

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ  
PRÁCE**

**2023**

**JAN  
KRÁTKÝ**



**ČVUT**  
ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**

**ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ  
A METROLOGIE**

**Soustružení kalených ocelí**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**AUTOR:** Jan Krátký

**VEDOUCÍ PRÁCE:** Ing. Zdeněk Pitrmuc, Ph.D.

**STUDIJNÍ PROGRAM:** B 2343 Výroba a ekonomika ve strojírenství

**STUDIJNÍ OBOR:** 2303R014 Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

**Praha 2023**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Krátký** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **501532**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**  
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**  
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Soustružení kalených ocelí**

Název bakalářské práce anglicky:

**Turning of Hardened steels**

Pokyny pro vypracování:

1. Soustružení - kinematika, nástroje, technologické možnosti.
2. Tvrdé soustružení - specifika, řezné materiály, požadavky na stroje.
3. Programování CNC soustruhů.
4. Technologický postup výroby zadané součásti.

Seznam doporučené literatury:

OVERBY, Alan. CNC machining handbook: building, programming, and implementation. New York: McGraw-Hill, c2011. ISBN 978-0-07-162301-8.  
DAVIM, J. P., ed. Modern machining technology: a practical guide. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. Woodhead Publishing in mechanical engineering. ISBN 978-0-85709-099-7.  
Katalogy výrobců nástrojů - Pramet, Ceratizit, SECO, DTS GERMANY

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: **03.04.2023** Termín odevzdání bakalářské práce: **07.08.2023**

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 diplomovou 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**

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Zdeňku Pitrmucovi, Ph.D. za vstřícnost, pomoc a vedení při tvorbě bakalářské práce.

## Anotace

První část této bakalářské práce se zabývá popisem procesu soustružení a jeho jednotlivých technologických částí. Dále řeší charakteristické znaky tvrdého soustružení. Zejména vlastnosti materiálů skupiny H a používaných řezných materiálů. V závěru jsou popsány způsoby upínání obrobků při soustružení a programování obráběcích strojů.

V druhé části je řešen způsob výroby zadané součásti s cílem dosažení požadovaných přesností a integrity povrchu. Tato část se skládá z výrobního postupu, zdůvodnění volby použitých nástrojů a zhodnocení dosažených výsledků.

**Název diplomové práce:** Soustružení kalených ocelí

**Autor práce:** Jan Krátký

**Vedoucí práce:** Ing. Zdeněk Pitrmuc, Ph.D.

**Akademický rok:** 2022/2023

**Vysoká škola:** ČVUT v Praze, Fakulta strojní

**Ústav:** 12134 Ústav technologie obrábění, projektování  
a metrologie

**Vedoucí ústavu:** Ing. Libor Beránek, Ph.D.

**Rozsah práce:** 63 stránek, 9 tabulek, 40 obrázků

**Klíčová slova:** tvrdé soustružení, kalené oceli, kubický nitrid bóru, CNC soustruhy, řezné materiály

# Annotation

First part of this bachelor thesis is focused on describing of turning process and its individual technological parts. It also describes characteristics of hard turning. Especially properties of group H materials and cutting materials. In the end ways of workpiece clamping and programming of cutting machines are described.

In the second part there is a focus on finding an ideal technological method of manufacturing of specific part with a goal to achieve specified accuracies and quality of surface. This part consists of manufacturing method, explanation of chosen cutting tools and evaluation of reached results.

<b>Title of the final thesis:</b>	Turning of Hardened Steels
<b>Author:</b>	Jan Krátký
<b>Supervisor:</b>	Ing. Zdeněk Pitrmuc, Ph.D.
<b>Academic year:</b>	2022/2023
<b>University:</b>	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
<b>Department:</b>	12134 - Department of Machining Technology, Process Planning and metrology
<b>Head of department:</b>	Ing. Libor Beránek, Ph.D.
<b>Extent:</b>	63 pages, 9 tables, 40 pictures
<b>Keywords:</b>	hard turning, hardened steels, cubic boron nitride, CNC lathes, cutting materials

# Obsah

1. ÚVOD A CÍL PRÁCE .....	12
2. SOUSTRUŽENÍ .....	13
2.1 Základní popis .....	13
2.2 Kinematika .....	13
2.2.1 Řezné pohyby .....	13
2.2.2 Řezné síly .....	14
2.3 Nástroje .....	16
2.3.1 Dělení soustružnických nožů .....	16
2.3.2 Geometrie nástroje .....	17
2.4 Stroje pro soustružení .....	18
2.4.1 Dělení soustruhů .....	18
2.5 Technologické možnosti soustružení .....	20
2.5.1 Tradiční technologické možnosti soustružení .....	20
2.5.2 Moderní technologické možnosti soustružení .....	20
3. TVRDÉ SOUSTRUŽENÍ .....	24
3.1 Specifika tvrdého soustružení .....	24
3.1.1 Dosažitelné přesnosti a drsnost povrchu .....	25
3.2 Skupina materiálů ISO H .....	25
3.2.1 Obrobitelnost materiálů skupiny H .....	26
3.2.2 Vlastnosti kalených ocelí .....	26
3.3 Řezné materiály .....	27
3.3.1 Slinuté karbidy .....	27
3.3.2 Kubický nitrid boru (CBN) .....	27
3.3.3 Řezná keramika .....	28
3.4 Požadavky na stroje a výrobci strojů .....	29



3.4.1 Hembrug .....	29
3.4.2 Hardinge .....	29
3.4.3 Preci Trame .....	30
3.4.4 Schaublin .....	30
8. UPÍNÁNÍ NA SOUSTRUZÍCH.....	30
4.1 Univerzální sklíčidlo .....	30
4.2 Čelní unašeč .....	31
4.3 Rozpínací trn .....	32
4.4 Kleština .....	32
4.5 Upnutí mezi hroty.....	33
4.6 Upnutí pomocí přípravku .....	33
5. MOŽNOSTI PROGRAMOVÁNÍ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ .....	33
5.1 Ruční programování .....	33
5.2 Strojní programování .....	34
5.3 Dílenské programování .....	34
6. DOSAŽITELNOST POŽADAVKŮ ZADANÉ SOUČÁSTI .....	35
6.1 Problematické části zadání .....	35
6.2 Dosažitelnost požadavků problematických částí .....	35
7. TECHNOLOGICKÝ POSTUP .....	36
7.1 Obrábění v nezakaleném stavu .....	36
7.1.1 Upínání obrobku v nezakaleném stavu .....	37
7.1.2 Výrobní postup pro nezakalený stav .....	38
7.2 Obrábění v zakaleném stavu .....	40
7.2.1 Upínání v zakaleném stavu .....	40
7.2.2 Výrobní postup pro zakalený stav .....	41
8. VÝBĚR NÁSTROJŮ .....	42
8.1 Nástroje pro nezakalený stav .....	42

8.1.1 Vnitřní nože.....	42
8.1.2 Vnější nože.....	44
8.1.4 Zapichovací nůž.....	46
8.1.5 Vrták.....	47
8.2 Nástroje pro zakalený stav.....	47
8.2.1 Volba řezného materiálu pro zakalený stav.....	47
8.2.2 Vnitřní nože.....	48
8.2.3 Vnější nože.....	48
8.3 Volba řezných podmínek.....	50
9. Tvorba výrobního programu.....	51
10. ZHODNOCENÍ VÝSLEDNÝCH PŘESNOSTÍ A KVALITY POVRCHU.....	51
10.1 Dosažené drsnosti povrchu.....	52
11. ZÁVĚR.....	55
Bibliografie.....	57
Seznam tabulek.....	61
Seznam obrázků.....	62

## Seznam použitých zkratek a symboliky

CAD	počítačová podpora konstrukce
CAM	počítačová podpora výroby
CBN	kubický nitrid bóru
CL data	data generovaná CAM programem
CNC	počítačově číslicově řízené obráběcí stroje
HRC	tvrdost dle Rockwella
ISO H	norma popisující vlastnosti materiálů o tvrdosti v rozmezí 45-68 HRC
NC kód	číslíkový kód řídící obráběcí stroje
Ra	průměrná aritmetická úchylka posuzovaného povrchu
Rmax	maximální výška profilu na vyhodnocovací délce
Rmr	materiálový podíl profilu
RSm	průměrná šířka prvků profilu
Rz	maximální výška profilu
VBD	vyměnitelná břitová destička

# 1. ÚVOD A CÍL PRÁCE

Kalené oceli patří mezi často využívané materiály pro konstrukce namáhaných součástí. V současné době rozvoje moderních CNC strojů jsou kladeny stále větší požadavky na přesnosti a integritu povrchu obráběných dílů. Obrábění těžkoobrobitelných materiálů se rozvíjí díky technologické vyspělosti výrobců řezných nástrojů, která umožňuje zpracování superabrazivních materiálů. Mezi ně řadíme i CBN, který lze úspěšně využít právě pro obrábění kalených materiálů s obsahem železa.

Sortiment nástrojů z CBN se neustále rozšiřuje a v současné době je možné použít vyměnitelné břitové destičky z CBN s utvařečem třísky, nebo destičky povlakované. Při použití obráběcího stroje s dostatečnou tuhostí, zvolení pevného upnutí materiálu a využití vhodného technologického postupu je možné obráběním s CBN nahradit operace broušení.

Cílem této práce je navrhnout, zjistit a ověřit, jakých geometrických tolerancí lze dosáhnout obráběním s CBN na běžných CNC strojích.

## 2. SOUSTRUŽENÍ

### 2.1 Základní popis

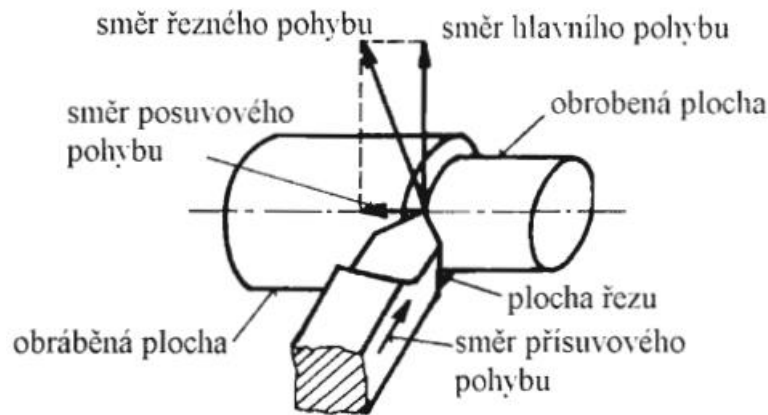
Soustružení patří mezi nejpoužívanější technologie třískového obrábění. Soustružením lze vyrábět součásti rotačního tvaru, tedy válcové a kuželové plochy, nebo plochy obecného rotačního tvaru na vnitřním i vnějším povrchu. Mimo to je možné soustružení použít pro výrobu vnitřních a vnějších závitů a rovinných čelních ploch. Při použití potřebných nástrojů lze využít soustruh k vrtání děr, vyhrubování a vystružování. Pokud je soustruh vybaven poháněnými nástroji, je možné frézování nerotačních částí obrobku. [1]

### 2.2 Kinematika

#### 2.2.1 Řezné pohyby

Při soustružení rozlišujeme dva základní pohyby. Hlavní řezný pohyb je rotační a je vykonáván obrobkem. Vedlejší pohyb vykonávaný nástrojem je posuvový. Dle směru posuvového pohybu nástroje určujeme více typů soustružení. V případě, že se nástroj pohybuje ve směru osy obrobku, jedná se o soustružení podélné. Pokud dochází k pohybu kolmému na osu obrobku, nazýváme tento typ soustružení jako příčné. Do skupiny příčného soustružení se řadí obrábění čela, tvorba zápichů a upichování. Při sloučení pohybu rovnoběžného s osou a kolmého jde o soustružení obecných tvarů. Kombinací hlavního a vedlejšího řezného pohybu získáme výsledný řezný pohyb. [2]

Z řezných pohybů vychází několik důležitých veličin určujících řezné podmínky soustružení. První z nich je řezná rychlost značená jako  $v_c$ . Jde o rychlost hlavního řezného pohybu, definovanou jako obvodovou rychlost na daném povrchu obrobku. Druhou veličinou je rychlost posuvu nástroje. Tedy vzdálenost, o kterou se nástroj posune během jedné otáčky vřetene ve směru rovnoběžném nebo kolmém k ose rotace obrobku dle druhu soustružení. Rychlost posuvu značíme jako  $v_f$ . Třetí veličinou je hloubka řezu, která se značí  $a_p$ . [1], [2]



Obrázek 1 - Řezné pohyby při soustružení [1]

### Vztahy pro výpočty:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [m \cdot \text{min}^{-1}]$$

$$v_f = f \cdot n [mm \cdot \text{min}^{-1}]$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} [m \cdot \text{min}^{-1}]$$

$$A_D = f \cdot a_p [mm^2]$$

Kde:

D....průměr obráběné plochy v mm

n....počet otáček vřetene v  $\text{min}^{-1}$

f....posuv na otáčku v mm

$a_p$ ....hloubka řezu v mm

$v_e$ ....výsledná řezná rychlost

$A_D$ ...průřez odřezávané třísky

### 2.2.2 Řezné síly

Při soustružení zaznamenáváme tři různé složky síly. Největší podíl má řezná síla působící ve směru hlavního řezného pohybu. Z celkového příkonu tvoří přibližně 99 %. Značí se jako  $F_c$ . Posuvová síla, označovaná jako  $F_f$ , působí ve směru posuvového pohybu. Vzhledem k nízké rychlosti posuvu ve srovnání s řeznou rychlostí je její podíl na výsledném příkonu velmi malý. Velikost posuvové síly odpovídá přibližně 40-50 % velikosti řezné síly. Pasivní síla je síla působící v kolmém směru na obráběnou plochu. Značí se  $F_p$  a její velikost je asi

25% velikosti řezné síly. Pasivní síla má největší vliv na přesnost obrobeného povrchu a chvění při obrábění.

Měřením jednotlivých složek sil pomocí dynamometrů získáme výslednou řeznou sílu  $F$ . [3], [4]

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

Vztahy pro výpočty jednotlivých složek sil:

$$F_c = C_{Fc} a_p^{x_{Fc}} f^{y_{Fc}}$$

$$F_f = C_{Ff} a_p^{x_{Ff}} f^{y_{Ff}}$$

$$F_p = C_{Fp} a_p^{x_{Fp}} f^{y_{Fp}}$$

Kde:

$C_{Fc}, C_{Ff}, C_{Fp}$ ....empirické konstanty

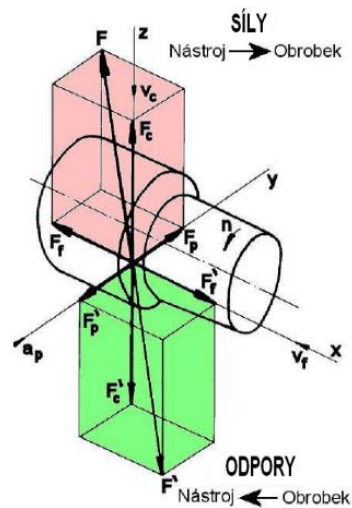
$x_{Fc}, x_{Ff}, x_{Fp}, y_{Fc}, y_{Ff}, y_{Fp}$ ....empirické exponenty

Řeznou sílu  $F_c$  je možné vypočítat také ze vztahu:

$$F_c = k_c \cdot A_D$$

Kde:

$k_c$ ...měrná řezná síla  $N \cdot mm^{-2}$



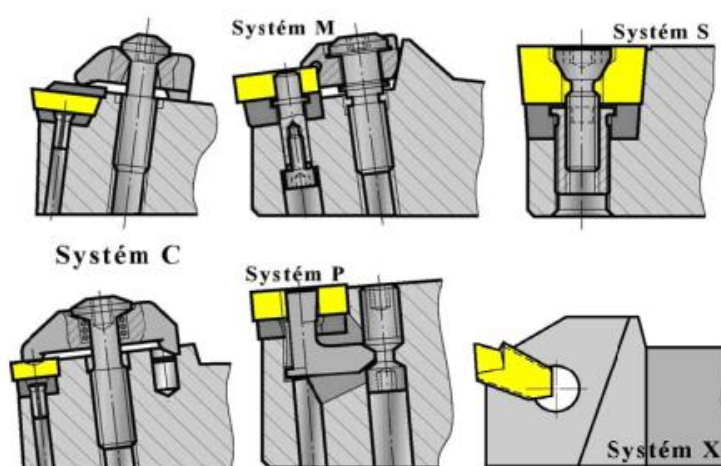
Obrázek 2 - Řezné síly při soustružení [2]

## 2.3 Nástroje

### 2.3.1 Dělení soustružnických nožů

Základní a zároveň nejpoužívanější nástroj pro soustružení je soustružnický nůž. Soustružnické nože jsou nástroje s jedním břitem a jednoduchou geometrií nástroje. Základní rozdělení nožů je na nože určené pro obrábění vnějších ploch a nože pro obrábění vnitřních ploch. Odlišují se tvarem průřezu držáku nože. Vnější nože mají obvykle čtvercový nebo obdélníkový průřez, zatímco vnitřní nože mají tvar průřezu kruhový, elipsovitý, nebo alespoň částečně zaoblený.

