



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SOUSTRUŽNICKÉ STROJE A NÁSTROJE, VÝROBA VZOROVÉ SOUČÁSTI

TURNING MACHINES AND TOOLS, PRODUCTION OF A SAMPLE PART

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Šaroun

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radim Kupčák

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Martin Šaroun
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Radim Kupčák
Akademický rok:	2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Soustružnické stroje a nástroje, výroba vzorové součásti

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Soustružení je poměrně častý proces ve strojírenských firmách. Toto téma ho představuje z několika pohledů a je doplněno o výrobu vzorové součásti.

Cíle bakalářské práce:

- Charakteristika procesu soustružení.
- Přehled soustružnických strojů.
- Výběr soustružnických nástrojů.
- Ukázky použití strojů.
- Sestavení TPV dokumentace vzorové součásti.
- Výroba vzorové součásti.
- Zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

FREIBAUER, Martin, Hana VLÁČILOVÁ a Milena VILÍMKOVÁ. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 2. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2010. 326 s. ISBN 978-80-251-2504-5.

FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. Konstrukční oceli. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 1996. 262 s. ISBN 80-85867-95-8.

IMAI, Masaaki. Kaizen. 1. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2004. 272 s. ISBN 80-251-0461-3.

KARPÍŠEK, Zdeněk. Matematika IV: Statistika a pravděpodobnost. 3. vyd. Olomučany: CERM, s. r. o., 2007. 170 s. ISBN 978-80-241-3380-9.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361033-7.

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-7044639-4.

MICHNA, Štefan et al. Encyklopedie hliníku. 1. vyd. Prešov: Adin, 2005. 700 s. ISBN 80-89041-88-4.

PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-720-42831.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-720-42831.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design. 2nd edition. New York: McGRAW-HILL, 2006. P. 730. ISBN 0-07146271-6.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80214-2336-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar,
Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický,
Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce přináší v rešeršní části přehled technologie soustružení. Popisuje základní pojmy a termíny, věnuje se rozdělení soustruhů a soustružnických nožů. Praktická část práce je zaměřena na technologické zpracování zadané součásti, tou je montážní trn sloužící pro přesné lepení. Byl vypracován technologický postup a v kooperaci s firmou proběhla výroba vlastní součásti. V poslední fázi proběhla výstupní kontrola výrobků a zhodnocení.

Klíčová slova

Soustružení, soustruhy, nástroje, technologický postup, výroba součásti, hliníkové slitiny

ABSTRACT

This bachelor's thesis provides an overview of turning technology in the research part. It describes the basic terms and terms, deals with the division of lathes and turning knives. The practical part of the work is focused on the technological processing of the specified part, which is the assembly mandrel used for precise gluing. The technological process was developed and in cooperation with the company, the production of its own component took place. In the last phase, the final inspection of products and evaluation took place.

Key words

Turning, lathes, tools, technological process, production of components, aluminum alloys

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠAROUN, M. Soustružnické stroje a nástroje, výroba vzorové součásti. Brno, 2022.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav
strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. Radim Kupčák.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, vypracoval jsem ji samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20.května 2022

místo, datum

.....
Martin Šaroun

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Radimu Kupčákovi za cenné rady, připomínky a odborné vedení při tvorbě práce, a také bych chtěl poděkovat firmě Flídr metal s.r.o. a Meopta – optika s.r.o., které se na této bakalářské práci podíleli.

OBSAH

ÚVOD	7
1 CHARAKTERISTIKA PROCESU SOUSTRUŽENÍ	8
1.1 Základní pojmy.....	8
1.1.1 Tříska	8
1.1.1 Základní plochy na obrobku	9
1.1.2 Řezná rychlost	9
1.1.3 Upínání obrobků	9
1.1.4 Řezné podmínky soustružení	11
1.1.5 Tolerance	11
1.1.6 Metody měření tolerancí.....	14
1.1.7 Drsnost.....	15
2 PŘEHLED SOUSTRUŽNICKÝCH STROJŮ.....	17
2.1 Dělení soustruhů podle konstrukce a použití na:.....	17
2.1.1 Hrotové soustruhy (univerzální).....	17
2.1.2 Revolverové soustruhy	18
2.1.3 Čelní soustruhy	18
2.1.4 Svislé soustruhy (karusely).....	18
2.1.5 Poloautomatické soustruhy	19
2.1.6 Automatické soustruhy	19
2.1.7 Číslicově řízené soustruhy	19
3 SOUSTRUŽNICKÉ NÁSTROJE	20
3.1 Základní pojmy.....	20
3.1.1 Části soustružnického nože	20
3.1.2 Nástrojové roviny a nástrojové úhly	20
3.1.3 Nástrojové úhly.....	21
3.1.4 Vyměnitelné břitové destičky	22
3.1.5 Značení nožů s vyměnitelnou břitovou destičkou dle ISO.....	23
3.2 Soustružnické nože	24
3.2.1 Rozdělení soustružnických nožů	24
3.2.2 Rozdělení podle materiálu	25
4 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI.....	26
4.1 Technologičnost dílu	26
4.2 Volba polotovaru	27
5 NÁVRH TECHNOLOGIE.....	28
5.1 Volba stroje	28
5.2 Volba nástrojů	28
5.3 Výrobní postup	30
5.4 Návodka.....	31
6 MĚŘENÍ.....	36
6.1 Měřicí protokol trnu	36
7 DISKUZE	38
ZÁVĚR.....	39
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	40

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	43
SEZNAM PŘÍLOH.....	45

ÚVOD

Ačkoliv historie soustružení sahá až do doby kamenné, je to i v dnešní době dynamicky se vyvíjející technologie. Tento fakt je podpořen tím, že se jedná o jednu z nejběžněji používaných technologií jak pro sériovou, tak kusovou výrobu. Hlavním cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a provést výrobu zadané rotační součásti (Obr.1).



Obr. 1 Trn.

Aby byl poskytnut patřičný teoretický základ, popisuje první teoretická část bakalářské práce základní pojmy související s technologií soustružení. Část textu je věnována i rozměrovým a geometrickým tolerancím a jejich vyhodnocování. Závěr teoretické části se věnuje přehledu typů soustruhů a soustružnických nožů.

Praktická část bakalářské práce vznikla ve spolupráci s firmou Meopta - optika, s.r.o. sídlící v Přerově. Meopta je tradiční výrobce široké škály optických přístrojů. Výrobní portfolio Meopty tvoří optické sestavy pro průmyslové aplikace (polovodičový průmysl), lékařství sportovní a vojenská optika nebo kinematografické projektory. Jednou z možných cest pokroku pro firmu je aplikace kompozitních materiálů. Touto problematikou se zabývá ve své bakalářské práci student Adam Tellinger, který v rámci své bakalářské práce navrhl montážní trn sloužící pro přesné lepení kompozitních a kovových součástí [1].

Cílem této bakalářské práce bylo připravit pro tento trn technologický postup, provést samotnou výrobu a tu na základě měření vyhodnotit.

1 CHARAKTERISTIKA PROCESU SOUSTRUŽENÍ

1.1 Základní pojmy








Základní prvky při obrábění tvoří obráběcí stroje, nástroje a obrobky. Soustružení je třískové obrábění vnějších nebo vnitřních rotačních ploch (kuželové plochy, válcové plochy). Hlavním pohybem je rotace a koná ho obrobek, vedlejší pohyb je posuvný přímočarý, který je vykonáván nástrojem (soustružnický nůž). Stroje při soustružení nazýváme soustruhy (Obr. 2) a nástroje nazýváme soustružnické nože. Na soustruzích lze řezat závity, vrtat, vyvrtávat, vystružovat, vroubkovat [2].



Obr. 2 Soustruh SN 32 [3].

1.1.1 Tříska

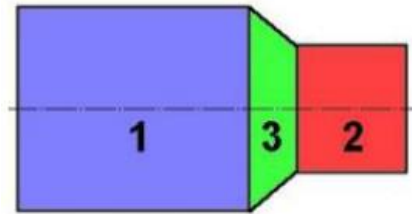
Tříska vzniká zařezáváním se řezného klínu do obráběného materiálu, kde dochází k plastické deformaci a k odtrhnutí třísky. Tříska je odpad z obráběného materiálu. Měla by mít co nejmenší objem kvůli manipulaci při odvodu ze stroje a dalšího zpracování. Pokud je tříska dlouhá plynulá, hrozí nebezpečí namotání se třísky na nástroj. Tvar třísky závisí na vlastnostech obráběného materiálu a na jeho obrobitelnosti, dále na geometrii obráběcího nástroje a jeho břitě, také závisí na materiálu nástroje a řezných podmínkách. Optimální tvar třísky je krátká šroubovitá tříska (elementární) (Obr. 3) [4].

TVAR TŘÍSEK		W	TVAR TŘÍSEK		W
	STUŽKOVÉ DLOUHÉ	400 a více		SPIRÁLOVÉ PLOCHÉ	10 až 20
	STUŽKOVÉ SMOTANÉ	300 až 400		OBLOUKOVITÉ SPOJENÉ	8 až 10
	VINUTÉ DLOUHÉ	80 až 150		ELEMENTÁRNÍ	4 až 6
	VINUTÉ KRÁTKÉ	40 až 60			

Obr. 3 Tvar třísek [4].

1.1.1 Základní plochy na obrobku

Z geometrického hlediska je obrobek charakterizován obráběnou plochou, obrobenou plochou a přechodovou plochou (Obr. 4). Obráběná plocha je plocha, která má být obráběna. Obrobená plocha je výsledná plocha obrobku. Přechodová plocha vzniká při obrábění působením ostří nástroje během zdvihu nebo otáčky. Důležitá je kvalita obrobené plochy, což je drsnost povrchu a stav povrchové vrstvy [5].

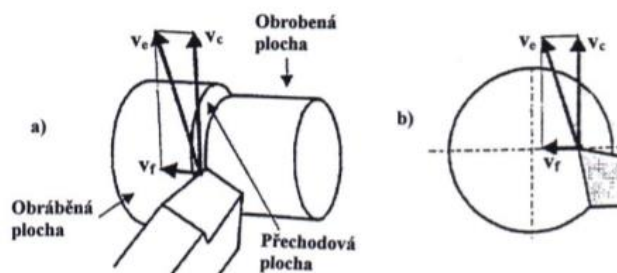


Obr. 4 Základní plochy na obrobku [5].

1 – obráběná plocha, 2 – obrobená plocha, 3 – přechodová plocha

1.1.2 Řezná rychlost

Celková rychlost řezného pohybu je složena z řezné rychlosti v_c a z rychlosti posuvové v_f (Obr. 5).



Obr. 5 Směry řezné rychlosti při soustružení [6]:

a) podélné soustružení, b) čelní soustružení.

