působení vnější síly je nejméně příznivý, proto byl vybrán pro výpočet upínací síly dílce. Zdroj kritické technologické síly vznikne obráběním sdruženými vrtáky různých průměrů pro vytvoření ploch díry obrobku, díra je vyobrazena na obrázku 15.

Polotovár ventilu se bude obrábět na první upnutí ze dvou stran, při druhém upnutí probíhá obrábění ze tří stran. V obou případech se jedná o upínací plochy pohledu 3 a pohledu 4 z obrázku 14.



Obrázek 14 – Pohledy hotového dílce tělesa ventilu



Obrázek 15 – Obráběný dílec v řezu

3.2 Robotické technologické pracoviště

Upínaný polotovár je přířez z taženého profilu hliníkové slitiny tvaru kvádra, na kterém jsou prováděny vrtací operace pro výrobu tělesa ventilu. Ten bývá použit v klimatizacích automobilů. Obráběcí frézovací centra jsou součástí robotického technologického pracoviště (obrázek 16, tabulka 1). Mezi hlavní stroje robotického technologického pracoviště buňkového uspořádání patří šestiosý angulární robot pro manipulaci obrobků a dvě frézovací obráběcí centra. Tato CNC frézovací centra jsou vybavena dvoupaletovým systémem otočného stolu, na každé paletě bude nasazena přídatná rotační osa s navrženým upínacím přípravkem se sestavou čtyř upínacích silových bloků. Příslušenstvím robotického technologického pracoviště jsou dva gravitační válečkové zásobníky, tzv. skluzy. První skluz je použit pro zásobu polotovaru do buňky a druhý pro vyvedení dílců špatně založených nebo dílců špatného geometrického tvaru. Oba skluzy poskytují zásobu 100 dílců. Mezi obráběcími stroji se nachází otáčecí stanice pro otočení dílců mezi prvním a druhým obráběcím centrem. Obrobené dílce ze druhého stroje se přemístí do drátěného koše, který je po naplnění přemístěn válečkovou tratí do mycího zařízení obrobků. Výstupní drátěný koš s válečkovou tratí není zobrazen na obrázku 16 z důvodu přehlednosti vyobrazení. Pro možnost nepřetržitého provozu jsou součástí obráběcích strojů dopravníky třísek.

3.2.1 Cyklus výrobní linky

- Robot, vybavený zakončením pro uchopení, dotlačení a ofuk čtyř dílců, odebere dávku čtyř dílců ze skluzu polotovaru.
- Tyto dílce robot po ofuku dosedacích ploch a upínacích čelistí stroje založí mezi upínací čelisti prvního obráběcího stroje a provede cyklus dotlačení dílců za pomoci pneumotorů, které vyvozují tlak na obrobek proti ustavovacím prvkům a pevnému dorazu upínacího přípravku.

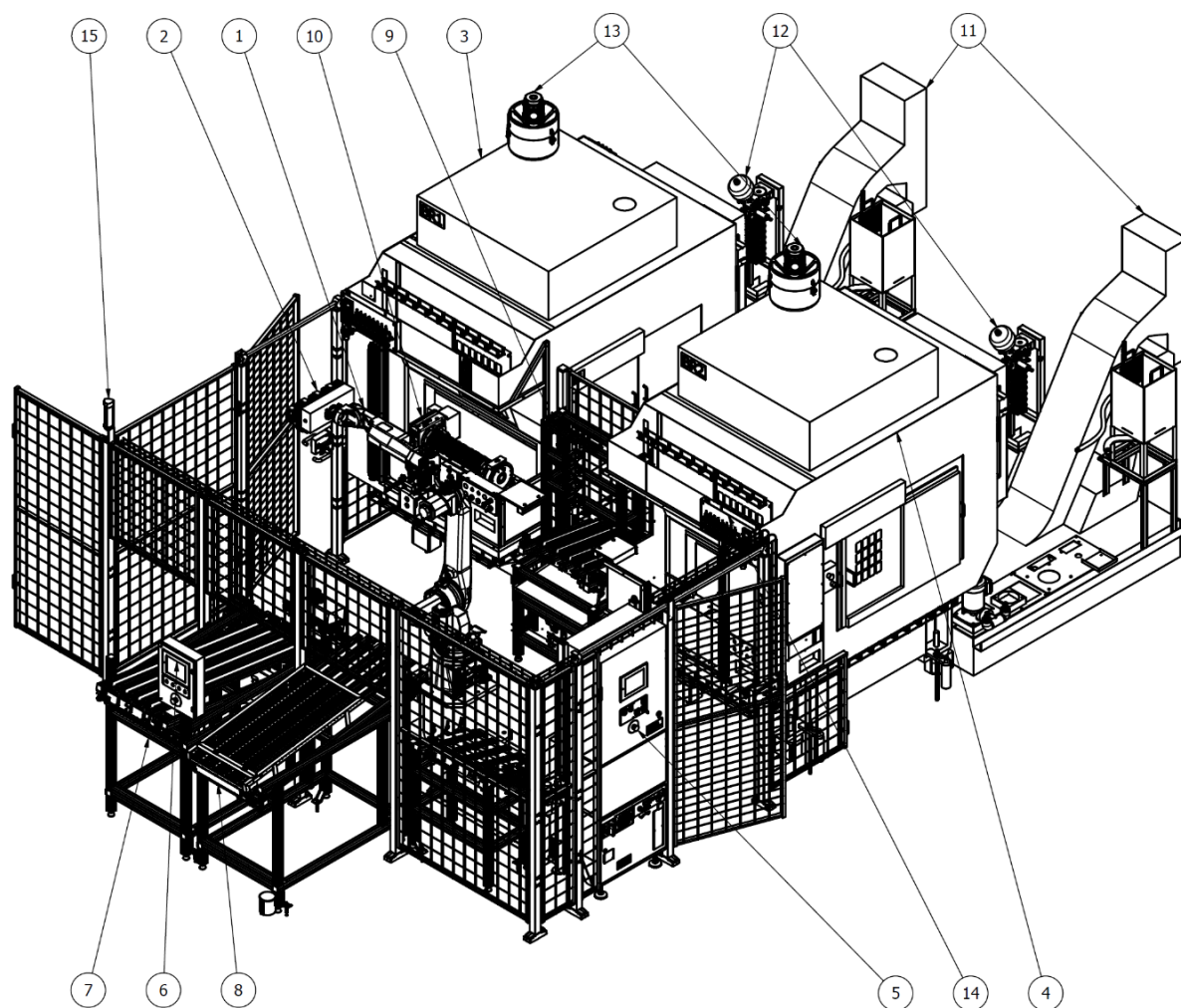
- V případě vyhodnocení špatného založení dílců pomocí vzduchové detekce jejich dosednutí jsou dílce robotem přesunuty do skluzu špatných dílců a dosavadní standardní cyklus se opakuje. Tento stav nastane v případě špatných geometrických rozměrů dílce nebo vlivem nedostatečného odstranění třísek v prostoru upínacího bloku.
- V případě vyhodnocení správného založení dílců je program obrábění obráběcího centra spuštěn.
- Po obrobení založených dílců je tato dávka ze stroje robotem ofouknuta, vyjmuta a předána do otáčecí stanice pro rotaci dílců o 180°.
- Otočené dílce jsou přemístěny a po ofuku upínacího přípravku založeny do druhého frézovacího centra, kde je proveden cyklus dotlačení dílců.
 - Opět je sledováno správné založení dílců mezi upínací čelisti hydraulického silového bloku. V případě detekce jejich špatného založení je tato dávka dílců přemístěna do skluzu špatných dílců a je provedeno opětovné založení nových dílců z otáčecí stanice.
 - V případě správného založení obrobků je obráběcí stroj spuštěn.
- Po obrobení dílců jsou robotem obrobky ofouknuty, vyjmuty a přemístěny do výstupního koše, ve kterém jsou po jeho naplnění převezeny válečkovou tratí do mycího zařízení dílců.

Obsluha výrobní linky zabezpečuje přísun dílců do zásobníků polotovarů a vyjmutí dílců ze zásobníků špatných dílců, které následně zkontroluje a vyhodnotí další postup s těmito kusy. Dále má na vyžádání možnost dopravy dílců do válečkového skluzu dílců pro externí změření z prvního nebo druhého obráběcího stroje.

Celý cyklus je řízen programovatelným logickým automatem japonské značky Mitsubishi ve spolupráci s robotem značky Fanuc. Pro komunikaci s obsluhou linky je využito grafického ovládacího panelu a světelného signálního sloupku s akustickým výstupem. Start, přerušení i ukončení výroby jsou ovládány z řídicího místa u ovládacího panelu. Robotické technologické pracoviště je uzavřeno bezpečnostním hrazením pro zajištění bezpečnosti osob a stabilních podmínek výroby. Výrobní buňka je vybavena bezpečnostním okruhem s několika nouzovými tlačítky.

Tabulka 1 – Seznam komponent RTP

Pozice	Komponenta
1	angulární robot
2	zakončení robotu
3	obráběcí centrum 1
4	obráběcí centrum 2
5	ovládací panel
6	informační panel
7	skluz polotovarů
8	skluz špatných dílců
9	otáčecí stanice dílců, skluz dílců pro externí změření
10	upínací přípravek dílců
11	dopravníky třísek
12	hydraulické jednotky
13	odsávání a filtrace mlhy procesní kapaliny
14	snímače vzduchové detekce založení dílců
15	signální sloupek



Obrázek 16 – RTP

3.3 Způsob založení a natočení dílce

Správné ustavení dílce je provedeno tehdy, když je ustavovací plocha 6 (obrázek 14) v případě prvního založení dotlačena na ustavovací prvky základny upínacího bloku na prvním stroji. V případě obrábění druhé strany na stroji druhém je ustavovací a již obrobena plocha vyobrazena v pohledu 1 (obrázek 14). V obou případech musí být dílec dotlačen plochou 5 (obrázek 14) na pevný doraz upínacího bloku – opěrný prvek. Dotlačení je vyvozeno dvěma pneu válci pro každý dílec, kde směr síly působí proti ustavovací základně a pevnému dorazu upínacího přípravku. Správné ustavení obrobku je kontrolováno čidlem průtoku vzduchu pro kontrolu jeho dosednutí. V následujícím textu jsou popsány použité způsoby natočení přídavné rotační osy pro možnost výroby dílců těles ventilů.

3.3.1 Natočení kolébky NC01-0ST

Pro případ prvního upnutí a frézování první plochy dílce si nazveme tento model upnutí jako NC01-0ST (příloha 1, obrázek 39). Obrobek je v prvním stroji ustaven plochou 6 (obrázek 14), přídavná rotační osa je natočena na 0°, obrábí se plocha 1 dle obrázku 14.

Při tomto způsobu obrábění působí výslednice řezných sil do pevných ustavovacích prvků základny upínacích silových bloků, tzv. bridge. Tento způsob působení vnějších sil nemá vliv na upnutí dílců.

3.3.2 Natočení kolébky NC01-90ST

V případě otočení přídavné rotační osy obráběcího stroje jsme schopni těleso obrábět u pevné části dorazu upínacího bloku. Tento model upnutí nazveme jako NC01-90ST (příloha 1, obrázek 40).

Při tomto 90° natočení přídavné rotační osy bude obráběn otvor ze strany pohledu dílce 5 (obrázek 14). Při působení axiálních sil vrtáku bude upínací síla působit proti odtlačení dílce od pevného dorazu. Směr upínací síly je kolmo k působení vnější technologické síly. Těleso bude fixováno vyvozenými třecími silami. Otvor bude při prvním založení a natočení přídavné rotační osy na 90° obroběn hrubovacím nástrojem T8 a nástrojem načisto T10. Tyto sdružené vrtáky obrobí otvor do hloubky 22 mm. Vznik axiálních sil během obrábění těmito sdruženými vrtáky má významný vliv na dimenzování upínacích silových bloků.

3.3.3 Natočení kolébky NC02-0ST

V případě druhého založení při otočení dílců o 180° jsou dílce ustaveny ustavovací plochou pohledu 1 (obrázek 14), obrobenu na prvním stroji, na ustavovací prvky základny upínacích bloků. Na tomto druhém obráběcím frézovacím centru je první obráběna vrchní plocha, která je vyobrazena v pohledu 6 (obrázek 14). Hlavní technologické síly působí proti ustavovacím prvkům základny.

3.3.4 Natočení kolébky NC02-270ST

Otočením přídavné rotační osy s dílci na 270° (příloha 1, obrázek 41) obrobíme díry dílců z druhého pohledu (obrázek 14). Axiální řezné síly vrtání působí proti pevnému dorazu základny – opěrnému prvku. Vzhledem k působení hlavní axiální síly vrtáku do pevného dorazu základny upínače nemá toto obrábění vliv na stanovení sil upínacích prvků.

3.3.5 Natočení kolébky NC02-90ST

Při natočení přídavné rotační osy na 90° obrábíme těleso v pohledu dílce 5 (obrázek 14), ve kterém opět odtlačujeme obrobek axiálními silami nástroje od pevného dorazu (příloha 1, obrázek 42). Tato strana nebyla doobrobena v prvním obráběcím stroji z důvodu potřeby stejného technologického času obou strojů. V případě diference výrobních časů strojů narůstá celkový výrobní čas linky dle delšího času ze strojů. Proto je snaha o stejný a co nejkratší technologický čas na obou strojích. V případě tohoto založení a otočení přídavné rotační osy na 90° proběhne obrábění vrtáky T5, T6 a T7 až do konečné hloubky. Během obrábění této strany obrobku je dílec fixován třecími silami, vyvozenými upínacími silami čelistí. Směr a hodnota axiálních sil, vznikajících při procesu vrtání, má zásadní vliv na návrh upínacího přípravku.

3.4 Nástroje použité v CNC

Následující text se věnuje představení nástrojů použitých při obrábění obrobku ze strany plochy 5, obrázku 14. Tato plocha je obráběna nástroji T8 a T10 v případě prvního upnutí na prvním stroji. Při upnutí otočeného dílce na druhém obráběcím stroji je otvor obráběn nástroji T5, T6 a T7. Materiály řezných nástrojů jsou představeny v metodické části diplomové práce v kapitole 3.1.2. Krom středícího vrtáku nástroje T5 a vrtáku s označením T6 se jedná o sdružené vrtáky obrábějící více průměrů díry. Vyvrtání otvoru vždy probíhá hrubovacím nástrojem a nástrojem načisto pro dosažení požadované geometrické přesnosti rozměrů a požadovaného povrchu díry. Po použití osového nástroje proběhne detekce zalomení nástroje laserovou bezkontaktní sondou od anglické firmy Renishaw. O této sondě Renishaw TRS2 bude více popsáno v kapitole 3.10.4. Kruhovitost a přímot patří mezi běžné geometrické tolerance děr. Jakost obráběné díry ovlivníme výběrem nástroje a obráběného materiálu, upnutím nástroje a obrobku, řeznými podmínkami a délkou vrtané díry. V našem případě je možná úprava pouze řezných podmínek, ostatní faktory jsou již definovány.

3.4.1 Sdružené vrtáky T8 a T10

V případě prvního založení dílců a obrábění stran obrobků s otočením čtvrté rotační osy stroje o 90°, který vyobrazuje obrázek 40 v příloze 1, budeme obrábět vrtákem na hrubování T8 (příloha 1, obrázek

43-A) a sdruženým vrtákem načisto T10 (příloha 1, obrázek 43-B). Tyto nástroje jsou sdružené vrtáky různých průměrů, na zakázku vyrobené u německé firmy Gühring, která se specializuje na rotační nástroje. Zabývá se vlastní výrobou, povlakováním karbidů a výrobou velmi kvalitních nástrojů stanovené geometrie. Oba uvedené nástroje jsou dvoubřité s úhlem nastavení hlavního ostří 90°. Hrubovací nástroj T8 je vyroben ze slinutého karbidu, nástroj T10 je osazen polykrystalickým diamantem. Sdružené vrtáky jsou vybaveny kanálky pro vnitřní chlazení procesní kapalinou. Vrták načisto má neutrální úhel čela 0°. Upozorňuji, že zbylé rozměry v příloze 1, na obrázku 43 neodpovídají skutečnosti, jedná se pouze o orientační hodnoty.

Vrtáním monolitním vrtákem s dlouhými břity dosahujeme obrobených ploch výborné jakosti a vysoké přesnosti rozměrů. Břit v axiálním směru slouží jako vodící a kalibrační zařízení, které drží vrták v ose otvoru. Také zde dochází ke kalibraci plochy otvoru vlivem působení radiálních sil břitu proti povrchu vrtaného otvoru. Toto tření zvyšuje kvalitu povrchu díry.

3.4.2 Vrtáky T6 a T7

Po založení otočených obrobků do upínacích čelistí druhého stroje obrobíme zbylé průměry díry. V tomto případě budou tělesa obráběna třemi nástroji. Nástroj T5 je středící dvoubřitý vrták (příloha 1, obrázek 44-A) pro centrování nástroje T6 (příloha 1, obrázek 44-B). Tento nástroj nebudeme do výpočtu zohledňovat, předpokládá se, že axiální síly při obrábění nebudou mít na konstrukci upínacího přípravku významný vliv. Dále zmíněné nástroje T6 a T7 pocházejí od švýcarského výrobce Mikron Tool. Nástroj T6 je šroubovitý válcovitý tříbřitý vrták, kterým budeme obrábět díru nahrubo pro tlačnou tyčku ventilu. Poslední sdružený vrták pro obrábění načisto je nástroj T7. Tento nástroj je tříbřitý, stupňovitý, s přívodem procesní kapaliny středem nástroje. Materiálem zmíněných nástrojů je karbid wolframu. Nástroje jsou s cenzurovanými hodnotami vyobrazené v příloze 1, na obrázku 44 a 45.

3.5 Ukázka NC programu pro obrábění nástrojem T8

V následující tabulce 2 je představen NC program obráběcího stroje Brother R450 X1 pro vrtací proces vrtákem T8. V levém sloupci se nachází NC program a vpravo je každý řádek programu okomentován. Následující text byl zdrojem použitých rezných podmínek pro výpočet axiálních sil vrtáku T8 na obrobek, dle kterých byla stanovena upínací síla hydraulických silových bloků.

Tabulka 2 – NC program

NC program	Komentář
M98P1002(WPC - 1 - 90)	Vyvolání programu 1002 obsahujícího načtení nulových bodů do paměti stroje.
N10(T8 VRTAK-PRUM 6.2/9.3 3H)	Číslo řádku s poznámkou názvu procesu.
G54.1P4	G54 Načtení nulového bodu (základní G54-59 „1 - rozšířené P1-48).
G100 T8 X0. Y0. Z30.B0. G43H8 S4000 M3	G100 Výměna nástroje. T8 s najetím do pozice (v souřadném systému obrobku) a roztočením vřetene. G43H8 načtení délkové korekce nástroje. Roztočení vřetene S4000 ot·min ⁻¹ . M3 ve směru hodinových ručiček.
M400	Oplach krytů stroje.
M494	Chlazení středem nástroje (BR01 30 bar, BR02 15 bar).
M8	Start chlazení okolo vřetene.
G94	Posuv za minutu (mm·min ⁻¹).
G73G98 X0.Y0.Z-21.7 R1.5 Q1.5 F900	G73 - Vrtací cyklus. G98 Odjetí na bezpečnou vzdálenost uvedenou v řádku předtím = Z30. Přejezd nad nulový bod ve vzdálenosti R1,5. Celková hloubka díry od povrchu obrobku činí 21,7 mm. Posuv je F900 mm·min ⁻¹ . *
G54.1P3 X0.Y0.	Načtení souřadnice druhé díry.
G54.1P2 X0.Y0.	Načtení souřadnice třetí díry.
G54.1P1 X0.Y0.	Načtení souřadnice čtvrté díry.
G80	Zrušení volání pevných cyklů.
G0Z100.	Rychloposuv do souřadnice Z100 mm.
M5	Zastavení vřetene.
G65P1000	Vyvolání programu 1000 (kontrola zalomení nástroje TRS2).

* Cyklus postupného vrtání začíná tak, že proběhne vrtání díry pracovním posuvem ve vzdálenosti 1,5 mm. Následně se vrták vrátí rychloposuvem zpět o 0,05 mm, aby se lépe odvedly třísky a díra mohla být dobře vyčištěna. Vzdálenost posuvu obrábění je definována parametrem Q , vzdálenost zpětného posuvu je nastavena v parametrech stroje. Po vyčištění díry vrtání pokračuje a vratný pohyb vrtáku se opakuje. Každý výrobce stroje definuje cykly postupného vrtání vlastním způsobem.

3.6 Výpočet axiální síly

V příloze 2, tabulce 5 jsou v prvním sloupci názvy sružených vrtáků dle kapitoly 3.4, ve které byla představena i geometrie těchto vrtáků. Uvedeným sruženým vrtákům jsou v posledních sloupcích přiřazené řezné podmínky pro dosažení požadované kvality díry a také je představena geometrie nástroje důležitá pro výpočet axiální síly. Řezné podmínky jsou převzaty z NC programu. Ke každému sruženému vrtáku jsou přiřazené řádky hodnot průměru vrtáku, z kterých se vrták skládá. Ve sloupci posuvové síly s korekcí 1 jsou hodnoty posuvové síly ovlivněné koeficientem stanoveným s nulovým opotřebením břitu. Ve sloupci posuvové síly s korekcí 2 jsou uvedeny hodnoty posuvové síly s koeficientem stanoveným pro opotřebený břit.

Posuvná síla F_f [N] je axiální posuvovou složkou řezné síly. Směr působení síly je ve směru osy vrtáku. Výpočet posuvové síly sružených vrtáků je dle rovnice 1. Axiální síla se spočte multiplikací konstanty k , šířky záběru ostří a_p , posuvu na otáčku f_n a měrné řezné síly k_c . Při stanovené předvrtané díře a při požadovaném průměru otvoru do zvoleného materiálu určitých mechanických vlastností jsme schopni ovlivnit axiální sílu pouze rychlostí posuvu. Hodnoty posuvné síly pro jednotlivé nástroje jsou uvedeny v příloze 2, tabulce 5.

Největší axiální sílu vyvozuje první nástroj T8. Jedná se o hrubovací sružený vrták, který v případě opotřebením vyvozuje sílu okolo $F_f = 1\,400\text{ N}$. Tento stav by v provozu neměl nikdy nastat vlivem software kontroly životnosti nástroje. Tato kontrola je nastavena pro zabezpečení výroby kvalitních obrobků a také proto, aby se neobrábělo na konci trvanlivosti nástroje. Zhoršená řezivost nástroje způsobuje horší kvalitu a přesnost obrobených ploch a také může vlivem vyššího řezného odporu dojít k zalomení nástroje. Ostatní axiální síly vrtáků jsou z pohledu dimenzování silových upínacích bloků zanedbatelné.

Nástroj T5 byl vynechán z důvodu nevýznamnosti středicího vrtáku na zjištění maximální axiální síly.

U posledního nástroje T7 nejsou spočítány posuvné síly u posledních dvou průměrů z toho důvodu, že tento nástroj těmito průměry již neobrábí. Otvor je již v tuto chvíli obroben nástrojem T10.

Konstanta k [-] zahrnuje ovlivňující faktory axiální síly, které nejsou obsaženy v dalších hodnotách vzorce. Ovlivňujícími faktory tohoto koeficientu je úhel čela nástroje a účinnost stroje. Úhel čela je v případě šroubovitých vrtáků proměnlivý, ovšem u zvoleného vrtáku s PKD je konstantní. Účinnost stroje je poměr mezi výkonem a příkonem a v případě moderních CNC strojů dosahuje hodnota účinnosti 95 % a je pro náš výpočet konstantní. Nejvýznamnější vliv konstanty je stupeň opotřebením břitu nástroje. Nový nebo přebroušený nástroj má stupeň opotřebením 0 %. Představené konstanty jsou uvedeny až pro krajní hodnotu 50 % opotřebením břitu. V případě takto extrémně opotřebením břitu se hodnota konstanty zdvojnásobí.

Hodnoty konstant jsou inspirovány německou firmou přesných nástrojů Walter (příloha 2, tabulka 6). Tato společnost provedla množství praktických experimentů pro možnost aproximace závislosti koeficientu axiální síly a opotřebením řezného břitu. Konstanta posuvné síly se pohybuje od 0,58 pro neopotřebením nástroj s pozitivním úhlem čela. V případě opotřebením břitu je hodnota konstanty 1,77 pro neutrální úhel čela [30].

Šířka záběru ostří a_p [mm] byla spočtena dle rovnice 21. U sdružených vrtáků byla hodnota průměru předvrtaného otvoru vzata z průměru nástroje ostří obrábějícího materiál dříve než ostří vrtáku právě obrábějícího. Hodnoty průměrů sdružených nástrojů se nacházejí v příloze 2, tabulce 5.

Hodnota **posuvu na otáčku f_n** [mm·ot⁻¹] je přímo úměrná posuvové rychlosti a nepřímo úměrná počtu otáček za minutu, viz rovnice 17. Hodnoty rychlosti posuvu a otáček vřetene jsou převzaty z NC programu obrábění. Posuvovou rychlostí jsme schopni zásadně ovlivnit velikost axiální síly. V případě hrubovací operace je hodnota posuvu na otáčku **$f_n = 0,23 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$** (příloha 2, tabulka 7).

Měrná řezná síla k_c [MPa] je konstanta udávající hodnotu obrobitelnosti materiálu (příloha 2, tabulka 7). Měrná řezná síla je přímo úměrná hodnotě specifické řezné síly a nepřímo úměrné tloušťce třísky s exponentem stoupání křivky m_c , viz rovnice 22. Hodnoty specifické řezné síly a exponentu stoupání křivky jsou převzaty z tabulky katalogu Walter na straně B 1173 pro námi obráběný materiál polotovaru (příloha 2, tabulka 8) [30].

Tloušťka třísky h_D [mm] je hodnota třísky stanovena rovnicí 19. Tloušťka třísky zásadně ovlivňuje životnost a opotřebení nástroje. S větší tloušťkou třísky se zmenšuje axiální síla. Tloušťka třísky je závislá na posuvu na zub a úhlu nastavení hlavního ostří. Čím je úhel nastavení hlavního ostří větší, tím je větší tloušťka třísky. Největší hodnota tloušťky třísky **$h_D = 0,11 \text{ mm}$** nastává v případě hrubovací operace (příloha 2, tabulka 7).

Posuv na zub f_z [mm] je délka posuvové dráhy nástroje, kterou nástroj urazí v průběhu záběru jednoho břitu. Posuv na zub se spočítá dle rovnice 18. Veličiny vstupující do této rovnice jsou uvedeny v příloze 2, tabulce 5. V případě hrubovací operace je hodnota posuvu na zub **$f_z = 0,11 \text{ mm}$** (příloha 2, tabulka 7).

3.7 Statická určitost upnutí

Pomocí dvou upínacích prvků upínáme těleso tvaru kvádrů dle obrázku 17. Toto uchopení představuje dvě kinematické dvojice třetí třídy (rovina – rovina), tudíž teoreticky máme 6 kontaktů, viz rovnice 26.

$$m = 2 * 3 = 6$$

Rovnice 26 – Počet kontaktních bodů

m počet kontaktních bodů teoreticky vyvozených kinematickými dvojicemi – interakce upínacího prvku a objektu

Statická určitost uchopení je zajištěna tehdy, když platí rovnice 27.

$$6 + i_{UP} = m + k$$

Rovnice 27 – Statická určitost uchopení

i_{UP} počet stupňů volnosti mechanismu upínacího bloku

k počet souřadnic se zachycením sil pouze třením

$$6 + i_{UP} > m + k$$

Rovnice 28 – Staticky neurčité upnutí

Pokud nastane rovnice 28, je těleso upnuto staticky přeúčteným způsobem. Značí to, že poloha kontaktů obrobek – upínací blok je neurčitá. Tento fakt ovlivňuje stabilitu upnutí.