Dále se nástroje rozlišují podle provedení konstrukce. Monolitní nože jsou nástroje, jejichž břitovou část a zbytek těla tvoří jeden celek materiálu. Nože s pájenými destičkami jsou vybaveny destičkami z řezného materiálu, které jsou napevno připájeny k lůžku na těle nástroje. Destička a tělo jsou ale vyrobeny ze dvou různých materiálů. Nejpoužívanějším typem jsou nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami. Břitové destičky jsou upnuty do lůžka natěle nástroje pomocí několika různých typů systémů upnutí. Úkolem upínacích systémů je pevné uchycení destičky, které zaručí požadovanou přesnost při namáhání nástroje. Dle směru posuvu dělíme soustružnické nože na levé a pravé. Speciálním typem jsou souměrné a osové nože. [2], [3]



Obrázek 3 - Systémy upínání břitových destiček [2]

Podle účelu nože a tvaru břitové destičky určujeme nože:

- Hrubovací
- Dokončovací



- Závitové
- Zapichovací
- Upichovací
- Kopírovací
- Tvarové

### 2.3.2 Geometrie nástroje

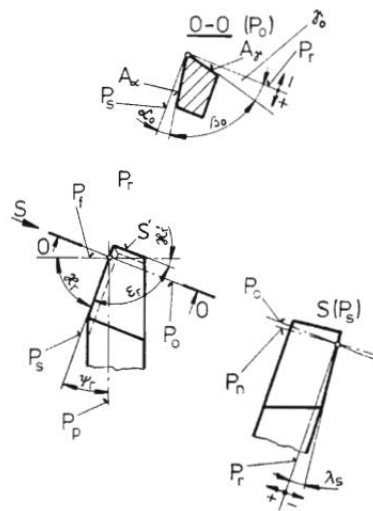
Pro určení geometrie břitu nástroje jsou využívány dva odlišné souřadnicové systémy. Jedná se o nástrojovou a pracovní souřadnicovou soustavu. Rozdíly mezi nimi jsou dány pohybem nástroje při práci.

Při konstrukci a výrobě nástroje využíváme nástrojové souřadnicové soustavy. Ta je definována směrem hlavního pohybu a směrem posuvu. Pomocí těchto vektorů určujeme následující roviny: Nástrojovou základní rovinu ( $P_r$ ) kolmou na vektor rychlosti hlavního pohybu, nástrojovou boční rovinu ( $P_f$ ) definovanou směrem hlavního pohybu a posuvem, nástrojovou zadní rovinu ( $P_p$ ) kolmou na základní a boční rovinu, nástrojovou rovinu ostří ( $P_s$ ), která je tečná k ostří a kolmá na rovinu  $P_r$ , nástrojovou normální rovinu ( $P_n$ ) kolmou na ostří a nástrojovou ortogonální rovinu ( $P_o$ ), která je kolmá na  $P_r$  a  $P_s$ .

Pomocí těchto rovin se určují následující úhly v jednotlivých variantách dle konkrétní zvolené roviny:

- Úhel hřbetu  $\alpha$  – úhel mezi hřbetem a nástrojovou rovinou ostří
- Úhel čela  $\gamma$  – úhel mezi čelem a nástrojovou základní rovinou
- Úhel břitu  $\beta$  – úhel mezi čelem a hřbetem
- Úhel řezu  $\delta$  – úhel mezi čelem a nástrojovou rovinou ostří
- Úhel sklonu ostří  $\lambda$  – úhel mezi ostřím a nástrojovou základní rovinou
- Úhel nastavení  $\kappa$  – úhel mezi nástrojovou rovinou ostří a boční rovinou
- Vedlejší úhel nastavení  $\kappa'$  – úhel mezi nástrojovou rovinou ostří a boční rovinou
- Doplnkový úhel nastavení  $\psi_r$  – úhel mezi nástrojovou rovinou ostří a boční rovinou
- Úhel špičky  $\varepsilon_r$  – úhel mezi nástrojovou rovinou ostří a rovinou vedlejšího ostří

Rozdíl mezi pracovní a nástrojovou souřadnicovou soustavou je v určení pracovní geometrie břitu nástroje, která je definována výsledným směrem hlavního pohybu a směrem posuvu. Odvození zbylých pracovních úhlů a rovin je totožné jako u nástrojové soustavy souřadnic. Pro diferenci znamének je u pracovních rovin a úhlů používán index e. Zřetelné odlišnosti mezi jednotlivými typy soustav nastávají při použití větších posuvů a mění se dle ustavení nástroje vůči obrobku. [3]



Obrázek 4 - Geometrie soustružnického nože [1]

## 2.4 Stroje pro soustružení

Základní typy soustruhů se dělí podle konstrukčního provedení, technologických možností stroje, stupně automatizace nebo velikosti. Moderní obráběcí centra využívají slučování různých technologií obrábění do jednoho stroje. [5]

### 2.4.1 Dělení soustruhů

#### Hrotové soustruhy

Rozlišujeme dvě varianty provedení hrotových soustruhů, a to jednoduché a univerzální. Jednoduché hrotové soustruhy mají větší výkon pohonné jednotky a narozdíl od univerzálních nemají vodící šroub. Využívají se především pro hrubování. Univerzální hrotové soustruhy jsou používány pro obrábění vnějších a vnitřních rotačních ploch, čelních rovinných ploch, zapichování a závitování. [5]

## **Revolverové soustruhy**

Revolverové soustruhy jsou vybaveny otočnou revolverovou hlavou, do které může být upnuto větší množství nástrojů současně. To umožňuje vykonání více různých operací bez nutnosti komplikované výměny nástroje a přeupínání obrobku. Díky tomu jsou revolverové soustruhy vhodné pro střední série výroby dílů, jejichž konstrukce vyžaduje využití několika různých nástrojů. Výhodou je rychlost a přesnost nastavování nástrojů při jednom upnutí obrobku. Revolverové soustruhy jsou rozlišovány dle osy rotace revolverové hlavy na vodorovné, svislé a šikmé. [5], [6]

U vodorovné varianty pracovní posuv zajišťuje revolverová hlava. Samotná hlava je ve tvaru kotouče s dvanácti až šestnácti pozicemi pro uchycení nástroje. Tento typ revolverového soustruhu je lépe využitelný při výrobě menších součástí. Při upnutí součástí větších průměrů není možné využít kompletní škálu osazených nástrojů, protože dochází ke kolizím nástrojů s upnutým materiálem. [3]

Svislá varianta revolverového soustruhu je vybavena obvykle šestihrannou hlavou na jejíchž strany jsou upínány nástrojové držáky. Nástroje na této hlavě jsou obvykle používány pro osové operace. Pro podélné soustružení vnějších ploch slouží suport osazený čtyřnožovou hlavou.

Varianta se šikmou osou revolverové hlavy je určena pro výrobu součástí jednoduchých tvarů z lehkých slitin. [3]

## **Čelní soustruhy**

Pomocí čelních soustruhů se obrábí součásti deskovitého tvaru a velkých průměrů. [5]

## **Svislé soustruhy**

Svislé soustruhy dělíme na jednostojanové a dvoustojanové. Liší se v počtu suportů a v maximálním možném rozměru upínané součásti. Součást je upnuta na otočném stole, jehož osa rotace při obrábění je vodorovná. Na svislých soustruzích se vyrábí rotační součásti velkých průměrů a obvykle malé tloušťky. Jejich využití je především v kusové výrobě. [5]

## 2.5 Technologické možnosti soustružení

### 2.5.1 Tradiční technologické možnosti soustružení

Tradiční stroje pro soustružení nabízejí omezené možnosti technologie výroby součástí. Konvenční stroje umožňují výrobu vnějších a vnitřních rotačních ploch, čelních rovinných ploch, zapichování, upichování materiálu a řezání vnitřních a vnějších závitů. Vrtání děr je možné pouze v ose obrobku. Z hlediska automatizace procesu výroby rozlišujeme soustruhy na poloautomaty a automaty. Poloautomatické stroje vykonávají všechny řezné pohyby samostatně bez nutnosti zásahu operátora. Je však nutné opakované upínání obrobku a jeho následné vyjmutí. Automaty zajišťují řezné pohyby i automatické podávání a odebrání materiálu. Samotná automatizace procesu je mechanicky zajištěna vačkovým nebo narážkovým řízením. [3]

### 2.5.2 Moderní technologické možnosti soustružení

Mezi moderní trendy v oboru rozšiřování technologických možností soustružení patří snaha o rozšíření využití multifunkčních obráběcích center. Jedná se zejména o možnost výroby jednoduchých nerotačních prvků na obráběcích centrech určených primárně pro soustružení. Využívána je k tomu řízená osa C soustruhu, která přináší širší škálu možností použití poháněných nástrojů. Dále je snaha o implementaci podavačů polotovaru, které zajišťují vyšší míru automatizace. Další oblastí v oboru automatizace je automatické měření korekcí nástroje pomocí sond. Cílem je zvýšení produktivity v sériové výrobě a dosažení stálosti kvality výroby. [4]

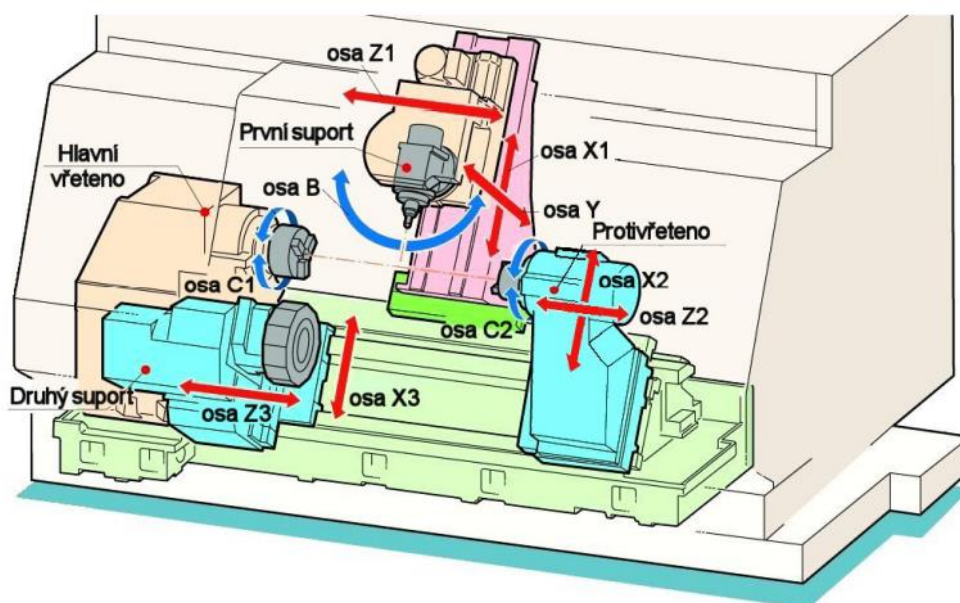
#### Osa C a poháněné nástroje

U soustružnických center rozlišujeme několik řízených os, které určují polohu obrobku a nástrojů. Centra s horizontální osou vřetená umožňují řízený pohyb prvního nástrojového suportu s revolverovou hlavou, druhého nástrojového suportu a vřeteníku protivřetená. Revolverová hlava prvního suportu může být osazena kromě pevných nástrojů také poháněnými nástroji. Mezi poháněné nástroje řadíme vrtáky a frézy. Umožňují vrtání děr mimo osu obrobku a zhotovení nerotačních ploch. Poloha prvního nástrojového suportu je

řízena osou Z1 pro horizontální posuv ve směru osy vřetena, osou X1 ve směru vertikálním, osou Y1 v horizontálním směru kolmém na osu vřetena a případně osou B umožňující natočení nástrojů.

Na druhém nástrojovém suportu mohou být použity také pevné i poháněné nástroje. Jeho pohyb může být pevně svázán s pohybem hlavního vřeteníku, nebo se může nezávisle pohybovat v ose X3 ve směru vertikálním a ose Z3 v horizontálním směru rovnoběžném s osou vřetene. Vřeteník protivřetena může nést pevné nástroje a jeho poloha je definována osou X2 ve vertikálním směru, osou Z2 v horizontálním směru a osou C2, která určuje úhel natočení protivřetena.

Osa C1 je obvykle jedinou možností řízení polohy hlavního obrobkového vřeteníku, a tedy polohy samotného obrobku. Pomocí řízené osy C lze určit úhel natočení obroku a je tak umožněno obrábění nerotačních ploch s využitím poháněných nástrojů umístěných na prvním nebo druhém nástrojovém suportu. Multifunkční obráběcí centra přinášejí možnost výroby komplexních tvarových součástí bez nutnosti použití více strojů a několikanásobného přeupínání součástí. Tím je zajištěna vyšší přesnost výroby a zkrácení výrobních časů. – [5]



Obrázek 5 - Osy soustružnického centra [5]

## **Obrázení a odvalování na soustružnickém centru**

CNC soustruhy mohou být využity pro výrobu ozubení odvalovacím způsobem nebo pro obrázení drážek a ozubení. Pro obrábění pomocí odvalovací frézy je nutné použití speciálních poháněných držáků. Držák s odvalovací frézou je uchycen na nástrojový suport. Stroj synchronizuje otáčky nástroje a vřetene. Nástroj se posouvá v ose Z a dochází k frézování ozubení, případně drážkování. Následně nástroj odjíždí směrem nahoru v ose X. Výroba odvalováním přináší vysokou produktivitu výroby ozubení.

Pro obrázení drážek nebo ozubení je na support upnut tvarový obrážecí nůž. Opakovaným posuvem nástroje ve směru osy obrobku dochází k postupnému obrázení. Otáčením obrobku v ose C je možné obrážet požadované tvarové prvky pod libovolným úhlem natočení. Pro dosažení maximální přesnosti při obrázení je potřebná řízená osa Y stroje, která umožní korekce nástroje v horizontálním směru kolmém na osu rotace obrobku. Možnost výroby na jedno upnutí přímo na soustružnickém centru přináší zefektivnění a zvýšení přesnosti výroby. [7], [8]

## **Podavače tyčí**

Podavače tyčí slouží k automatickému dodávání materiálu pro výrobu na CNC soustružnických centrech. Jejich využití je především pro velké série výrobků, které mohou být obrobeny na jedno upnutí. Podavače zároveň snižují vibrace stroje, které rostou úměrně s délkou polotovaru a zajišťují tak bezpečnost a stálost výroby. Dělíme je na podavače krátkých tyčí a podavače dlouhých tyčí.

Podavač krátkých tyčí nezajišťuje stabilizaci polotovaru. Tyč je podpíraná pouze upnutím v soustruhu. Z tohoto důvodu je možné využívat kompletního rozsahu otáček stroje. Maximální použitelná délka tyče odpovídá délce vřetene. Podavač krátkých tyčí umožňuje automatické zakládání tyčí do soustruhu ze zásobníku tyčí. Tyč je do soustruhu vedena upravenou vřetenovou vložkou, která se zároveň stará o stabilizaci.

