

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2023

**VÁCLAV
KOSNAR**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

Upínací systémy pro soustružnické operace

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR: Václav Kosnar

VEDOUcí PRÁCE: Ing. Zdeněk Pitrmuc, Ph.D.

STUDIJNÍ PROGRAM: B 2342 Teoretický základ strojního inženýrství

STUDIJNÍ OBOR: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Praha 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kosnar** Jméno: **Václav** Osobní číslo: **501453**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Upínací systémy pro soustružnické operace

Název bakalářské práce anglicky:

Clamping systems for turning operations

Pokyny pro vypracování:

1. Definice soustružnických operací.
2. Upínací systémy pro konvenční soustruhy.
3. Pokročilé systémy hydraulické, elektromechanické a pneumatické principy využitelné na pokročilých CNC strojích.
4. Zhodnocení univerzálnosti a opakovatelnosti upínání pro jednotlivé typy.
5. Jednouúčelové upínací přípravky.

Seznam doporučené literatury:

RONG, Yiming a Yaoxiang ZHU. Computer-aided fixture design. New York: Marcel Dekker, 1999. ISBN 9780824799618.
ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2336-6.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Pitrmuc, Ph.D. ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **31.03.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Zdeněk Pitrmuc, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Pitrmuce, Ph.D., a to pouze pomocí podkladů uvedených v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne:

.....

Podpis autora

Poděkování

Chtěl bych poděkovat především vedoucímu práce panu Ing. Zdeňkovi Pitrmucovi, Ph.D. za profesionální vedení, odborné rady a věcné připomínky, za vstřícnost a jeho čas. Také bych rád poděkoval svým blízkým a rodině za podporu v průběhu celého studia.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukčního provedení jednoúčelového upínače pro soustružení tenkých rotačních dílů. Teoretická část práce se věnuje rešerši soustružnických operací, konvenčních metod upínání na soustruzích a moderních upínacích systémů vhodných pro použití na pokročilých CNC strojích. Praktická část se zabývá možným konstrukčním provedením a návrhem jednoúčelového upínače pro soustružení tělesa brousícího kotouče. Vzhledem k zaměření oboru se jedná o teoretický návrh vhodný pro následné upravení dle reálných požadavků konkrétního vyráběného dílu.

Klíčová slova: metody upínání na soustruzích, jednoúčelový upínač, soustružení, CNC

Annotation

This bachelor's thesis deals with the concept of a single-purpose clamping system for turning thin rotary parts. The theoretical part of the thesis is dedicated to the research of turning operations, conventional clamping methods on lathes and modern clamping systems suitable for use on advanced CNC machines. The practical part deals with the possible construction and design of a single-purpose clamping system for turning the grinding wheel body. Due to the focus of the field, this is a theoretical proposal suitable for subsequent modification according to the real requirements of a specific manufactured part.

Keywords: clamping systems on lathes, single-purpose clamp, turning, CNC

Obsah

| | |
|--|----|
| 1. ÚVOD..... | 13 |
| 2. SOUSTRUŽENÍ..... | 14 |
| 2.1 PRINCIP SOUSTRUŽENÍ..... | 14 |
| 2.1.1 Stroj..... | 14 |
| 2.1.2 Nástroj | 15 |
| 2.2 SOUSTRUŽNICKÉ OPERACE..... | 15 |
| 2.2.1 Vnější podélné soustružení | 16 |
| 2.2.2 Čelní soustružení | 16 |
| 2.2.3 Vnější tvarové soustružení | 16 |
| 2.2.4 Vnější zapichování a upichování..... | 17 |
| 2.2.5 Vnitřní zapichování | 17 |
| 2.2.6 Vnitřní podélné a tvarové soustružení | 17 |
| 2.3 SÍLY PŘI SOUSTRUŽENÍ..... | 18 |
| 2.4 POŽADAVKY PŘI UPÍNÁNÍ | 19 |
| 3. UPÍNACÍ SYSTÉMY PRO KONVENČNÍ SOUSTRUHY | 20 |
| 3.1 ČELISŤOVÁ (SILOVÁ) SKLÍČIDLA | 20 |
| 3.1.1 Princip mechanického čelistového sklíčidla | 21 |
| 3.1.2 Kinematika čelistového sklíčidla | 21 |
| 3.1.3 Rozdělení čelistí silových sklíčidel | 22 |
| 3.2 LÍCNÍ DESKA | 25 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.2.1 | Upínací systémy lícni desky | 25 |
| 3.3 | UPÍNÁNÍ MEZI HROTY | 27 |
| 3.4 | OPĚRY | 27 |
| 3.5 | UPÍNÁNÍ DO KLEŠTIN | 28 |
| 3.5.1 | Princip kleštinového upínače..... | 29 |
| 3.6 | ROZPÍNACÍ TRNY..... | 29 |
| 3.6.1 | Princip rozpínacího trnu | 30 |
| 3.7 | KUŽELOVÉ A VÁLCOVÉ TRNY | 30 |
| 4. | POKROČILÉ SYSTÉMY HYDRAULICKÉ, PNEUMATICKÉ A ELEKTROMECHANICKÉ A PRINCIPY VYUŽITELNÉ NA POKROČILÝCH CNC STROJÍCH | 31 |
| 4.1 | PNEUMATICKÉ ČELISŤOVÉ SKLÍČIDLO | 31 |
| 4.1.2 | Princip činnosti pneumatického čelistového sklíčidla..... | 31 |
| 4.2 | HYDRAULICKÉ ČELISŤOVÉ SKLÍČIDLO..... | 32 |
| 4.2.1 | Princip činnosti hydraulického čelistového sklíčidla | 33 |
| 4.2.2 | Princip činnosti hydraulického válce | 34 |
| 4.3 | ELEKTROMECHANICKÉ SKLÍČIDLO | 34 |
| 5. | JEDNOÚČELOVÉ UPÍNACÍ PŘÍPRAVKY..... | 35 |
| 6. | NÁVRH JEDNOÚČELOVÉHO UPÍNAČE | 36 |
| 6.1 | ZÁKLADNÍ INFORMACE O UPÍNANÉM DÍLU..... | 36 |
| 6.2 | POŽADAVKY NA UPNUTÍ TĚLESA BROUSICÍHO KOTOUČE | 37 |
| 6.3 | MOŽNÉ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ UPÍNAČE..... | 37 |
| 6.4 | KONSTRUKČNÍ NÁVRH UPÍNAČE..... | 38 |
| 6.5 | SILOVÉ POŽADAVKY NA UPÍNAČ | 39 |
| 6.6 | SILOVÉ POMĚRY NA UPÍNAČI..... | 39 |
| 6.6.1 | Kontrola napětí v upínacím šroubu a matici a utahovací moment..... | 39 |
| 6.6.2 | Analýza napětí v ostatních součástech upínače | 43 |
| 6.7 | VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE K JEDNOÚČELOVÉMU UPÍNAČI | 46 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 7. ZÁVĚR | 47 |
| Podklady pro praktickou část | 49 |
| Bibliografie..... | 51 |
| Seznam obrázků..... | 55 |
| Přílohy..... | 57 |

1. ÚVOD

Soustružení, které se řadí do třískového obrábění je velmi stará technologie, jejíž počátky se odhadují již 3000 let zpět. V 18. století tato technologie zaznamenala razantní skok v rozvoji, kdy z původních dřevěných soustruhů se postupně začaly stávat složitější, přesnější a výkonnější stroje s kovovou konstrukcí. Postupně se přidávali další funkce, jako poháněné posuvy, odstupňované otáčky a rychlosti posuvů a zvyšovala se tuhost konstrukce. [1]

Dalším významným milníkem v historii vývoje soustruhů bylo zavedení nejprve numerického řízení neboli NC (numeric control) v průběhu minulého století. Nedlouho poté se začalo využívat soustruhů řízených počítačem známých pod zkratkou CNC (computer numeric control). To umožnilo mnohonásobně zvýšit přesnost a opakovatelnost výroby díky programování a vyloučit z velké míry vliv odbornosti obsluhy stroje. Dnes je soustružení jednou z nejhodněji používaných technologií obrábění.

S tím, jak se vyvíjely soustruhy také vznikaly požadavky na upínací systémy. Kvůli velké rozmanitosti vyráběných dílů není možné použít pouze jeden upínací systém, který by splnil všechny požadavky. Proto v teoretické části bude provedena rešerše jednotlivých soustružnických operací a upínacích systémů používaných na konvenčních i pokročilých CNC soustruzích, přičemž se mimo jiné zaměří na univerzálnost a opakovatelnost daného systému upínání.

V některých případech může nastat situace, kdy je buď z konstrukčního nebo technologického hlediska nemožné nebo ekonomicky nevýhodné použití standardních upínacích systémů a zvolí se použití jednoúčelového upínače.

Konstrukčním návrhem jednoúčelového upínače pro výrobu tělesa brousícího kotouče se bude zabývat praktická část práce. Konstrukční řešení by mělo splňovat vysokou míru přesnosti a dobrou opakovatelnost.

2. SOUSTRUŽENÍ

2.1 PRINCIP SOUSTRUŽENÍ

Soustružení je metoda třískového obrábění, kdy při třískovém obrábění dochází k ubírání materiálu na obráběných plochách polotovaru řezáním. Díky tomu se mění jeho geometrie. Jedná se o soustavu stroj-nástroj-obrobek. [2]

Při soustružení koná hlavní řezný pohyb obrobek a jedná se o rotační pohyb. Právě díky rotaci dochází ke kontinuálnímu záběru nástroje a tvorbě třísky, proto se soustružení dá považovat za kontinuální obráběcí proces, na rozdíl například od frézování. [3]

Nástroj se nazývá soustružnický nůž a vykonává vedlejší řezný pohyb, a to posuvný podélný (rovnoběžně s osou rotace obrobku), příčný (přisuvný, kolmo k ose rotace) nebo obecný. Pohyb nástroje může být v obou osách plynulý nebo přerušovaný. [1]

Vzhledem k velké rozmanitosti tvarů a velikostí rotačních dílů se používá více typů soustruhů a podle dané soustružnické operace a typu obráběného materiálu široká škála soustružnických nožů. Přesnost výroby se silně odvíjí od tuhosti stroje obrobku a nástroje a neméně také od přesnosti a tuhosti upnutí obrobku. [1]

2.1.1 Stroj

Stroj se nazývá soustruh. Nejčastěji s možností pohybu ve dvou osách, x a z. Na obr. 1 je znázorněn takový konvenční soustruh. Moderní CNC soustruhy mohou mít pohyblivých os více.



Obrázek 1 - konvenční soustruh [33]

2.1.2 Nástroj

Soustružnický nůž odebírá třísku z materiálu. Tvar, geometrie a natavení se odvíjí od oblasti použití. [4]

Nůž má následující části:

Stopka – část sloužící k upnutí do obráběcího stroje. Její tvar a rozměry se liší v závislosti na upínacím systému daného stroje. U konvenčních soustruhů má stopka nejčastěji čtvercový nebo obdélníkový průřez a je opřena o spodní plochu nazývanou základna.

Břit – řezná část nástroje podílející se na odebrání třísky

Čelo nástroje – plocha nože, po které odchází tříska

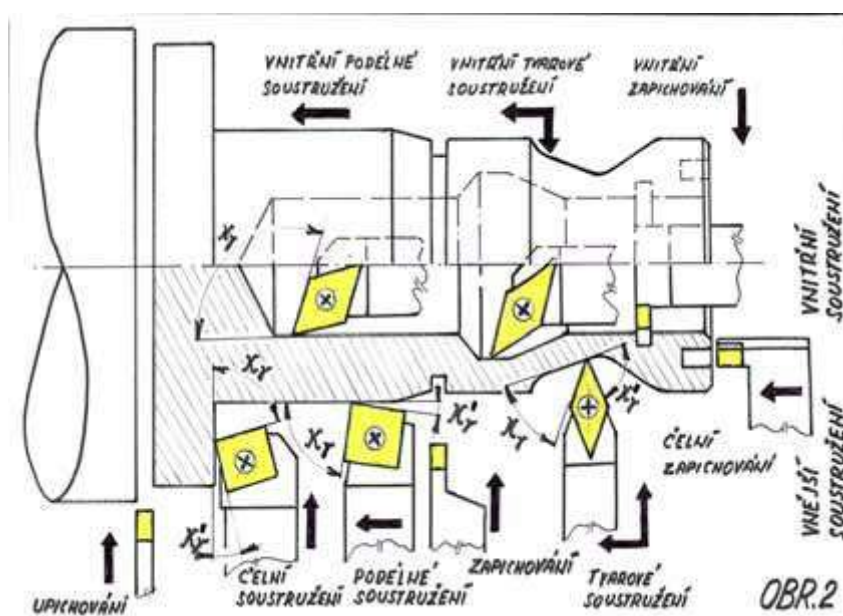
Hřbet – plocha nebo případně více ploch, které se přimykají k ploše řezu

Hlavní ostří – přechodová část břitu mezi čelem a hřbetem, která vytváří na obrobku přechodovou plochu

[3]

2.2 SOUSTRUŽNICKÉ OPERACE

Podle dráhy nástroje, tedy zároveň obráběného tvaru, se při obrábění soustružení dělí do jednotlivých operací. Na obr. 2 je vidět, že pro jednotlivé operace se používají různé typy soustružnických nožů, a to kvůli geometrii břitu, aby bylo možné danou plochu obrábět a s tím úzce spojené nastavení optimálních řezných podmínek. [1]



Obrázek 2 - Soustružnické operace [5]

2.2.1 Vnější podélné soustružení

Vnější podélné soustružení je jedna z nejběžnějších soustružnických operací. Nástroj se pohybuje především v ose z, tedy ose vřetene a koná hlavně přímočarý pohyb, přísuvy v ose x jsou minimální. Díky tomu se úhel nastavení hlavního i vedlejšího ostří příliš nemění a je možné poměrně snadno nastavit optimální řezné podmínky. Vzhledem k tomu, že je lze nastavit malý úhel vedlejšího ostří, je možné použít i velmi robustní nástroje, což umožňuje použít těžké hrubování, pokud je obrobek a jeho upnutí dostatečně tuhé. Touto operací se obrábějí nejčastěji válcové nebo kuželové plochy [2] [5]

2.2.2 Čelní soustružení

Při čelním soustružení se nástroj pohybuje ve kolmo na osu vřetene ve směru osy x. Používá se při obrábění čelních ploch polotovaru. Vzhledem k velkým změnám průměru při této operaci, se mění i řezná rychlost. To může mít za následek zhoršení povrchu kvůli nevhodným řezným podmínkám. Na moderních CNC strojích je možné tento problém kompenzovat změnou otáček v závislosti na průměru. Při obrábění čelních ploch vznikají velké radiální síly, proto je potřeba zajistit dostatečně tuhé upnutí obrobku, aby nedocházelo k vibracím, nepřesnostem nebo vytržení obrobku z upínače. Částečně je možné snížit radiální síly tak, že se zvětší úhel nastavení hlavního ostří, čímž dojde k rozložení řezné síly více do osy rotace a ve směru radiálních síly poklesnou. [1] [5]

