

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A METROLOGIE



PROTOTYPOVÁ VÝROBA TVRDÝM  
SOUSTRUŽENÍM

PROTOTYPE MANUFACTURING USING HARD PART TURNING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR:	MAREK MRHA
VEDOUCÍ PRÁCE:	Ing. ZDENĚK PITRMUC, Ph.D
STUDIJNÍ PROGRAM:	VÝROBA A EKONOMIKA VE STROJÍRENSTVÍ
STUDIJNÍ OBOR:	TECHNOLOGIE, MATERIÁLY A EKONOMIKA STROJÍRENSTVÍ

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mrha** Jméno: **Marek** Osobní číslo: **491735**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací 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:

**Prototypová výroba tvrdým soustružením**

Název bakalářské práce anglicky:

**Prototype manufacturing using hard part turning**

Pokyny pro vypracování:

1. Specifika tvrdého soustružení.
2. Volba řezných materiálů.
3. Návrh technologického postupu.
4. CAM programování zadané součásti.

Seznam doporučené literatury:

Katalogy výrobců nástrojů - Pramet, Ceratizit, SECO, Sandvik  
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.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

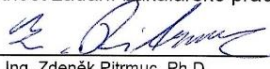
**Ing. Zdeněk Pitrmuc, Ph.D. ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS**

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

Datum zadání bakalářské práce: **03.04.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **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.

27.4.2023

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

# 1. Obsah

2. Úvod.....	7
3. Soustružení kalených ocelí .....	8
1.1 Porovnání tvrdého soustružení a broušení .....	8
1.2 Stroje pro tvrdé soustružení .....	9
1.2.1 Požadavky .....	9
1.2.2 Světový výrobci strojů .....	10
1.3 Upínání obrobků a nástrojů na soustruhu .....	11
1.3.1 Upínání obrobků.....	11
1.3.2 Upínání nástrojů.....	17
1.4 Nástroje .....	20
1.4.1 Skupiny obráběných materiálů dle ISO .....	20
1.4.2 Přehled a charakteristika řezných materiálů.....	24
1.4.3 Významní světový výrobci řezných nástrojů .....	27
4. Zadaná součástka .....	29
5. Polotovar.....	30
6. Použitý stroj.....	31
7. Seznam nástrojů.....	32
8. Postup výroby .....	33
1.5 Soustružení v měkkém stavu .....	33
1.6 Rozměrová kontrola .....	42
1.7 Soustružení v tvrdém stavu.....	43
9. Rozměrová kontrola.....	47
10. Dosažená kvalita povrchu .....	47
1.8 Měření kvality povrchu na čele .....	48
1.9 Měření kvality povrchu profilu .....	49
1.10 Měření kvality povrchu díry.....	50
11. Závěr .....	51
12. Použitá literatura.....	52
13. Seznam obrázků.....	56
14. Seznam tabulek .....	56

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma „ Prototypová výroba tvrdým soustruženým“ jsem vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady, které jsou uvedené v seznamu citací.

V Praze dne: .....

Podpis autora: .....

**Poděkování:**

Rád bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Zdeňku Pitrmucovi, Ph.D. za jeho cenné rady a připomínky, za jeho ochotu, konzultace a odborné vedení při realizaci obrábění kalené oceli.



**Anotace:**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem postupu výroby kladky z kalené oceli tvrdým soustružením. Teoretická část obsahuje zásady tvrdého soustružení, požadavky kladené na stroje pro tvrdé soustružení a materiály, které jsou vhodné k obrábění tvrdých materiálů. Hlavní část práce se orientuje na správnou volbu nástrojů s vhodnou geometrií a řeznými podmínkami, za účelem dosažení přesných rozměrů, tolerancí a drsnosti povrchu.

**Klíčová slova:**

obrábění, tvrdé soustružení, strojní vybavení, tvrdé materiály, řezné materiály, kubický nitrid borů, upínání obrobků

**Abstract:**

This bachelor's thesis deals with the design of the production process of a hardened steel pulley by hard turning. The theoretical part contains the principles of hard turning, requirements for hard turning machines and materials that are suitable for machining hard materials. The main part of the work focuses on the correct choice of tools with suitable geometry and cutting conditions, in order to achieve exact dimensions, tolerances and surface roughness.

**Key words:**

machining, hard turning, machining, hard materials, cutting materials, cubic boron nitride, workpiece clamping



## 2. Úvod

S rozvojem techniky se zvýšili požadavky na materiály. V současné době jsou aplikace, kde není možné využít běžné materiály bez tepelného zpracování (např kalení), kvůli mechanickým vlastnostem (pevnost, tvrdost, cyklické únavě, otěruvzdornost, odolnost proti vzniku otláčenin, atd.). Pro tyto účely byly vyvinuty tvrdé materiály, které tyto vlastnosti splňují, ale bylo potřeba pro ně najít vhodnou metodu obrábění. S vývojem nových rezných materiálů jako je slinutý karbid, rezná keramika, ale hlavně kubický nitrid borů (CBN), je možné tyto materiály obrábět.

Mezi další požadavky, na které jsou kladeny nároky jsou na přesnost a ekologie se zaměřením na eliminace procesní kapaliny. Problémy s procesními kapalinami jsou v nákladech spojené s technologickým vybavením, pořízením a likvidací procesní kapaliny. Mezi současné trendy v eliminaci procesní kapaliny patří suché obrábění, pokud lze zajistit stejné, nebo lepší kvalitativní parametry výrobku a snížení výrobní nákladů nebo použitím kapaliny ekologického typu (rostlinné oleje)

Tvrdé soustružení je přesná metoda obrábění, která je náhradou za broušení. Tvrdé soustružení v porovnání s broušením není tak finančně nákladné. Obrábí se na stroji, jehož pořizovací cena není tak vysoká oproti brusce. Rozdíl ceny brusného kotouče a vyměnitelné břitové destičky (VBD) není tak veliký. Nevýhodou tvrdého soustružení je životnost nástroje. Zatímco u brusného kotouče je to několik stovek kusů, tak u VBD je to několik ploch.

Cílem práce je návrh technologického postupu výroby kalené součásti kladky, vhodně zvolit nástroje a rezné podmínky. Dále zjistit, zda jsme schopni tvrdým soustružením dosáhnout kvalitního povrchu. Práce se skládá ze dvou částí, a to rešeršní a praktické.

## 3. Soustružení kalených ocelí

Tvrdé soustružení je definováno jako obrábění tepelně zpracovaného materiálu (nejčastěji kaleného) s tvrdostí od 45 do 68 HRC nebo i vyšší na soustruhu nebo soustružnickým centrem. Tato metoda se stala náhradou za broušení, protože je v mnoha případech vhodnou volbou pro dané obrábění a dokončování. Tvrdým soustružením lze dosáhnout drsnosti povrchu  $R_{max}/R_z=1,6$  ( $R_a=0,1-0,2$ ). [1][2]

### 1.1 Porovnání tvrdého soustružení a broušení

Tvrdé soustružení se stalo technologií obrábění, které nahradilo broušení, ale není to alternativa pro všechny součástky, které se dokončují broušením (např. Leštěné zrcadlové povrchy ( $R_z=0,3\sim 0,8z$ ). Přesnosti, které jsou pro broušení standard, jsou pro tvrdé soustružení prostě dosažitelné až na tom horním limitu. Dále lze u broušení dosáhnout vyšší celkové kruhovosti a válcovitosti, ale tvrdé soustružení dokáže obrobit více ploch na jedno upnutí, kde je zachována soustředěnost a kolmost. [1][3]

Genově je tvrdé soustružení levnější než broušení. CNC soustružnická centra jsou levnější, spotřebují méně energie a mohou plnit nejrůznější funkce. Může být také zapotřebí několik typů brusek k provádění operací, které lze provádět na jediném soustružnickém centru, čím se ušetří další náklady na stroje. Další finanční výhodou je suché obrábění. Dochází k eliminaci nákladů spojené s nákupem procesní kapaliny a její likvidace. [1][3]

Tvrdým soustružením je možné dokončovat zaoblení a tvarově zakřivené plochy, kdežto u broušení je potřeba brusný kotouč orovnat do požadovaného tvaru. V rámci flexibility a produktivity obrábění je tvrdé soustružení lepší než broušení. Důvodem je možnost provést více operací s jediným nastavením, rychlejší výměna břitové destičky než brusného kotouče, vyšší úběr materiálu. [1][3][4]



## 1.2 Stroje pro tvrdé soustružení

### 1.2.1 Požadavky

Ne všechny soustruhy a soustružnická centra jsou vhodná pro tvrdé soustružení. Sice se soustružení ukazuje jako vhodná alternativa, ale je spojena s obtížemi,

které souvisejí s přesností rozměrovou a tvarovou. [2][4]

K zajištění geometrické přesnosti je potřeba zajistit minimální házení vřetene a zajistit jeho plynulý chod a zajistit plynulý chod pohonů posuvů. Rovněž je potřeba zajistit tuhost stroje pro potlačení vibrací. CNC stroj musí mít také nastavení, které dokáže splnit řezné podmínky a rychlostní požadavky řezných nástrojů a účinně odvádět nahromaděné teplo. [3][5]

Existují CNC soustružnická centra, které jsou schopny obrábět tvrdé a kalené materiály. U těchto strojů ale nedocílíme takové přesnosti a drsnosti povrchu. Pro vyšší nároky na přesnost a drsnost povrchu jsou přímo speciální stroje na tvrdé soustružení. Vyznačují se vysokou tuhostí při vyšších otáčkách s téměř nulovým chvěním. Jedná se o konstrukci s granitovou základnou stroje s integrovaným systémem tlumičů vibrací. [3][5][6]

Přesnost vyráběných součástek nejvíce ovlivňuje: [5]

- nepřesnost stroje – geometrická, kinematická, dynamická,
- tuhost technologické soustavy,
- nepřesnost nástroje především vlivem opotřebení,
- nepřesnost přípravků,
- vliv teplotních deformací nástroje, stroje a obrobku,
- nepřesnosti dané upínáním (především u tenkostěnných součástek)



## 1.2.2 Světový výrobci strojů

Mezi významné světové výrobce se širokou nabídkou obráběcích strojů pro tvrdé soustružení patří:

- Firma Hembrug Machine Tools
- Firma Hardinge Inc.
- Firma Schaublin machines sa
- Firma Hwacheon Machinery

### 1.2.2.1 Firma Hemburg

Hemburg je nizozemská firma se sídlem v Haarlemu. Zabývá se výrobou horizontálních a vertikálních soustruhů určených pro tvrdé soustružení. Tato společnost dále vyrábí hybridní stroje řady MikroTurnGrind. Jedná se o stroj, který umožňuje tvrdé soustružení a jemné broušení na jednom stroji. Stroje vyráběné touto firmou umožňují výrobcům obrábět obrobky v nejvyšší třídě přesnosti až do průměru 1500 mm s tvrdostí až do 70 HRC. Lze dosáhnout drsností povrchu o hodnotě  $R_a = 0,1$  až  $0,4 \mu\text{m}$ , tvarová přesnost mezi 0,0002 a 0,001 mm a rozměrová přesnost 0,002 mm nebo méně. [4][7]

### 1.2.2.2 Firma Hardinge Inc.

Americká firma Hardinge je předním světovým poskytovatelem vysoce přesných obráběcích strojů pro tvrdé a přesné obrábění. Firma je výrobcem strojů řady T-SERIES SUPER-PRECISION, která je charakteristická dynamickým vyvážením vřetene a hnacího motoru. Dále mají optimální lineární vedení sestavené z kluzných členů a lineárních kolejnic, které poskytují stabilní přesnost, vysokou tuhost a nízké tření [8]

### 1.2.2.3 Firma Schaublin machines sa

Schaublin machines sa je švýcarská firma se sídlící v oblasti Jura Arc. Pro tuto firmu je charakterizující vysoká přesnost, opakovatelnost, spolehlivost,



automatizace a efektivita. Nabízí stroje pro obrábění obrobků s tvrdostí do 65 HRC až do průměru 330 mm s dosažením  $Ra = 0,1$  až  $0,4 \mu\text{m}$ . [9]

#### 1.2.2.4 Firma Hwancheon Machinery

Hwancheon je jihokorejský výrobce obráběcích strojů pro tvrdé soustružení. Firma vyrábí a prodává vysoce robustní horizontální soustruhy řady Hi-TECH, vyznačující se vysokou pevností, plochým širokým těžkým ložem a výkonnými pohony. Na těchto strojích lze obrábět obrobky pro sklíčidla 200–812 mm s délkou až 5 m. [10]

### 1.3 Upínání obrobků a nástrojů na soustruhu

#### 1.3.1 Upínání obrobků

Pro obrábění je potřeba zajistit pevné a tuhé upnutí obrobku. Při otáčení obrobku a odebrání materiálu soustružnickým nožem působí síly, při kterých dochází ke kmitání a ohýbání obrobku, které vede ke snížení přesnosti a horší drsnosti povrchu. [11]

Způsob upínání se volí podle tvaru, velikosti a délky, tak aby upínací prostředky pevně držely obrobek, přenášeli kroutící moment a odolávaly silám při tvorbě třísky. [11]

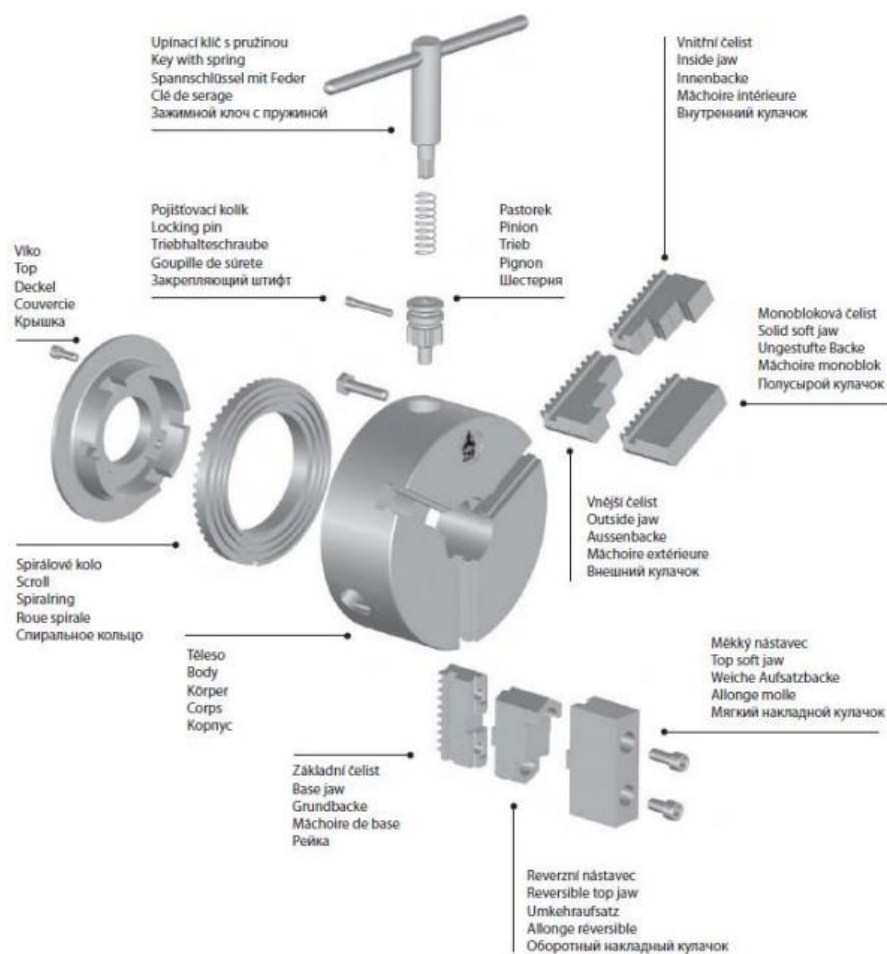
Požadavky kladené na upínání obrobků jsou: [12]