Podavač dlouhých tyčí podepírá součást během celého procesu obrábění. Tyče jsou vřetenem tlačeny na mechanický doraz. Ke středění a stabilizaci tyče slouží hydrodynamické účinky oleje, který se nachází ve vodicí trubce podavače. Průměr vodicí trubky je závislý na průměru použité tyče a jeho nevhodné zvolení

způsobuje omezení použitelných otáček při obrábění. Tyč může být podepírána také mechanicky hlavou tlačníku. Nevýhodou podavače dlouhých tyčí jsou velké rozměry a potřebná volná plocha v okolí stroje. [9], [10]

### **Automatické měření korekcí nástroje**

Automatické měření korekcí používaných nástrojů se provádí pomocí snímacích sond. Sondy fungují na principu snímání mechanického doteku s měřeným nástrojem. V okamžiku kontaktu nástroje a sondy vyše sonda signál do řídicího centra stroje. Ten zaznamená aktuální polohu v hladinách jednotlivých os a určí tak polohu daného nástroje. V případě bezdotykových sond zaznamenává polohu laserový paprsek vyzařovaný sondou, který vyše signál při přerušení paprsku nástrojem. Nástrojové sondy bývají připevněny na stole stroje. Ve spolupráci sondy s CAM softwarem je možné generovat simulaci dráhy nástroje.

Často bývá pro měření korekcí nástroje využíváno měřící rameno. Nástroje jsou měřeny dotykem se sondou upevněnou na rameni. Výhodou měřících ramen je jejich vysoká přesnost. Měřící ramena existují v několika variantách. První variantou je vkládatelné rameno, které se upíná do prostoru stroje před zahájením obrábění. Po změření nástrojů je opět vyjmuto. Další variantou je sklápěcí rameno trvale připevněné ve stroji. Při měření je mechanicky nastaveno do požadované polohy a po skončení měření je sklopeno mimo pracovní prostor stroje. Nejdokonalejší variantou je elektronicky řízené sklápěcí rameno. Tento typ ramene je řízen programem stroje. Bez nutnosti zásahu obsluhy dojde k jeho nastavení do pracovní polohy, měření nástrojů, vyhodnocení opotřebení nástrojů a opětovnému sklopení ramene. Měřením nástroje můžeme určit celkovou vzdálenost mezi nástrojem a čelem vřetene, délkovou korekci nástroje a ověříme, že opotřebení nástroje vyhovuje kritériím. U rotačních nástrojů určíme průměr nástroje a jeho průměrovou korekci.

Používání nástrojových sond přináší výhody především ve zvýšení produktivity výroby. Při správném uskladňování sondy a ohleduplné manipulaci je zajištěna vysoká přesnost a stálost měření. Zároveň je snižováno riziko vzniku chyby vlivem lidského faktoru. [11]

## 3. TVRDÉ SOUSTRUŽENÍ

### 3.1 Specifika tvrdého soustružení

Jako tvrdé soustružení označujeme obrábění materiálů s tvrdostí vyšší než 45 HRC. Jedná se nejčastěji o dokončovací operaci, která nahrazuje dodatečné broušení materiálu. Je tedy cílem dosažení dostatečné přesnosti výsledné součásti a vysoké kvality drsnosti povrchu. Z těchto požadavků vyplývají čtyři základní charakteristiky tvrdého soustružení. První z nich je značně vysoká řezná síla. Ta je zapříčiněna neobvykle vysokou pasivní silou. Ta je při tvrdém soustružení několikanásobná oproti hlavní řezné síle, zatímco při běžném soustružení tvoří pouze malou část celkové síly. [12], [13]

Druhou charakteristikou tvrdého soustružení je obrábění bez použití řezné kapaliny. Pasivní síla při odebrání materiálu se přeměňuje na teplo, které je ještě zvyšováno vysokými otáčkami. Při tvrdém obrábění jsou využívány nástrojové materiály s vysokou tepelnou odolností jako je kubický nitrid boru (CBN) nebo řezná keramika. Špička nástroje je zatěžována vysokou silou a teplem přenášeným do špičky nástroje, která se tak stává velice náchylnou na jakékoliv změny v tvrdosti materiálu a jiné nehomogenní oblasti. Ty obvykle vedou k okamžitému poškození nástroje. [12]

Poslední charakteristikou je co nejmenší hloubka řezu. Na minimální hloubce řezu je závislá výsledná přesnost součásti. Pro dosažení maximální přesnosti a celkové kvality procesu obrábění je potřeba zajištění dostatečné celkové robustnosti stroje. Největší dopad má potřebná tuhost nástroje a jeho odolávání tepelným změnám. S tím souvisí i nezbytnost kvalitního nástrojového držáku schopného udržet nástroj v nastavené pozici. Dále je nutné použití pevného upínacího systému, který dokáže udržet obrobek v požadované poloze.

Mezi nejčastější zdroje nepřesností a chyb při obrábění patří:

- Příliš velká řezná síla, která způsobuje elastickou deformaci.
- Velké tepelné změny zapříčiňující rozpínání materiálu.
- Opotřeбенý nástroj zvyšující řeznou sílu a vznikající teplo.
- Nedostatečná tuhost stroje



Tvrdé soustružení přináší výhody především z ekonomického hlediska, kdy je možné se obejít bez operace broušení a odpadají tak náklady na sofistikované brusné stroje. Zároveň získáváme vyšší flexibilitu, kdy je možné dokončit součást při jednom upnutí na soustruhu. Je možné využívat podobné výrobní programy jako pro zbylé soustružení, pouze s drobnou úpravou řezných podmínek.

[12], [14]

### 3.1.1 Dosažitelné přesnosti a drsnost povrchu

Výsledná přesnost a drsnost povrchu je závislá na výše zmiňovaných faktorech. Při dodržení všech nutných požadavků na konstrukci stroje, nástroje a upnutí obrobku a zvolení vhodných řezných podmínek je možné dosáhnout přesností až IT6-IT7. Nejlepší dosažitelná přesnost při splnění maximálních požadavků je IT5. Na opakovaně dosažitelnou vysokou přesnost je potřeba využití specializovaných strojů konstruovaných pro vysoce přesné obrábění.

Nejlepší dosažitelná drsnost povrchu je přibližně Ra 0,1  $\mu\text{m}$ . V běžném provozu jsou dosažitelné hodnoty drsnosti Ra 0,2-0,5  $\mu\text{m}$ . Pro dosažení minimálních hodnot drsností je vhodné použití výměnných břitových destiček s hladící geometrií břitu, které jsou vyráběny i s CBN břity a jsou tak použitelné pro tvrdé soustružení. [12], [15]

## 3.2 Skupina materiálů ISO H

Materiály obráběné při tvrdém soustružení se řadí do kategorie materiálů ISO H. Do této skupiny obráběných materiálů řadíme materiály s tvrdostí v rozmezí 45-68 HRC. Zásadním představitelem této skupiny jsou kalené oceli. Dále sem řadíme cementované oceli, oceli pro kuličková ložiska a bílé litiny. Pro tvrdé soustružení se nejčastěji používají materiály o tvrdosti 55-68 HRC.

Skupinu H dělíme do jednotlivých podskupin:

- **H1:** Jedná se o skupinu tvrzených ocelí. Dosahují stupně tvrdosti 50-63 HRC. Polotovary jsou kované, válcované nebo tvářené za studena a následně kalené.
- **H2:** Jde o tvrzené litiny tvrdosti přibližně 55 HRC. Polotovary jsou vyráběny odléváním a dále nejsou tepelně zpracovány.

- **H3:** Skupina odlévaných tvrzených litin o tvrdosti 40 HRC.
- **H4:** Jedná se o tvrzené litiny vyráběné slinováním. Následně jsou žíhány na výslednou tvrdost 67 HRC.

[16], [17]

### 3.2.1 Obrobitelnost materiálů skupiny H

Materiály skupiny H nepatří k příliš často obráběným materiálům. Při jejich obrábění se používají téměř výhradně pouze dokončovací operace. Mezi charakteristické vlastnosti při obrábění patří velká tvrdost a vysoká měrná řezná síla materiálů, která se pohybuje mezi 3090-4750 N/mm<sup>2</sup>. Ta vyžaduje použití vysoce pevných nástrojů. S vysokou tvrdostí materiálu roste tlak působící na nástrojovou špičku. Dále se tyto materiály vyznačují vysokou abrazivitou, což zvyšuje nároky na použité nástrojové materiály. Další vlastností je nízká tažnost materiálu. Tím je zapříčiněno vhodné tvoření drobné třísky, které je udržováno stabilně během celého procesu obrábění. Obvykle se tyto materiály vyznačují velkým poměrem mezi tvrdostí a modulem pružnosti, což způsobuje elastickou deformaci povrchu materiálu při průjezdu nástroje a vede k rozměrovým nepřesnostem výsledné součásti. Pro zajištění vysoké přesnosti je odebírána velmi tenká vrstva materiálu. [17]

### 3.2.2 Vlastnosti kalených ocelí

Kalené oceli získáváme procesem tepelného zpracování nazývaným kalení. Při tomto tepelném zpracování se snažíme o dosažení nerovnovážného stavu oceli. Při dosažení nerovnovážného stavu mohou vznikat dvě různé struktury, a to martenzitická a bainitická. Požadováno je docílení vzniku martenzitické struktury. Pro možnost kalitelnosti oceli musí daná ocel obsahovat více než 0,2 % uhlíku. Oceli s obsahem uhlíku vyšším než 0,35 % jsou označovány jako dobře kalitelné. Při procesu kalení je materiál zahřátý na danou kalící teplotu. Následně je prudce ochlazen danou ochlazovací rychlostí, která zajistí vznik martenzitu. Ochlazovací rychlost je ovlivněna chladícím prostředím. To může být vzduch, olej, voda, nebo vodné roztoky solí. Po zakalení materiálu je vyhodnocována jeho tvrdost, která je závislá na množství uhlíku.

Zakalením ocelí dojde ke změnám některých fyzikálně-chemických vlastností. Je zvýšena odolnost proti opotřebení součásti. Odolnost proti opotřebení roste s vyšším množstvím uhlíku v materiálu. Zároveň s tím roste odolnost proti abrazi.

Nastane zlepšení korozní ochrany. Součásti z kalených materiálů s vhodnou aplikovanou povrchovou úpravou je tak možné používat ve vysoce korozním prostředí.

Použití kalených ocelí pro namáhané součásti značně zvyšuje trvanlivost dané součásti v závislosti na namáhání. [18], [19]

### **3.3 Řezné materiály**

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, nástrojové materiály pro tvrdé soustružení musí vyhovět vysokým nárokům na tvrdost a pevnost, chemickou stálost a odolnost při práci za vysokých teplot.

#### **3.3.1 Slinuté karbidy**

Slinuté karbidy jsou v současnosti nejpoužívanějším řezným materiálem v oboru obrábění. Jedná se o materiál tvořený tvrdými karbidovými částicemi kovů s vysokou teplotou tání jako wolfram nebo titan. Tyto karbidy jsou spojeny kovovou vazbou, obvykle kobaltu, při procesu práškové metalurgie.

Pro obrábění kalených a zušlechťených nebo tvrzených slitin se používají slinuté karbidy zařazené do skupiny H. Slinuté karbidy této skupiny se vyznačují vysokou odolností proti opotřebení. Ve srovnání s ostatními řeznými materiály určenými pro obrábění kalených ocelí mají slinuté karbidy nižší tvrdost a teplotní odolnost. Výhodou je vyšší houževnatost, která zvyšuje vhodnost použití slinutého karbidu pro obrábění povrchu s přerušovaným řezem. [3], [20]

#### **3.3.2 Kubický nitrid boru (CBN)**

Kubický nitrid boru je druhý nejtvrdší nástrojový materiál po diamantu. Svou tvrdost získává transformací z hexagonální modifikace na kubickou při působení vysokých teplot a tlaků.

Nástroje z tohoto materiálu se vyznačují vysokou tvrdostí, velmi dobrou odolností proti opotřebení a dobrému odolávání vysokým tlakům. Dále je pro CBN typická vysoká teplotní odolnost (do 1500 °C) a chemická stálost vůči železným kovům. Bývá označován jako supertvrdý materiál.

CBN se používá pro výrobu vyměnitelných břitových destiček. Destičky mohou být celé z monolitního kusu materiálu. Častěji ale bývá břit z CBN pájen na destičky, jejichž tělo je tvořeno slinutým karbidem.

Destičky s CBN jsou používány pro soustružení, vyvrtávání nebo frézování. Díky svým vlastnostem mohou být použity při vysokých řezných rychlostech. CBN také dosahuje při dokončovacím obrábění vysoké kvality obráběného povrchu, a proto může jeho použití při obrábění nahradit operaci broušení. [3], [20], [21]

### 3.3.3 Řezná keramika

Řezná keramika je materiál tvořený nekovovými sloučeninami, který se dělí na několik podskupin. Je využívána v podobě vyměnitelných břitových destiček. Tyto destičky jsou používány pro soustružení a frézování. Při soustružení tvrdých materiálů se jedná o dokončovací operace s malou hloubkou řezu. Při obrábění jsou voleny vysoké řezné rychlosti a materiál je odebírán bez použití chladicí kapaliny. [3], [18], [20]

#### Oxidická keramika

Pro oxidickou keramiku je charakteristická nízká houževnatost a odolnost proti teplotním rázům. Mezi pozitivní vlastnosti patří velmi dobrá chemická stálost i za vysokých teplot a vysoká odolnost proti opotřebení. Je vhodná pro použití při obrábění vysokými rychlostmi. Oxidická keramika se dále dělí na čistou ( $Al_2O_3$ ), polosměsnou ( $Al_2O_3 + ZrO_2$ ,  $Al_2O_3 + ZrO_2 + CoO$ ) a směsnou ( $Al_2O_3 + TiC$ ,  $Al_2O_3 + ZrO_2 + TiC$ ,  $Al_2O_3 + TiC + TiN$ ). [18], [20]

#### Nitridová keramika

Jde o nitrid křemíku ( $Si_3N_4$ ) doplněný sloučeninami kovů. Nitridová keramika je typická vysokou pevností za tepla. Oproti oxidické keramice má vyšší

houževnatost. Nástroje z tohoto materiálu je možné použít pro obrábění těžko obrobitelných materiálů při vysokých řezných rychlostech. [18], [20]

### **Vyztužená keramika**

Jedná se o kompozit oxidické nebo nitridové keramiky, který je doplněn o vlákna SiC. Tato vlákna, nazývána whiskery, zlepšují vlastnosti používaných nástrojů. Způsobují nárůst odolnosti proti vydrolování a vylamování břitu a snížení náchylnosti k oxidaci. [18], [20]

## **3.4 Požadavky na stroje a výrobci strojů**

Vzhledem k vysokým působícím silám při tvrdém soustružení rostou i technické požadavky na stroje. Pro dosažení maximální přesnosti při výrobě je nutné, aby stroj dokázal zajistit dostatečné upínací síly pro pevné upnutí obráběného materiálu a nástroje. Zároveň je potřebná celková vysoká tuhost konstrukce stroje pro zajištění kvalitního průběhu obrábění. Některé společnosti vyrábějící obráběcí stroje se již specializují na výrobu soustružnických center pro tvrdé soustružení.