1.1.3 Upínání obrobků

Při výběru upínání se zohledňuje tvar, rozměry a požadovaná přesnost obrobku dále závisí na druhu soustruhu. Upnutí obrobku musí být jednoduché, rychlé a musí obrobek pevně držet.

Upínání do sklíčidla

Upínání do sklíčidla (Obr. 6) se rozděluje na tříčelist'ová sklíčidla a čtyřčelist'ová sklíčidla. Do tříčelist'ového sklíčidla se upíná válcový nebo šestihranný materiál a do čtyřčelist'ového sklíčidla se upíná čtyřhranný materiál. V případě delšího vysunutí obrobku se obrobek podepře koníkem s hrotem kvůli zlepšení stability a přesnosti [7].



Obr. 6 Tříčelist'ové sklíčidlo [7].

Upínání mezi hroty

Výhodou upínání obrobku mezi hroty (Obr. 7) je, že je možno celou součást obrobit na jedno upnutí. Obrobek je upnut z jedné strany pomocí čelního unašeče a na druhé straně pomocí otočného hrotu od koníku. Hroty se upínají do pinoly koníku a vřetene pomocí Morse kuželu [7, 8].



Obr. 7 Upínání mezi hroty [8].

Upínání na lící desku

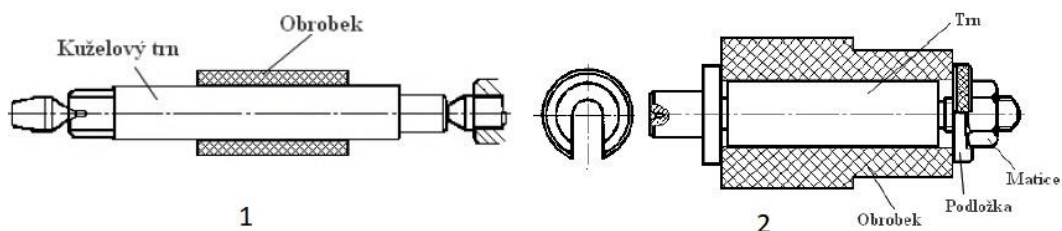
Upínání na lící desku (Obr. 8) se používá pro upínání velkých průměrů obrobků. Vždy při upnutí obrobku se musí obrobek vystředit pomocí číselníkového úchylkoměru. Na upínací desce se nachází čtyři čelisti, s kterými se dá volně pohybovat nezávisle na sobě. Dále může být obrobek upevněn do drážek na lící desce pomocí šroubů [5].



Obr. 8 Upínací lící deska [7].

Upínání na upínací trn

Upínání na upínací trn (Obr. 9) se používá jen tehdy, když potřebujeme, aby díra byla přesně centrická vůči plášti obrobku. Upínací trny jsou lehce kuželovité a jejich průměr je skoro stejný jako průměr díry obrobku. Obrobek se na kuželovitý trn narazí a následně je obráběn, anebo je v trnu kuželová vložka, která je rozříznutá na třech místech a ta se roztahuje pomocí matice. Dále máme závitové trny. Provedení trnu je podobné normálnímu soustružnickému trnu. Rozdíl je v tom, že má závitový trn na povrchu mírně kuželový závit. Nevýhodou je obtížná demontáž trnu [7,9].



Obr. 9 Kuzelový trn (1), válcový trn (2) [7].

1.1.4 Řezné podmínky soustružení

Řeznými podmínkami se při obrábění rozumí řezná rychlost, posuv a hloubka řezu; viz vzorce (1,2). Řezné podmínky jsou ovlivněny materiálem výrobku, materiálem nástroje, geometrií břitu a strojem [10].

Řezná rychlost (obvodová rychlost)

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

Kde D [mm] je průměr obráběné plochy a n [ot/min] jsou otáčky obrobku.

Rychlost posuvu

$$v_f = f \cdot n \text{ [mm/min]} \quad (2)$$

Kde f [mm] je dráha posuvu a n [ot/min] jsou otáčky obrobku.

1.1.5 Tolerance

Tolerance je rozdíl mezi horním mezním rozměrem a dolním mezním rozměrem. Předepsané rozměry nejsou nikdy vyrobeny úplně přesně a kvůli tomu vzniká odchylka mezi předepsaným rozměrem a tím skutečně vyrobeným. Po případném měření může být stanovena velikost odchylky od požadovaného rozměrů. Velikost odchylky se musí pohybovat v povoleném rozmezí, které stanovuje zvolená tolerance. Rozměry, které na výkresu nemají uvedenou toleranci, musí být vyrobeny v určitých mezích, a to v jemné, která je označena písmenem f, střední značené písmenem m, hrubé značené písmenem c a velmi hrubé písmenem v.

Geometrická tolerance definuje geometrickou odchylku tvaru a polohy od skutečné.

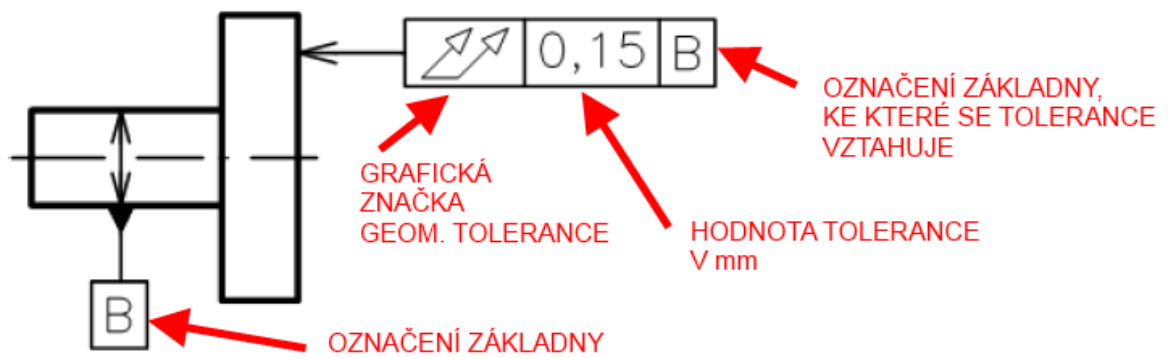
Vyhovující geometrická tolerance zajišťuje správnou funkci součásti. Geometrická tolerance se dělí do čtyř skupin, a to tolerance tvaru, směru, házení a umístění (Tab.1).

Lícování je vztah dvou součástí, které jsou uloženy s přesahem nebo s vůlí [11].

Existuje toleranční značení pro díru a pro hřídel, tolerance díry je označena velkým písmenem a tolerance hřídele malým písmenem (Obr. 10).

Jed- Notná díra	Základní úchytky hřídelů																				
	a	b	c	d	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	z	
H5							<u>H5</u> g4	<u>H5</u> h4	<u>H5</u> js4	<u>H5</u> k4	<u>H5</u> m4	<u>H5</u> n4									
H6						<u>H6</u> f6	<u>H6</u> g5	<u>H6</u> h5	<u>H6</u> js5	<u>H6</u> k5	<u>H6</u> m5	<u>H6</u> n5	<u>H6</u> p5	<u>H6</u> r5	<u>H6</u> s5						
H7			<u>H7</u> c8	<u>H7</u> d8	<u>H7</u> e7	<u>H7</u> e8	<u>H7</u> f7	<u>H7</u> g6	<u>H7</u> h6	<u>H7</u> js6	<u>H7</u> k6	<u>H7</u> m6	<u>H7</u> n6	<u>H7</u> p6	<u>H7</u> r6	<u>H7</u> s6	<u>H7</u> s7	<u>H7</u> t6	<u>H7</u> u6	<u>H7</u> x6	<u>H7</u> z6
H8			<u>H8</u> c8	<u>H8</u> d8	<u>H8</u> e8	<u>H8</u> f7	<u>H8</u> f8		<u>H8</u> h7	<u>H8</u> h8	<u>H8</u> js7	<u>H8</u> k7	<u>H8</u> m7	<u>H8</u> n7		<u>H8</u> s7		<u>H8</u> u8	<u>H8</u> x8	<u>H8</u> z8	
				<u>H8</u> d9	<u>H8</u> e9	<u>H8</u> f9		<u>H8</u> h9													
H9				<u>H9</u> d9	<u>H9</u> e8	<u>H9</u> e9	<u>H9</u> f8	<u>H9</u> f9	<u>H9</u> h8	<u>H9</u> h9											
H10				<u>H10</u> d10					<u>H10</u> h9	<u>H10</u> h10											
H11	<u>H11</u> a11	<u>H11</u> b11	<u>H11</u> c11	<u>H11</u> d11					<u>H11</u> h11												
H12		<u>H12</u> b12							<u>H12</u> h12												
uložení	s vůlí							přechodná					s přesahem								



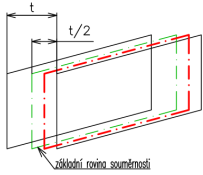




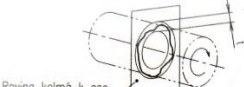

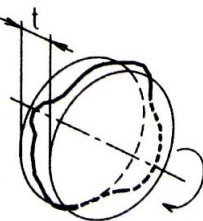
Obr. 10 Tabulka uložení jednotné díry [12].



Obr. 11 Popis geometrické tolerance na výkrese [13].

Tab. 1 Geometrické tolerance [13].

Geometrické tolerance	Značka	Tolerance
Přímosti		
Rovinnosti		
Kruhovitosti		
Válcovitosti		
Rovnoběžnosti		
Kolmosti		
Sklonu		
Polohy prvku		

Souososti		
Souměrnosti		
Tvaru profilu		
Tvaru plochy		
Kruhové házení		
Celkového házení		

1.1.6 Metody měření tolerancí

Souřadnicové měřicí stroje

Souřadnicové měřicí stroje (Obr. 12) jsou nejuniverzálnější, lze na nich měřit většina geometrických tolerancí. Hlavní výhodou souřadnicového měřicího stroje je možnost zvolení počátku souřadného systému kdekoli v prostoru měřicího rozsahu a vyhodnocovat souřadnice ostatních nasnímaných bodů k určenému počátku. Další výhodou představuje rychlost měření a rychlost vyhodnocování výsledků. Dále také elektronický výstup z měření umožňující další zpracování. Tyto stroje se rozdělují na jednosouřadnicové, dvousouřadnicové a na třísouřadnicové měřicí stroje. Nejvíce se používají v leteckém a automobilním průmyslu. [14].



Obr. 12 3D souřadnicový měřicí přístroj [15].

