

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A
METROLOGIE



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Prototypová výroba a její realizace

Prototype manufacturing process and its realization

AUTOR: Jiří Svoboda

STUDIJNÍ PROGRAM: Teoretický základ strojního inženýrství

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Jan Tomíček Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Svoboda** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **466630**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Prototypová výroba a její realizace

Název bakalářské práce anglicky:

Prototype manufacturing process and its realization

Pokyny pro vypracování:

Pro danou součást navrhnete výrobní postup a realizujete výrobu součástí. Využijte přitom známé a dostupné informace. Výrobu realizujete s využitím CNC techniky a optimalizujete tuto výrobu za účelem co nejjednoduššího postupu obrábění.

- 1) Rozbor výrobní dokumentace
- 2) Stavování výrobního postupu a jeho aplikace při programování CNC stroje
- 3) Výroba na CNC stroji a její vyhodnocení
- 4) Měření součástí a vyhodnocení její přesnosti
- 5) Vyhodnocení splnění požadavků, výroby a závěry práce

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

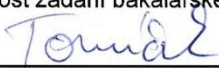
Ing. Jan Tomíček, Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

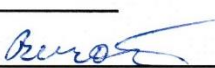
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **02.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **19.07.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Ing. Jan Tomíček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce



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


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
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.

17.4.2019
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a to výhradně s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne: 31. 5. 2019

 Podpis

Anotace

Práce se zabývá volbou výrobního postupu pro výrobu součástky středu kola, která bude součástí studentské formule týmu CarTech CTU. Volba výrobního postupu vychází ze znalostí získaných během studia. Práce se zaměřuje na obrábění hliníkových slitin a ze získaných informací se aplikují znalosti do výrobního postupu součástky, která je právě z hliníkové slitiny. Nedílnou součástí této práce je i vyhodnocení výsledků, fotodokumentace výroby, postup získávání NC kódu pro výrobu na CNC soustruhu a vyhodnocení přesnosti hotových dílů dle předloženého výkresu od týmu CarTech CTU.

Klíčová slova

obrábění hliníkových slitin, výrobní postup, střed kola, řezné podmínky, obrobiteľnosť, Advanced One Touch IGF-1, CNC soustruh

Annotation

This thesis deals with a choice of the manufacturing process for the production of parts to the centre of the wheel, which will be part of the student formula CarTech CTU team. The choice of the manufacturing process is based on the knowledge gained during the study. The thesis focuses on the machining of aluminum alloys and from the information obtained applied knowledge in the production process the parts, which is precisely made of aluminum alloy. The other part of this thesis is the evaluation of results, documentation (photos) of production, the procedure of obtaining the NC code for the production on CNC lathe and evaluate accuracy according to the submitted drawing from the CarTech CTU team.

Keywords

machining of aluminum alloys, the manufacturing process, the centre of the wheel, the conditions of machining, machinability, Advanced One Touch IGF-1, CNC lathe

Poděkování

Děkuji Ing. Janu Tomíčkoví, Ph.D. za vedení mé práce. Také bych rád poděkoval Ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie za umožnění přístupu ke strojům a nástrojům. Velké díky patří Ing. Michalovi Slanému, který byl velkou oporou při výrobě a který mi skutečně velice pomohl. Déla bych rád poděkoval CarTech CTU, který mi umožnil, podílet se na realizaci nové studentské formule ČVUT. Děkuji své rodině a kamarádům za velkou podporu, které si vážím. Mé díky patří také Jiřímu Károvi, jehož život byl pro mě vždy velkou inspirací.

Použité zkratky

EN	Evropská norma
AW	Tvářený hliníkový materiál
SN1	Soustružnický nůž 1
SN2	Soustružnický nůž 2
VRT1	Vrták 1
VRT2	Vrták 2
VRT3	Vrták 3
FR1	Fréza 1
FR2	Fréza 2
VBD	Vyměnitelná břitová destička
VBD1	Větší vyměnitelná břitová destička pro VRT1
VBD2	Menší vyměnitelná břitová destička pro VRT1
NC	Číslicové řízení (Numerical Control)
CNC	Počítačem řízený obráběcí stroj (Computer Numerical Control)
DXF	Formát dat možný k exportování do jiného prostředí (Drawing Exchange Format)
MK	Morse kužel (normovaný způsob upnutí nástroje pomocí kužele)

Použité symboly a jednotky

q	[-]	Kvocient geometrické řady
n	[-]	Exponent geometrické řady
a_n	[-]	Index (součinitel) obrobitelnosti
a_1	[-]	První člen geometrické řady
VB	[mm]	Opotřebení
t_{as}	[min]	Strojní čas
v_c	[m·min ⁻¹]	Řezná rychlost
f	[mm·ot ⁻¹]	Posuv
T_n	[min]	Trvanlivost
HBW	[-]	Tvrdost dle Brinella (zkouška pomocí kuličky ze slinutého karbidu)
d	[mm]	Průměr nástroje
D_{min}	[mm]	Minimální možný průměr díry pro soustružení vnitřním nožem
b	[mm]	Výška nástroje
h	[mm]	Šířka nástroje
m	[mm]	Nejzazší vzdálenost bodu nože od osy nože
L_1	[mm]	Vzdálenost nože ke špičce VBD
d_1	[mm]	Průměr díry VBD
l	[mm]	Šířka VBD
e	[mm]	Délka VBD
s	[mm]	Výška VBD
r_ε	[mm]	Rádus špičky VBD
a	[mm]	Hodnota záběrů (vrstva odebraného materiálu při jednom přejezdu nástroje)
g	[mm]	Délka hrany VBD
L	[mm]	Celková délka nástroje
l_1	[mm]	Délka stopky vrtáku
l_2	[mm]	Délka drážek pro odvod třísky
h_{max}	[mm]	Maximální možná hloubka pro vrtání
dh_6	[mm]	Průměr stopky nástroje s tolerancí h_6
D_1	[mm]	Průměr dosedací plochy vrtáku
r	[mm]	Poloměr frézy s rádiusem
f_z	[mm/zub]	Posuv frézy

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Popis součásti a význam prvků.....	12
3	Obrábění hliníkových slitin	14
3.1	Obrobitelnost.....	14
3.2	Metody vyhodnocování obrobitelnosti	16
3.2.1.	Dlouhodobá zkouška obrobitelnosti	17
3.2.2.	Stanovení obrobitelnosti materiálu dle tvaru třísky	18
3.3	Obrobitelnost hliníkových slitin.....	19
3.4	Obrobitelnost slitiny EN AW-7075	19
4	Výrobní postup	20
4.1	Operace #1	21
4.2	Operace #2	23
5	Polotovary.....	25
6	Seznam použitých strojů.....	25
6.1	Parametry CNC soustruhu Okuma Genos L200E-MY	25
6.2	Pásová pila	26
7	Seznam použitých nástrojů a VBD.....	27
7.1	SN1 – držák A12M-SCLCR 08	28
7.2	SN1 – VBD CCMT 09T304N-SU	28
7.3	SN2 – držák A20Q-SWLCR 06.....	29
7.4	SN2 – VBD WCMT 06T308E-UR.....	29
7.5	VRT1 – 803D – 25 – 75 – S32.....	30
7.6	VRT1 – VBD1 SCET 070308-UD	30
7.7	VRT1 – VBD2 XPET 0703AP	31
7.8	VRT2 – R453	31
7.9	VRT3 – R453	32
7.10	FR1 – S262.....	32
7.11	FR2 – S111402.....	33
8	Tvorba NC kódu pro výrobu	33
9	Vyhodnocení celého procesu a fotodokumentace	40
10	Použité přístroje k měření	45
10.1	Měřicí přístroj ScanMax	45
10.2	Posuvné měřítko Asimeto	46

11	Vyhodnocení měření středu kola	47
12	Závěr	50
13	Seznam obrázků	53
14	Seznam tabulek	55
15	Seznam příloh	56
16	Použitá literatura	57