### **3.4.1 Hembrug**

Výrobce obráběcích center Hembrug přišel na trh s řadou soustružnických center Mikroturn 100. Tyto stroje jsou určeny pro tvrdé obrábění pomocí dokončovacích operací. Soustružnická centra z této řady jsou schopná obrábět materiály s tvrdostí do 70 HRC. Pro dosahování vysokých přesností a velmi dobré kvality drsnosti povrchu jsou vybaveny prvky pro umožnění technologie speciálního dokončování povrchu. Dle údajů z katalogu výrobce dokáží stroje dosáhnout přesnosti rozměru součásti s tolerancí  $<2 \mu\text{m}$ . Dosažitelná drsnost povrchu je  $R_a 0,1-0,4 \mu\text{m}$ . [22]

### **3.4.2 Hardinge**

Hardinge nabízí pro tvrdé soustružení soustružnická centra řady Super Precision – T-Series. Stroje této řady jsou určeny pro výrobu součástí s vysokými požadavky na přesnost a kvalitu povrchu. [23]

### 3.4.3 Preci Trame

Firma Preci trame se zaměřuje na přesné obrábění s využitím tvrdého soustružení ve své řadě soustružnických center Kummer. U těchto strojů je snaha o dosažení vysoké produktivity výroby při udržení velmi vysoké přesnosti součástí. Snaha o zdokonalení je zaměřena na vysokou rychlost rychloposuvů a velké zrychlení lineárních motorů. Přesnost výroby zajišťuje měření polohy jednotlivých částí stroje pomocí snímačů s rozlišovací schopností měření 0,01  $\mu\text{m}$ . Do soustružnického centra je možnost integrovat prvky pro dokončování součástí broušením. [24]

### 3.4.4 Schaublin

Tato společnost nabízí několik soustružnických center specializovaných na tvrdé soustružení. Tyto stroje jsou schopné soustružit, frézovat a vrtat pomocí pevných a poháněných nástrojů obrobky z materiálu o tvrdosti do 65 HRC. Dosažitelná kvalita drsnosti povrchu uváděná výrobcem při použití destiček z CBN nebo řezné keramiky je Ra 0,1-0,4  $\mu\text{m}$ . [25]

## 8. UPÍNÁNÍ NA SOUSTRUŽÍCH

Pro dosažení maximálních přesností součásti a kvalitního průběhu obrábění musí zvolený způsob upnutí obrobku zajistit dostatečnou přesnost upnutí. Zároveň musí být upnutí tuhé, aby nedošlo k posunům obrobku vlivem působení řezných sil. Pro maximalizaci produktivity je žádoucí, aby upínání obrobku bylo co nejjednodušší a rychlé. Existuje několik upínacích způsobů. Jejich použití závisí na velikosti a hmotnosti obrobku. [2]

### 4.1 Univerzální sklíčidlo

Univerzální sklíčidlo je nejčastěji používaný způsob upnutí obrobku na soustruhu. Na desku sklíčidla se uchycují čelisti, do kterých je upnut samotný obrobek. Podle počtu čelistí rozlišujeme sklíčidla obvykle na tří a čtyřčelistová. Upínání obrobků do čelistí může být ruční (pomocí klíče), hydraulické, pneumatické nebo elektrické s předem nastavenou hodnotou upínacího tlaku.

Čelisti se dělí na tvrdé a měkké. Tvrdé zakusovací čelisti se používají pro vysoce pevné upnutí. Toto upnutí je vhodné pro hrubovací operace. Povrch obrobku je upnutím obvykle mechanicky poškozen. Pro výrobu přesných součástí se používají měkké čelisti. Jejich povrch je obroben speciálně na požadovaný rozměr pro konkrétní součást. Měkké čelisti je možné před upnutím obrobku několikrát přesoustružit pro zajištění maximální přesnosti. Nevýhodou jsou vysoké náklady a možnost použití pouze pro konkrétní rozměr obrobku. [2], [5]



Obrázek 6 - Univerzální sklíčidlo [26]

## 4.2 Čelní unašeč

Čelní unašeče jsou používány pro velmi přesné obrábění součástí na jedno upnutí. Obrobek je upnut mezi čelní unašeč ze strany od vřetena a pohyblivý hrot ze strany od koníku. Pro upnutí musí být obrobek opatřen středícími důlky. Kroutící moment vřetene je přenášen hroty unašeče do čela obrobku. Pomocí čelního unašeče lze obrábět pouze vnější povrch součásti. [2], [27]



Obrázek 7 - Čelní unašeč [27]

### 4.3 Rozpínací trn

Upínací část rozpínacího trnu je válec rozdělený podélnými drážkami, který je roztahován na požadovaný průměr v rámci svého rozsahu. Součást je upnuta za vnitřní díru a obvykle bývá doražena na dorazovou plochu, která je součástí trnu. Rozpínací trn zajišťuje vysokou přesnost upnutí. Samotné upnutí je rychlé a jednoduché. Nevýhodou je možnost upnutí obrobků s rozměrem díry pouze v rozsahu konkrétního trnu. [28]



Obrázek 8 - Rozpínací trn [28]

### 4.4 Kleština

Kleština slouží pro upínání tyčových polotovarů obvykle menších průměrů. Kleština je tvořena kuželovým pouzdem, které je rozděleno podélnými drážkami. Obrobek je upnut vtažením do tohoto pouzdra. Tento typ upnutí zajišťuje vysokou přesnost. Kleština má pouze malý rozsah upínacích průměrů. Pro různé průměry tyčoviny je tak potřeba mít příslušnou kleštinu. Její použití je vhodné v sériové výrobě. [2]

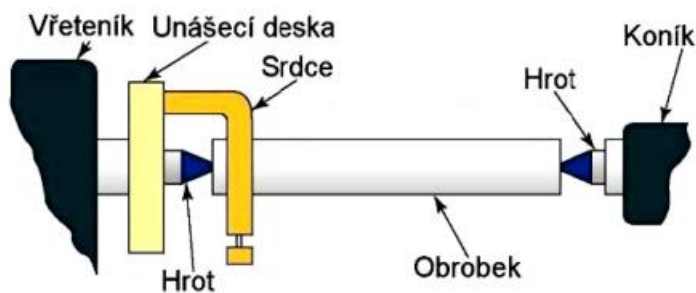


Obrázek 9 - Kleština [29]



## 4.5 Upnutí mezi hroty

Upínání mezi hroty se používá pro dlouhé součásti malého průměru. Obrobek je upnut mezi pevný hrot na straně vřetena a otočný hrot na straně koníku. Pro přenos kroutícího momentu mezi vřetenem a obrobkem slouží unášecí deska a srdce. Upnutí mezi hroty je vhodné pro obrábění s vysokými požadavky na přesnost. [2]



Obrázek 10 - Upnutí mezi hroty [2]

## 4.6 Upnutí pomocí přípravku

Jedná se o unikátní část zkonstruovanou pro upínání konkrétní součásti. Cílem je zajistit maximální přesnost a tuhost upnutí, zamezit vibracím při obrábění a deformaci dílu upnutím. Snaha je o možnost obrobení součásti ideálně na jedno upnutí a rychlost a opakovatelnost upnutí. Upínání pomocí přípravku se používá v sériové výrobě. [30]

# 5. MOŽNOSTI PROGRAMOVÁNÍ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Výrobní proces číslicově řízeného stroje je definován výrobním programem. Výrobní program je tvořen jednotlivými příkazy zapsanými v číselné podobě, které určují konkrétní pohyby stroje. Rozlišujeme několik druhů strojů podle způsobu zadávání číselného kódu. V členění se odráží technologické možnosti strojů a konkrétní způsob zadávání kódu. [31]

## 5.1 Ruční programování

Ruční programování je nejstarší způsob programování strojů. Využití možností výpočetní techniky je při tomto způsobu pouze omezené. Princip ručního programování spočívá v psaní programu pomocí jednotlivých vět

programu. Operátor sestavující program píše jednotlivé funkce a požadované souřadnice bodů v daném pořadí. Výpočetní technika může být využita pro použití předdefinovaných funkcí nebo bloků, které je možné parametrizovat pro požadované rozměry. Dále je možné využití zobrazení zjednodušené simulace pohybů nástroje.

Výhody ručního programování jsou v jednoduchosti drah nástroje, což přináší zkrácení výrobních časů. Nevýhodou je nutnost zhotovení komplikovaných programů pro součásti se složitou geometrií. [31]

## 5.2 Strojní programování

Strojní programování využívá pro tvorbu programu CAM software. Použití CAMu je vhodné pro tvorbu programu pro složité části, u kterých není nutné dosažení nejkratšího možného výrobního času. Výhodu přináší, pokud má uživatel předem vytvořený 3D model součásti v CAD programu.

CAM program generuje jednotlivé dráhy nástroje dle zadané geometrie součásti. Uživatel vytvoří používaný nástroj s definicí řezných podmínek a zvolí požadovanou obráběcí strategii. Následně je možné využít program pro simulaci obráběcího procesu s vizualizací polotovaru, použitého nástroje a upínacími prvky a předcházet tak případným kolizím.

Softwarem jsou vytvořena CL data, která jsou převedena do podoby číselného kódu pomocí postprocesoru. Výsledný číselný kód může být manuálně upravován.

CAM program přináší zjednodušení a částečnou automatizaci tvorby NC kódu. Nevýhodou je tvorba zbytečně dlouhých a složitých drah nástroje, které prodlužují výrobní časy a vysoké náklady na pořízení programu. [31], [32]

## 5.3 Dílenské programování

Některé obráběcí stroje umožňují tvorbu NC kódu přímo v řídicím systému stroje. Tato obráběcí centra jsou vybavena displejem a klávesnicí pro umožnění vstupu. Tento druh programování je vhodný pro součásti jednodušších geometrických tvarů.

Uživatel může při tvorbě kódu využívat předdefinovaných geometrických prvků v systému stroje. Systém nabízí možnosti řešení dalšího postupu a ověřuje správnost vyplnění zadávaných parametrů. Zároveň obvykle umožňuje simulaci obrábění.

Výhodou je možnost rychlé tvorby nebo úpravy NC kódu přímo na pracovišti. Dílenské programování neumožňuje efektivní tvorbu kódu pro složité tvary, které nejsou předem definovány. [31]

## **6. DOSAŽITELNOST POŽADAVKŮ ZADANÉ SOUČÁSTI**

### **6.1 Problematické části zadání**

Na zadané součásti je několik geometrických tolerancí a přesností s vysokými nároky na dosažení.

Je potřeba dodržet geometrickou toleranci házení tvaru vnějšího profilu max. 0,05 mm. Dále je nutné dosažení tolerance rozměru celkové šířky kola a šířky části vnějšího profilu 26 a 20 mm s tolerancí  $\pm 0,04$  mm. Díra o průměru 36 mm musí odpovídat toleranci H7. Výsledná drsnost funkčního tvaru kola, tedy vnějšího rádiusu, musí odpovídat Ra 0,8.

### **6.2 Dosažitelnost požadavků problematických částí**

Pro splnění geometrické tolerance házení vnějšího tvaru je klíčové přesné a tuhé upnutí obrobku. Jako nejvhodnější řešení se nabízí upnutí pomocí rozpínacího trnu nebo měkkých čelistí. Nutným předpokladem je přesné obrobení díry, za kterou bude dále obrobek upnut.

Dosažení rozměrů 26 a 20 mm  $\pm 0,04$  mm vyžaduje rovněž přesné a pevné upnutí. Maximální přesnost by mohla být dosažena při obrobení obou čel na jedno upnutí. Tento technologický postup není proveditelný z důvodu kolizí nástroje s upínacím prvkem v blízkosti díry na zadním čele obrobku. Pokud by přesnost nebyla dosažena soustružením, musela by do technologického postupu být zařazena operace broušení čel.

Splnění tolerance rozměru díry  $\varnothing 36H7$  vyžaduje použití dostatečně tuhého nástroje. Vzhledem k celkové šířce součásti 26 mm není potřeba příliš velké vyložení nástroje, které by snižovalo jeho tuhost.

Drsnost povrchu funkčního tvaru  $Ra 0,8$  je při tvrdém soustružení dosažitelná v případě dodržení vhodně zvolených řezných podmínek.

## **7. TECHNOLOGICKÝ POSTUP**

Technologický postup je rozdělen do dvou částí obrábění. První část je obrábění součásti v nezakaleném stavu. Jako polotovar je použita kruhová tyč o průměru 130 mm a délce 30 mm.

### **7.1 Obrábění v nezakaleném stavu**

V této části je odebírán co největší možný objem materiálu. Tvrdost použité oceli není vysoká a je možné ji obrábět nástroji s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu skupiny P. Odebrání co největšího množství materiálu v této části přináší ekonomické úspory jak v nižších nákladech na nástroje, tak ve zkrácení výrobních časů využitím vyšších hodnot hloubky řezu. Na obrobku je zanechán přídavek 0,2 mm na povrchu díry a 0,3 mm na čelech a povrchu vnějšího profilu pro obrábění v zakaleném stavu. Pouze povrch vnitřního sražení na průměru 36 mm a drážky na čele je obroben bez přídavku a nebude obráběn v zakaleném stavu kvůli nižším požadavkům na přesnost z funkčního hlediska. Pro zajištění pevného upnutí v zakaleném stavu je na vnějším povrchu ponechána funkční plocha, za kterou bude obrobek upnut.



*Obrázek 11 - Obrobená součást s upínací plochou*

### **7.1.1 Upínání obrobku v nezakaleném stavu**

Materiál je v nezakaleném stavu obráběn na dvě upnutí. První upnutí je za vnější průměr polotovaru a je při něm obrobena díra, vnitřní sražení a čelo bez drážky. Pro upnutí obrobku se nabízí zakusovací čelisti. V této části je odebíráno velké množství materiálu hrubovacím obráběním. Povrch polotovaru, za který je obrobek upnut, je obráběn při následujícím upnutí, takže otláčení důlků do povrchu od sevření zakusovacích čelistí nezpůsobí komplikace. Je jimi ale zajištěno dostatečně pevné upnutí. Zároveň přinášejí vysokou rychlost upnutí a jsou tak vhodné i pro případnou sériovou výrobu dílů.

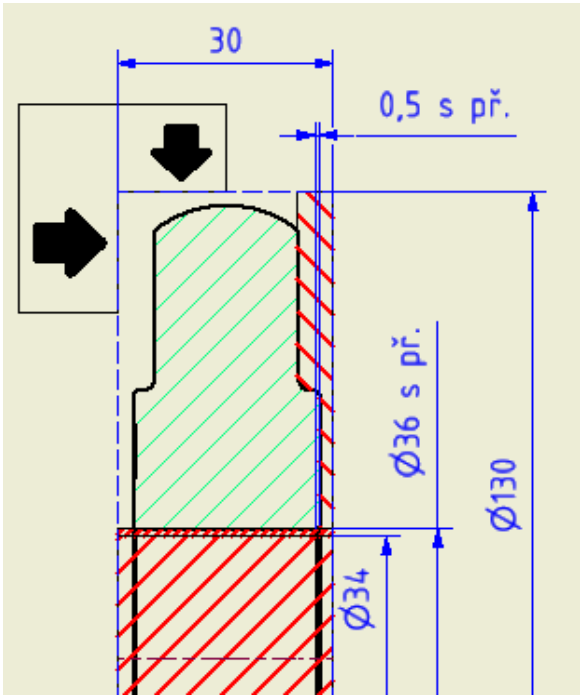
V druhé části je obrobek upnut za díru o průměru 36 mm. Pro toto upnutí se nabízí použití měkkých kleštín nebo rozpínacího trnu. Oba tyto upínací způsoby zajišťují dostatečnou přesnost. Pro prototypovou výrobu byly s přihlédnutím k využitelnosti na jiné součásti použity měkké kleštiny. V sériové výrobě by se nabízelo použití rozpínacího trnu z důvodu otláčování měkkých kleštín a snižování přesnosti upnutí s vyšším počtem vyrobených dílů. Upnutí

v této operaci musí být zajištěno tak, aby umožňovalo obrobení celé kontury vnějšího profilu a bylo tak dosaženo maximální přesnosti obrobení. Při volbě nástrojů je nutné vybírat nože, které se do omezeného prostoru mezi vnější konturou a sklíčidlem bezpečně dostanou.

### 7.1.2 Výrobní postup pro nezakalený stav

V první operaci je polotovar upnut do zakusovacích čelistí za průměr 130 mm. V prvním kroku je vrtána díra s přídávkem pro soustružení. Následně je soustružena díra a vnitřní sražení hrubovacím a dokončovacím cyklem. Díra je obrobena s přídávkem na dokončení v zakaleném stavu. Následuje hrubovací a dokončovací cyklus soustružení čela a části vnějšího profilu. Na obou částech je ponechán přídavek na dokončení v zakaleném stavu.