- Správná poloha obrobku vůči nástroji
- Jednoduchost upnutí
- Bezpečnost upnutí (dobře zajistit, aby se vlivem odstředivé síly neuvolnil)
- Rychlost upínání
- Minimální náklady na provedení upnutí
- Odolnost vůči vibracím
- Přesné upnutí
- Spolehlivý přenos krouticího momentu
- Životnost upínacího prostředku

## Univerzální sklíčidlo

Jedná se o nejčastěji využívaný upínací prostředek na soustruhu. Používá se pro upínání válcových menších součástí a delších součástí, s tím že u delší součásti musí být z druhé strany použit koník. Sklíčidla rozeznáváme podle počtu upínacích čelistí na tříčelist'ové, čtyřčelist'ové, šestičelist'ové a méně využívaná dvoučelist'ové a podle provedení na ruční a mechanická. U univerzálního sklíčidla lze upínat za vnější a vnitřní plochy obrobků. Upínají se obrobky, které jsou dostatečně tuhé, aby při sevření nedocházelo k deformaci. Vyložení vyčnívajícího konce obrobků u sklíčidla by nemělo přesáhnout pětinasobek průměru obrobků. V opačném případě je potřeba volný konec obrobku podepřít otočným hrotem koníku, jinak by docházelo k ohýbání obrobku, a to vede k nepřesnostem. [11][12]

Části, ze kterých se sklíčidlo skládá je vidět na obr.1



Obrázek 1: Skladba ručního univerzálního sklíčidla [13]

Pro univerzální sklíčidla existuje celá řada druhů čelistí, mezi které patří: [14]

- Základní čelisti
- Zakusovací (hrubovací) čelisti
- Stupňovité čelisti
- Měkké čelisti (univerzální mohou být protočeny na požadovaný upínací průměr)



Obrázek 2: Od levého horního rohu základní, zakusovací, stupňovité a měkké čelisti [14]



Obrázek 3: Univerzální tříčelistové sklíčidlo [15]



Nevýhodou sklíčidla je upínání obrobků s hrubý povrchem nepřesného kruhového průřezu. Při upnutí např u čtyřčelistového sklíčidla dojde k tomu, že obrobek je upnut jen za dvě čelisti a zbylé dvě čelisti na obrobek nedosedají. V takovém to případě dochází k nepřesnostem dokonce i k možnosti uvolnění obrobků ze sklíčidla. [16]

### **Soustružnické trny**

Delší obrobky, u kterých je potřeba aby byla díra vůči plášti obrobku centrická se upínají na soustružnické trny. Na rozdíl od sklíčidla není omezen rozměry obrobků ani požadovanou přesností na sousost otvorů obráběných ploch. Lze na nich upínat obrobky různého tvaru. [12][16]

Dělíme je na :

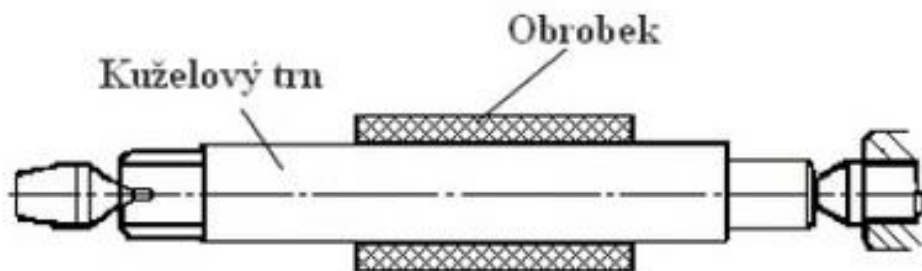
- Pevný trn
- Rozpínací trn

Pevný trn se používají pro obrobky s přesně obrobenou dírou, kde průměr trnu souhlasí s průměrem díry. Na trn se nasadí obrobek spolu s trnem se na soustruh upne mezi hroty nebo v kuželové dutině vřetena soustruhu. [12][17]

Pevné trny dělíme e dělí podle tvaru upínací části: [16]

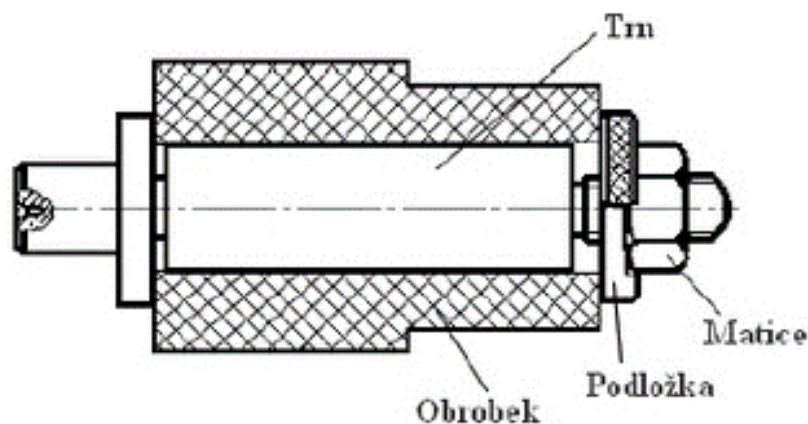
- Kuželové
- Válcové
- Závitové
- Speciální

U kuželových trnu lze upínat za díry s různou tolerancí. Nevýhodou je, že nedochází k dosednutí čela obrobku na trn. To vlivem sil při obrábění vede k nepřesnostem, způsobené odchýlením obrobku od trnu. [16]



Obrázek 4:Kůželový trn [16]

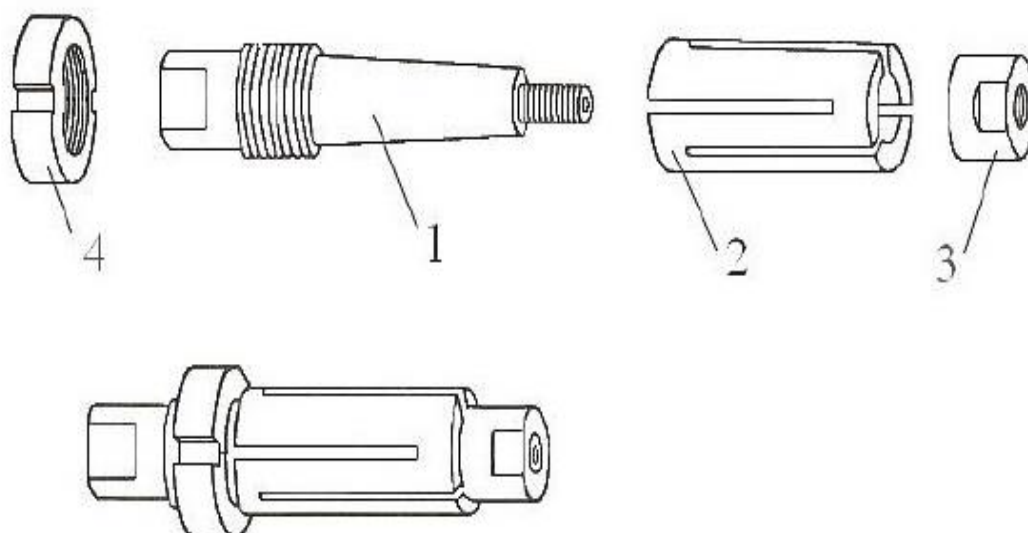
Na válcovém trn se obrobky nasouvají a díky válcovitosti se i středí. Před upnutím je podmínkou předběžně obrobit čelo.



Obrázek 5:Válcový trn [15]

Rozpínací trn se kláda z kůželového trnu, kterém je nasazeno pouzdro s kruhovou maticí s jemným závitem. Pouzdro je válcovité s vnitřním kuželem z obou stran naříznuté třemi drážkami. To umožňuje lepší rozpínání. Upnutí je stejné jako pevných trnů. [12][16]

Obrobek se nasune na pouzdro (2) a společně se nasune na kůželovou část trn (1). Utáhnutím matice (3) docílíme posouvání pouzdra po kůželové části trnu, čím pouzdro zvětší svůj průměr a dojde k upnutí. V případě uvolnění otáčíme maticí (4). Následně se trn s obrobkem upne na soustruhu mezi hroty. [12][16]



Obrázek 6: Rozpínací trn [16]

### Kleštiny

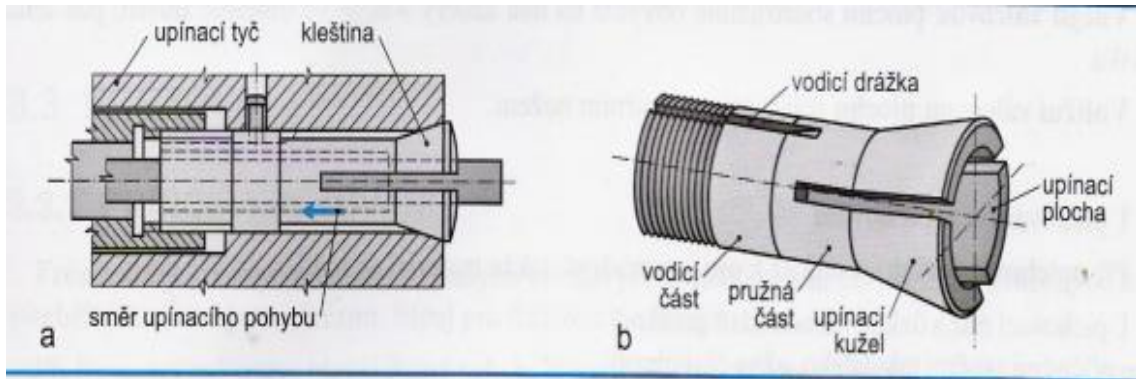
Upínací zařízení pro upínání válcových obrobků menších průměrů s kvalitním hlazeným povrchem. Obrobek se do kleštiny upíná za vnější průměr, kde se otvor přizpůsobí tvaru obrobku, čím není potřeba kleštinu více rozevírat a její sevření je snadnější a rychlejší. Princip kleštin je opačný oproti rozpínacím trnům, kde u trnu se upíná za díru. [11][16]

Vnější tvar kleštiny je kužel, který je několikrát naříznutý. Obrobek se vsune do otvoru kleštiny a poté je vtahován do kuželové dutiny. K dotahování dochází, buď ručně na univerzálních strojích pomocí šroubu anebo na automatických a poloautomatických strojích je kleština zatahována pneumaticky nebo hydraulicky. Při upínání nedosedá celá kleština na plochu obrobku proto, aby nebylo potřeba vynaložit velké posouvající a upínací síly. [16][18]

Výhodou této kleštiny je, že nepoškozuje obrobený povrch obrobku při upínání. Při upínání, čím bude vůle mezi obrobkem a vnějším průměrem kleštiny menší, tím lépe upíná. Takové to upnutí zaručuje souosost. Mezi další výhody patří možnost upínat tenkostěnné obrobky, protože je kontakt kleštiny s obrobkem je po celém obvodu, tudíž nedochází k deformaci tvaru na rozdíl od sklíčidla.



Nevýhodou této metody je, že nelze upínat obrobky větších průměrů. Obrobky s větším poměrem délky k průměru je potřeba podepřít např. unášecím srdcem nebo lunetou, aby nedocházelo při obrábění k průhybu obrobku s následkem zhoršení přesnosti a tvaru. [16][18]



Obrázek 7: Upínací kleština, a-upínací mechanismus, b-kleština [19]

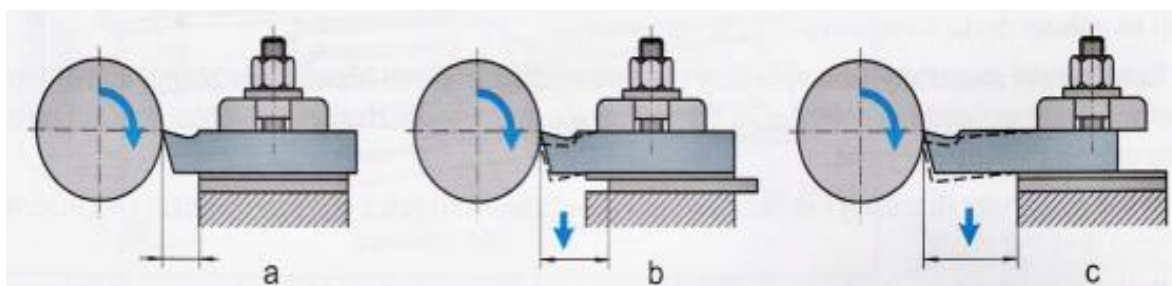
### 1.3.2 Upínání nástrojů

Při tvorbě třísky nůž působí na obrobek řeznou silou  $F$ , mající obecný směr v prostoru. Obrobek působí stejnou silou opačného směru na nástroj. Tuto sílu je potřeba pomocí upínacích přípravků přenést na soustruh, jinak dochází k ohýbaní nástroje. [12]

Požadavky na upínání nástrojů jsou: [20]

- Jednoduchost upnutí
- Dostatečná tuhost upnutí
- Bezpečnost upnutí
- Minimální náklady na provedení upnutí
- Rychlost výměny nástroje
- Soustřednost a vyváženost rotujících částí
- Přesnost upínání
- Životnost upínacího prostředku

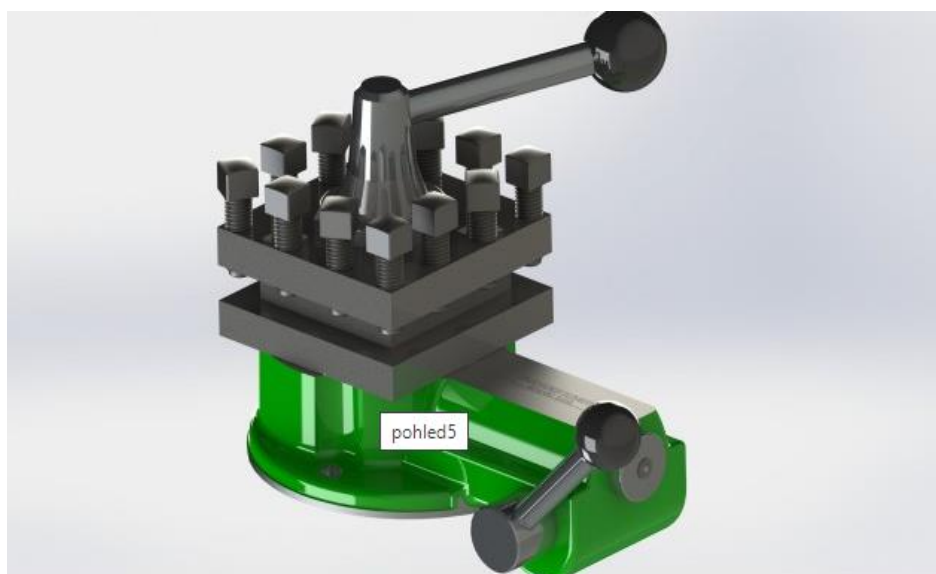
Upnutí nástroje musí být spolehlivé, s co možná nejmenším vyložením nástroje. Při delším vyložení vzniká dlouhá páka, která zapříčiní vibrace nástroje, horší drsnost povrchu, a dokonce se nůž může zlomit. Správně by to mělo být max. 1,5 výšky nože. Důležité je při upínání výškové nastavení nástroje. Špička nástroje má být ve stejné výšce jako osa obrobku. Pokud by byla špička pod osou obrobku, nedojde k obrobení na požadovaný průměr. V případě upnutí nad osou hrozí k ulomení špičky ostří. [12][20][19]



Obrázek 8: Vyložení nože, kde a je správné, b, c je špatné [19]