V našem případě máme síly ve třech souřadnicích zachycovány pouze třením. Jedná se dvakrát o posuv a jednou o rotaci. Počet stupňů volnosti mechanismu upínacího bloku je 1. Potřeba korekčních pohybů upínacích elementů vychází z rovnic 29 a 30.

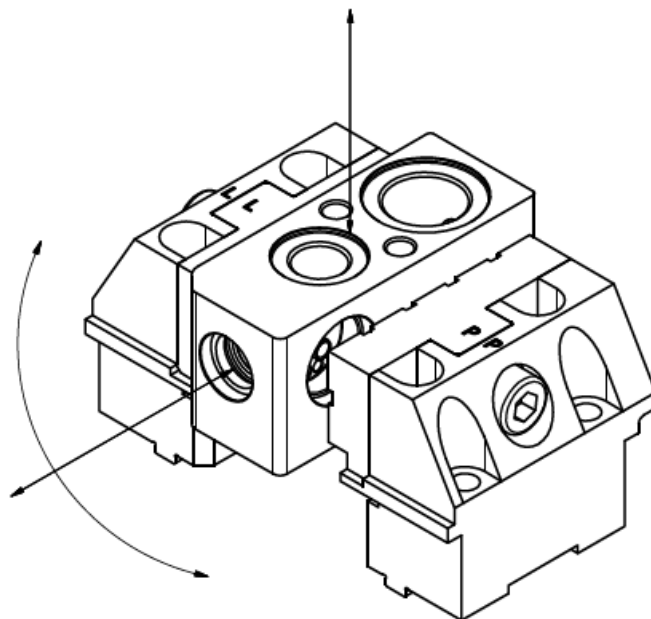
$$\Delta i = 6 + i_{UP} - (m + k)$$

Rovnice 29 – Počet korekčních pohybů

$$\Delta i = 6 + 1 - (6 + 3) = -2$$

Rovnice 30 – Hodnota korekčních pohybů

Hodnota rovnice 30 nám napovídá, že pokud upínací prvek ani objekt nebude pružný, vytvoří se na jedné čelisti tři kontakty a na protější straně pouze jeden. Vzhledem k tomu, že hydraulický silový blok s upínacími prvky pružný nebude, zbývá zde deformace pružného hliníkového obrobku. Konstrukčně by se tato přeurlčenost dala vyřešit sférickým tvarem jednoho z upínacích prvků, pružným obložením upínací čelisti, anebo jiným doplněním pohyblivosti mechanismu upínacího bloku pomocí korekčních pohybů. V našem případě je upínací prvek ze slitiny hliníku, na který budeme vyvozovat upínací sílu takovou, abychom mohli považovat materiál za pružný.



Obrázek 17 – Upínač – stupně volnosti dílce

3.8 Výpočet upínací síly

Návrh konstrukčního řešení upínacích silových bloků bude vycházet ze statické úlohy rovnováhy působících vnějších sil a upínací síly v místě interakce upínacích prvků (čelistí) s obrobkem (obrázek 18). Výsledek výpočtu bude stanoven na základě vnější síly v nejméně příznivém směru působení v průběhu procesu obrábění při dodržení míry bezpečnosti. Stanovení upínací síly závisí na velikosti, působišti, směru a smyslu působení technologických sil.

Upínací síla $F_U = 10\ 506\ \text{N}$ je stanovena na základě výběru největší posuvné síly vrtáku (tabulka 3). Největší hodnota axiální síly je spočtena pro nástroj T8. Dále je upínací síla přímo úměrná koeficientu bezpečnosti a nepřímo úměrná koeficientu tření. Stanovení správného koeficientu tření je nejkomplicovanější na tomto výpočtu. Zvolený koeficient vychází z tabulkových hodnot v publikaci *Efektory průmyslových robotů* [13].

Tato skripta udávají, že při suchém kontaktu povrchů ocel – dural je hodnota koeficientu 0,2. V případě znečištěného povrchu těchto materiálů dosahuje koeficient čtyřnásobně menší hodnoty 0,05. Naopak při úpravě povrchu čelistí zkříženým rýhování lze počítat s hodnotou až 0,6. Navržené uchopovací čelisti budou mít úpravu ve formě oddělených vystouplých ploch namísto jednodílné plochy. Z tohoto důvodu byl zvolen koeficient tření 0,2. V případě znečištěných kontaktních ploch vlivem maziv nebo v případě změny procesní kapaliny, teploty či vlhkosti vzduchu může být hodnota koeficientu tření nedostatečně příznivá. Nejen z tohoto důvodu je při výpočtu upínací síly zahrnut koeficient bezpečnosti. Koeficient bezpečnosti se používá z důvodu možné vyšší axiální síly vrtáku, než bylo spočteno, ale také pokud je nevhodně zvolen koeficient tření. V případě axiální síly hrubovacího vrtáku T8 je síla spočtena s koeficientem pro případ extrémně opotřebovaného nástroje. Tento stav by v provozu neměl nikdy nastat, natož být překročen. Životnost nástrojů je hlídána softwarově strojem Brother, nejdříve formou upozornění na blížící se stav a případně na stav opotřebování nástroje vzhledem k jeho definované životnosti.

Tabulka 3 – Potřebná upínací síla

Význam	Symbol [Jednotka]	Hodnota
Maximální posuvná síla	F_f [N]	1 400,8
Koeficient bezpečnosti	k [-]	3,0
Koeficient tření se zkříženým rýhováním	μ [-]	0,2
Upínací síla	F_U [N]	10 505,8

Upínací síla je spočtena dle rovnice 31.

$$F_U \geq \frac{F_f * k}{2 * \mu}$$

Rovnice 31 – Výpočet upínací síly F_U

Rovnice 31 vycházející ze statické rovnice rovnováhy 32.

$$k * F_f - 2 * F_U * \mu = 0$$

Rovnice 32 – Statická rovnice rovnováhy

Aritmetický součet třecích sil F_t , které jsou vyvozeny normálovými složkami upínací síly F_U v místě kontaktu, viz rovnice 34, musí být větší, případně roven součtu vnějších rovnoběžných sil s plochou kontaktu. V našem případě je tento součet zastoupen maximálními axiálními silami vrtání F_f , a to s potřebným koeficientem bezpečnosti k , viz rovnice 33.

$$\sum F_t \geq k * \sum F_f$$

Rovnice 33 – Vztah sumy síly třecí a posuvové

Třecí síla rovnoběžná s plochou kontaktu je rovna nebo větší posuvné síle obrábění. Tento předpoklad zajistí, že vlivem působení technologických sil nedojde k posunutí obrobku.

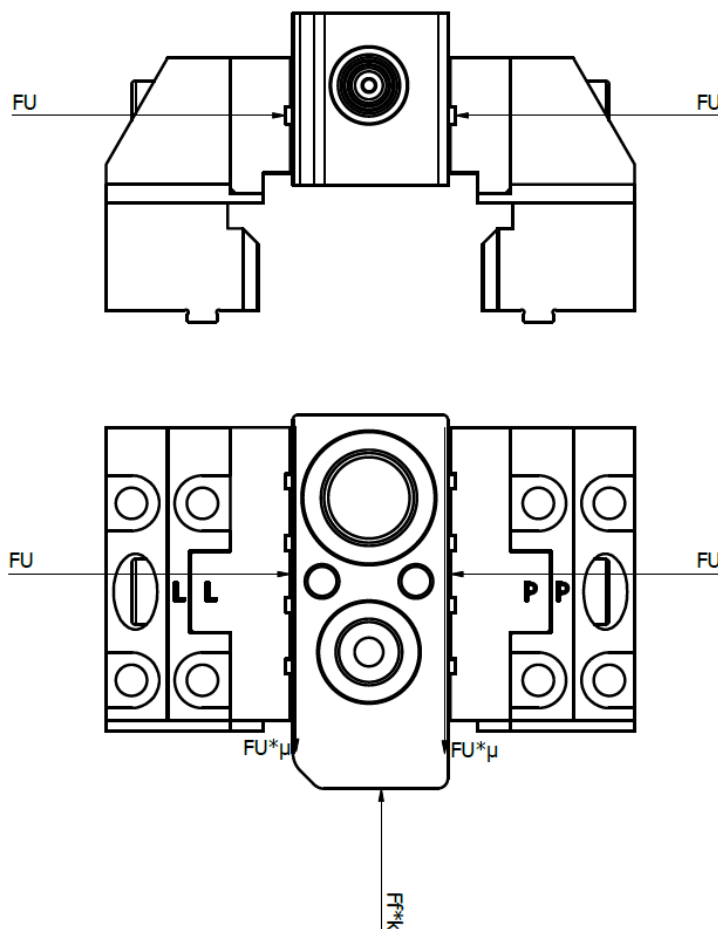
$$F_t = \mu * F_U$$

Rovnice 34 – Vztah síly třecí a upínací

Při dosazení rovnice 34 pro sílu tření do rovnice 33 dostaneme následující vztah 35, ze kterého vychází rovnice 31.

$$\sum (F_U * \mu) \geq k * \sum F_f$$

Rovnice 35 – Vztah sumy síly upínací a posuvové



Obrázek 18 – Síly působící na obrobek

Zvolená míra bezpečnosti byla stanovena z globálního hlediska důležitosti upínacího silového bloku na výrobní proces těles ventilů a dle zkušeností a doporučení ve firmě Misan s. r.o.

Vrtání díry probíhá v pozici symetrické k obráběnému tělesu, tudíž považujeme uchopení dílce za symetrické a nebudeme do výpočtu zahrnovat působení klopných momentů.

3.9 Vybraný upínací hydraulický silový blok

Upínací silový blok byl vybrán pro vnější upínání dílce za pomoci dvou posuvných upínacích prvků, čelistí. Upínání obrobku je oboustranné, osově symetrické, zabezpečující vystředění dílce. Vycentrovaný dílec je upnut silově, třecími silami vyvozenými upínacími elementy. Upnutí je vyvozeno tlakem z hydraulického agregátu přes aktivně přitlačované upínací prvky hydraulickým blokem. Odepnutí je způsobeno také přívodem tlaku hydraulické kapaliny. Na základě spočtené požadované upínací síly byl vybrán upínací silový blok od německé značky Schunk. Typ KSH-LH plus 100 vykazuje vysoké upínací síly v kompaktním provedení tělesa svěraku (příloha 1, obrázek 51). Právě malá výška silového bloku zvyšuje možnost pohybu nástroje v pracovním prostoru obráběcího stroje s nástroji v provedení s dlouhým vyložení. Kompaktním provedením je zaručen také lepší přístup vřetena stroje s nástrojem k obrobku.

Německá firma Schunk GmbH & Co. KG nabízí kompaktní řešení upínačů, dosahujících pevného a stabilního upnutí. Technické specifikace jsou v této kapitole převzaty z KSH-LH katalogu zmíněného výrobce [31] [32].

3.9.1 Hydraulický silový blok KSH-LH plus 100 – 5,4 mm

Výběr hydraulického silového bloku byl proveden na základě výpočtu upínací síly ze statické rovnice rovnováhy. Přívodem ovládacího tlaku 60 bar vyvozuje upínací blok sílu více než potřebných 10,5 kN.

Tento hydraulický silový blok od renomované německé firmy Schunk se používá všude tam, kde je třeba velkých upínacích sil v omezených obráběcích prostorech. Upínací dvoučelistový blok poskytuje velké síly v kompaktním provedení s různými možnostmi zdvihu čelistí, a tím zabezpečuje provozně spolehlivé upnutí. V našem případě je vybrán zdvih na jednu čelist 5,4 mm. Upínací blok se skládá z tuhých kalených součástí a vykazuje maximální tuhost systému pro vynikající výsledky procesu obrábění. Vzhledem ke kompaktnímu krychlovému provedení upínací bloky umožňují lepší přístup vřetena stroje k obrobku. Malá výška upínacích bloků zvyšuje pracovní prostor obráběcího stroje. Základny čelistí jsou vybaveny jemným ozubením pro spoj s upínacími čelistmi. Vzhledem ke své dlouhé délce vedení silový blok dosahuje optimální podpěry navrhnutých čelistí pro upínání za vnitřní i vnější průměr. Díky možnosti připojení přes ozubení je zde vysoká flexibilita návrhu čelistí. Z hlediska dlouhé životnosti jsou všechny funkční plochy kalené a broušené. Svěráky řady KSH pracují při ovládacím tlaku až 120 bar, ale v našem případě velkého zdvihu čelistí je přípustný tlak 60 bar. Hydraulický válec se pohybuje nahoru a dolů působením hydraulického oleje. Výkon se přenáší z axiálního hydraulického válce na základnu čelistí za pomoci diagonálního tahu klínového háku. Synchronní pohyb čelistí se projevuje do středu upnutí. Maximální síla tohoto typu silového bloku je 17 kN ve vzdálenosti 16 mm od základny čelistí. Tato síla vyhovuje stanovené požadované hodnotě upínací síly. V příloze 1, na obrázku 51 je vyobrazen upínací blok s možností instalace dvou posuvných upínacích prvků.

Charakteristiky upínacího bloku jsou shrnuty v příloze 2, tabulce 9.

Fixace upínacího bloku probíhá pomocí čtyř šroubových sloupků, na které se následně instaluje ustavovací plocha základny, tzv. bridge. Před fixací je třeba zabezpečit správné natočení upínacího bloku v jeho vertikální ose. Vyrovnání upínacího bloku se provádí pomocí číselníkového úchylkoměru připevněného přes magnetický stojánek na vřeteni frézovacího stroje a pojezdu strojní osy X. Měření probíhá na zadní ploše upínacího silového bloku. Rotace upínacího bloku se pro dosažení požadované polohy provádí za lehkého dotažení spojovacích sloupků speciálním přípravkem, kterým se obepne silový blok. Po dosažení polohy se sloupky dotáhnou na požadovaný moment a naposled se hydraulický upínací blok přeměří úchylkoměrem. Sloupek je rotační díl s vnějším závitem M8 pro fixaci upínacího bloku k desce upínačů, na druhé straně je vnitřní závit M8 pro uchycení bridge. Sloupek je opatřen šestihranem pro dotažení stranovým klíčem. Na desce upínačů, která se nachází na přídatné rotační ose každé z palet obráběcího stroje, bude namontována sestava čtyř těchto upínacích bloků.

Zdvih čelisti je v automatizované výrobní lince obsluhované robotem velmi důležitým rozměrem. V případě malého zdvihu upínacích čelistí je velmi náročné seřadit pohyby zakončení robotu. S menším zdvihem čelistí je také precizní ofuk čelistí náročnější. Ofuk probíhá za pohybu čelistí upínacím a odepínacím cyklem. Rozsah pohybu čelistí má výrazný vliv na úspěšné odstranění třísek z ustavovacího prostoru přípravku. Maximální tlak sestavy je často provozní tlak pro maximální využití potenciálu silového bloku.

Opakovatelnost vyjadřuje odchylku cílové polohy po 100 cyklech upínání, z hlediska přesnosti obrábění je velmi důležitým parametrem. Opakovatelnost upínacího bloku má zásadní vliv na hodnotu ukazatele způsobilosti procesu při měření polohy obrobených děr obrobku. Maximální výška čelistí se udává z důvodu působení momentu síly na upínací mechanismus v délce vyložení upínacích prvků.

Upínací síla hydraulického silového bloku ve zvolené vzdálenosti se pohybuje v intervalu **12,26 – 13,38 kN** (tabulka 4).

Tabulka 4 – Upínací síla ve zvolené vzdálenosti

Význam	Symbol [Jednotka]	Hodnota	
		Min	Max
Zvolená vzdálenost	L [mm]	38,65	38,65
Zvolený výstupní tlak agregátu	p_o [bar]	60,00	65,00
Ovládací tlak upínacího bloku, snížený o ztráty	p [bar]	55,00	60,00
Síla ve zvolené vzdálenosti *	F_U [kN]	12,26	13,38

* Dle univerzálního rovnice 36.

$$F_U = \frac{a * p}{b + L}$$

Rovnice 36 – Vliv vzdálenosti čelistí na sílu bloku

Pro tento upínací silový blok je neznáma vyjádřena rovnicemi 37 a 38.

$$a = 24$$

Rovnice 37 – Činitel tlaku

$$b = 69$$

Rovnice 38 – Sčítanec délky čelistí

Vzorec pro náš případ upínacího bloku při dosazení neznámých, viz rovnice 39.

$$F_U = \frac{24 * p}{69 + 38,65}$$

Rovnice 39 – Vliv navržených čelistí na upínací sílu

Zvolená vzdálenost L je hodnota vzdálenosti od základny upínacího bloku ke středu navržených upínacích čelistí. Výška čelistí byla stanovena na základě polohy ustavovací plochy upínacího bloku (bridge) a výšky obrobku. S vysunutými čelistmi se snižuje upínací síla F_U dle rovnice 36. Tlak nastavený na hydraulickém agregátu je v intervalu 60 – 65 bar. Vlivem ztrát se k hydraulickým upínacím blokům přenesou tlak o 5 bar nižší. Tato ztráta byla experimentálně zjištěna za pomoci manometru připojeného na vstupní port upínacího bloku. Hodnota ovládacího tlaku upínacích bloků se nachází v intervalu **55 – 60 bar**.

V příloze 3, grafu 1 je vyobrazena závislost upínací síly na ovládacím tlaku pro hydraulický silový blok KSH-LH plus 100 – 5,4 mm. Aktivní minimální upínací síla bloku je **12,26 kN**, tato hodnota je větší než spočtená potřebná upínací síla s hodnotou 10,506 kN. Vybraný silový upínací blok od německého výrobce Schunk splňuje všechny požadavky pro upínací přípravek, a to jak ve velikosti upínací síly a délce zdvihu upínacích elementů, tak i ve svých rozměrech.

3.10 Vybrané stroje a komponenty

V této kapitole jsou představeny jednotlivé vybrané stroje a komponenty nutné pro realizaci automatické výrobní linky, ve které jsou upínací přípravky nasazeny. Vybraná technická zařízení jsou pouze zmíněna z důvodu souvislosti řešení upínacích přípravků, vzhledem k rozsahu práce nejsou do detailu popsána.

3.10.1 Robot Fanuc M-20iA

Transport, zakládání, dotlačování dílců a ofukování funkčních ploch upínacích přípravků zabezpečuje robot značky Fanuc s nosností až dvaceti kilogramů hmotnosti na zakončení robotu. Robot je angulární (antropomorfní, multiúhlový), šestiosý, univerzální a je osazen speciálním zakončením pro uchopení čtyř těles dílců ventilů. Angulární robot se skládá z polohovacího ústrojí, které se skládá z prvních tří rotačních jednotek. První rotační jednotka je svislá a zbývající dvě jsou vodorovné a rovnoběžné. Další tři osy jsou orientačním ústrojím. Efektor robotu je složen ze čtyř pevných dorazů pro ustavení dílců, proti kterým působí čtyři pneumatické válce s pohyblivými dorazy. Kolmo na tuto soustavu působí další čtveřice pneumatických válců pro dotlačovací cyklus vyvozující síly směrem do ustavovacích základů silových bloků upínacích přípravků obráběcího stroje.

3.10.2 Obráběcí stroj Brother Speedio R450 X1

Obráběcí frézovací centrum Brother Speedio R450 X1 bylo vybráno z důvodu řady výhod, které tento obráběcí stroj nabízí (příloha 1, obrázek 46). Pro představenou aplikaci je stroj vhodný především z důvodu dosahovaných hodnot rychlosti rychloposuvů a rychlosti výměny nástroje, tyto vysoké hodnoty jsou u vrtacích operací založených čtyř dílců velmi využity. Japonská firma Brother vyrábí kompaktní stroje s vysokou rychlostí a přesností obrábění. Firma Misan s.r.o. je výhradním zástupcem této japonské značky pro distribuci a servis v České republice. Následující text je sepsán na základě zkušeností s obráběcími centry Brother, technické specifikace vychází z podkladů firmy Misan s.r.o. [33].

Obráběcí CNC stroj Speedio R450 X1 je vysokorychlostní frézovací centrum vhodné pro frézovací, vrtací a závitovací operace. Stroj je nadstandardně vybaven řetězovým zásobníkem o 22 pozicích, upínacím kuzelem na vřetení *BBT30* a otočným *QT* stolem. Vedlejší časy vyložení a založení dílců se eliminují dvoupaletovým systémem otočného stolu. Čas potřebný na upnutí obrobku se překrývá s časem hlavním, kdy se obrábí. To znamená, že na jedné straně palety se obrobek zaměňuje za polotovar a na straně druhé se obrábí. V našem případě bude obrobek zaměňován za polotovar pomocí robotu. Doba otočení palety je 2,9 vteřiny při plně naložené paletě. Během této doby otočení se naskytuje možnost výměny nástroje ve vřetení a přejezd os stroje do požadované pozice. Je možné nasazení rozdílného obráběcího procesu na paletu první a druhou na jednom obráběcím stroji. Hmotnost sestavy na jedné straně palety, skládající se v našem případě z přídatné rotační osy, 4 hydraulických upínacích bloků a 4 obrobků, může dosahovat hmotnosti až 200 kg. Vedlejší časy jsou minimalizovány i v případě výměny nástroje, kde je čas výměny nástroje z řezu do řezu tzv. chip to chip při opětovném roztočení nástroje na $10\,000\text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$ do 1,6 sekund.

K přesnosti obrábění přispívá tepelná kompenzace os X, Y, Z. Rychloposuv os dosahuje rychlosti až $50\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Kompaktní sloupová frézka s pevným otočným stolem o průměru zvětšeném z 1 020 mm na 1 100 mm pracuje se zatížením až 200 kg na jedné straně palety. Stroj je v provedení se sníženým pracovním stolem, došlo tedy ke zvětšení výšky nad stolem ze základních 300 mm na 350 mm. Velikost upínací plochy je 600 x 320 mm, spojení a vymezení polohy upínacího přípravku se provede pomocí drážky 12H8 pro pero ve směru strojní osy Y a 3 T-drážek 12H8 ve směru strojní osy X.

Vřeteno s kuželem *BBT30* dosahuje až $10\,000\text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$ a krouticí moment je zvýšený na 92 Nm. Dále je stroj vybaven vysokotlakým chlazením skrz vřeteno o tlaku 15 bar. Kužel *BBT30*, tzv. Big plus spindle systém, je způsob upnutí, při němž není upnutí pouze na povrchu kužele, ale také na čele mezi vřetenem a osazením držáku nástroje. Tento kontakt přispívá k větší tuhosti sestavy, a tím zvyšuje kvalitu výsledného povrchu obráběného dílce. Produktivité obrábění také napomáhá vysoké zrychlení a zastavení vřetene. Akcelerace vřetene se uskuteční do 0,15 vteřiny. Řídicí systém stroje je vlastní systém firmy Brother, typ *CNC-C00*.

Vzhledem k obrábění čtyř dílců na jedné straně palety je čas obrábění delší než čas výměny dílců. Při vyhodnocení špatného založení dílců do upínačů stroje robot tuto dávku odveze do skluzu špatných dílců a po ofouknutí ustavovacích prvků upínacích bloků založí dílce nové. Vzhledem k méně než polovičnímu času výměny dílců oproti času obrábění, toto znovu upnutí druhé dávky dílců neprodlužuje výrobní cyklus. Obráběcí stroj je pro automatizovanou výrobu dílců vybaven dopravníkem třísek a odsáváním mlhy procesní kapaliny z pracovního prostoru. Prostor přední části stroje pro výměnu obrobků za polotovary je upraven pro přístup robotu a je vybaven světelnou bezpečnostní závorou namísto mechanických dveří. Prostorové uspořádání významných komponent z hlediska bezpečnosti a obsluhy prvního stroje je zrcadlové oproti druhému stroji.

3.10.3 Pneumatická kontrola dosednutí obrobku SMC ISA3-GFP-1N

Výběr čidla pro kontrolu dosednutí dílce proběhl na základě velikosti mezery mezi ustavovací plochou základny upínacího bloku a zakládáním dílcem. Očekávaná velikost mezery činí 0,05 mm. Pneumatická kontrola dosednutí obrobku je zvolena od japonské firmy SMC Corporation typu ISA3-GFP-1N pro měření mezery v intervalu 0,02 – 0,15 mm (příloha 1, obrázek 47). Technické specifikace jsou sepsány na základě příručky vzduchové detekce mezer od zmíněného výrobce [34].

Měřicí zařízení SMC ISA3-GFP-1N nám slouží k získání informace, zda je dávka obrobků správně umístěna či nikoli. V případě správného umístění obrobků na ustavovací detekční plochy s vyústěním měřicích hubic na přípravku dojde k sepnutí měřicího zařízení, tím získáváme do PLC logickou 1. Tento stav značí úspěšný dotlačovací cyklus zakončení robotu a upnutí dílců silovými bloky bez odtlačení dílců od detekční plochy. Měření polohy obrobku v automatizované výrobě nám slouží k vyvarování se chyb špatného založení dílce, špatného dotlačení dílce robotem, založení polotovaru špatného geometrického tvaru a také při zakládání na znečištěné místo ustavovací základové plochy, nebo upínacích prvků přípravku stroje. Všechny tyto faktory by mohly být zdrojem chyb založení dílce a následně by tento stav vedl k obrobení špatného geometrického tvaru obrobku nebo ke špatné kvalitě obrobených ploch vlivem chvění dílce. Pokud nastane detekce špatně založeného dílce, je skupina dílců robotem přemístěna do skluzu špatných dílců a následně je po ofouknutí ustavovacích prvků a čelistí upínacího přípravku založena nová dávka.

Připojení, montáž a nastavení vzduchové kontroly dosednutí obrobku se nachází v příloze 4.

3.10.4 Laserová bezkontaktní sonda Renishaw TRS2

Tato kapitola je sepsána na základě montáže, připojení sondy do obráběcího stroje a jejího potřebného základního nastavení. Technické specifikace jsou převzaty z katalogu firmy Renishaw [35].

V automatizované výrobě a také v případě obrábění stopkovými nástroji je doporučena detekce poškozeného nástroje (příloha 1, obrázek 48). Pokud dojde k pokusu o obrábění se zalomeným nástrojem, je v lepším případě proces zastaven z důvodu přetížení vřetene nebo os stroje. V horším případě vede tato situace při špatném nastavení hodnot přetížení k destrukci upínacích elementů přípravku nebo uložení vřetene. Této kolizi je zabráněno instalací bezkontaktní sondy. Tento systém

přináší velmi rychlou, spolehlivou a bezkontaktní informaci o nástroji použitým v obráběcím centru (vrták, závitník, čelní fréza, kulová fréza, drážkovací fréza). Analýza nástroje probíhá vysláním laserového paprsku z vysílače sondy a přijímáním odrazů paprsku na přijímači od rotujícího nástroje. Tento proces může probíhat za přítomnosti procesní kapaliny pomocí filtrace nahodilých odlesků. Použitý typ laseru je laser druhé třídy. Detekce a zpracování informace o stavu nástroje probíhá v čase do jedné vteřiny.

Tento způsob detekce je výjimečný, většina detekcí jiných značek probíhá na základě informace o přerušení laserového paprsku – nástroj je v pořádku, a paprsku nepřerušeno – nástroj je zalomen. Firma Renishaw si tuto novou technologii ToolWise, která pracuje na principu analýzy přijímaného odraženého paprsku, snaží patentovat. Tento nový způsob detekce výborně rozlišuje mezi nástrojem a procesní kapalinou s třískami. Detekce nástroje probíhá až do vzdálenosti 2 m.