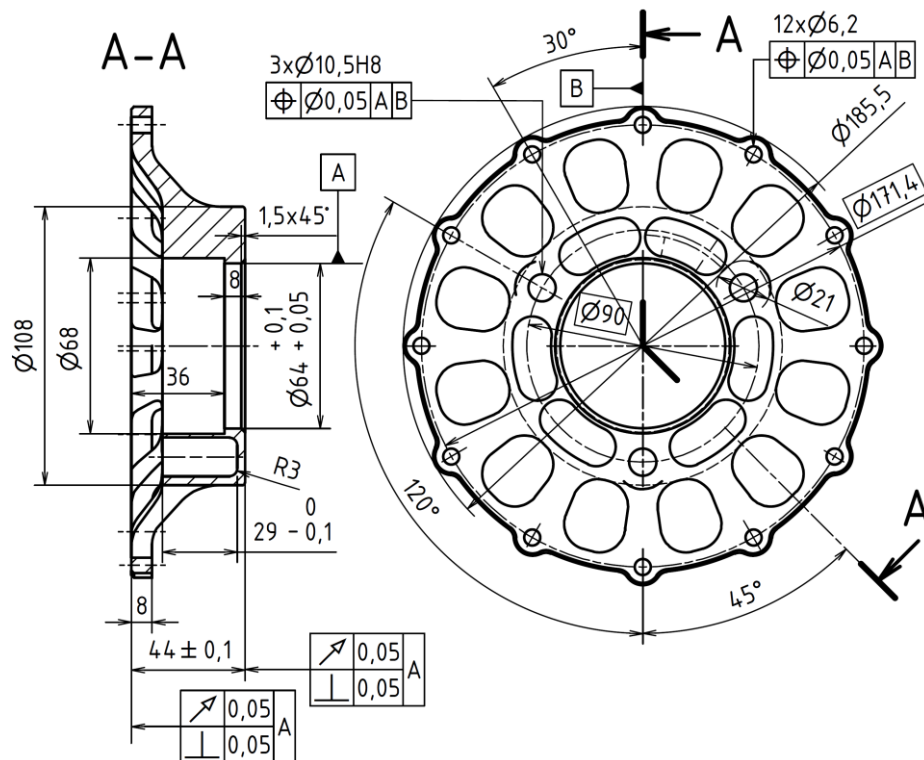
1 Úvod

Tato práce se zabývá výrobou několika stejných součástí do studentské formule, která je součástí projektu CarTech CTU. Jedná se o středy kol, které jsou nedílnou součástí podvozku formule. Celá práce vychází z předložených dat, která byla se studentským týmem prokonzultována. Na základě těchto znalostí funkčních ploch a významu součástí v kolové skupině formule je zvolena vhodná obráběcí metoda pro výrobu. Pro zvolený způsob obrábění je vytvořen takový výrobní postup, aby odpovídal parametrům obráběcího CNC stroje, ale zároveň co nejjednodušší. V závislosti na parametrech stroje se volí vhodné nástroje a VBD a jejich řezné podmínky. Podstatnou částí celé práce je tvorba samotného NC kódu pro výrobu, z kterého bude příslušný CNC obráběcí stroj čerpat data pro výrobu. Materiálem polotovaru pro výrobu součástí je dle požadavků zvolena hliníková slitina EN AW-7075, která má potřebné vlastnosti, které zdokonalují funkčnost součástky. Pro obrábění hliníkových slitin je třeba brát ohled na volbu řezných podmínek, nástrojů a jejich VBD. Všechny tyto faktory ovlivní obrobiteľnost materiálu. Obrobiteľnost je základní technologickou vlastností materiálu, a proto je rešeršní část této práce zaměřená na obrábění hliníkových slitin, jejich obrobiteľnost a aplikaci získaných informací pro výrobní postup součástí středů kol.

Cílem práce je projít celý proces výroby z pozice technologa amatéra a na vlastní triko projít celým procesem od první komunikace se stranou, která má konkrétní požadavky na výsledek, přes návrhy, konzultace se staršími a zkušenějšími a následné realizace celého projektu, který je zakončený vyhodnocením přesnosti výroby a případnými poznatky, které by mohly zdokonalit výrobu dalších součástí.

2 Popis součásti a význam prvků

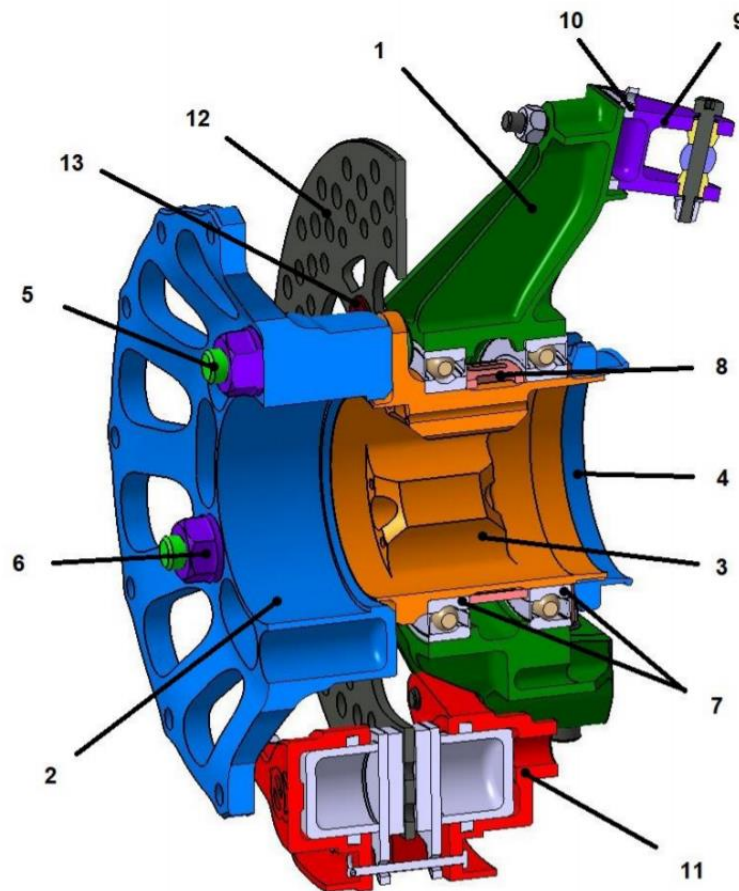
Střed kola je tvořen tělem a věncem, který je spojen s tělem loukotěmi (žebry). Věncem má dvanáct děr, tolerované geometrickou tolerancí polohy, které slouží k uchycení ráfku pomocí šroubových spojů. Na straně, kde čelo součásti tvoří věnec, je spád, sloužící k vytvoření prostoru pro matice šroubových spojů, ale také jako snížení hmotnosti. Tělo je duté a je tvořeno vnitřními plochami s dvěma různými průměry, přičemž menší z nich je funkční plochou s příslušnou tolerancí, která slouží k uložení náboj/hřídel. Tělo má skrz provrtané tři díry, na které jsou kladeny tolerance úchylek rozměrů děr, ale i tolerance polohy. Díry slouží k připevnění k součástce, která bude předávat pohyb pomocí šroubových spojů do středu kola. K vytvoření dosedací plochy pro podložku, má každá díra vyfrézovanou část kruhu. Pro snížení hmotnosti, na který je kladený značný důraz, je tělo tvořeno několika kapsami. Základní rozměry a hodnoty tolerancí jsou znázorněné na (obr. 1).



Obr. 1: Výkres se základními rozměry

Střed kola má funkci náboje a součástka, která bude přenášet pohyb skrz střed kola do samotných kol formule, má funkci hřídele, přičemž se bavíme o uložení s vůlí. Tato součástka se nazývá náboj kola. Pohyb z náboje do středu kola je předáván skrz tři lisované závitové

kolíky. Vše je přehledně znázorněno v sestavě na (obr. 2), kde je střed kola v modré podobě.
[1]



Obr. 2: Sestava kolové skupiny [1]

1 – těhlice, 2 – střed kola, 3 – náboj kola, 4 – matice náboje, 5 – lisovaný závitový kolík, 6 – matice kola, 7 – kolová ložiska, 8 – distanční kroužek, 9 – úchyt horního ramene, 10 – podložka pro nastavení odklonu, 11 – brzdíč, 12 – brzdový kotouč, 13 – plovoucí čep [1]

Velkou roli hraje volba materiálu jednotlivých součástek. Studentský tým CarTech CTU se snaží docílit volby ideálního cenově přijatelného materiálu, který bude splňovat pevnostní podmínky, ale zároveň je kladen velký důraz na minimalizaci hmotnosti.

Na součástce, které se ve své práci věnuji, lze spatřit minimalizace hmotnosti například tvorbou kapes, které je možno vidět na (obr. 1) a (obr. 2). Podstatnou roli zde hraje splnění pevnostních podmínek středu kola.