2.2.3 Vnější tvarové soustružení

Vnější tvarové soustružení se nejčastěji používá k dokončování tvaru obrobku. Vzhledem ke změnám tvaru, tedy i průměru se zásadně mění úhel nastavení vedlejšího i hlavního ostří. Úhel vedlejšího ostří určuje maximální kuželovitost součásti, kdy v případě, že by se vedlejší ostří dostalo do kontaktu s obráběnou plochou, ovlivnilo by výsledné rozměry a tvar součásti, což je nežádoucí jev. Často se také objevuje situace, kdy je potřeba obrobit jedním nástrojem i osazení. Proto musí být úhel nastavení hlavního ostří větší než 90° . To vytváří požadavek na použití nástrojů s úhlem špičky menším než 90° . Tento faktor však u nožů s úhlem špičky výrazně menším než 90° snižuje její pevnost, čemuž se musí přizpůsobit zvolené řezné podmínky, aby nedošlo k jejímu poškození. Výhodou je možnost použití jednoho nástroje, což šetří čas na výměnu. [5] [6]

2.2.4 Vnější zapichování a upichování

Upichování se používá k dělení materiálu a zapichování pro výrobu drážek, kdy tvar drážky většinou odpovídá tvaru nástroje. Obě tyto operace jsou typické vznikem velkých radiálních sil a také tím, že na dokončování povrchu se podílejí vedlejší ostří nástroje. Protože se nástroj při upichování plného materiálu dostává téměř až do osy rotace, kde je řezná rychlost nulová je u upichování problém s velkou změnou průměru nejvýraznější ze všech typů operací. Proto, pokud je vybaven obráběcí stroj možností regulace otáček v průběhu cyklu, upravují se otáčky v závislosti na průměru. Zápichy mívají zpravidla úzký profil a při upichování je šířka odebíraného materiálu minimalizována z ekonomického hlediska. Proto bývají nástroje velmi úzké, díky čemuž jsou snadno rozpoznatelné na první pohled a v případě nožů s vyměnitelnou břitovou destičkou mají jiný upínací mechanismus, protože konvenční upínání pomocí šroubku zde není možné. Soustružnický nůž si ale i přes svou malou šířku musí zachovat dostatečnou tuhost. [5] [7]

2.2.5 Vnitřní zapichování

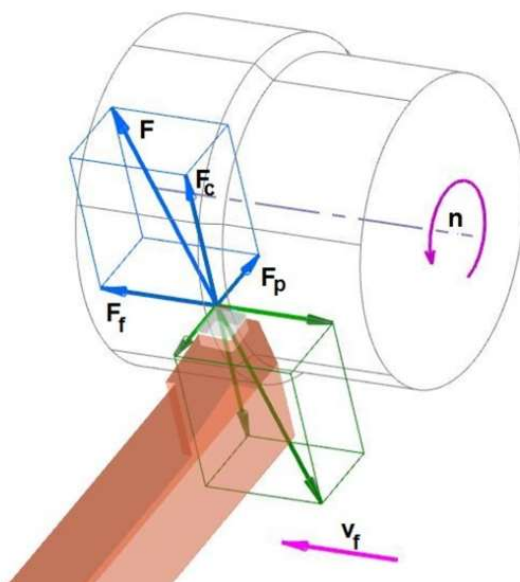
Vnitřní zapichování je principiálně stejné jako vnější zapichování, ale je mnohem náročnější v požadavcích na nástroj. Vzhledem k nemožnosti snížení radiální síly kvůli specifickým tvarům břitových destiček, je nástroj extrémně namáhaný. Nejdůležitější je dostatečná tuhost. Kvůli velkému vyložení a rozměrům držáku omezených průměrem a tvarem obráběné dutiny je tato operace náchylná ke vzniku vibrací právě v důsledku nedostatečné tuhosti nástroje, a proto je velmi důležité zvolit správně řezné podmínky. [2] [5]

2.2.6 Vnitřní podélné a tvarové soustružení

Stejně tak jako u vnitřního zapichování, princip vnitřního podélného a tvarového soustružení je stejný jako u vnějšího. Klasicky se zde však projevuje velké vyložení nástroje, které snižuje tuhost nástroje a zvyšuje náchylnost k vibracím. Doporučené maximální vyložení se mění v závislosti na použitém držáku. Pro nejdelší vyložení se používají držáky s tlumičem vibrací. Pro snížení radiálních sil se volí jiné úhly nastavení hlavního ostří než při vnějším obrábění. Řezné podmínky a tvar břitové destičky musí zaručit takový typ třísky, který je možné snadno odvádět, nejčastěji se volí lámaná tříška, která se snadno vyfukuje nebo vyplavuje chladícím médiem. [1]

2.3 SÍLY PŘI SOUSTRUŽENÍ

Stejně jako při jakémkoliv třískovém obrábění dochází i u soustružení ke vzniku sil vyvozených odporem odebíraného materiálu proti nástroji. Grafické znázornění sil je na obr. 3. Hlavní složkou je řezná síla F_c , dalšími složkami pak jsou posuvová síla F_f a přířuvová síla F_p . Ty se skládají do celkové řezné síly F . Velikosti dílčích sil a jejich směry se mění v závislosti na obráběném materiálu, posuvu, hloubce třísky, řezné rychlosti a na tvaru a nastavení nástroje. Pokud je řezání ortogonální, což znamená, že úhel ostří je kolmý na osu rotace, celková řezná síla je pouze ve dvou směrech a třetí složka je nulová. Pokud je úhel ostří jiný, vzniká prostorová řezná síla a toto řezání se nazývá vázané. Vzniklé síly působí jak na nástroj, tak na samotný obrobek a vyvozuji v něm především ohyb a krut, v menší míře pak vznikají i síly, které vytahují nebo vtlačují obrobek z nebo do upínače. V místě upnutí součásti tak vzniká krouticí moment a ohybový moment. Ten je potřeba s určitou bezpečnou rezervou přenášet, aby nedošlo k prosmýknutí součásti v upínači nebo jejímu vybočení v důsledku ohybu. Prosmýknutí by mohlo způsobit poškození dílu nebo upínače, popřípadě i nástroje. Vybočení pak mění polohu dílu vůči nástroji, a rozměry neodpovídají požadavkům nastaveným na stroji. V horším případě může vybočení zvětšit hloubku řezu natolik, že dojde k poškození nástroje nebo trvalé deformaci obráběného dílu. [2] [3]



Obrázek 3 - rozložení řezných sil [34]

Velikost řezné síly je dána vztahem:

$$F_c = k_c \cdot A_D [N]$$

kde:

k_c [MPa] je měrný řezný odpor

A_D [mm²] je jmenovitý průřez třísky

Síly F_p a F_f je možné spočítat na základě nastavené geometrie nože nebo pomocí empiricky odvozených vztahů. [2]

Celková řezná síla se pak spočítá vztahem:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2} [N]$$

kde:

F_c [N] je řezná síla

F_f [N] je posuvová síla

F_p [N] je příusuvová síla

Minimální kroutící moment, který je potřeba přenášet v upínači lze vypočítat podle vzorce:

$$M_{kmin} = F_c \cdot r_o [N \cdot mm]$$

kde:

F_c [N] je řezná síla

r_o [mm] je poloměr obráběné plochy

Ohybový moment vyvozený v místě upnutí je pak možné dovést pomocí rovnice:

$$M_o = F_c \cdot L_v + F_p \cdot r_o [N \cdot mm]$$

kde:

F_c [N] je řezná síla

F_p [N] je příusuvová síla

L_v [mm] je délka vyložení obrobku

[2]

2.4 POŽADAVKY PŘI UPÍNÁNÍ

Na upnutí obrobku se vztahuje hned několik důležitých požadavků, podle kterých se vybírá nejvhodnější způsob upínače.

Prvním požadavkem je spolehlivé přenesení kroutícího momentu, což souvisí s požadavkem co nejméně upnutím ovlivnit součást. Nejčastěji se totiž k zajištění přenosu kroutícího momentu používá silový spoj, který elasticky, v horším případě i plasticky, deformuje obrobek. Tato deformace se podepisuje především na kruhovitosti výrobku,

protože ač se obrobením vytvoří přesně kruhový tvar, po vyjmutí součásti z upínače, tedy po pominutí upínacích sil, se elasticky vrátí a zdeformuje svůj tvar. V případě plastické deformace se součást může znehodnotit, pokud byla upnuta za funkční plochu. [8] [9]

Dalším požadavkem je, aby upínač bránil co nejméně v prostoru odebrání třísky, jednak proto, že by se tříska mohla namotat a něco poškodit, ale hlavně proto, aby bylo možné obrobit všechny tvary na co nejmenší počet upnutí. S každým pře-upnutím se jednak prodlužuje výrobní čas a snižuje se tak efektivita výroby, ale především klesá výrobní přesnost. Protože samotný upínač má toleranci kruhového házení a po vyjmutí je při následném znovu-upnutí nutné obrobek vyrovnat. To bohužel není možné vždy úplně bezchybně. [9]

Z toho vychází další požadavek na přesnost upínače, a to na opakovatelnost upnutí. Tento požadavek vychází ze situace, kdy je polotovarem již obrobena součást, na které se vyrábí rotační plocha na přesně dané pozici. Pokud se má takovýto díl vyrábět opakovaně nebo sériově, je potřeba co nejlepší opakovatelnost, aby nedocházelo k výrobě dílů mimo toleranci a nemusel se každý díl zdlouhavě a složitě vyrovnávat. [9]

Neméně podstatná je bezpečnost upnutí obrobku, rychlost upnutí a cena upínače. Rychlost upnutí vstupuje do procesu hlavně v podobě nákladů, protože zvýšením rychlosti upínání klesá čas, kdy stroj stojí a nevytváří zisk. [3] [10]

3. UPÍNAČÍ SYSTÉMY PRO KONVENČNÍ SOUSTRUHY

3.1 ČELIŠTOVÁ (SILOVÁ) SKLÍČIDLA

Čelistová sklíčidla jsou nejčastěji používaným typem upínačů na konvenčních soustruzích. Používají se však i na CNC soustruzích. Využívají se jak pro kusovou, tak sériovou výrobu. Nejčastěji jde o provedení se třemi nebo čtyřmi čelistmi. Jejich nespornou výhodou je velký rozsah rozměru upínaného obrobku. Také je možné požívat různé typy čelistí podle aktuálních potřeb. Je možné upínat podle použitých čelistí jak za vnitřní, tak vnější plochu. Důležité však je, aby byl obrobek v místě upnutí dostatečně tuhý, protože kontaktní plocha čelisti s obrobkem je poměrně malá a dochází tak k větším deformacím při upnutí. Při větším vyložení (délce přečnívající přes čelisti) je nutné použití opěrného hrotu nebo lunety. Tříčelistové sklíčidlo se hodí především pro upínání kruhových polotovarů. Čtyřčelistová sklíčidla se hodí pro upínání čtvercových polotovarů nebo polotovarů s počtem stran dělitelným čtyřmi, ale je potřeba poměrně vysoká přesnost polotovaru. Pokud je polotovar

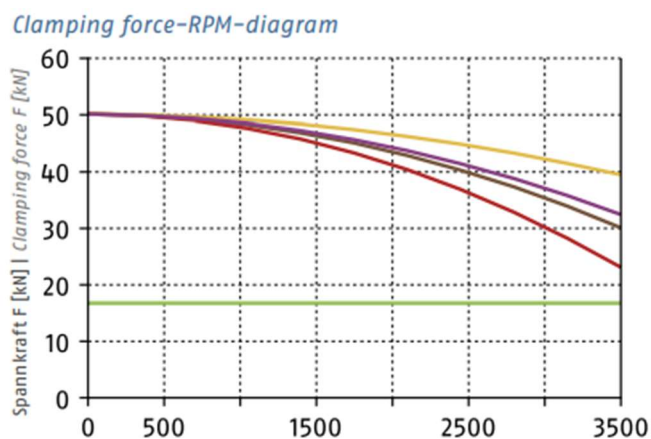
málo přesný, v kontaktu jsou jen tři čelisti a upnutí je nestabilní a nebezpečné. Mezi nevýhody patří nižší přesnost házení, větší časová náročnost (především u provedení s ručním ovládním). [6] [8]

3.1.1 Princip mechanického čelistového sklíčidla

Sklíčidlo je složené z těla sklíčidla, ve kterém jsou přesné vodící drážky, ve kterých se pohybují čelisti. Čelisti na sobě mají ze spodní strany zubový profil, který zapadá do spirálového ozubení na talířovém kole, které je otáčeno pomocí pastorku, do kterého zapadá klíč. Otáčením, se po spirále čelisti posouvají buď směrem k sobě nebo od sebe a vytvářejí tak upínací sílu. Tento typ se více hodí pro ruční ovládní. Druhý mechanismus funguje tak, že do posuvné klínové tyče zapadají zuby na čelistech. Posouváním klínové tyče pomocí pohybového šroubu se tak čelisti svírají nebo rozevírají. Díky souběžnému pohybu všech čelistí dochází u obou provedení k samostředícímu efektu. [6]

3.1.2 Kinematika čelistového sklíčidla

Na čelistech sklíčidla při dotažení vzniká upínací síla, která kontaktem s obrobkem vytváří silový spoj. Výsledný kroutící moment, který je možný pomocí sklíčidla přenášet se odvíjí od tření mezi čelistí a upínaným materiálem. Adheze se dá upravovat podle typu použitých čelistí. Vzhledem k tomu, že čelisti neleží v ose rotace, působí na ně odstředivé síly, které snižují sílu upínací. Každý výrobce proto u svého sklíčidla udává charakteristický průběh upínací síly v závislosti na otáčkách. Takový graf je možné vidět na obr. 4. Pokud je možnost měnit mezi sebou různé typy čelistí, je v grafu výrobce uvedeno více křivek pro každý typ použitých čelistí, na obr. 4 je každý typ zastoupen jinou barvou. [8] [11]



Obrázek 4 - Diagram upínací síly v závislosti na otáčkách [11]