Komunální měřidla

Komunální měřidla patří mezi nejjednodušší měřidla, jsou určeny hlavně k měření délek. Komunální měřidla jsou levná a jejich používání je jednoduché a jsou přenosná. Jejich přesnost je ve srovnání se souřadnicovými stroji nižší a jsou vhodné především pro jednoduché součásti bez tvarových ploch s vysokou přesností. K dispozici máme posuvná měřidla (Obr. 13), (digitální, čelistové, výškoměry, hloubkoměry), mikrometrická měřidla (třmenový mikrometr, hloubkoměry, dutinoměry), číselníkové úchylkoměry (digitální i mechanické) [16].



Obr. 13 Digitální posuvné měřidlo s bezdrátovým výstupem dat [17].

Kruhoměry

Kruhoměry (Obr. 14) se používají na měření kruhovitosti. Důležité vlastnosti kruhoměru tvoří radiální házení vřetena, rovnoběžnost sloupu k ose vřetena, nízký šum sloupu a ramena, nízký šum vřetena a přesné skleněné stupnice na všech osách. Vyrábí se dva druhy kruhoměrů a to s rotujícím stolem a rotujícím měřícím zařízením [18].

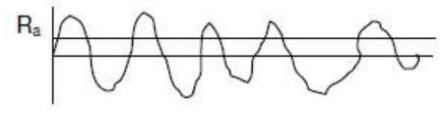
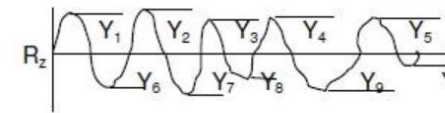
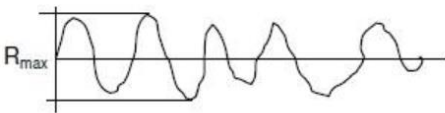


Obr. 14 Kruhoměr Rondcom Touch [19].

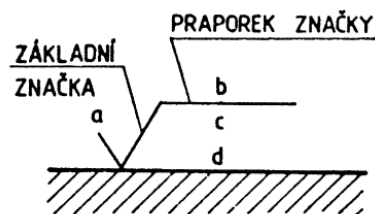
1.1.7 Drsnost

Drsnost je nerovnost, která vzniká při výrobě. Je ovlivněna technologií a technologickými podmínkami při výrobě součástí. Jednotky, ve kterých se drsnost měří, jsou mikrometry (μm). Základní parametry pro posuzování drsnosti (Obr. 15), [20,21]:

- a) R_a – Mezinárodně používaný parametr drsnosti je definován jako střední aritmetická odchylka, tedy průměrná hodnota z absolutních hodnot v jedné změřené délce.
- b) R_{max} – Parametr drsnosti znamená největší výšku profilu drsnosti a představuje součet výšky největší špičky profilu a hloubky největší prohlubně profilu
- c) R_z – Průměrná hloubka drsnosti je definována průměrnou hodnotou pěti hodnot z pěti jednotlivých vyhodnocovaných délek v rámci vyhodnocované délky.

<p>Aritmetická odchyška od profilu R_a</p>	<p>Aritmetický průměr absolutních hodnot skutečného profilu (používá se na rugotestech)</p>	
<p>R_z $R_z=(4-6)R_a$</p>	<p>Průměrná hodnota z absolutních hodnot 5 maxim a 5 minim profilu křivky $R_z=(Y_1+Y_2+...+Y_9+Y_{10})/5$ ($R_z = \text{asi } 4-6x R_a$)</p>	
<p>Maximální výška profilu R_{max}</p>	<p>rozdíl mezi maximem a minimem profilu drsnosti (R_{max} je asi 6x R_a)</p>	

Obr. 15 Základní pojmy drsnosti [21].



Obr. 16 Značka drsnosti na výkrese [22].

2 PŘEHLED SOUSTRUŽNICKÝCH STROJŮ

Soustruh je obráběcí stroj, který patří mezi nejdůležitější obráběcí stroje používané v průmyslu. Na soustruhu se obrábí obrobek na potřebný rotačně souměrný tvar.

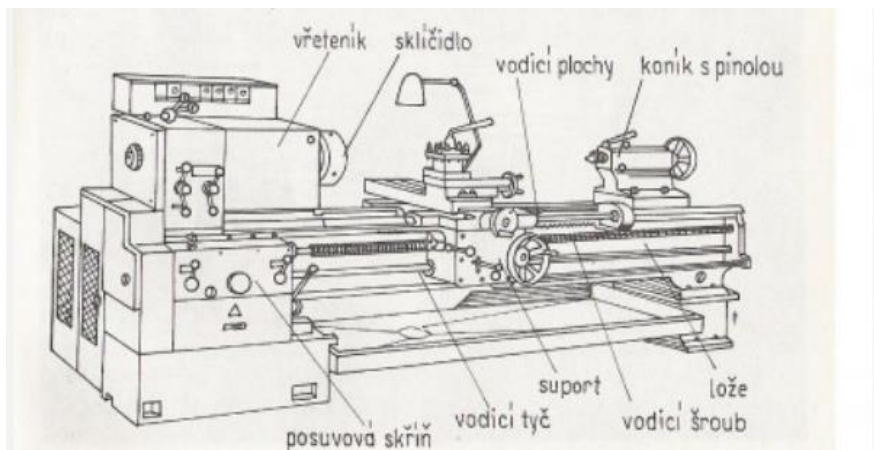
2.1 Dělení soustruhů podle konstrukce a použití na:

2.1.1 Hrotové soustruhy (univerzální)

Hrotové soustruhy jsou určeny k obrábění vnitřních a vnějších rotačních ploch obrobků, obrábění kuželů, k řezání veškerých druhů závitů pomocí vodícího šroubu, dále k vrtání osových děr a upichování [24].

Obrobek je upnut do sklíčidla, mezi hroty nebo na trnech. Hrotové soustruhy se používají při kusové a malosériové výrobě [23].

Hlavní části hrotového soustruhu tvoří: vřeteník, sklíčidlo, vodící plochy, koník s pinolou, posuvová skříň, vodící tyč, suport, vodící šroub, lože (Obr. 17), (Tab. 2) [24].



Obr. 17 Hlavní části soustruhu [24].

Tab. 2 Hlavní části soustruhu [24].

Název	Popis
Vřeteník	hlavní částí vřeteníku je vřeteno, vřeteno přenáší kroučící moment a zachycuje radiální a axiální síly
Koník s pinolou	koník se používá k podepření dlouhých obrobků, ve válcové dutině koníku je hrotová objímka, hrotovou objímku lze podle potřeby vysouvat a zasouvat
Posuvová skříň	funkcí posuvové skříně je pohyb suportu s osou obrábění, otáčí se pohybovým hřídelem nebo vodícím šroubem (soustružení závitů)
Vodící tyč	slouží k odvození příčného anebo podélného posuvu
Suport	zajišťuje příčný a podélný posuv nože, skládá se z podélných saní se suportovou skříní, dále z příčných saní, na kterých jsou přidělaný nožové saně (lze je natáčet pomocí točnice), dále na nožových saních je umístěna nožová hlava (do nožové hlavy upínáme nástroje)
Vodící šroub	používá se při řezání závitů
Lože	vyrábí se ze šedé litiny, musí být tuhé a musí umožnit odchod třísky, zachycuje chvění soustruhu, upínací síly a řezné síly

2.1.2 Revolverové soustruhy

Soustruhy revolverové (Obr. 18) se používají při malosériové výrobě. Na jedno upnutí se může provést více operací kvůli většímu počtu nástrojů. Nástroj se mění otočením revolverové hlavy. Předností revolverových soustruhů oproti hrotovým je možnost obrábět více nástroji naráz (příčné suporty a revolverová hlava) [24].



Obr. 18 Dvouosý CNC soustruh revolverový [25].

2.1.3 Čelní soustruhy

Čelní soustruhy (Obr. 19) se používají pro obrábění obrobků velkých průměrů a menších délek. Tyto soustruhy většinou nemívají koníka a obrobek se upíná na lící desku s radiálními drážkami a představitelnými čelistmi. Na čelních soustruzích jsou nejčastěji obráběny přírubové tvary. Tyto soustruhy používáme při malosériové výrobě [24].



Obr. 19 Čelní soustruh [26].

2.1.4 Svislé soustruhy (karusely)

Svislé soustruhy (Obr. 20) se používají při výrobě středních až větších obrobků v kusové nebo malosériové výrobě. Tyto obrobky jsou využívány v železničním, leteckém, lodním a zbrojním průmyslu. Karusely rozlišujeme na jednostojanové, které jsou menší a dvoustojanové. Hlavní částí karuselu tvoří otočný stůl, na který se upíná obrobek, stojany a příčníky se suportem [23].



Obr. 20 Soustruh svislý – karusel SK 12 CNC [27].

2.1.5 Poloautomatické soustruhy

Poloautomatické soustruhy mají automatický pracovní cyklus, ale materiál je upínán ručně. Jsou používány pro středně sériovou a velkosériovou výrobu [23].

2.1.6 Automatické soustruhy

Tyto soustruhy automaticky opakují pracovní cyklus po obrobení součásti i s automatickým podáním a upnutím materiálu. Materiál bývá většinou tyčový. Uplatnění těchto soustruhů je využíváno ve velkosériové nebo hromadné výrobě [24].

2.1.7 Číslicově řízené soustruhy

Číslicově řízené soustruhy označujeme NC (Numeric Control). Tyto soustruhy jsou ovládané pomocí papírové děrné pásky, magnetické pásky nebo vnitřní paměti stroje. V současné době byly NC stroje nahrazeny lepšími stroji, které se označují CNC (computer numeric control). Tyto stroje mají v sobě počítač, který ovládá pohyby součásti a nástroje, výměnu nástroje a změnu rezných podmínek [28].

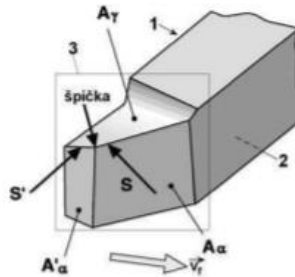
3 SOUSTRUŽNICKÉ NÁSTROJE

Nástroje, které se používají při soustružení se nazývají soustružnické nože. Soustružnické nože se upínají do nožové hlavy a upevňují se pomocí šroubů.

3.1 Základní pojmy

3.1.1 Části soustružnického nože

Části soustružnického nože (Obr. 21) se rozdělují na upínací část, základnu a řeznou část.



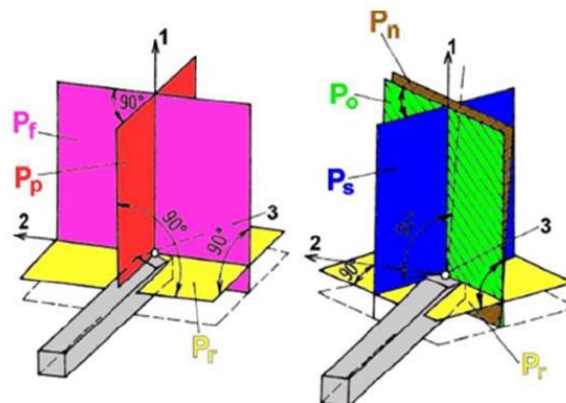
Obr. 21 Části soustružnického nože [29].