Připojení, montáž a nastavení sondy Renishaw TRS2 je popsáno v příloze 5.

3.10.5 Hydraulický agregát Hydac

V následujícím textu je popsán vybraný hydraulický agregát, jeho dílčí komponenty a potřebné nastavení pro tento druh upínání dílců. Dle hydraulického schématu je popsán cyklus a základní princip funkce agregátu. Výrobce hydraulického agregátu je česká firma HYDAC, spol. s r.o. Typ agregátu CO1-MF21VB08_3,7 byl vybrán na základě žádaného výstupního tlaku pro zajištění potřebného ovládacího tlaku upínacích silových bloků. Mezi nesporné výhody tohoto agregátu také patří minimální zástavbové rozměry a velmi tichý chod. Následující text vychází z prvotního uvedení zařízení do provozu. Technické specifikace a hodnoty nastavení jsou převzaty z průvodní dokumentace výrobce [36].

Hydraulický agregát je určen k ovládní hydraulických upínacích bloků obou přípravků obráběcího stroje. Hydraulický agregát je vyobrazen v příloze 6, na obrázku 53. Umístění hydraulického agregátu nevyžaduje speciálně oddělený prostor, je schopen být vystaven běžnému pracovnímu prostředí. Je pouze třeba zabezpečit dostatečný prostor pro seřízení a obsluhu agregátu. Hydraulický agregát je charakteristický takzvanou funkcí stop-start. Tato funkce způsobuje start motoru pro doplnění tlaku pouze tehdy, když klesne požadovaný tlak pod jeho spodní úroveň. Tato vlastnost se liší oproti agregátům, kde motor běží stále a regulace tlaku probíhá pomocí ventilu. Pro realizaci RTP je zapotřebí celkem dvou hydraulických agregátů nasazených pro každé obráběcí frézovací centrum. Tento hydraulický agregát ovládá silové bloky upínacích přípravků na každé straně palety. Hydraulický agregát je namontován z boku těla dopravníku třísek.

Jednotlivé komponenty hydraulického agregátu (příloha 6, tabulka 12), hydraulické schéma (příloha 6, obrázek 55), seřízení prvků a kontrolní činnosti jsou popsány v příloze 6.

Vysvětlení funkčnosti hydraulického agregátu

Hodnoty uvedené v závorkách odkazují na pozici komponenty v sestavě agregátu v příloze 6, na obrázku 53, a na hydraulické schéma přílohy 6, obrázku 55.

Hydraulický agregát, schematicky vyobrazený v příloze 6, na obrázku 55 se skládá ze základního kompaktního bloku ohraničeného vyšrafováním a označeného číslem 10. Na tomto bloku je připevněno čerpadlo, které je na vstupu opatřeno jemností filtru o 350 µm. Jako zásobník provozní kapaliny je zde zespodu připevněna transparentní plastová nádrž osazená teplotním snímačem (90) a nalévacím hrdlem pro doplnění hydraulického oleje. Toto hrdlo je uzavřeno vzduchovým filtrem pro vyrovnání tlaku v zásobníku hydraulického oleje. Na spodní straně nádrže je otvor se zátkou pro vypuštění provozní kapaliny. Elektronický tlakový spínač (70) je zapojen na tlakové větvi pro regulaci

tlaku v akumulátoru (60), který má základní tlak 65 bar. Elektronický tlakový snímač poskytuje informaci o spodní 90 bar a horní 125 bar hranici tlaku a PLC následně řídí start a vypnutí motoru čerpadla. V tomto základním bloku se dále nachází filtr o jemnosti 20 μm a pojistný ventil (100), který chrání celý hydraulický obvod před tlakovým přetížením. Tento pojistný ventil je nastaven výrobcem na hodnotu 140 bar dle možného bezpečného přetížení, je zaplombovaný, a je tudíž zakázáno jej měnit. V případě výskytu vyššího tlaku odvede přebytečný objem kapaliny do větve, která ústí do zásobníku provozní kapaliny. V případě servisního zásahu lze rychle hydraulický obvod odtlakovat za pomoci zkratovacího ventilu. Ten pracuje na podobném principu jako pojistný ventil, v případě otevření ventilu nám odtlakuje tlakovou větev propojením s větví vedoucí do nádrže zásoby hydraulického oleje. Za tímto základním blokem se nachází funkční blok redukce tlaku (20). Tímto blokem zredukujeme tlak na požadovanou hodnotu pro práci v následujících blocích. Redukční ventil se seřizuje manuálně pomocí klíče, odlehčení tlaku v hlavním tlakovém vedení lze sledovat na manometru (80) v určeném měřicím místě. Tento redukční ventil bude nastaven na hodnotu 65 bar. Za blokem redukce tlaku se nachází dva bloky (30) se sedlovými ventily a osazenými hydraulickými zámky. Tyto bloky jsou výstupními komponentami hydraulického agregátu pro ovládání zapojených hydraulických bloků (hydromotorů). Výstupy těchto větví jsou osazeny elektronickými, snadno přeseřiditelnými tlakovými snímači (50) pro zabezpečení zpětné vazby o natlakování větve. Za touto dvojicí bloků ventilů následuje blok (40) s pojistným ventilem, který chrání systém před přetlakováním. Hodnota tlaku lze opět sledovat na manometru (80). Hodnota maximálního tlaku je nastavena na 70 bar. Pojistný ventil, chránící zařízení před tlakovým přetížením, funguje na základě přepuštění provozní kapaliny z tlakové větve do větve vedoucí k zásobníku hydraulického oleje.

3.10.6 Čtvrtá přídavná rotační osa

Pro realizaci přídavné rotační osy byl zvolen motor a protiložisko od japonského výrobce Kitagawa. Jedná se o motor osy typu *CKR160* a protiložisko s brzdou typu *TSR142*. Výběr otočného stolu byl zaměřen na jeho rychlost a opakovatelnost polohování s ohledem na kompaktní řešení z důvodu prostoru nad stolem. Přídavný otočný stůl bude nasazen na obě palety otočného *QT* stolu obráběcího stroje. Technické specifikace popsané v následujícím textu jsou převzaty z příručky *NC rotační stoly* od firmy Kitagawa [37].

NC otočný stůl Kitagawa CKR160

Tento *NC* otočný stůl Kitagawa *CKR160* se používá pro otáčení upínacího přípravku a vzhledem ke kompaktnímu tělesu osy je vhodný do obráběcích strojů menších rozměrů (příloha 1, obrázek 49). Maximální rychlost otáčení je $42 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ a síla krouťícího momentu zabrzdění je 340 Nm při přivedení tlakového vzduchu o hodnotě 0,5 MPa. Přesnost úhlu indexování je 20 sekund a opakovatelnost je ve 4 sekundách. Zpevnění osy je vyvozeno diskovou brzdou, která se skládá ze dvou stacionárních a dvou rotačních disků. Brzdový účinek je rozložen mezi čtyři plochy sestavy, tímto způsobem je zabezpečen vyšší moment upnutí v kompaktním provedení.

Protiložisko Kitagawa TSR142

Protiložisko je umístěno naproti motoru rotační osy a slouží jako podpěra desky upínačů (příloha 1, obrázek 50). Protiložisko je vybaveno pneumatickou diskovou brzdou, může být osazeno i rotační spojkou pro zdroj tlakového media v případě více hydraulických nebo pneumatických komponent.

3.11 Navržené a vyrobené komponenty

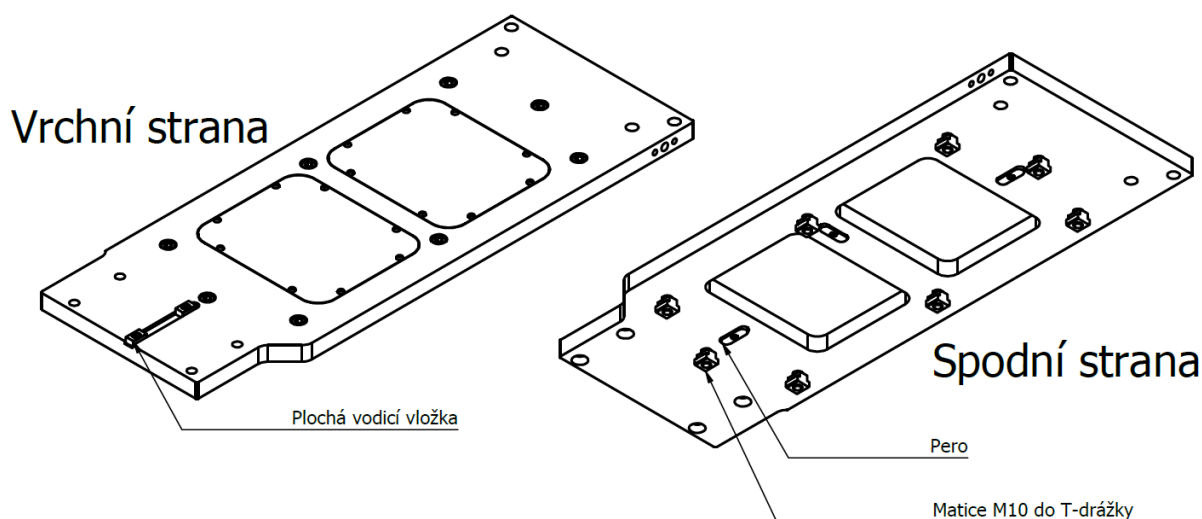
V následujícím textu si představíme vyráběné komponenty upínacích přípravků. Při výrobě jsou kladeny vysoké nároky na přesnost rozměrů, geometrického tvaru a polohy. Při konstrukci je snaha zabezpečit co možná nejnižší hmotnost komponent, které docílíme nejen výběrem vhodného

materiálu, ale též návrhem konstrukčních odlehčení. V neposlední řadě je snaha o jednoduchost konstrukce a výroby se zabezpečením co nejsnazší realizace montáže. Rozměry v ilustrativních obrázcích jsou pouze orientační, poskytují hrubou představu.

3.11.1 Základová deska

Základová deska je navržena a vyrobena tak, aby vytvořila pevné a stabilní spojení mezi motorem osy a protiložiskem a existovala možnost tento celek namontovat na paletový stůl obráběcího stroje (obrázek 19). Ustavení základové desky na stůl obráběcího stroje se děje za pomoci tří per, kterými se zamezí translační pohyb ve dvou osách. Třetí posuvný pohyb je zamezen přichycením přípravku maticemi do T-drážek. Pozice ustavovacích prvků je navržena dle stolu obráběcího stroje, který má 3 T-drážky ve směru strojní osy X a jednu drážku 12H8 pro pero ve směru strojní osy Y.

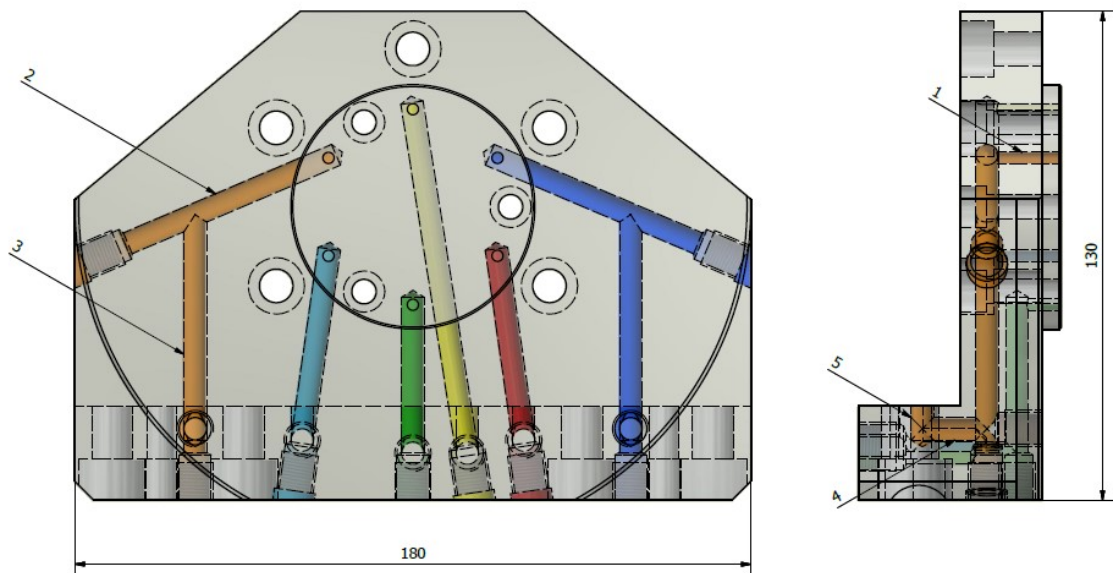
Pro přesné ustavení montážního přípravku z vrchní strany základové desky, tvořícího mezikus mezi motorem osy a základovou deskou, slouží vodící vložky. Základová deska je navržena s otvory pro snížení hmotnosti komponenty a snížení možnosti výskytu nerovnosti plochy se strojem.



Obrázek 19 – Základová deska

3.11.2 Bočnice

Bočnice nám slouží k propojení desky upínačů s motorem osy a protiložiska (obrázek 20). V případě propojení s motorem osy je třeba vyvrtání hydraulických a vzduchových kanálků. Při potřebě více než šesti portů je třeba vyrobení bočnice s kanálky i na straně protiložiska. V našem případě není třeba tvorby dalších portů pro přívod tlakového média. Na obrázku 20 je vidět složitost kanálků, na jejichž výrobu je potřeba velmi zkušených technologů. Některé kanálky jsou vytvořeny pomocí pěti přesných vrtacích operací tak, aby se médium dostalo z čela motoru přidavné rotační osy na spodní boční plochu desky upínačů. Pomocné technologické vrty jsou na povrchu zaslepeny zátkami s lepidlem na zajištění a utěsnění šroubových spojů. Na přívodu a vývodu tekutin je umístěno pryžové těsnění, prsteneček kruhového profilu, tzv. O-kroužek. Čtyři kanálky slouží k přívodu tlakového vzduchu pro kontrolu správného dosednutí jednotlivých dílců. Další dva kanálky slouží pro distribuci hydraulické kapaliny pro upnutí a odepnutí dílců.



Obrázek 20 – Bočnice CKR160

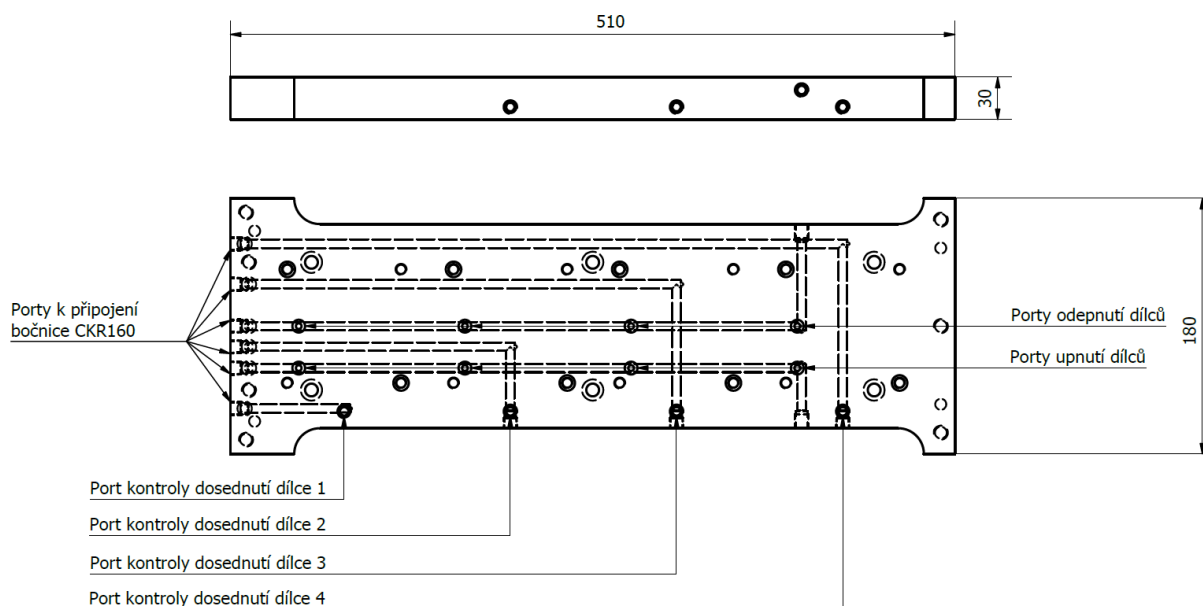
3.1.1.3 Deska upínačů

Deska upínačů je spojena k bočnicím motoru CKR160 a protiložiska TSR142 (obrázek 21). Slouží pro uchycení čtyř hydraulických silových bloků, pro přenos vzduchového média za účelem detekce založení dílců a také pro přenos hydraulického média k upínání, respektive k odepínání upínacích bloků. Z obrázku 21 jsou patrné sdílené hydraulické porty pro upnutí a odepnutí silových bloků a jednotlivé vzduchové porty pro kontrolu dosednutí každého založeného dílce. Médium je distribuováno pouze z bočnice motoru osy CKR160.

Výroba kanálků se provádí dělovými vrtáky pro dosažení minimální odchylky souososti díry, požadované tolerance díry, ale vyžaduje zkušených technologů pro výrobu desky upínačů. Dělový vrták je jednobřitý nástroj se stopkou s kanálkem pro přívod procesní kapaliny k řezu obrobku pro spolehlivý odvod třísek vnější přímou drážkou. Stopka vrtáku je v našem případě vyrobena z nástrojové oceli, má přímou drážku ve tvaru V. Materiálem vrtací hlavice je slinutý karbid. Břit hlavice je vybroušen v požadované geometrii. Na vrtací hlavici se nacházejí vodící lišty, které jsou v kontaktu s obráběným dílcem. Vodící lišty při odtlačujícím se břitu z řezu drží vrták v ose otvoru, také zde dochází k plastické kalibraci plochy otvoru vlivem působení radiálních sil lišt proti povrchu vrtaného otvoru. Tato kalibrace zvyšuje kvalitu povrchu díry.

V případě výroby desky upínačů ve firmě Misan s.r.o. je vodící plocha vrtáku ve formě jedné velké plochy vodící lišty. Otvor musí být předvrtán vrtákem s průměrem větším o 0,03 mm, než je vrtací hlavice dělového vrtáku, a do hloubky pro zavedení celého břitu vrtací hlavice dělového vrtáku. Osa polohy pilotní díry se nesmí lišit oproti poloze dělového vrtáku o více než 0,01 mm. Vrták o rychlosti 100 ot·min⁻¹, s otáčkami vřeteně v opačném směru, je následně zaveden do předvrtané pilotní díry, poté jsou spuštěny otáčky vřeteně ve směru do řezu, provede se spuštění procesní kapaliny při tlaku minimálně 30 bar a začne posuv vrtáku do řezu materiálu. Po dosažení požadované hloubky díry musí být nejdříve vypnut posuv a až následně otáčky nástroje. Nástroj je následně bez otáček vytažen ven z díry.

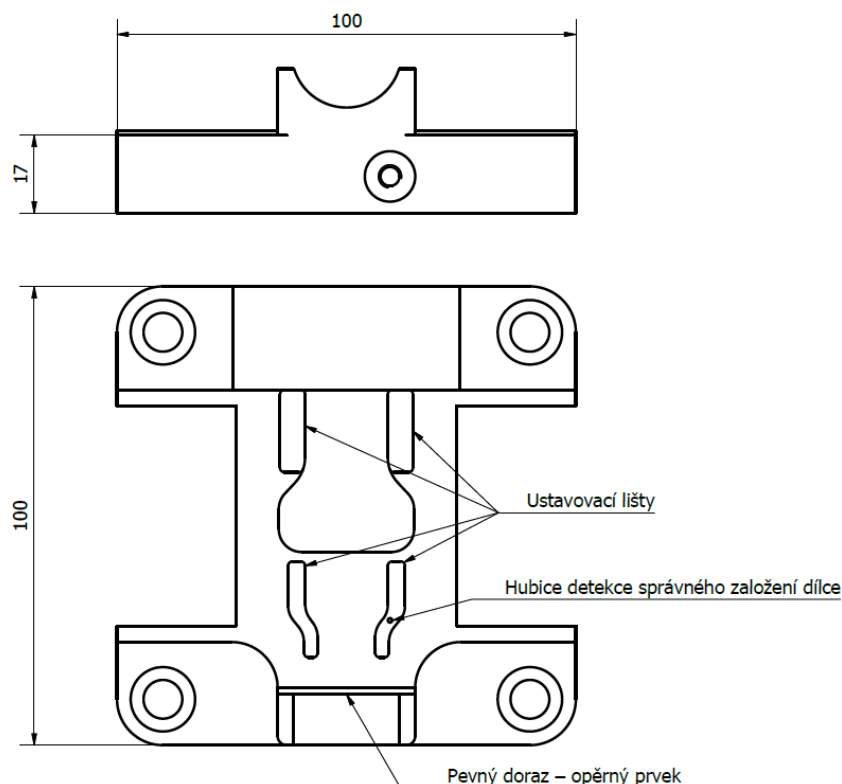
Výrobní pomocné díry jsou opět zaslepeny zátkami a závity jsou zalepeny. V kontaktních plochách komponent je montováno pryžové těsnění ve formě O-kroužku. Deska je z důvodu hmotnosti vyrobena z hliníkové slitiny.



Obrázek 21 – Deska upínačů

3.11.4 Ustavovací plocha základny

Plocha polohování obráběného dílce představuje spodní plochu, to je v případě prvního upnutí vyobrazeno v pohledu 6 na obrázku 14. Tato plocha, od které se vyhodnocují rozměry obráběného dílce, dosedá na ustavovací prvky základny upínacího silového bloku. Ustavovací plochu základny lze také nazývat bridge (obrázek 22). Ustavovací prvky jsou zde ve formě čtyř lišt pro vytvoření ustavovací vodorovné plochy a pevného dorazu – opěrného prvku. Po upevnění obrobku upínacími čelistmi je obrobek vycentrován a pevně fixován v upínacím přípravku. Pevný doraz i ustavovací prvky jsou navrženy tak, aby nevznikla kolize s řezným nástrojem při dosažení požadovaného tvaru obrobku. Funkci opěrného prvku zabezpečuje právě pevný doraz. Těleso bridge je povrchově chemicky vytvrzeno nitridováním do hloubky 0,2 – 0,3 mm pro zvýšení odolnosti otěru povrchu. Po upevnění ustavovací plochy základny do tělesa upínacího bloku čtyřmi šrouby se rovné dosedací plochy ve formě lišt přefrézují pro dosažení rovnoběžnosti s osami stroje. Tloušťka odebírané vrstvy je často v řádu setin milimetrů. Tento postup zamezí nepřesnostem montáže a vykompenzují se výrobní tolerance jednotlivých komponent. Na jedné z lišt se nachází otvor pneumatické kontroly dosednutí obrobku pro rozpoznání správně založeného dílce. Otvor nesmí být sražen ani jinak upravován oproti definovanému průměru kanálu výrobcem pro správné měření SMC detekcí. Přívod tlakového vzduchu pro detekci dílce je z přední části bridge. Dotlačovací cyklus obrobku je zakončením robotu vyvozován pneumatickými válci proti ustavovacím prvkům bridge a pevnému dorazu pro zajištění maximální přesnosti ustavení obrobku. V případě nesprávného dosednutí dílce je tento dílec SMC detekcí vyhodnocen jako chybný a robot tuto dávku dílců dopraví na gravitační skluz špatných dílců. Tento stav může nastat v případě špatného přířezu dílce nebo při nedostatečném ofuku ustavovacích prvků bridge zakončením robotu, opatřeným tryskami pro ofuk dílců, bridge a upínacích čelistí. Pokud tento stav nastane, je zvolenou pneumatickou kontrolou dosednutí dílce identifikován a řídicím systémem správně řešen, vyvarujeme se tak výroby dávky dílců mimo rozměrovou toleranci nebo vlivem nestability dílců výroby špatné kvality obrobeného povrchu. Při vyhodnocení několikanásobně špatně založených dílců je o tomto stavu obsluha výrobní linky informována zbarvením signalizačního sloupku s akustickým výstupem. Ta třísky odstraní z prostoru pro zakládání dílců pomocí manuální trysky napojené na přívod stlačeného vzduchu.

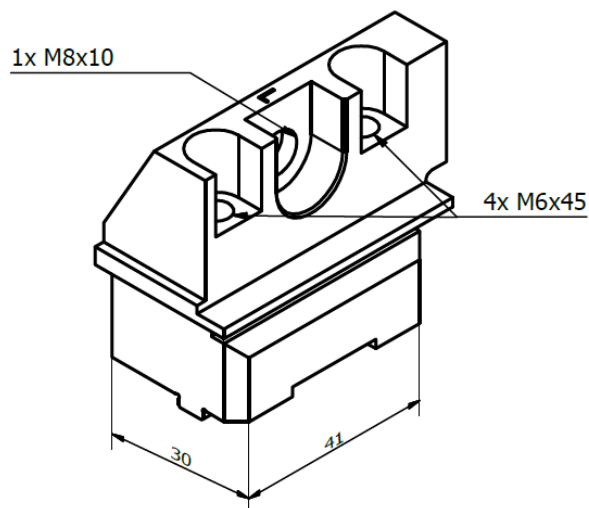


Obrázek 22 – Ustavovací plocha základny

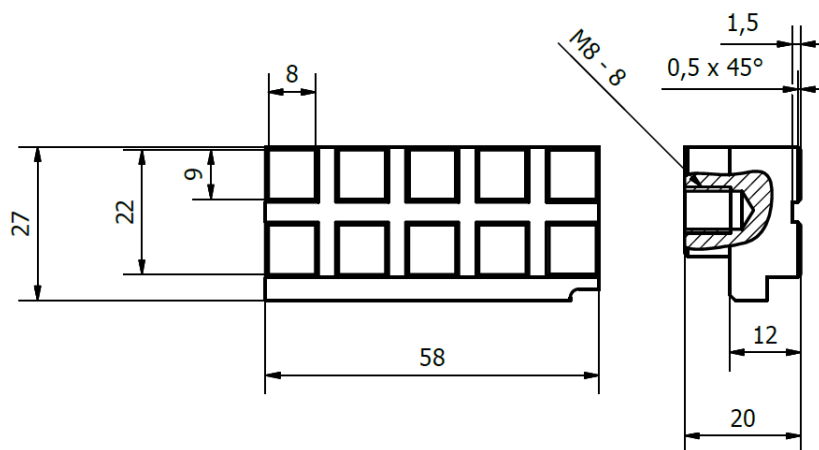
3.11.5 Upínací čelisti

Upínací čelisti jsou v bezprostředním kontaktu s obrobkem za pomoci hydraulického upínacího bloku. Správně navržené čelisti zabezpečí stabilní znehybnění obrobku během celého procesu obrábění. Spodní strana univerzální čelisti je negativem základny čelistí zvoleného upínacího bloku. Plochy obrobku vyobrazené v pohledu 3 a 4 na obrázku 14, za které obrobek budeme upínat, se nebudou obrábět, tudíž nehrozí kolize čelistí s nástrojem.