### Nožová hlava

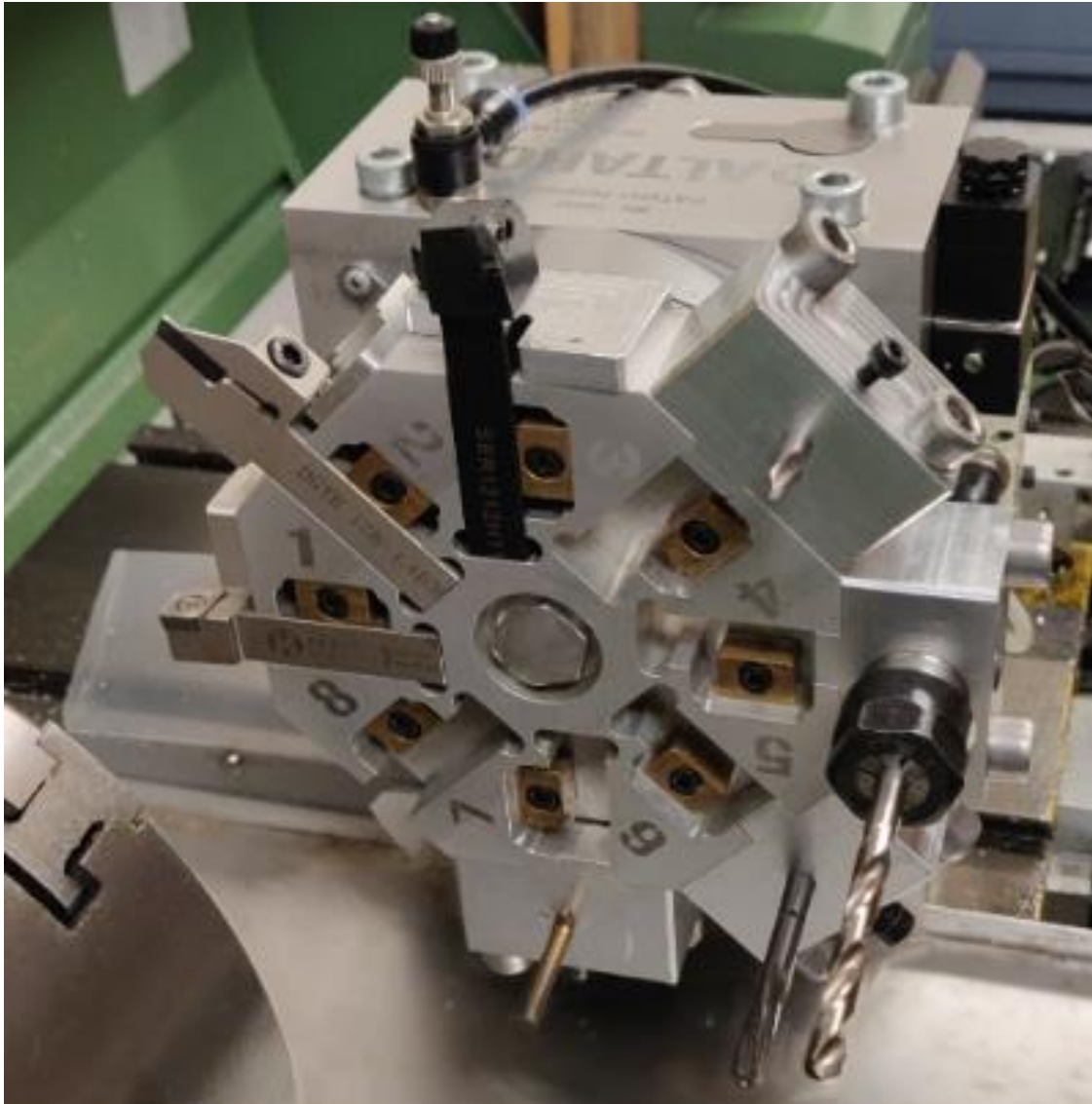
Na univerzálních soustruhách se nástroje upínají do otočné nožové hlavy, do které lze upnout až 4 nože najednou. Více upnutých nástrojů zkracuje dobu pro jejich výměnu. Upnutí se provádí pomocí šroubů (min. dvěma), které ho přitlačí ke spodní hraně. V případě potřeby se změna výškového nastavení nože provádí podložením nože ocelovými pásky různých výšek. [12][20][21]



Obrázek 9: Nožová hlava [22]

## Revolverová hlava

Revolverová hlava se používá k upínání nástrojů na revolverových, automatických a svislých soustruzích. Narozdíl od nožové hlavy lze do revolverové hlavy upnout více nástrojů nejen pro soustružení, ale i poháněné nástroje pro vrtání, obrábění závitu atd. Velký počet nástrojů umožňuje výrobu velmi složitých součástek s možností obrobení obrobku na jedno upnutí. [11][20]



Obrázek 10: Revolverová hlava [23]

## 1.4 Nástroje

### 1.4.1 Skupiny obráběných materiálů dle ISO

Existuje celá škála obráběných materiálů se specifickými vlastnostmi, které jsou ovlivněné např. tepelným zpracováním, legujícími prvky, tvrdostí atd. S přihlédnutím na tyto vlastnosti je potřeba zvolit správnou geometrii nástroje a vhodné řezné podmínky. Pro zjednodušení této volby, v souladu s ISO, byly materiály rozděleny do šesti skupin se specifickými vlastnostmi z hlediska obrábění:

- ISO P (značí se modrou barvou) – Oceli představují největší skupinu materiálů od nelegovaných až po vysokolegované materiály, včetně ocelí na odlitky a feritických a martenzitických korozivzdorných ocelí.
- ISO M (značené žlutou barvou) – skupina určená k obrábění korozivzdorných materiálů s obsahem minimálně 12 % chromu
- ISO K (značená červenou barvou) – skupina pro obrábění litin
- ISO N (značené zelenou barvou) – do této skupiny patří neželezné kovy
- ISO S (značené hnědou barvou) – do této skupiny patří žáruvzdorné slitiny a titan
- ISO H (značené šedou barvou) – skupina kalených a vysoce tvrdých ocelí s tvrdostí v rozmezí 45–65 HRC a tvrzených a kalených litin s tvrdostí přibližně 400–600 HB [24]



Obrázek 11: Skupiny obráběných materiálů [24]



V rámci tvrdého soustružení se dále budu zabývat pouze skupinami ISO S a ISO H.

### **1.4.1.1 Klasifikace obráběných materiálů dle ISO S**

Do této skupiny řadíme žáruvzdorné materiály označené HRSA (heat resistant super alloys) a titan. Vyznačují velkou pevností a tvrdostí za tepla. Používají se v leteckém a kosmickém průmyslu. [24]

#### **Žáruvzdorné slitiny (HRSA)**

Jsou to slitiny s vysokou korozní odolností, které si uchovávají svou tvrdost a pevnost za vysokých teplot. Používají se do teploty 1000°C. Pro zvýšení pevnosti se precipitačně vytvrzují procesem stárnutí. . Dělí se do tří skupin:

- Niklové slitiny
- Kobaltové slitiny
- Slitiny na bázi železa. [24][25]

#### **Niklové slitiny**

Niklové slitiny jsou nejpoužívanější HRSA slitiny. Mezi niklové slitiny patří například: Inconel 718, Nimonic 80A, 706 Waspalloy, používané v leteckém průmyslu, např. tvoří víc jak 50% hmotnosti leteckého motor. [24][25]

#### **Slitiny na bázi železa**

Ze žárupevných slitin mají nejnižší pevnost za tepla. Hlavním prvkem této slitiny je železo s dalšími prvky jako jsou Cr a Ni. Do této skupiny spadají např. Inconel 909 Greek Ascolloy a A286. [24][25]

#### **Kobaltové slitiny**

Mezi hlavní prvky této slitiny patří Ni, W, Cr. Ze žáruvzdorných slitin mají nejlepší technické vlastnosti za tepla a nejvyšší korozní odolnost. Nejvíce jsou využívány pro medicínské účely. [24][25]

## Obrobitelnost HRSA materiálů

Zvýše uvedených slitin se obrobitelnost zhoršuje v pořadí: slitiny na bázi železa, niklové slitin a kobaltové slitiny. Při obrábění dochází k tvorbě článkovité třísky s následkem vzniku značně velkých dynamických řezných sil. Dalším problémem HRSA je špatná vodivost tepla, ke kterému nepřispívá ani článkovitá tříška. Vysoká pevnost, adheze a deformační zpevňování jsou příčinou vzniku opotřebení ve tvaru vrubu na úrovni maximální hloubky řezu. Následek je kratší životnost nástroje. [24][25]

K zajištění odolnosti břitu proti plastické deformaci, je vhodné použít břitové destičky s velkým úhlem nastavení (kruhového destičky) s pozitivní geometrií. Pro soustružení lze v závislosti na aplikaci použít keramické nástrojové třídy.[24]

## Titan

Titan je lehký kov s vysokou teplotou tání (1660 °C). Vyznačuje se vysokou pevností, výbornou odolností proti korozi a vlastnostmi při vysokých teplotách asi do 550 °C. Titan a jeho slitiny se klasifikují jako obtížně obrobitelné materiály. Výskytu je se v půdě, ale jeho těžba je obtížná stejně jako jeho zpracování. Proto je to drahý materiál. Nejběžnější slitinou titanu je Ti6Al4V, která představuje přibližně 60 % aplikací titanu. Vysoký poměr pevnosti vůči hmotnosti s vynikající korozní odolnost a nízkou hustotou umožňuje konstrukci tenkostěnných součástek. Všeobecně se titan a jeho slitiny používají v leteckém průmyslu jako součásti tryskových motorů, podvozků a konstrukční části letounů. Dále se využívá v potravinářském, biomedicínském (implantáty, náhrady) a chemickém průmyslu. [26][27]

Slitiny titanu lze rozdělit do čtyř skupin v závislosti na jejich struktuře a přítomnosti jednotlivých slitinových prvků na:

- Neupravený, komerčně čistý titan
- Slitiny alfa – středně pevné, svařitelné, odolné proti oxidaci a tečení. Přísadami jsou Al, O nebo N
- Slitiny beta – používají se při vysokých teplotách pro kompresorovou sekci proudového motoru. Přísadami jsou Mo, Fe, V, Cr a/nebo Mn

- Smíšené slitiny  $\alpha+\beta$  obsahující směs obou uvedených druhů. Pro zvýšení pevnosti mohou být tepelně zpracovány a kaleny. [24][27]

### **Obrobitelnost titanu**

Obrobitelnost titanu, ve srovnání s HRSA slitinami, je velmi špatné. Na nástroje jsou kladeny zvláštní nároky. Problémem je vznik podstatně velkých řezných sil v kombinaci s vysokými teplotami. Tyto následky jsou způsobené špatnou tepelnou vodivostí a tím, že si zachovává pevnost za vysokých teplot. Při obrábění titanu může dojít při vysokých teplotách k poškození či úplnému zničení břitové destičky, způsobené chemickou reakcí mezi třískou a materiálem nástroje. [26][28]

Nástroj, určený pro obrábění titanu a jeho slitin, by měl mít náležitou tvrdost za tepla, nízký obsah kobaltu, neměl by reagovat s titanem a musí mít dobrou houževnatost břitu. Geometrie nástroje musí být pozitivní. Jako materiál se používá nepovlakovaný slinutý karbid. Tento materiál zachová ostrou řeznou hranu, která je velmi potřeba při obrábění titanu. V případě potřeby snížení prostupu tepla do nástroje se doporučuje povlakování metodou PVD (Physical Vapour Deposition). Tato metoda oproti metodě CVD (Chemical Vapour Deposition) zanechává ostřejší hranu.

#### **1.4.1.2 Klasifikace obráběných materiálů dle ISO H**

Je to skupina kalených a popouštěných ocelí s tvrdostí od 45 HRC do 68 HRC, s tím že se nejčastěji soustruží tvrzené součástky s tvrdostí od 55 HRC do 68 HRC. Mezi nejběžnější tvrzené materiály patří:

- Cementované oceli – tvrdost 60 HRC
- Oceli pro kuličková ložiska – tvrdost 60 HRC
- Nástrojové oceli – tvrdost 68 HRC
- Bílá litina – tvrdost 50 HRC
- Konstrukční oceli – tvrdost 40–45 HRC
- Manganové oceli

Typickými součástkami z těchto ocelí jsou: hřídele, skříně převodovek, pastorky řízení, lisovadla a další.[24]



## Obrobitelnost tvrzených ocelí

Obrábění tvrzených ocelí je obtížné. Při obrábění vnikají velké řezné síly a požadavky na výkon stroje jsou vysoké. U tvrzených ocelí se nejčastěji provádí dokončovací operace. Při volbě nástroje musíme dbát na to, aby nástroj měl odolnost proti plastické deformaci (tvrdost za tepla), měl chemickou stabilitu za vysokých teplot, mechanickou pevnost a odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Nejvhodnějším a nejčastěji používaným řezným materiálem, který splňuje všechny tyto vlastnosti, je kubický nitrid borů (CBN). Je to po diamantu druhý nejtvrdší řezný materiál. Tímto materiálem jsme schopni docílit vysoké jakosti obrobené ploch. Lze tím nahradit broušení. Dále lze jako řezný materiál použít řeznou keramiku. [24]

### 1.4.2 Přehled a charakteristika řezných materiálů

Pro nástroje s definovanou geometrií břitu se používá následující rozdělení:

- Nástrojové oceli (NO)
- Slinuté karbidy (SK)
- Cermety
- Řezná keramika (ŘK)
  - Kubický nitrid boru (CBN)
  - Diamant (PCD) [29]

Z vyjmenovaných nástrojových materiálů nás bude v rámci tvrdého soustružení zajímat řezná keramika, CBN a PCD.

#### Řezná keramika

Jedná se o nekovové anorganické materiály s vysokou tvrdostí za tepla, výbornou chemickou stabilitou, nízkou afinitou ke kovům, vysokou tvrdostí (75-85 HRC) a odolností proti opotřebení. Nevýhodami řezné keramiky je nízká odolnost proti teplotním šokům, malá lomová houževnatost a křehkost. Vyrábí se práškovou metalurgií. Hlavními složkami řezné keramiky jsou oxidy  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ , karbidy TiC, TiN a nitrid  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Podle těchto materiálů dělíme řeznou keramiku na: [30][31]



- Oxidická keramika
- Smíšená keramika
- Nitridová keramika
- Keramika vyztužená whiskery
- Sialon (SiAlON)

### **Oxidická keramika**

Hlavní složkou je oxid hlinitý ( $Al_2O_3$ ) doplněného o oxid zirkonu ( $ZrO_2$ ). Ten má schopnost bránit vzniku a šíření trhlin. Nevýhodou této keramiky je nízká odolnost proti tepelným šokům. [30]

### **Smíšená keramika**

Smíšená keramika je oxidická keramika, která obsahuje navíc TiC nebo TiN. Účelem těchto karbidů je zvýšení houževnatosti a zlepšení tepelné vodivosti. [30]

### **Nitridová keramika**

Jedná se o keramiku na bázi nitridu křemíku ( $Si_3N_4$ ). Díky podlouhlému tvaru krystalů má vysokou houževnatost. Je vhodná pro obrábění šedé litiny. [30]

### **Keramika vyztužená whiskery**

Keramika obsahující whiskery karbidu křemíku ( $SiC_w$ ). Ten má za následek razantní nárůst houževnatost s možností použít řeznou kapalinu. Nejlépe se hodí pro obrábění niklových slitin. [30]

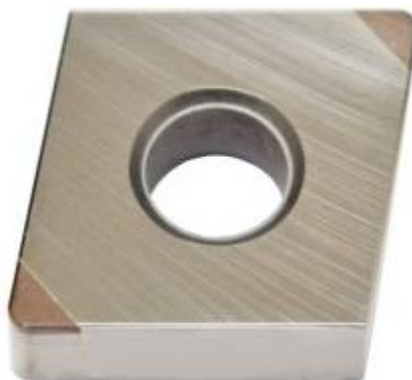
### **Sialon**

Jde o nejodolnější materiál ideální pro obrábění žárovzdorných slitin (HRSA). Keramika kombinuje kombinují pevnost samovyztužitelné sítě z nitridu křemíku a vysokou chemickou stabilitu. [30]