1 – upínací část, 2 – základna, 3 – řezná část

- Upínací část – tato část slouží k upínání do obráběcího stroje
- Základna – slouží pro umístění a polohování nástroje při výrobě a ostření
- Řezná část – na této části jsou prvky utvářející třísku [29]:
 - Špička nástroje – leží mezi hlavním a vedlejším ostřím, špička je zaoblená, sražená nebo přímá
 - Čelo nástroje (A_γ) – po této ploše odchází tříska
 - Hřbet nástroje (A_α) – plocha přikloněná k přechodové ploše (hlavní ostří) nebo k obrobené ploše (vedlejší ostří)
 - Hlavní ostří (S) – vytváří přechodovou plochu na obrobku
 - Vedlejší ostří (S') – na obrobené ploše provádí dokončovací práci

3.1.2 Nástrojové roviny a nástrojové úhly

Roviny, které se využívají v nástrojové souřadnicové soustavě, jsou nástrojové roviny (Obr. 22). Jsou uplatňovány při výrobě, konstrukci a kontrole nástroje.



Obr. 22 Nástrojové roviny nože [29].

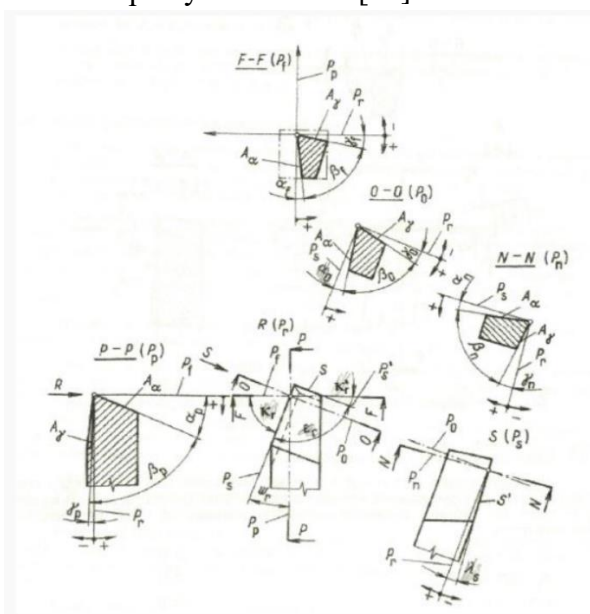
1 – směr vektoru hlavního řezného pohybu, 2 – směr posuvového pohybu, 3 – uvažovaný bod ostří

Tab. 3 Nástrojové roviny [29].

Značení roviny	Barva roviny	Popis
P_f	růžová	boční rovina
P_p	červená	zadní rovina
P_n	hnědá	normálová rovina
P_r	žlutá	základní rovina
P_o	zelená	ortogonální rovina
P_s	modrá	rovina ostří

3.1.3 Nástrojové úhly

Nástrojové úhly (Obr. 23) mají index shodný s nástrojovou rovinou, ve které jsou znázorněny. Platí, že součet úhlů hřbetu, břitu a čela je roven 90° a úhel nastavení hlavního ostří, úhel nastavení vedlejšího ostří a úhel špičky roven 180° [30].


 Obr. 23 Nástrojové úhly v rovinách P_r , P_f , P_p , P_s , P_o , P_n na pravém soustružnickém noži [30].

Tab. 4 Nástrojové úhly [30].

Značení	Název	Popis
α	Úhel hřbetu	Mezi řeznou plochou a nožem ovlivňuje velikost tření. Čím menší je tento úhel tím větší je tření.
β	Úhel břitu	Leží mezi úhlem čela a úhlem hřbetu nože. Čím menší je úhel břitu tím je menší odpor při oddělování třísky.
γ	Úhel čela	Čím větší úhel čela tím je lepší odvod třísky po čele.
κ	Úhel nastavení hlavního ostří	Tímto úhlem ovlivníme tloušťku třísky.
κ'	Úhel nastavení vedlejšího ostří	Ovlivňuje drsnost opracované plochy.
ϵ	Úhel špičky	
λ	Úhel sklonu hlavního ostří	

3.1.4 Vyměnitelné břitové destičky

Vyměnitelné břitové destičky jsou mezinárodně sjednoceny normou ISO (Obr. 24, Obr. 25), ale také se na trhu najdou i výrobci vyměnitelných břitových destiček neodpovídajících žádné normě. Břitové destičky jsou vyráběny ze slinutých karbidů (SK), z rychlořezné oceli nebo řezné keramiky. Při použití VBD není po otupení břitu potřeba vyměnit celý nástroj. VBD lze vyměnit nebo pootočit a pokračovat v obrábění [31].

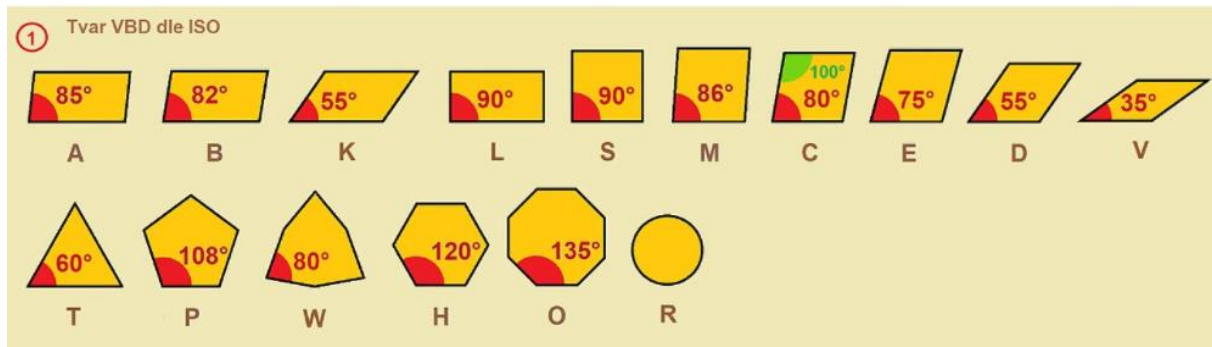
Označení vyměnitelných břitových destiček

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T	N	U	N	22	04	08			
T	N	M	G	22	04	08	E	N	M

Obr. 24 Označení vyměnitelných břitových destiček [32].

1 – tvar destičky, 2 – úhel hřbetu, 3 – tolerance, 4 – provedení, 5 – délka ostří, 6 – tloušťka, 7 – rádius špičky, 8 – provedení řezné hrany, 9 – směr posuvu, 10 – utvařeč

Tvary VBD

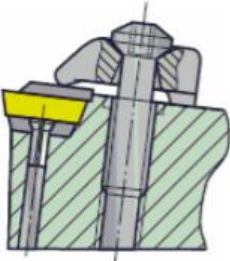
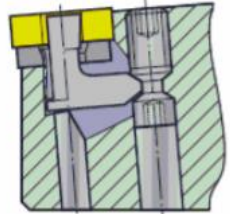
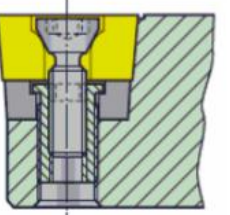
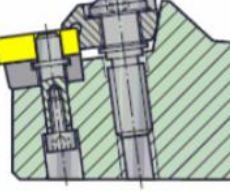
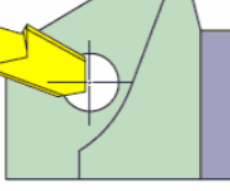


Obr. 25 Tvar VBD podle ISO [33].

Systémy upínání VBD

Výměnné břitové destičky se upínají do tělesa obráběcího nástroje (Tab. 5). Většina destiček se dá otáčet a je možné využít několik břitů. Upínací systém určuje velikost obrobku a druh operace [34].

Tab. 5 Systémy upínání VBD [34].

Název	Popis	Obrázek
ISO C	Destička je upevněna upínkou a dotažena šroubem	
ISO P	Destička upnuta pomocí vnitřní páky, používáme k upnutí destičky se záporným úhlem.	
ISO S	Destička je upnuta šroubem, který prochází dírou v destičce, využívá se u menších nožů.	
ISO M	Destička je nasazena na čep a je k němu přitlačena upínkou, která přidrzuje destičku i shora.	
ISO X	Pod označením X jsou speciální systémy upnutí. Tento typ používáme pro zapichování a upichování.	

3.1.5 Značení nožů s vyměnitelnou břitovou destičkou dle ISO

Norma ISO přiřazuje výměnné břitové destičce značící kód, skládající se z deseti znaků. Při běžném užití se používá jen sedm znaků. Význam znaků je dále popsán (Obr. 26, Obr. 27) [35].

Vnější nože



Obr. 26 Značení vnějších soustružnických nožů s VBD dle ISO [35].

1 – způsob upínání, 2 – tvar destičky, 3 – tvar nože, 4 – úhel hřbetu, 5 – směr řezu, 6 – výška držáku, 7 – šířka držáku, 8 – celková délka, 9 – velikost destičky, 10 – údaje výrobce

Vnitřní nože



Obr. 27 Označení vnitřních soustružnických nožů s VBD dle ISO [35].

1 – provedení držáku, 2 – průměr držáku, 3 – celková délka, 4 – způsob upínání, 5 – tvar destičky, 6 – tvar nože, 7 – úhel hřbetu, 8 – směr řezu, 9 – velikost destičky, 10 – údaje výrobce

3.2 Soustružnické nože

3.2.1 Rozdělení soustružnických nožů

Soustružnické nože patří mezi nejpoužívanější nástroje při soustružení. Rozdělujeme je z technologického hlediska na radiální nože, kotoučové nože, tangenciální nože, prizmatické nože [36].

Radiální nože

Radiální nože rozdělujeme na celistvé, s pájenou břitovou destičkou, s vyměnitelnými břitovými destičkami [36].

- Celistvé – Tělo nástroje a řezná část jsou jeden celek.
- S pájenou břitovou destičkou – Na tělo nástroje je připájená břitová destička.
- S vyměnitelnými břitovými destičkami – Do nožového držáku se upne vyměnitelná břitová destička pomocí upínacího systému ISO.

Kotoučové nože

Kotoučové nože se používají jako tvarové nože. Tyto nože se ostří na čele a proces se může několikrát opakovat a nezmění se funkční tvar nože. Profil nože se určuje v radiálním řezu nože většinou pro $\gamma_0 > 0$ [36].