Čelisti jsou v provedení pravé a levé univerzální čelisti (obrázek 23) a vyměnitelné upínací destičky (obrázek 24). Vyměnitelné destičky jsou použity pro snadné přestavění výroby na jiný obráběný dílec. Vyměnitelné upínací plochy jsou výhodou také v případě opotřebení nebo destrukce. Montáž vyměnitelné destičky je snadná, ustavení probíhá za pomoci válcového osazení a plochy spojené jedním šroubem M8. Vyměnitelná destička je navržena s deseti obdélníkovými segmenty ve dvou řadách pro lepší kontakt čelisti s obrobkem. Tento tvar plochy zlepšuje schopnost upnutí oproti celistvému plošnému tlaku, na který mají zásadní vliv nepřesnosti tvaru polotovaru a nečistoty povrchu. Sestavě čelistí je zvýšena tvrdost nitridováním do hloubky 0,2 – 0,3 mm. Nitridací získáme vyšší tvrdosti než kalením, zároveň součást nemění tvar jako při kalení. Výška upínacích čelistí je stanovena dle pozice dílce, který se nachází na ustavovací ploše základny upínacího bloku. Výška čelistí nesmí přesáhnout maximální rozměr udávaný výrobcem silového bloku z důvodu působení momentu síly na pohyblivé jezdce pro montáž čelistí.



Obrázek 23 – Univerzální čelist



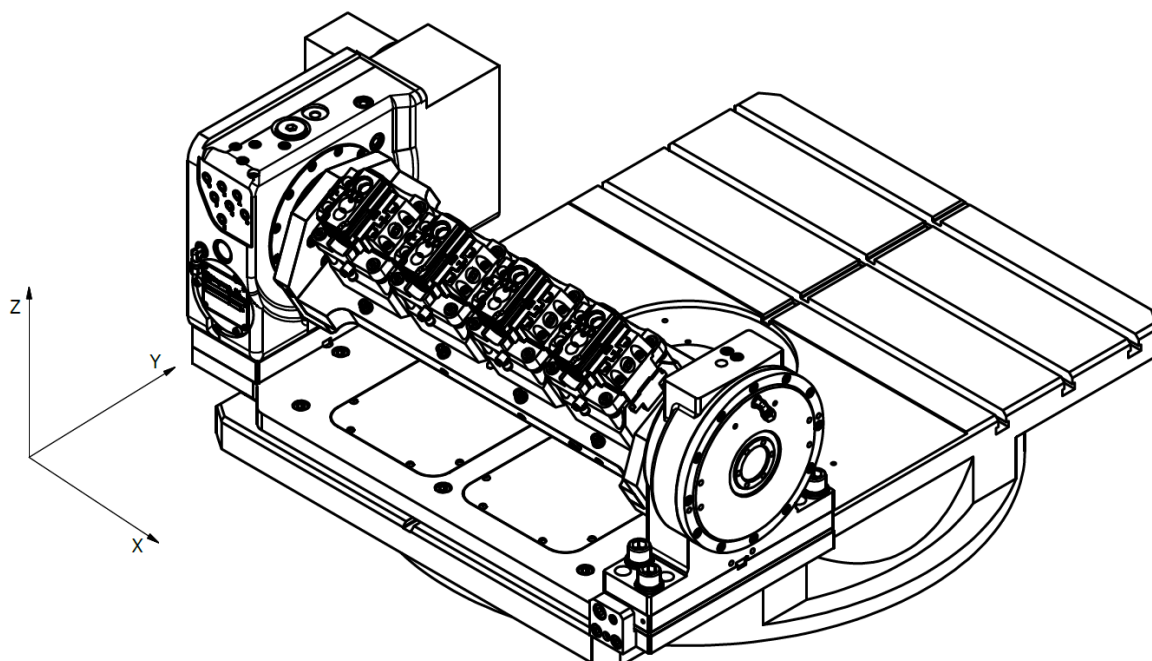
Obrázek 24 – Vyměnitelná destička čelisti

3.12 Instalace přídavné rotační osy obráběcího stroje

V následujícím textu bude popsán postup vyrovnání čtvrté osy obráběcího stroje (kolébky). Tato osa je osa rotační, rovnoběžná s osou X stroje, tudíž je označena jako osa A. Postup montáže přídavné osy vychází z doporučení výrobce a zkušeností nabytých ve firmě Misan s.r.o. Využito bylo také konzultací Ing. Martina Morávka, Ph.D. V této kapitole je směr měření vztahován k osám stroje, které jsou představeny v obrázku 25.

Montáž přídavné rotační osy se skládá z následujících prvků:

- motor rotační osy – Kitagawa *CKR160* (NC otočný stůl Kitagawa *CKR160RS* s vestavěnou rotační spojkou),
- 2 podložky (montážní přípravky),
- protiložisko s brzdou – Kitagawa *TSR142*,
- základová deska,
- 2 bočnice,
- deska upínačů,
- spojovací materiál.

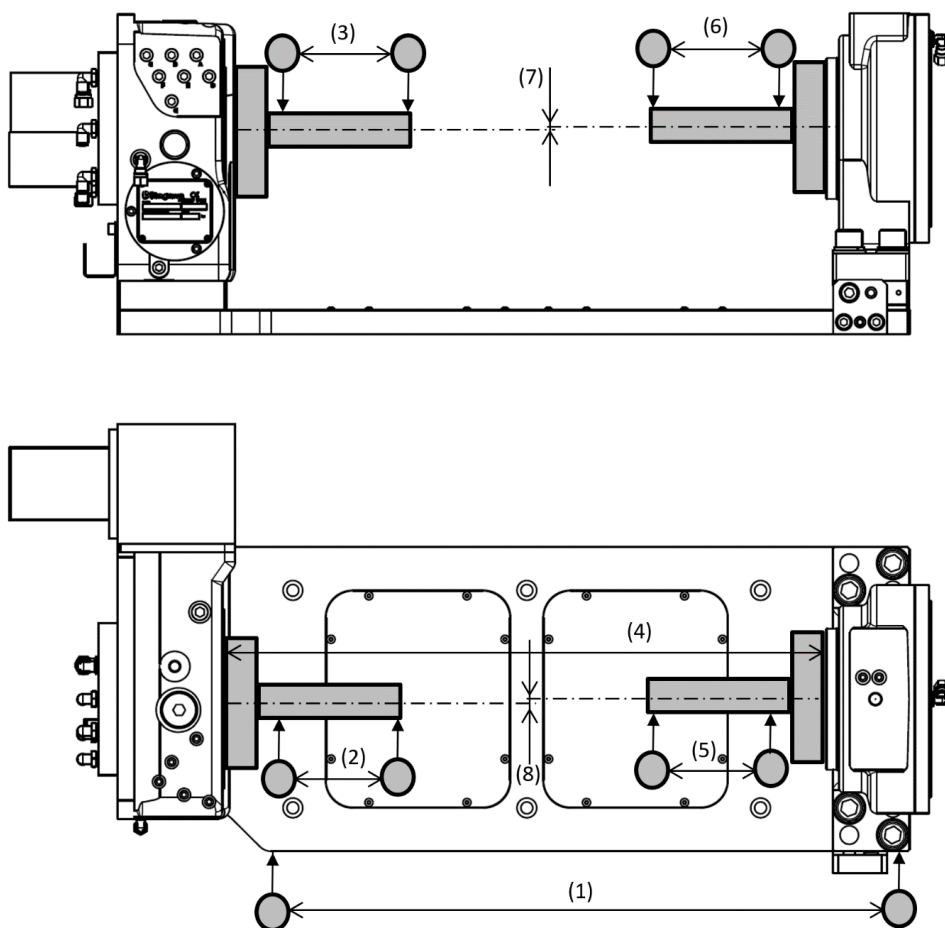


Obrázek 25 – Představení os stroje

Postup instalace přídavné rotační osy popsané níže se odkazuje číslem v závorce na obrázek 26, který schematicky vyobrazuje postup měření číselníkovým úchylkoměrem. Přehled očíslovaných pozic v obrázcích postupu měření pro montáž jednotlivých komponent je uveden v příloze 2, tabulce 10.

V prvním kroku je nutné smontovat motor osy se základovou deskou. Je třeba docílit rovnoběžnosti základové desky s osou otáčení *CKR160* s přesností do 0,005 mm. Toho docílíme a přesnost ověříme při montáži sestavy na frézovací stroj. Základovou desku si upevníme na frézku pomocí magnetického stolu tak, aby bylo možné dotažení montážních šroubů *CKR160* zesponu základové desky. Základovou desku manuálně vyrovnáme rovnoběžně s osou stroje, v případě víceosého stroje pootočíme rotační osou C, která je rovnoběžná s osou Z. O přesnosti vyrovnání se přesvědčíme za pomoci číselníkového úchylkoměru připevněného přes magnetický stojánek na vřetení frézovacího stroje (1). Na *CKR160* připevníme podložku a vyrovnáme motor osy kolmo na základovou desku. Kolmost se zkontroluje pohybem strojní osy Y v horizontální rovině. Následně proběhne kontrola kolmosti mezi *CKR160* a základovou deskou ve svislé rovině pohybem osy Z a při zjištění větších odchylek se nechá zbrousit podložka, tvořící mezikus mezi motorem osy a základovou deskou. Kolmosti dosáhneme zbroušením do tvaru klínu, případně vypodložením motoru planžetou. Tímto postupem je zaručena rovnoběžnost základové desky s rotační osou otáčení motorem *CKR160*. Vyrovnání rotační osy též docílíme za použití přesného trnu. Ten namontujeme na osu tak, aby při otáčení osy nevykazoval házení. Poté zkontrolujeme rovnoběžnost trnu se strojní osou X ve vodorovné rovině pro případ natočení motoru v jeho ose (2). Dále provedeme měření za pomoci strojní osy X ve svislé rovině pro případné broušení přípravku do tvaru klínu (3).

V následujících krocích již budeme pracovat v obráběcím stroji, na kterém instalujeme přídavnou osu. Sestavu základové desky a *CKR160* vložíme do stroje. Pomocí přesného trnu připevněného na *CKR160* vyrovnáme sestavu se základovou deskou rovnoběžně s osou X. V případě montáže trnu je třeba ho správně namontovat na přírubu motoru a šrouby dotáhnout tak, aby sestava vykazovala malé odchylky během rotace motoru s trnem. Tento stav zkontrolujeme úchylkoměrem během rotace osy. Následně základovou desku upevníme ke stolu frézovacího stroje za pomoci montážních šroubů a matic do T-drážek.



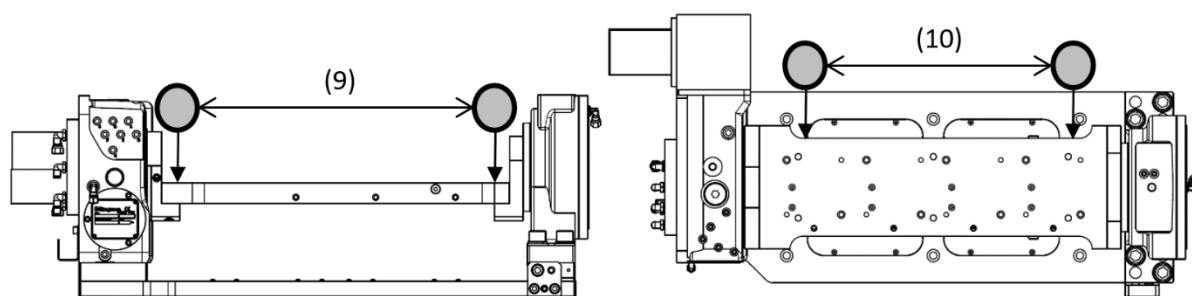
Obrázek 26 – Měření na trny ve vertikální a horizontální rovině strojní osy X

Po přesném namontování sestavy základové desky, motoru osy s přesným trnem, namontujeme protiložisko *TSR142* ve vzdálenosti, kterou definuje vložená přesná vymezovací tyč mezi komponenty (4). Následně po namontování přesného trnu na protiložisko a zajištění minimálního házení provedeme vyrovnání *TSR142* s osou X stroje, vyrovnání je měřeno úchylkoměrem ve vodorovné rovině (5). Následně provedeme měření odchytky rovnoběžnosti ve svislé rovině (6). Naměřenou hodnotu odchytky použijeme pro zbrúšení podložky do tvaru klínu nebo pro vypodložení protiložiska planžetou. Zároveň se provede měření odchytky sousososti mezi *CKR160* a *TSR142* v rovině svislé (7). Odchytku vykompenzujeme broušením podložky protiložiska *TSR142* nebo vypodložením protiložiska planžetou. Maximální odchytka ve zmíněných případech nesmí přesáhnout hodnotu 0,01 mm na 100 mm.

Po zbrúšení podložky pod protiložiskem zkontrolujeme následující rozměry. Zkontrolujeme vzdálenost mezi *TSR142* a *CKR160*. Zkontrolujeme rovnoběžnost trnu na protiložisku se strojní osou X jak ve vodorovné, tak i svislé rovině. Rovnoběžnost zde může vykazovat odchytku maximálně 0,005 mm na délce 100 mm. Odchytka sousososti může dosahovat maximální hodnoty o průměru obálky 0,01 mm (8). Ve vodorovné rovině lze protiložisko seřídít za pomoci přitahovacích a odtlačovacích šroubů přípravku.

Následujícím krokem je instalace bočnic a desky upínačů (obrázek 27). Rotační osu nastavíme do vodorovné polohy 0° a provedeme měření rovnoběžnosti desky upínačů ve svislé rovině s osou X stroje (9). Odchytka nesmí být větší než 0,03 mm na maximální délce desky upínačů. V případě větší odchytky je třeba zbrúšení jedné z bočnic nebo její vypodložení. Desku upínačů následně vyrovnáme ve

vodorovné rovině se strojní osou X s maximální odchylkou 0,02 mm na maximální délce desky upínačů (10).

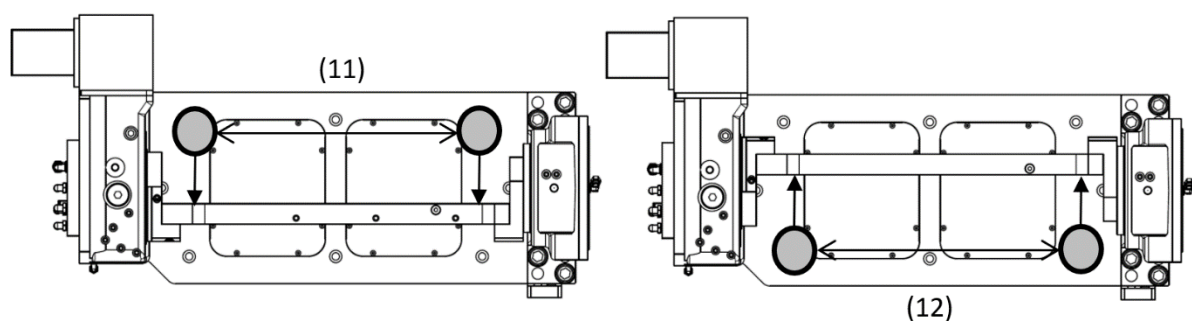


Obrázek 27 – Vyrovnání desky upínačů

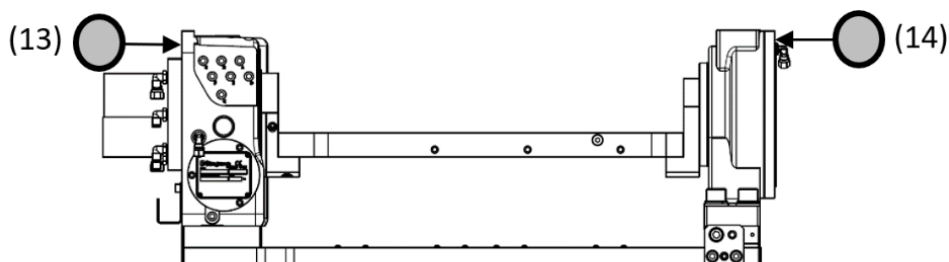
Po vyrovnání desky upínačů a dotáhnutí montážních šroubů je třeba skolíkování desky upínačů s bočnicemi pro zabezpečení neměnnosti polohy sestavy.

Po smontování přídavné rotační osy se provede finální kontrola. Celková kontrola sestavy kolébky se skládá z kontroly rovnoběžnosti boční plochy desky upínačů s pohybem osy X stroje v horizontální poloze (10) a kontroly rovnoběžnosti horní plochy při natožení rotační osy na 90° (11) a 270° (12) (obrázek 28). Maximální odchylka je 0,03 mm na maximální délce desky upínačů. Odchylka může být kombinací difference výšek bočnic a odchylky sousostí motoru *TSR142* a protiložiska *CKR160*.

Správnost postupu a přesnosti montáže se ověří měřením deformace motoru osy (13) a protiložiska (14) při otáčení této přídavné rotační osy (obrázek 29). Měření probíhá z boku na motoru rotační osy a protiložisku ve směru osy X. Maximální přípustná deformace sestavy za pohybu osy má hodnotu 0,02 mm.



Obrázek 28 – Kontrola desky upínačů při natáčení



Obrázek 29 – Měření deformací přídavné osy

3.12.1 Zakrytování přídavné rotační osy

Otvory základové desky vytvořené pro snížení hmotnosti jsou zakrytovány krycími plechy. Dále jsou namontovány krycí stěny z nerezového plechu pro snazší schopnost odvedení třísek, vznikajících během obrábění, do vany pod paletou vedoucí k dopravníku třísek. Tvar krytí je navržen tak, aby ofuk z trysek na koncovém efektoru robotu zabezpečil přemístění třísek z plochy palety směrem k dopravníku třísek a nenastalo hromadění třísek v žádném z prostorů. Hromadění třísek by se projevilo špatným zakládáním dílců a následně by vyžadovalo nutnost jejich ručního odstranění obsluhou. Navržené krytování zároveň zvyšuje odolnost motoru rotační osy a protiložiska a také zabezpečuje krytování hydraulické spojky. Zakrytování přídavné rotační osy je vyobrazeno v příloze 1, na obrázku 52.

3.13 Kontrolní činnosti po instalaci přípravků

Po připojení hydraulického rozvodu je třeba před spuštěním do výrobního cyklu odzkoušet v manuálním režimu, že systém upínání neprosakuje. Po namontování zmíněných komponent, zkontrolování dotažení šroubů momentovým klíčem a nalití dostatečného množství hydraulické kapaliny je třeba odvdušnit hydraulický oběh. Toho se docílí několikerým přestavením upínacích bloků s odvdušňovacími ventily do krajních poloh. Pokud se krajních poloh dosáhne bez opožděné reakce, je obvod odvdušněn. Během přestavování hydraulických ventilů se projeví i případný prosak kapaliny u komponent hydraulického oběhu, který se řeší výměnou těsnicích a zaslepujících prostředků nebo větším dotažením komponent. Po odstranění netěsností se v případě nutnosti dolije hydraulická kapalina na požadovanou hodnotu, která je určována ryskou hladiny na hydraulickém agregátu. Po ustálení tlaku se nastaví tlakové senzory větví hydraulického agregátu. Ustavovací plochy základny upínacích bloků se přefrézují do potřebné hloubky pro zajištění rovnoběžnosti ploch vůči strojním osám. Tím se zamezí nepřesnostem montáže a vykompenzují se výrobní tolerance jednotlivých komponent. Následně je třeba odzkoušet založení a upnutí dílců. Dílce musí být po upnutí vystředěny, zkoumá se jejich přizvednutí. Pokud je opakovatelnost přizvednutí upnutých dílců v rozmezí, které nebude mít vliv na stabilitu výroby, nastaví se pneumatická detekce založení dílce. V případě neopakovatelnosti upnutí polotovaru je nutná modifikace tvaru upínacích prvků, která nestabilitu výroby vyřeší. V případě stabilního upnutí dílců se zaměří jednotlivé upínací bloky s dílci a vytvoří se korekce pozic jednotlivých dílců. Pozice upínacích bloků se zaměří obrobkovou sondou nebo analogovým 3D snímačem. Poslední kontrolní činností je odzkoušení možnosti odebrání, založení a dotlačení dílců chapadlem robotu. Při této činnosti se nastaví žádaný tlak dotlačujících pneu válců EF robotu pomocí redukčního ventilu.

Zmíněné kontrolní činnosti proběhly standardně, bylo provedeno potřebné nastavení komponent a bylo prokázáno, že přípravky jsou schopné funkce ve výrobě. V provozu se následně ověřila i schopnost odvedení třísek z funkčních ploch upínacích přípravků, a to ofukem ze zakončení robotu. Tvorba třísek požadovaných vlastností pro automatizovanou výrobu je zabezpečena volbou vhodných řezných podmínek. Navržené upínací přípravky nasazené v RTP splnily požadovanou stabilitu fixace dílců. Stabilita byla dodržena na základě změření 24 zkušebních vzorků těles ventilů a získání hodnot ukazatele způsobilosti procesu $C_{pk} \geq 1,66$, které jsou definovány zákazníkem pro akceptaci převzetí výrobní buňky. Proces je schopen trvalé výroby dílců ve vyhovujících tolerančních mezích. Zároveň byl dodržen cyklový čas výroby dílce pod 60 sekund, kterému přispěly následující vlastnosti: schopnost upínacích přípravků opakovatelně precizně ustavit dílce, schopnost rychlého a spolehlivého vyhodnocení dosednutí dílců pneumatickou kontrolou a v neposlední řadě také možnost rychlého upnutí a odepnutí dílců.

3.13.1 Instalace, kontrolní činnost a zhodnocení provozu RTP

Instalace vybraných strojů a technických zařízení s vyrobenými potřebnými komponentami se skládá z několika na sebe navazujících činností, které musí být precizně provedeny s cílem montáže RTP v jeden funkční celek. Zprvu je vytvořen plán půdorysu obsahující všechny potřebné informace pozic instalovaných zařízení a pozic montážních prvků. Následně se dle tohoto výkresu zaměří a vyznačí obrys zařízení v prostoru podlahy požadovaném pro instalaci RTP. Po rozkreslení všech potřebných kontur se tato činnost zkontroluje z důvodu její důležitosti, vlivu na navazující činnosti.

Po vybalení z ochranných prvků se instalované komponenty dopraví na požadované vyznačené pozice a je provedeno jejich vyrovnání. V případě, že souhlasí vyznačený obrys pozic montážních prvků na podlaze s přivezenými zařízeními, provede se jejich kotvení. Kotvení probíhá pomocí pevnostních závitových tyčí uložených v chemické kotvě, nebo za pomoci průvlakových ocelových kotev se šestihrannou maticí. Pro vyvrtání otvorů kotev vrtačkou s příklepem s vidiovým vrtákem do betonu je v některých případech potřeba odsunutí kotvené komponenty z důvodu potřebného prostoru pro realizace děr. Po vyvrtání a očištění stěn díry ocelovým kartáčem se provede, v případě použití průvlakových kotev, vyrovnání zařízení a jejich ukotvení. V případě použití chemické rychletvrdnoucí kotvy je tato kotva injektována do vyvrtaného a očištěného otvoru. Následně se otáčivým pohybem vloží závitová tyč a je procesu poskytnuta dostatečná doba pro vytvrnutí. Doba tvrdnutí je závislá především na chemickém složení kotvy a na okolní teplotě.

Po mechanickém seřízení zařízení a jejich vyrovnání dle vodováhy je provedeno dotažení kotvicích prvků k zemi. Seřízení je provedeno nejen vzhledem k pozici komponent v prostoru, ale i z hlediska jejich vyrovnání dle vodováhy. Instalované stroje jsou přesně vyrovnány za pomoci elektronických libel, ostatní zařízení jsou seřizena pomocí libel strojních. Seřízení obráběcích center dle vodováhy je provedeno pomocí ustavovacích šroubů, které jsou následně zajištěny kontra maticí. Zabezpečení neměnnosti polohy obráběcích strojů je realizováno přitáhnutím stroje upínkami k podlaze.

Následně jsou nataženy propojovací napájecí a datové kabely, vzduchové a hydraulické hadice, vše je připojeno pro zabezpečení distribuce medií. Je doplněna potřebná hydraulická kapalina do zásobníků hydraulických agregátů a procesní kapalina do van dopravníků třísek obráběcích strojů. Po kontrole dosavadní činnosti je RTP připojeno ke zdroji přívodu tlakového vzduchu a silové elektřiny. Provede se prvotní spuštění RTP s kontrolou napájení a komunikace komponent. Dále jsou seřizena čidla a redukční a škrticí ventily hydraulického a pneumatického obvodu. V tomto stavu se začne s učením pozic robotu, během kterého se ověří schopnost dosažení všech potřebných pozic přikotvených komponent. Zkontroluje se geometrie obráběcích strojů, zaměří se vybrané obráběcí nástroje a pozice založených těles ventilů, a optimalizují se řezné podmínky procesu. Během tohoto seřizování a testování výrobního procesu se ověří schopnost ofuku důležitých ploch upínacích přípravků a neměnnost ustavení založených obráběných dílců těles ventilů.

Mezi hlavní stroje RTP patří dvě obráběcí frézovací centra značky Brother a robot značky Fanuc. Vybrané obráběcí stroje jsou pro řešenou aplikaci vhodné zejména svými vysokými rychlostmi rychloposuvu a schopností rychlé výměny nástroje. Zároveň jsou tato vysokorychlostní frézovací centra vybavena dvoupaletovým systémem otočného stolu, kterým se výrazně eliminují vedlejší časy vyložení a založení dílců. Tuhost a přesnost obráběcích strojů je dostatečná pro výrobu dílců ventilů. Obráběcí centra jsou vybavena dopravníky třísek pro možnost téměř nepřetržitého provozu výroby. Angulární robot Fanuc je vybavený zakončením robotu pro uchopení dávky čtyř dílců. Robotem je zabezpečen odběr, transport, založení, dotlačení dílců a zároveň ofuk funkčních ploch upínacích přípravků. Obráběcí frézovací stroje jsou vybaveny nástrojovou laserovou sondou Renishaw. Tato bezkontaktní sonda byla vybrána z důvodu rychlé a přesné detekce poškozeného nástroje, je vhodná pro použití

v automatizované výrobě. Pro vyhodnocení správného založení dílců byla zvolena pneumatická kontrola dosednutí dílců od firmy SMC. Navržený systém pro získání informace o správném založení, ustavení, dotlačení a upnutí dílců přispívá k výrobě dílců stabilní požadované kvality. Sestava upínacích silových bloků, nacházejících se na upínacích přípravcích nasazených na obou stranách palety obráběcího stroje, je ovládána hydraulickým agregátem značky Hydac. Hydraulický agregát poskytuje potřebný ovládací tlak v kompaktních zástavbových rozměrech. Potřebné natočení dílců je zabezpečeno instalovanou čtvrtou přídatnou rotační osou značky Kitagawa. Silové hydraulické upínací bloky, umístěné na desce upínačů, jsou otáčeny tímto *NC* rotačním motorem a jsou vypodloženy protiložiskem. Vybraný *NC* otočný stůl s protiložiskem zabezpečuje přesné, rychlé a opakovatelné indexování, a to v kompaktních rozměrech řešení. Kompaktní tělo přídatné rotační osy s vybranými silovými bloky malé výšky zvyšují pracovní prostor obráběcího stroje, je zaručen lepší přístup vřetena stroje s nástrojem k obrobku. Hydraulické silové upínací bloky byly vybrány od německé značky Schunk, protože dosahují pevného, stabilního a opakovatelného upnutí dílců. Ostatní komponenty upínacích přípravků byly navrženy a vyrobeny tak, aby byla zabezpečena produktivní, kvalitní a stabilní výroba těles ventilů.