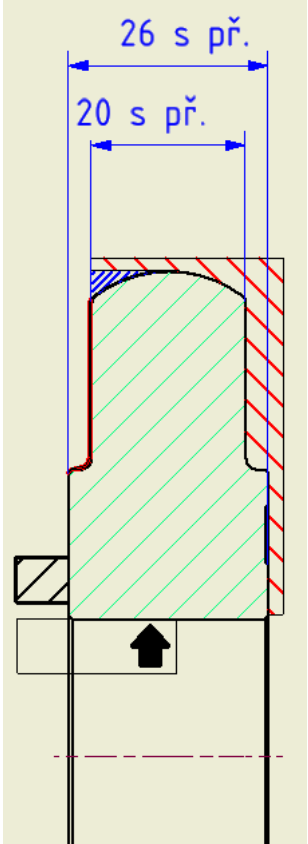
Tabulka 1 - Operace 1

Č. operace 1	Popis činnosti (nástroj, $v_c$ [m/min], $f$ [mm/ot], $a_p$ [mm], $i$ [-])
	Upnout za $\varnothing 130$ do sklíčidla s tvrdými čelistmi
	Vrtat díru $\varnothing 34$ skrz polotovar (T13, 70, 0,1, -, 1)
	Soustružit čelo s přídávkem 0,5 mm na dokončení (T3, 120, 0,12, 2, 3)
	Soustružit díru $\varnothing 36$ s přídávkem 0,5 mm na dokončení (T1, 120, 0,1, 0,85, 6)
	Soustružit vnitřní sražení bez přídávku (T1, 120, 0,1, 0,5, 1)
	Soustružit vnitřní sražení u sklíčidla bez přídávku (T2, 150, 0,1, 0,5, 3)
	Soustružit díru dokončovacím cyklem s přídávkem 0,2 mm na dokončení. (T1, 150, 0,1, 0,1, 1)
	Soustružit čelo dokončovacím cyklem s přídávkem 0,3 mm na dokončení (T4, 150, 0,12, 0,2, 1)
	Vymout obrobenu součást

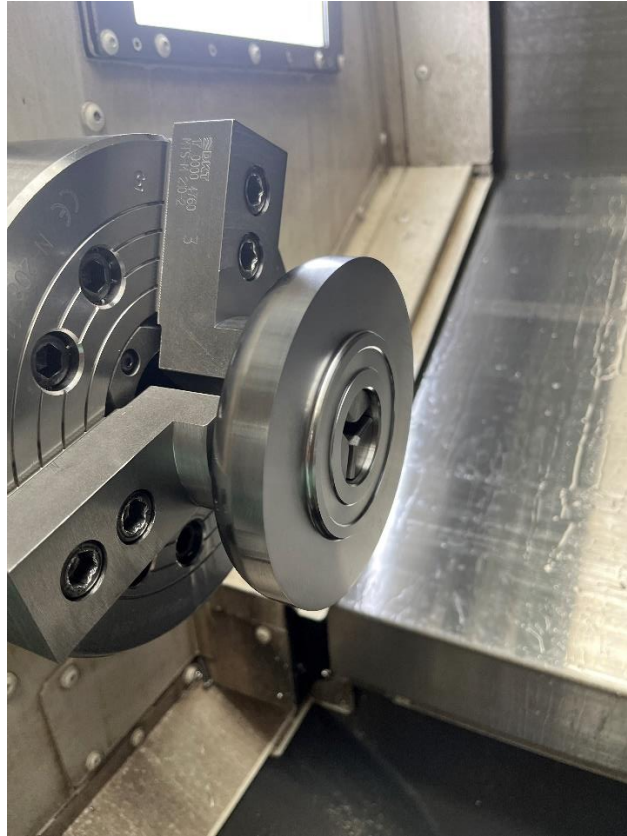
V druhé operaci je obrobek upnut měkkými čelistmi za díru o průměru 36 mm. Čelo a vnější profil jsou soustruženy hrubovacím a dokončovacím cyklem s přídávkem na dokončení. Drážka na čele je obráběna dokončovacím cyklem

bez přídávku. Na vnějším profilu je ponechána plocha pro upnutí v zakaleném stavu.

Tabulka 2 - Operace 2

Č. operace 2	
	Upnout do měkkých čelistí za $\text{Ø}36$ , dorazit na doraz umožňující přístup na čelo
	Soustružit čelo s přídávkem 0,5 mm na dokončení (T3, 120, 0,12, 2, 3)
	Soustružit vnější konturu s přídávkem 0,5 mm na dokončení (T3, 120, 0,15, 1, 4)
	Soustružit drážku na čele (T6, 130, 0,07, 0,3, 4)
	Soustružit čelo dokončovacím cyklem s přídávkem 0,3 mm na dokončení (T4, 150, 0,12, 0,2, 1)
	Soustružit svislou část vnějšího profilu zprava dokončovacím cyklem s přídávkem 0,3 mm na dokončení (T4, 150, 0,12, 0,2, 1)
	Soustružit vnější profil dokončovacím cyklem s přídávkem 0,3 mm na dokončení (T6, 140, 0,08, 0,2, 1)
	Soustružit svislou část vnějšího profilu zleva dokončovacím cyklem s přídávkem 0,3 mm na dokončení (T5, 150, 0,12, 0,2, 1)
	Vyjmout obrobenu součást

Měkké čelisti použité k upnutí v druhé operaci neumožňují obrobení vnitřního sražení na straně od sklíčidla. Je proto nutné obrobit obě sražení již v první operaci. Tento postup vyžaduje použití nástroje s vhodnou geometrií, který sražení vzdálenější od nástrojové hlavy bezpečně obrobí. Výhodou zvoleného postupu je, že díra může být obrobena dokončovacím cyklem až po obrobení obou sražení. Tímto průjezdem mohou být odstraněny případné vzniklé otřepy nebo jiné zdroje nepřesností na povrchu díry způsobené obráběním sražení. Při použití rozpínacího trnu pro druhou operaci a zajištění dostatečného prostoru pro nájezd a výjezd nástroje může být sražení obrobena až v druhé operaci. V tomto případě není nutné řešit komplikovanou přístupnost povrchu a je možné použít nástroj s vyšší tuhostí.



Obrázek 12 - Součást po obrobení v nezakaleném stavu

## 7.2 Obrábění v zakaleném stavu

Součást byla zakalena na tvrdost 57 HRC. Do této části vstupuje součást již obrobena s přídávkem na dokončení. Není tedy třeba hrubovacích cyklů. Jediná část s potřebou odebrání většího množství materiálu je ponechaná pracovní plocha pro upínání, která bude obrobena v druhé operaci obrábění v zakaleném stavu. Důraz je kladen na dosaženou přesnost. Vzhledem k tvrdosti obráběného materiálu je nutné použít vhodné rezné materiály. Pro dosažení požadované drsnosti povrchu je důležité vhodné zvolení rezných podmínek.

### 7.2.1 Upínání v zakaleném stavu

V zakaleném stavu je obrábění rozděleno také do dvou operací. V první operaci je obrobek upnut za vnější profil. Pro zajištění dostatečné upínací síly je nutné ponechat na vnějším povrchu upínací plochu, jak již bylo zmiňováno v předešlých částech. V případě upnutí tvrdými čelistmi pouze za obroběný vnější profil by byla síla přenášena jen velmi malou dotykovou plochou.



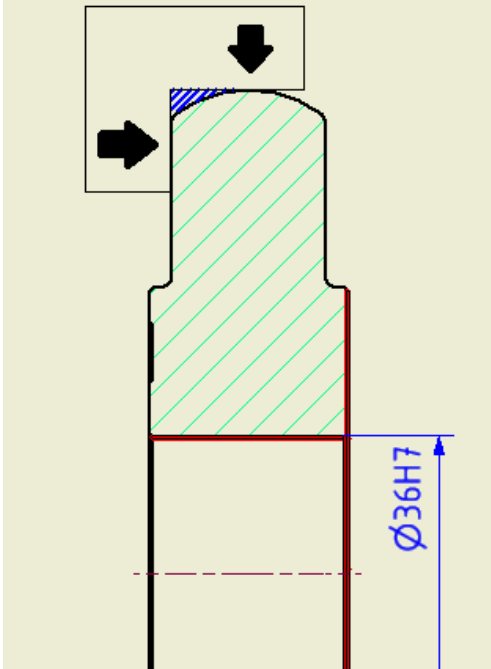
Při působení vysokých sil tvrdého soustružení by toto upnutí bylo vysoce rizikové. Obrábění upínací plochy v zakaleném stavu zapříčiní značný nárůst výrobních časů a opotřebení nástroje. Pro prototypovou výrobu se po přihlédnutí k ekonomickým hlediskům jedná o nejpříjemnější variantu. Pro sériovou výrobu se nabízí použití speciálně vyrobených měkkých čelistí, které by měly tvar negativu vnějšího profilu obrobku a dokázaly by materiál bezpečně upnout.

V druhé operaci je obrobek stejně jako v nezakaleném stavu upnut pomocí měkkých kleštin. Pro sériovou výrobu se nabízí i použití rozpínacího trnu.

### 7.2.2 Výrobní postup pro zakalený stav

V první operaci je obrobek upnut tvrdými čelistmi za upínací plochu na vnějším profilu. Je soustružena díra dokončovacím cyklem. Dále je soustruženo také přístupné čelo dokončovacím cyklem. Je kontrolováno házení čela pomocí úchylkoměru.

Tabulka 3 - Operace 3

Č. operace 3	
	Upnout do sklíčidla s tvrdými čelistmi
	Zkontrolovat čelní házení na průměru 70 mm, vyrovnat na házení max 0,02 pomocí úchylkoměru
	Soustružit díru Ø36H7 načisto (T9, 230, 0,1, 0,1, 2)
	Soustružit čelo načisto (T6, 320, 0,1, 0,15, 2)
	Zkontrolovat dutinoměrem Ø36H7, případně přesoustružit s následnou kontrolou
	Vyjmout obrobenou součást

V druhé operaci je obrobek upnut měkkými kleštinami za dokončenou díru. Soustruženo je přístupné čelo a vnější profil dokončovacím cyklem. Následně je měřena celková šířka obrobku a házení ploch vnějšího profilu.

Tabulka 4 - Operace 4

Č. operace 4	
	Upnout do měkkých čelistí za Ø36 H6 na doraz
	Zkontrolovat čelní házení na obrobeném čele pomocí úchylkoměru
	Soustružit upínací plochu s přídavkem 0,3 mm na dokončení (T12, 320, 0,1, 0,5, 4)
	Soustružit čelo a vnější konturu z pravé strany na čisto (T9, 320, 0,1, 0,15, 2)
	Soustružit vnější konturu z levé strany (T10, 320, 0,1, 0,15, 2)
	Soustružit konturu vnějšího rádiusu (T11, 320, 0,1, 0,15, 2)
	Vyjmout součást

## 8. VÝBĚR NÁSTROJŮ

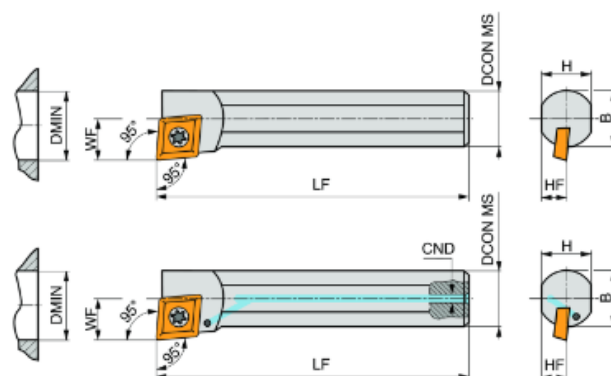
### 8.1 Nástroje pro nezakalený stav

Pro nezakalený stav byly použity nástroje od firmy Dormer Pramet. Použité vyměnitelné břitové destičky byly ze slinutého karbidu skupiny P.

#### 8.1.1 Vnitřní nože

Vnitřní nože jsou použity pouze v první operaci. Na nůž pro hrubování díry a obrábění přístupného vnitřního sražení nejsou kladeny žádné speciální geometrické požadavky. Je obráběna pouze plocha válcová a kuželová. Proto jsem zvolil tvar destičky C vhodný pro hrubovací operace. Držák nože musí splňovat možnost použití pro minimální průměr díry 34 mm a možnost upnutí do stroje s upínacím rozměrem 20 mm.

Nástroj T1: A20Q SCLCR 09, VBD: CCMT 09T304E-FF



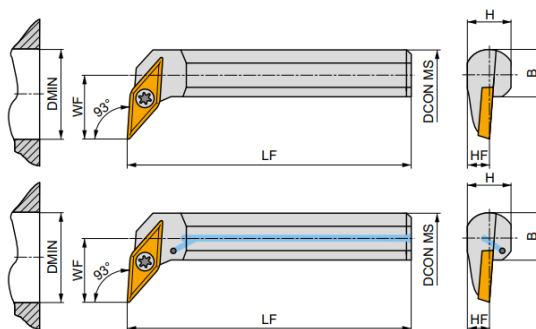
Obrázek 13 - A20Q-SCLCR 09 [33]

Produkt	DCON MS	DMIN	WF	H	B	LF	CND	LAMS	GAMO				
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(°)	(°)		kg	GI045	S02
A08H-SCLCR 06	8	11	6	7.2	7.6	100	3.5	-13	0	✓	0.06	GI045	S02
S08F-SCLCR 06	8	11	6	7.2	7.6	80	-	-13	0	-	0.06	GI045	S02
A10H-SCLCR 06	10	13	7	9	-	100	4	-10	0	✓	0.07	GI045	S02
S10H-SCLCR 06	10	13	7	9	9.5	100	-	-10	0	-	0.08	GI045	S02
A12K-SCLCR 06	12	16	9	11	-	125	5	-8	0	✓	0.11	GI045	S01
S12K-SCLCR 06	12	16	9	11	11.5	125	-	-8	0	-	0.13	GI045	S01
S16M-SCLCR 06	16	20	11	14.5	15	150	-	-8	0	-	0.25	GI045	S01
A10K-SCLCR 08	10	12	6	9	9.5	125	4	-14	0	✓	0.09	GI232	SC22
A12M-SCLCR 08	12	16	9	11	11.5	150	5	-5	0	✓	0.14	GI232	SC22
A16R-SCLCR 08	16	20	11	14	15	200	6	-8	0	✓	0.28	GI232	SC22
A16M-SCLCR 09-A	16	20	11	14.5	-	150	6	-8	0	✓	0.22	GI041	S05
S16M-SCLCR 09-A	16	20	11	14.5	15	150	-	-8	0	-	0.25	GI041	S05
A20Q-SCLCR 09	20	25	13	18	-	180	8	-5	0	✓	0.38	GI041	S08

Obrázek 14 - Specifikace nástroje T1 [33]

Vnitřní nůž pro obrábění vnitřního sražení vzdálenějšího od nástrojové hlavy musí mít vhodnou geometrii, která umožní soustružení ve špatně přístupném místě. Proto jsem zvolil nůž SVUC s úhlem nastavení 93° a vyměnitelnou břitovou destičkou tvaru V. Nůž opět musí splňovat použitelnost pro minimální průměr díry 34 mm a upínací rozměr 20 mm.

**Nástroj T2: A20S-SVUBR 11, VBD: VCMT 110304E-UR**



Obrázek 15 - A20S-SVUBR 11 [33]

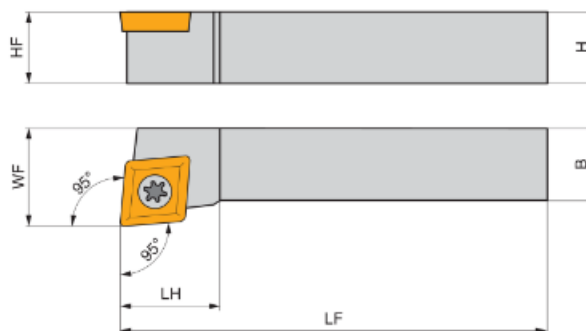
Produkt	DCOMMS	DMIN	WF	H	B	LF	LAMS	GAMO				
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(°)	(°)				
A16R-SVUBR 11	16	20	11	14.5	15	200	-5	0	✓	0.34	GI194	S01
A20S-SVUBR 11	20	25	13	18	18.8	250	-4	0	✓	0.58	GI194	S01
A20S-SVUCR 13	20	25	13	19	18.5	250	-4	2	✓	0.40	GI211	SV21
A25T-SVUCR 13	25	32	17	24	23	300	-2	2	✓	0.96	GI211	SV22
A32T-SVUCR 13	32	40	22	30	30	300	-1	2	✓	1.70	GI211	SV22
S25T-SVUCR 16	25	32	17	23	23	300	-7	0	-	1.10	GI017	S08
S32U-SVUCR 16	32	40	22	30	30	350	-5	0	-	2.10	GI017	S08
S40V-SVUCR 16-A	40	50	27	38	38	400	-5	0	-	4.10	GI017	SV10

Obrázek 16 - Specifikace nástroje T2 [33]

## 8.1.2 Vnější nože

Pro obrábění čel a vnějšího profilu je potřebné použít nástroje určené pro hrubování. V první operaci není obrábění limitováno omezeným prostorem okolo obráběných ploch. Pro hrubování jsem tedy zvolil nůž s úhlem nastavení břitu 95° a hrubovací destičkou tvaru C.