Tým CarTech CTU zvolil materiál EN AW-7075. Jedná se o hliníkovou slitinu s chemickým složením AlZn5,5MgCu. Jde o materiál se značnou pevností v tahu (440 – 560 MPa) a tvrdostí až kolem 160 HBW, přičemž hustota této slitiny je $2800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, což je velice příznivé. Pro orientaci má součástka dle aplikace Autodesk Inventor 2017 hmotnost 0,48 kg. [2]

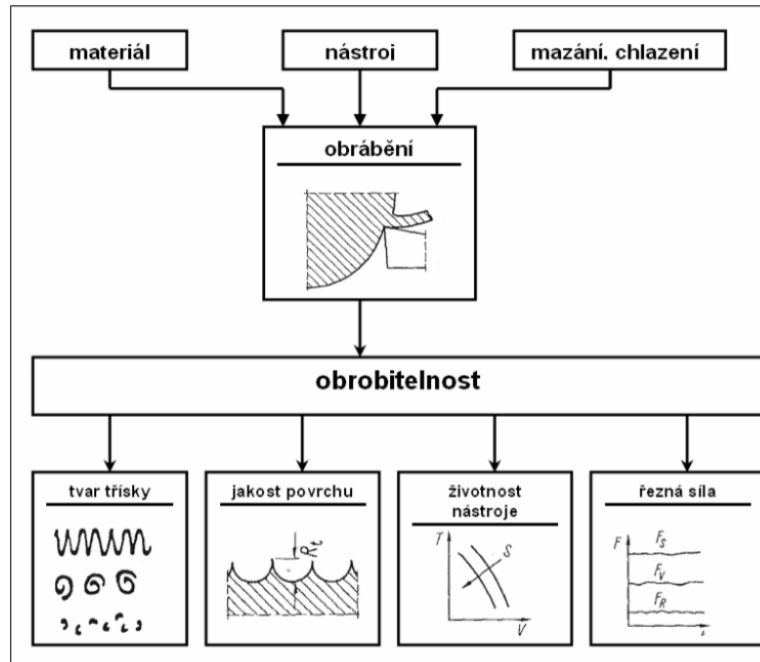
Jak už napovídá chemický vzorec AlZn5,5MgCu, obsahuje hliníková slitina značné zastoupení zinku. Zinek má pro tento druh slitiny dva podstatné dopady. Má pozitivní vliv na její pevnost v tahu a také zvyšuje tvrdost. Dále je také skvěle leštitelná. Negativní stránkou zinku je snížení odolnosti proti korozi. To může mít pro nevhodné použití fatální dopad. V našem případě však není třeba korozi uvažovat, neboť jsou středy kol vyráběny na dvě sady a jen na jednu sezónu. Dalším negativem, který je třeba zmínit je nesvaritelnost této slitiny. Ke svařování však u této součástky vůbec nedochází. EN AW-7075, ale i obecně slitinám EN AW-7xxx se říká letecký dural. [7]

3 Obrábění hliníkových slitin

V rešeršní části se budu věnovat analýze hliníkových slitin z pohledu obrábění. Stanovím si ideální podmínky pro obrábění. Získané informace z teoretické části se v rámci možností pokusím aplikovat na můj konkrétní případ středu kola.

3.1 Obrobitelnost

Je to technologická vlastnost materiálu, která definuje, jak moc je příslušný materiál vhodný k obrábění. Několik důležitých faktorů je zahrnuto do jediného pojmu, který nese název obrobitelnost. Těmito faktory jsou vlivy mechanických a fyzikálních vlastností materiálu, chemických složení a tepelných zpracování na ekonomických výsledcích daného procesu. Dalšími podstatnými faktory jsou volby nástrojů (případně VBD) z hlediska jejich geometrie, druhu materiálu nástroje, případného mazání nebo chlazení a stanovení řezných podmínek. [3]



Obr. 3: Obrobitelnost a její parametry [4]

Pro představu lze zahrnout obrobitelnost do schématu na (obr. 3), kde jsou již zmíněné faktory ovlivňující obrobitelnost a následné další faktory, které tato technologická vlastnost ovlivňuje.

V praxi se obrobitelnost zjišťuje porovnávací metodou, kde příslušný obráběný materiál porovnáme se stejným druhem materiálu etalonového typu. Nejčastěji porovnáme jejich řezné rychlosti při určité trvanlivosti (obvykle 15, 30, 45 min) pro zkoumaný resp. referenční (etalonový) materiál. Zmíněný poměr se nazývá index (součinitel) obrobitelnosti. Obrobitelnost se hodnotí u konstrukčních materiálů, které se rozdělují do devíti skupin dle normativu CNN 10-0-I/II, přičemž hliníkové slitiny reprezentuje písmeno (d). Například litiny reprezentuje písmeno (a), oceli (b),... Pro každou skupinu je definovaný referenční (etalonový) materiál, s kterým se pak porovnávací metodou určuje index obrobitelnosti, přičemž se dělí do dvaceti tříd obrobitelnosti. Třídou obrobitelnosti reprezentuje číslo před písmenkem konkrétní skupiny materiálů. Se zvyšující se hodnotou třídy obrobitelnosti materiálu se zvyšuje jeho obrobitelnost a naopak. Konkrétní hodnota třídy obrobitelnosti odpovídá indexu obrobitelnosti, který se určuje pomocí kvocientu $q = \sqrt[10]{10} \doteq 1,26$ geometrické posloupnosti, která je definována rovnicí (1). [3]

$$i_n = a_1 \cdot q^{n-1} \quad (1)$$

i_n ... hodnota hledaného indexu obrobiteľnosti

$$i_1 = 1$$

n ... celé číslo ležící v intervalu $\langle -13; 6 \rangle$

Vypočítanému indexu obrobiteľnosti se přiřadí odpovídající interval, v kterém se vypočítaná hodnota indexu nachází a určí se tak konkrétní třída. Hodnota indexu etalonového materiálu nabývá hodnoty 1, proto lze říct, že $n_{etalonu} = 1$. Na (obr. 4) je etalonový materiál vyznačen šedou výplní.

Index obrobiteľnosti i_0			Materiál			
Vyjádřeno kvocientem	Střed	Rozsah	Litiny	Oceli	Slitiny	
					mědi	hliníku
$1,26^{-13}$	0,050	0,045÷0,054		1b		
$1,26^{-12}$	0,065	0,055÷0,069		2b		
$1,26^{-11}$	0,080	0,070÷0,089		3b		
$1,26^{-10}$	0,10	0,09÷0,11	1a	4b		
$1,26^{-9}$	0,13	0,12÷0,14	2a	5b	2c	
$1,26^{-8}$	0,16	0,15÷0,17	3a	6b	3c	
$1,26^{-7}$	0,20	0,18÷0,22	4a	7b	4c	
$1,26^{-6}$	0,25	0,23÷0,28	5a	8b	5c	4d
$1,26^{-5}$	0,32	0,29÷0,35	6a	9b	6c	5d
$1,26^{-4}$	0,40	0,36÷0,44	7a	10b	7c	6d
$1,26^{-3}$	0,50	0,45÷0,56	8a	11b	8c	7d
$1,26^{-2}$	0,63	0,57÷0,71	9a	12b	9c	8d
$1,26^{-1}$	0,80	0,72÷0,89	10a	13b	10c	9d
$1,26^0$	1,00	0,90÷1,12	11a	14b	11c	10d
$1,26^1$	1,26	1,13÷1,41	12a	15b	12c	11d
$1,26^2$	1,59	1,42÷1,78	13a	16b	13c	12d
$1,26^3$	2,00	1,79÷2,24	14a	17b	14c	13d
$1,26^4$	2,50	2,25÷2,82		18b	15c	14d
$1,26^5$	3,15	2,83÷3,55		19b		15d
$1,26^6$	4,00	3,56÷4,47		20b		16d

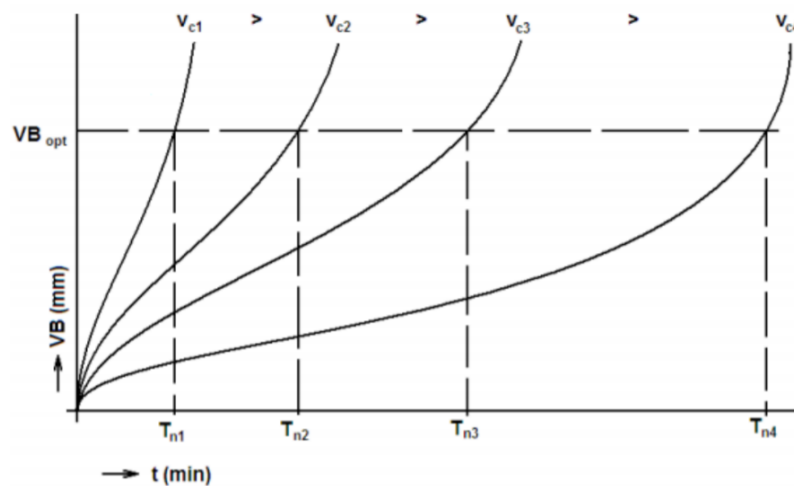
Obr. 4: Třídění obrobiteľnosti [6]

3.2 Metody vyhodnocování obrobiteľnosti

Stanovený stupeň obrobiteľnosti bývá jiný pro různé druhy obrábění. Proto je třeba mít na paměti, že se zkouška obrobiteľnosti musí vyhodnocovat pro stejnou metodu.