### **Kubický nitrid borů**

Jedná se o nejvhodnější a nejvíce používaný řezný materiál pro tvrdé soustružení. Po diamantu je to nejtvrdší materiál. Díky vysoké tvrdosti za tepla, lze tento materiál použít při vysokých řezných rychlostech. Vyznačuje se také velmi dobrou houževnatostí a odolností proti tepelným rázům, velkou odolnost proti

abrazivnímu opotřebení a chemickou stálostí. CBN se dělí do dvou skupin. První skupinou jsou keramické kompozitní materiály, které obsahují CBN 40–65 %. Keramické pojivo zvyšuje odolnost CBN. Druhá skupina obsahuje 85–100 % CBN. Ty mohou obsahovat kovové pojivo zvyšující jejich houževnatost. Vhodná řezná rychlost vhodná pro CBN je do 400 m/min. Při vyšších rychlostech dochází k rychlému opotřebení řezné hrany. CBN lze obrábět materiály s tvrdostí 50–68 HRC. Při obrábění materiálu s nižší tvrdostí dochází ke snížení trvanlivosti nástroje. Z CBN se nevyrábějí celá VBD, ale pouze se na hrot VBD ze slinutého karbidu připájí CBN. [2][30][32]



Obrázek 12: Vyměnitelná břitová CBN destička [33]

### **Polykrystalický diamant**

Nejtvrdším materiálem na světě je diamant. Polykrystalický diamant je syntetický kompozitní materiál. Diamantové částice jsou slinuty dohromady pomocí kovového pojiva. Je mimořádně tvrdý a odolává vysokému abrazivnímu opotřeben. Navzdory těmto vlastnostem má i své nevýhody. Teploty v oblasti řezání nesmí překročit 600C. Pro svou afinitu k železu není PCD použitelný k obrábění železných materiálů. Z polykrystalického diamantu se nevyrábí celá VBD, ale zase se pájí na hrot VBD ze slinutého karbidu. [30][34]

### 1.4.3 Významní světový výrobci řezných nástrojů

Na světě existuje celá řada firem, která se zabývá výrobou řezných nástrojů. Ne všechny firmy se zabývají výrobou nástrojů pro tvrdé soustružení. Mezi nejvýznamnější firmy, které mají zastoupení v České republice, patří:

- Ceratizit
- Iscar
- Dormer Pramet
- Sandvik Coromant
- Seco Tools
- Hoffmann Group - Garant

#### 1.4.3.1 Ceratizit

Společnost Ceratizit byla založená v roce 2002 spojením dvou velkých firem CERAMETAL a Plansee Tizit. Tímto sloučením vznikla globální výrobce řezných nástrojů dodávající nástroje po celém světě. Ceratizit si nechal patentovat povlak CVD-TiB2 CERATIZIT, který má více než 4 500 Vickersů a je druhým nejtvrdším povlakem hned po diamantovém povlaků. Firma Ceratizit, se sídlem v Mameru v Lucembursku, má celkem 30 výrobních míst s 7 000 zaměstnanci po celém světě. [35]

#### 1.4.3.2 Iscar

Společnost Iscar byla založená v roce 1952 ve městě Nahariya v Izraeli založená manželským párem Stefem Wertheimerem a Miriam Wertheimerovou. Jednalo se o malou rodinou firmu, která postupně vyrostla v jednu z největších výrobců řezných nástrojů. Jak společnost rostla ,tak se i rozšiřovala a přemístila se do západní Galileji v Izraeli. Od založení má Iscar v současné době s více než 130 dceřinými společnostmi, sídlícími ve více než 60 zemích. [36]

### 1.4.3.3 Dormet Pramet

Společnost Dormet Pramet je předním světovým dodavatelem výrobků pro obrábění kovů a souvisejících služeb. Vznikla sloučením dvou společností, a to Dormer Tools se sídlem v Sheffieldu v Anglii se Společností Pramet Tools založena v Šumperku. Do palety společnosti spadají monolitní a destičkové nástroje, kterými lze vyrábět otvory, frézovat, soustružit atd. a VBD Společnost zaměstnává přes 1 500 lidí po celém světě a máme více než 20 obchodních zastoupení fungujících ve více než 100 zemích. [37]

### 1.4.3.4 Sandvik Coromant

Švédská společnost založená v roce 1942 ve švédském Sandvikenu. Malá továrna, která s postupem času rostla až se stala světovým výrobcem, působící v průmyslové výrobě. Od roku 1997 zprostředkovává výkup použitých břitových destiček a jejich následnou recyklaci. Společnost má zastoupení ve více než 150 zemích s více jak 8 000 zaměstnanci.[38][39]

### 1.4.3.5 Seco Tools

Kořeny Společnosti Seco Tools sahají do roku 1873, kdy byla založena společnost Fagersta Bruks AB ve švédském městě Fagersta. Jednalo se o společnost, která vyráběla ocelové dráty a trubky, hlavně pušek a pružiny pro železniční vozy. Až v roce 1932 uvedla nový produkt s názvem „Seco“ (latinsky „řežu“). Jako nezávislá společnost byla v roce 1974 založena Seco Tools AB, která se zabývala produkty pro obrábění kovů. V současnosti je společnost předním světovým expertem v oblasti kompletních řešení pro operace frézování, soustružení, obrábění otvorů a závitování. Společnost Seco Tools má v současnosti tým čítající téměř 4 100 členů ve více než 75 zemí světa. [40][41]

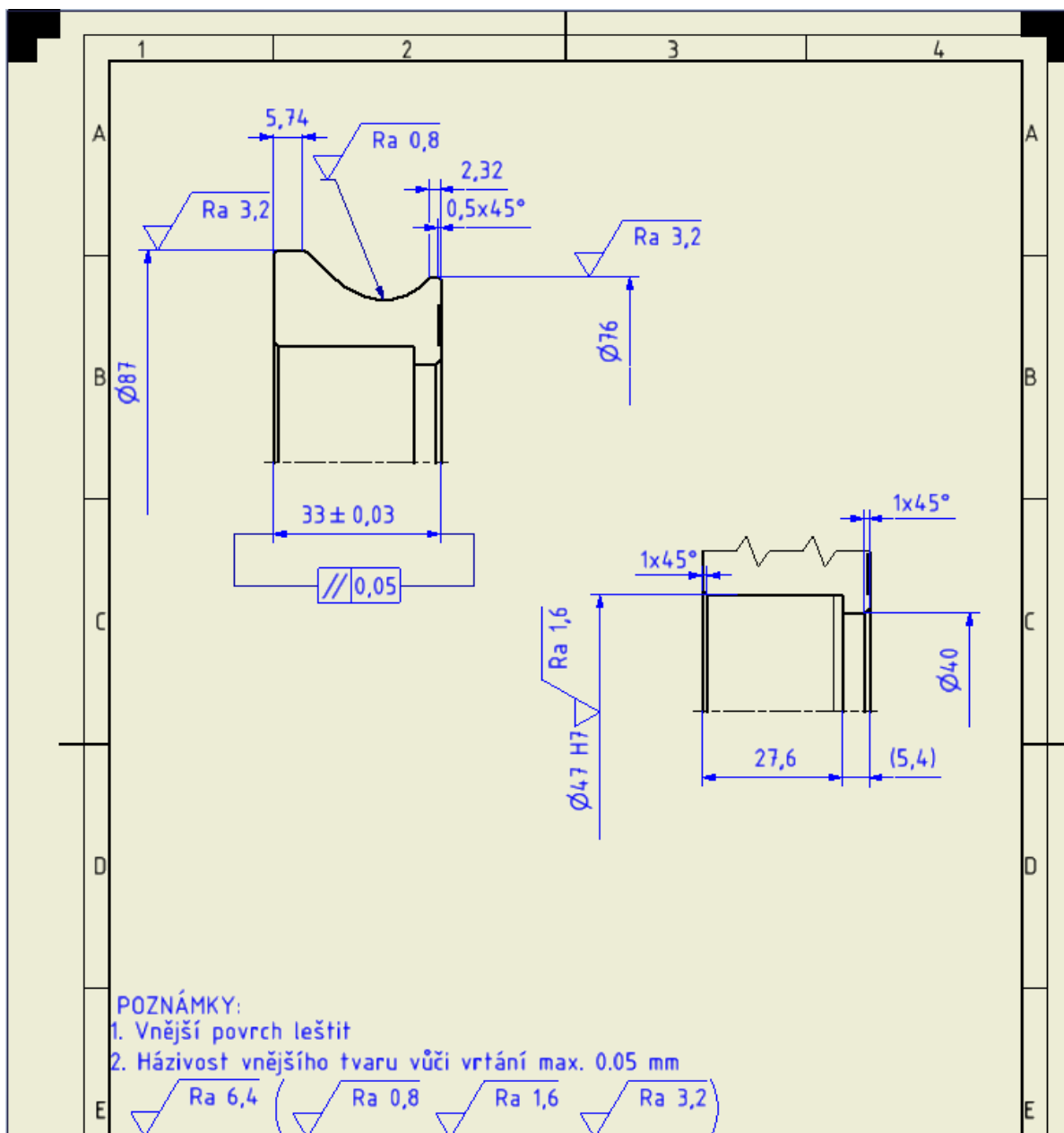
### 1.4.3.6 Hoffman group-Garant

V roce 1919 založil tuto firmu Josef Hoffmann. Ze začátku se specializovali na prodej svářecích zařízení, příslušenství pro automobily, náhradních dílů a

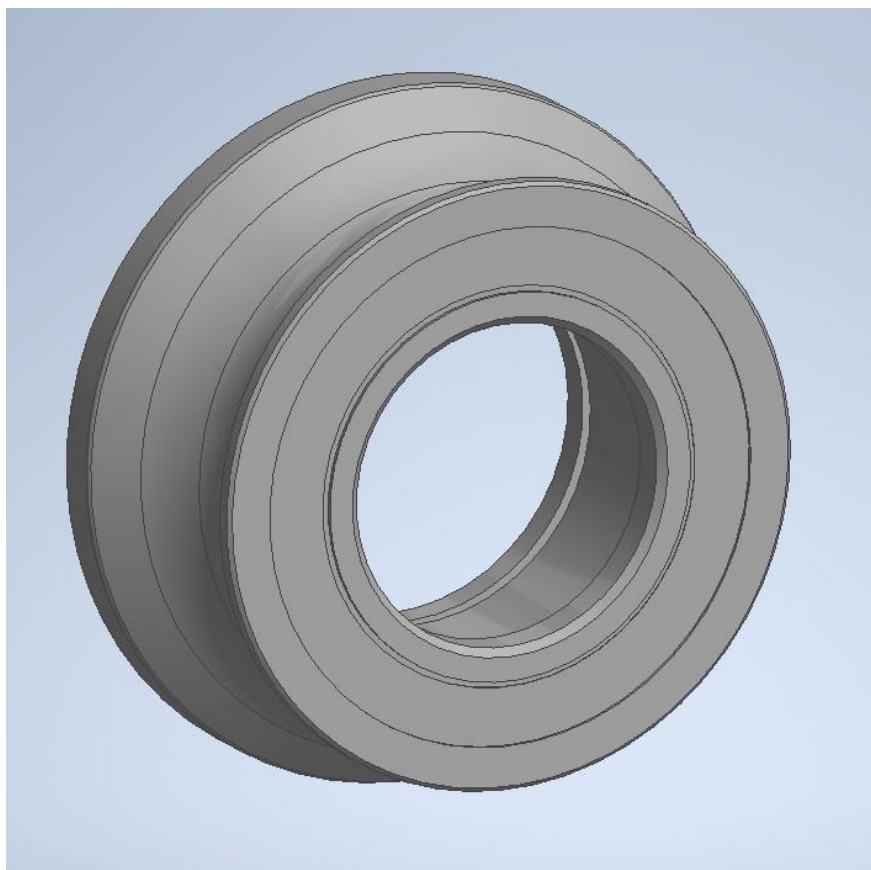
technických výrobků. K rozšíření sortimentu o nástroje a malé stroje roce došlo po roce 1930. Sídlem této firmy od roku 1972 je Mnichov v Německu. Společnost disponuje více než 2 700 zaměstnanci ve více jak 520 zemí světa. [42][43]

## 4. Zadaná součástka

Jedná se o kladku.



Obrázek 13:Výkres kladky

*Obrázek 14: Model součásti*

## 5. Polotovar

Jedná se o polotovar z nástrojové oceli 19 221 o rozměrech 100-34. Jde o vysoce uhlíkovou ocel, jejíž obsah uhlíku se pohybuje někde mezi 0,6 % a 1,7 %. Vyznačuje se se dobrou obrobitelností, tvrdostí, pevností a odolností proti opotřebení. Díky nízké prokalitelnosti dochází k zakalení povrchové vrstvy a ponechání jádra v houževnatém stavu.

*Tabulka 1: Složení nástrojové oceli 19 221*

Označení ČSN	C	Si	Mn	Cr	Mo
19 221	1,6	0,3	0,3	12	0,7

## 6. Použitý stroj

Obrábění v měkkém stavu a v tvrdém stavu probíhali na soustružnickém centru Okuma model Genos L200E-M. Zařízení je vybaveno třemi řídicími osami X, Y, Z a dalšími dvěma umožňující radiální a axiální vrtání anebo frézování. Na stroji je možné obrábět součástky do maximálního průměru 200 mm a délky 380 mm, s otáčkami až 4500 ot./min. Nástroj je vybaven revolverovou hlavou, do které se vejde až 12 nástrojů. [44]



Obrázek 15: Stroj Okuma Genos L200E-M



## 7. Seznam nástrojů

Tabulka 2: Seznam použitých nástrojů

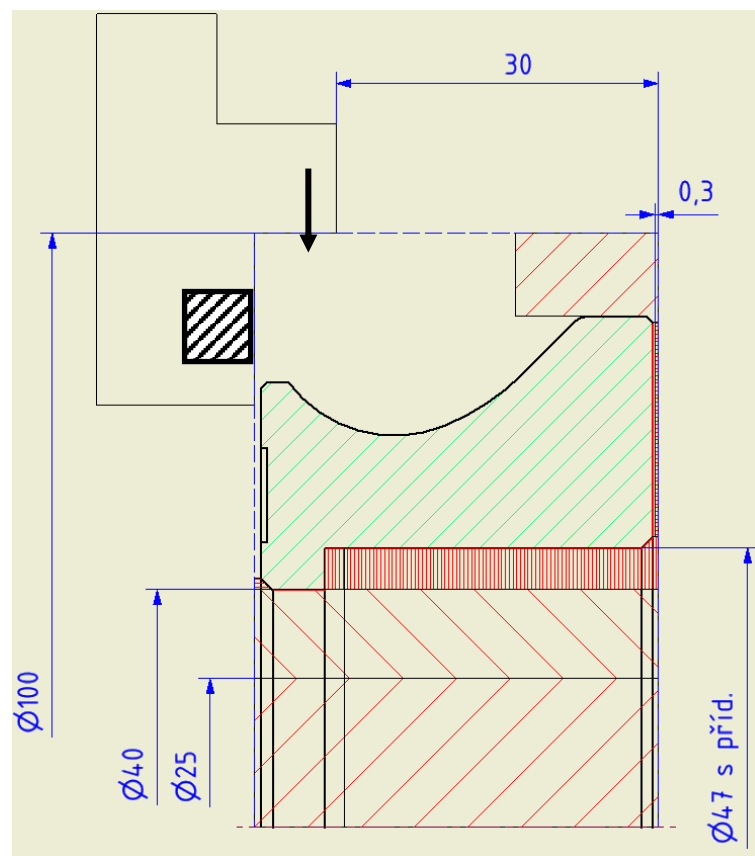
Číslo nástroje	Držák nástroje	Označení VBD	$v_c$ [m/min]	$f_{ot}$ [mm/ot]	$a_p$ [mm]
T1	PDJNR-2020-K15	DNMG150604	130	0,12	1
T2	A16Q-SCLCR 09	CCMT09T304	120	0,1	1
T4	DRILL 803 D25 VBD		70	0,1	1
T6	SDNCN-2020-K-M-A	DCMT11T304	130	0,07	0,3
T9	A20Q-SVUNR-12	VNMG11T308	150	0,1	0,5
T10	SVJCR-2020-K16	VCMT160404	150	0,1	1
T11	SVVB(C)N 2020 K 11	VCMT160408	140	0,08	1,2
T12	MWLN2020K08-N-43	WNMG060408	120	0,1	1
T2	A16Q-SCLCR 09	CCGW09T304	120	0,1	0,1
T6	PCLNR 2020 K 12	CNMA120404	250	0,06	0,1
T10	SVVB(C)N 2020 K 11	VBGW160408	110	0,05	0,1



## 8. Postup výroby

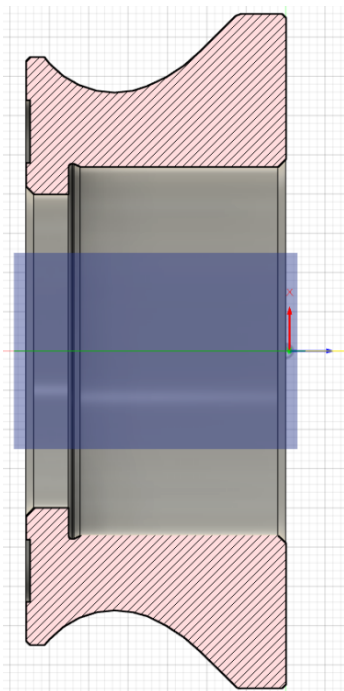
### 1.5 Soustružení v měkkém stavu

V měkkém stavu se to obrábělo celkem na dvě upnutí. První upnutí bylo do tvrdých čelistí za  $\varnothing 100$  (viz obr. 16) na doraz, čímž se docílilo přesného a tuhého upnutí. Před upnutím je potřeba nejprve ofouknout a očistit čelisti od nečistot a špon. Čelisti foukávám a čistíme proto, aby nám tam až se upne polotovar, nečistoty a špony neděly potíže v rozměrech a házení. Poté pomocí nástrojové sondy (oka) se provede korekce nástrojů. Jedná se o sondu ve formě ramene, která má na svém konci čidlo ve tvaru čtvercové destičky. Tohoto čidla se nástroj postupně dotýká z příslušných stran dle směru nástroje.