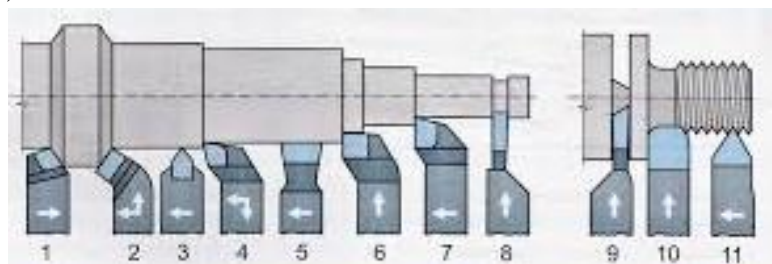
Tangenciální nože

Tangenciální nože se používají jako tvarové nože a nejčastěji se využívají v revolverových automatech. Při operaci dokončování se mění pracovní úhel ze záporných na pozitivní hodnoty [36].

Prizmatické nože

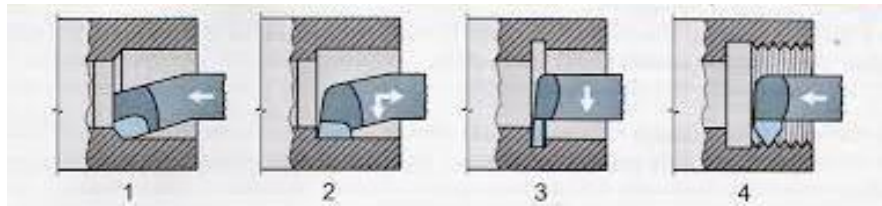
Prizmatické nože se používají pro soustružení vnějších tvarových ploch zapichováním. Profil nože se řeší pro jednotlivé uzlové body v rovině čela a dále v radiální rovině nože [36].

Nože se také rozdělují na pravé a levé, dále podle způsobu obrábění na vnější a vnitřní (Obr.28, Obr. 29).



Obr. 28 Soustružnické nože vnější [37].

1 - přímý ubírací nůž levý, 2 - ohnutý ubírací nůž pravý, 3 - hladicí nůž, 4 - rohový nůž, 5 - široký hladicí nůž, 6 - stranový ubírací nůž 90°, 7 - nůž na postranní osazení, 8 – zapichovací nůž, 9 – upichovací nůž, 10 – tvarový nůž, 11 – závitový nůž



Obr. 29 Soustružnické nože vnitřní [37].

1 – ubírací nůž, 2 – rohový nůž, 3 – zapichovací nůž, 4 – závitový nůž

3.2.2 Rozdělení podle materiálu

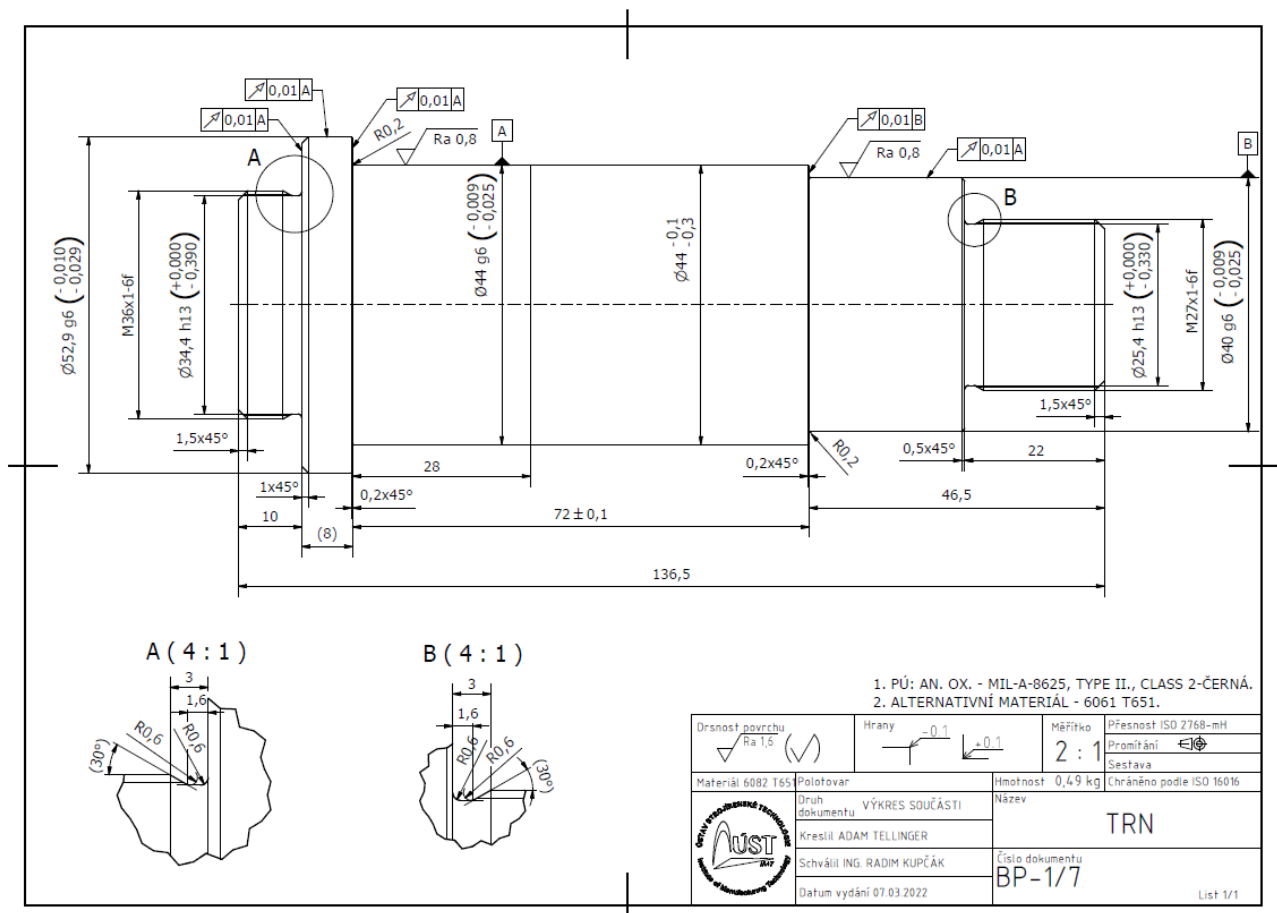
Soustružnické nástroje by měli mít dobré řezné vlastnosti a být tvrdší než obráběný materiál, mít dostatečnou pevnost a odolnost proti opotřebení třením. Nejpoužívanější materiály soustružnických nástrojů jsou slinuté karbidy, cermety, řezná keramika, kubický nitrid boru a diamant (Tab. 6).

Tab. 6 Rozdělení podle materiálů [38].

Název	Popis
Slinuté karbidy	<ul style="list-style-type: none"> - vyrábí se práškovou metalurgií - nejdůležitější složkou slinutých karbidů je tvrdá fáze (karbid wolframu) - jsou vyráběny z karbidu WC, Co v práškové formě - probíhá míchání práškové směsi, lisování, broušení, slinování
Cermety	<ul style="list-style-type: none"> - název vznikl složením dvou slov (keramika a kov) - tvrdá fáze cermetu je z nitridu titanu nebo karbidu titanu - jsou vhodné pro dokončovací operace s vysokými řeznými rychlostmi
Řezná keramika	<ul style="list-style-type: none"> - řezná keramika je velmi tvrdý řezný materiál snášející vysoké teploty - nevýhodou řezné keramiky je křehkost.
Kubický nitrid boru	<ul style="list-style-type: none"> - je umělý super tvrdý materiál, tvrdší je pouze diamant - vhodné pro obrábění tvrdých a abrazivních železných materiálů
Diamant	<ul style="list-style-type: none"> - diamant je nejtvrdší materiál - rozdělují se na polykrystalické a monokrystalické - každá třída diamantových materiálů může se vyrábět napařováním (CVD), nebo syntézou ultra vysoké teploty a tlaku - hlavní použití PKD je obrábění nebarevných kovů, slitin a kompozitních materiálů

4 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI

Zadanou součástí je montážní trn (Obr. 30), který slouží k přesnému zalepení kovových objímek ke karbonovému tubusu. Netolerované rozměry na výkrese jsou tolerovány dle ISO 2768-mH. Tolerance délkových rozměrů není složitá na výrobu (nejpřesnější tolerance je $\pm 0,1$). Dále je tolerance funkčních průměrů, která je zatolerována g6, a tato tolerance je přesnější, ale jedná se o běžně dosažitelný rozměr. Na funkčních čelech a průměrech je uvedena tolerance házení o toleranci 0,01. Je to poměrně přísné a klade to zvýšené nároky na kvalitu, tuhost a opotřebení stroje. Drsnost povrchu Ra 0,8 je soustružením běžně dosažitelná při použití vhodných řezných podmínek. Zvolený materiál zadané součásti byla zvolena hliníková slitina 6082 T6. Na výkrese zadané součásti je předepsán černý elox k vytvoření ochranné oxidové vrstvy.



Obr.30 Výkres trnu.

4.1 Technologičnost dílu

Výroba se provede na dvě upnutí. Vložená tyč se navrtá navrtávkem a poté se podepře koníkem. Jelikož máme k dispozici jenom jeden soustruh, tak se obrábí jedna strana trnu a poté se obrobek upíchně a povysune se tyč a obrábí se další kus. Na obrobení druhé strany obrobku se obrobek upne do závitového sklíčidla kvůli lepší přesnosti a poškození obrobku. Poté se obrábí druhá strana obrobku.

4.2 Volba polotovaru

Polotovár byl zvolen s návazností na rozměry zadané součásti. Jako polotovár byla zvolena tyč o průměru 60 mm dle vzorce (4) a materiálu 6082 T6 od firmy ALUPA s.r.o.

Přídavek na průměr:

$$p_d = \frac{5d_{smax}}{100} + 2 = \frac{5 \cdot 52,9}{100} + 2 = 4,645 \text{ mm} \quad (3)$$




Kde p_d [mm] je přídavek na průměr a d_{smax} [mm] je maximální průměr součásti

Průměr polotovaru:

$$D = d_{smax} + p_d = 52,9 + 4,645 = 57,545 \text{ mm} \quad (4)$$

Kde D [mm] je průměr polotovaru

Dle výpočtu průměru polotovaru volím průměr tyče 60 mm.

Název	D (mm)	Kč bez DPH/kg	Kg/m	Kč bez DPH/m	max L (mm)**	Čís. prof.	Norma	Sklad	Detail
Hliníková tyč kruhová pr. 55 6082 T6	55	210,00	6,573	1 380,33	6000	030022/1	EN 573-3 AW 6082 T6 EN 755-1,2,3	ok	
Hliníková tyč kruhová pr. 60-6082.T6	60	210,00	7,828	1 643,88	3000	803820	EN 573-3 AW 6082 T6 EN 755-1,2,3	ok	
Hliníková tyč kruhová pr. 65-6082.T6	65	210,00	9,186	1 929,06	3000	807001	EN 573-3 AW 6082 T6 EN 755-1,2,3	ok	

Obr. 31 Tabulka průměrů tyčí [39].