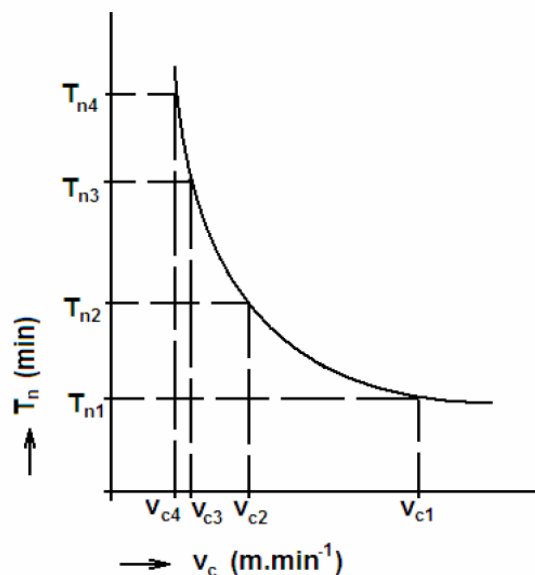
3.2.1. Dlouhodobá zkouška obrobiteľnosti

Považuje sa za neobjektívnejšiu skúšku, ktorou lze stanoviť výslednú obrobiteľnosť. Nevýhodou tejto skúšky je jej časová náročnosť a veľké množstvo odebraného materiálu. Pri konštantných rezných parametroch ($f=\text{konst.}$, $a_p=\text{konst.}$) meníme reznú rýchlosť a mätíme závislosť opotrebenia VB na čas. Táto skúške sa ríká dlhodobá skúška z dôvodu časovej náročnosti. (obr. 5) [3]



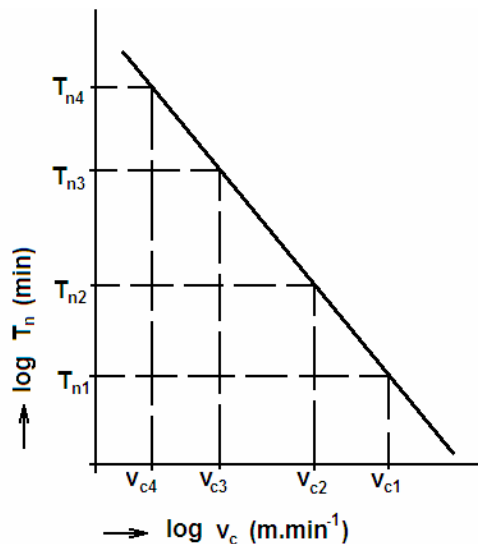
Obr. 5: Křivky otupení pro různé rychlosti řezu [3]

Definováním kritéria opotrebení VB_{opt} se určí dosažené trvanlivosti břitu pro příslušné rychlosti. (obr. 6) [3]



Obr. 6: Dodefinování trvanlivostí pro příslušnou rychlost pomocí VB_{opt} [3]

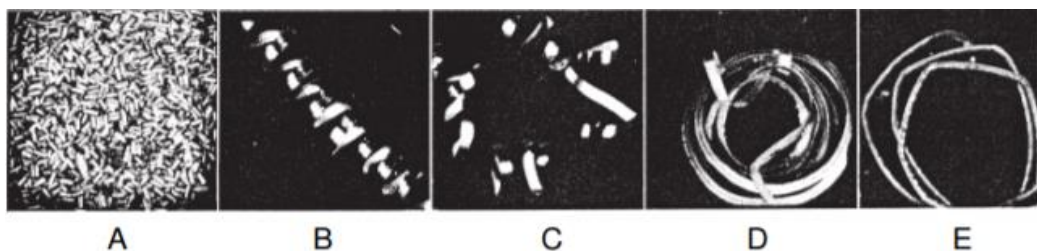
V logaritmických souřadnicích se určí závislost $T_n = f(v_c)$ a pro vybranou trvanlivost (obvykle 15, 30, 45 min) se určí index obrobitelnosti porovnáním řezných rychlostí s etalonovým materiálem. (obr. 7) [3]



Obr. 7: Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti [3]

3.2.2. Stanovení obrobitelnosti materiálu dle tvaru třísky

Je jednou z krátkodobých zkoušek obrobitelnosti nepřímou metodou. Měření tvaru třísky je jedním ze základních způsobů pro vyhodnocení obrobitelnosti. Zejména při hrubovacích procesech můžou nastat problémy s tvorbou dlouhých třísek, které mohou celý proces narušit. Třísky se dělí do několika kategorií, přičemž jen některé lze označit jako třísky příznivé pro plynulý proces obrábění. Na (obr. 8) je pro představu uvedeno několik typů třísek, které mohou vzniknout, přičemž skupina A je nejpříznivější a E nejméně příznivá. Lze tedy vyhodnocovat obrobitelnost vizuální formou. [5] Správným postup vyhodnocování obrobitelnosti dle tvaru třísky je však komplikovanější. Postupuje se porovnáním poloměru svinované třísky etalonového materiálu s poloměrem svinované třísky zkoumaného materiálu, kde výsledkem je index obrobitelnosti. [8]



Obr. 8: Základní kategorie třísek podle tvaru [5]

3.3 Obrobitelnost hliníkových slitin

Etalonový materiál skupiny (d) je materiál ČSN 42 4380.11 s tvrdostí 100 HBW. Materiály se obecně dělí do dvaceti tříd obrobitelnosti, přičemž pro naši zkoumanou skupinu je definována skupina 4. až 16. Etalonový materiál má třídu obrobitelnosti 10.

Ve srovnáním s jinými kovovými konstrukčními materiály lze říct, že hliníkové slitiny patří k těm lépe obrobitelným. Pro obrobení hliníkových slitin se stejnou pevností je třeba značně menší řezná síla jako pro obrobení ocelí. Nutno dodat, že obrobitelnost čistého hliníku je velice špatná, z důvodu vysoké tepelné vodivosti. Teplo jde v místě řezu při obrábění do obrobku a vznikají tak nepříznivě vysoké teploty, které deformují hliník vlivem roztažnosti. Další problémy při obrábění čistého hliníku vznikají při tvorbě třísky, která se vlivem nízké teploty tavení hliníku (660 °C) nalepuje a narušuje tak proces obrábění. Proto se čistý hliník v praxi téměř neobrábí a je k mání pouze ve formě plechu. [5]

3.4 Obrobitelnost slitiny EN AW-7075

Při soustružení na čisto (dokončovací procesy) nedochází k žádným problémům a lze říct, že neexistuje přesně určený způsob dokončovacích procesů. Problém může nastat při hrubovacích procesech, kdy vzniká pružná a pevná tříška, která se prakticky nedělí a tím pádem nevzniká požadovaná drobná tříška. Může se objevit i ve formě chuchvalce, který by mohl narušit celý proces soustružení narušením povrchu, vychýlením nože atd. Předcházet těmto nepříjemným okolnostem můžeme tak, že při procesu hrubování budeme postupně po nějaké chvíli stroj vypínat a odstraňovat šponu třísky ručně. Tento postup však absolutně naruší automatizaci výroby a proto je třeba najít jiné řešení. Uvádí se, že řešením bývá volba posuvu až k $0,4 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ s vysokými otáčkami (resp. řeznou rychlostí). U klasických soustruhů, však vysokých otáček nelze dosáhnout, proto by se muselo při hrubovacích procesech přejít k malým hloubkám záběru (do 1 mm). Soustruh Okuma Genos L200E-MY, který je zvolen pro výrobu, je však velice výkonný CNC soustruh, který umí velmi vysoké otáčky [7] [10]. Dle katalogů lze vyvodit, že doporučené řezné rychlosti pro hliníkové slitiny bývají dvojnásobné až trojnásobné oproti řezným rychlostem pro konstrukční oceli. [11] [13]