Příslušenstvím *RTP* jsou tři skluzy, výstupní drátěný koš a otáčecí stanice. První skluz vytváří zásobu polotovarů do buňky a druhý slouží pro vyvedení dávky čtyř dílců z *RTP*, která je vzduchovou kontrolou dosednutí vyhodnocena jako špatně založená. Každý z obou skluzů zabezpečí kapacitu více než 100 dílců. Třetí skluz, skluz dílců pro externí změření, je zařízení určené pro zabezpečení vyvedení dávky dílců z *RTP* s cílem kontroly rozměrů vyrobených dílců, a to bez nutnosti přerušení chodu výrobní linky. Výstupní koš je naplněn obrobeky tělesy ventilů z druhého obráběcího frézovacího stroje a následně je převezen do mycího zařízení dílců. Otáčecí stanice zajišťuje otočení dílců mezi prvním a druhým obráběcím frézovacím centrem, nachází se mezi obráběcími centry. *RTP* je oploceno bezpečnostním hrazením pro zajištění bezpečnosti osob a stabilních podmínek výroby. Výrobní proces je ovládán obsluhou za pomoci grafického panelu. Komunikace je doplněna světelným signalizačním sloupkem s akustickým výstupem.

Robotické technologické pracoviště s možností zásoby více než 100 polotovarů je déle než 1,5 hodiny bezobslužné, s cyklovým časem výroby dílce pod 60 sekund. Objemový výkon obrábění je v obráběcím centru 1 o 50 % větší než v obráběcím centru 2. Z tohoto důvodu je potřeba častějšího vyprazdňování zásobníku třísek u stroje 1. Řezné podmínky obrábění byly na obou strojích optimalizovány pro produktivní výrobu dílců požadované kvality s tvorbou tvaru třísek vhodného do výrobní automatizace. Seřízení redukčních a škrticích ventilů uchopovačů robotu bylo dosaženo spolehlivého upnutí dávky dílců a následného založení a dotlačení na ustavovací plochy upínacích silových bloků obráběcího stroje. Vhodně nastavená sensorika jednotlivých pneuválců a seřízení tlakových snímačů hydraulické soustavy poskytuje potřebné informace o stavu zařízení, které napomáhají ke spolehlivosti *RTP*. Optimalizace pohybů robotu také přispívá k žádané produktivitě výroby. Pro spolehlivou výrobu dílců ventilů konstantní požadované kvality byl navržen interval pravidelné údržby. V intervalu do tří hodin je třeba manuálního ofuku důležitých komponent upínacích přípravků s vizuální kontrolou stavu řezných nástrojů. Stabilní chod *RTP* závisí na neměnné kvalitě vstupních polotovarů. Stabilita funkce výrobní linky je ovlivněna odchylkou tvaru a chemického složení materiálu vkládaného polotovarů. Každý vyrobený dílec je po umytí zkontrolován vizuálně a rovněž ověřen kalibry rozměrů a tvarů ploch. V intervalu do jedné hodiny je komplexně přeměřena dávka osmi vyrobených dílců v metrologickém oddělení. Tato dávka je získána z druhého obráběcího stroje ze čtyř upínacích silových bloků na každé z obou stran dvoupaletového systému. Získané informace slouží pro korekci *NC* programů strojů s cílem dosažení požadované kvality výroby. Dále jsou výrobní programy upraveny v případě tvorby třísek nevhodného tvaru pro automatizovanou výrobu.

4 Závěr, shrnutí hodnocení a návrh doporučení

Předložená diplomová práce se zabývá problematikou upínání přířezů z hliníkových slitin v automatizované výrobě dle stanovených cílů. V teoretické části, která zkoumá stav problematiky, jsou představeny druhy obráběcích přípravků, dále prvky, ze kterých se upínací přípravky skládají, a také zásady a postupy konstrukce upínacích přípravků nasazených v obráběcích strojích. Dále je součástí řešerše představení speciálních upínacích přípravků využitých v automatizované výrobě, které jsou navrženy, vyrobeny a realizovány ve firmě Misan s.r.o. Tato firma se zabývá prodejem, instalací, školením a servisem japonských CNC obráběcích strojů a aditivními technologiemi pro spékání práškových kovů laserovým nebo elektronovým paprskem. Součástí portfolia je též poradenská činnost, návrh technologií obrábění a nasazení CNC strojů do výrobních linek s pomocí angulárních průmyslových robotů.

Vypracované řešení experimentální části diplomové práce je praktickým přínosem řešené problematiky upínání obrobků. Praktická část se zabývá celkově čtyřmi upínacími přípravky, instalovanými v CNC frézovacích centrech, které jsou součástí robotického technologického pracoviště s automatizovaným charakterem výroby. Těmito upínacími přípravky, nasazenými v RTP, jsou vybavena dvě obráběcí frézovací centra s dvoupaletovým systémem otočného stolu. Každý upínací přípravek je součástí přídatné rotační osy a je osazen sestavou čtyř upínacích silových bloků. Upínací přípravky, sloužící ke stabilnímu upnutí vyráběných dílců ventilů z hliníkových slitin, byly navrženy, vyrobeny, smontovány, odzkoušeny a kriticky zhodnoceny s cílem zlepšení stability funkce.

Navržené upínací přípravky přířezů z hliníkových slitin jsou funkční, proces výroby je stabilní, spolehlivý a časově stálý. Frézovací upínací přípravky jsou přesně ustaveny na stoly frézek za pomoci drážek a per, připevněny jsou maticemi do T-drážek. Přípravky jsou součástí robotického technologického pracoviště, které je do určité míry bezobslužné. Mezi hlavní stroje RTP patří zvolená dvě CNC frézovací centra Brother, která jsou osazena navrženými upínacími přípravky. Zásoba polotovarů těles ventilů pro výrobní buňku činí přes 100 dílců. Časy obrábění jsou na obou strojích téměř stejné, trvají okolo jedné minuty. Objemový výkon obrábění je na prvním obráběcím stroji o 50 % větší než na druhém. Tato vlastnost se projeví zvýšenou potřebou vyprazdňování zásobníku třísek oproti druhému stroji.

Upínací hydraulické silové bloky pro vnější upnutí dílců pomocí dvou posuvných centrujících prvků byly vybrány od německé značky Schunk na základě výpočtu potřebné upínací síly. Upínací síla vychází ze spočítané maximální hodnoty vnější síly působící na obrobek v nejméně příznivém směru. Tato síla byla stanovena pro proces vrtání dílce ventilu ze slitiny hliníku, a to hrubovacím karbidovým sdruženým vrtákem ve směru působení axiální síly od pevných opěrných prvků přípravků. Na základě stanoveného vstupujícího tlaku hydraulických upínacích bloků byl vybrán hydraulický agregát od firmy Hydac s definovaným výstupním tlakem. Sestava čtyř upínacích bloků je nainstalována na navrženém stole otočné přídatné rotační osy, která je poháněna vybraným NC otočným stolem firmy Kitagawa a je podepřena protiložiskem.

Navržené upínací elementy hydraulických upínacích bloků jsou kompatibilní s uchopovačem robotu od firmy Fanuc a dalšími periferiemi výrobní buňky. Tyto prvky bezpečně a stabilně upnou zakládané dílce polohované navrženými ustavovacími prvky upínací se zvolenou pneumatickou kontrolou dosednutí dílců od firmy SMC. Z hlediska pružnosti výroby jsou upínací a ustavovací prvky navrženy ve vyměnitelném provedení pro přestavbu linky na výrobu jiného typu dílce nebo pro výměnu z důvodu opotřebení prvků. Dosažení přesnosti polohování obrobku je interakcí mezi polohovací plochou obrobku a ustavovacími prvky upínacího přípravku. Navržený systém kontroly správného založení dílců

bezchybně identifikuje nežádoucí stav špatného založení. Chybné založení, dotlačení a upnutí dílců se v provozu vyskytuje v průměru jednou za hodinu z důvodu nedokonalého ofuku ustavovacích a upínacích ploch upínače od třísek, které vznikají během procesu obrábění, nebo z důvodu založení špatného přířezu polotovaru. Pokud tato situace nastane, je zvolenou pneumatickou kontrolou dosednutí polotovaru tento stav diagnostikován a řídicím systémem řešen, což značně přispívá k výrobě dílců požadované kvality. Kontrolovaná stabilita ustavených dílců se projeví především v jejich rozměrové přesnosti a ve výrobě kvalitního povrchu dílců.

Upínací přípravek se nachází na každé straně palety obráběcího stroje a skládá se ze zvolené přídavné rotační osy osazené sestavou čtyř hydraulických upínacích bloků. Bezpečné a tuhé fixování omezí obrobku pohyb a odebere všech šest stupňů volnosti a tím zabezpečí neměnnou polohu obrobku vůči nástroji.

Realizované upínací přípravky spolehlivě fixují obráběné dílce, navržený tvar napomáhá k lepšímu odvodu třísek. Hmotnost přípravků je přijatelná, jelikož zdaleka nepřevyšuje nosnost otočného stolu obráběcího stroje. Zároveň je jejich velikost optimální, maximálně využívají možnosti pracovní plochy stolu frézky a pracovní prostor nad přípravkem je dostatečně velký. Přesnost a opakovatelnost upínání dílců je stabilní, produktivita výrobní linky se zvýšila. Finanční náročnost počátečních nákladů vzhledem k nárokům realizované aplikace je přiměřená.

Pro zajištění stabilního a produktivního provozu výrobní linky je stanovena její pravidelná údržba a kontrolní činnost v intervalu do tří hodin. Pro preciznější zbavení se třísek je třeba manuálního ofuku důležitých komponent stroje během této údržby. Z hlediska kontrolní činnosti probíhá především vizuální kontrola obráběcích nástrojů stroje. Výběr nástrojů probíhal zejména s ohledem na produktivitu výroby a životnost nástroje při dosažení požadované kvality výroby obrobku. Dle nabídek renomovaných výrobců nástrojů byly zmíněné speciální nástroje vybrány podle požadované řezné geometrie, vlastností materiálu a pořizovací ceny. Obráběcí stroje byly vybaveny bezkontaktní detekcí zalomení nástroje, je využito funkce stroje pro upozornění na blížící se konec životnosti nástroje. Každá vyrobená dávka dílců, umístěná ve výstupním drátěném koši, je v mycím zařízení umyta a následně vizuálně zkontrolována, rovněž každý dílec je kalibry rozměrů a tvarů důležitých ploch zkontrolován. Každou hodinu je vybrána dávka dílců z druhého obráběcího frézovacího centra. Tato dávka osmi dílců je kompletně přeměřena na metrologickém oddělení. Dle zjištěných informací se upravují výrobní programy tak, aby byla tělesa vyrobena ve stanovených tolerancích dle požadavků zákazníka. Bezproblémový chod automatizované výroby značně závisí na stálých rozměrech a tvaru vkládaného polotovaru. Stabilita funkce výrobní linky, která je značně závislá na správné tvorbě třísek, je ovlivněna kvalitou, respektive neměnností vstupního materiálu vzhledem ke zvoleným řezným podmínkám.

Minimální hodnota ukazatele způsobilosti procesu C_{pk} vybraných, zákazníkem požadovaných, 24 dílců pro převzetí výrobní linky tímto zákazníkem, je 1,66. Následně je vyžadovaná způsobilost procesu s hodnotou minimálně 1,33. Cyklový čas musí být pod 60 sekund za kus. Obě tyto podmínky akceptace výrobní linka s upínacími přípravky splnila. Z odebraných a přeměřených 24 vzorků byla zjištěna data pro vyhodnocení a výrobní proces splnil hodnotu $C_{pk} \geq 1,66$ sledovaného znaku. Vzhledem k měření pouze několika vzorků ze čtyřhodinové přejímací produkce se sleduje především předpoklad normality získaných dat, tedy že se parametr polohy a rozptyl v čase nemění. Výrobní proces je statisticky zvládnut, je stabilní, jsme schopni výroby a dodržení rozměrů sledovaných znaků v předepsaných tolerančních mezích s definovanou rezervou. Počet vyhodnocovaných vzorků a způsoby sběru dat při měření ale značně ovlivňují vyhodnocení stability procesu.

Lze doporučit sledování a vyhodnocování dlouhodobé spolehlivosti navrženého řešení. Bylo by vhodné zaměřit se na opotřebení klíčových komponent upínacích přípravků s následným případným návrhem úprav (např. jiný způsob tepelného zpracování kontaktních ploch). Mezi další opatření lze navrhnout, na základě zkušeností z provozu, optimalizaci řešení odvodu třísek ve vztahu k zajištění čistoty ustavovacích a upínacích ploch přípravku. Při výskytu třísek pod krytem přídavné rotační osy se lze zabývat návrhem zlepšení krytování. Z hlediska problematiky tvorby třísek požadovaného tvaru je možná optimalizace řezných podmínek. V neposlední řadě je možné doporučit vývoj ke snížení hmotnosti sestavy upínacího přípravku. Snížením hmotnosti sestavy lze navýšit rychlost otočení dvoupaletového systému otočného stolu, čímž dojde ke zkrácení vedlejších časů. Z hlediska enviromentální politiky je tu možnost sledovat a zlepšovat parametry *RTP*, které mohou omezit negativní vliv na životní prostředí. Lze docílit například snížení spotřeby elektrické energie, vody a tlakového vzduchu či minimalizace tvorby emisí hluku, průmyslových odpadů, exhalací z řezného procesu do ovzduší a kontaminace procesní kapaliny.

Citovaná literatura

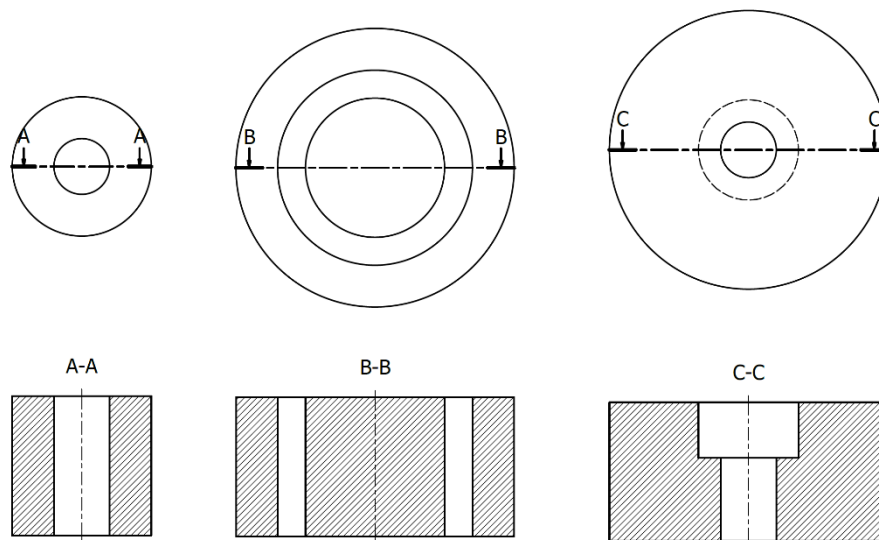
- [1] HOFFMAN, E. G. *Jig and fixture design*. - : Van Nostrand Reinhold, 1980. ISBN 978-0442201623.
- [2] MONKA, P. a PAULÍKOVÁ, A. *Top trendy v obrábění – IV. část – Upínanie, prípravky a meradlá*. Žilina : MEDIA/ST, s.r.o., 2007. ISBN 80-968954-2-7.
- [3] GRANT, H. E. *Jigs and Fixtures: Non-standard Clamping Devices*. - : McGraw-Hill Education – Europe, 1989. ISBN 978-0070993297.
- [4] KUMAR, A. S., NEE, A. Y. a TAO, Z. J. *An Advanced Treatise on Fixture Design and Planning*. - : World Scientific Pub Co Inc, 2004. ISBN 978-981-256-059-9.
- [5] SANDVIK COROMANT. *Sandviken: Technická příručka obrábění – soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů*. 2005. ISBN-
- [6] AB SANDVIK COROMANT. *Příručka obrábění – Kniha pro praktiky*. Praha : Scientia, s. r. o., 1997. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [7] STAHL, J. *Metal cutting: Theories and Models*. Lund : Lund University: Division of Production and Material Engineering, 2012. ISBN 978-91-637-1336-1.
- [8] PÍŠKA, M. a FOREJT, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [9] KOČMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění. 2. vyd.* Brno : CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [10] STEPHENSON. *Metal cutting theory and practice*. - : CRC Press, 2006. ISBN 0824758889.
- [11] DUŠÁK, K. *Obráběcí přípravky*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-260-9.
- [12] CHVÁLA, B. a ŘEZÁČ, A. *Přípravky a zařízení pro zkrácení vedlejších časů ve výrobě*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1963. ISBN-
- [13] NOVOTNÝ, F. a HORÁK, M. *Efektory průmyslových robotů*. Liberec : skriptum TU v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-195-5.
- [14] Total Guide to CNC Jigs, Fixtures, and Workholding Solutions for Mills. *CNC Cookbook*. [Online] CNC Cookbook. [Citace: 11. 11 2019.] <https://www.cnccookbook.com/cnc-jigs-fixtures-workholding-solutions-milling/>.
- [15] KOSMEK LTD. *Hydraulic swing clamp*. Kóbe : -, 2017.
- [16] KOSMEK LTD. *Link clamp*. Kóbe : -, 2017.
- [17] PASCAL. *Work support - hydraulic lift*. Kumagaya : -, 2006.
- [18] ZEMÁNEK, M. *Řešení technologie hromadné výroby klíčů při náhradě automatové mosazi za ocel 11 109*. Liberec : VŠST Liberec, 1993.
- [19] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN 573-1. Praha : ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2005.
- [20] HUMÁR, A. *Technologie I – Technologie obrábění – 1. část*. Brno : VUT-FSI v Brně, 2003. ISBN-

- [21] MÁDL, J., a další. *Technologie obrábění – 3. díl*. Praha : Vydavatelství ČVUT, Fakulta strojního inženýrství, 2000. ISBN-
- [22] ULTRA CARBIDE. *Ultra Carbide*. [Online] 04 2019. [Citace: 3. 04 2019.] <https://www.ultracarbide.com/pdfs/dk460uf.pdf>.
- [23] Řezné podmínky při frézování. *Eluc.kr-olomoucky*. [Online] [Citace: 3. 3 2019.] <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1238>.
- [24] ŘASA, J. a GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3 – 1. díl. 1. vyd.* Praha : Pedagogické, 2000. ISBN 80-7183-207-3.
- [25] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I; TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část; Studijní opory pro magisterskou formu studia*. - : VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2003. ISBN-
- [26] DRÁB, V. *Technologie I*. Liberec : -, 1985. ISBN-
- [27] MACEK, K. a ZUNA, P. *Strojírenské materiály*. Praha : ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02798-8.
- [28] VELCHEV, S., KOLEV, I. a IVANOV, K. *Empirical mathematical models of the dependence of the specific cutting force on thickness of cut in turning*. Romania : University Politehnica Timisoar, 2011. ISSN 584 – 2673.
- [29] MICHÁL, J. *Statistická regulace procesů (SPC)*. Praha : Česká společnost, 2006. ISBN 80-02-01810-9.
- [30] WALTER. *Kompletní katalog – Nová měřítka v obrábění*. 2017.
- [31] KOCH, A. Schunk: Upínací technika – Tandem KSH Plus. *Schunk.com*. [Online] 7. 6 2019. [Citace: 13. 07 2019.] <https://schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0024754.PDF>.
- [32] SCHUNK GmbH & Co. KG. *TANDEM clamping block, KSH plus, KSH-LH plus, KSH-F plus, Assembly and Operating Manual*. Mengen : -, 2017.
- [33] BROTHER Industries, LTD. R450 X1. Japan : -, 2019. ver 1904.
- [34] SMC Corporation. *Digital Gap Checker*. Japan : -, 2018.
- [35] RENISHAW. *TRS2 non-contact broken tool detection system*. Wotton-under-Edge : -, 2017.
- [36] HYDAC, spol. s r.o. *MONTÁŽNÍ POKYNY / PRŮVODNÍ DOKUMENTACE*. Planá nad Lužnicí : -, 2019.
- [37] KITAGAWA Corporation. *NC Rotary Table*. Hiroshima 726-8610 Japan : -, 2018.
- [38] GÜHRING. *Výkresová dokumentace nástrojů T5, T8, T10*. 2019.
- [39] MIKRON TOOL. *Výkresová dokumentace nástrojů T6, T7*. 2019.
- [40] WALTER. *Katalog s inovacemi výrobků – VÝKON A SPOLEHLIVOST PRO NOVOU PERSPEKTIVU*. 2019.
- [41] SCHUNK. Schunk – KSH-LH plus 100. *Schunk – Superior clamping and gripping*. [Online] Schunk. [Citace: 12. 5 2019.] https://schunk.com/de_en/clamping-technology/product/ksh-lh-plus-100/.

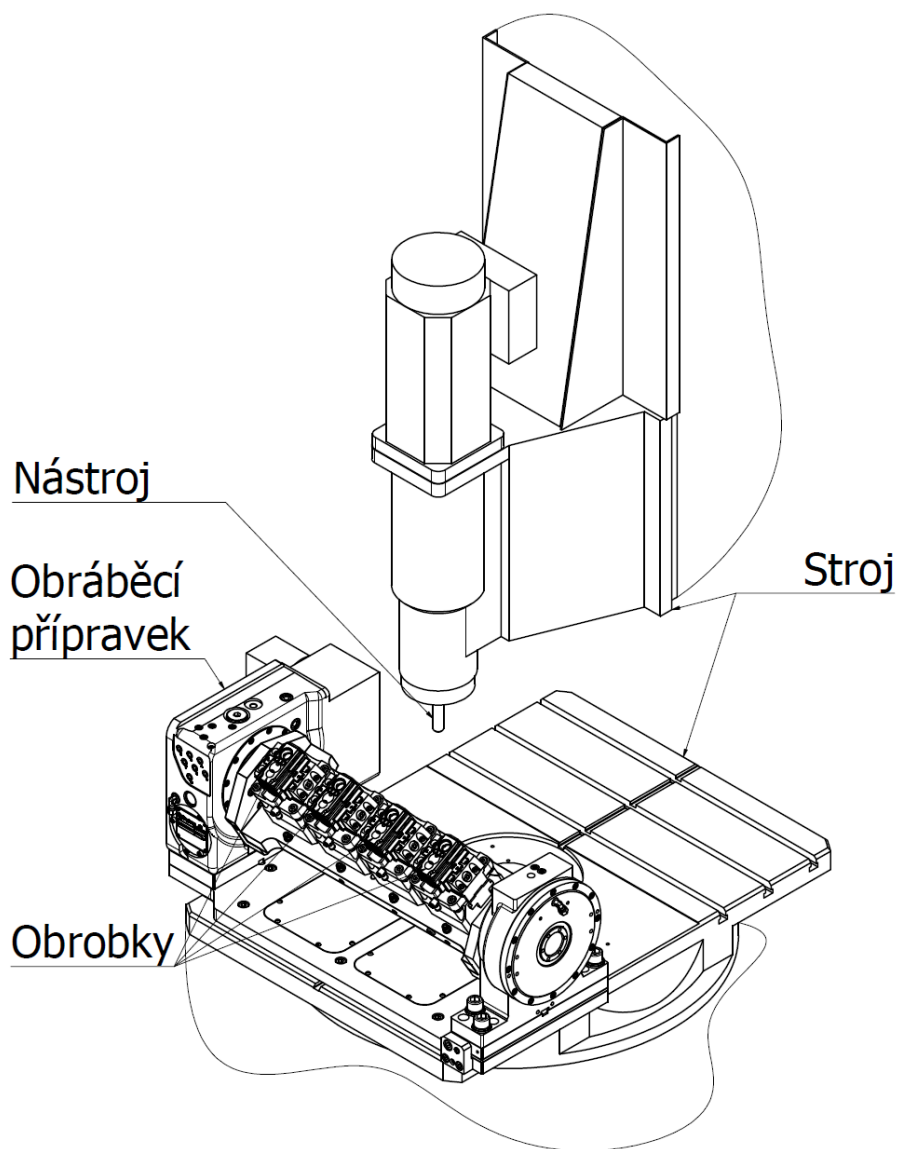
Seznam příloh

Příloha 1 – Grafická dokumentace	12 stran
Příloha 2 – Tabulky	4 strany
Příloha 3 – Grafy	3 strany
Příloha 4 – Pneumatická kontrola dosednutí obrobku SMC ISA3-GFP-1N	1 strana
Příloha 5 – Laserová sonda Renishaw <i>TRS2</i>	1 strana
Příloha 6 – Hydraulický agregát Hydac	4 strany
Příloha 7 – Seznam obrázků	2 strany
Příloha 8 – Seznam grafů	1 strana
Příloha 9 – Seznam tabulek	1 strana
Příloha 10 – Seznam rovnic	1 strana