5 NÁVRH TECHNOLOGIE

Pro zadanou součást byla vybrána technologie obrábění na CNC stroji.

5.1 Volba stroje

Pro zadanou součást byl zvolen CNC soustruh STYLE SB 300 (Obr. 31), který je vhodný pro malosériovou výrobu. Stroj je plně uzavřen, takže tříska ani procesní kapalina se nedostanou mimo prostor stroje [40].



Obr.32 CNC soustruh STYLE SB 300 [40].

Tab. 7 Základní technické parametry CNC soustruhu STYLE SB 300 [38]

Stroj	STYLE SB 300	
Točný průměr nad ložem	mm	505
Točný průměr nad suportem	mm	318
Max. točný průměr	mm	350
Max. obráběná délka	mm	570/1000
Sklon	°	45
Hlavní vřeteno	STYLE SB 300	
Výkon motoru vřetena (S6)	kW	11 / 15
Ø materiálu skrze vřeteno	Ø mm	65
Max. kroutící moment hl.vřetena (S6)	Nm	718 / 1050(80)
Max. otáčky vřetena	rpm	6000

5.2 Volba nástrojů

Nástroje, které byly použity na výrobu trnu jsou zvoleny z katalogu Sandvik Coromant a jsou zapsány a zobrazeny v nástrojovém listu (tab. 8).

Tab. 8 Nástrojový list.

NÁSTROJOVÝ LIST				
Pozice:	Nástroj:	Název nástroje:	Označení nástroje:	Materiál:
T1		Držák nástroje	QS-SSDCR 2020 09C	HSS
		Výměnná břitová destička	SCGX 09 T3 08-AL H10	HF
T2		Držák nástroje	SCLCR 1616K 06- S	HSS
		Výměnná břitová destička	CCGX 06 02 02-AL H10	HF
T3		Navrtávák 2x60°	DIN333	HSS
T4		Držák nástroje	N123G30-21A2	HSS
		Výměnná břitová destička	N123G2-0300- 0004-TM 1125	5736101
T5		Držák nástroje	266RFA-1616-16	HSS
		Výměnná břitová destička	266RG- 16MM01F100E 1135	HC
T6		Držák nástroje	QD-NN2F33-21A	HSS
		Výměnná břitová destička	QD-NF-0250-0002- CM 1125	6427363

5.3 Výrobní postup

Potřebný postup pro výrobu trnu je navržen v tab. 9.

Tab. 9 Výrobní postup.

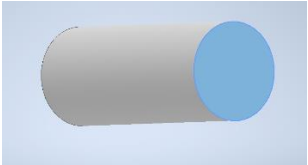
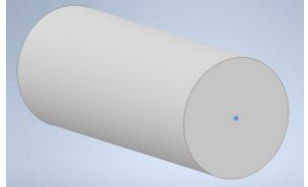
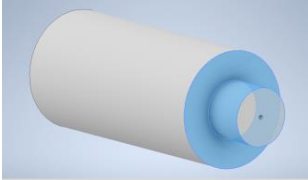
VÝROBNÍ POSTUP				
Číslo op. pořadové:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Dílna:	popis práce v operaci:	Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:
01/01	CNC soustruh STYLE SB 300	Obrobna	Vysunout tyč	
			Zarovnat čelo	T1
			Navrtat 2x60°	T3
			Podepřít koníkem	
			Soustružit $\varnothing 27$ v délce 22mm s přídávkem 0,84 mm	T2
			Soustružit $\varnothing 40$ g6 na délku 46,5mm s přídávkem 0,84 mm	T2
			Soustružit $\varnothing 44$ g6 na délku 118,5mm s přídávkem 0,84 mm	T2
			Soustružit $\varnothing 52,9$ g6 na délku 136,5mm s přídávkem 0,525 mm	T2
			Soustružit zápich (B)	T4
			Srazit hrany 1,5x45°, 0,5x45°, 0,2x45°(2x)	T2
			Soustružit závit M27x1 – 6f	T5
			Upíchnout díl s přídávkem 0,5mm	T6
01/02	CNC soustruh STYLE SB 300	Obrobna	Upnout na trn	
			Zarovnat čelo na délku 136,5mm	T1
			Soustružit $\varnothing 36$ v délce 10mm s přídávkem 0,84 mm	T2
			Srazit hranu 1,5x45°	T2
			Soustružit zápich (A)	T4
			Soustružit závit M36x1 – 6f	T5

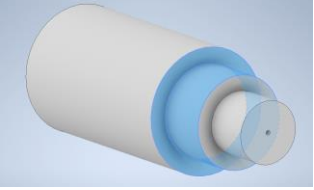
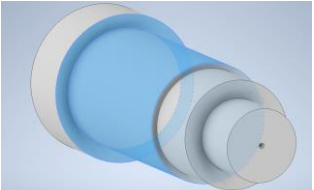
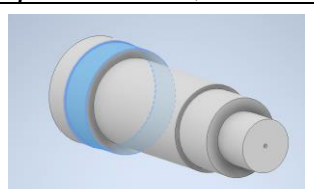
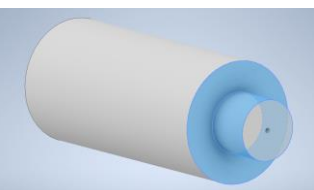
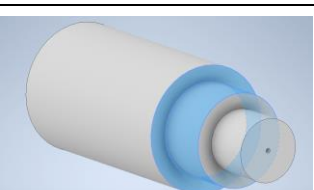
VÝROBNÍ POSTUP				
Číslo op. pořadové:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Dílna:	popis práce v operaci:	Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:
02/02		Nářaďovna	Měřit Ø40 g6, Ø44 g6, Ø52,9 g6	Zeiss Contura G2
			Měřit závity M27x1 – 6f, M36x1 – 6f	Závitový kalibr
			Kontrola házení	Kruhoměr Roundscan 55 HR

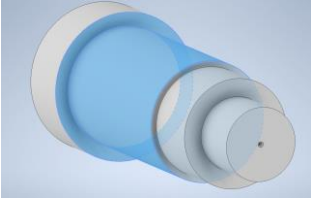
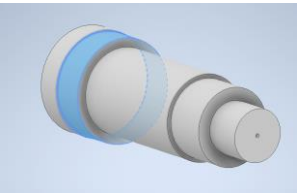
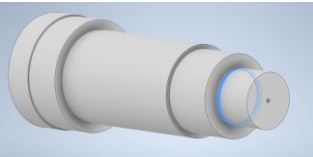
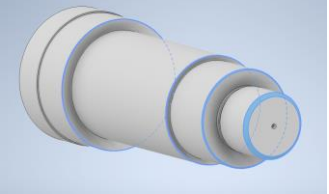
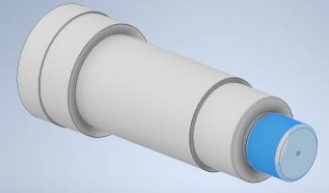
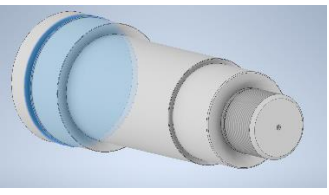
5.4 Návodka

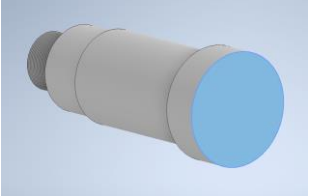
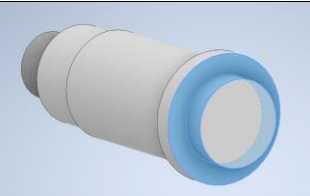
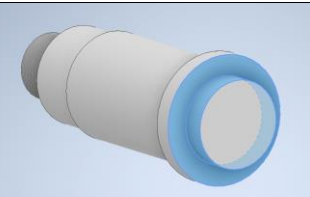

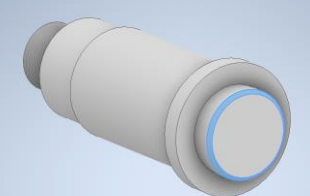
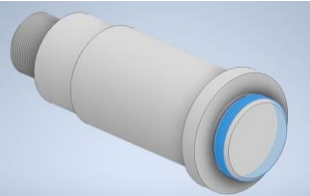
Pomocí programu Autodesk Inventor 2022 byly vytvořeny obrázky, které byly vloženy do tabulky (tab. 10), návodky a hodnoty byly převzaty ze Sandvik Coromant.

Tab. 10 Návodka.

NÁVODKA								
Operace	v_c	n	f	a_p	na_p	l	t_{as}	Nástroj
	[m·min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]	[min]	
Zarovnat čelo	1130	6000	0,354	0,500	1	30	0,02	T1
								
Navrtat 2x60°		6000						T4
								
Soustružit d27 v délce 22mm – s přídávkem 0,84mm	1090	6000	0,120	0,979	16	22	0,5	T2
								

Operace	v_c	n	f	a_p	na_p	l	t_{as}	Nástroj
	[$m \cdot min^{-1}$]	[min^{-1}]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]	[min]	
Soustružit d40 g6 na délku 46,5mm – s přídávkem 0,84 mm 	1100	6000	0,120	0,916	10	24,5	0,35	T2
Soustružit d44 g6 na délku 118,5mm – s přídávkem 0,84 mm 	1100	6000	0,120	0,895	8	72	0,83	T2
Soustružit d52,9 g6 na délku 136,5mm – s přídávkem 0,525 mm 	1100	6000	0,120	0,903	3	8	0,03	T2
Soustružit d27 v délce 22mm - dokončování 	509	6000	0,12	0,84	1	22	0,03	T4
Soustružit d40 g6 na délku 46,5mm - dokončování 	754	6000	0,075	0,84	1	24,5	0,05	T4

Operace	V_c	n	f	a_p	na_p	l	t_{as}	Nástroj	
	[m·min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]	[min]		
Soustružit d44 g6 na délku 118,5mm - dokončování		829	6000	0,075	0,84	1	72	0,16	T4
Soustružit d52,9 g6 na délku 136,5mm - dokončování		997	6000	0,075	0,525	1	8	0,03	T2
Soustružit zápich (B)		1510	6000	0,120	3	1	0,8	0,02	T4
Srazit hrany 1,5x45°, 0,5x45°, 0,2x45° (2x)		6000							T3
Soustružit M27x1 - 6f		326	3840	1	4	1	22	0,03	T6
Upíchnout díl s přídávkem 0,5mm		1510	6000	0,1	3	1	30	0,06	T5