Nástroj T3: SCLCR 1616 H 08, VBD: CCMT 080304E-FF2



Obrázek 17 - SCLCR 1616 H 08 [33]

Produkt	H	B	HF	WF	LF	LH	LAMS	GAMO			
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(°)	(°)			
SCLCR 0808 D 06	8	8	8	10	60	8	0	0	0.06	GI045	S01
SCLCR 1010 E 06	10	10	10	12	70	8	0	0	0.09	GI045	S01
SCLCR 1010 E 08	10	10	10	12	70	13.2	0	0	0.03	GI232	SC22
SCLCR 1212 F 08	12	12	12	16	80	13.4	0	0	0.02	GI232	SC22
R SCLCR 1616 H 08	16	16	16	20	100	15.2	0	0	0.22	GI232	SC22
SCLCR 1212 F 09	12	12	12	16	80	16	0	0	0.12	GI041	S08
SCLCR 1616 H 09	16	16	16	20	100	16	0	0	0.22	GI041	S08
SCLCR 2020 K 12-M-A	20	20	20	25	125	20	0	0	0.44	GI011	SC20
SCLCR 2525 M 12-M-A	20	25	20	32	150	20	0	0	0.68	GI011	SC20
SCLCL 0808 D 06	8	8	8	10	60	8	0	0	0.06	GI045	S01
SCLCL 1010 E 06	10	10	10	12	70	8	0	0	0.06	GI045	S01

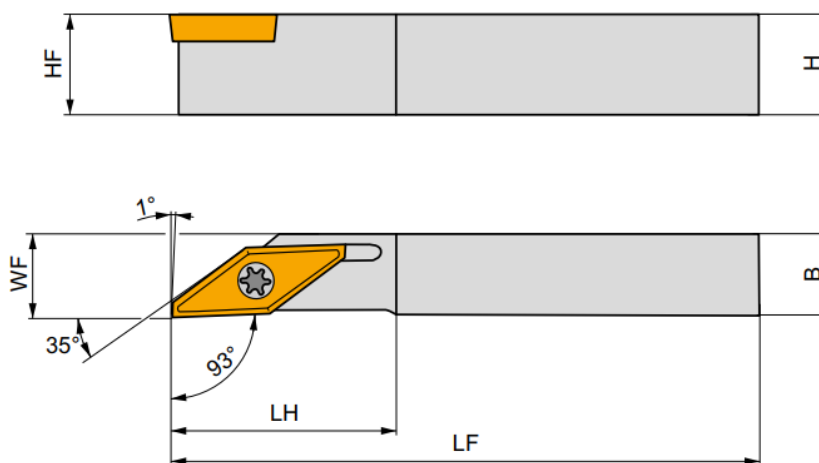
Obrázek 18 - Specifikace nástroje T3 [33]

Pro dokončovací cykly obrábění čel a vnějšího profilu se nabízí více variant nástrojů. Pro obrábění vnějšího profilu je vhodné použít profilovací nůž. Profilovacím nožem je možné obrábět pouze plochu vnějšího rádiusu. Plochy čel

a plochy vnějšího profilu kolmé k ose obrobku nelze těmito noži obrábět kvůli opásání břitu a působení velkých pasivních sil. Pro dokončování čel jsem tedy zvolil nůž s destičkou tvaru V a úhlem nastavení břitu 93°. V případě soustružení čel tímto nožem a obráběním vnějšího rádiusu profilovacím nožem by bylo problematické navazování drah a na povrchu by vznikala nerovnost. Proto jsem pro obrábění vnějšího rádiusu použil symetrický nůž s destičkou tvaru V a úhlem nastavení břitu 72,5°. Pro dokončovací cyklus ploch vnějšího profilu kolmých k ose jsem použil stejný nůž jako pro dokončení čela a jeho levou variantu pro dokončení plochy blíže ke sklíčidlu.

Nástroj T4/T5: SVJCR 2020 M 13-DC/ SVJCL 2020 M 13-DC,

VBD: VCMT 160404E-FM

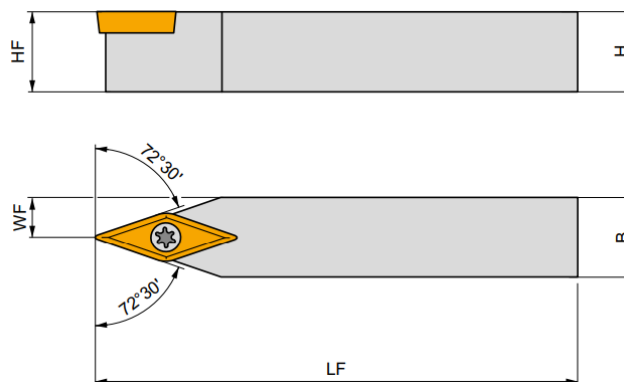


Obrázek 19 - SVJCR 2020 M 13-DC [33]

Produkt	H	B	HF	WF	LF	LH	LAMS	GAMO	kg	G1222	SV20
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(°)	(°)			
SVJCR 1010 L 13-DC	10	10	10	0	140	25	0	0	0.12	G1222	SV20
SVJCR 1212 L 13-DC	12	12	12	0	140	25	0	0	0.17	G1222	SV20
SVJCR 1616 M 13-DC	16	16	16	0	150	25	0	0	0.29	G1222	SV20
<b>SVJCR 2020 M 13-DC</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>150</b>	<b>25</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.45</b>	<b>G1222</b>	<b>SV20</b>
SVJCR 2525 M 13-DC	25	25	25	0	150	25	0	0	0.68	G1222	SV20
SVJCL 1010 L 13-DC	10	10	10	0	140	25	0	0	0.12	G1222	SV20
SVJCL 1212 L 13-DC	12	12	12	0	140	25	0	0	0.17	G1222	SV20

Obrázek 20 - Specifikace nástroje T4/T5 [33]

Nástroj T6: SVVCN 2020 K 16-M-A, VBD: VCMT 160404E-FM



Obrázek 21 - SVVCN 2020 K 16-M-A [33]

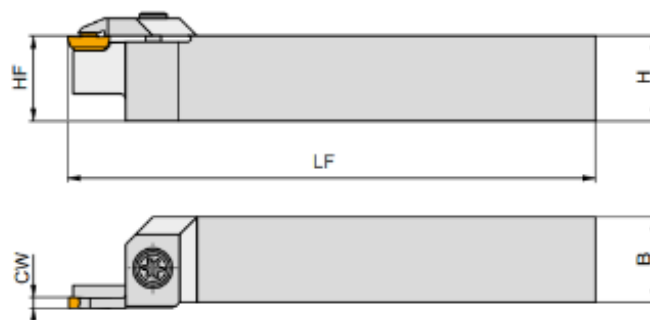
Produkt	H	B	HF	WF	LF	LH	LAMS	GAMO	kg	G1	S01
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(°)	(°)			
SVVBN 1212 F 11	12	12	12	6	80	-	0	0	0.11	GI194	S01
SVVBN 1616 H 11	16	16	16	8	100	-	0	0	0.18	GI194	S01
SVVBN 2020 K 11	20	20	20	10	125	-	0	0	0.38	GI194	S01
SVVCN 1212 N 13	12	12	12	6	160	-	0	0	0.19	GI211	SV21
SVVCN 1616 H 13	16	16	16	8	100	-	0	0	0.20	GI211	SV21
SVVCN 2020 K 13	20	20	20	10	125	-	0	0	0.36	GI211	SV22
SVVCN 2525 M 13	25	25	25	12.5	150	-	0	0	0.66	GI211	SV22
SVVCN 2020 K 16-M-A	20	20	20	10	125	-	0	0	0.34	GI017	SV10
SVVCN 2525 M 16-M-A	25	25	25	12.5	150	-	0	0	0.68	GI017	SV10
SVVCN 3225 P 16-M-A	32	25	32	12.5	170	-	0	0	0.98	GI017	SV10

Obrázek 22 - Specifikace nástroje T6 [33]

## 8.1.4 Zapichovací nůž

Pro obrábění drážky na čele součásti jsem použil osový zapichovací nůž.

Nástroj T7: GFMR 2525 M 0413R 030017, VBD: LCMF 041304-F



Obrázek 23 - GFMR 2525 M 0413R 030017 [33]

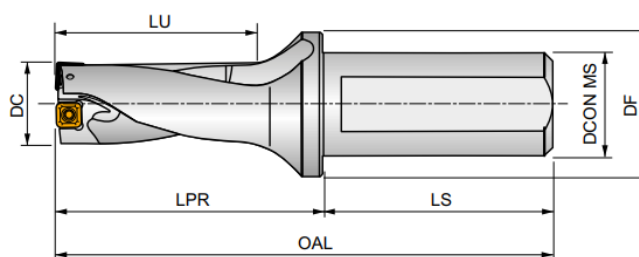
Produkt	HF	H	B	LF	CW	CDX	DAXIN	DAXX	kg	G1	GL02
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)				
GFMR 2525 M 0413R 030017	25	25	25	150	4.00	20	17	30	0.62	GI170	GL02
GFMR 2525 M 0413R 034021	25	25	25	150	4.00	20	21	34	0.63	GI170	GL07
GFMR 2525 M 0413R 040026	25	25	25	150	4.00	20	26	40	0.64	GI170	GL07
GFMR 2525 M 0413R 050032	25	25	25	150	4.00	20	32	50	0.63	GI170	GL07
GFMR 2525 M 0413R 060042	25	25	25	150	4.00	20	42	60	0.64	GI170	GL07
GFMR 2525 M 0413R 075052	25	25	25	150	4.00	20	52	75	0.67	GI170	GL07
GFMR 2525 M 0416R 100070	25	25	25	150	4.00	20	70	100	0.67	GI137	GL07

Obrázek 24 - Specifikace nástroje T7 [33]

## 8.1.5 Vrták

Vzhledem k malé šířce obrobku je vhodné použít vrták s malým poměrem délky vůči průměru. Zvolil jsem vrták s vyměnitelnými břitovými destičkami o délce 2D a průměru 34 mm. Pro zefektivnění sériové výroby by bylo výhodnější použít vrták o průměru 35 mm od jiného výrobce, což by zkrátilo výrobní časy zmenšením množství odebíraného materiálu při soustružení díry.

Nástroj T13: 802D-34-68-32S, VBD: XPET 11T3AP



Obrázek 25 - 802D-34-68-32S [34]

Produkt	DC	APMX	OAL	LPR	LS	W	DCON MS	DF	$\bar{D}$	$\bar{D}^+$					
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)				kg	
802D-15-30-S25	15	30.00	121	65	56	34.5	25	35	0.25	0.35	EP253253	GI300	GI313	0.30	HM001
802D-16-32-S25	16	32.00	123	67	56	37	25	35	0.15	0.45	EP253253	GI300	GI313	0.30	HM001
802D-17-34-S25	17	34.00	125	69	56	39.5	25	35	0.10	0.50	EP253253	GI300	GI313	0.31	HM001
802D-18-36-S25	18	36.00	127	71	56	42	25	35	0.35	0.25	EP253253	GI301	GI314	0.31	HM002
802D-19-38-S25	19	38.00	129	73	56	44.5	25	35	0.15	0.45	EP253253	GI301	GI314	0.32	HM002
802D-20-40-S25	20	40.00	131	75	56	47	25	35	0.10	0.45	EP253253	GI302	GI315	0.33	HM003
802D-21-42-S25	21	42.00	133	77	56	49.5	25	35	0.10	0.50	EP253253	GI302	GI315	0.34	HM003
802D-22-44-S25	22	44.00	135	79	56	52	25	35	0.45	0.50	EP253253	GI303	GI316	0.35	HM004
802D-23-46-S25	23	46.00	137	81	56	54.5	25	35	0.35	0.50	EP253253	GI304	GI317	0.36	HM005
802D-24-48-S25	24	48.00	139	83	56	57	25	35	0.15	0.50	EP253253	GI304	GI317	0.37	HM005
802D-25-50-S32	25	50.00	145	85	60	57	32	42	0.15	0.50	EP324058	GI304	GI317	0.57	HM005
802D-26-52-S32	26	52.00	147	87	60	59.5	32	42	0.10	0.50	EP324058	GI304	GI317	0.58	HM005
802D-27-54-S32	27	54.00	149	89	60	62	32	42	0.50	0.30	EP324058	GI305	GI318	0.59	HM006
802D-28-56-S32	28	56.00	151	91	60	64.5	32	42	0.30	0.50	EP324058	GI306	GI319	0.61	HM007
802D-29-58-S32	29	58.00	153	93	60	67	32	42	0.20	0.50	EP324058	GI306	GI319	0.62	HM007
802D-30-60-S32	30	60.00	155	95	60	69.5	32	42	0.15	0.50	EP324058	GI306	GI319	0.67	HM007
802D-32-64-S32	32	64.00	159	99	60	70	32	42	0.50	0.35	EP324058	GI307	GI320	0.68	HM008
802D-32-64-S40	32	64.00	167	99	68	70	40	50	0.50	0.35	—	GI307	GI320	1.03	HM008
802D-34-68-S32	34	68.00	163	103	60	75	32	42	0.25	0.50	EP324058	GI307	GI320	0.73	HM008
802D-34-68-S40	34	68.00	171	103	68	75	40	50	0.25	0.50	—	GI307	GI320	1.07	HM008

Obrázek 26 - Specifikace nástroje T13 [34]

[33], [34]

## 8.2 Nástroje pro zakalený stav

### 8.2.1 Volba řezného materiálu pro zakalený stav

Pro obrábění materiálu o tvrdosti 57 HRC je důležité zvolení vhodného řezného materiálu. Nabízí se použití destiček z CBN nebo řezné keramiky. Při použití keramiky by musely být použity vysoké řezné rychlosti, což by ovlivnilo výslednou kvalitu povrchu. Destičky z řezné keramiky využívají kvůli křehkosti větší poloměr špičky, což by vedlo ke zhoršení drsnosti povrchu. Křehkost také

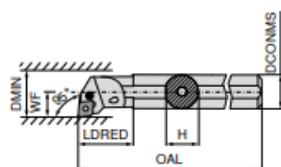
způsobuje poškození nástroje v přechodech opásání. K tomu na dané součásti dochází při obrábění vnějšího profilu při průjezdu plochou rádiusu R1,6. Podstatné je také zmínit menší sortiment dostupných tvarů destiček. Ten je ale pro vyráběnou součást dostačující. Z těchto důvodů jsou použity břitové destičky z CBN.

Použité nástroje pro zakalený stav jsou od firmy Ceratizit.

## 8.2.2 Vnitřní nože

Pro obrábění díry nejsou na nůž kladeny speciální požadavky z pohledu geometrie. Použil jsem vnitřní nůž s úhlem nastavení 95° a VBD tvaru C.

Nástroj T8: A25R PCLN R 12, VBD: CNGA 120404FN



Obrázky zobrazují pravé provedení

Obrázek 27 - A25R PCLN R 12 [35]

Označení ISO	DCONMS	H	OAL	LDRED	WF	DMIN	Utahovací moment	Vyměnitelná destička
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Nm	
A25R PCLN R/L 12	25	23	200	36,0	17	32	4	CN.. 1204
S25T PCLN R/L 12	25	23	300	22,0	17	32	4	CN.. 1204
A32S PCLN R/L 12	32	30	250	50,0	22	40	4	CN.. 1204
S32U PCLN R/L 12	32	30	350	24,1	22	40	4	CN.. 1204
A40T PCLN R/L 12	40	38	300	60,0	27	50	4	CN.. 1204
S40V PCLN R/L 12	40	38	400	24,1	27	50	4	CN.. 1204
S50W PCLN R/L 16	50	47	450	31,0	35	63	4	CN.. 1606

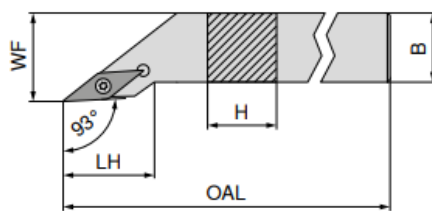
Obrázek 28 - Specifikace nástroje T8 [35]

## 8.2.3 Vnější nože

Pro dokončování vnějšího profilu na jedno upnutí jsou použity tři nože s VBD tvaru V. První nůž má úhel nastavení břitu 93° a je pravý. Tento nůž je zároveň použit pro obrábění čela. Druhý nůž pro obrábění části profilu v blízkosti sklíčidla je také s úhlem nastavení 93°, ale je levý. Třetí nůž je symetrický s úhlem nastavení 72,5°.