3.1.3 Rozdělení čelistí silových sklíčidel

Měkké čelisti

Měkké čelisti (obr. 5) se dodávají v podobě polotovaru. Následně po usazení do sklíčidla proběhne jejich takzvané protočení (prosoustřžení) na požadovaný průměr odpovídající průměru upínaného polotovaru. Tím se zajistí dobrá opakovatelnost a vysoká přesnost. Měkké čelisti se tak vždy uzpůsobují pro konkrétní výrobek a pro použití na jiný díl je potřeba je buď vyměnit nebo opět přesoustřžit. Výsledný tvar čelistí není udáván žádnou normou. Díky prosoustřžení na daný průměr se výrazně zvyšuje kontaktní plocha. Dochází tak k rozložení upínací síly a snížení napětí v místě upnutí, a tedy i deformaci obrobku. Nevýhodou je horší variabilita čelistí, kdy pro změnu průměru je potřeba je opakovaně protočit na nový průměr. Buď tak dochází k ubírání materiálu čelistí a poměrně brzy se musí vyřadit nebo je možnost používat více čelistí a při změně průměru je měnit. Druhá varianta s sebou nese problematiku možného snížení přesnosti, hlavně v podobě házení. [12] [13]



Obrázek 5 - měkká čelist výrobce Schunk [12]

Tvrdé čelisti

Tvrdé čelisti (obr. 6) se na rozdíl od měkkých prodávají již jako hotové, bývají tvarově složitější, aby byli univerzálnější a jsou vyrobené tak, aby měli velký rozsah použití. Nejčastěji mívají z jedné strany několik stupňovitých osazení a jejich otočením je používat jak pro vnější, tak vnitřní upínání. Jejich výhodou je možnost použití na více typů polotovaru, ale mají nižší přesnost a opakovatelnost než měkké. Mezi tvrdé čelisti se řadí například i hrubovací čelisti, které mají vroubkové ozubení, díky kterému se čelist zaryje do povrchu hrubované součásti a

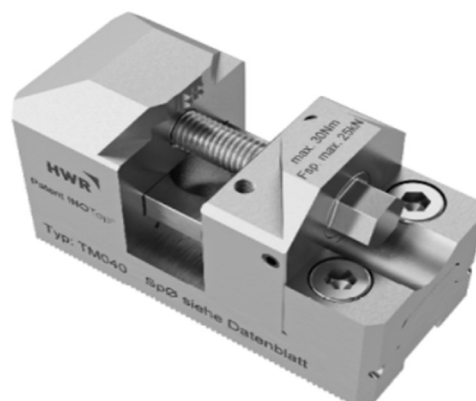
zásadně se tak zvyšuje tření mezi součásti a čelistí. Výrazně tak roste přenášený kroutící moment. Díky tomu je možné zvolit velkou hloubku řezu a zkrátit tak výrobní čas. Nevýhodou je, že na polotovaru vznikají otlaky v místě kontaktu, a proto je není možné používat na funkční plochy. Tvar čelistí bývá často předepsán normou. [8] [14]



Obrázek 6 - univerzální hrubovací čelist výrobce schunk [14]

Hybridní upínací čelisti

Hybridní upínací čelisti se používají pro upínání snadno deformovatelných dílů jako jsou například příruby nebo trubky. Každá čelist se skládá ze dvou částí, jak lze vidět na obr.7. Deformace se minimalizuje tím, že se na upínaném průměru použije jen malá upínací síla, díky které se obrobek vystředí. Následně se dotáhne druhá část čelisti z druhé strany. Dojde tak sevření stěny polotovaru, přes kterou se realizuje přenos momentu a sil. Tento typ čelistí však není vhodný pro sériovou výrobu z důvodu dlouhého upínacího času. Přesností a opakovatelností jsou srovnatelné s tvrdými čelistmi [15]



Obrázek 7 - hybridní upínací čelist INOtop [15]

Výkyvné čelisti

Výkyvné čelisti, viz obr. 8 slouží pro rozložení upínací síly na více ploch po obvodu upínané součásti. Díky možnosti výkyvu také automaticky vzniká styk na všech plochách čelistí a upnutí je tak bezpečné. Díky rozložení síly se násobně snižuje deformace upínaného dílu. Proto se dobře hodí pro tenkostěnné obrobky, které jsou na deformace obzvláště náchylné. Nevýhodou může být snížená tuhost čelisti a také její přesnost v důsledku složení z více pohyblivých částí a horší opakovatelnost. [16]



Obrázek 8 - výkyvné čelisti výrobce Schunk [16]

Segmentové čelisti

Na obr. 9 jsou segmentové čelisti. Díky tomu, že mají velkou styčnou plochu s obrobkem, se roznáší síla na větší plochu a opět se minimalizují jeho deformace. [17]



Obrázek 9 - segmentová čelist výrobce Schunk [17]

3.2 LÍCNÍ DESKA

Lícní deska slouží pro upínání především velmi těžkých, tvarově složitých, nesouměrných dílů. Využít se však dá i pro výrobu excentrických dílů jako je například kliková hřídel, kdy je osa upínání části posunuta oproti ose vřetene nebo pro upnutí výrobku, které je možné upnout pouze za plochy kolmé na čelo desky. Tento díl si můžeme představit například jako T-koleno, na kterém se obrábí příruby. Konstrukce lícní desky by měla být co nejlehčí, ale zároveň velmi tuhá, aby nedocházelo k vibracím nebo deformacím v důsledku zatížení. Na lícní desce bývá zpravidla možné použít hned několik typů upínacích systémů, aby byla deska univerzální. Pokud se na desku upíná výrazně rozvážený polotovar nebo jsou požadovány vyšší otáčky, je nutné použít protizávaží, které bude kompenzovat odstředivé síly vzniklé rotováním rozvažku při obrábění. Obecně z principu fungování lícní desky vyplývá nižší přesnost a špatná opakovatelnost, protože nedochází k samo středícímu efektu. Je zde také možnost vložit do vřeteníku opěrný hrot a obrobek pak středit na referenční středící důlek. Díky tomu se výrazně zkracuje doba seřizování polohy a zlepšuje opakovatelnost. Lícní desky lze použít jak pro horizontální, tak vertikální soustruhy, ale liší se konstrukcí, především robustností. Při krátkém vyložení je možné upnutí bez podepření, takzvané letmé. V případě většího vyložení je nutností použít podepření opěrným hrotem v koníku nebo podpěrou, případně jejich kombinaci. [6] [8]

3.2.1 Upínací systémy lícní desky

Upínání mezi čelisti

Při upínání mezi čelisti je možné popsat princip fungování jako čelistové sklíčidlo s nezávisle ovládanými čelistmi. Ve většině typů provedení je v drážce posouvána čelist šroubem upevněným k lícní desce viz obr. 10. Osová síla vnikající při dotažení šroubu působí ve směru pohybu čelisti. Samotné upnutí je pak realizováno na plochách kolmých na základnu lícní desky. Použití čelistí je vhodné například při výrobě klikových hřídelí nebo excentrů, ale například i díly jako armatury s nesymetrickou přírubou, které není možné upnout do čelistového sklíčidla. [8] [10]



Obrázek 10 - lící deska s čelistmi [10]

Upínání pomocí upínek

Tento způsob upínání se používá u dílů s rovinnou plochou, která je v kontaktu se základnou lící desky a je k ní přitažena pomocí upínek, které jsou v lící desce zachyceny do frézovaných drážek. Veškerý upínací moment je přenášen třením mezi těmito plochami. Pro příklad použití je možné uvést například díl ze silného plechu se soustruženými otvory. [8] [6] [10]

Upínání pomocí úhelníku

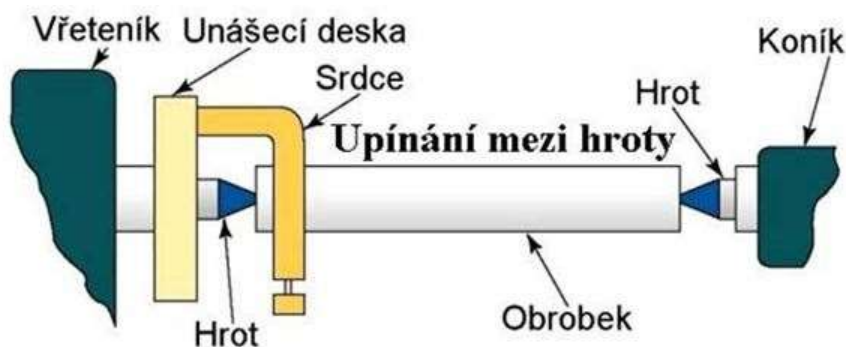
Systém upínání pomocí úhelníku funguje tak, že se na lící desku přišroubuje pravoúhlý úhelník podobně jako upínky. Úhelník má na sobě pak upínací plochu kolmou k lící desce. Tento systém je vhodný pro obrábění dílů s upínací plochou kolmou na osu obráběné plochy. [18]

Upínání do svěráku/sklíčidla

Na lící desku je možné umístit i sklíčidlo nebo svěrák. Použití sklíčidla má tu výhodu oproti upínání do čelistí, že má poměrně vysokou přesnost a rychlost upnutí, nevýhodou je možnost upínání pouze vybraných tvarů, tak jako v případě použití klasického sklíčidla. Zvyšuje se tak efektivita upínacího procesu při sériové výrobě. Kombinací s podepřením opěrným hrotem ve vřetení lze dosahovat mnohem lepších výsledů opakovatelnosti a přesnosti. Podobně je tomu i u svěráku, kdy, pokud se opakovaně upíná jeden typ součásti a je možné ji upnout za dvě rovnoběžné plochy kolmé k základně lící desky, zkracuje se upínací a ustavovací čas. [6]

3.3 UPÍNÁNÍ MEZI HROTY

Upínání mezi hroty je velmi přesný systém upínání s dobrou opakovatelností. Hodí se především pro dlouhé a velmi přesné plné rotační díly. Do obrobku je z každé strany vyvrtán středící důlek, do kterého je následně vložen opěrný hrot a dojde tak k vystředění. Přesnost upnutí pak závisí na vystředění opěrných hrotů a jejich typu. Opěrné hroty se dělí na pevné a otočné. Pevné hroty mají vyšší přesnost a tuhost, ale mezi obrobkem a opěrným hrotem vzniká tření. Otočné hroty mají špičku otočnou v ložisku, což odstraňuje tření. Tuhost a přesnost je snížena vůlemi v ložisku. Protože hroty samotné nepřenášejí žádný moment, je přenos zajištěn nejčastěji pomocí unášecího srdce, které ve zvoleném místě obepne obrobek za vnější průměr a vytvoří silový spoj. Na unášecí srdce je moment přenášen z unášecí desky připevněné k vřetení soustruhu. Schéma upnutí mezi hroty je vidět na obr. 11. [3] [6]



Obrázek 11 - upnutí mezi hroty [10]

Typy středících důlků

Podle tvaru a konstrukčních požadavků, zda mohou středící důlky po výrobě zůstat nebo musí být odebrány se dělí středící důlky podle ČSN 01 4917. [6]

3.4 OPĚRY

U dlouhých dílů nebo s velkým vyložení je nutné obrobek podepřít. Tyto podpory se nazývají lunety. Podepřením snižují průhyb vznikající od řezných sil. Lunety se dělí na pevné a pohyblivé a lze je vidět na obr. 12 a 13. Lunety se standardně skládají z masivního těla následně nastavitelných palců, které se opírají o obrobek. Pevná luneta je staticky umístěna přímo na ložích stroje a je osazena třemi palci osazenými to 120°. Pohyblivá luneta se umísťuje na suport naproti nožové hlavě a zachycuje téměř přímo řezné síly. Posuvné lunety mívají standardně dva palce pootočené o 90°. jeden v ose přísluvu x, druhý v ose y. Moderní lunety mohou být

vybaveny samo středícím nebo rychloupínacím mechanismem, aby se předešlo zdlouhavému seřizování, případně mohou být ovládány i hydraulicky. [6] [18]



Obrázek 12 - pohyblivá luneta [35]



Obrázek 13 - pevná luneta [35]

3.5 UPÍNÁNÍ DO KLEŠTIN

Kleštinové upínače se používají nejčastěji pro obrobky kruhových průřezů, ale lze upínat i jiné symetrické profily. Upíná se za vnější průměr a výhody nabízí především při sériové nebo hromadné výrobě, kdy není potřeba měnit průměr upínané součásti. Otvor v kleštině je v neupnutém stavu roztažený. Po dotažení se jednotlivé segmenty přimknou k obrobku a přizpůsobí svůj tvar. Kleštiny mohou být tažné, tlačné nebo oboustranné. Díky malému rozsahu jmenovitého průměru kleštiny je upínání rychlé a díky konstrukci je i poměrně přesné a s dobrou opakovatelností. [3] [18]

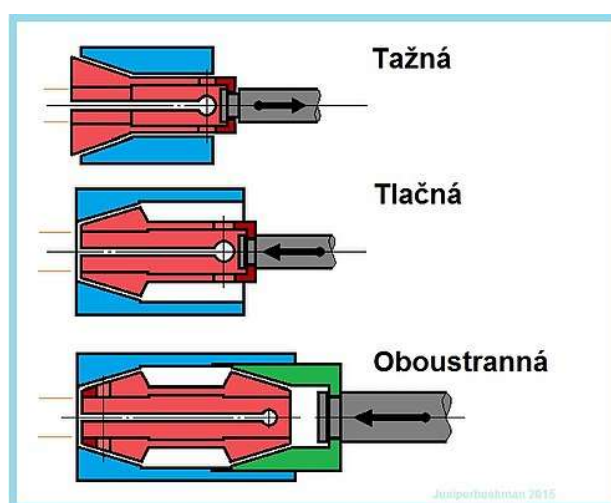
Výhodou kleštinových upínačů je velká styčná plocha s polotovarem. Díky tomu nedochází k otlacení polotovaru nebo deformaci tenkostěnných profilů. Z toho vyplývá, že je možné upínat i za již obrobené plochy. Kleštiny mají obecně nižší hodnoty házení než například sklíčidlo s tvrdými čelistmi, proto se hodí pro upínání dílců s tolerovanou souosostí upínané a obráběné plochy. [3] [8]

Mezi nevýhody lze řadit axiální posuv součásti při dotažení, malý rozsah jmenovitého průměru, delší čas výměny kleštiny a s tím související zvýšené náklady při obrábění dílů s vyšší rozmanitostí upínacích průměrů.