Operace	v_c	n	f	a_p	na_p	l	t_{as}	Nástroj
	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	$[-]$	$[mm]$	$[min]$	
Zarovnat čelo na délku 136,5mm								
	1130	6000	0,354	0,5	1	30	0,02	T1
Soustružit d36 v délce 10mm – s přídávkem 0,84 mm								
	1100	6000	0,12	0,93	12	10	0,2	T2
Soustružit d36 v délce 10mm - dokončování								
	679	6000	0,075	0,84	1	10	0,02	T2
Soustružit zápich (A)								
	1510	6000	0,12	3	1	0,8	0,02	T5
Srazit hranu 1x45°(2x)								
		6000						T2
Soustružit závit M36x1-6f								
	326	2880	1	4	1	10	0,02	T5

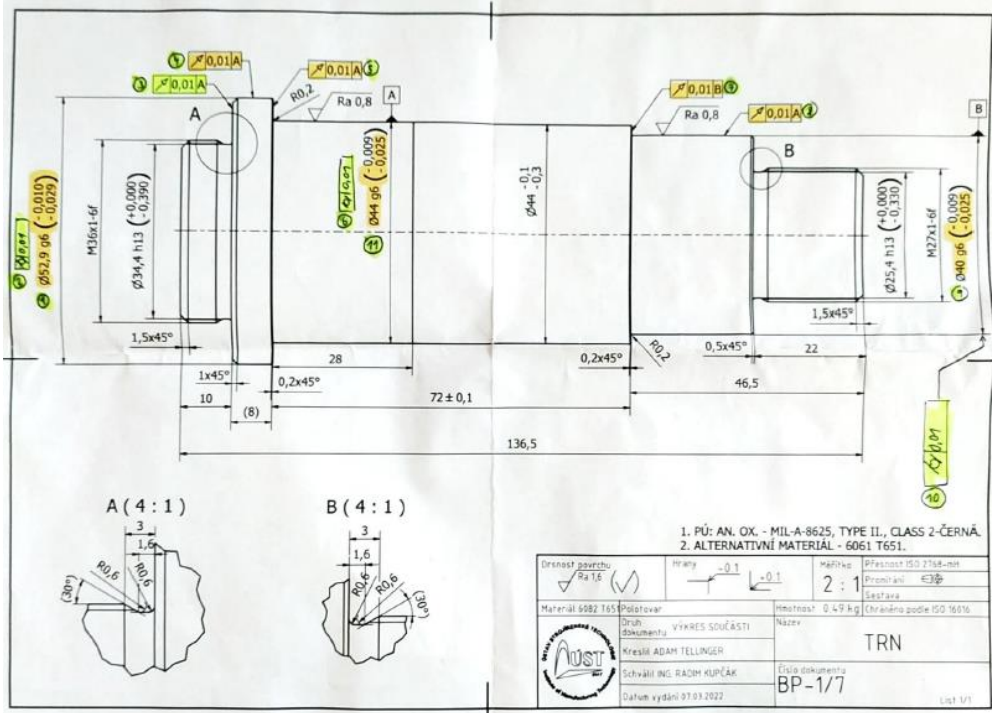
Technologický postup včetně řezných podmínek byl zpracován na základě parametrů stroje a zvolených nástrojů. Při návrhu se ukázal jako limitující faktor maximální otáčky vřetena soustruhu. Po diskuzi s technologi zodpovědnými za výrobu bylo rozhodnuto, že pro samotnou výrobu bude značně snížena řezná rychlost, čímž dojde k výraznému snížení otáček. Vzhledem k tomu, že je stroj převážně využíván na kusovou výrobu přesných dílů, není vysoká výrobnost hlavním kritériem. Proto byla reálná výroba provedena dle zvyklostí obsluhy v rozmezí 1200 až 2000 ot/min. Posloupnost operací i způsob upínání byl dodržen. Autorem navrhovaný technologický postup by našel lepší využití v sériové výrobě, kde by byly kladeny vyšší nároky na strojní čas.

6 MĚŘENÍ

S ohledem na fakt, že se jedná o montážní přípravek, jehož přesnost ovlivní přesnost výsledného produktu, byl jeden z požadavků zadavatele neměřit rozměry pomocí GO/noGO kalibrů, ale takovou metodou měření, která reálné hodnoty změří s přesností na jednotky mikrometrů.

6.1 Měřicí protokol trnu

Na Obr. 33 jsou označeny pozice měření a zvýrazněny tolerance trnu.



Obr.33 Výkres s označením k měření.

Tab. 11 Naměřené hodnoty

Číslo kusu		1	2	3	4	5
Pozice						
1	Ø52,9 g6	52,888	52,887	52,886	52,893	52,888
2	válcovitost	0,002	0,002	0,002	0,005	0,003
3	házení	0,007	0,004	0,004	0,003	0,004
4	házení	0,003	0,002	0,002	0,005	0,003
5	házení	0,002	0,002	0,002	0,004	0,002
6	válcovitost	0,003	0,005	0,004	0,009	0,006
7	házení	0,002	0,004	0,002	0,003	0,003
8	házení	0,005	0,004	0,003	0,011	0,006
9	Ø40 g6	39,981	39,984	39,982	39,983	39,984
10	válcovitost	0,005	0,005	0,005	0,014	0,007
11	Ø44 g6	43,983	43,981	43,981	43,989	43,983

Měření tolerancí průměrů se provádělo na 3D měřidle Zeiss Contura G2 a na kruhoměru Formline Roundscan 55 HR se měřila tolerance házení. Při kontrole měření bylo zjištěno, že všechny kusy byly správně vyrobeny kromě kusu číslo čtyři. Chybně vyrobené tolerance jsou označeny červenou barvou.



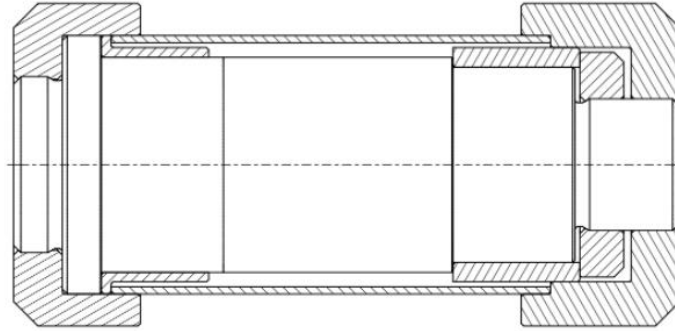
Obr. 34 Zeiss Contura G2.



Obr. 35 Formline Roundscan 55 HR.

7 DISKUZE

Na základě měření můžeme říci, že výroba byla úspěšná. Z pěti vyrobených kusů byl jeden kus vyroben chybně. Při výrobě se nevyskytly žádné zásadní problémy. O využití trnu při výrobě lepených vzorků (Obr. X) pojednává bakalářská práce Adama Tellingera s názvem Přesné lepení kompozitních materiálů.



Obr. 34 Sestava pro lepení.

Vzhledem k tomu, že se jednalo o prototypovou výrobu byl materiál a přesnost trnu dostačující. Přesnosti dosažené při lepení by ale byly lepší, kdyby byl trn z kalené oceli a válcové průměry by byly broušené. To by ale vyžadovalo jinou volbu nástrojů a řezných podmínek a do technologického postupu by přibyla operace broušení. Další zlepšení přesnosti by bylo dosaženo v případě, že by při výrobě objímek, které se na trnu ustavují, docházelo k pasování objímek na trn s co nejmenší vůlí.

ZÁVĚR

Teoretická část této bakalářské práce přináší přehled technologie soustružení, vysvětluje základní pojmy související s touto technologií a uvádí rozdělení soustruhu a soustružnických nožů. Část rešerše se zaměřuje i na rozměrové a geometrické tolerance a na způsoby jejich využívání. S ohledem na výše popsané může tato bakalářská práce přinést čtenářům bez předchozích zkušeností se soustružením úvod do této problematiky a odrazový můstek pro další studium.

Praktická část měla za cíl návrh technologie výroby zadaná součásti. Tou je montážní trn, který slouží pro přesné lepení kovových objímek ke karbonovému tubusu. Na základě dodané výkresové dokumentace byla zvolena technologie, nástroje a navržen technologický postup. Výroba probíhala v kooperaci s firmou Flídr metal s.r.o., se kterou byl technologický postup konzultován. Na základě konzultace s firmou byly při samotné výrobě upravené řezné podmínky dle zvyklostí ve firmě. Autorem navrhované řezné podmínky využívaly maximální otáčky stroje, což bylo v rozporu s obvyklým postupem firmy, která daný soustruh využívala na kusovou výrobu a dle interních zvyklostí obrábí maximálně při 2000 ot/min.

Samotná výroba proběhla bez závažných kombinací, vyrobená minisérie čítala 5 kusů. Na základě požadavků zadavatele bylo nutné, aby výstupem kontroly kusů byl protokol uvádějící reální hodnoty jednotlivých měření rozměrů s tolerancí g6 a geometrických tolerancí s přesností $\pm 0,001$ mm. Proto byly rozměry g6 měřeny na 3D souřadnicovém zařízení Zeiss Contura G2 a házení na kruhoměru Roundscan 555 HR. Výsledky ukázaly, že jeden z pěti kusů byl vyroben jako zmetek.