Vrtání této slitiny nebývá obvykle velkou záležitostí. Doporučuje se vrtání vrtákem s nabroušeným ostřím i po svém obvodu z důvodu eliminace vysokých teplot a případnému

zadření. Při vrtání se tvoří žádoucí drobná tříška lezoucí po šroubovici vrtáku tak jak má. Vrtáním tedy lze dosáhnout velice přesných rozměrů bez předvrtání. Předvrtání se ani nedoporučuje z důvodu zakusování vrtáku do předvrtaného průměru. Lze tedy konstatovat, že proces vrtání, který je pro výrobu středu kola nedílnou součástí, není nějak náročný. [7]

Při procesu frézování nedochází absolutně k nežádoucím efektům, vzniká žádoucí drobná tříška, která odlétává pryč a nějak nenarušuje operaci a již obrobenou plochu. Vytváří se krásný lesklý povrch. Výjimkou jsou však kotoučové frézy, které mají tendenci uhýbat se a podřezávat. Čím tenčí kotoučové frézy, tím větší riziko. Proto se musí dbát na kvalitní upnutí a omezit házení. Směr posuvu musí být dokonale kolmý na osu rotace kotoučové frézy. Kotoučové frézy pro výrobu středu kol nebudou třeba, a proto není třeba si dělat starosti s problematikou kotoučových fréz. [7]

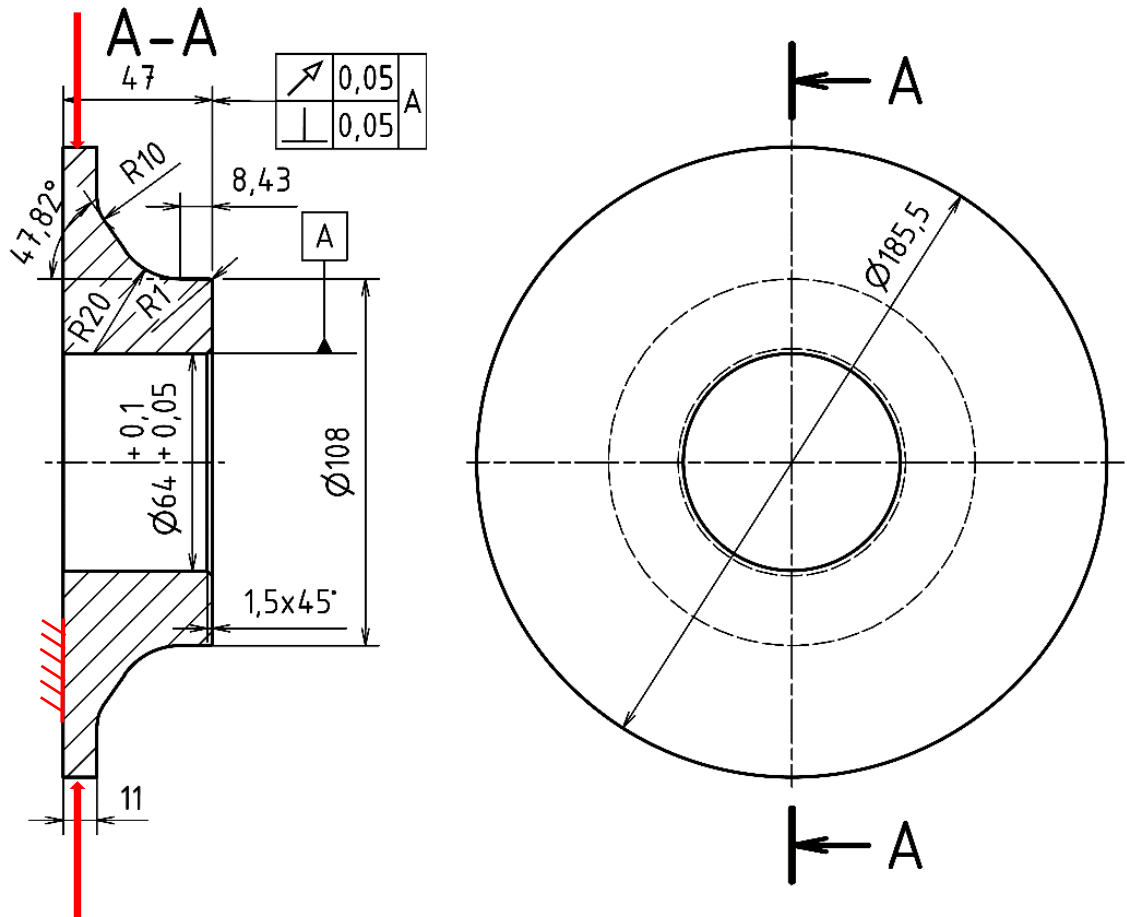
Obecně lze shrnout, že slitina EN AW-7075 při vhodně zvolených podmínkách může být dobře obrobitelná. Lehce problémové může být proces hrubování při soustružení, kde je třeba zvýšit posuv a řeznou rychlost. Proto je podstatné klást vyšší nároky na výkon stroje. [7]

4 Výrobní postup

Následující kapitola je věnována sledu operací a jejich rozboru. Jednotlivé operace (tj. obrobení materiálu během jednoho upnutí) jsou charakterizovány obrázkem a příslušnou tabulkou, která obsahuje jednotlivé kroky obrábění. Každý krok je definovaný nástrojem a řeznými podmínkami a hodnotou strojního času, kterou odhalí program, pro výrobu na CNC soustruhu. V případě výroby středu kola jsou zvoleny operace dvě. Obrázky obsahují kóty, které jsou potřebné pro výrobu v dané operaci. Červené značení definuje způsob upnutí do sklíčidla.

Pro výrobu středu kol jsou zvoleny dvě operace, přičemž druhá operace je prováděna s upravenými (osoustruženými) měkkými čelistmi.

4.1 Operace #1



Obr. 9: První operace

Tab. 1: První operace

Poř.	Proces	Nástroj	v_c	f / f_z	a_p
1)	Upnutí do čelistí za Ø190				
2)	Axiální vrtání Ø25 skrz	VRT1	160	0,09	3,0
3)	Soustružení čela o 3 mm (přídavek načisto 0,2 mm)	SN1	135	0,20	1,5
4)	Soustružení vnější kontury nahrubo (přídavek načisto 0,2 mm)	SN1	180	0,30	2,0
5)	Soustružení vnitřní kontury nahrubo a sražení hrany (přídavek načisto 0,2 mm)	SN2	120	0,15	1,5
6)	Soustružení vnitřní kontury a sražení načisto	SN2	120	0,08	
7)	Soustružení čela a vnější kontury načisto	SN1	180	0,08	

*hodnoty posuvu f jsou uvedeny v mm/ot. pro soustružení a vrtání. Hodnoty posuvu f_z jsou uvedeny v mm/zub pro frézování.

Tab. 2: První operace (strojní čas)

Poř.	[min] t_{as}
2)	34 s
3)	3 min 22 s
4)	6 min 46 s
5)	5 min 44 s
6)	31 s
7)	2 min 42 s
Celkem:	19 min 39 s

Tab. 3: Druhá operace

Poř.	Proces	Nástroj	v_c	f / f_z	a_p
1)	Upnutí do měkkých čelistí za Ø108				
2)	Soustružení čela o 3 mm	SN1	150	0,20	1,5
3)	Soustružení vnější kontury Ø186	SN1	150	0,25	1,5
4)	Vnitřní hrubování Ø68 na délce 36 mm (přídavek načisto 0,2 mm)	SN2	100	0,15	1,0
5)	Vnitřní hrubování kontury (přídavek načisto 0,2 mm)	SN2	100	0,20	1,0
6)	Vnitřní soustružení načisto Ø68 na délce 36 mm	SN2	95	0,08	
7)	Soustružení vnitřní plochy a čela načisto	SN2	95	0,08	
8)	Vrtání skrz 3xØ10,5H8 na rozteč. kružnici Ø90	VRT2	100	0,12	12,0
9)	Pozastavení procesu a výměna vrtáku				
10)	Vrtání skrz 12xØ6,5 na rozteč. kružnici Ø171,4	VRT3	100	0,11	6,0
11)	Frézování obvodového tvaru nahrubo (přídavek načisto 0,2 mm)	FR2	100	0,05	2,0
12)	Frézování obvodového tvaru načisto	FR2	120	0,04	5,0
13)	Frézování loukotí nahrubo (přídavek načisto 0,2 mm)	FR1	110	0,05	5,2
14)	Frézování loukotí načisto	FR1	120	0,04	7,5
15)	Frézování kapes nahrubo (přídavek načisto 0,2 mm)	FR1	100	0,045	4,0
16)	Frézování kapes načisto	FR1	110	0,04	7,5
17)	Frézování stykových ploch pro podložky načisto	FR2	120	0,04	0,0

*hodnoty posuvu f jsou uvedeny v mm/ot. pro soustružení a vrtání, hodnoty posuvu f_z jsou uvedeny v mm/zub pro frézování.