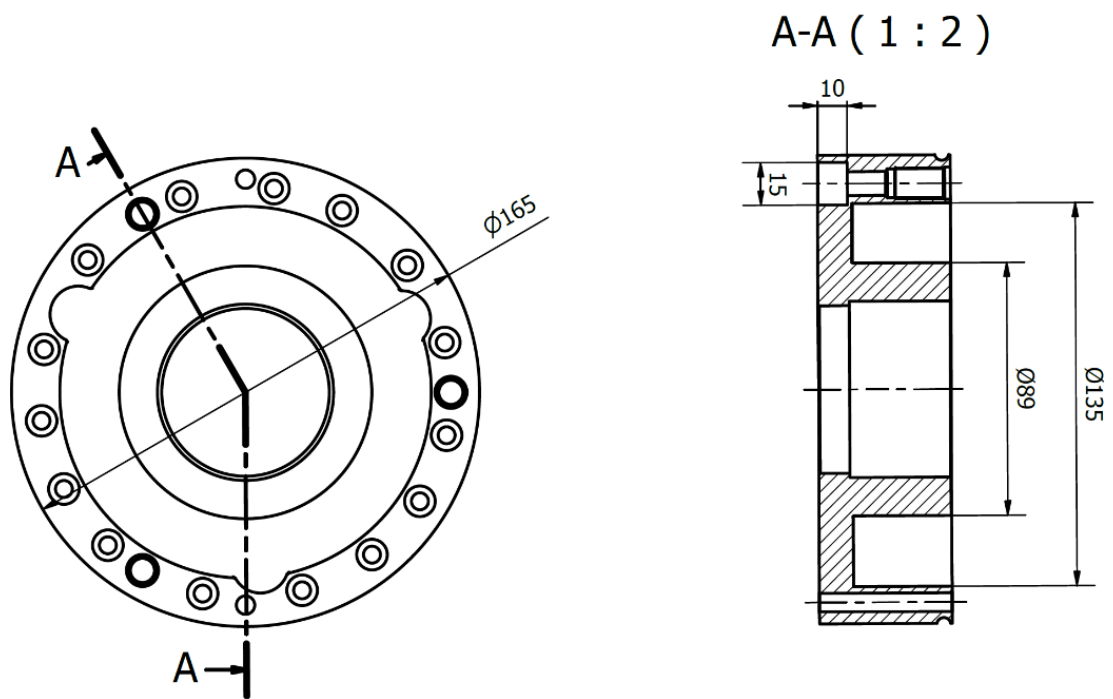
Příloha 1 – Grafická dokumentace



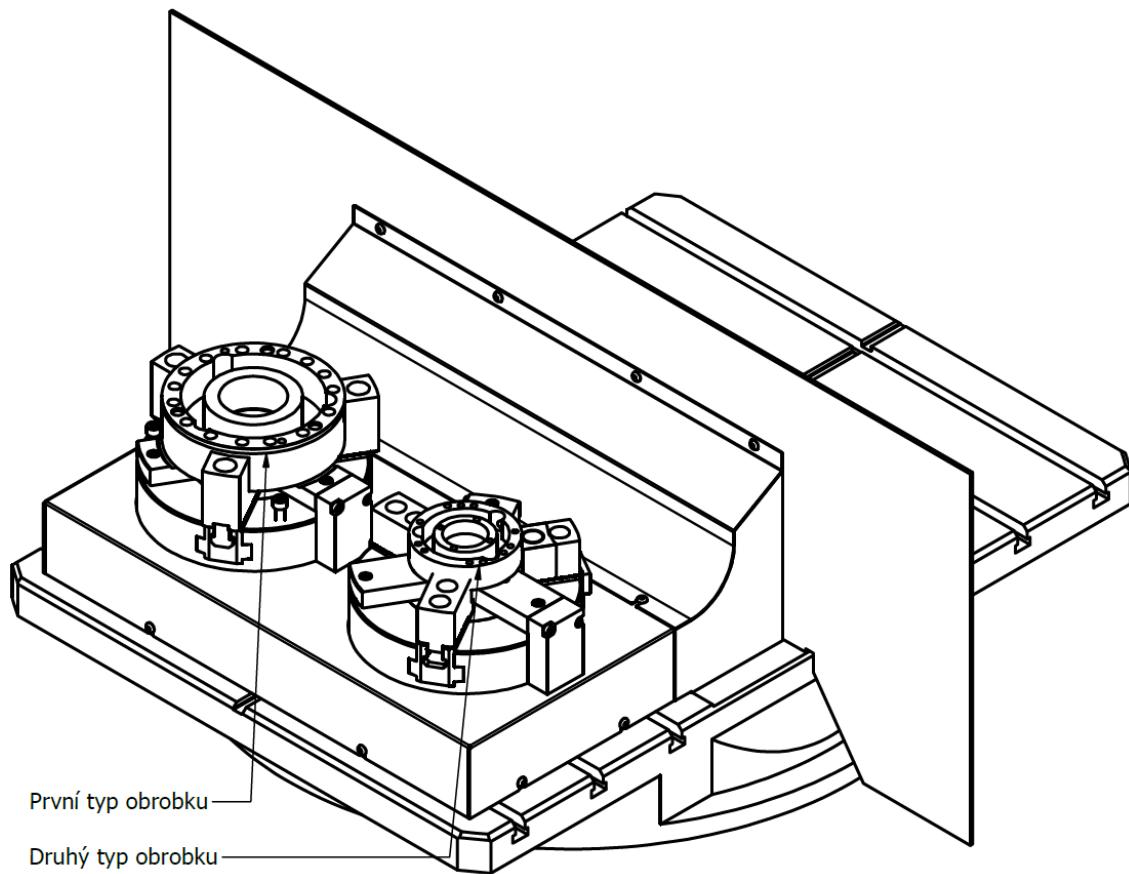
Obrázek 30 – Základní vrtací operace



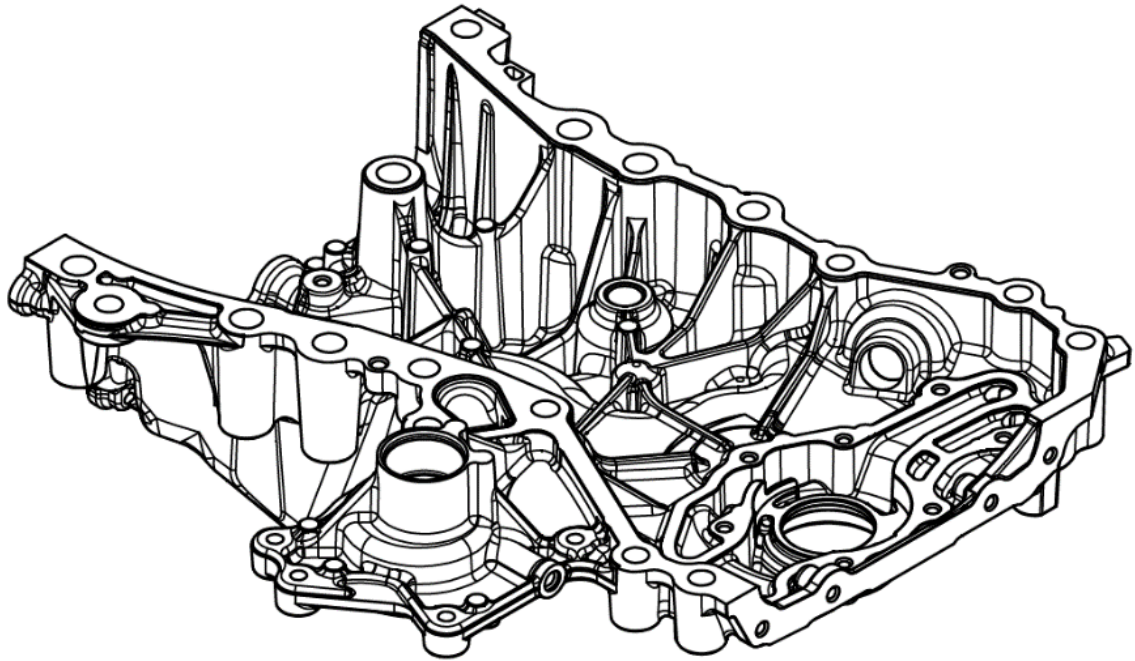
Obrázek 31 – *SNOP*



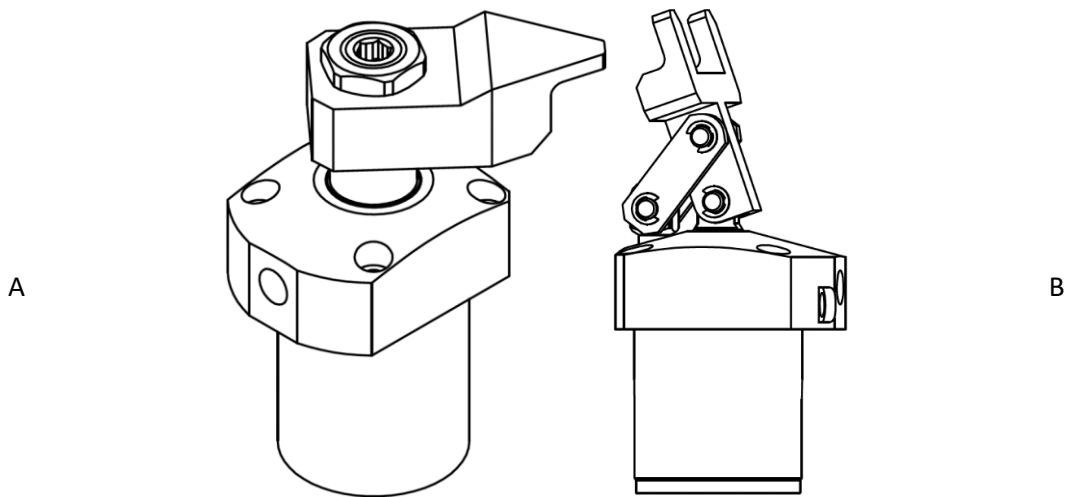
Obrázek 32 – Těleso brzdy



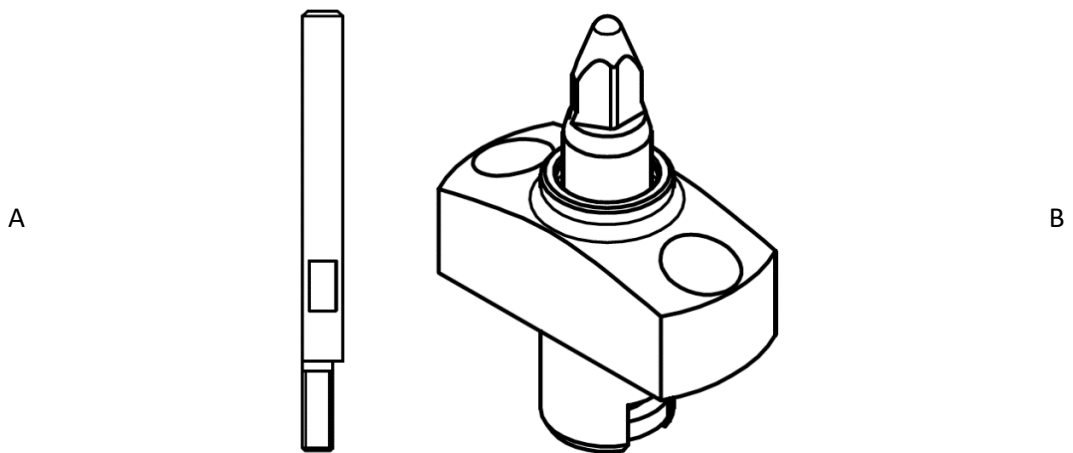
Obrázek 33 – Sestava upínacího přípravku tělesa brzdy



Obrázek 34 – Dílec krytu rozvodového řetězu

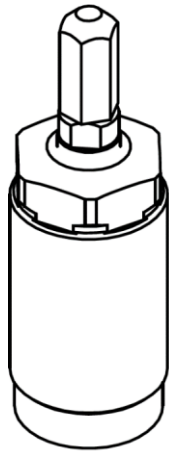


Obrázek 35 – Swing clamp; Link clamp

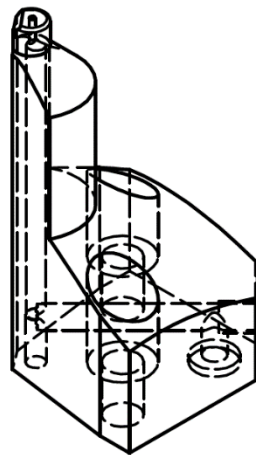


Obrázek 36 – Rough guide; Ustavovací kolík

A

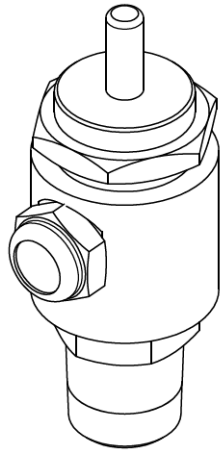


B

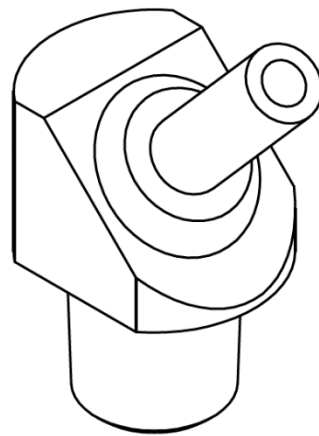


Obrázek 37 – Work support; Podpěra s kanálkem kontroly dosednutí dílce

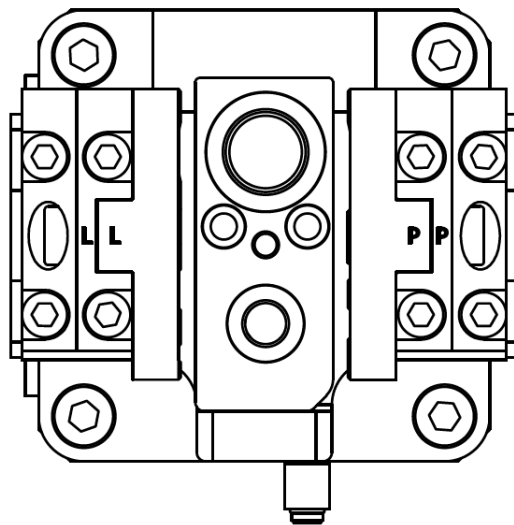
A



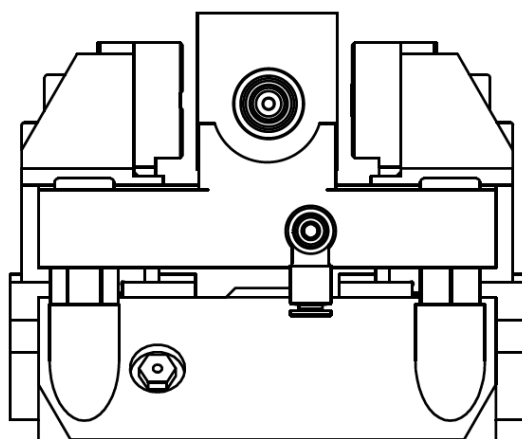
B



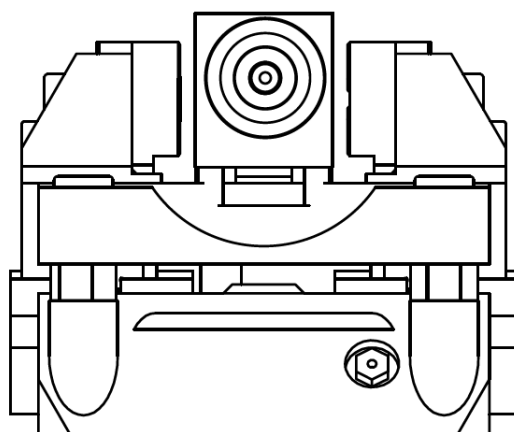
Obrázek 38 – Clippard ventil; Oplachová tryska



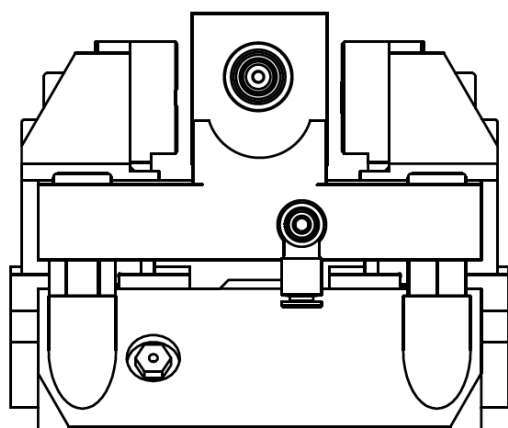
Obrázek 39 – NC01-0ST



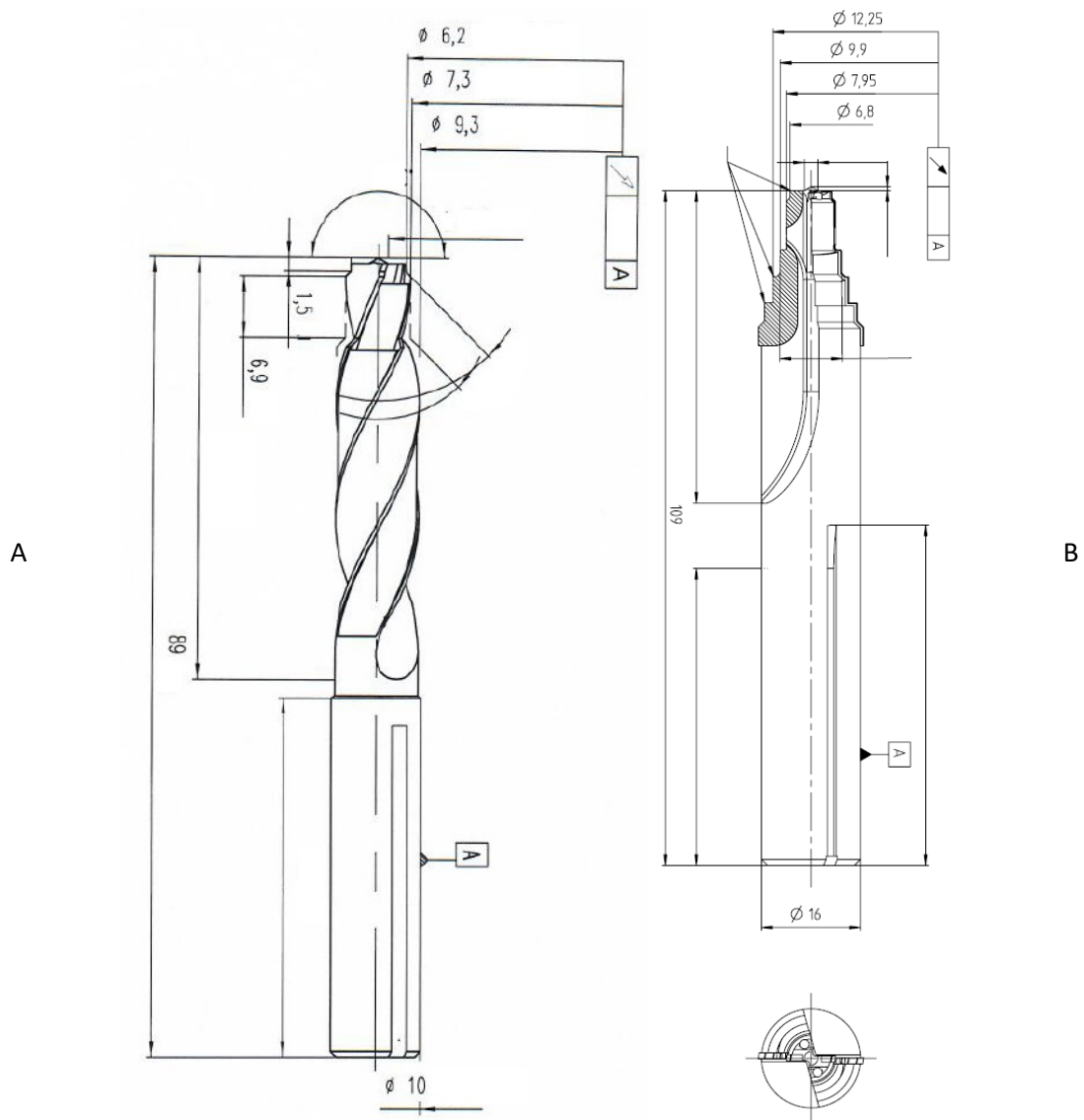
Obrázek 40 – NC01-90ST



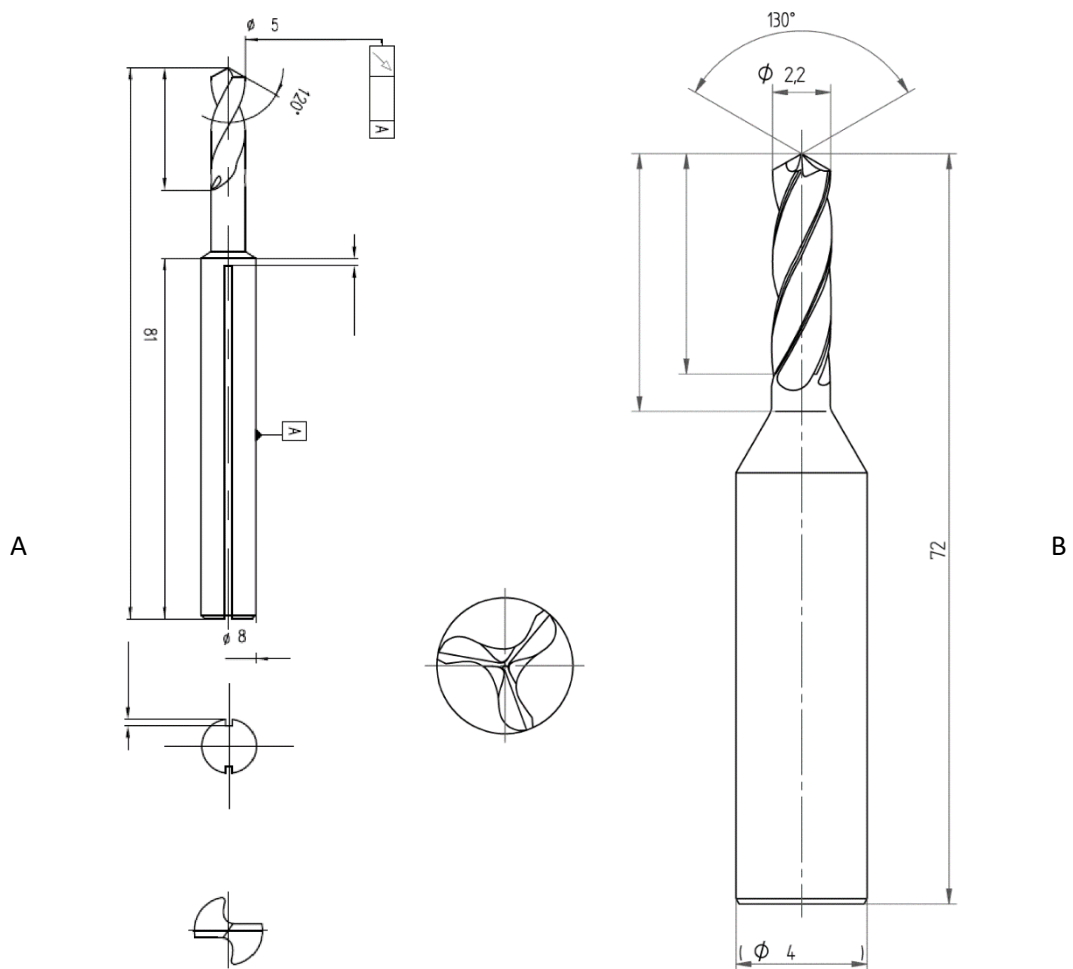
Obrázek 41 – NC02-270ST



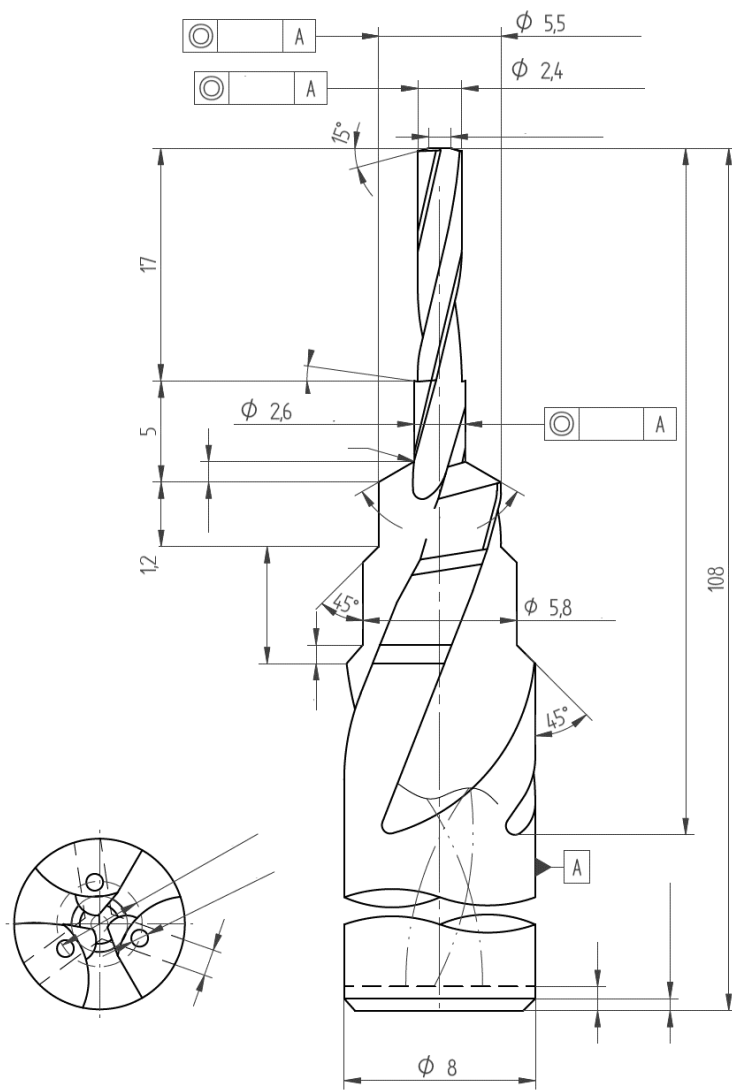
Obrázek 42 – NC02-90ST



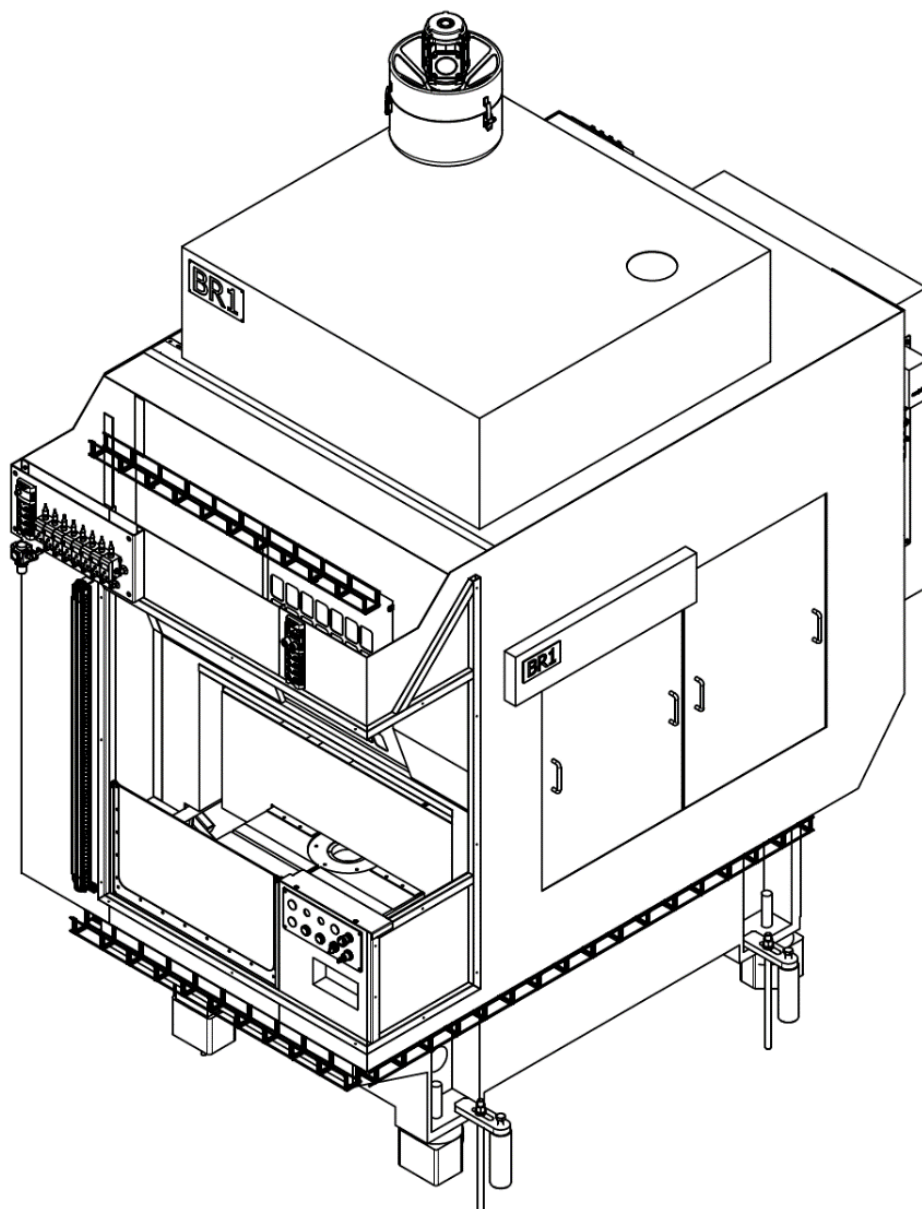
Obrázek 43 – Nástroj T8 a T10 [38]



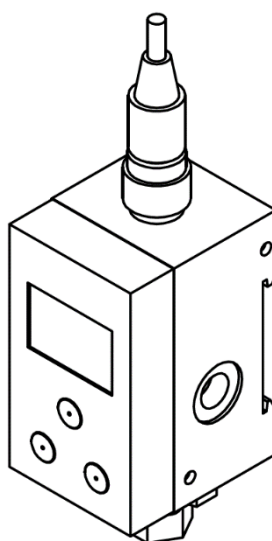
Obrázek 44 – Nástroj T5 a T6 [38] [39]