3.5.1 Princip kleštinového upínače

Kleština má z vnější strany kuželovou plochu, a je po svém obvodu nařezaná, aby byla schopna měnit svůj tvar. Kuželová vnější plocha se při dotahování vtačuje, respektive vtahuje do vnitřního kuželu. Tím dochází ke stlačení kleštiny. [3]

Tažené kleštiny jsou ovládané ze zadní strany skrz vřeteno. Tlačné bývají nejčastěji vybaveny převlečnou maticí z přední strany, která se dotahuje z pracovního prostoru stroje, ale mohou být ovládány taktéž skrz vřeteno soustruhu. Oboustranné kleštiny mají kuželovou plochu na obou čelech. Základní typy a jejich provedení jsou vidět na obr. 14. [3]



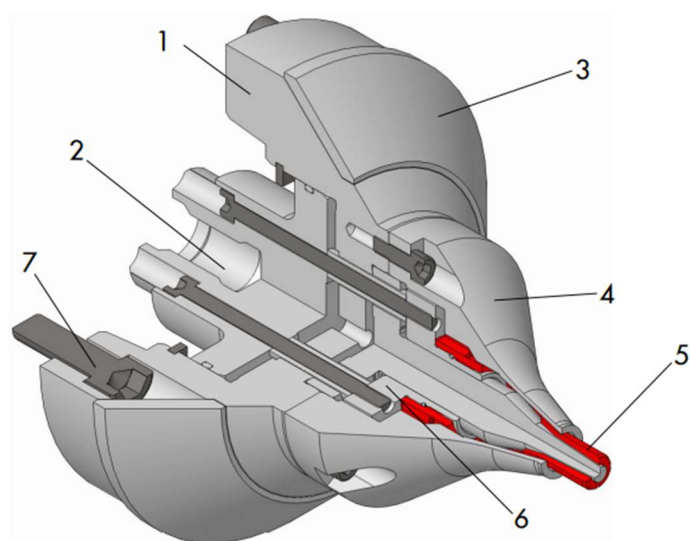
Obrázek 14 - základní typy kleštinových upínačů [36]

3.6 ROZPÍNACÍ TRNY

Tento systém upínání se používá pro upínání za vnitřní průměry. Pokud není možné upnout z důvodu nevhodného vnějšího tvaru za vnější průměr nebo je požadavek na obrábění celé vnější kontury na jedno upnutí, je tento systém velmi výhodný. Na rozdíl od upnutí na válcový nebo kuželový trn se rozpínací trn rovnoměrněji přizpůsobí tvaru otvoru za který je díl upínán. Další nespornou výhodou je rychlost upínání. Moderní provedení trnů s rozpínacím pouzdem se dobře hodí i pro pokročilé CNC stroje a splňuje požadavky na vysokou přesnost a opakovatelnost, nicméně starší provedení rozpínacích trnů opakovatelnost a přesnost tak dobrou nemají a používaly se spíše pro polotovary s nižší přesností díry. Nevýhodou může být, že některé typy provedení při upínání mohou axiálně posouvat upínaný obrobek, podobně jako kleštinový upínač. Využití je výhodné pro sériovou a hromadnou výrobu, protože pro změnu jmenovitého průměru je potřeba vyměnit rozpínací pouzdro, což je časově náročnější. [3] [8] [19] [20]

3.6.1 Princip rozpínacího trnu

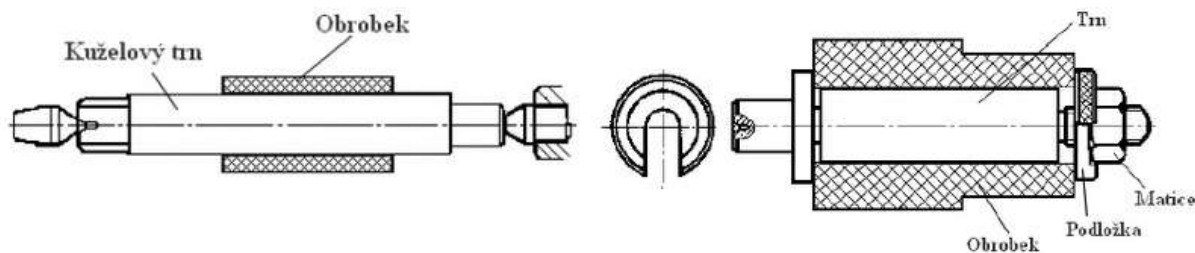
Rozpínací trny fungují v principu jako standardní kleštinové upínače, akorát kleština není stlačována, ale naopak roztahována. To bývá většinou zajištěno kuželem opírajícím se o vnitřní plochu rozpínacího pouzdra a jeho axiálním posuvem se pouzdro rozevře. V jiném provedení, které je vidět na obr. 15, je v řezu zobrazen upínač od firmy Hainbuch vhodný pro pokročilé CNC soustruhy. Zde je rozpínací kužel pevně uložen do tělesa (příruby) upínače č.1 a červeně označené rozpínací pouzdro č.5 se posouvá směrem do vřetene. Aby byla zajištěna axiální poloha upínaného dílu, při upínání se opře o vyměnitelný doraz č.4 připevněný na tělo upínače. [3] [19] [20]



Obrázek 15 - rozpínací trn výrobce Hainbuch [19]

3.7 KUŽELOVÉ A VÁLCOVÉ TRNY

Tak, jako u rozpínacího trnu se u tohoto systému upíná za vnitřní průměry dílů a skýtá stejné výhody. Na rozdíl od rozpínacích pouzder je však požadavek na vyšší přesnosti upínaného otvoru. Na kuželový trn se nejčastěji obrobek nalisuje, čímž vzniká velmi přesné a tuhé spojení. Na válcové trny se obrobek jen navleče a zajistí se například maticí. Druhá varianta však není tak přesná, protože zejména házení závisí na velikosti vůle mezi trnem a pouzdrem, a i upínací síly jsou menší. Při nalisování na kuželový trn se pak obtížněji zajišťuje opakovaná přesná axiální poloha a pro sejmutí obrobku z trnu je potřeba jej opět vylisovat. Trny se pak nejčastěji upínají mezi hroty a jsou poháněny například srdcovým unašečem. Na obrázku č. 16 je znázorněn princip upnutí pomocí těchto dvou metod. [8]



Obrázek 16 - kůželový a válcový trn [10]

4. POKROČILÉ SYSTÉMY HYDRAULICKÉ, PNEUMATICKÉ A ELEKTROMECHANICKÉ A PRINCIPY VYUŽITELNÉ NA POKROČILÝCH CNC STROJÍCH

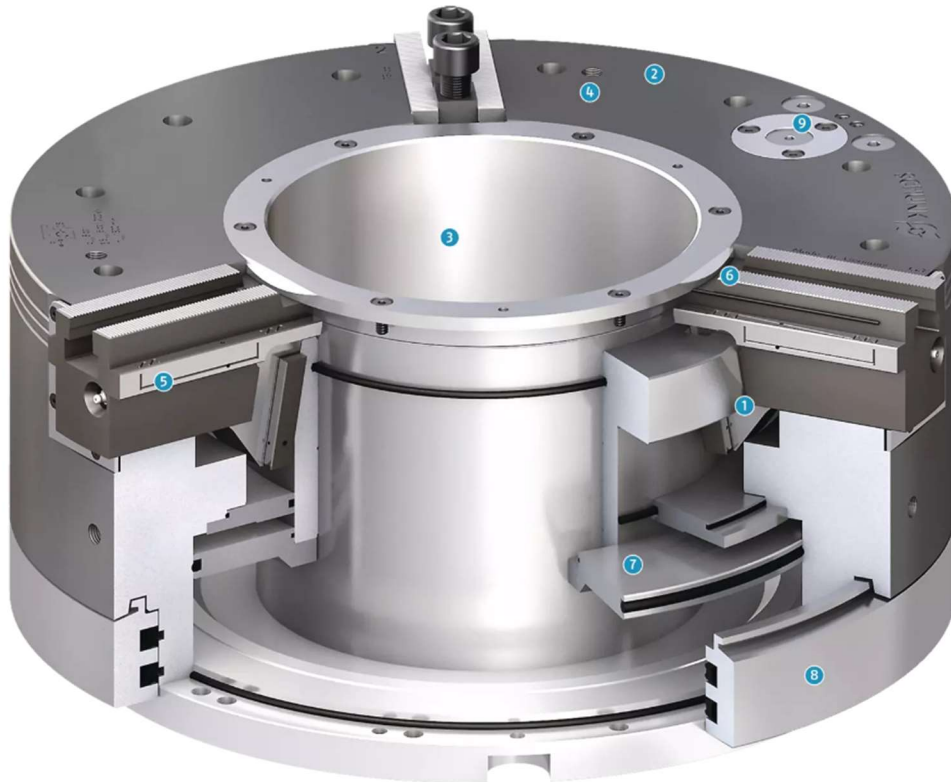
4.1 PNEUMATICKÉ ČELIŠTOVÉ SKLÍČIDLO

V případě strojního ovládání při použití klínové tyče může být mechanismus pohybového šroubu nahrazen pneumatickým systémem. Systém je samosvorný, a proto stačí sílu, případně tlak ovládacího média dodávat pouze při dotahování nebo povolování. Někteří výrobci však používají jiné systémy pro upínání, obvykle se jedná o různé modifikace klínových a kůželových mechanismů, kdy se čelisti opírají o kužel nebo klín, který je posouván ve směru osy sklíčidla. [21] [22]

Posuv čelistí je realizován pomocí pneumatického válce nejčastěji přímo uvnitř sklíčidla, kdy se pro stažení čelistí k sobě vžene stlačený vzduch pod píst a při rozevírání nad píst. Tyto varianty jsou výhodné pro svou jednoduchost a vysokou přesnost s dobrou opakovatelností. Jejich nevýhodou je menší upínací rozsah a nižší upínací síly. Rozsah se však dá kompenzovat možností posouvat čelist po upínací základně čelistí. [23]

4.1.2 Princip činnosti pneumatického čelistového sklíčidla

Řez pneumatického sklíčidla výrobce Schunk na obr. 17 ukazuje funkci provedení s klínovým mechanismem. V pracovním prostoru pneumatického válce označeným pozicí číslo 4 se posouvá píst spojený s klínovým prstencem číslo 7. Píst s prstencem jsou vedeny po přesném válcovém vedení označeným číslem 7. Toto vedení zaručuje souměrný pohyb jednotlivých čelistí, tedy nízkou míru házení. Čelisti se upínají na základnu číslo 5. [23]



Obrázek 17 - pneumatické sklíčidlo ROTA TB2 [23]

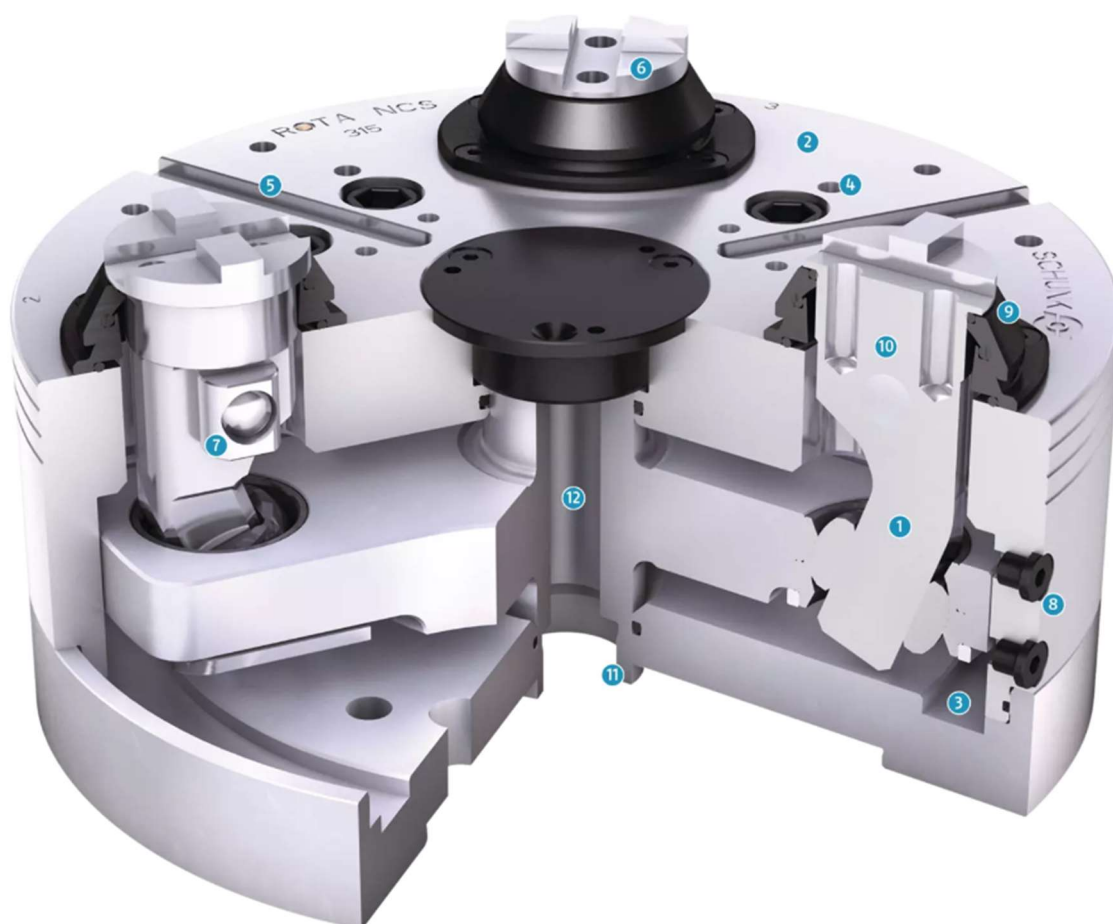
4.2 HYDRAULICKÉ ČELIŠTOVÉ SKLÍČIDLO

Hydraulická silová sklíčidla nejčastěji fungují na principu pákového mechanismu ovládaného pomocí hydraulického válce. Ze zmíněných tří typů jsou většinou nejsložitější na konstrukci, ale výhodou je, že mohou být kombinovány s prvky kompenzujícími odstředivé síly, které s narůstajícími otáčkami snižují upínací sílu případně a s mechanismy pro kompenzaci kruhovitosti, takže je možnost bezpečně a přesně upínat i polotovary jako například odlitky. Další výhodou jsou vysoké upínací síly a krátké spínací časy. Provedení samotného pákového mechanismu se u každého výrobce sklíčidla poměrně výrazně liší, ale většinou bývá ovládán v ose ze zadní strany (od vřetena) hydraulickým válcem. Pákový mechanismus může být ale nahrazen i klínovým nebo kuželovým mechanismem. [24] [25]