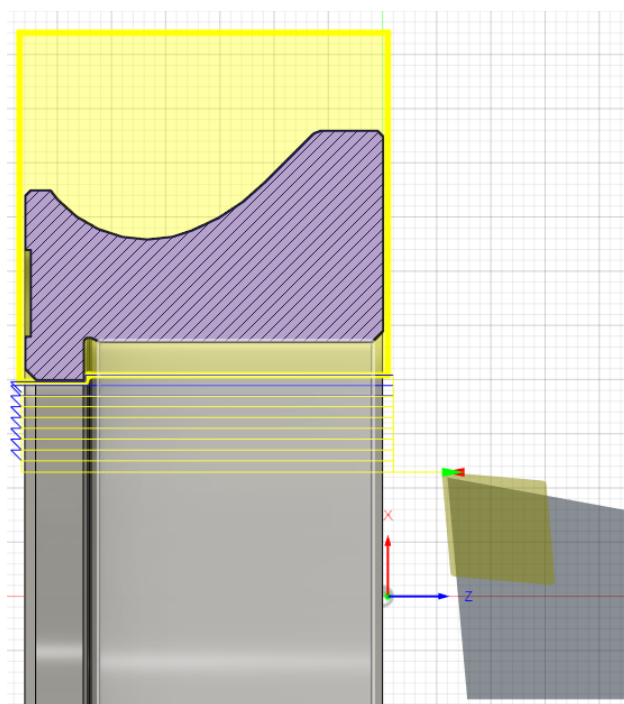
Obrázek 16: Výkres odebraného materiálu pro první upnutí v měkkém stavu

Jako první se vyvrtá otvor  $\varnothing 25$  mm. K vrtání se použil nástroj DRILL 803 D25 VBD.



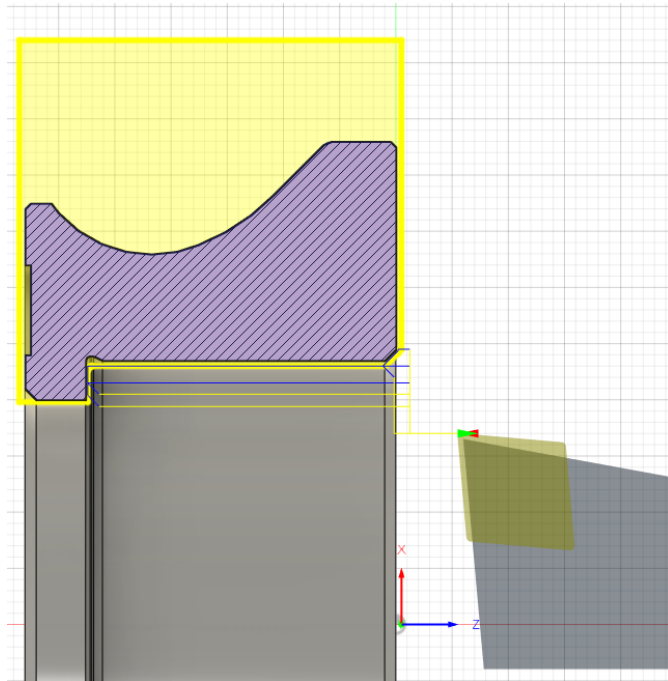
Obrázek 17: Operace vrtání

Následně vnitřní nožem A16Q-SCLCR 09 s destičkou CCMT 09T304 se vyhrubuje díra na  $\varnothing 40$  mm s přídávkem 0,2 mm.



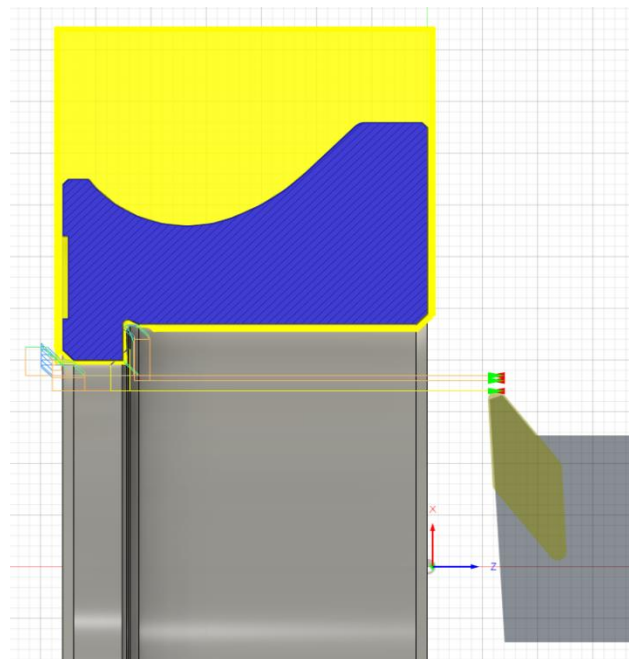
Obrázek 18: Hrubovací operace č.1

Poté stejným nožem a VBD se díra vyhrubuje na  $\varnothing 47$  s přídávkem 0,5 mm v X a 0,2 v Z plus sražení.



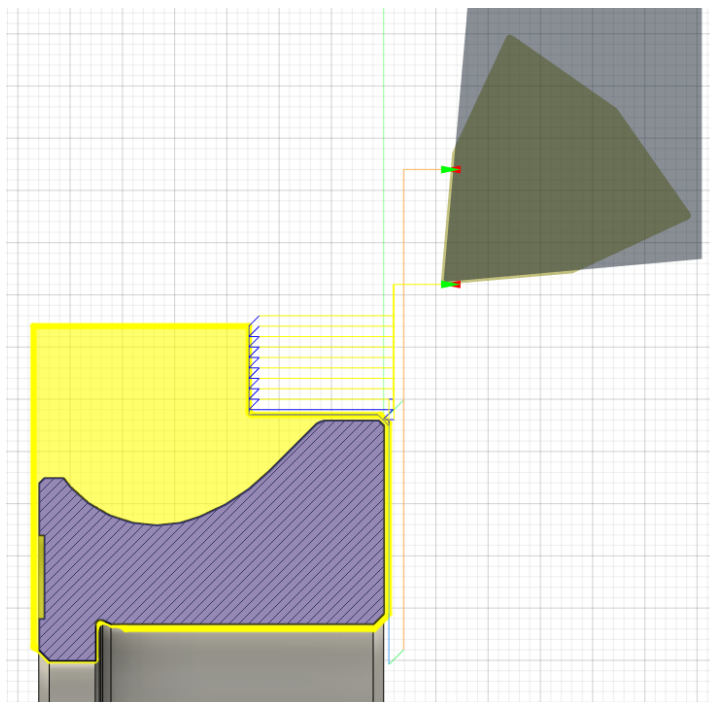
Obrázek 19: Hrubovací operace č.2

Vnitřním nožem A20Q – SVUNR-12 s VBD VNMG 11T308 se nejprve vyhrubuje zápich s přídávkem 0,1 mm. Následně se vyhrubuje sražení, a nakonec se načisto přejeđe vnitřní průměr opření ložiska a zápich.



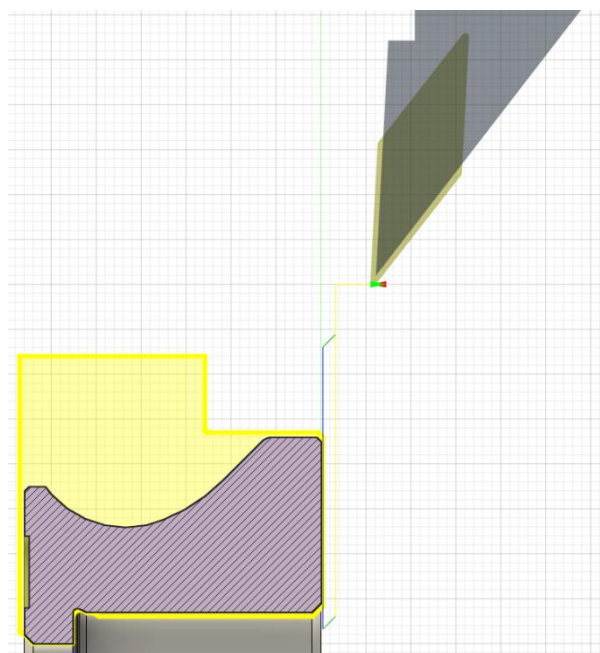
Obrázek 20: Hrubování zápichu, sražení a dokončení vnitřního průměru opření ložiska

Použitím vnějšího nože MWLNR2020K08-N-43 s WNMG 060408 VBD se vyhrubuje část vnějšího průměru do vzdálenosti 13 mm plus se zarovná čelo.



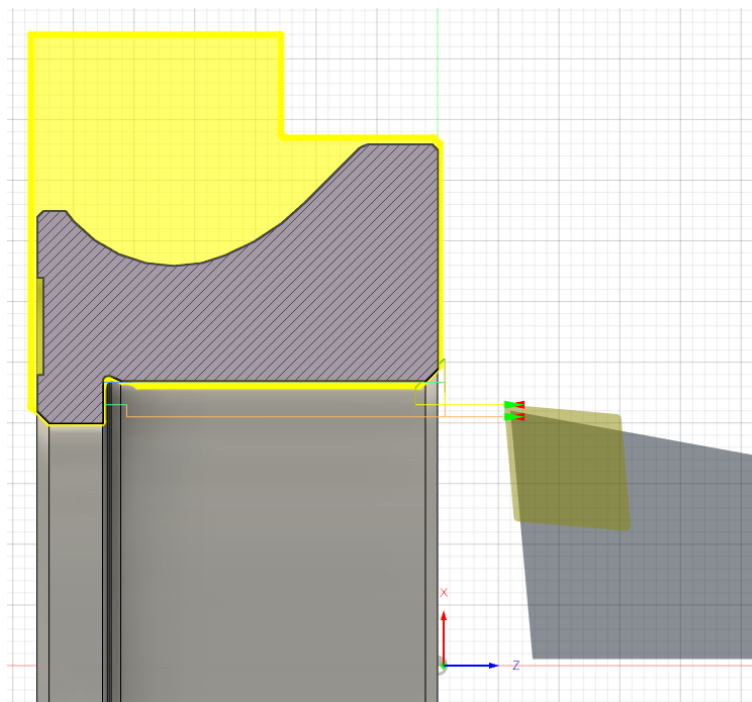
Obrázek 21: Hrubování části vnějšího průměru plus zarovnání čela

Dále se čelo hrubuje vnějším nožem SVJCR-2020-K16 s VCMT 160404 VBD s přídkem 0,2.



Obrázek 22: Hrubování čela

Nakonec se vnitřním nožem A16Q-SCLCR 09 s CCMT 09T304 VBD dohrubuje sražení a vnitřní průměr 47 mm s přídkem 0,2 mm.



Obrázek 23: Dohrubování sražení a vnitřního průměru 47

Vzhled součástky po prvním upnutí viz obr. 23.



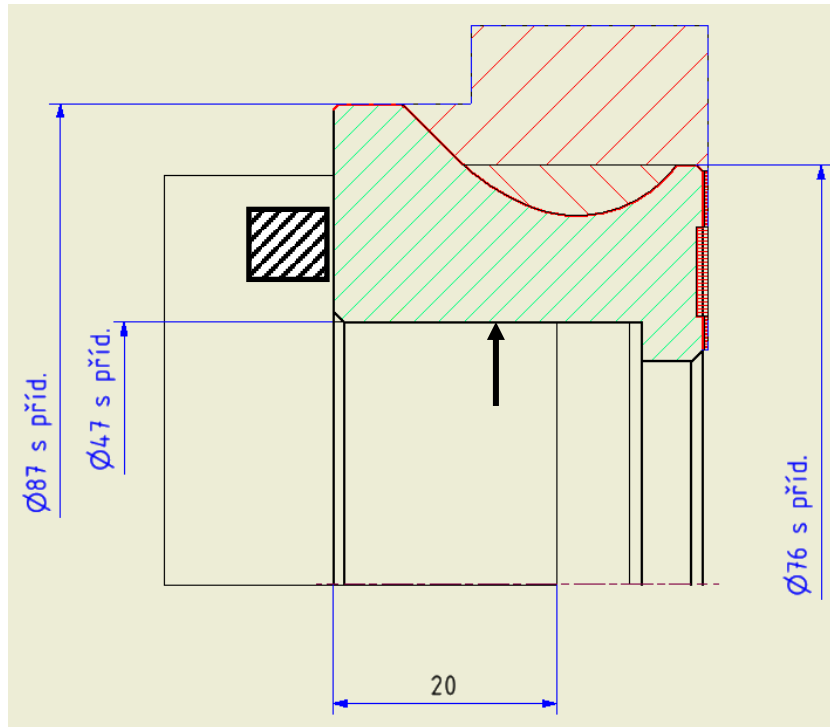
Obrázek 24: Výsledný tvar po prvním upnutí

Po obrobení díry a čela se na stroji vyměnili tvrdé čelisti za měkké čelisti stočené na průměr 46. Předtím, než se čelisti vymění, je potřeba ofouknout sklíčidlo od nečistot a špon. Polotovár se opře o čelisti na doraz a upne se za díru. Poté se pomocí Úchylkoměru (viz obr. 25) zkontrolovalo házení. Pokud úchylkoměr ukazoval hodnotu menší než 0,04, nebylo potřeba součástku přeupnout a mohlo se přejít k obrábění čela a profilu.