Nástroj T9/T10: SVJC R 2020 K11/SVJC L 2020 K11, VBD: VCGW 160404SN





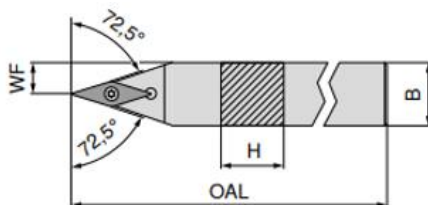
Obrázky zobrazují pravé provedení

Obrázek 29 - SVJC R/L 2020 K11 [35]

Označení ISO	H mm	B mm	OAL mm	LH mm	WF mm	Utahovací moment Nm	Vyměnitelná destička
SVJC R/L 1212 F11	12	12	80	21,5	16	1,2	VC.. 1103
SVJC R/L 1616 H11	16	16	100	21,5	20	1,2	VC.. 1103
SVJC R/L 2020 K11	20	20	125	23,0	25	1,2	VC.. 1103
SVJC R/L 2525 M11	25	25	150	25,5	32	1,2	VC.. 1103
SVJC R/L 2020 K16	20	20	125	29,5	25	3,2	VC.. 1604
SVJC R/L 2525 M16	25	25	150	32,5	32	3,2	VC.. 1604
SVJC R/L 3225 P16	32	25	170	32,5	32	3,2	VC.. 1604

Obrázek 30 - Specifikace nástroje T9/T10 [35]

Nástroj T11: SVVC N 2020 K16, VBD: VCGW 160404SN



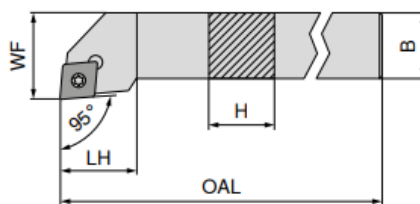
Obrázek 31 - SVVC N 2020 K16 [35]

Označení ISO	H mm	B mm	OAL mm	WF mm	Utahovací moment Nm	Vyměnitelná destička
SVVC N 1212 F11	12	12	80	6,0	1,2	VC.. 1103
SVVC N 1616 H11	16	16	100	8,0	1,2	VC.. 1103
SVVC N 2020 K11	20	20	125	10,0	1,2	VC.. 1103
SVVC N 2525 M11	25	25	150	12,5	1,2	VC.. 1103
SVVC N 2020 K16	20	20	125	10,0	3,2	VC.. 1604
SVVC N 2525 M16	25	25	150	12,5	3,2	VC.. 1604
SVVC N 3225 P16	32	25	170	12,5	3,2	VC.. 1604

Obrázek 32 - Specifikace nástroje T11 [35]

Pro obrobení upínací plochy je použit nástroj s destičkou tvaru C, která je vhodnější pro větší hloubku řezu.

Nástroj T12: SCLC R 2020 K09, VBD: CCGW 09T308FN



Obrázky zobrazují pravé provedení

Obrázek 33 - SCLC R 2020 K09 [35]

Označení ISO	H mm	B mm	OAL mm	LH mm	WF mm	Utahovací moment Nm	Vyměnitelná destička
SCLC R/L 0808 D06	8	8	60	9	10	1,2	CC.. 0602
SCLC R/L 1010 E06	10	10	70	9	12	1,2	CC.. 0602
SCLC R/L 1212 F09	12	12	80	15	16	3,2	CC.. 09T3
SCLC R/L 1616 H09	16	16	100	17	20	3,2	CC.. 09T3
SCLC R/L 2020 K09	20	20	125	17	25	3,2	CC.. 09T3
SCLC R/L 1616 H12	16	16	100	20	20	5	CC.. 1204
SCLC R/L 2020 K12	20	20	125	20	25	5	CC.. 1204
SCLC R/L 2525 M12	25	25	150	20	32	5	CC.. 1204
SCLC R/L 3225 P12	32	25	170	20	32	5	CC.. 1204

Obrázek 34 - Specifikace nástroje T12 [35]

[35]

### 8.3 Volba řezných podmínek

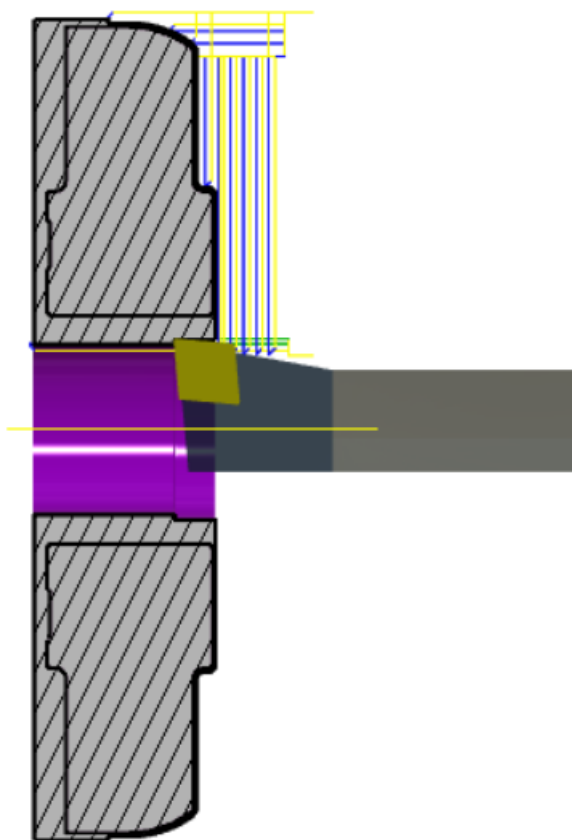
Řezné podmínky pro jednotlivé nástroje byly voleny s přihlédnutím k doporučenému rozsahu dle katalogu výrobce. V části obrábění součásti v nezakaleném stavu byly řezné rychlosti voleny nižší pro zajištění stabilního průběhu soustružení. Při výrobě prototypu nebylo nutné dosažení nejkratších možných výrobních časů. Pro sériovou výrobu je prostor pro zvýšení řezných rychlostí, posuvů a hloubek řezu po otestování výroby na více kusech. Konkrétní použité řezné podmínky jsou zaznamenány v tabulce níže.

Tabulka 5 - Řezné podmínky jednotlivých nástrojů

Číslo nástroje	$v_c$ [m/min]	$f$ [mm/ot]	$a_p$ [mm]
T1	120	0,1	0,85
T2	150	0,1	0,5
T3	120	0,12	2
T4	150	0,12	0,2
T5	150	0,12	0,2
T6	140	0,08	0,2
T7	130	0,07	0,3
T8	320	0,1	0,1
T9	320	0,1	0,15
T10	320	0,1	0,15
T11	320	0,1	0,15
T12	320	0,1	0,5
T13	70	0,1	-

## 9. Tvorba výrobního programu

V programu Inventor byl vytvořen 3D model součásti. Pro vytvoření výrobního programu byl využit software Fusion 360, konkrétně jeho CAM část. Byly vytvořeny výrobní programy pro jednotlivá upnutí. Za pomoci simulace obrábění byly upraveny dráhy nástrojů tak, aby nedocházelo k nadbytečnému prodlužování výrobního času. Zároveň byly odstraněny chyby, které by vedly ke kolizím nástroje s upínáním nebo obrobkem.



Obrázek 35 - Simulace obrábění v programu Fusion 360

## 10. ZHODNOCENÍ VÝSLEDNÝCH PŘESNOSTÍ A KVALITY POVRCHU

Předepsaná tolerance házení vnějšího profilu byla dodržena změřením házení již obrobeneho čela při upnutí před druhou operací a následným obrobením vnějšího profilu na jedno upnutí.

Předepsané tolerance daných rozměrů byly dodrženy. Přesnosti součásti byly ovlivněny značným ohřátím součásti při obrábění vysokými rychlostmi

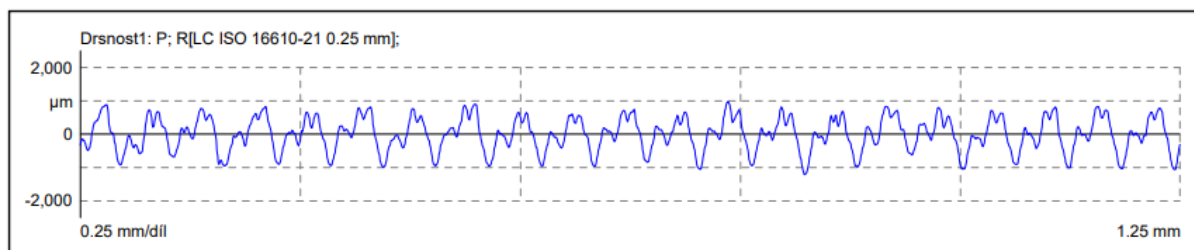
a nevhodným odchodem třísky. Vzniklé teplo je možné snížit změnou směru posuvu nástroje, což zlepší odchod třísky z řezu a odchylky od předepsaného rozměru by tak mohly být minimalizovány. Případně je možné použít VBD od firmy Pramet, která doporučuje i pro destičky z CBN nízké řezné rychlosti.

## 10.1 Dosažené drsnosti povrchu

Drsnosti povrchu byly měřeny na laboratorním konturografu Mahr Surf LD 120. Pro měření byla nejprve použita vlnová délka  $\lambda_c = 0,8$  mm, která se používá pro většinu běžných průmyslových měření. Vzhledem k naměřené hodnotě  $RSm$  51,957  $\mu\text{m}$  byla dále pro měření použita vlnová délka  $\lambda_c = 0,25$  mm.

Každý měřený povrch byl měřen ve třech řezech po přibližně  $120^\circ$  a následně byla vypočtena průměrná hodnota. Hodnoty byly zaokrouhleny na dvě desetinná čísla.

### Čelo na rozměru 26 mm

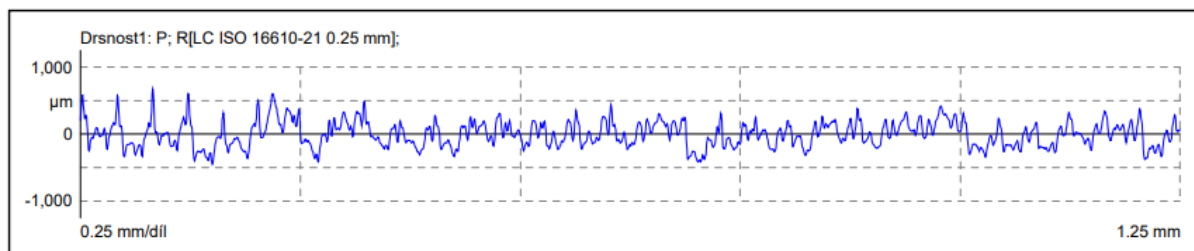


Obrázek 36 - Průběh drsnosti na čele na rozměru 26 mm

Tabulka 6 - Hodnoty drsností na čele na rozměru 26 mm

Číslo měření	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Rmax [ $\mu\text{m}$ ]	RSm [ $\mu\text{m}$ ]	Rmr (-1, 5.0)	Rmr (-2, 5.0)
1	0,41	1,94	2,04	51,96	70,82 %	100 %
2	0,40	2,05	2,16	56,10	75,16 %	99,84 %
3	0,40	1,96	2,12	47,68	73,03 %	100 %
$\emptyset$	0,40	1,98	2,11	51,91	73 %	99,95 %

## Čelo funkčního profilu

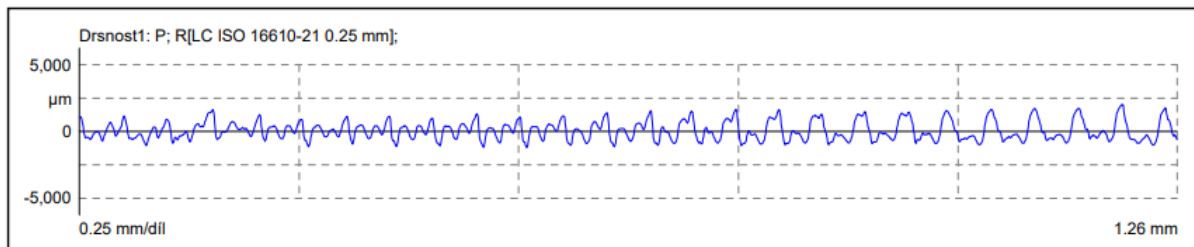


Obrázek 37 - Průběh drsností na čele na funkčním profilu

Tabulka 7 - Hodnoty drsností na čele na funkčním profilu

Číslo měření	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Rmax [ $\mu\text{m}$ ]	RSm [ $\mu\text{m}$ ]	Rmr (-1, 5.0)	Rmr (-2, 5.0)
1	0,15	0,88	1,12	32,99	100 %	100 %
2	0,16	0,96	1,09	32,49	100 %	100 %
3	0,16	0,94	1,12	37,56	100 %	100 %
$\emptyset$	0,16	0,93	1,11	34,35	100 %	100 %

## Rádus funkčního profilu

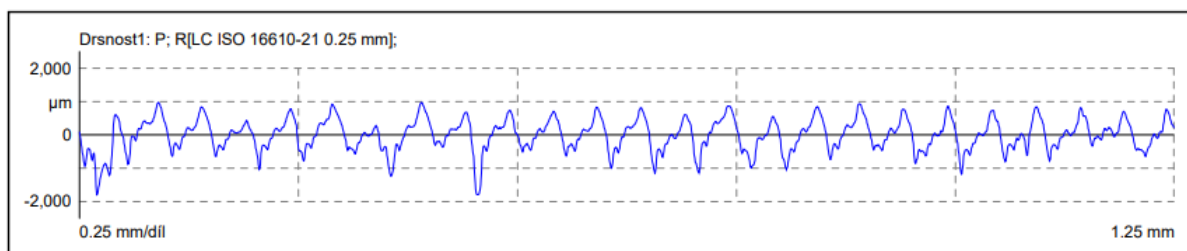


Obrázek 38 - Průběh drsnosti rádiusu funkčního profilu

Tabulka 8 - Hodnoty drsností rádiusu funkčního profilu

Číslo měření	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Rmax [ $\mu\text{m}$ ]	RSm [ $\mu\text{m}$ ]	Rmr (-1, 5.0)	Rmr (-2, 5.0)
1	0,57	2,76	3,04	34,36	30,68 %	83,71 %
2	0,55	2,62	2,76	36,52	32,16 %	86,34 %
3	0,56	2,66	2,88	36,34	27,89 %	81,86 %
$\emptyset$	0,56	2,68	2,89	35,74	30,24 %	83,91 %