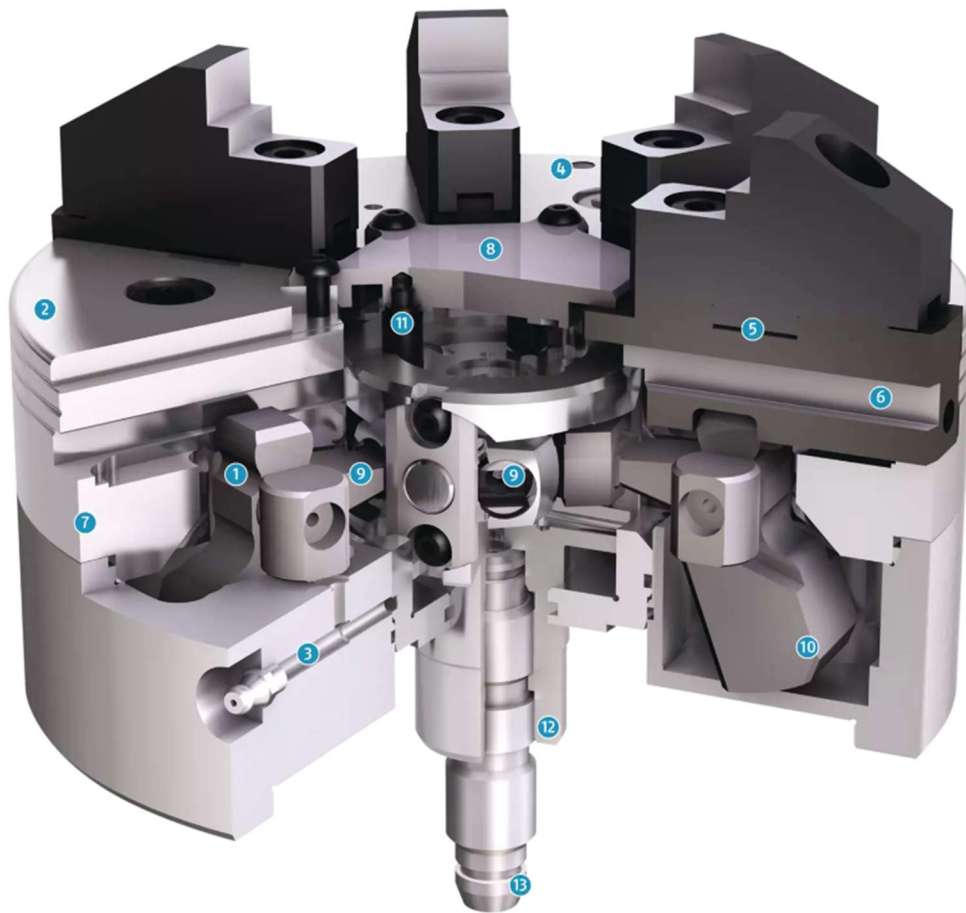
Kvůli malému rozpětí pracovního zdvihu, tak jako u pneumatických sklíčidel, jsou čelisti montované, kdy se dá jejich posuvem po základně měnit jmenovitý průměr, aby bylo možné používat sklíčidlo univerzálně. Z toho vyplývá nevýhoda delšího času seřízení sklíčidla při změně průměru obrobku. Na druhou stranu je u hydraulických sklíčidel dobrá opakovatelnost.

4.2.1 Princip činnosti hydraulického čelistového sklíčidla

Na obr. 18 a obr. 19 jsou vidět řezy sklíčidly od výrobce Schunk. První sklíčidlo má pákový mechanismus ovládní čelistí. Na obr. 18 se hydraulickým válcem ovládaný díl č.12 se posouvá ve směru vřetene, čímž stlačuje nebo odtlačuje páky č.1 které se naklápí v čepu upevněného do těla sklíčidla. Pozice č.10 označuje upínací základnu pro požadovaný typ čelisti. Druhé sklíčidlo na obr. 19 je konstrukčně složitější, protože je vybaveno systémem kompenzace odstředivých sil a kruhovitosti. Tažný prvek č.12, ovládaný skrz vřeteno tyčí č.13 připojenou k hydraulickému válci, je spojen s ovládacím prvkem kyvných pák č.9. Páky č.10 ovládají upínací základnu čelistí č.6. Díky závaží umístěnému na páce pod osou čepu páky se kompenzuje odstředivá síla vznikající od hmotnosti upínací základny a čelisti. [24] [25]



Obrázek 18 - hydraulické čelistové sklíčidlo ROTA NCS 3 [25]



Obrázek 19 - hydraulické čelistové sklíčidlo ROTA NCR [24]

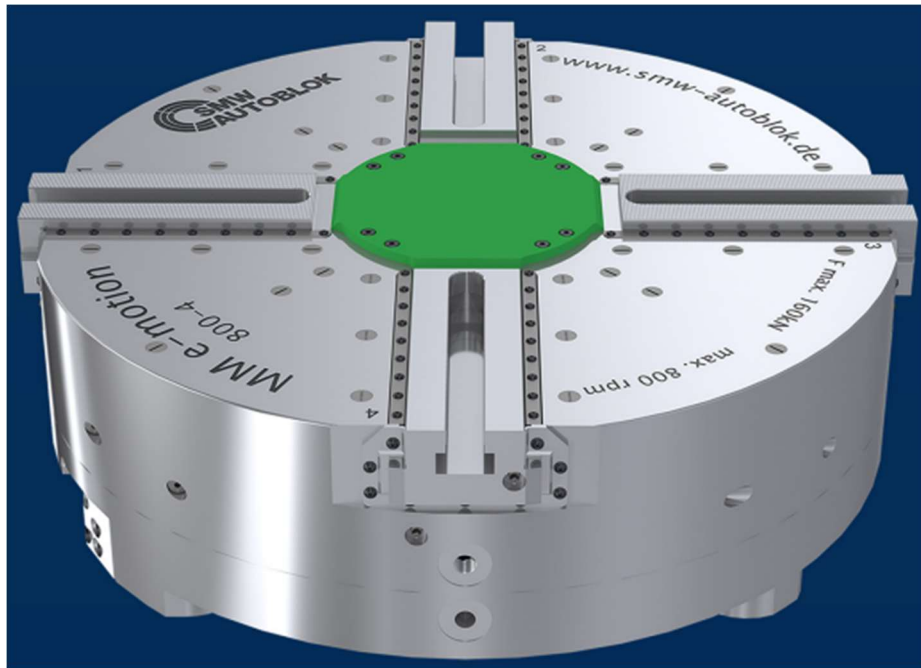
4.2.2 Princip činnosti hydraulického válce

Kvůli tomu, že se píst většinou otáčí společně s vřetenem a válec stojí, nebývají hydraulické válce ovládající sklíčidla těsněna. Je to nejspolehlivější řešení, protože těsnění mezi pístem a válcem by se velmi rychle opotřebilo a došlo by k selhání. Mezi pístem a stěnou válce tak u tohoto konstrukčního řešení zůstává malá mezera, kudy uniká část tlakového oleje. Proto je potřeba olej do válce neustále dodávat. [26]

4.3 ELEKTROMECHANICKÉ SKLÍČIDLO

Elektromechanická sklíčidla používají některé moderní CNC obráběcí střediska. Tyto sklíčidla jsou vyvíjeny v souladu s požadavky průmyslu 4.0. Jedná se o sklíčidla, která mají každou čelist ovládanou samostatným elektromotorem. Díky tomu je možné upínat polotovary víceméně libovolného tvaru. Takováto sklíčidla jsou také osazena senzory polohy a snímají upínací síly na jednotlivých čelistech. Díky tomu jsou programovatelná a extrémně

univerzální a přesná. Jsou také samo-středící a v průběhu celého obráběcího procesu je možné upravovat a kompenzovat upínací sílu a polohu obrobku. Jejich nevýhodou je však vysoká cena. Na obr. 20 je elektromechanické sklíčidlo SMW-Autoblok řady MM e-motion, které je mimo jiné vybaveno bezdrátovým ovládáním za pomoci indukčního přenosu elektřiny. [27] [28]



Obrázek 20 - elektro-mechanické sklíčidlo SMW Autoblok

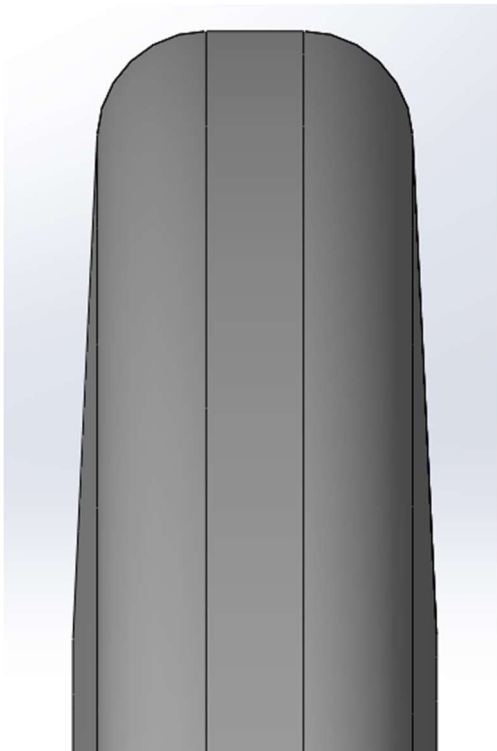
5. JEDNOÚČELOVÉ UPÍNACÍ PŘÍPRAVKY

Jednoúčelové upínací přípravky se vyrábí na míru pro jeden konkrétní díl nebo pár konstrukčně téměř totožných dílů. Jejich použití se tak volí v případě, že polotovár nejde upnout jiným způsobem nebo v případech sériové a hromadné výroby, když je ekonomicky výhodnější navrhnout a vyrobit upínač speciálně pro danou sérii. Pokud je možné obrobek upnout i konvenčně, a přesto se zvolí jednoúčelový přípravek, nejčastěji to je kvůli snížení času upínacího času v sériových výrobách, aby se mohla zvýšit doba kdy stroj obrábí. [3] [9]

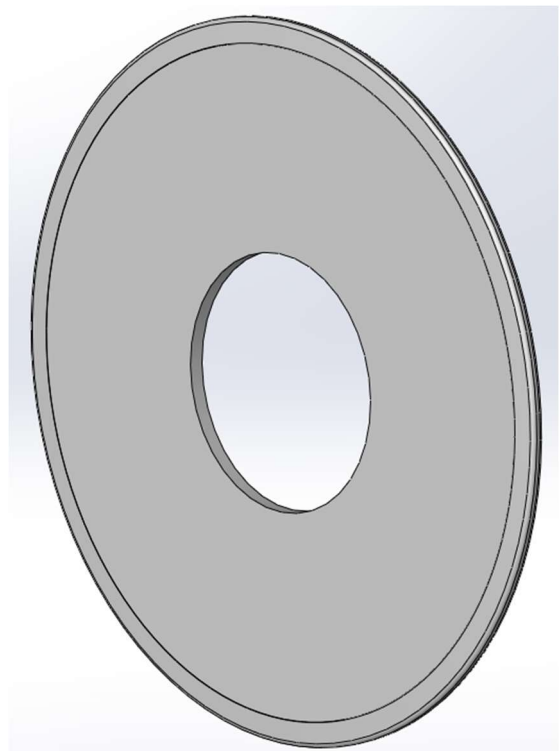
6. NÁVRH JEDNOÚČELOVÉHO UPÍNAČE

6.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O UPÍNANÉM DÍLU

Dílem, pro který jsem se rozhodl navrhnout jednoúčelový upínač je ocelové těleso brousicího kotouče, na které se bude následně nanášet tenká vrstva brusiva, jehož model je na obr. 21 a obr. 22. Těleso kotouče se do stroje upíná za vnitřní průměr a jeho pohon je silovým spojem na jeho čelních plochách. Aby bylo možné při procesu broušení dosahovat přesných tvarů a tolerancí, musí mít i těleso kotouče nízké tolerance na soustřednost upínacího otvoru a vnějšího obvodu. Také celková házivost musí být co nejnižší. Z důvodu velmi nestandardních tvarů výroba takového dílu neumožňuje upínání konvenčními systémy. Polotovarem tohoto kotouče je na drátořezu z plechu zhotovený díl, který má vyříznutý vnější průměr s lehkým přídavkem na obrábění a přesný vnitřní otvor, který není potřeba dále obrábět. Následně jsou nabroušeny čelní plochy kotouče a na konec se obrobí vnější kontura. Kvůli tomu, že je těleso kotouče velmi tenké by se tepelným zpracováním zdeformovalo a je proto nutné ho obrábět až po tepelném zpracování.



Obrázek 21 - detailní pohled na soustruženou konturu



Obrázek 22 - 3D model tělesa brousicího kotouče

6.2 POŽADAVKY NA UPNUTÍ TĚLESA BROUSICÍHO KOTOUČE

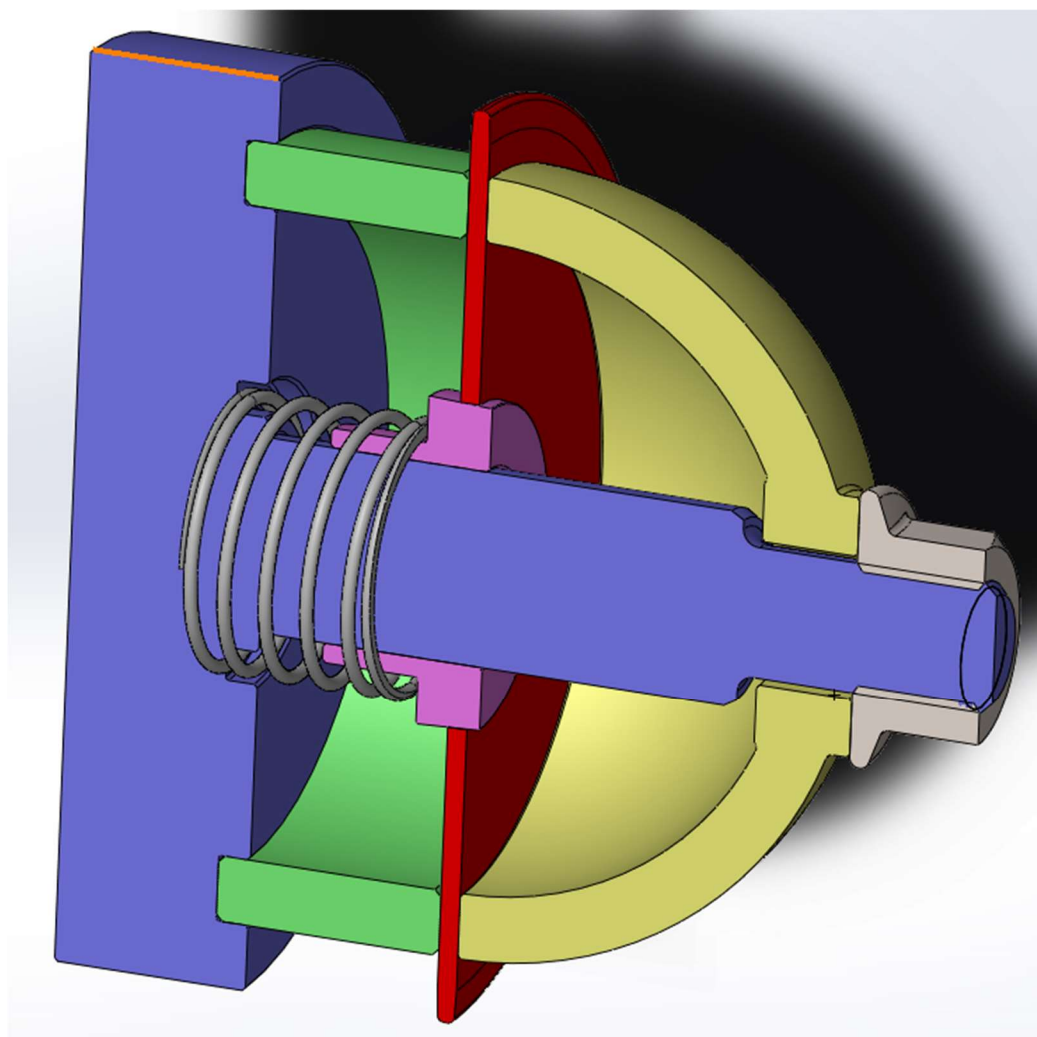
Vzhledem k tvarovým požadavkům kotouče je těleso velmi tenké a zároveň má v poměru ke své tloušťce velký vnější průměr a malý vnitřní průměr. To by mělo za následek, že při upnutí za vnitřní průměr by se při obrábění díl silně deformoval a nebylo by možné dodržet tvarové a rozměrové tolerance předepsané výkresovou dokumentací, potřebné pro správnou funkčnost. Za vnější průměr je nemožné obrobek upnout, protože by kvůli své tloušťce nebylo možné konturu obrobit ani na dvě upnutí, tedy nejprve z jedné a následně z druhé strany. Z toho důvodu přichází jako jediné vhodné řešení těleso podepřít nebo přímo upnout za čelní plochy v co nejbližší těsnosti obrábění. Zde však nastává problém se zajištěním souososti kruhových ploch, kterou je potřeba dostatečně zajistit. Navrhnutý upínač by měl zároveň být použitelný pro více průměrů vyráběných těles brusných kotoučů.