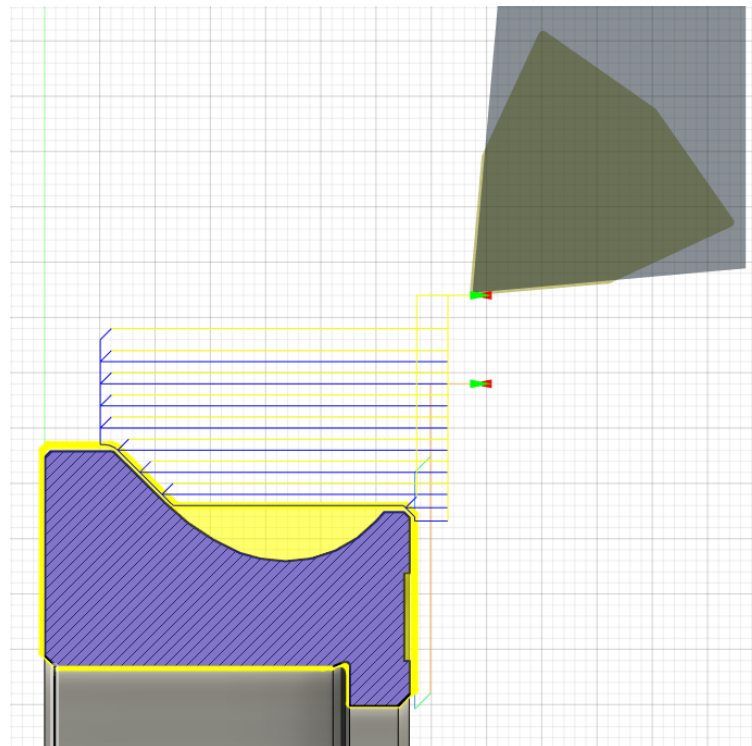
*Obrázek 25:Kontrola házení v měkkém stavu*





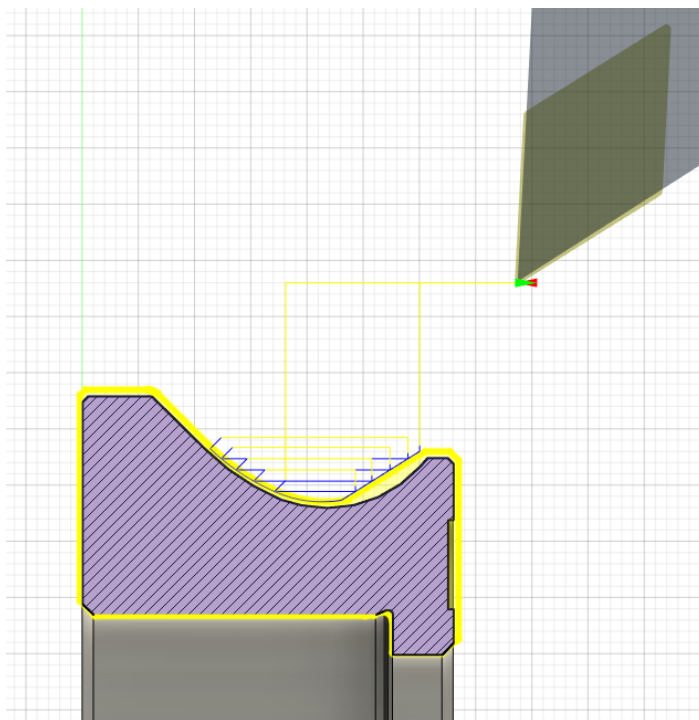
Obrázek 26: Výkres postupného odebrání materiálu pro druhé upnutí v měkkém stavu

Jako první se vnějším nožem MWLNR2020K08-N-43 s WNMG 060408 VBD vyhrubuje profil do  $\varnothing 75$  mm s přídavkem 0,5 mm a zarovná se čelo s přídavkem 0,5 mm.



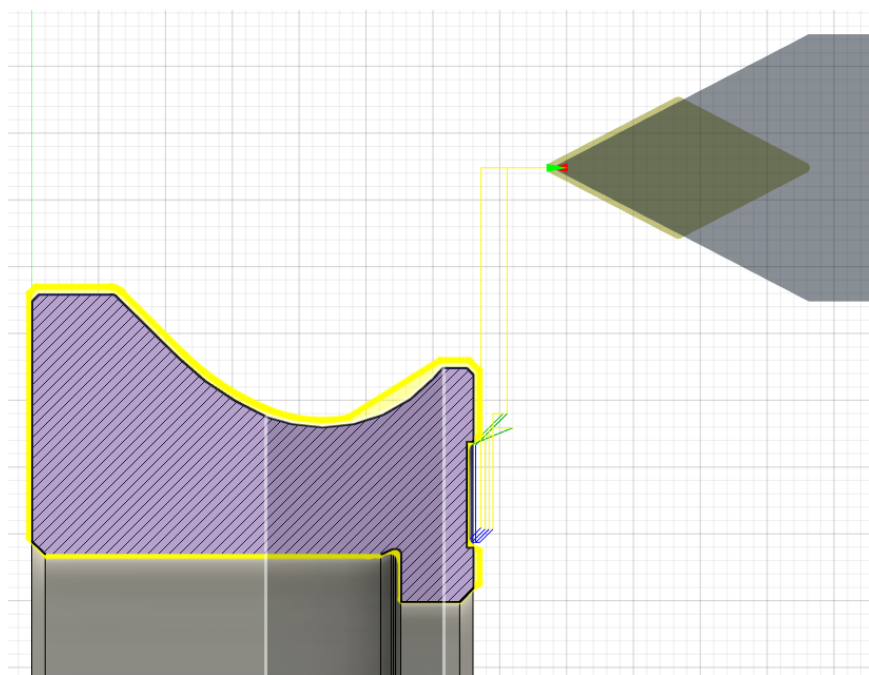
Obrázek 27: Hrubování profilu a zarovnání čela

Následně se pomocí vnějšího nože PDJNR-2020-K15 s DNMG 150604 VBD dohrubuje tvarový profil s přídavkem 0,5 mm.



Obrázek 28:Dohrubování tvarového profilu

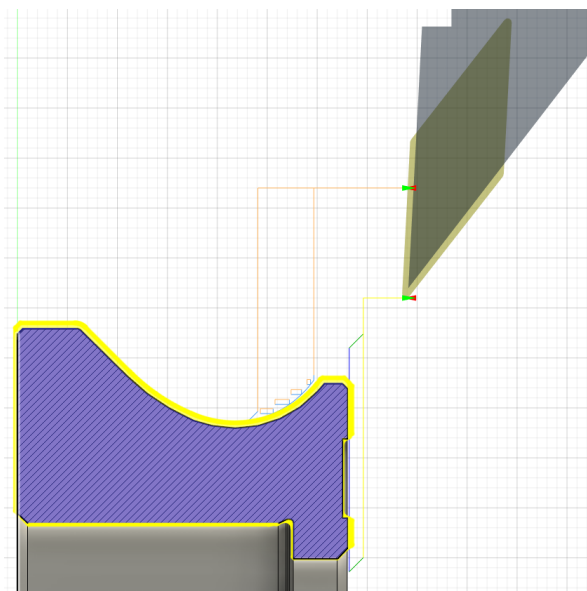
Vnějším soustružnickým neutrálním nožem SDNCN-2020-K-M-A s DCMT 11T304 s VBD se vysoustruží drážka na čele



Obrázek 29:Soustružení drážky na čele

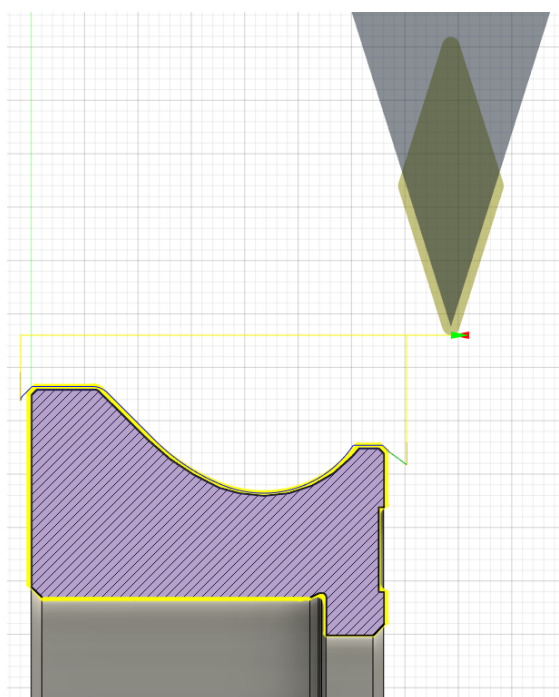


Dalším krokem je dohrubování tvarového profilu s vnějším nožem SVJCR-2020-K16 s VCMT 160404 VBD s přídávkem 0,5 mm v místě, kde to v předešlé operaci nůž s DNMG destičkou nemohl odebrat. Dále stejným nožem se hrubuje čelo s přídávkem 0,2 mm



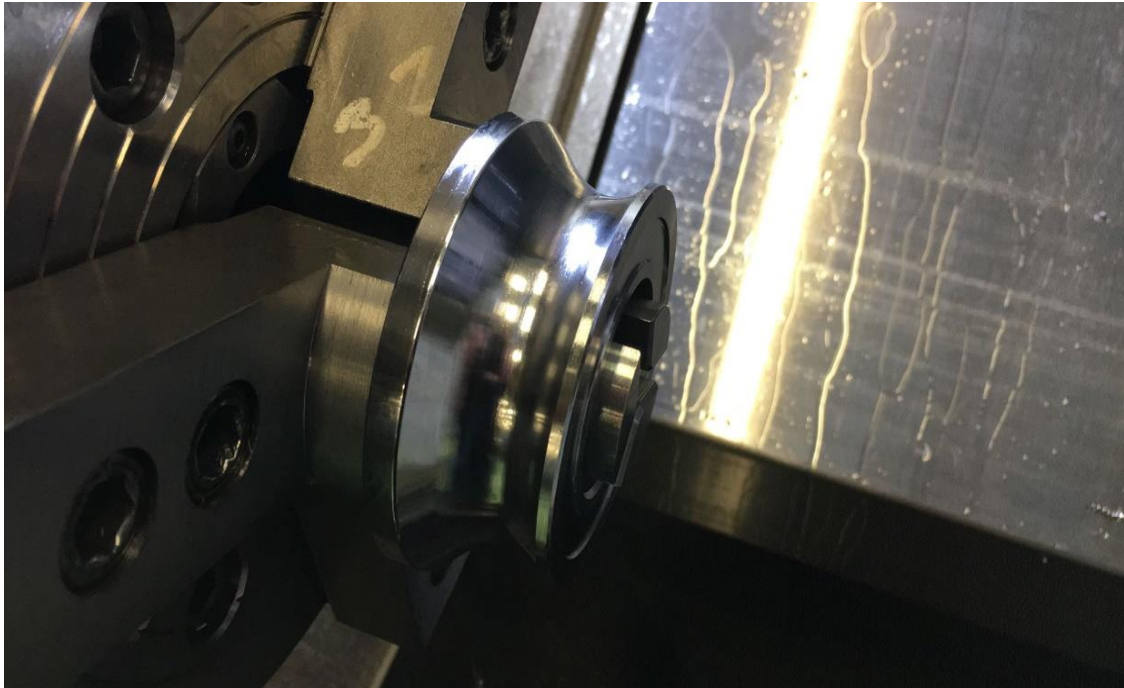
Obrázek 30: Dohrubování tvarového profilu a čela

Nakonec se celý profil přejede vnějším nožem SVVB(C)N 2020 K 11 s VCMT 160408 VBD s přídávkem 0,2 mm



Obrázek 31: Hrubování celého profilu

Vzhled součástky po soustružení v měkkém stavu viz obr 32.



Obrázek 32: Součástka po soustružení v měkkém stavu

## 1.6 Rozměrová kontrola

Kontrola rozměrů byla provedena pomocí posuvky dle obr. 33 a 34. Šířka, dle výkresu plus přídávky pro tvrdé soustružení (na každé ploše 0,2 mm), má být 33,4 mm. To odpovídá dle obr. 32.

Následně se součástka zakalí.

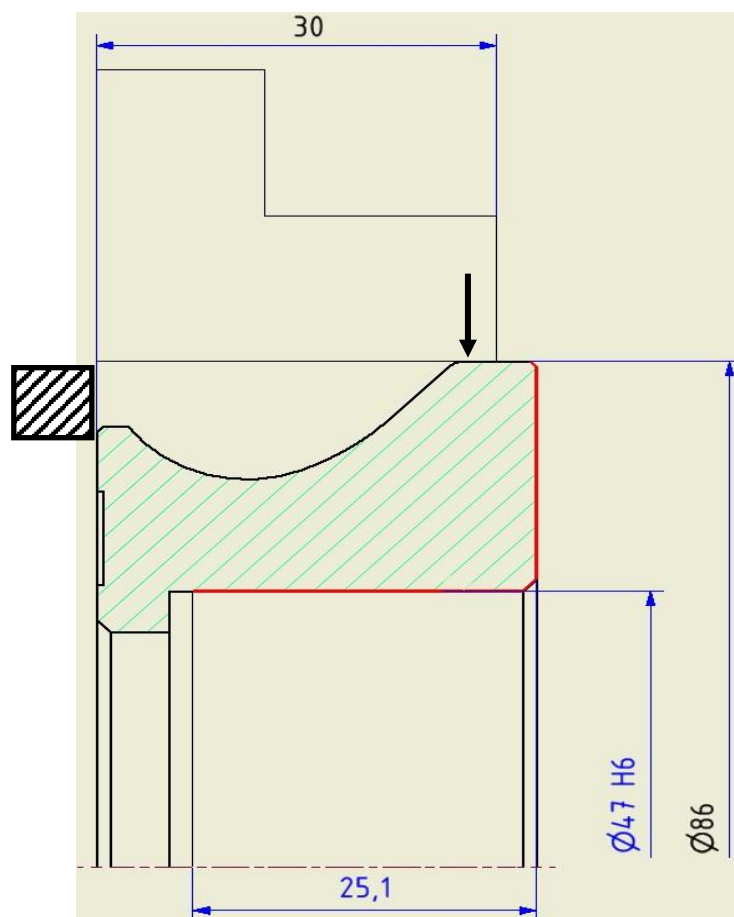


Obrázek 33: Kontrola šířky v měkkém stavu

## 1.7 Soustružení v tvrdém stavu

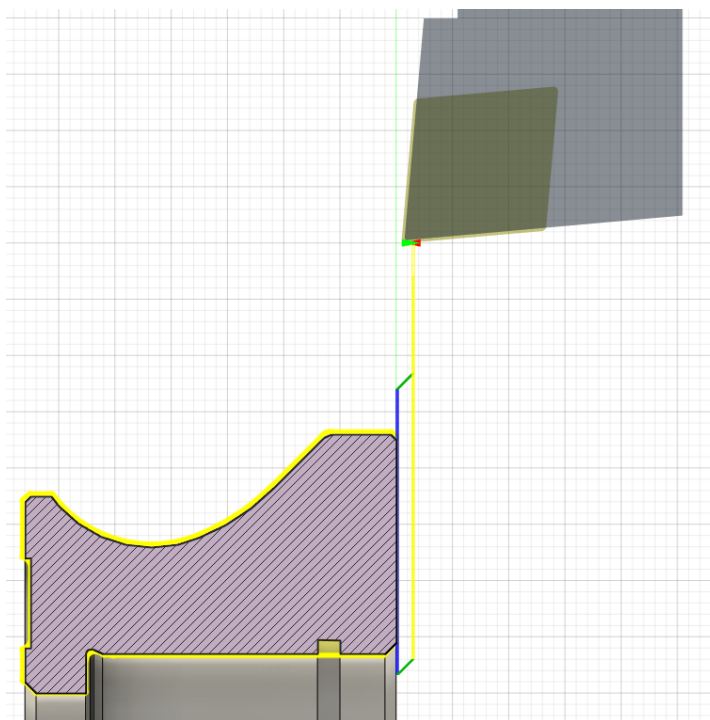
Před upnutím součástky se sklíčidlo a čelisti ofouknou a očistí drátěným kartáčem. Provede se korekce na nástrojích. Poté se součástka upnula do tvrdých čelistí za průměr 86 na doraz. Poté se pomocí úchylkoměru zkontrolovalo házení. Pokud úchylkoměr ukazoval odchylku menší než 0,1, součástku nebylo potřeba přeupnout a šlo se obrábět.