Tab. 4: Druhá operace (strojní čas)

Poř.	[min] t_{as}
2)	4 min 56 s
3)	1 min 9 s
4)	1 min 49 s
5)	7 min 3 s
6)	1 min 16 s
7)	4 min 23 s
8)	36 s
9)	
10)	56 s
11)	5 min 38 s
12)	2 min 22 s
13)	41 min 58 s
14)	13 min 33 s
15)	18 min 24 s
16)	3 min 48 s
17)	38 s
Celkem:	1 h 54 s 14 min

5 Polotovár

Polotovarem je kruhová tyč z již zmíněného požadovaného materiálu s rozměry 190 mm v průměru a délkou 50 mm. Rozměry polotovaru beru jako dostačující. 3 mm z obou stran na zarovnání čela jsou optimální. Maximální průměr obrobku nabývá hodnoty 185,5 mm (obr. 1). Jelikož polotovár na tomto průměru nemá žádnou funkční plochu a není zde kladen speciální požadavek na povrch, beru přídavek na obrábění 4,5 mm jako dostačující. Konečný zápis pro jeden polotovár je KR 190 – 50 ČSN 42 7510.02. [15]

6 Seznam použitých strojů

6.1 Parametry CNC soustruhu Okuma Genos L200E-MY

Okuma Genos L200E-MY je CNC soustruh se čtyřmi řízenými osami X, Y, Z, C, poháněnými nástroji a s koníkem. Po zadání vstupních dat (polotovár) pomocí interaktivní obrazovky, kterou je stroj vybaven, se definuje výsledný tvar součásti. Řídicí systém soustruhu vyhodnotí situaci a vytvoří vhodné způsoby obrábění, které se dají upravovat, doplňovat či mazat podle libosti a dostupnosti nástrojů. Na (obr. 11) je samotný stroj a v (tab. 5) jeho parametry.



Obr. 11: CNC soustruh Okuma Genos L200E-MY [9]

Tab. 5: Parametry stroje Okuma Genos L200E-MY [10]

Pracovní prostor		Rychloposuvy	
Velikost sklíčidla	8"	Osa X	20 m/min
Max. oběžný průměr	450 mm	Osa Y	10 m/min
Obráběný průměr	200 mm	Osa Z	25 m/min
Max. obráběná délka	380 mm	Osa W	- m/min
Vřeteno		Osa C	200 ot·min ⁻¹
Otáčky	107 ÷ 4500 ot·min ⁻¹	Pojezdy	
Zakončení vřetene	JIS A2-6	Osa X	165 mm
Vrtání vřetene (průměr)	66 mm	Osa Y	80 mm
Výkon	11,0/7,5 kW	Osa Z	400 mm
NC koník		Ostatní	
Upnutí hrotu	4 MK	Motor čerpadla	250 W
Pojezd	80 mm	Strojní data	
Revolverová hlava		Šířka	2118 mm
Počet nástrojových míst	12	Hloubka	1748 mm
Upnutí: vnější obrábění	20 x 20 mm	Výška	2040 mm
Upnutí: vnitřní obrábění (průměr)	32 mm	Zastavěná plocha	3,70 m ²
Indexace: 1 poloha / 6 poloh	0,1 s	Hmotnost stroje	4600 kg
Otáčky hnaného nástroje	50 ÷ 6000 ot·min ⁻¹		
Výkon	4,0/1,8 kW		

6.2 Pásová pila

Pro získání požadovaných osmi kusů polotovaru KR 190 – 50 ČSN 42 7510.02 [15], je třeba užít pásovou pilu. Polotovar je k dispozici v délce 500 mm. Volím pásovou pilu, kterou je škola vybavena s názvem Bomar practix 285.230 G.



Obr 12: Pásová pila Bomar practix 285.230 G [18]

Tab. 6: Parametry pásové pily [18]

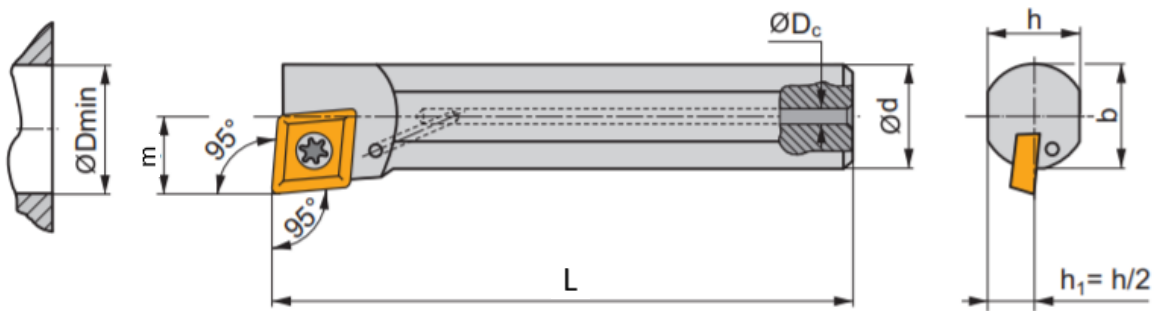
Hmotnost	215 kg
Výkon motoru	0,7 / 1,1 KW 400V / 50 Hz
Výška	1508 mm
Šířka	1475 mm
Délka	915 mm
Příkon	1,1 kW
Rychlost pilového pásu	35 / 72 m·min ⁻¹
Rozměry pilového pásu	2720×27×0,9 mm
Nejmenší řezaný průměr	5 mm
Délka nejkratšího zbytku	40 mm
Ložná výška materiálu	750 mm

7 Seznam použitých nástrojů a VBD

Seznam nástrojů obsahuje všechny nástroje použité na výrobu středů kol včetně jejich parametrů. Je třeba zmínit, že nástroje byly voleny podle jejich dostupnosti ve škole. Pokoušel jsem se vyhledat ty nejlepší nástroje, kterými je škola vybavena, tak aby co nejvíce přispěly ke zdokonalení výroby. V ideálním případě a nelimitující dostupností nástrojů bych nástroje volil jiné a zvolil bych pečlivější výrobní postup. Nedostatek VBD a držáků byl i jedním z důvodů, proč bylo pro soustruženo nahrubo i načisto stejnými nástroji. Limitujícím faktorem, který způsobil i dočasné pozastavení celé realizace výroby, byl nedostatek vrtáků příslušných průměrů, které jsou nezbytnou součástí celé práce. Dále je třeba zmínit, že pro soustružení čela a vnější kontury byl užit nůž na vnitřní soustružení. Tento nestandardní postup byl po konzultaci zvolen jako ideální možnost. Byl to totiž jediný nástroj, který byl schopný soustružit konturu až na průměru 190 mm. První varianta soustružnického nože pro soustružení čela a vnější kontury, kterou byl nůž od firmy Dormer Pramet s.r.o. PCLNR 2020 K12, musela být nakonec díky svým mohutným rozměrům zamítnuta

Nástroje jsou pojmenovány zjednodušenou zkratkou pro lepší orientaci. Po pojmenování nástroje následuje pomlčka a skutečný název nástroje, tak jak ho pojmenoval příslušný výrobce. Pokud se nejedná o monolitní nástroj, ale o nástroj s potřebným příslušenstvím v podobě VBD, nachází se v seznamu nástrojů i samotná VBD, hned pod nástrojem ke kterému patří. Parametry ostatního příslušenství, kterým je nástroj vybaven, zde nejsou uvedeny. Každý uvedený nástroj má svou tabulku parametrů, která obsahuje rozměry nástrojů a doporučený rozsah řezných podmínek u VBD a monolitních nástrojů dle výrobce.

7.1 SN1 – držák A12M-SCLCR 08

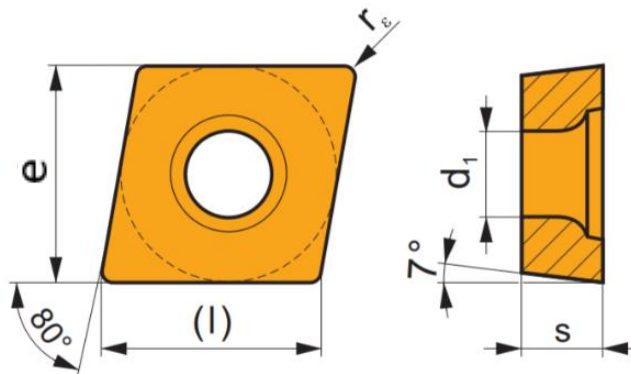


Obr. 13: SN1 [11]

Tab. 7: SN1 [11]

d	D_{min}	b	h	m	L
12 mm	16 mm	11,5 mm	11 mm	9 mm	150 mm
Výrobce	Dormer Pramet s.r.o.				