6.3 MOŽNÉ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ UPÍNAČE

Jako první jsem se rozhodoval, jak bude upínač montovaný na soustruh. V úvahu přicházelo přišroubování na lícni desku, upnutí do sklíčidla nebo montáž přímo na přírubu vřetene. Z důvodu nejlepší přesnosti, kompaktnosti a nejjednodušší konstrukce jsem se rozhodl, že nejvhodnější bude upnutí do čelistového sklíčidla, protože bude možné upínač velmi přesně vyrovnat. Následně bylo potřeba vymyslet spolehlivý a jednoduchý systém centrování. Nejjednodušší by bylo centrování nasazením na válcový dřík nebo kuželový trn, avšak tolerance díry by mohla způsobovat vůli, která by ovlivnila toleranci vnějšího házení a opakovatelnost upnutí. Zvolil jsem proto nakonec centrování pomocí posuvného kužele, kdy bude záviset pouze na přesnosti uložení kuželu v upínači. Následně jsem se rozhodoval, jak nejvhodněji upnout za čelní plochy těleso, tak, aby bylo zajištěno spolehlivé, přesné a pevné upnutí s dostatečným přenosem kroutícího momentu od obrábění a dobrou opakovatelností axiální polohy. Rozhodl jsem se upnout polotovar pomocí dvou kroužků tlačících proti sobě, protože tak nebude docházet k deformování tvaru těleso kotouče, zároveň bude díky velkému průměru zajištěn dostatečný kroutící moment a plocha kroužků bude dostačující, aby nedošlo k otlacení. Oproti dvěma deskám stlačujícím obrobek je toto provedení také méně náchylné na nečistoty na povrchu a zajistí se styk pouze u vnějšího průměru.

6.4 KONSTRUKČNÍ NÁVRH UPÍNAČE

Na obr. 23 je 3D model navrhnutého upínače v řezu včetně upnutého tělesa brousícího kotouče, které je pro přehlednost označeno červenou barvou. Tělo upínače (označené modře) je opatřeno vodícím čepem, po kterém se posouvá vystředovací kuželové pouzdro (označené fialově). Aby byl zajištěný kontakt mezi pouzdem a obráběným kotoučem a zároveň bylo možné těleso dotlačit na dorazový kroužek, je středící pouzdro dotlačováno ke kotouči pružinou. Dorazový kroužek (označený zeleně) není součástí těla upínače a je usazený v přesné drážce kvůli tomu, aby bylo možné měnit jeho průměr společně s přítlačnou miskou v závislosti na aktuálně vyráběném průměru kotouče. Přítlačná miska (označená žlutě) svírá obrobek proti opěrnému kroužku pomocí matice našroubované na vodící čep těla.



Obrázek 23 - 3D model sestavy jednoúčelového upínače

6.5 SILOVÉ POŽADAVKY NA UPÍNAČ

Vzhledem k tomu, že bude těleso obráběno až po tepelném zpracování, bude mít materiál velký řezný odpor. Na druhou stranu, odebíraná tříska nebude příliš velká. Pro mé výpočty budu počítat s vysokými hodnotami řezného odporu i průřezu třísky, aby byl upínač funkční při široké škále nastavení řezných podmínek. Posuv tedy budu uvažovat $f=0,4$ mm/ot a hloubku řezu $a=1$ mm. Z tabulkových hodnot vyplývá, že při obrábění s hloubkou třísky $a=1$ mm by se měl řezný odpor pohybovat do $k_c=2000$ MPa viz tab. na obr. 27. Upínač bude z důvodu dobrých konstrukčních vlastností a dobré ceny vyráběn z oceli 11 500, kromě středícího kroužku. Středící kroužek by se totiž mohl otláčit a způsobit nepřesné centrování. Proto jako materiál použiji povrchově zakalenou ocel 12 050. Silové účinky tlačné pružiny zanedbám, protože nehrají v porovnání s ostatními silami nijak výraznou roli.

6.6 SILOVÉ POMĚRY NA UPÍNAČI

6.6.1 Kontrola napětí v upínacím šroubu a matici a utahovací moment

Řezná síla [2]

Pro výpočet minimální upínací síly je nutné znát řeznou sílu, která vytváří kroučící moment.

$$F_c = k_{cmax} \cdot A_{Dmax} [N]$$

$$F_c = k_{cmax} \cdot f_{max} \cdot a_{max} [N]$$

$$F_c = 2000 \cdot 0,4 \cdot 1 [N]$$

$$\mathbf{F_c = 800 [N]}$$

kde:

k_{cmax} [MPa] je maximální měrný řezný odpor

A_D [mm²] je jmenovitý průřez třísky

f_{max} [mm/ot] je maximální posuv

a_{max} [mm] je maximální hloubka řezu

Přenášený kroučící moment

Z řezné síly se následně vypočítá minimální kroučící moment, který je nutné přenášet.

$$M_{kmin} = F_c \cdot r_o [N \cdot mm]$$

$$M_{kmin} = 800 \cdot 72 [N \cdot mm]$$

$$\mathbf{M_{kmin} = 57\,600\,N \cdot mm}$$

kde:

F_c [N] je vypočítaná řezná síla

r_{omax} [mm] je maximální poloměr obráběné plochy (včetně přídatku na obrábění)

Minimální upínací síla

Minimální upínací síla se pak vypočítá následovně:

$$F_{up} = \frac{F_o}{\mu} \cdot k_d \text{ [N]}$$

$$F_{up} = \frac{M_{kmin}}{r_d \cdot \mu} \cdot k_d \text{ [N]}$$

$$F_{up} = \frac{57600}{55 \cdot 0,1} \cdot 2 \text{ [N]}$$

$$F_{up} = \mathbf{20945,5 \text{ N}}$$

Kde:

r_d [mm] je střední poloměr dorazového kroužku (styčné plochy upínače s válcovacím kolem)

μ [-] je tabulkový součinitel tření viz tab. na obr. 28

k_d [-] je součinitel bezpečnosti, který je volený 2

Upínací síla je vyvozena dotažením matice. Proto je potřeba ověřit, zda zvolená matice se závitem M20x1,5 bude vyhovovat na otláčení v závitech a při jakém utahovacím momentu bude dosaženo požadované síly.

Potřebný kroutící moment v závitu [29]

$$M_z = \frac{F_{up} \cdot d_2}{2} \tan(\gamma + \varphi')$$

$$\tan \gamma = \frac{P}{\pi d_2} \Rightarrow \gamma = \arctg \frac{1,5}{\pi \cdot 19,026} = 0,02509 \text{ rad}$$

$$\tan \varphi' = f' = \frac{f}{\cos \beta_n}$$

$$\tan \beta_n = \tan \beta \cos \gamma$$

$$\beta = \frac{\pi}{6}$$

$$\beta_n = \arctg(\tan \beta \cos \gamma) = 0,5234625 \text{ rad}$$

$$\varphi' = \arctg\left(\frac{f}{\cos \beta_n}\right) = \arctg\left(\frac{0,15}{\cos 0,5234625}\right) = 0,17149 \text{ rad}$$

$$M_z = \frac{20945,5 \cdot 19,026}{2} \tan(0,02509 + 0,17149) = 39\,682 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Kde:

Stoupání $P=1,5$ mm, voleno dle strojnických tabulek viz tab. na obr. 29

Střední průměr závitu $d_2=19,026$ mm dle strojnických tabulek viz tab. na obr. 29

Vrcholový úhel pro metrický závit $2\beta=60^\circ$ ($\pi/6$ rad)

β_n je normálový vrcholový úhel

γ [rad] je úhel stoupání

φ' [rad] je třecí úhel v závitu

f [-] je tabulkový součinitel tření v závitu viz tab. na obr. 28

Pevnostní kontrola dřívku [30]

Malý průměr dřívku závitu $d_3=18,16$ mm dle strojnických tabulek viz tab. na obr. 29

$$\sigma_{dř} = \frac{F_{up}}{A_3} = \frac{4F_{up}}{\pi d_3^2} = \frac{4 \cdot 20945,5}{\pi \cdot 18,16^2} = 80,9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{dř} = \frac{M_z}{W_k} = \frac{16M_z}{\pi d_3^3} = \frac{16 \cdot 39862}{\pi \cdot 18,16^3} = 33,9 \text{ MPa}$$

Volím redukované napětí dle teorie HMM, takže $\alpha=\sqrt{3}$

$$\sigma_{red}^{HMH} = \sqrt{\sigma_{dř}^2 + (\alpha \tau_{dř})^2} = \sqrt{\sigma_{dř}^2 + (\sqrt{3} \tau_{dř})^2} = \sqrt{80,9^2 + (\sqrt{3} \cdot 33,9)^2} = 100 \text{ MPa}$$

Pro ocel 11 500 je dle strojnických tabulek mez kluzu $\sigma_D=245$ MPa viz tab. na obr. 31.

Po snížení meze kluzu σ_d koeficientem bezpečnosti $k=1,5$ dostáváme následující výsledky:

$$\sigma_{dovolená} = \frac{\sigma_d}{k} = \frac{245}{1,5} = 163 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red}^{HMH} < \sigma_{dovolená} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kontrola tlaku závitech (p_z) [31]

Velký průměr závitu D (jmenovitý): 20 mm dle strojnických tabulek viz tab. na obr. 29

Malý průměr závitu $D_1=18,376\text{mm}$ dle strojnických tabulek viz tab. na obr. 29

Výška matice $M20 \times 1,5$ m_{\min} : 18,9mm dle DIN 6923

$$z_t = \frac{m_{\min}}{P} = \frac{18,9}{1,5} = 12,6 > 6 \rightarrow z_t = z_{t\max} = 6$$

$$p_z = \frac{4F_{up}}{\pi(D^2 - D_1^2)z_t} = \frac{4 \cdot 20945,5}{\pi \cdot (20^2 - 18,376^2) \cdot 6} = \mathbf{71,3 \text{ MPa}}$$

Kde:

H_1 [mm] je šířka styčné plochy

z_t [-] je počet zatížených závitů, přičemž $z_{t\max}=6$ z důvodu výrobní nepřesnosti
dovolený tlak v závitech se běžně volí $p_{dz}=200 \text{ MPa}$

$$p_z \leq p_{dz} \rightarrow 71,3 \text{ MPa} < 200 \text{ MPa} \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

Kontrola kontaktního tlaku v dosedací ploše matice [29]

Dovolený tlak v kontaktní ploše se pro ocel volí $p_d=200 \text{ MPa}$

Průměr díry pro šroub $D_d=22 \text{ mm}$ dle strojnických tabulek viz tab. na obr. 30 (střední řada)

Minimální průměr styčné plochy matice $d_w=39,9 \text{ mm}$ dle DIN 6923 (Německý institut pro normy)

$$R_{1h} = \frac{D_d}{2} = 11 \text{ mm}$$

$$R_{2h} = \frac{d_w}{2} = \frac{39,9}{2} = 19,95 \text{ mm}$$

$$p_m = \frac{F_{up}}{\pi(R_{2h}^2 - R_{1h}^2)} = \frac{20945,5}{\pi \cdot (19,95^2 - 11^2)} = \mathbf{24,1 \text{ MPa}} < p_D \rightarrow \mathbf{VYHOVUJE}$$

Třecí moment pod maticí [29]

$$M_{tm} = F_{up} \cdot f \cdot \left(\frac{d_w + D_d}{2} \right) = 20945,5 \cdot 0,15 \cdot \left(\frac{39,9 + 11}{2} \right) = 79959 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Kde:

f [-] je tabulkový součinitel tření pod maticí viz obr. 28

Utahovací moment matice [29]

$$M_{kk} = M_z + M_{tm} = 39682 + 79959 = \mathbf{119 \ 641 \text{ N} \cdot \text{mm}} \approx \mathbf{120 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

Z provedených výpočtů a kontrol všechny vyhovují, a proto není potřeba zvětšovat závit na dřívku upínače ani jiné změny jako například upravovat výšku matice. Vypočtený potřebný utahovací moment 120 Nm by nemělo být problém vytvořit ručně pomocí momentového klíče.