Při obrábění jednotlivých ploch se použije průjezd na prázno, který projede plochu ještě jednou a odebere materiál, který tam mohl zůstat v rámci vychýlení nástroje.



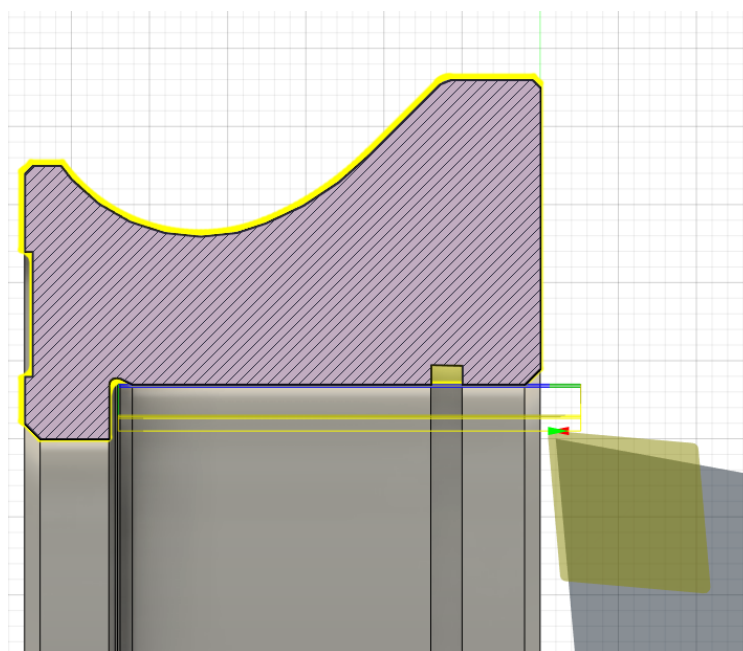
Obrázek 34: Výkres postupného odebírání materiálu pro první upnutí v tvrdém stavu

Jako první se soustruží čelo na čisto nástrojem PCLNR 2020K 12 s CNMA 120404 VBD.



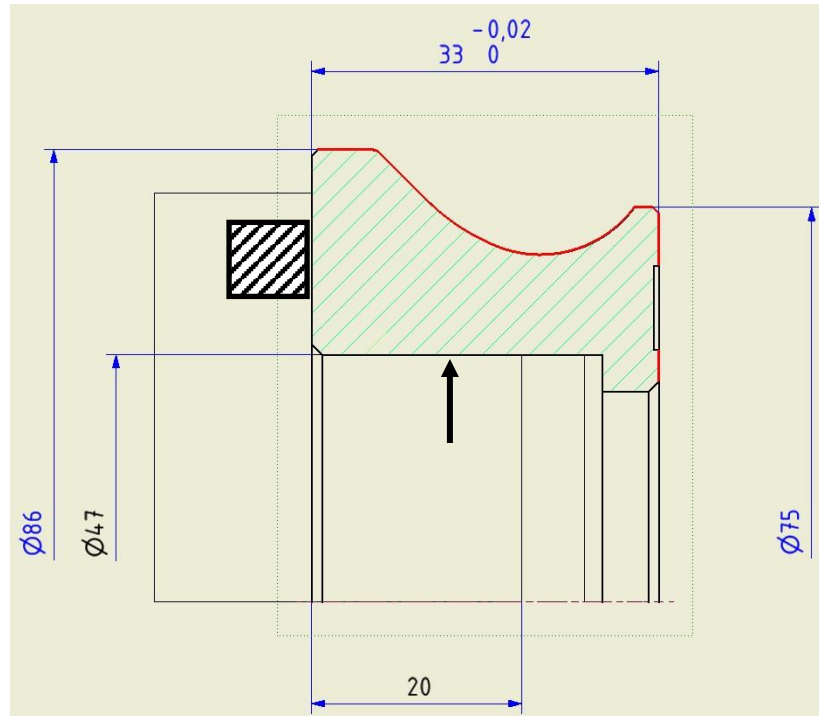
Obrázek 35: Soustružení čela na čisto

Dále se soustruží díra na čisto. Pro tuto operaci se použije vnitřní nůž A16Q-SCLCR 09 s VBD CCGW09T304.



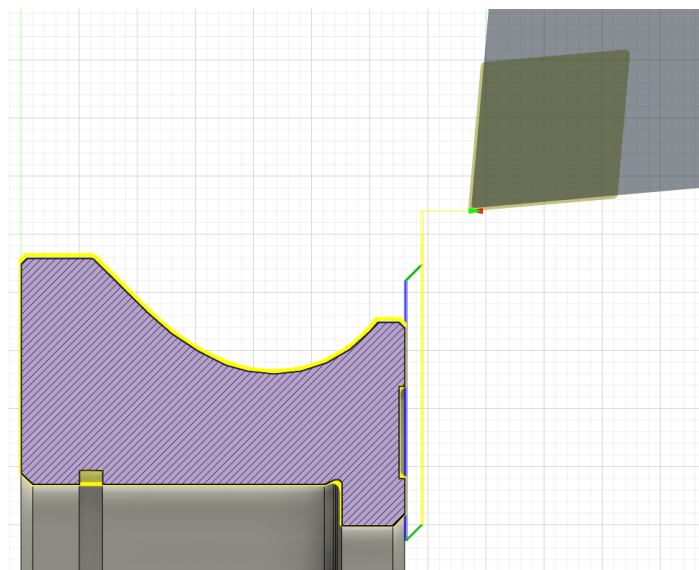
Obrázek 36: Soustružení díry na čisto

Po obrobení čela a díry se na stroji vymění tvrdé čelisti za měkké. Do těchto čelistí se upne součástka za díru na doraz o znovu se zkontroluje házení.



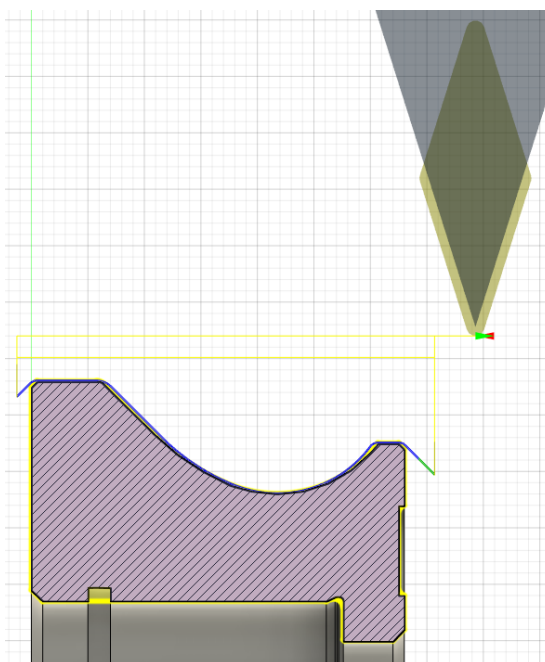
Obrázek 37: Výkres postupného odebrání materiálu pro druhé upnutí v tvrdém stavu

Podobně jako v předchozím upnutí se nožem PCLNR 2020K 12 s CNMA 120404 VBD soustruží čelo na čisto.



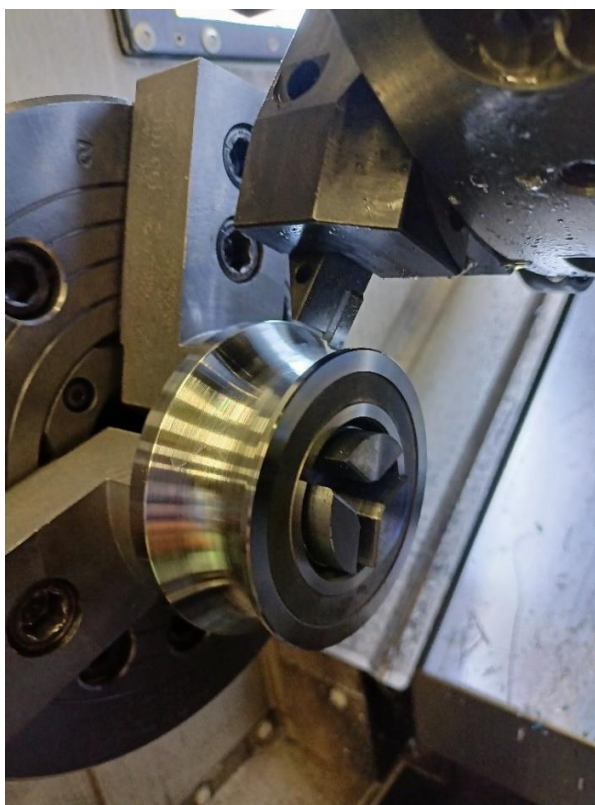
Obrázek 38: Soustružení čela na čisto

Nakonec se nožem SVVB(C)N 2020 K 11 s VBD VBGW160408 soustruží profil  
na čisto



Obrázek 39: Dokončení tvarového profilu

Vzhled součástky po soustružení v tvrdém stavu viz obr. 41



Obrázek 40: Součástka po soustružení v měkkém stavu



## 9. Rozměrová kontrola

Kontrola šířky byla provedená pomocí mikrometru. Šířka naměřená mikrometrem (obr. 42) odpovídá šířce součástky na výkresu

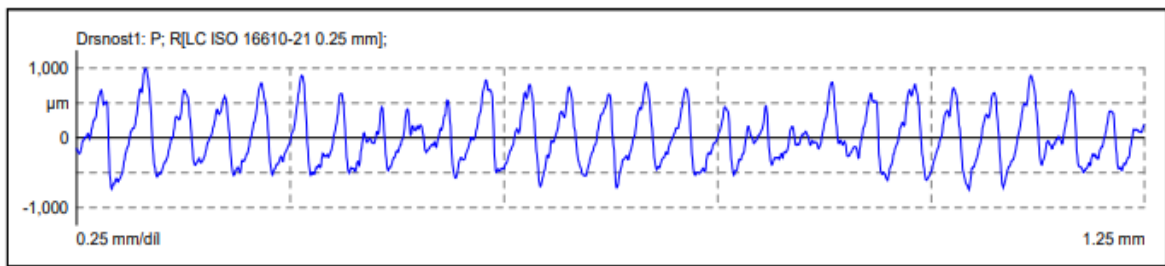


Obrázek 41: Kontrola šířky součástky v tvrdém stavu

## 10. Dosažená kvalita povrchu

Měření bylo provedeno dle normy DIN EN ISO 4288: 1998. Pro měření byla použita mezní vlnová délka  $\lambda_c = 0,25$  mm. Nejdříve se ale použila vlnová délka  $\lambda_c = 0,08$  mm. Pro tuto mezní vlnovou délku vyšel parametr  $R_{Sm} = 0,04$  až  $0,05$  mm. Mezní vlnová délka byla tedy změněna na hodnotu  $0,25$  mm a měření se opakovalo. Opakované měření, potvrdilo že parametr  $R_{Sm}$  spadá do rozmezí  $0,04$  až  $0,13$  a volba mezní vlnové délky  $0,25$  pro tento typ periodických profilů je správná. Mezní vlnová délka charakterizuje způsob filtrace k oddělení vlnitosti a drsnosti. K měření dosažené kvality povrchu se použil měřicí přístroj MahrSurf LD 120. Měření bylo provedeno na čele, profilu a v díře.

## 1.8 Měření kvality povrchu na čele



Obrázek 42: Profil drsnosti na čele

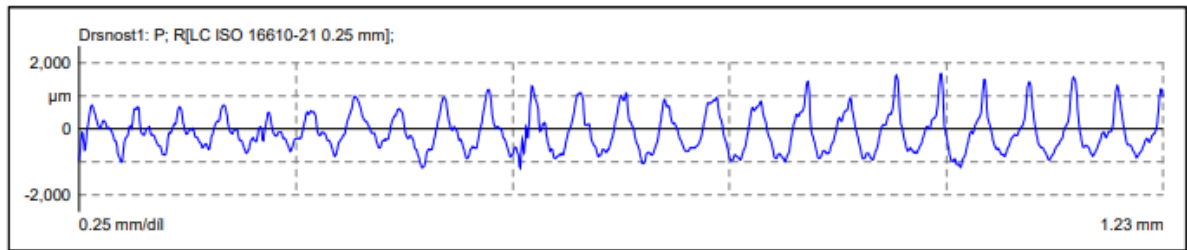
Tabulka 3 Hodnoty jednotlivých parametrů drsnosti na čele

Parametry	Hodnoty	Průměr ze tří hodnot [ $\mu\text{m}$ ]
Ra	0,320 $\mu\text{m}$	0,323 $\mu\text{m}$
Rz	1,550 $\mu\text{m}$	1,530 $\mu\text{m}$
Rmax	1,727 $\mu\text{m}$	1,735 $\mu\text{m}$
R Sm	47,192 $\mu\text{m}$	47,073 $\mu\text{m}$
R Mr (-1.00, 5.0)	76,64 %	75,79 %
R Mr (-2.00, 5.0)	100 %	100 %
R Mr (-3.00, 5.0)	100 %	100 %

Na čele součásti byly naměřeny Ra pohybující se kolem 0,320  $\mu\text{m}$ .



## 1.9 Měření kvality povrchu profilu



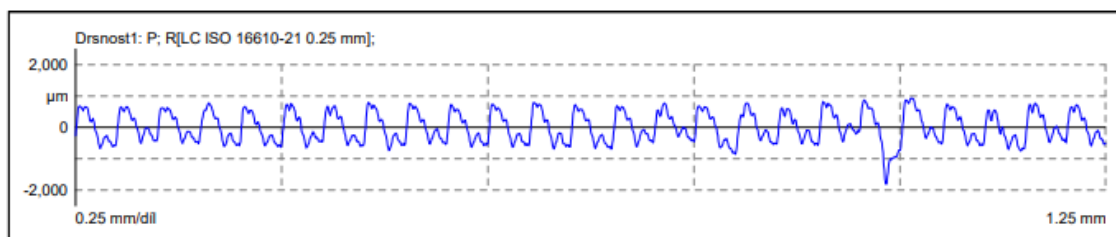
Obrázek 43: Profil drsnosti profilu

Tabulka 4: Hodnoty jednotlivých parametrů drsnosti profilu

Parametry	Hodnoty	Průměr ze tří hodnot [μm]
Ra	0,492 μm	0,504 μm
Rz	2,392 μm	2,343 μm
Rmax	2,734 μm	2,705 μm
R Sm	50,604 μm	50,607 μm
R Mr (-1.00, 5.0)	40,54 %	37,67 %
R Mr (-2.00, 5.0)	98,70 %	98,07 %
R Mr (-3.00, 5.0)	100 %	100 %

Hodnota Ra naměřená na profilu je 0,492 μm. Oproti čelu je tato horší. Dle výkresu je tato hodnota žádaná, protože je menší než Ra 0,8.

## 1.10 Měření kvality povrchu díry



Obrázek 44: Profil drsnosti díry

Tabulka 5: Hodnoty jednotlivých parametrů drsnosti díry

Parametry	Hodnoty	Průměr ze tří hodnot [ $\mu\text{m}$ ]
Ra	0,415 $\mu\text{m}$	0,414 $\mu\text{m}$
Rz	1,758 $\mu\text{m}$	1,745 $\mu\text{m}$
Rmax	2,679 $\mu\text{m}$	2,374 $\mu\text{m}$
R Sm	50 $\mu\text{m}$	50,014 $\mu\text{m}$
R Mr (-1.00, 5.0)	65,90 %	66,05 %
R Mr (-2.00, 5.0)	99,56 %	99,64 %
R Mr (-3.00, 5.0)	100 %	100 %

Hodnota parametru Ra pro díru je 0,415  $\mu\text{m}$ . V porovnání s ostatními parametry Ra je tato hodnota menší než u profilu, ale vyšší než u čela.