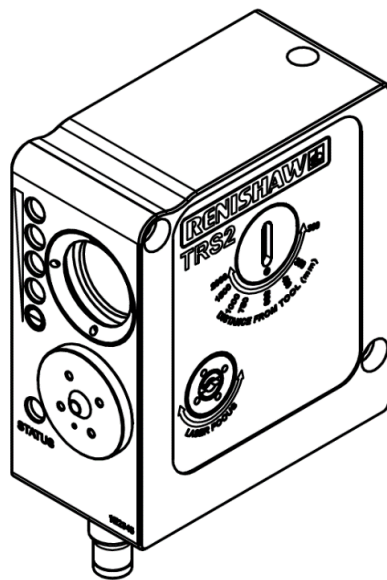
Obrázek 45 – Nástroj T7 [39]



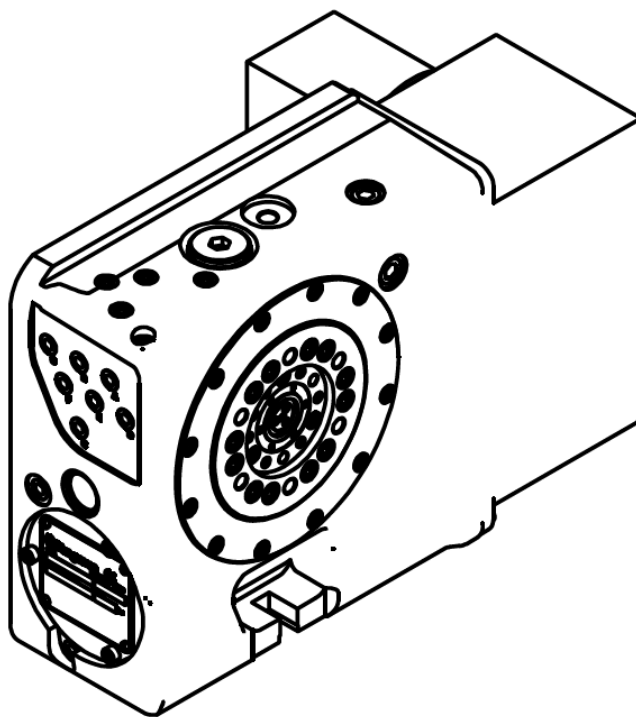
Obrázek 46 – Brother R450 X1



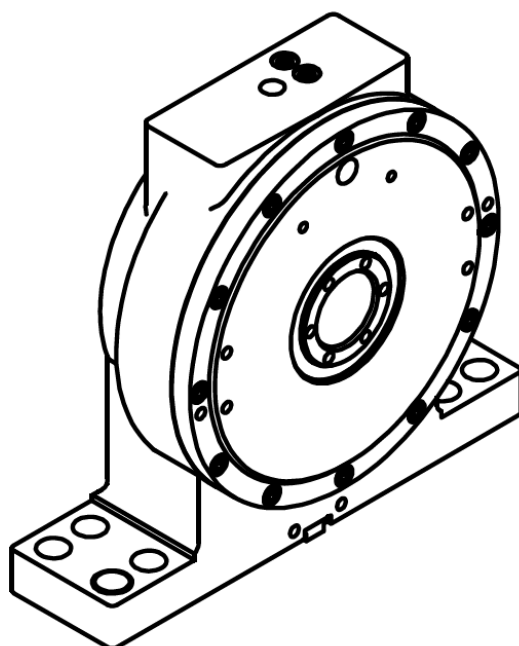
Obrázek 47 – SMC ISA3 GFP 1N



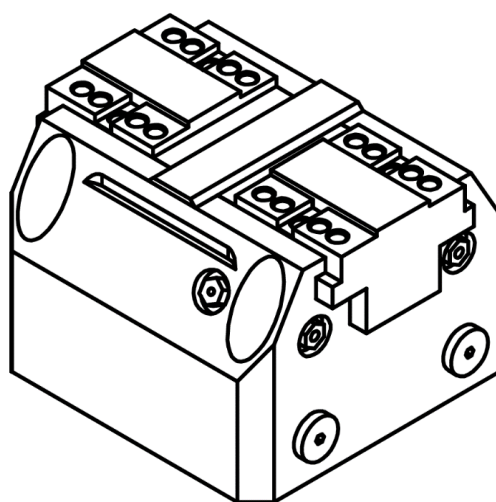
Obrázek 48 – Renishaw TRS2



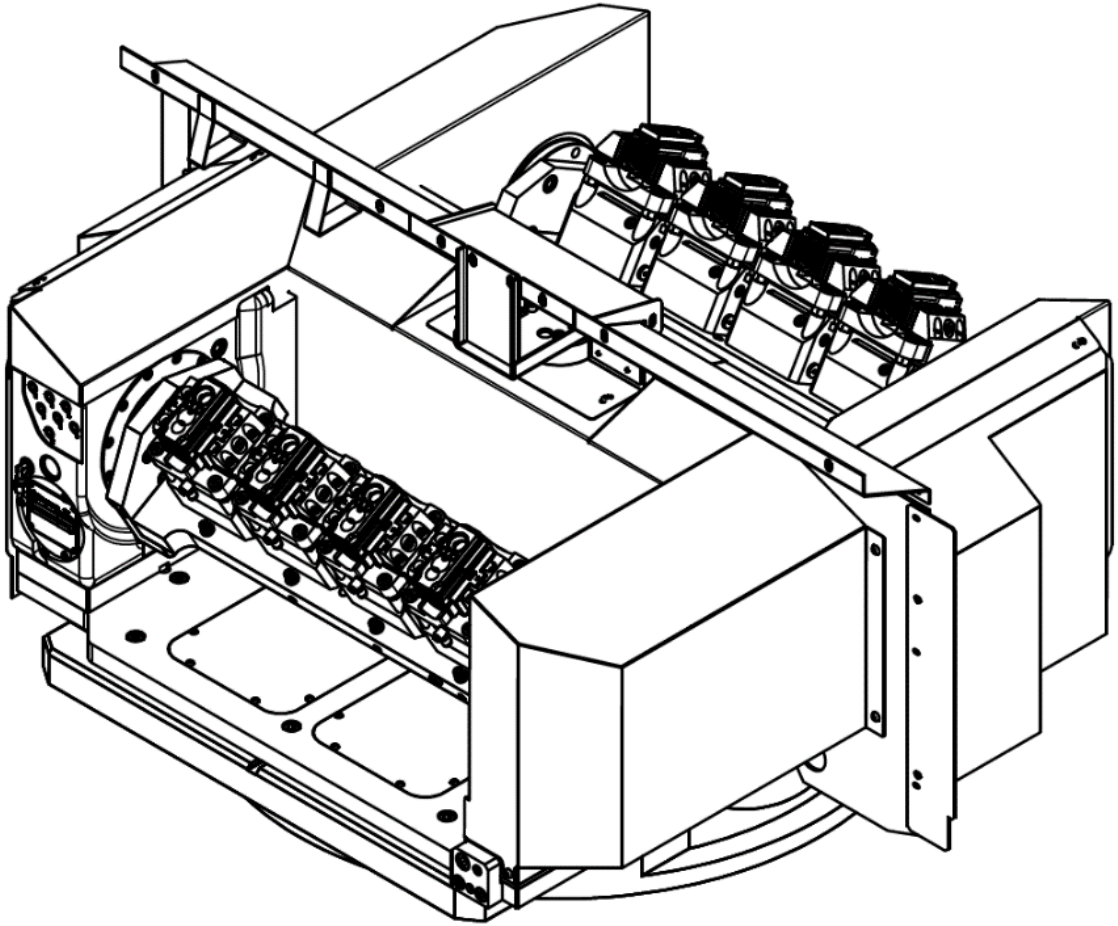
Obrázek 49 – Kitagawa CKR160



Obrázek 50 – Kitagawa *TSR142*



Obrázek 51 – Schunk *KSH-LH plus 100*



Obrázek 52 – Zakrytování čtvrté osy

Příloha 2 – Tabulky

Tabulka 5 – Posuvná síla

Popis	Průměr D_c [mm]	Hloubka L [mm]	Posuvná síla s korekcí 1 F_{f1} [N]	Posuvná síla s korekcí 2 F_{f2} [N]	Rychlost posuvu v_f [mm·min ⁻¹]	Otáčky n [ot·min ⁻¹]	Úhel čela γ [°]	Úhel hlavního ostří K [°]	Počet zubů Z_n [-]
Značka [jednotka]	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. nástroj (T8)	6,2	1,5	466,9	933,8	900	4 000	27	90	2
	7,3	6,9	82,8	165,7					
	9,3	13,3	150,6	301,2					
		21,7	700,4	1 400,8					
Celkem nástroj 1.	6,8	1,8	29,6	59,1					
	8,0	7,8	32,0	64,1					
	9,9	4,3	30,8	61,6	420	5 000	0	90	2
	12,3	4,2	114,6	229,1					
	15,4	3,9	155,2	310,4					
Celkem nástroj 2.		22,0	362,2	724,3					
3. nástroj (T5)									
4. nástroj (T6)	2,2	44,0	50,3	100,6	400	9 000	27	65	3
	2,4	17,0	7,4	14,7					
	2,7	4,2	8,9	17,9					
5. nástroj (T7)	5,6	2,1	104,2	208,5	200	2 500	27	60	3
	5,8	13,9	-	-					
	8,0	7,2	-	-					
		44,3	120,5	241,0					
Celkem nástroj 5.									

Tabulka 6 – Konstanty posuvné síly

	Význam	Symbol [Jednotka]	Hodnota
1. nástroj (T8)	Konstanta posuvné síly – hrubovací – neopotřebeno	k_1 [-]	0,6
	Konstanta posuvné síly – hrubovací – opotřebeno	k_2 [-]	1,3
2. nástroj (T10)	Konstanta posuvné síly – načisto – neopotřebeno	k_1 [-]	0,9
	Konstanta posuvné síly – načisto – opotřebeno	k_2 [-]	1,8
4. nástroj (T6)	Konstanta posuvné síly – hrubovací – neopotřebeno	k_1 [-]	0,6
	Konstanta posuvné síly – hrubovací – opotřebeno	k_2 [-]	1,2
5. nástroj (T7)	Konstanta posuvné síly – načisto – neopotřebeno	k_{11} [-]	0,6
	Konstanta posuvné síly – načisto – opotřebeno	k_{21} [-]	1,2
	Konstanta posuvné síly – načisto – neopotřebeno	k_{12} [-]	0,6
	Konstanta posuvné síly – načisto – opotřebeno	k_{22} [-]	1,3
	Konstanta posuvné síly – načisto – neopotřebeno	k_{13} [-]	0,6
	Konstanta posuvné síly – načisto – opotřebeno	k_{23} [-]	1,2

Tabulka 7 – Podmínky obrábění

	Význam	Symbol [Jednotka]	Hodnota
1. nástroj (T8)	Posuv na otáčku	f_n [mm·ot ⁻¹]	0,23
	Měrná řezná síla	k_c [MPa]	1 036,01
	Tloušťka třísky	h_D [mm]	0,11
	Posuv na zub	f_z [mm]	0,11
2. nástroj (T10)	Posuv na otáčku	f_n [mm·ot ⁻¹]	0,08
	Měrná řezná síla	k_c [MPa]	1 325,38
	Tloušťka třísky	h_D [mm]	0,04
	Posuv na zub	f_z [mm]	0,04
4. nástroj (T6)	Posuv na otáčku	f_n [mm·ot ⁻¹]	0,04
	Měrná řezná síla	k_c [MPa]	1 762,62
	Tloušťka třísky	h_D [mm]	0,01
	Posuv na zub	f_z [mm]	0,01
5. nástroj (T7)	Posuv na otáčku	f_n [mm·ot ⁻¹]	0,08
	Měrná řezná síla 1	k_c [MPa]	1 497,69
	Měrná řezná síla 2	k_c [MPa]	1 486,19
	Měrná řezná síla 3	k_c [MPa]	1 539,13
	Tloušťka třísky 1	h_D [mm]	0,03
	Tloušťka třísky 2	h_D [mm]	0,03
	Tloušťka třísky 3	h_D [mm]	0,02
	Posuv na zub	f_z [mm]	0,03

Tabulka 8 – Specifická řezná síla

Význam	Symbol [Jednotka]	Hodnota
Specifická řezná síla	k_{c11} [MPa]	600,00
Stoupání křivky	m_c [-]	0,25

Tabulka 9 – Charakteristiky upínacího hydraulického silového bloku

Význam	Jednotka	Hodnota
Název svěráku		KSH-LH plus 100 – 5,4 mm
Zdvih na čelist	[mm]	5,40
Upínací síla při maximálním tlaku *	[kN]	17,00
Maximální tlak	[bar]	60,00
Opakovatelná přesnost	[mm]	0,01
Maximální výška čelistí	[mm]	60,00
Hmotnost	[kg]	4,70

* Síla ve vzdálenosti 16 mm

Tabulka 10 – Přehled postupu měření instalované přídatné rotační osy

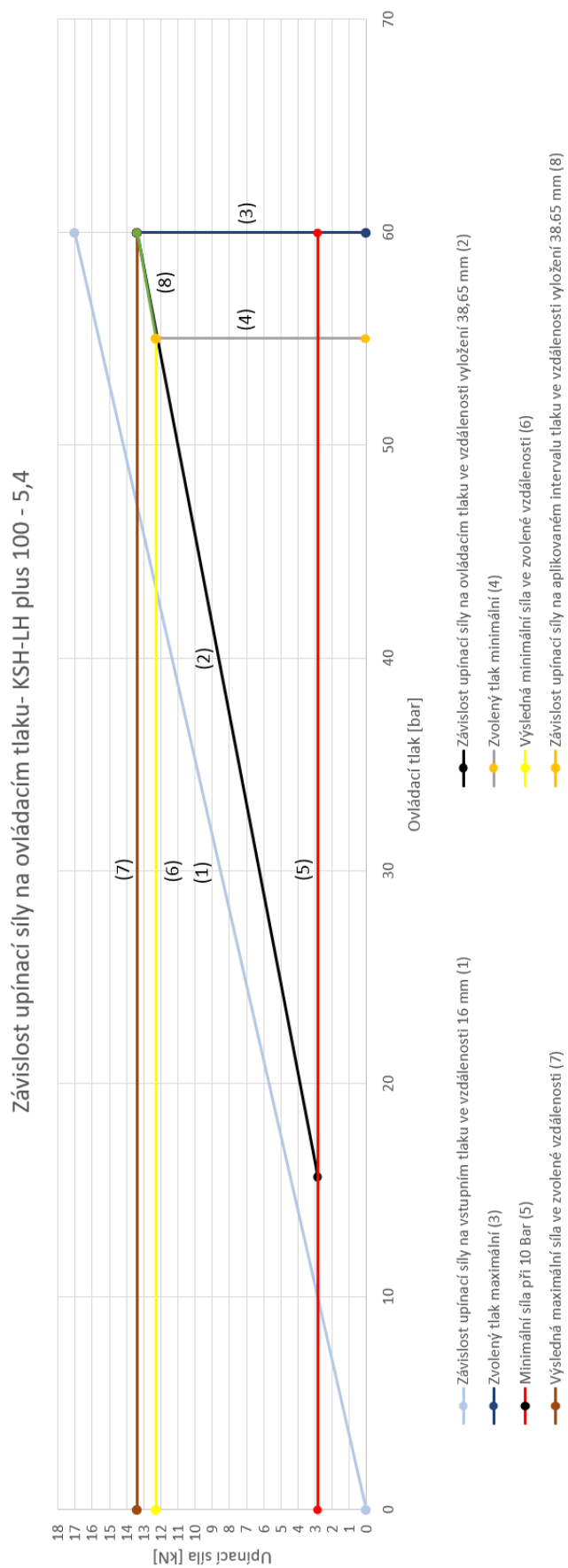
Číslo pozice	Popis měření	Pohyb strojní osy	Měřeno v rovině	Zobrazeno na obrázku
1	Základová deska	X	Horizontální	Obrázek 26 – Měření na trny ve vertikální a horizontální rovině strojní osy X
2	Trn motoru osy <i>CKR160</i>	X	Horizontální	
3	Trn motoru osy <i>CKR160</i>	X	Vertikální	
4	Vzdálenost protiložiska <i>TSR142</i> od <i>CKR160</i>	-	-	
5	Trn protiložiska <i>TSR142</i>	X	Horizontální	
6	Trn protiložiska <i>TSR142</i>	X	Vertikální	
7	Odchylka sousosti <i>CKR160</i> a <i>TSR142</i>	X	Vertikální	
8	Odchylka sousosti <i>CKR160</i> a <i>TSR142</i>	X	Horizontální	
9	Rovnoběžnost desky upínačů	X	Vertikální	Obrázek 27 – Vyrovnání desky upínačů
10	Rovnoběžnost desky upínačů	X	Horizontální	
11	Kontrola rovnoběžnosti desky upínačů při natočení 90°	X	Horizontální	Obrázek 28 – Kontrola desky upínačů při natáčení
12	Kontrola rovnoběžnosti desky upínačů při natočení 270°	X	Horizontální	
13	Deformace motoru osy <i>CKR160</i>	-	Horizontální	Obrázek 29 – Měření deformací přídatné osy
14	Deformace protiložiska osy <i>TSR142</i>	-	Horizontální	

Tabulka 11 – Směrodatná odchylka vs. počty vzorků

Směrodatná odchylka	Počet vzorků			Odpovídající c_{pk}
	V intervalu [%]	Mimo interval [%]	Mimo interval [ppm]	
$\pm 1 \sigma$	68,27	31,73	317 300	0,33
$\pm 2 \sigma$	95,45	4,55	45 500	0,67
$\pm 3 \sigma$	99,73	0,27	2 700	1,00
$\pm 4 \sigma$	99,9937	0,0063	63	1,33
$\pm 5 \sigma$	99,99994	0,00006	0,6	1,67
$\pm 6 \sigma$	99,999998	0,000002	0,002	2,00

Příloha 3 – Grafy

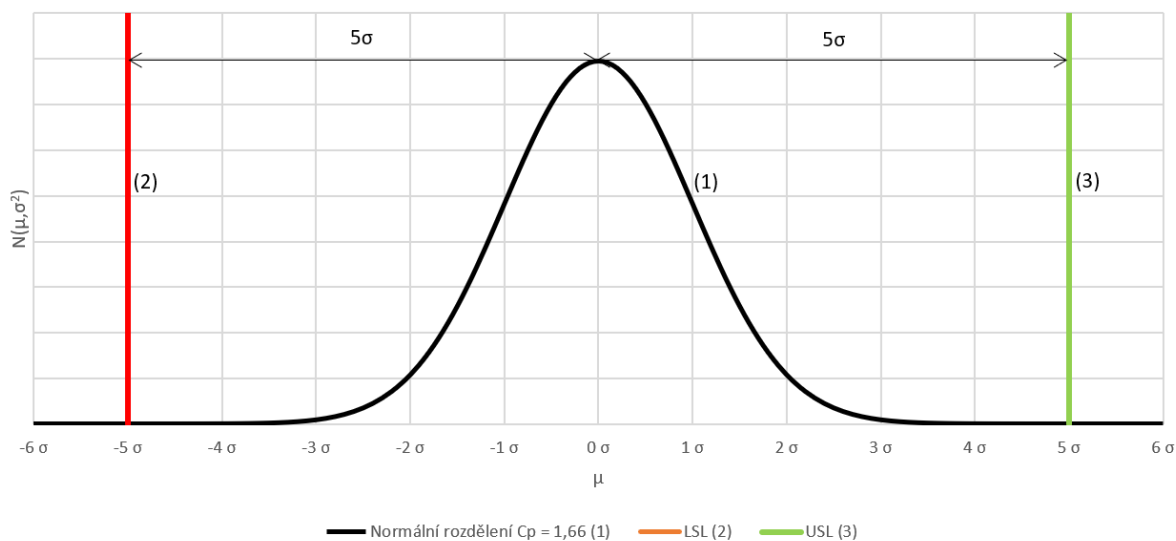
Graf 1 – Závislost upínací síly na ovládacím tlaku



Na grafu 1 je vyobrazena závislost upínací síly na přívodu hydraulického tlaku u upínacího hydraulického silového bloku Schunk KSH-LH plus 100 – 5,4 mm. Čísla v závorkách odkazují na úsečky v grafu 1. Šedou úsečkou (1) je vyobrazena závislost upínací síly při vyložení upínacích čelistí v délce 16 mm. Tato závislost slouží pro základní představu síly upínacího bloku. Vychází z lineárního charakteru průběhu závislosti, kdy při maximálním vstupním tlaku 60 bar dosahuje upínací blok síly 17 kN. Tato maximální síla je v katalogích prezentována a je vztažena k rozměru 16 mm výšky upínacích prvků. Černou úsečkou (2) je vyobrazena závislost upínací síly na vstupním tlaku v případě navržených upínacích čelistí o výšce 38,65 mm od základny na střed působení dílce. Modrou svislou úsečkou (3) je vyobrazena hranice maximálního hydraulického tlaku upínacího elementu. Oranžová svislá úsečka (4) protíná osu při zvoleném minimálním ovládacím tlaku 55 bar. Červená vodorovná úsečka (5) protíná sílu při nejmenším povoleném tlaku 10 bar při prezentovaném vyložení čelistí 16 mm. Vodorovná žlutá úsečka (6) vyobrazuje minimální sílu upínacího bloku v hodnotě 12,26 N za podmínek naší realizace. Hnědá vodorovná úsečka (7) protíná maximální upínací sílu v případě naší realizace v hodnotě 13,38 N. Zelená úsečka (8) vyobrazuje pracovní rozsah síly v aplikovaném intervalu tlaku přivedeném do upínacích silových bloků. Minimální aplikovaná síla upínacího bloku 12,26 kN splňuje podmínku, že je větší, než spočtená upínací síla s hodnotou 10,506 kN. Zvolený upínací blok od renomovaného výrobce Schunk splňuje všechny požadavky pro upínací přípravek s hydraulickým zdrojem energie a elektronickým ovládním, jak v případě rozměrů, tak upínací síly.

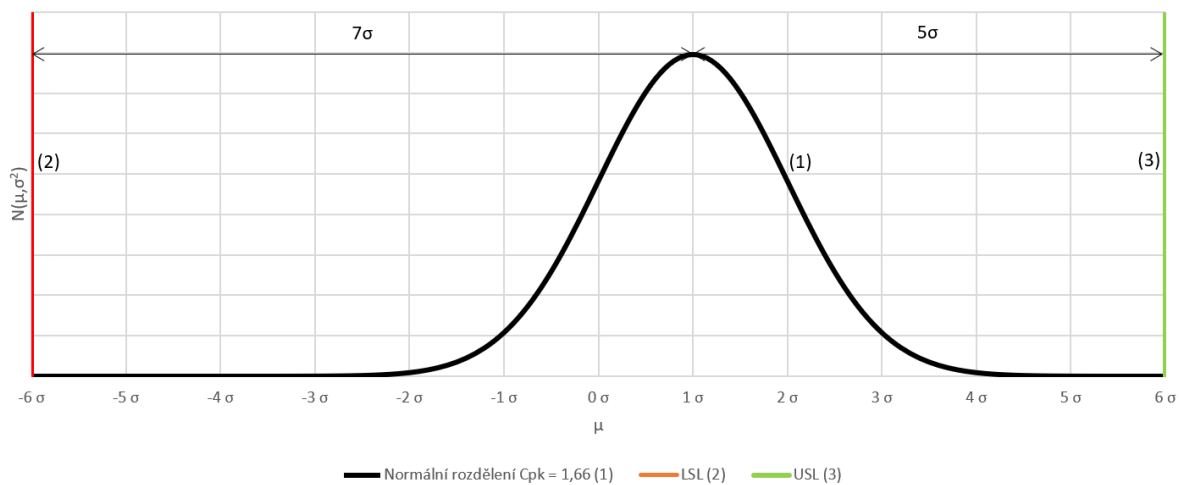
Graf 2 – $C_p = 1,66$

Ukazatel způsobilosti $C_p = 1,66$



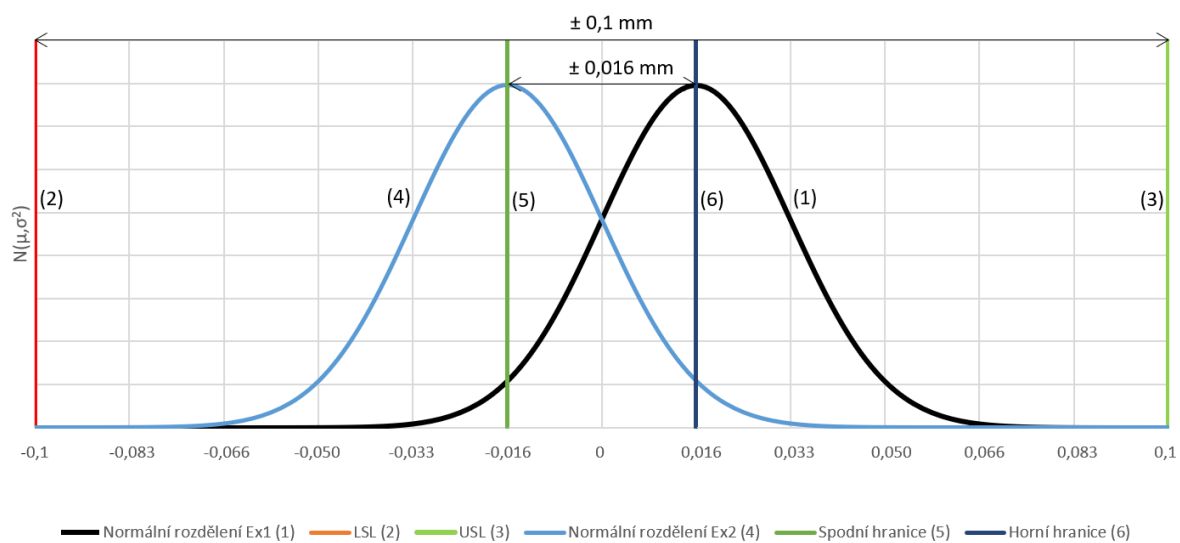
Graf 3 – $C_{pk} = 1,66$

Ukazatel způsobilosti $C_{pk} = 1,66$



Graf 4 – C_{pk} tolerance

Ukazatel způsobilosti $C_{pk} = 1,66$ (tolerance)



Příloha 4 – Pneumatická kontrola dosednutí obrobku SMC ISA3-GFP-1N

Připojení a montáž

Fyzicky se montáž osmi čidel provádí do sériového zapojení na DIN lištu. Připojení vstupního a výstupního tlaku vzduchu je realizováno hadicemi o průměru 6 mm pro distribuci stlačeného vzduchu. Vstupní tlak musí být zredukován na přípustnou hodnotu 0,2 MPa. Tento stav zabezpečíme připojením regulátoru SMC AR20-F02EH-B. Nastavení probíhá povolením pojistky, otočením ventilu je nastaven požadovaný tlak. Zpětná vazba je zobrazena za pomoci analogového zobrazení tlaku na manometru. Po nastavení tlaku je potřeba zajistit otáčecí zařízení pro nastavení tlaku. Připojením 4pinového M12 konektoru získáme napájení měřáku a bitový kanál pro získání informace o měřené mezeře. Propojení je realizováno přes HUB zařízení do Master zařízení pro modulaci do ProfiBus komunikace a přes ProfiBus kartu do zařízení PLC.