6.6.2 Analýza napětí v ostatních součástech upínače

Zbytek komponentů, ze kterých se skládá navržený jednoúčelový upínač jsem podrobil studii napětí v programu SolidWorks Education. Napětí jsou vypočítávána pomocí metody Von Miseses. Hodnoty maximálních napětí vycházejících ze studií jsem porovnával s dovoleným napětím $\sigma_{dovolené}$, které se spočítá následovně:

$$\sigma_{dovolené} = \sigma_d * k_b$$

Kde:

σ_d [MPa] je mez napětí v kluzu získaná ze strojnických tabulek pro materiál 11 500 viz tab. na obr. 31

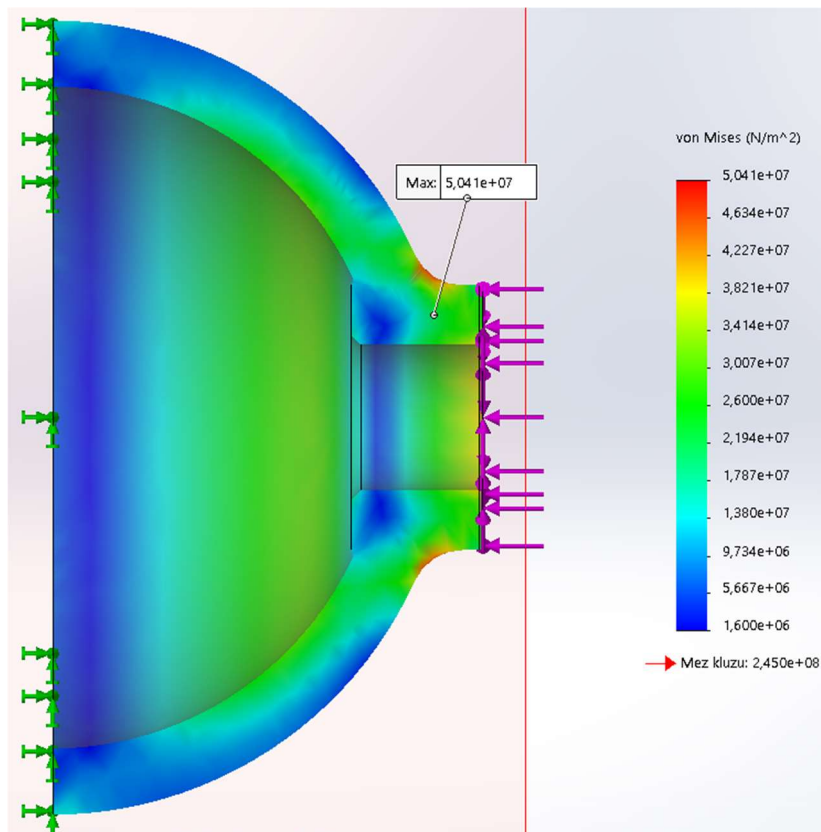
$k_b=0,8$ [-] je volený součinitel bezpečnosti

Pak:

$$\sigma_{dovolené} = 245 * 0,8 = 196 \cong \mathbf{200 MPa}$$

Analýza napětí v přitlačné misce

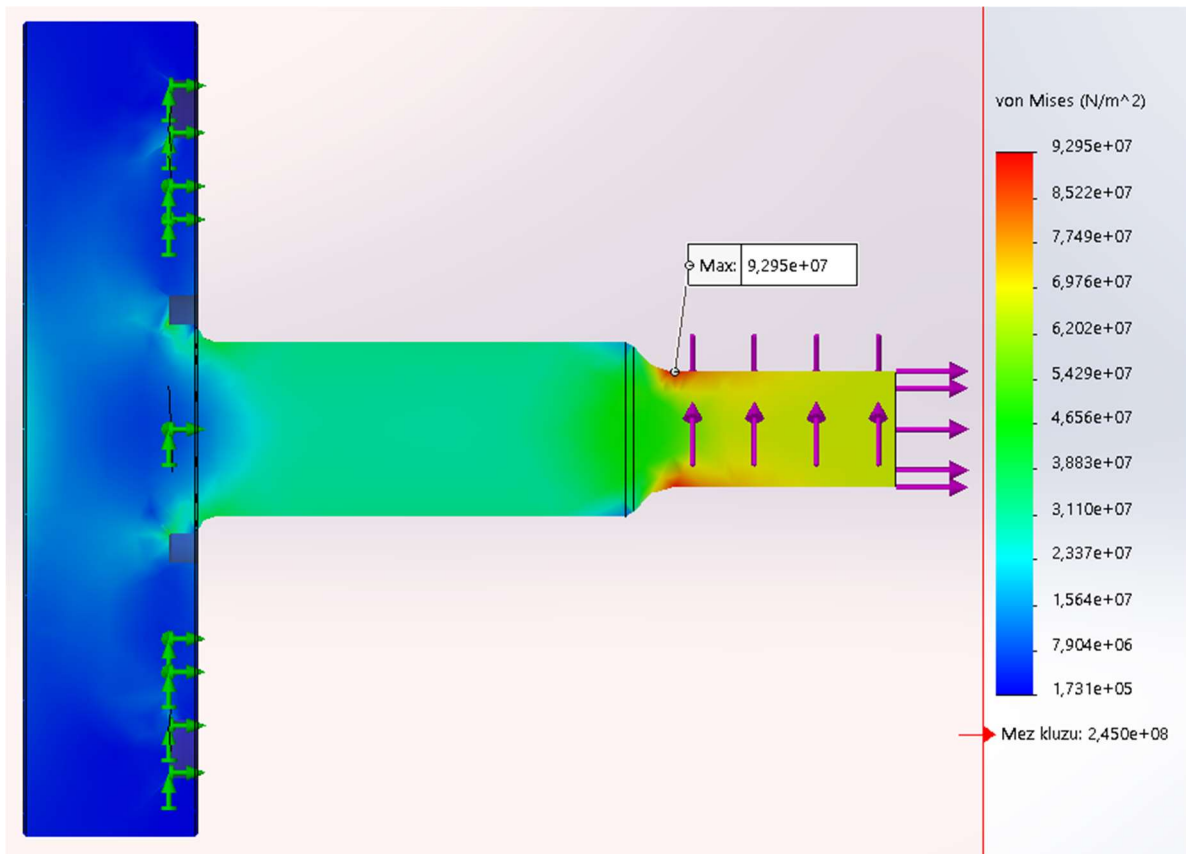
Provedená simulace (viz obr. 24) ukazuje v řezu miskou upínače. Výsledné napětí dosahuje maxima v dřívku opatřeném závitem a je rovno 50,4 MPa, což je méně než dovolené napětí a díl tedy z pevnostního hlediska vyhovuje.



Obrázek 24 - simulace napětí v přitlačné misce

Analýza napětí v těle upínače

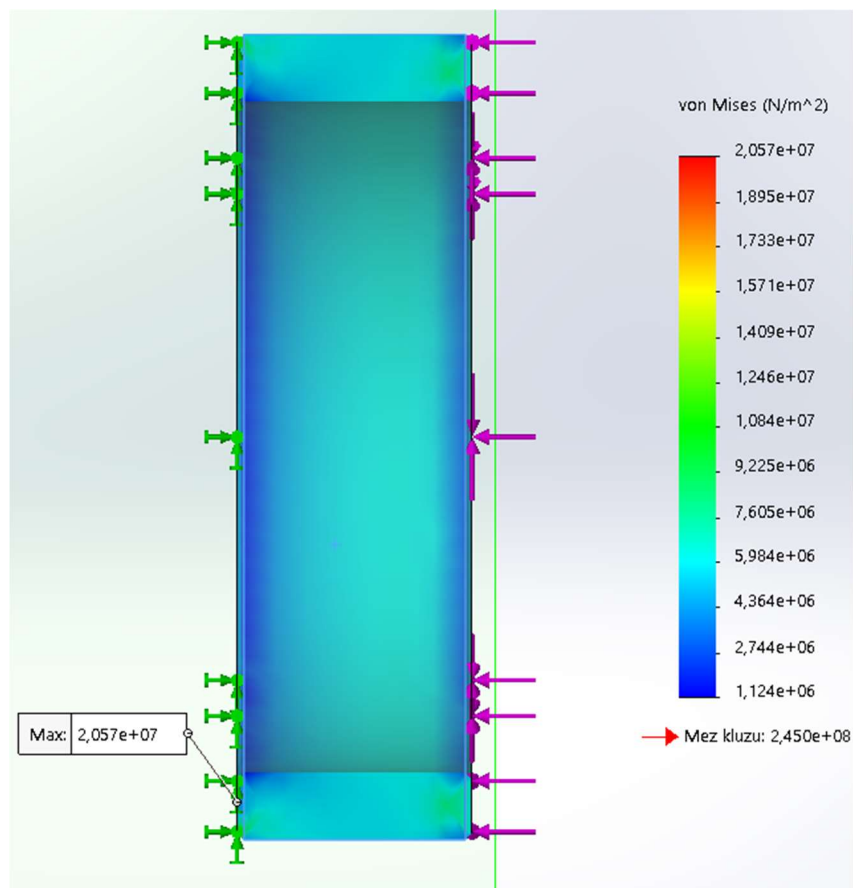
Obr. 25 ukazuje simulaci napětí v těle upínače v osovém řezu. Maximální hodnoty téměř 93 MPa jsou v části dříku se závitem. Kvůli nedokonalému nadefinování zatěžujících sil, kdy nebylo možné v programu nadefinovat zatížení od matice vychází v tomto prostoru zatížení lehce zkreslené. Nicméně ve výpočtu výše jsem ověřil, že dřík závitu vyhovuje. V jiných částech součásti se nadlimitní hodnoty nevyskytují a díl je proto vyhovující.



Obrázek 25 - simulace napětí v těle upínače

Analýza napětí v opěrném kroužku

Posledním dílem, u kterého bylo potřeba provést kontrolu pomocí simulace byl opěrný kroužek. Na obr. 26 je opět díl v osovému řezu. Ze simulace vyšlo, že maximální napětí v tomto dílu bude 24,5 MPa. To je hluboko pod limitem a kroužek proto svou konstrukcí vyhovuje.



Obrázek 26 - simulace napětí v opěrném kroužku

6.7 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE K JEDNOÚČELOVÉMU UPÍNAČI

Při tvorbě výkresové dokumentace bylo potřeba brát na zřetel především geometrické a rozměrové tolerance jednotlivých součástí, aby byl upínač dostatečně přesný pro potřeby vyráběného tělesa brousicího kotouče.

Jako první jsem se zaměřil na uložení vystředovacího kuželového kroužku, který se pohybuje po vodícím čepu těla upínače. Zde musí být uložení s co nejmenší vůlí, avšak dostatečnou pro volný pohyb. Ze strojnických tabulek (obr. 32) jsem proto vybral uložení H6/h5, které je vhodné pro přesná vodící pouzdra. Stejně tak je důležitá i válcovitost čepu a díry v kroužku, aby nedocházelo k zadrhnutí. Také souosost čepu s upínacím průměrem upínače a souosost kuželové plochy s vnitřní dírou kroužku je podstatná. Důležitá je také rovnoběžnost dosedací plochy opěrného kroužku s čelní dosedací plochou těla upínače a rovnoběžnost čelních ploch opěrného kroužku, aby se zamezilo házení obrobku v osovém směru. Do opěrného kroužku jsem nakonec doplnil dva kruhové otvory, pro snazší demontáž. Kompletní výkresová dokumentace upínače je v přílohách 1-5. Protože matice a tlačná pružina budou kupované díly, není k nim potřeba vytvářet výkresy. Pružinu lze použít například od dodavatele Federn pod kódovým označením VD-263D-12 [32]

7. ZÁVĚR

V teoretické části této bakalářské práce byla provedena rešerše jednotlivých soustružnických operací, upínacích systémů pro konvenční soustruhy a moderní pokročilé CNC stroje. U každé z variant byl osvětlen princip funkce, oblast výrobků, pro kterou se daný systém upínání hodí, do jaké míry je univerzální a jestli má dobrou opakovatelnost. Byly také zmíněny výhody a nevýhody využití konkrétního typu upínače.

V praktické části byl vytvořen návrh konstrukčního provedení jednoúčelového upínače pro upínání těles brousicích kotoučů, nicméně by se tento návrh dal použít obecně pro rotační díly malé tloušťky, s obráběnou vnější konturou, u kterých kvůli jejich tloušťce není možnost upínání na trn.

Požadavky na návrh byly kladeny především s důrazem na dobrou opakovatelnost, vysokou přesnost a jednoduchost. Pro zajištění dobré opakovatelnosti vycentrování upnutého polotovaru bylo zvoleno kuželové pouzdro, posouvající se po vodícím trnu, které je k dílu dotlačováno za pomoci tlačné pružiny. Tento mechanismus totiž oproti centrování na pevný, kuželový nebo válcový trn disponuje vyšší přesností. Mezi pouzdrem lze totiž vytvořit velmi přesné svuné uložení a nebude tak do přesnosti a opakovatelnosti vycentrování vstupovat tolerance upínacího otvoru v polotovaru, která by se u dalších zmíněných variant projevila. Axiální, přesně opakovatelná poloha tělesa, je zajištěna opěrným kroužkem, který se také aktivně podílí na přenosu kroutícího momentu.

Dalším požadavkem byla částečná univerzálnost přípravku, aby bylo možné upínat více průměrů brousicích kotoučů. To lze realizovat díky vyměnitelnému opěrnému kroužku, který je usazen do přesné drážky v těle upínače. Průměru kroužku pak musí odpovídat i průměr přítlačné misky a musí se proto měnit párově. Při rozdílném průměru kroužku a misky by totiž docházelo vlivem rozdílného působíště upínací síly k deformaci polotovaru.

Protože se jedná pouze o konstrukční návrh, který měl za cíl splnit kladené požadavky, pro konkrétní výrobek by se muselo ověřit, zda není potřeba jej pozměnit z hlediska upínací síly a přizpůsobit reálným rozměrům výrobku.