## 11. Závěr

Bakalářská práce se zabývá metodou tvrdého soustružením, jenž je často náhradou za broušení. Cílem práce je navrhnout postup výroby, zvolit správné nástroje s vhodnou geometrií a řeznými podmínkami za dosažení požadovaných dosažený přesných rozměru, tolerancí a drsnosti povrchu. Práce je rozdělena do dvou částí.

První část práce je zaměřená na definice tvrdého soustružení a jeho porovnání s broušením. Dále jsou zde uvedeny požadavky, které jsou kladeny na stroje a upínání obrobku. U strojů jsou uvedeny nejvýznamnější výrobci strojů pro tvrdé soustružení. Poté jsou v této části uvedeny charakteristiky obráběných materiálu a nástrojových materiálů vhodných pro tvrdé soustružení.

Druhá část práce je zaměřená na obrábění součástky ve dvou stavech, a to v měkkém a následně v tvrdém stavu. Pro měkký stav se použili VBD ze slinutého karbidu. Přídavky ponechané pro tvrdé soustružení byli 0,2 mm na obou čelech Po kontrole bylo zjištěno, že šířka součástky s předávkami odpovídá . Pro tvrdý stav se použili VBD z kubického nitridu borů. Po skončení obrábění se provedla kontrola šířky mikrometrem. Naměřený rozměr 33 mm odpovídá rozměru uvedeném ve výkresu. Následně se, pomocí měřicího přístroje od firmy Mahr, provedla kontrola kvality povrchu. Z výsledku měření vyšel jako nejlepší povrh na čele. Jedním z důvodu rozdílu parametrů Ra mezi čelem a dírou nebo profilem je zvolený posuv na otáčku a řezná rychlost. Zatímco u čela a profilu byl zvolen posuv na otáčku podobný, u čela byla řezná rychlost větší než u profilu.

Pro zadanou součástku byl navržen technologický postup s nástroji s vhodnou geometrií a řeznými podmínkami. Měřením drsnosti povrchu bylo zjištěno, že jsme tvrdým soustružením schopni dosáhnout kvalitního povrchu.

## 12. Použitá literatura

1. PRODUCTION MACHINING. Hard Turning as an Alternative to Grinding [online]. 2010 [cit. 2023-06-26]. Dostupné z: <https://www.productionmachining.com/articles/hard-turning-as-an-alternative-to-grinding>
2. MMSPEKTRUM. Trvanlivost' rezných materiálů při suchom tvrdom sústružení ocele 100Cr6. MM průmyslové spektrum [online]. FS, Žilinská univerzita v Žiline, 2006 [cit. 2023-06-26]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/trvanlivost-reznych-materialov-pri-suchomtvrdom-sustruzeni-ocle-100cr6>
3. Hardinge: Why hard turning can be an alternative to grinding for many applications [online]. [cit. 2023-06-26]. Dostupné z: [https://www.hardinge.com.translate.google.com/blog/turning/why-hard-turning-can-be-a-better-choice-than-grinding-for-many-applications/?1687767439603&x\\_tr\\_sl=en&x\\_tr\\_tl=cs&x\\_tr\\_hl=cs&x\\_tr\\_pto=wap](https://www.hardinge.com.translate.google.com/blog/turning/why-hard-turning-can-be-a-better-choice-than-grinding-for-many-applications/?1687767439603&x_tr_sl=en&x_tr_tl=cs&x_tr_hl=cs&x_tr_pto=wap)
4. HEMBRUG MACHINE TOOLS: Hard turning vs Grinding [online]. [cit. 2023-06-26]. Dostupné z: <http://www.hembrug.com/hard-turning/hard-turningcompared-to-grinding/>.
5. NESLUŠAN, Miroslav. VYBRANÉ ASPEKTY PRESNOSTI OBROBKOV PRI TVRDOM SÚSTRUŽENÍ [online]. Plzeň, 2009 [cit. 2023-06-26]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/16441/1/Neslusan.pdf>
6. Gosiger – serious solutions: Fundamentals of hard turning [online]. [cit. 2023-06-26]. Dostupné z: [https://cdn2.hubspot.net/hub/139128/file-17761415-pdf/docs/gos\\_wp\\_hardturning\\_f.pdf](https://cdn2.hubspot.net/hub/139128/file-17761415-pdf/docs/gos_wp_hardturning_f.pdf)
7. HEMBRUG MACHINE TOOLS: About Hembrug Machine Tools [online]. [cit. 2023-06-26]. Dostupné z: <https://www.hembrug.com/about-hembrug/>.
8. HARDINGE. T-Series SUPER-PRECISION [online]. [cit. 2023-06-26]. Dostupné z: <https://www.hardinge.com/product/turning/t-series/>
9. Schaublin machines sa: HARD TURNING [online]. [cit. 2023-06-26]. Dostupné z: <https://www.smsa.ch/en/Products/Hard-turning.html>.

10. Hwacheon Machinery [online]. [cit. 2023-06-26]. Dostupné z:  
<https://www.hwacheon-europe.com/en>.
11. SOVA, František. Technologie obrábění a montáže. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2001, 273 s. ISBN 80-7082-823-4
12. Soustružení [online]. [cit. 2023-06-27]. Dostupné z:  
<http://techstroj.g6.cz/T/T13.pdf>
13. TOS Svitavy. Sklíčidla. [online]. Dostupné z:  
[http://www.tossvitavy.com/pdf/souhrnny\\_katalog\\_sklicidel.pdf](http://www.tossvitavy.com/pdf/souhrnny_katalog_sklicidel.pdf)
14. Shrunck: Upínací čelisti [online]. [cit. 2023-06-27]. Dostupné z:  
[https://schunk.com/cz/cs/technika-upinani-obrobku/upinaci-celisti/c/PUB\\_8317](https://schunk.com/cz/cs/technika-upinani-obrobku/upinaci-celisti/c/PUB_8317)
15. Boukal: Sklíčidlo 3-čelistové [online]. [cit. 2023-06-27]. Dostupné z:  
[https://www.boukal.cz/sklidlo-3-celistove-standard-dk11-125-din-6350-litina/2004/produkt?gclid=CjwKCAjwkeqkBhAnEiwA5U-uM7ZVbapVA8ahD9-awpkEH21NBoOpPex9F2FJC54o5ywHrX7Z31cw4BoC\\_S4QAvD\\_BwE](https://www.boukal.cz/sklidlo-3-celistove-standard-dk11-125-din-6350-litina/2004/produkt?gclid=CjwKCAjwkeqkBhAnEiwA5U-uM7ZVbapVA8ahD9-awpkEH21NBoOpPex9F2FJC54o5ywHrX7Z31cw4BoC_S4QAvD_BwE)
16. JANYŠ, Bohumil a Karel RAFTL. Upínání obrobků na soustruhu. 1. vyd. Praha: SNTL, 1961, 115 s.
17. MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. Základy technologie II. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 55 s. ISBN 80-01-02610-8.
18. KOČMAN, PROKOP, Technologie obrábění: VUT v Brně, 2005
19. Soustružení [online]. [cit. 2023-06-28]. Dostupné z: <https://digit.isste.cz/ops/hs/assets/-671314528130.%20Soustruzeni.pdf>
20. VIGNER, Miloslav. Obrábění. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984. Technický průvodce
21. KAMENICKÁ, Pavlína. Způsoby upínání nástrojů a obrobků. Brno 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 48 s., 10 příloh. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.
22. Tumlikovo: Nožová hlava s aretací pro soustruh Schaublin 102 [online]. [cit. 2023-06-28]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/nozova-hlava-s-aretaci-pro-soustruh-schaublin-102/>
23. Altaros: Automatická Soustružnická Revolverová Hlava Pro 8 Nástrojů [online]. [cit. 2023-06-28]. Dostupné z: <https://www.altaros.cz/cs/prislusenstvi/157-automaticka-soustruznicka-revolverova-hlava-pro-8-nastroju.html>

24. Sandvik Coromant: Obráběné materiály [online]. [cit. 2023-06-29]. Dostupné z:  
<https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/pages/workpiecematerials.aspx>.
25. Seco: WANT TO KNOW MORE ABOUT ISO MATERIAL GROUPS [online]. [cit. 2023-06-29]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/article/118837>
26. MRIDHA, S. Metallic Materials [online]. 2016 [cit. 2020-04-26]. Dostupné z:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818040972>.
27. Periodická tabulka: Titan [online]. [cit. 2023-06-29]. Dostupné z:  
<http://www.prvky.com/22.html>
28. Iscar: Obrábění Titanu – řešení pro lékařský průmysl [online]. [cit. 2023-06-29].  
Dostupné z:  
<https://www.iscar.cz/Media/pdf/ObrabenTitanuProLekarskyPrumysl.pdf>
29. DRIENSKY, Dušan, Pavel FÚRIK, Terézia LEHMANOVÁ a Josef TOMAIDES. *Strojní obrábění I*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1986. 424 s.
30. Sandvik Coromant: Nástrojové materiály [online]. [cit. 2020-04-26]. Dostupné z:  
<https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/pages/cutting-toolmaterials.aspx>.
31. MMSPEKTRUM: Řezné materiály současnosti. [online]. [cit. 2023-07-03].  
<https://www.mmspektrum.com/clanek/rezne-materialy-soucasnosti>
32. *Kubický nitrid boru – CBN* [online]. [cit. 2023-07-05]. Dostupné z:  
<https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/03011.html>
33. *KOVONÁSTROJE* [online]. [cit. 2023-07-05]. Dostupné z:  
[https://www.kovonastroje.cz/vymenitelna-britova-cbn-desticka-cnga-120408-hrc55-kovonastroje/?gclid=CjwKCAjwqZSlBhBwEiwAfoZUIBAJvui7qP\\_Rld2crOACAFYj3o0XTqGXU7V2nYao276gwcaKMaTHehoCIYAQAvD\\_BwE](https://www.kovonastroje.cz/vymenitelna-britova-cbn-desticka-cnga-120408-hrc55-kovonastroje/?gclid=CjwKCAjwqZSlBhBwEiwAfoZUIBAJvui7qP_Rld2crOACAFYj3o0XTqGXU7V2nYao276gwcaKMaTHehoCIYAQAvD_BwE)
34. *Polykrystalický diamant – PKD* [online]. [cit. 2023-07-05]. Dostupné z:  
<https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/03009.html>
35. CERATIZIT. Over 100 years of history: From pioneer to global player [online]. [cit. 2023-07-05]. Dostupné z:  
<https://www.ceratizit.com/int/en/company/ceratizitgroup/about-us.html>



36. ISCAR. O nás: zakladatelé [online]. [cit. 2023-07-05]. Dostupné z:  
<https://www.iscar.cz/newarticles.aspx/countryid/6/newarticleid/1818>
37. DORMER PRAMET. O nás: náš příběh [online]. [cit. 2023-07-07]. Dostupné z:  
<https://www.dormerpramet.com/cz/cs/about-us>
38. SANDVIK COROMANT. O společnosti sandvik coromant: historický vývoj [online].  
[cit. 2023-07-07]. Dostupné z:  
<https://www.sandvik.coromant.com/cscz/aboutus/our-history/pages/timeline.aspx>
39. SANDVIK COROMANT: Informace o společnosti [online]. [cit. 2023-07-05]. Dostupné z:  
[sandvik.coromant.com/cs-cz/about-us/company-facts](https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/about-us/company-facts)
40. SECO TOOLS: Naše historie inovací [online]. [cit. 2023-07-05]. Dostupné z:  
<https://www.secotools.com/article/545>
41. SECO TOOLS. Profil společnosti [online]. [cit. 2023-07-05]. Dostupné z:  
<https://www.secotools.com/article/702>
42. HOFFMAN GROUP. 100 LET FIRMY HOFFMANN – HISTORIE NAŠEHO ÚSPĚCHU: Naše historie inovací [online]. [cit. 2023-07-05]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/hoffmann-group/o-nas/historie/e/116655/>
43. HOFFMAN GROUP. NADŠENÍ. KOMPETENTNÍ. SPOLEHLIVÍ. INOVATIVNÍ.: Naše historie inovací [online]. [cit. 2023-07-05]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/hoffmann-group/kariera/e/116222/Z/cs/hot/hoffmann-group/o-nas/historie/e/116655>
44. SIGMAT. CNC Okuma – Genos L200E-M [online]. [cit. 2023-08-4]. Dostupné z:  
<https://www.sigmat.hr/en/technological-possibilities/745-cnc-okuma-genos-l200e-m>

## 13. Seznam obrázků

Obrázek 1: Skladba ručního univerzálního sklíčidla [13] .....	12
Obrázek 2: Od levého horního rohu základní, zakusovací, stupňovité a měkké čelisti [14].....	13
Obrázek 3: Univerzální tříčelist'ové sklíčidlo [15] .....	13
Obrázek 4: Kuželový trn [16].....	15
Obrázek 5: Válcový trn [15] .....	15
Obrázek 6: Rozpínací trn [16] .....	16
Obrázek 7: Upínací kleština, a-upínací mechanismus, b-kleština [19].....	17
Obrázek 8: Vyložení nože, kde a je správné b, c je špatné [19] .....	18
Obrázek 9: Nožová hlava [22] .....	18
Obrázek 10: Revolverová hlava [23] .....	19
Obrázek 11: Skupiny obráběných materiálů [24] .....	20
Obrázek 12: Vyměnitelná břitová CBN destička [33].....	26
Obrázek 13: Výkres kladky.....	29
Obrázek 14: Model součásti .....	30
Obrázek 15: Stroj Okuma Genos L200E-M.....	31
Obrázek 16: Výkres odebraného materiálu pro první upnutí v měkkém stavu .....	33
Obrázek 17: Operace vrtání .....	34
Obrázek 18: Hrubovací operace č.1 .....	34
Obrázek 19: Hrubovací operace č.2 .....	35
Obrázek 20: Hrubování zápichu, sražení a dokončení vnitřního průměru opření ložiska .....	35





Obrázek 21:Hrubování části vnějšího průměru plus zarovnání čela.....	36
Obrázek 22:Hrubování čela.....	36
Obrázek 23:Dohrubování sražení a vnitřního průměru 47 .....	37
Obrázek 24:Výsledný tvar po prvním upnutí.....	37
Obrázek 25:Kontrola házení v měkkém stavu .....	38
Obrázek 26:Výkres postupného odebírání materiálu pro druhé upnutí v měkkém stavu .....	39
Obrázek 27:Hrubování profilu a zarovnání čela .....	39
Obrázek 28:Dohrubování tvarového profilu .....	40
Obrázek 29:Soustružení drážky na čele .....	40
Obrázek 30:Dohrubování tvarového profilu a čela.....	41
Obrázek 31:Hrubování celého profilu.....	41
Obrázek 32:Součátka po soustružení v měkkém stavu.....	42
Obrázek 33: Kontrola šířky v měkkém stavu .....	42
Obrázek 34: Výkres postupného odebírání materiálu pro první upnutí v tvrdém stavu .....	43
Obrázek 35: Soustružení čela na čisto .....	44
Obrázek 36: Soustružení díry na čisto .....	44
Obrázek 37: Výkres postupného odebírání materiálu pro druhé upnutí v tvrdém stavu .....	45
Obrázek 38: Soustružení čela na čisto .....	45
Obrázek 39: Dokončení tvarového profilu .....	46
Obrázek 40: Součátka po soustružení v měkkém stavu.....	46
Obrázek 41: Kontrola šířky součástky v tvrdém stavu.....	47



Obrázek 42: Profil drsnosti na čele .....	48
Obrázek 43: Profil drsnosti profilu.....	49
Obrázek 44: Profil drsnosti díry.....	50

## 14. Seznam tabulek

Tabulka 1: Složení nástrojové oceli 19 221 .....	30
Tabulka 2: Seznam použitých nástrojů.....	32
Tabulka 3 Hodnoty jednotlivých parametrů drsnosti na čele .....	48
Tabulka 4: Hodnoty jednotlivých parametrů drsnosti profilu .....	49
Tabulka 5: Hodnoty jednotlivých parametrů drsnosti díry.....	50