7.2 SN1 – VBD CCMT 09T304N-SU

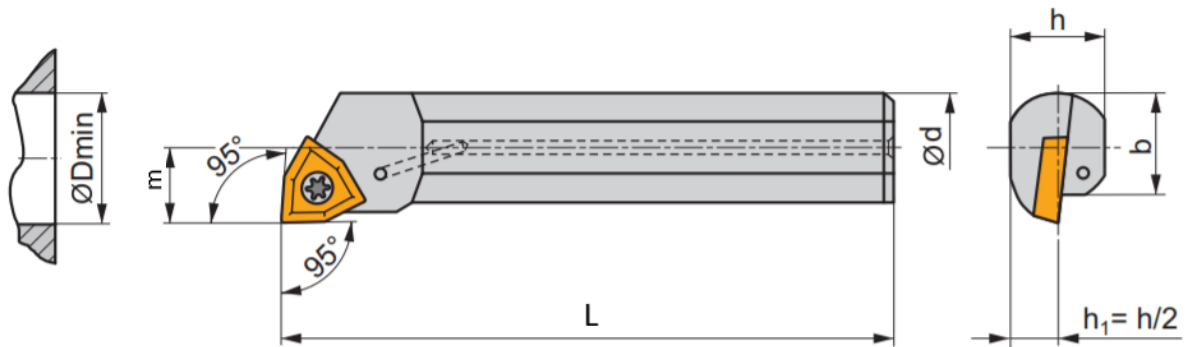


Obr. 14: VBD pro SN1 [11]

Tab. 8: VBD pro SN1 [20]

e	d_1	l	s	r_ϵ
9,525 mm	4,4 mm	8,1 mm	3,97 mm	0,4 mm
v_c	(160 ÷ 300) $m \cdot \text{min}^{-1}$			
a_p	(0,2 ÷ 2,5) mm			
f	(0,13 ÷ 0,40) $\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$			
Výrobce	Sumitomo Electric Industries			

7.3 SN2 – držák A20Q-SWLCR 06

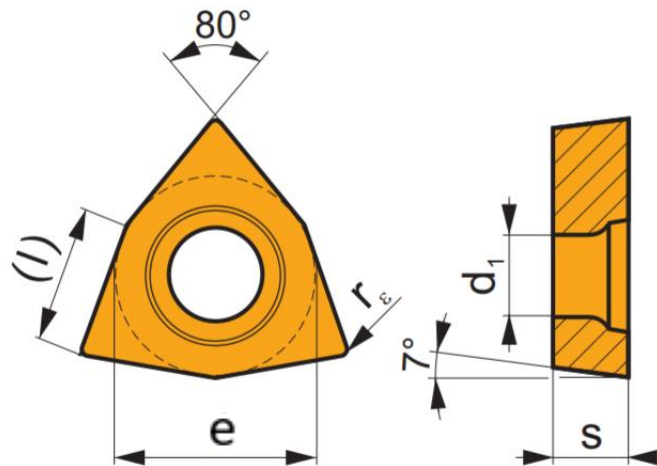


Obr. 15: SN2 [11]

Tab. 9: SN2 [11]

d	D _{min}	b	h	m	L
20 mm	25 mm	18,5 mm	18 mm	13 mm	180 mm
Výrobce	Dormer Pramet s.r.o.				

7.4 SN2 – VBD WCMT 06T308E-UR

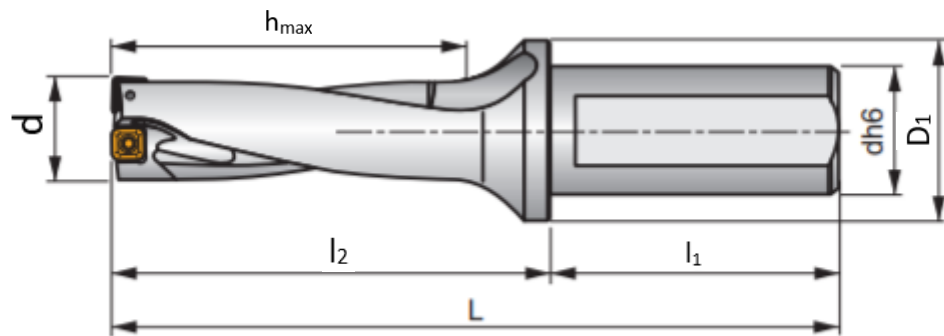


Obr. 16: VBD pro SN2 [11]

Tab. 10: VBD pro SN2 [11]

e	d ₁	l	s	r _ε
9,525 mm	4,4 mm	6,5 mm	3,97 mm	0,8 mm
v _c	(200 ÷ 275) m·min ⁻¹			
a	(0,8 ÷ 3,0) mm			
f	(0,15 ÷ 0,30) mm·ot ⁻¹			
Výrobce	Dormer Pramet s.r.o.			

7.5 VRT1 – 803D – 25 – 75 – S32

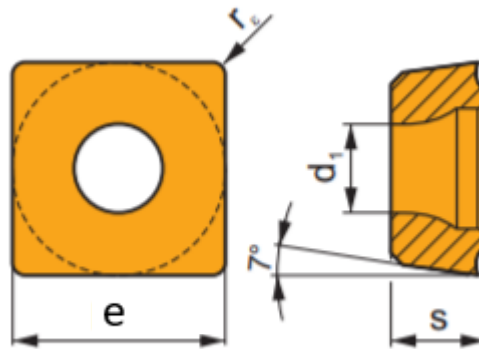


Obr. 17: VRT1 [11]

Tab. 11: VRT1 [11]

d	l ₁	l ₂	L	D _{min}	h _{max}	dh6	D ₁
25	60	113	173	35	78	32	42
Výrobce	Dormer Pramet s.r.o.						

7.6 VRT1 – VBD1 SCET 070308-UD

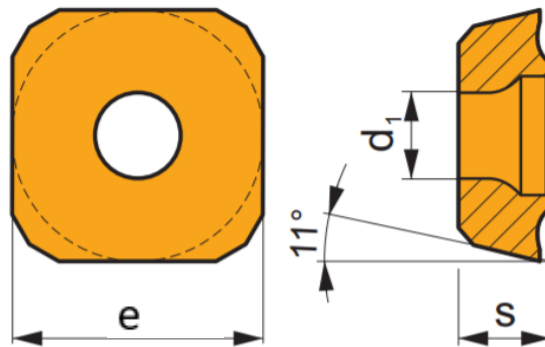


Obr. 18: VBD1 pro VRT1 [11]

Tab. 12: VBD1 pro VRT1 [11]

r _e	e	s	d ₁
0,8 mm	7,937 mm	3,18 mm	3,5 mm
v _c	(140 ÷ 240) m·min ⁻¹		
f	(0,08 ÷ 0,20) mm·ot ⁻¹		
Výrobce	Dormer Pramet s.r.o.		

7.7 VRT1 – VBD2 XPET 0703AP

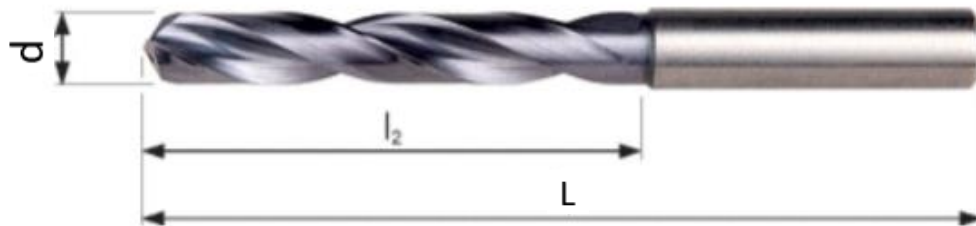


Obr. 19: VBD2 pro VRT1 [11]

Tab. 13: VBD2 pro VRT1 [11]

r_ϵ	e	s	d_1
0,8 mm	7,937 mm	3,18 mm	3,5 mm
v_c	$(140 \div 240) \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$		
f	$(0,07 \div 0,18) \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$		
Výrobce	Dormer Pramet s.r.o.		