Podklady pro praktickou část

| ČSN 4X XXXX Označení materiálu | Mechanické vlastnosti | | | Třída odpadu | Vlastnosti a použití |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|-----------------|---|
| | R_m (MPa) | $R_{e\ min}$ (MPa) | tvrdost HB | | |
| 11 500.0 | 470 až 610 | 245 | max. 268 | 001 | Konstrukční ocel, tavná svařitelnost obtížná. NŽ – 850 až 880 °C, ŽM – 680 až 720 °C, K – 850 až 870 °C/voda, olej P – 530 až 670 °C vzduch. Strojní součásti namáhané staticky i dynamicky: hřídele, ozubená kola, strojní součásti soustružené, čepy, kolíky, podložky, příruby, pouzdra, základové desky, šrouby, matice, kladky, hrdla apod. Kovové součásti tepelných energetických zařízení |

Obrázek 31 - materiálové vlastnosti oceli 11 500 [37]

| Jmenovitý průměr závitů d | Rozečť P | Průměry závitů | | | |
|-----------------------------------|---------------|----------------|-------------|-------------|--------|
| | | $d = D$ | $d_2 = D_2$ | $d_1 = D_1$ | d_3 |
| 20 | 2,5 | 20,000 | 18,376 | 17,294 | 16,933 |
| | 2 | 20,000 | 18,701 | 17,835 | 17,546 |
| | 1,5 | 20,000 | 19,026 | 18,376 | 18,160 |
| | 1 | 20,000 | 19,350 | 18,917 | 18,773 |
| | 0,75 | 20,000 | 19,513 | 19,188 | 19,080 |
| | 0,5 | 20,000 | 19,675 | 19,459 | 19,387 |

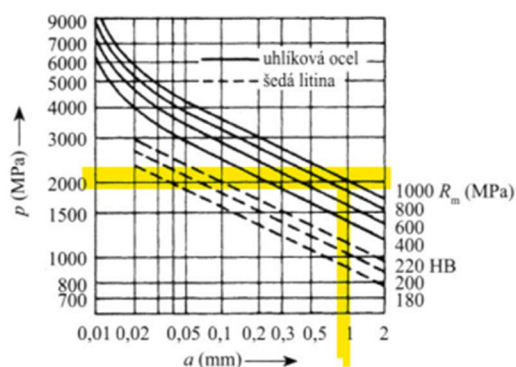
Obrázek 29 - rozměry závitů M20x1,5 [37]

| Jmenovitý průměr závitů Md | Průměr díry D | | |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------|-------|
| | jenná | Řada střední | hrubá |
| 12 | 13 | 13,5 | 14,5 |
| 14 | 15 | 15,5 | 16,5 |
| 16 | 17 | 17,5 | 18,5 |
| 18 | 19 | 20 | 21 |
| 20 | 21 | 22 | 24 |

Obrázek 30 - průměry děr pro šrouby [37]

Závislost měrné řezné síly na materiálu obrobku a na tloušťce třísky a

Uhlíková ocel a šedá litina



Obrázek 27 - řezný odpor materiálů [37]

Součinitele smykového tření

| Materiál třecích ploch | Za klidu μ_0 | | Za pohybu μ | |
|---------------------------|------------------|--------------|-----------------|--------------|
| | suché | mazáno | suché | mazáno |
| ocel – ocel | 0,15 až 0,20 | 0,10 až 0,12 | 0,10 až 0,20 | 0,03 až 0,09 |

Obrázek 28 - součinitele smykového tření [37]

Příklady uložení

| Druh uložení | Označení | Charakter uložení | Příklad použití |
|--------------|--|--|---|
| s vůlí | $\frac{H8}{d10} \frac{H11}{g11}$ | Součásti, které jsou uloženy se značnou vůlí, kde jsou dovoleny velké tolerance | Ložiska pro dlouhé hřídele hospodářských strojů, jeřábů, pák, víka kompresoru, válců, ucpávky |
| | $\frac{H8}{f8} \frac{H7}{e8}$ $\frac{E8}{h9} \frac{F8}{h8}$ | Součásti, kde je dovolena značná vůle a menší výrobní přesnost | Ložiska dynam, elektrických strojů, čerpadel, ventilátorů, posuvné objímky spojek, pouzdra čepů předních náprav automobilů, hlavní ložiska pístových strojů |
| | $\frac{H7}{f7}$ | Pro uložení s menší vůlí, u přesnějších součástí. Nejrozšířenější uložení ve strojírenství | Hřídele v převodových skříních, ložiska regulátorů, včetně obráběcích strojů, hřídele s ozubenými koly, běžná uložení hřídelů v pouzdrech |
| | $\frac{H7}{g6} \frac{G7}{h6}$ | Součásti, kde se požaduje uložení s malou vůlí | Součásti obráběcích strojů, posuvná kola v převodových skříních, včetně brousících strojů, čepy klikových hřídelů automobilů, písty hydraulických strojů |
| | $\frac{H7}{h6}$ | Uložení s nepatrnou vůlí. Po namazání se dají posouvat rukou | Přesná vedení strojů a přípravků, vyměnitelná vrtací pouzdra, pánve v ložiskovém tělese. Prézy na frézovacím trnu, vnější kroužky valivých ložisek, vrtací hlavy na vrtacím vřetenu |
| | $\frac{H6}{g5} \frac{H6}{h5}$ | Žádané hodnoty lze dosáhnout výběrem při montáži | Přesná točná uložení hřídelů, vodicí pouzdra, pouzdra pro volné řemenice |

Obrázek 32 - druhy uložení [37]

Bibliografie

- [1] MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. *Základy technologie II*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02610-8.
- [2] MÁDL, Jan. *Technologie obrábění: 1. díl*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02091-6.
- [3] ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2336-6.
- [4] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [5] Soustružení I. In: *T-support* [online]. Praha: technology-support, 2012 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: <https://www.t-support.cz/kat/soustruzeni-i-5>
- [6] *Technologie obrábění a montáže*. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v plzni, 2001. ISBN 9788070828236.
- [7] MÁDL, Jan. *Technologie obrábění: 3. díl*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02091-6.
- [8] JANYŠ, Bohumil a Karel RAFTL. *Upínání obrobků na soustruhu*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961. Knižnice strojírenské výroby.
- [9] RONG, Yiming a Yaoxiang ZHU. *Computer-aided fixture design*. 1. vyd. New York: Dekker, 1999. ISBN 9780824799618.
- [10] Upínání nástrojů. In: *ELUC* [online]. ELUC [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1222>
- [11] Ruční sklíčidla pro soustruhy: ROTA-S plus 2.0. In: *Schunk* [online]. Brno: SCHUNK SE & Co. KG, 2023 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/technika-upinani-obrobku/sklacidla-pro-soustruhy/rucni-sklacidla-pro-soustruhy/rota-s-plus-2-0/c/PGR_4106
- [12] Měkké monoblokové čelisti. In: *Schunk* [online]. Brno: SCHUNK SE & Co. KG, 2023 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/technika-upinani-obrobku/upinaci-celisti/mekke-upinaci-celisti/mekke-monoblokove-celisti/c/PGR_5748

- [13 Prima dílna: Měkké čelisti pro sklíčidlo. In: *Prima dílna* [online]. Praha: Copyright TrueTech s.r.o., 2023 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: <https://www.primadilna.cz/Mekkecelisti-pro-sklicidlo-80-mm-sada-3ks-Warco-d2985.htm#detail-anchor-description>
- [14 Hrubovací čelisti. In: *Schunk* [online]. Brno: SCHUNK SE & Co. KG, 2023 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/technika-upinani-obrobku/upinacielisti/hrubovaci-celisti/c/PUB_8632
- [15 HYBRIDNÍ UPÍNACÍ ČELISTI INOTop. In: *PM-TECH* [online]. Praha: PM-TECH s.r.o., 2023 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: https://www.pm-tech.cz/hybridni_upinaci_celisti_inotop/
- [16 Výkyvné čelisti. In: *Schunk* [online]. Brno: SCHUNK SE & Co. KG, 2023 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/technika-upinani-obrobku/upinacielisti/vykyvne-celisti/vykyvne-celisti/c/PGR_5934
- [17 Segmentové zakusovací čelisti, ocel. In: *Schunk* [online]. Brno: SCHUNK SE & Co. KG, 2023 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/technika-upinani-obrobku/upinaci-celisti/segmentove-celisti/segmentove-zakusovaci-celisti-ocel/c/PGR_5741
- [18 Upínání obrobků na soustruhu. In: *PDF Free Download* [online]. DocPlayer, 2023 [cit. 2023-07-27]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/34963814-Upinani-obrobku-na-soustruhu.html>
- [19 Installation manual: Clamping device Expanding bushing mandrel. In: *HAINBUCH* [online]. Marbach: HAINBUCH GMBH SPANNENDE TECHNIK, 2014 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: <https://www.hainbuchamerica.com/fileadmin/Mediendatenbank/English/Service/Downloads/Installation-manuals/Special-solutions/Mandrels/HAINBUCH-Clamping-device-Expanding-bushing-mandrel-Installation-manual.pdf>
- [20 Expanding Mandrels: KEM Series. In: *Kitagawa Europe* [online]. Downton, Salisbury: klamp.global, 2018 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: <https://du4zy4y6zgbbu.cloudfront.net/cz/store/KEMSeries.pdf>
- [21 Pneumatická silová sklíčidla: Silové sklíčidlo s integrovaným pneumatickým válcem. In: *Schunk* [online]. Brno: SCHUNK SE & Co. KG, 2023 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/technika-upinani-obrobku/sklicidla-pro-soustruhy/pneumaticka-silova-sklicidla/c/PUB_8421

- [22 Pneumatická silová sklíčidla: Silové sklíčidlo s integrovaným pneumatickým válcem. In:] *Schunk* [online]. Brno: SCHUNK SE & Co. KG, 2023 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/technika-upinani-obrobku/sklidla-pro-soustruhy/pneumaticka-silova-sklidla/c/PUB_8421
- [23 ROTA TB2: Tříčelistové pneumatické silové sklíčidlo. In: *Schunk* [online]. Brno: SCHUNK SE] & Co. KG, 2023 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/nastroje/quickfinder-pro-upinaci-celisti/qf-source-drehfutter/rota-tb2/c/PGR_7010
- [24 ROTA NCR: Šestičelistové silové sklíčidlo s průchozím otvorem. In: *Schunk* [online]. Brno:] SCHUNK SE & Co. KG, 2023 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/technika-upinani-obrobku/sklidla-pro-soustruhy/silova-sklidla-pro-soustruhy-bez-pruchoziho-otvoru/rota-ncr/c/PGR_4121
- [25 ROTA NCS 3: Tříčelistové silové sklíčidlo s průchozím otvorem. In: *Schunk* [online]. Brno:] SCHUNK SE & Co. KG, 2023 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/technika-upinani-obrobku/sklidla-pro-soustruhy/silova-sklidla-pro-soustruhy-bez-pruchoziho-otvoru/rota-ncs-3/c/PGR_4125
- [26 OPUS-H3 70-37: Válec s otevřeným středem. In: *Schunk* [online]. Brno: SCHUNK SE & Co.] KG, 2023 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: <https://cz.schunk.com/cz/cs/technika-upinani-obrobku/sklidla-pro-soustruhy/upinaci-valce/opus-h3/opus-h3-70-37/p/00000000001360383>
- [27 MM e-motion: Electric Power Chuck Universal Clamping. In: *SMW-AUTOBLOK* [online].] Meckenbeuren: SMW-AUTOBLOK, 2021 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: https://www.smw-autoblok.de/index.php?option=com_docman&view=download&alias=1716-mm-emotion-data-sheet-en&category_slug=englisch-english-50&Itemid=269&lang=de
- [28 BORO VAN, Petr. Výhled oboru upínání na rok 2019. *Technický týdeník* [online]. Vydává] Business Media CZ, 2019 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/vyhled-oboru-upinani-na-rok-2019_47216.html
- [29 ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů: spoje a části spojovací*. Vyd. 1. Praha:] Vydavatelství ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01701-X.

- [30 ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů: příklady*. Vyd. 2. přeprac. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-01-01354-5.
- [31 BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. *Části strojů: 1. svazek*. 5. vyd. Praha: SNTL - NAKLADATELSTVÍ TECHNICKÉ LITERATURY, 1989. ISBN 80-03-00046-7.
- [32 Tlačné pružiny | Katalog. In: *Gutekunst Federn* [online]. [cit. 2023-07-29]. Dostupné z: https://www.federnshop.com/cz/výrobek/tlacné_pružiny.aspx?backfromdetail=true
- [33 Soustružení. In: *SPŠ ZENGROVA* [online]. Ostrava: SPŠ Ostrava - Vítkovice, 2020 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/STT2-9_soustruzeni_RAJ.pdf
- [34 Živé ukázky obrábění sledovaly průběh řezných sil. In: *Konstruktér* [online]. Brno: Nová média, 2015 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz/zive-ukazky-obrabeni-sledovaly-prubeh-reznych-sil/>
- [35 Lunety. In: *Karas* [online]. Mýto: Karas pily, 2023 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: <https://www.karas.cz/catalog/kovoobrabeci-stroje/soustruhy/prislusenstvi/lunety>
- [36 Kleština. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2023-07-26]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kle%C5%A1tina>
- [37 LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 - konvenční soustruh [33]..... | 14 |
| Obrázek 2 - Soustružnické operace [5]..... | 15 |
| Obrázek 3 - rozložení řezných sil [34]..... | 18 |
| Obrázek 4 - Diagram upínací síly v závislosti na otáčkách [11] | 21 |
| Obrázek 5 - měkká čelist výrobce Schunk [12]..... | 22 |
| Obrázek 6 - univerzální hrubovací čelist výrobce schunk [14] | 23 |
| Obrázek 7 - hybridní upínací čelist INOTop [15]..... | 23 |
| Obrázek 8 - výkyvné čelisti výrobce Schunk [16]..... | 24 |
| Obrázek 9 - segmentová čelist výrobce Schunk [17]..... | 24 |
| Obrázek 10 - lící deska s čelistmi [10]..... | 26 |
| Obrázek 11 - upnutí mezi hroty [10] | 27 |
| Obrázek 12 - pohyblivá luneta [35] | 28 |
| Obrázek 13 - pevná luneta [35] | 28 |
| Obrázek 14 - základní typy kleštinových upínačů [36] | 29 |
| Obrázek 15 - rozpínací trn výrobce Hainbuch [19]..... | 30 |
| Obrázek 16 - kuželový a válcový trn [10]..... | 31 |
| Obrázek 17 - pneumatické sklíčidlo ROTA TB2 [23] | 32 |
| Obrázek 18 - hydraulické čelistové sklíčidlo ROTA NCS 3 [25] | 33 |
| Obrázek 19 - hydraulické čelistové sklíčidlo ROTA NCR [24]..... | 34 |
| Obrázek 20 - elektro-mechanické sklíčidlo SMW Autoblok | 35 |
| Obrázek 21 - detailní pohled na soustruženou konturu..... | 36 |
| Obrázek 22 - 3D model tělesa brousícího kotouče | 36 |
| Obrázek 23 - 3D model sestavy jednoúčelového upínače | 38 |
| Obrázek 24 - simulace napětí v přítlačné misce..... | 44 |
| Obrázek 25 - simulace napětí v těle upínače..... | 45 |
| Obrázek 26 - simulace napětí v opěrném kroužku..... | 46 |
| Obrázek 27 - řezný odpor materiálů [37] | 49 |
| Obrázek 28 - součinitele smykového tření [37]..... | 49 |
| Obrázek 29 - rozměry závitu M20x1,5 [37] | 49 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 30 - průměry děr pro šrouby [37] | 49 |
| Obrázek 31 - materiálové vlastnosti oceli 11 500 [37] | 49 |
| Obrázek 32 - druhy uložení [37] | 50 |

Přílohy