Nastavení pneumtického měřiče mezer

Měření mezery probíhá za předpokladu přívodu vzduchu o tlaku 0,2 MPa a vyústění do díry o průměru 1,5 mm. Za těchto podmínek nastavíme měřicí zařízení tak, že při zakrytí díry kontroly dosednutí dílce na přípravku bridge se vzdáleností 0,05 mm získáváme správné založení dílce a tím logickou 1. Hystereze bude nastavena dle doporučení výrobce na 0,02 mm. Tato vlastnost nám způsobí, že v případě zakrytí díry kontroly dosednutí dílcem a vytvoření mezery menší nebo rovné 0,05 mm, získáváme informaci o správném založení dílce, a to do doby než se mezera zvětší na hodnotu větší než 0,07 mm. Tato situace může nastat v případě nepříznivých sil v obráběcím procesu založeného dílce. Hystereze, která v případě počátečního dobrého založení zvyšuje rozsah správného založení o 40 %, je nastavena také z důvodu možného poklesu přívodního tlaku a možných chyb vyhodnocení stavu mezery. Nastavení sepnutí měřáku probíhá snadno za pomoci tlačítka SET a tlačítek šipky nahoru a dolů. Zvolenou vzdálenost vidíme na digitálním displeji. Případně lze nastavit vzdálenost dílce za pomoci spároměrek a zaznamenat ji pomocí funkce snap shot stisknutím obou šipek najednou. Poté nastavíme zobrazení hlavní obrazovky na zobrazení velikosti mezery v jednotkách μm . Dále je možnost zobrazení hodnot tlaku, a to v jednotkách: kPa, bar, psi. Displej můžeme nastavit také do standby režimu pro úsporu přívodu energie do displeje, dále je možno měřicí zařízení uzamknout heslem o třech cifrách pro zabezpečení neměnnosti nastavení [34].

V případě neúspěšného založení, dotlačení a upnutí dílce je tato dávka dílců vyhodnocena jako špatná a je pomocí robotu odvezena do gravitačního válečkového skluzu špatných dílců. Tento stav může nastat v případě špatné kvality přířezu obrobku. Při několikanásobném vyhodnocení špatných dílců za sebou je na tento stav upozorněna obsluha, a to akusticky houkačkou a zbarvením signálního sloupku. Tento stav může nastat v případě špatného ofuku upínacích čelistí nebo ustavovacích prvků bridge.

Příloha 5 – Laserová sonda Renishaw TRS2

Připojení a montáž

V první řadě je při instalaci sondy potřeba její montáž do stroje pomocí držáku a montážních šroubů. Paprsek by měl být vysílán kolmo na osu nástroje ve vzdálenosti 0,3 až 2 m. Vzdálenost mezi osou nástroje a vysílačem sondy manuálně nastavíme pootočením šroubu šroubovákem na tělese sondy. Paprsek nesmí svítit ven ze stroje, případně nesmí být instalován ve výšce očí. Výška montáže sondy by měla zohlednit různou délku nástrojů a možnost pohybu vřetena v ose Z stroje. V neposlední řadě je vhodná volba umístění tam, kde sonda není vystavena nadměrnému dopadu třísek z obrábění.

Dále je třeba zapojení konektorů kabelů do ovládní stroje a připojení přívodu vzduchu pro ofuk vysílače laseru. Přívod vzduchu musí vyhovovat vysoké kvalitě vzduchu bez příměsí a vlhkosti. Ofuk vysílače je stále zapnutý pro ochranu před prostředím v obráběcím stroji (mlhy procesní kapaliny). Kontaminace vysílaného paprsku se jinak projeví změnou ostrosti dopadu laseru na nástroj. Vzhledem k vysokým nárokům na odolnost objektivu přijímače instalujeme safírové sklíčko, které lépe chrání objektiv před třískami z obrábění.

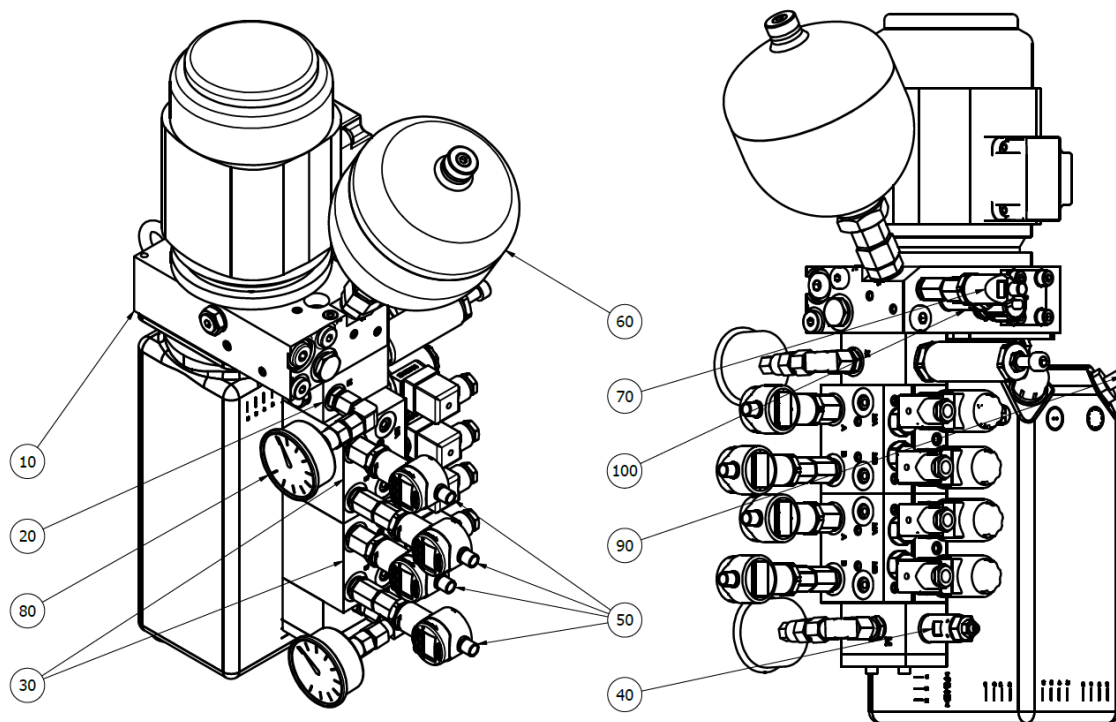
Nastavení laserové sondy

Dále je třeba nastavit ohnisko laseru. To se provede povolením jisticí matice a otočením šroubu do polohy, kdy je laser ve vzdálenosti nástroje ostrý a průměr laseru tenký. Pro snadné zjištění použijeme list papíru. Po nastavení opět utáhneme jisticí matici.

Během měření se musí nástroj točit 5 000, 1 000 nebo 200 otáčkami za minutu. Rychlost 200 ot·min⁻¹ se používá při detekci dělových vrtáků. Pro správné měření musí být chlazení skrz nástroj vypnuto. Při aplikaci měření za nízkých otáček je často volena možnost ofuku nástroje vzduchem pro odstranění procesní kapaliny z nástroje, a tím zvýšení ostrosti vysílaného paprsku. 5 000 ot·min⁻¹ nám poskytuje nejkratší čas detekce nástroje [35].

Zjištění stavu analýzy nástroje lze snadno přes diodu na tělese sondy. Výsledek je zobrazen zelenou diodou při dobrém stavu nástroje nebo diodou červenou v případě poškozeného nástroje. Kvalita přijímaného světla je zobrazena pomocí diod na grafické stupnici. Pro vyhodnocení musí být sepnuta minimálně dioda oranžová s jednou diodou zelenou. V ideálním případě svítí všechny 4 diody. Při absenci nástroje diody nesvítí, pokud diody svítí, povrch obráběcího stroje vrací vysílaný paprsek a tento stav bude způsobovat chyby měření. Množství přijímaného světla závisí na průměru detekovaného nástroje (od průměru pevného jádra nástroje 0,2 mm), barvě, povrchové úpravě a geometrii nástroje. Sonda běžně detekuje nástroje od průměru 2 mm [35].

Příloha 6 – Hydraulický agregát Hydac



Obrázek 53 – Sestava hydraulického agregátu

Tabulka 12 – Komponenty hydraulického agregátu

Komponenta	Pozice	Symbol [Jednotka]	Hodnota
Základní kompaktní agregát	10		
Redukční ventil - blok	20	p [bar]	65
Sedlové ventily a hydraulické zámky	30		
Pojistný ventil - sníženého tlaku	40	p_{max} [bar]	70
EDS2 - snímač tlaku větví	50		
Akumulátor	60	p_o [bar]	65
EDS - snímač tlaku hlavního	70		90-125
Manometr	80		
Teplotní snímač	90	t [°C]	80
Pojistný ventil - hlavní	100	p_{ex} [bar]	141
Hmotnost hydraulického agregátu		m [kg]	40
Hydrogenerátor		Q [l·min ⁻¹]	4
		p_{max} [bar]	155
Elektromotor		P [W]	750
		n [ot·min ⁻¹]	1 410

Jednotlivé komponenty hydraulického agregátu

Elektromotor

Čtyřpólový elektromotor o výkonu 750 W a otáčkách 1 410 ot·min⁻¹. Jedná se o třífázový, vzduchem chlazený elektromotor s kotvou na krátko [36].

Hydrogenerátor dodává množství $Q=3,7$ l·min⁻¹, o tlaku $p_{max}=155$ bar (obrázek 54).

3.4 PRŮTOK A TLAK

průtok		počet pólů	V ₃ čerpadla [cm ³ /U]	přiklon motoru při 3 ~ 50 Hz 230 / 400 V motor je určen též pro 3 ~ 60 Hz 257 / 480 V							znak motoru 03		znak motoru 63 1 ~ 50 Hz / 230 V
50 Hz [l/min]	60 Hz [l/min]			0,37 kW [bar]	0,55 kW [bar]	0,75 kW [bar]	1,1 kW [bar]	1,5 kW [bar]	2,2 kW [bar]	3,0 kW [bar]	1,5 kW [bar]		
1.3	1.6	4	1.0	215	250							250	
2.4	2.9	4	2.0	110	170	235	250					250	
3.7	4.4	4	2.65	75	115	155	230	250				230	
5.0	6.0	4	3.75	50	85	115	170	230	250			180	
6.3*	7.6*	4	4.75*	40	70	90	140	185	250			140	
7.4	8.9	2	2.65						230	250			
8.6*	10.3*	4	6.3*	30	50	65	100	130	200			100	
10.0	12.0	2	3.75						165	230			
12.6*	15.1*	2	4.75*						135	185			
13.3*	16.0*	4	10.0*		30	40	60	85	120			65	
17.3*	20.7*	2	6.3*						95	130			
20.0*		2	8.0*						80	110			
4 pólové motory jsou méně hlučné													

* není možné s nádrží B04

Obrázek 54 – Průtok a tlak hydraulického agregátu [36]

Hydraulický membránový akumulátor

Vzhledem k tomu, že kapaliny jsou téměř nestlačitelné, nemohou akumulovat žádnou tlakovou energii. Stlačitelnost plynu využijeme k akumulaci tlaku kapalin v akumulátorech hydraulicko-plastických. Jako stlačitelné médium se zde používá dusík. Membránové akumulátory jsou navrženy jako dvoukomorové, skládající se z kapalinové a plynové části oddělené neprodyšnou membránou. Kapalinová část je spojena s hydraulickým okruhem a při nárůstu tlaku se plyn stlačí v plynové komoře. Během poklesu tlaku stlačený plyn expanduje a vytlačuje hydraulickou kapalinu do okruhu. Ve spodní části je ochranný prvek, který při úplném vyprázdnění uzavře hydraulický výstup, a zabrání tím poškození membrány. Tento prvek je tvaru talířového ventilu. V našem případě je akumulátor naplněn na tlak $p_0 = 65$ bar. Dotlakování akumulátoru zabezpečuje hydraulické čerpadlo v závislosti na elektronickém snímači, který poskytuje informaci o tlaku, kde se žádaná hodnota vyskytuje v intervalu 90 – 125 bar [36].

3/2 sedlové ventily

Tento druh dvoutalířových ventilů slouží pro ovládání dvoučinného hydraulického válce. V našem návrhu jimi budeme ovládat dvoučinné hydraulické válce vždy v jednom směru na jeden ventil pro zabezpečení neměnnosti stavu při výpadku zdroje energie. Tato bezpečnost bude posílena hydraulickými zámky. Na začátku těchto základních modulů je ručně ovládaná redukce tlaku na redukčním ventilu. Zobrazení hodnoty tlaku probíhá za pomoci manometru. Tento druh talířových ventilů dosahuje požadovaných spínacích výkonů za pomoci vysokovýkonného elektromagnetu. Díly jsou kalené a broušené pro zajištění minimálního opotřebení, a tím zvýšení životnosti. Díky tomu a také díky elektromagnetům spínaným v oleji se sníží i hladina hluku [36].

Pojistný ventil (přepouštěcí)

Pojistný ventil chrání celý hydraulický obvod před tlakovým přetížením. Tento pojistný ventil je nastaven výrobcem dle možného bezpečného přetížení, je zaplombovaný, a tudíž je zakázáno jej měnit. V případě výskytu vyššího tlaku odvede přebytečný objem kapaliny do přepouštěcí větve, která ústí do zásobníku provozní kapaliny [36].

Zkratovací ventil

Při použití zkratovacího ventilu se propojí tlaková větev s přepouštěcí větví vedoucí do zásobníku hydraulického oleje, a tím se hydraulický obvod rychle odtlakuje, například při servisní zásahu [36].

Hydraulické propojení

V případě nepohyblivého vedení se používají přesné hydraulické bezešvé trubky, kterými zabezpečíme propojení mezi hydraulickým agregátem a hydraulickým systémem zařízení, hydraulickým silovým blokem. Z důvodu výběru stroje s paletovým systémem stolu je zde nainstalována rotační hydraulická spojka od firmy Kosmek. Bezešvé trubky musí být při instalaci řádně vyčištěné a spojené šroubením dimenzovaným na příslušný maximální provozní tlak. V případě vedení, se kterým se bude pohybovat, se používají vysokotlaké vícepletové hadice opět řádně vyčištěné pro připojení mezi pohyblivými prvky. Těchto hadic se využívá v prostoru dopravníku třísek, na dopravníku je namontován hydraulický agregát.

Hydraulická kapalina

Pracovní kapalina se zde používá ve formě minerálního hydraulického oleje třídy *VG 46 dle ISO TC 28/SC4 (DIN 51524)*. Minerální olej je na bázi zinku, je hořlavý s bodem vzplanutí cca 200 °C [36].

Při úniku oleje by se mělo postupovat jako při havárii ropných produktů, většinou stačí postižené místo zasypat dřevěnými pilinami nebo jinými vysoušecími přípravky [36].

V případě prvotního naplnění nádrže provozní kapalinou je třeba komponenty důkladně odkonzervovat, zkontrolovat a případně vyčistit nádrž a všechno hydraulické propojení. Samotné plnění se provádí s pomocí plnicího agregátu, který obsahuje filtr o jemnosti 3 µm. Během plnění je třeba dodržet interval maximální a minimální hodnoty hladiny. V případě menšího objemu naplnění se hydraulický agregát nesepe, při překročení maximální hladiny je způsoben únik oleje za chodu agregátu [36].

Seřízení

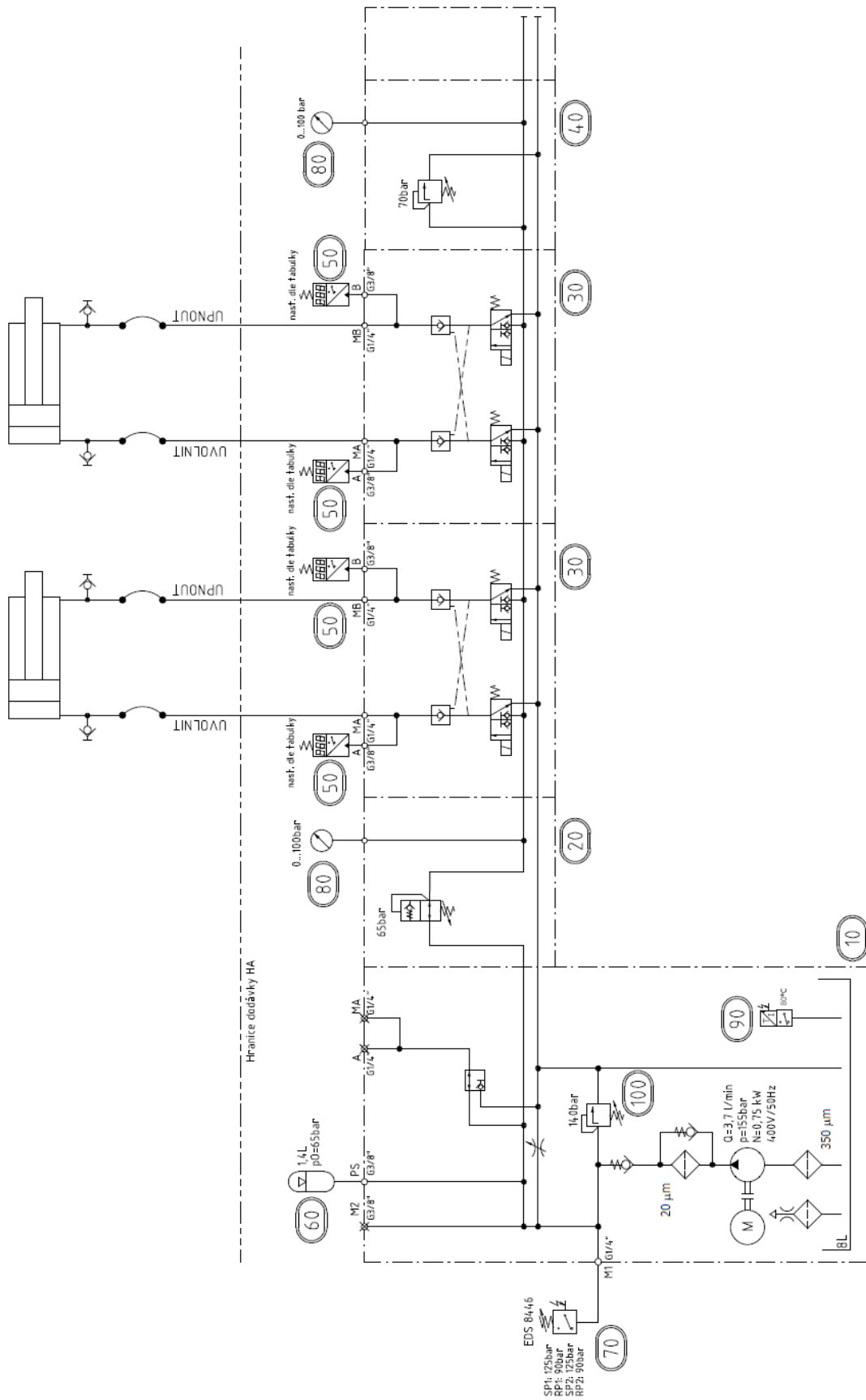
Seřízení u hydraulického agregátu se dělí na dva druhy. V prvním případě se jedná o prvotní seřízení a nastavení pojišťovacích a redukčních ventilů, které standardně provede výrobce. Ve druhém případě se některé prvky seřizují individuálně dle požadavků technologického procesu. Jednotlivé prvky je nutno seřadit v rozsahu udávaném výrobcem dle hydraulického schématu. Redukční ventil se seřizuje manuálně pomocí klíče, změnu tlaku lze sledovat na manometru v určeném měřicím místě. Redukční ventil výstupního tlaku přenášeného do větví je nastaven na 65 bar.

Elektronické tlakové snímače zprostředkovávají informaci o natlakování, lze je snadno nastavit pomocí digitálního displeje.

Při prvotním spuštění hydraulického agregátu je potřeba odvzdušnění obvodu systému. Toho se docílí několikerým přestavením sedlových ventilů a následným přesunutím pístu upínacího bloku s odvzdušňovacími ventily do krajních poloh.

Kontrolní úkony

Používání hydraulického agregátu vyžaduje určité kontroly. V denní frekvenci by se měl kontrolovat stav hladiny oleje a tlaku a vizuálně zkontrolovat těsnost a neporušenost celého hydraulického oběhu. Ve frekvenci jednou měsíčně je třeba očistit povrch agregátu od nečistot a manuálně zkontrolovat těsnost hydraulických komponent a propojení [36].



Obrázek 55 – Schéma hydraulického agregátu [36]

Příloha 7 – Seznam obrázků

Obrázek 1 – Řezné síly vrtáku	17
Obrázek 2 – Rozložení posuvové síly vrtáku [10]	18
Obrázek 3 – Schéma upnutí 1A	26
Obrázek 4 – Schéma upnutí 1B	27
Obrázek 5 – Schéma upnutí 2A	27
Obrázek 6 – Schéma upnutí 2B	28
Obrázek 7 – Schéma upnutí 3A	28
Obrázek 8 – Schéma upnutí 3B	29
Obrázek 9 – Koeficient tření.....	30
Obrázek 10 – Sklíčidlo s upínacími a ustavovacími prvky.....	33
Obrázek 11 – Sestava upínacího přípravku krytu rozvodového řetězu	36
Obrázek 12 – Vrták – v_c , v_f , α_p , D_c	42
Obrázek 13 – Průřez třísky	44
Obrázek 14 – Pohledy hotového dílce tělesa ventilu	47
Obrázek 15 – Obráběný dílec v řezu	48
Obrázek 16 – RTP	50
Obrázek 17 – Upínač – stupně volnosti dílce	55
Obrázek 18 – Síly působící na obrobek	57
Obrázek 19 – Základová deska	64
Obrázek 20 – Bočnice CKR160.....	65
Obrázek 21 – Deska upínačů	66
Obrázek 22 – Ustavovací plocha základny	67
Obrázek 23 – Univerzální čelist	68
Obrázek 24 – Vyměnitelná destička čelisti.....	68
Obrázek 25 – Představení os stroje.....	69
Obrázek 26 – Měření na trny ve vertikální a horizontální rovině strojní osy X.....	70
Obrázek 27 – Vyrovnání desky upínačů	71
Obrázek 28 – Kontrola desky upínačů při natáčení.....	71
Obrázek 29 – Měření deformací přídavné osy.....	71
Obrázek 30 – Základní vrtací operace	P1 – 1
Obrázek 31 – SNOP.....	P1 – 1
Obrázek 32 – Těleso brzdy	P1 – 2
Obrázek 33 – Sestava upínacího přípravku tělesa brzdy.....	P1 – 2
Obrázek 34 – Dílec krytu rozvodového řetězu	P1 – 3
Obrázek 35 – Swing clamp; Link clamp	P1 – 3
Obrázek 36 – Rough guide; Ustavovací kolík	P1 – 3
Obrázek 37 – Work support; Podpěra s kanálkem kontroly dosednutí dílce	P1 – 4
Obrázek 38 – Clippard ventil; Oplachová tryska	P1 – 4
Obrázek 39 – NC01-0ST.....	P1 – 4
Obrázek 40 – NC01-90ST	P1 – 5
Obrázek 41 – NC02-270ST	P1 – 5
Obrázek 42 – NC02-90ST	P1 – 5
Obrázek 43 – Nástroj T8 a T10 [38].....	P1 – 6
Obrázek 44 – Nástroj T5 a T6 [38] [39]	P1 – 7
Obrázek 45 – Nástroj T7 [39]	P1 – 8

Obrázek 46 – Brother R450 X1	P1 – 9
Obrázek 47 – SMC ISA3 GFP 1N	P1 – 9
Obrázek 48 – Renishaw <i>TRS2</i>	P1 – 10
Obrázek 49 – Kitagawa <i>CKR160</i>	P1 – 10
Obrázek 50 – Kitagawa <i>TSR142</i>	P1 – 11
Obrázek 51 – Schunk KSH-LH plus 100.....	P1 – 11
Obrázek 52 – Zakrytování čtvrté osy	P1 – 12
Obrázek 53 – Sestava hydraulického agregátu	P6 – 1
Obrázek 54 – Průtok a tlak hydraulického agregátu [36].....	P6 – 2
Obrázek 55 – Schéma hydraulického agregátu [36]	P6 – 4

Příloha 8 – Seznam grafů

Graf 1 – Závislost upínací síly na ovládacím tlaku	P3 – 1
Graf 2 – $C_p = 1,66$	P3 – 2
Graf 3 – $C_{pk} = 1,66$	P3 – 3
Graf 4 – C_{pk} tolerance	P3 – 3

Příloha 9 – Seznam tabulek

Tabulka 1 – Seznam komponent <i>RTP</i>	49
Tabulka 2 – <i>NC</i> program.....	52
Tabulka 3 – Potřebná upínací síla.....	56
Tabulka 4 – Upínací síla ve zvolené vzdálenosti.....	59
Tabulka 5 – Posuvná síla	P2 – 1
Tabulka 6 – Konstanty posuvné síly	P2 – 2
Tabulka 7 – Podmínky obrábění.....	P2 – 2
Tabulka 8 – Specifická řezná síla	P2 – 2
Tabulka 9 – Charakteristiky upínacího hydraulického silového bloku	P2 – 3
Tabulka 10 – Přehled postupu měření instalované přídatné rotační osy.....	P2 – 3
Tabulka 11 – Směrodatná odchylka vs. počty vzorků	P2 – 4
Tabulka 12 – Komponenty hydraulického agregátu	P6 – 1

Příloha 10 – Seznam rovnic

Rovnice 1 – Posuvová síla F_f	17
Rovnice 2 – Posuvová síla empirickým vztahem	17
Rovnice 3 – Úhel výsledné síly prvního upnutí.....	27
Rovnice 4 – Upínací síla druhého upnutí.....	27
Rovnice 5 – Reakce v opěrkách druhého upnutí.....	27
Rovnice 6 – Pomocná upínací síla druhého upnutí	28
Rovnice 7 – Působící síly druhého upnutí	28
Rovnice 8 – Úhel výsledné síly druhého upnutí	28
Rovnice 9 – Reakce v opěrkách třetího upnutí	28
Rovnice 10 – Působící síly třetího upnutí	29
Rovnice 11 – Úhel výsledné síly třetího upnutí.....	29
Rovnice 12 – Vyjádření úhlu tření α	30
Rovnice 13 – Úhel α jako koeficient tření	30
Rovnice 14 – Síla tření	30
Rovnice 15 – Řezná rychlost v_c	41
Rovnice 16 – Posuv za minutu v_f	42
Rovnice 17 – Posuv na otáčku f_n	42
Rovnice 18 – Posuv na zub f_z	42
Rovnice 19 – Jmenovitá tloušťka třísky h_D	43
Rovnice 20 – Jmenovitá šířka třísky b_D	43
Rovnice 21 – Šířka záběru ostří a_p	43
Rovnice 22 – Měrná řezná síla k_c	44
Rovnice 23 – C_p	44
Rovnice 24 – Poměr C_p a C_{pk}	45
Rovnice 25 – C_{pk}	45
Rovnice 26 – Počet kontaktních bodů.....	54
Rovnice 27 – Statická určitost uchopení	54
Rovnice 28 – Staticky neurčité upnutí.....	54
Rovnice 29 – Počet korekčních pohybů	55
Rovnice 30 – Hodnota korekčních pohybů	55
Rovnice 31 – Výpočet upínací síly F_U	56
Rovnice 32 – Statická rovnice rovnováhy.....	56
Rovnice 33 – Vztah sumy síly třecí a posuvové.....	56
Rovnice 34 – Vztah síly třecí a upínací	56
Rovnice 35 – Vztah sumy síly upínací a posuvové.....	57
Rovnice 36 – Vliv vzdálenosti čelistí na sílu bloku.....	59
Rovnice 37 – Činitel tlaku	59
Rovnice 38 – Sčítanec délky čelistí	59
Rovnice 39 – Vliv navržených čelistí na upínací sílu	59