## Díra

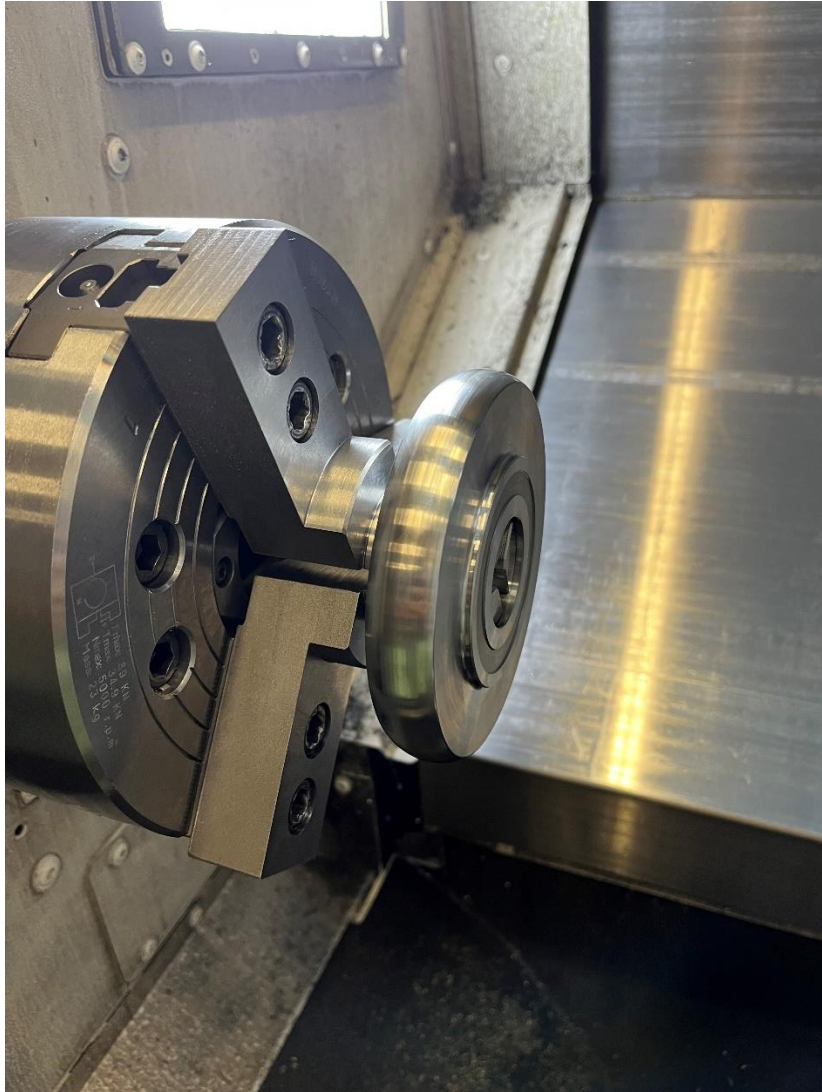


Obrázek 39 - Průběh drsnosti na povrchu díry

Tabulka 9 - Hodnoty drsností na povrchu díry

Číslo měření	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Rmax [ $\mu\text{m}$ ]	RSm [ $\mu\text{m}$ ]	Rmr (-1, 5.0)	Rmr (-2, 5.0)
1	0,39	2,31	2,76	49,81	67,53 %	98,96 %
2	0,37	1,98	2,15	54,83	68,13 %	100 %
3	0,38	2,06	2,26	49,50	67,07 %	99,36 %
$\emptyset$	0,38	2,12	2,39	51,38	67,58 %	99,44 %

Všechny naměřené hodnoty drsností vyhovují předepsaným požadavkům. Nejlepší drsnost byla dosažena na čele funkčního profilu břitovou destičkou tvaru V, a to Ra 0,16.



*Obrázek 40 - Obrobená součást*

## 11. ZÁVĚR

Práce řešila téma soustružení kalených ocelí. V teoretické části byla popsána kinematika soustružení a s ní související řezné síly. Dále byla rozebírána geometrie obráběcích nástrojů a jejich dělení. Bylo popsáno dělení soustruhů a tradiční i moderní možnosti obrábění na soustružnických centrech, jako řízená osa C umožňující obrábění nerotačních prvků, podavače tyčí nebo sondy pro měření korekcí nástrojů.

V druhé sekci teoretické části byla popsána problematika soustružení materiálů skupiny H. Byla zde probrána charakteristika tvrdého soustružení a fyzikálně-chemické vlastnosti jak obráběných, tak řezných materiálů. Z řezných

materiálů jsou v nejširším zastoupení kubický nitrid bóru a řezná keramika. Rovněž zde byly zmíněny firmy zabývající se produkcí soustružnických center pro tvrdé soustružení.

Poslední kapitola teoretické části byla věnována možnostem programování obráběcích strojů. V tomto oboru je rozvoj zaměřen zejména na CAM programy a možnosti automatického sledování průběhu výroby.

Cílem praktické části byla výroba zadané součásti z kalené oceli. Výroba byla rozdělena na obrábění v měkkém a tvrdém stavu. Při volbě nástrojů pro jednotlivé části výroby byly využity katalogy dodavatelů řezných nástrojů. Pro měkký stav byly upřednostňovány nástroje od firmy Pramet. V tvrdém stavu byly použity VBD z CBN od společnosti Ceratizit.

Pro výrobu byl vytvořen technologický postup spolu se zvolením nejvhodnějšího způsobu upnutí materiálu. Pro možnost upnutí v tvrdém stavu byla na součásti ponechána funkční plocha, za kterou byl následně obrobek upnut. Jako nejvhodnější řešení upnutí za obrobenou díru bylo zvoleno upnutí pomocí měkkých čelistí.

Na výsledné součásti byla změřena drsnost jednotlivých povrchů a proběhla diskuse výsledků. Předepsané hodnoty byly dodrženy. Nejlepší dosažená drsnost povrchu byla Ra 0,16. Vzhledem k dosaženým hodnotám se technologický postup obešel bez operace broušení. Dílčí cíle zadání tak byly splněny v plném rozsahu.



## Bibliografie

- [1] MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. *Základy technologie II*. 1. české vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-010-2610-8.
- [2] ČEP, Robert. *Skripta z technologie II - 2. díl* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: [https://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta\\_Technologie\\_II\\_2dil.pdf](https://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf)
- [3] MÁDL, Jan, Jindřich KAFKA, Martin VRABEC a Rudolf DVOŘÁK. *Technologie obrábění*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 1999. ISBN 978-80-01-03752-2.
- [4] *Modern machining technology: a practical guide*. 1. anglické. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. ISBN 978-0-85709-099-7.
- [5] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: Technologie obrábění - 1. část* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003 [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf)
- [6] What is Lathe Machine? Types of Lathe Machine & Their Uses. In: *Engineering learn* [online]. [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: [https://engineeringlearn.com/what-is-lathe-machine-types-of-lathe-machine-their-uses-complete-guide/?utm\\_content=cmp-true](https://engineeringlearn.com/what-is-lathe-machine-types-of-lathe-machine-their-uses-complete-guide/?utm_content=cmp-true)
- [7] WTO - Poháněné držáky pro frézování ozubení. In: *ALBA precision* [online]. [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <http://albaprecision.cz/cz/portal/produkty/wto/pohanene-drzaky-pro-frezovani-ozubeni/odvalovaci-freza-ozubeni/>
- [8] Obrázení drážek v perfektním tvaru. In: *Hoffman Group* [online]. [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/oblasti-pouziti/obrabeni/obrazeni-drazek-garant/e/68141/>
- [9] *Podavače tyčí pro CNC soustruhy* [online]. CNC Technology, 2008 [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://www.cnctech.cz/files/podavace-tyci/prirucka-a-uzitecne-informace-o-podavacich-tyci-2012-1-.pdf>
- [10] Zásobníky a podavače tyčí pro soustružnické stroje. In: *Technický týdeník* [online]. [cit. 2023-06-20]. Dostupné z:

[https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/vyber-cnc-stroje/vyber-vhodneho-cnc-obrabeciho-stroje-7\\_\\_8511.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/vyber-cnc-stroje/vyber-vhodneho-cnc-obrabeciho-stroje-7__8511.html)

- [11] Nástrojové sondy pro ustavení nástroje a detekci poškozeného nástroje. In: *Renishaw* [online]. [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/nastrojove-sondy-pro-ustaveni-nastroje-a-detekci-poskozeneho-nastroje--6079>
- [12] KUNDRÁK, J., B. KARPUSCHEWSKI, K. GYANI a V. BANA. Accuracy of hard turning. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2008, **202**(1-3), 328-338 [cit. 2023-06-20]. ISSN 0924-0136. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013607008825>
- [13] AGRAWAL, Anupam, Saurav GOEL, Waleed RASHID a Mark PRICE. Prediction of surface roughness during hard turning of AISI 4340 steel (69 HRC). *Applied Soft Computing* [online]. 2015, **30**, 279-286 [cit. 2023-06-20]. ISSN 1568-4946. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1568494615000800>
- [14] Why hard turning can be an alternative to grinding for many applications. In: *Hardinge* [online]. [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://www.hardinge.com/blog/turning/why-hard-turning-can-be-a-better-choice-than-grinding-for-many-applications/>
- [15] Vyšší produktivita s tvrdým soustružením. In: *Technický týdeník* [online]. [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/vyssi-produktivita-s-tvrzym-soustruzenim\\_\\_48111.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/vyssi-produktivita-s-tvrzym-soustruzenim__48111.html)
- [16] *Technical Guide - Materials* [online]. Sandvik Coromant [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/profile/Jean-Francois-Antoine/post/How-do-you-improve-the-surface-finish-in-machining-of-gray-iron/attachment/59d64455c49f478072eacc53/AS%3A273740099719196%401442276133810/download/Sandvik+-+Technical+Guide+-+Materials+ISO.pdf>

- [17] NAKAYAMA, Kazuo, Minoru ARAI a Torahiko KANDA. Machining Characteristics of Hard Materials. *CIRP Annals* [online]. 1988, **37**(1), 89-92 [cit. 2023-06-20]. ISSN 0007-8506. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850607615923>
- [18] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 1. české vydání. Brno: CERM, 1999. ISBN 80-720-4130-4.
- [19] GILANI, Natasha. Properties of Hardened Steel. *Sciencing* [online]. [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://sciencing.com/properties-hardened-steel-6301296.html>
- [20] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006 [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/mat\\_pro\\_rez\\_nastroje/materialy\\_pro\\_rezne\\_nastroje\\_v2.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf)
- [21] ČEP, Robert. *Skripta z technologie II - 1. díl* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: [https://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta\\_Technologie\\_II\\_1dil.pdf](https://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_1dil.pdf)
- [22] *Katalog Hembrug - Mikroturn 100 Machine Series* [online]. Hembrug [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: [https://www.multistation.com/voy\\_content/uploads/2017/09/mikroturn100-series-eng.pdf](https://www.multistation.com/voy_content/uploads/2017/09/mikroturn100-series-eng.pdf)
- [23] *Katalog Hardinge - T-Series Super Precision Turning Centers* [online]. Hardinge, 2023 [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: [https://www.hardinge.com/wp-content/uploads/1310\\_Hardinge\\_TSeries\\_2023.pdf](https://www.hardinge.com/wp-content/uploads/1310_Hardinge_TSeries_2023.pdf)
- [24] *Katalog Preci Trame - Kummer 250* [online]. Preci Trame [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://precitrame.com/en/product/kummer-k250/>
- [25] Hard Turning. In: *Schaublin Machine Tools* [online]. [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://schaublinmachines.co.uk/hard-turning/index.html>

- [26] Univerzální sklíčidlo IUS 243801 125/4-1M1/124110. In: *S-TOOLS* [online]. [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://www.stools-shop.cz/univerzalni-sklicidlo-ius-243801-125-4-1m1--124110-/>
- [27] Obrábění na jedno upnutí. In: *ALBA Precision* [online]. [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <http://albaprecision.cz/cz/portal/novinky/neidlein-unaseni-obrabeni-na-jedno-upnuti-1847.htm>
- [28] *Katalog Kitigawa Europe - Expanding Mandrels KEM Series* [online]. Kitigawa Europe, 2018 [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://www.kitagawa.global/cz/products/klestinove-upinace/rozpinacitrny/kem-as-a5-expanding-mandrel>
- [29] Kleština ER 16 celokovová utěsněná. In: *BRIOL Spojovací materiály* [online]. [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://www.briol.cz/cs/p-5097-klestina-er-16-celokovova-utesnena>
- [30] Upínací technika. In: *Ceratizit Group* [online]. [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: [https://cuttingtools.ceratizit.com/cz/cs/nastroje/upinani-obrobk\\_/p\\_iru\\_ka/up\\_iacute\\_nac\\_iacute-technika.html](https://cuttingtools.ceratizit.com/cz/cs/nastroje/upinani-obrobk_/p_iru_ka/up_iacute_nac_iacute-technika.html)
- [31] VRABEC, Martin a Jan MÁDL. *NC programování v obrábění*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-010-3045-8.
- [32] OVERBY, Alan. *CNC machining handbook: building, programming, and implementation*. 1. anglické. New York: McGraw-Hill, 2011. ISBN 978-0-07-162301-8.
- [33] *Dormer Pramet Turning Catalogue 2021* [online]. 2021 [cit. 2023-07-19]. Dostupné z: <https://www.dormerpramet.com/cz/cs/downloads-catalogs>
- [34] *Dormer Pramet: Holemaking catalogue 2021* [online]. 2021 [cit. 2023-07-19]. Dostupné z: <https://www.dormerpramet.com/cz/cs/downloads-catalogs>
- [35] *Ceratizit katalog: Soustružnické nože s vyměnitelnými destičkami* [online]. 2023 [cit. 2023-07-19]. Dostupné z: [https://cdn.plansee-group.com/is/content/planseemedia/gd\\_kp\\_kt-hk-01-23-00023-kp-wp-dre\\_scs\\_asc\\_pim](https://cdn.plansee-group.com/is/content/planseemedia/gd_kp_kt-hk-01-23-00023-kp-wp-dre_scs_asc_pim)

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Operace 1.....	38
Tabulka 2 - Operace 2.....	39
Tabulka 3 - Operace 3.....	41
Tabulka 4 - Operace 4.....	42
Tabulka 5 - Řezné podmínky jednotlivých nástrojů .....	50
Tabulka 6 - Hodnoty drsností na čele na rozměru 26 mm.....	52
Tabulka 7 - Hodnoty drsností na čele na funkčním profilu.....	53
Tabulka 8 - Hodnoty drsností rádiusu funkčního profilu.....	53
Tabulka 9 - Hodnoty drsností na povrchu díry .....	54

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Řezné pohyby při soustružení [1].....	14
Obrázek 2 - Řezné síly při soustružení [2] .....	15
Obrázek 3 - Systémy upínání břitových destiček [2] .....	16
Obrázek 4 - Geometrie soustružnického nože [1] .....	18
Obrázek 5 - Osy soustružnického centra [5].....	21
Obrázek 6 - Univerzální sklíčidlo [26] .....	31
Obrázek 7 - Čelní unašeč [27].....	31
Obrázek 8 - Rozpínací trn [28].....	32
Obrázek 9 - Kleština [29].....	32
Obrázek 10 - Upnutí mezi hroty [2] .....	33
Obrázek 11 - Obrobená součást s upínací plochou .....	37
Obrázek 12 - Součást po obrobení v nezakaleném stavu .....	40
Obrázek 13 - A20Q-SCLCR 09 [33].....	43
Obrázek 14 - Specifikace nástroje T1 [33].....	43
Obrázek 15 - A20S-SVUBR 11 [33] .....	43
Obrázek 16 - Specifikace nástroje T2 [33].....	44
Obrázek 17 - SCLCR 1616 H 08 [33].....	44
Obrázek 18 - Specifikace nástroje T3 [33].....	44
Obrázek 19 - SVJCR 2020 M 13-DC [33] .....	45
Obrázek 20 - Specifikace nástroje T4/T5 [33] .....	45
Obrázek 21 - SVVCN 2020 K 16-M-A [33] .....	46
Obrázek 22 - Specifikace nástroje T6 [33].....	46
Obrázek 23 - GFMR 2525 M 0413R 030017 [33] .....	46
Obrázek 24 - Specifikace nástroje T7 [33].....	46
Obrázek 25 - 802D-34-68-32S [34].....	47
Obrázek 26 - Specifikace nástroje T13 [34] .....	47
Obrázek 27 - A25R PCLN R 12 [35] .....	48
Obrázek 28 - Specifikace nástroje T8 [35].....	48
Obrázek 29 - SVJC R/L 2020 K11 [35] .....	49
Obrázek 30 - Specifikace nástroje T9/T10 [35].....	49
Obrázek 31 - SVVC N 2020 K16 [35].....	49

Obrázek 32 - Specifikace nástroje T11 [35] .....	49
Obrázek 33 - SCLC R 2020 K09 [35].....	49
Obrázek 34 - Specifikace nástroje T12 [35] .....	50
Obrázek 35 - Simulace obrábění v programu Fusion 360 .....	51
Obrázek 36 - Průběh drsnosti na čele na rozměru 26 mm .....	52
Obrázek 37 - Průběh drsností na čele na funkčním profilu .....	53
Obrázek 38 - Průběh drsnosti rádiusu funkčního profilu .....	53
Obrázek 39 - Průběh drsnosti na povrchu díry.....	54
Obrázek 40 - Obrobená součást .....	55