V závěru práce proběhlo zhodnocení a diskuze nad možným dalším postupem navazujícím na tuto práci.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Meopta* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.meopta.com/cz/>
2. *Základní pojmy* [online]. [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/lekce1.htm>
3. SN32. *Strojimport a.s. Praha* [online]. [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.strojimport.cz/maschinen/univerzalni-hrotovy-soustruh-sn-32/>
4. Vznik třísky a její druhy. *ELUC* [online]. [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1190>
5. Základní plochy na obrobku. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část* [online]. 2003 [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf
6. Řezná rychlost. *VÝROBNÍ TECHNOLOGIE II* [online]. [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/VyrobniTechnologie_II.pdf
7. Upínání obrobků. *ELUC* [online]. [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1222>
8. *Upínání mezi hroty* [online]. [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <http://albaprecision.cz/cz/portal/novinky/neidlein-unaseni-obrabeni-na-jedno-upnuti-1847.htm>
9. *Závitové trny* [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/zavitove-trny-pro-upinani-obrobku/>
10. Řezné podmínky. *ELUC* [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1202>
11. Tolerance a lícování-Tolerance a lícování. *ELUC* [online]. [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1091>
12. Tabulka uložení jednotné díry. *ELUC* [online]. [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1095>
13. Geometrická tolerance na výkrese. *E-konstruktor* [online]. [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/geometricke-tolerance>
14. Souřadnicové měřicí stroje. *ELUC* [online]. [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1111>
15. 3D souřadnicový měřicí přístroj. *Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích* [online]. [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://www.vstecb.cz/3d-souradnicovy-merici-pristroj-1603-htm/>
16. Komunální měřidla. *ELUC* [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1116>
17. Digitální posuvné měřítko s bezdrátovým výstupem dat. *Jirka a spol.* [online]. [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://www.meridla-jirka.cz/product/digitalni-posuvne-meritko-s-bezdratovym-vystupem-dat-1>
18. Kruhoměr. *Accretech* [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.accretech.eu/cs/produkty/prumyslova-merici-technika/pristroje-pro-mereni-tvaru/rondcom-touch/>
19. Kruhoměr Rondcom Touch. *PRIMA BILAVČÍK, s.r.o.* [online]. [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://www.merici-pristroje.cz/kruhomer-rondcom-touch/>

-
20. *Charakteristické veličiny drsnosti povrchu* [online]. [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.accretech.eu/cs/mereni-struktury-povrchu/>
 21. *Drsnost povrchu* [online]. [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: https://www.proinex.cz/cs/blog/10_mereni-drsnosti-povrchu
 22. *Drsnost povrchu* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: *Drsnost povrchu* [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <http://eduka.spaco.cz/wp-content/drsnost-povrchu.pdf>
 23. Rozdělení soustruhů. *Soustružení* [online]. [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/lekce1.htm>
 24. Hlavní části soustruhu. *TUMLIKOVO* [online]. [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/druhy-soustruhu/>
 25. Dvouosé CNC soustruhy revolverové. *Profika.cz* [online]. [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.profika.cz/cnc-stroje-kategorie/dvouose-cnc-soustruhy-revolverove>
 26. Čelní soustruh. *Poziadavka* [online]. [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.poziadavka.sk/ponuky/ponuka-102967/Celni-soustruh>
 27. Soustruh svislý - karusel. *Exapro* [online]. [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.exapro.cz/-sk-12-cnc-p80329039/>
 28. Číslicově řízené stroje. *Wikipedie* [online]. [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8C%C3%ADsl%C3%ADcov%C3%A9_%C5%99%C3%A1Dzen%C3%AD
 29. *Plochy nástroje* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf
 30. Nástrojové úhly. *ELUC* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1187>
 31. *Vyměnitelná břitová destička* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Vym%C4%9Bniteln%C3%A1_b%C5%99itov%C3%A1_desti%C4%8Dka
 32. *Označení vyměnitelných břitových destiček* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/PRS_4_CAM-obr%C3%A1b%C4%Bn%C3%AD-sekce1-UT.pdf
 33. Tvary VBD dle ISO. *Wikipedie* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Vym%C4%9Bniteln%C3%A1_b%C5%99itov%C3%A1_desti%C4%8Dka
 34. *Upínací systémy břitových destiček* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/14894047-Upinaci-systemy-britovych-desticek.html>
 35. *Značení nožů s vyměnitelnou břitovou destičkou* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/11526111-Noze-iso-c-noze-iso-c-noze-iso-d-noze-iso-m-noze-iso-m-noze-iso-p-hlavice-kazety-noze-iso-p-hlavy-kazety.html>
 36. KOCMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2005. ISBN 80-214-3068-0.
 37. *Soustružnické nože* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://digit.isste.cz/op-hs/assets/-671314528130.%20Soustruzeni.pdf>
-

38. Druhy soustružnických nožů. *Soustružení* [online]. [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/lekce3.htm>
39. Hliníkové kruhové tyče. *Ehlinik.cz* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/hlinikove-kruhove-tyce-kulatiny/kat-L300000101.html>
40. CNC soustruh STYLE SB 300. *STYLE CNC MACHINES* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.stylecncmachines.cz/cnc-soustruh-style-sb-300/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
a_p	hloubka třísky	[mm]
A_α	hřbet nástroje	[°]
A_γ	čelo nástroje	[°]
D	průměr obráběné plochy	[mm]
d_{smax}	maximální průměr součásti	[mm]
f	posuv	[mm]
l	délka řezu	[mm]
n	otáčky	[min ⁻¹]
P_f	boční rovina	[°]
P_n	normálová rovina	[°]
P_o	ortogonální rovina	[°]
P_p	zadní rovina	[°]
P_r	základní rovina	[°]
P_s	rovina ostří	[°]
p_d	přídavek na průměr	[mm]
R_a	střední aritmetická hodnota drsnosti	[μm]
R_{max}	maximální jednotlivá hloubka drsnosti	[μm]
R_z	výška nerovnosti profilu	[μm]
S	hlavní ostří	[°]
S'	vedlejší ostří	[°]
t_{as}	strojní čas	[min]
v_c	řezná rychlost	[m · min ⁻¹]
v_f	rychlost posuvu	[mm/min]
α	úhel hřbetu	[°]
β	úhel břitu	[°]
γ	úhel čela	[°]
γ_0	radiální řez nože	[°]
ε	úhel špičky	[°]
κ	úhel nastavení hlavního ostří	[°]
κ'	úhel nastavení vedlejšího ostří	[°]
λ	úhel sklonu hlavního ostří	[°]
π	Ludolfovo číslo	[-]


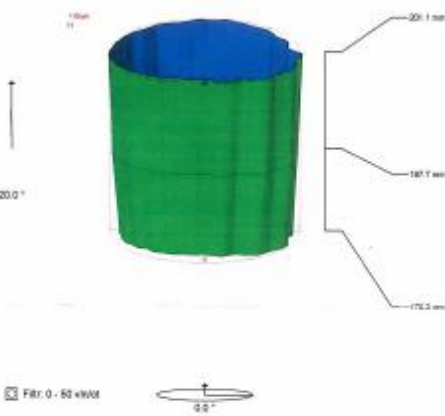
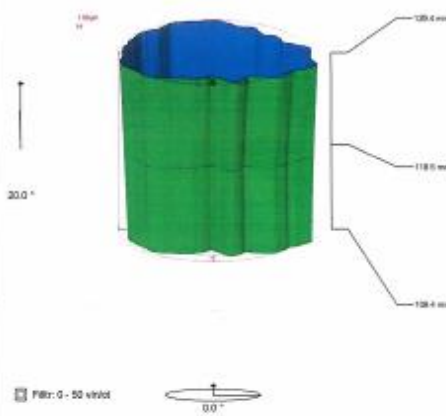
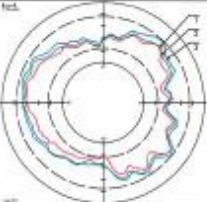
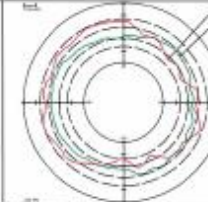
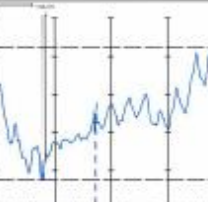


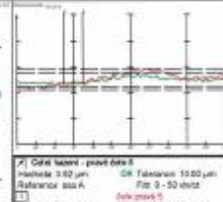








Zkratky

Označení	Legenda
CBN	kubický nitrid boru
CNC	computer numerical control
CVD	Chemická depozice z plynné fáze
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
NC	numerical control
PKD	polykrystalický diamant
RO	rychlořezná ocel
SK	slinutý karbid
VBD	vyměnitelná břitová destička

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Protokol měření na kruhoměru
Příloha 2 Vyrobena součást (trn)

Příloha 1
Protokol měření na kruhoměru

Měřicí stroj / Measuring machine Roundscan 555 HR S/N 135027		Zakazka / Order		 www.meopta.com		
Pracoviště / Workplace OTK 5020 - naradovna		Název výrobku / Title TRN BP-1 7				
Kontrolor / Operator OTK 135		Císlo výkresu / Design number	Císlo položky / Part number			
		Výrobní příkaz	Pracovní postup, operace	Datum / Date 20.04.2022		
Zkušební plán / Test plan TRN BP1 7		Seriové číslo / Serial number 04		Čas / Time 09:22:05		
Poznámka / Comment						
<input checked="" type="checkbox"/> Valcovitost D44 g6 8.62 µm LSCY Gauß 50%		<input checked="" type="checkbox"/> Valcovitost D40 g6 13.60 µm LSCY Gauß 50%				
						
						
						
<input checked="" type="checkbox"/> Valcovitost D52,9 g6 Měření: 5,19 µm Referenční osa A Filt: 0 - 50 vlnit Poz. Z: 204,5 mm Poz. R: 24,8 mm Poz. C: 81,4°		<input checked="" type="checkbox"/> Valcovitost D44 g6 Měření: 8,62 µm Referenční osa A Filt: 0 - 50 vlnit Poz. Z: 211,2 mm Poz. R: 24,7 mm Poz. C: 81,2°		<input checked="" type="checkbox"/> Čelní hazení - levé čelo 3 Měření: 2,63 µm Referenční osa A Filt: 0 - 50 vlnit Poz. Z: 211,2 mm Poz. R: 24,7 mm Poz. C: 81,2°		
<input checked="" type="checkbox"/> Valcovitost D44 g6 Měření: 8,62 µm Referenční osa A Filt: 0 - 50 vlnit Poz. Z: 211,2 mm Poz. R: 24,7 mm Poz. C: 81,2°		<input checked="" type="checkbox"/> Čelní hazení 1-pravé čelo 7 Měření: 3,48 µm Referenční osa B Filt: 0 - 50 vlnit Poz. Z: 132,5 mm Poz. R: 20,9 mm Poz. C: 18,3°		<input checked="" type="checkbox"/> Čelní hazení - levé čelo 5 Měření: 3,92 µm Referenční osa A Filt: 0 - 50 vlnit Poz. Z: 211,2 mm Poz. R: 24,7 mm Poz. C: 81,2°		
Znak	Jednotka	horní tolerance	Akt.hodnota	Prekročení	Toleranční pasmo	Stav
<input checked="" type="checkbox"/> Valcovitost D52,9 g6	µm	10,00	5,19			
<input checked="" type="checkbox"/> Čelní hazení - levé čelo 3	µm	10,00	2,63			
<input checked="" type="checkbox"/> Obvodové hazení D52,9 g6 k A	µm	10,00	4,50			
<input checked="" type="checkbox"/> Čelní hazení - pravé čelo 5	µm	10,00	3,92			
<input checked="" type="checkbox"/> Valcovitost D44 g6	µm	10,00	8,62			
<input checked="" type="checkbox"/> Čelní hazení 1-pravé čelo 7	µm	10,00	3,48			
<input checked="" type="checkbox"/> Obvodové hazení D40 g6 k A	µm	10,00	11,32	1,32		nOK
<input checked="" type="checkbox"/> Valcovitost D40 g6	µm	10,00	13,60	3,60		nOK

Příloha 2
Vyrobená součást (trn)