7.8 VRT2 – R453

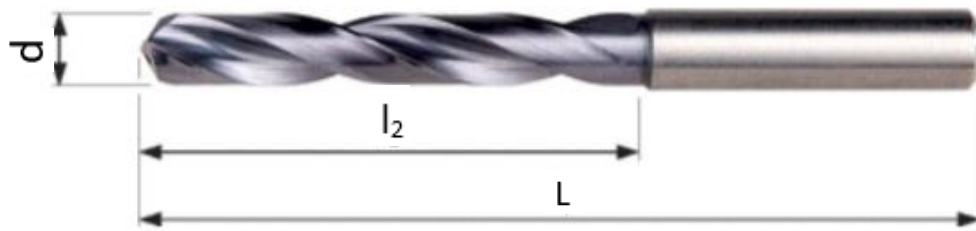


Obr. 20: VRT2 [12]

Tab. 14: VRT2 [12]

d	l_2	L	dh6
10,5 mm	70 mm	118 mm	12 mm
v_c	$(225 \div 275) \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$		
f	$(0,26 \div 0,42) \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$		
Výrobce	Dormer Pramet s.r.o.		

7.9 VRT3 – R453



Obr. 21: VRT3 [12]

Tab. 15: VRT3 [12]

d	l_2	L	dh6
6,5 mm	53 mm	91 mm	8 mm
v_c	$(225 \div 275) \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$		
f	$(0,12 \div 0,20) \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$		
Výrobce	Dormer Pramet s.r.o.		

7.10 FR1 – S262

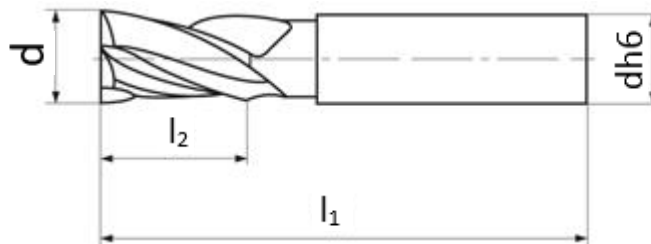


Obr. 22: FR1 [13]

Tab. 16: FR2 [13]

d	r	l_2	L	dh6	zuby
12 mm	3 mm	26 mm	83 mm	12 mm	4
v_c	$(99 \div 121) \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$				
f	$(0,062 \div 0,104) \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$				
Výrobce	Dormer Pramet s.r.o.				

7.11 FR2 – S111402



Obr. 23: FR2 [14]

Tab. 17: FR2 [14]

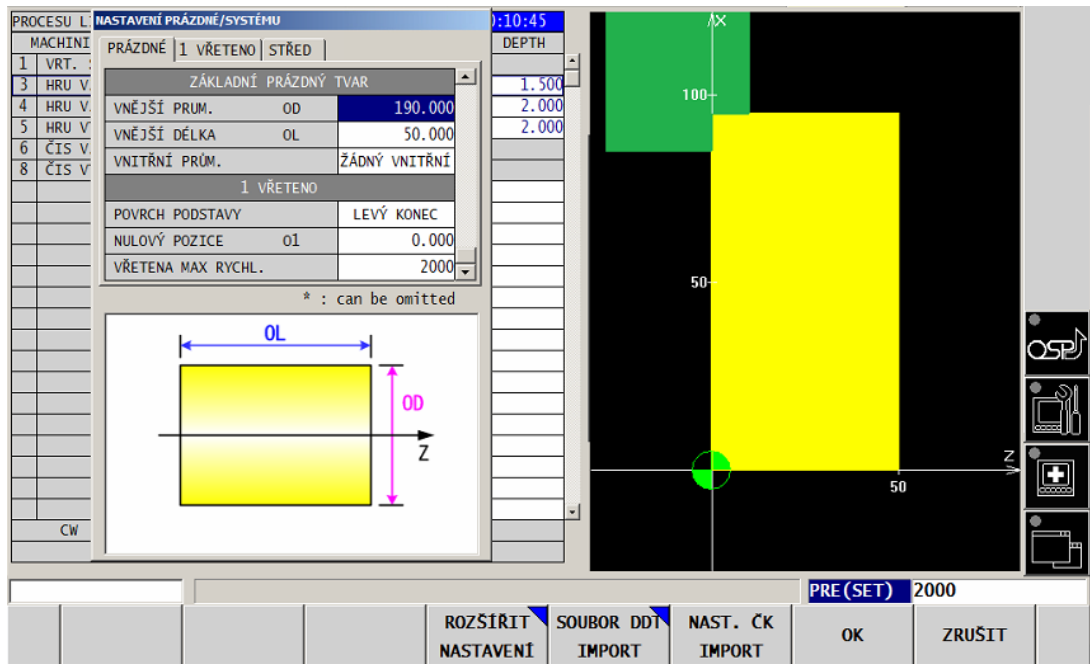
d	l ₂	l ₁	zuby	dh6
8 mm	19 mm	63 mm	3	8 mm
v _c	220 m·min ⁻¹			
f	0,053 mm·ot ⁻¹			
Výrobce	ZPS - frézovací nástroje, a.s.			

8 Tvorba NC kódu pro výrobu

Tvorba potřebného NC kódu probíhala pomocí programu, který je k dispozici přímo v počítači na CNC soustruhu Okuma L200-MY. Program nese název Advanced One Touch IGF-1. Tato aplikace obsahuje adresář, v kterém uživatel může listovat a postupně pracovat na několika projektech. Každý tento projekt (resp. složka v adresáři) je vlastně jednou operací výrobního postupu. Program je založen na poměrně jednoduchém principu definováním ploch, které mají vzniknout po procesu obrábění. Tento způsob tvorby kódu se považuje za dílenské programování. Abych však nemusel pracovat na výrobním postupu přímo na stroji, využil jsem aplikace TeamViewer, která umožňuje sdílet obrazovku do jiného počítače a ovládat tak program Advanced One Touch IGF-1 na dálku. Využitím aplikace TeamViewer došlo ke značnému ulehčení práce.

Postup je velice prostý. V první řadě je nutné definovat polotovary a způsob upnutí obrobku příslušné operace (obr. 24). Pokud se jedná o několikatou operaci, kde se přeupl za již obrobený průměr, je třeba definovat způsob upnutí, polotovar se volí stejný jako v předchozích

operacích. Zjednodušeně řečeno, pokud se vytváří například druhá operace, musí se začít znovu od nuly, tudíž nebude již obrobena plocha vidět, uživatel jí však musí uvažovat.



Obr. 24: Definování polotovaru a upnutí v aplikaci Advanced One Touch IGF-1

Následující obrobenu plochu lze získat dvěma způsoby. U obou způsobů se nejprve určí typ obrábění. První způsob řešení spočívá v definování obrobene plochy každého kroku obrábění na kartě *Proces list*. Dojde tedy k definování hrubovacího procesu, a až následně nezávisle na hrubovacím procesu mohou přejít k procesu na čisto. Tento způsob postupu hodnotím jako zdlouhavý, ale spolehlivý. Druhým způsobem je definování konečného tvaru pro příslušný proces obrábění na kartě *Obrázková sekce list* a následné vyvolání procesu na kartě *Proces rozhodnutí*. Tento postup nám program vygeneruje proces obrábění (hrubovací a následně dokončovací), tak jak uzná za nejvhodnější. Tento postup hodnotím jako jasný a rychlý, ale mnohokrát jsem se potkal s tím, že došlo k vygenerování nesmyslných procesů. Nutno dodat, že vygenerováním procesu přes kartu *proces rozhodnutí*, uživatel nemusí tento postup uvažovat jako konečný, jelikož do něj může zasáhnout, promazat jednotlivé kroky, upravit tvary jednotlivých automaticky vygenerovaných procesů pro získání výsledného tvaru. Jednotlivé procesy se seřadí na kartě *Proces list*, která je užívána v prvním případě. V mé tvorbě jsem proto šikovně volil částečně oba způsoby, kde jsem si nechal vygenerovat proces přes mnou definovaný tvar a následně jsem ho poupravil, tak jak jsem uznal za vhodné.

Na (obr. 25) je vidět první operace výroby středu kola, kde jsou na levé straně v časové posloupnosti definovány způsoby obrábění a na pravé straně definovanou konturu na žlutě zbarveném obrobku a zeleně znázorněném způsobu upnutí.

PROCESU LIST										00:00:34/00:28:13	
MACHINING UNIT	REV	H	O1	O2	ROT.	CT.S	POSUV	DEPTH			
1	VRT. SLP	T	7		7	2037	160	0.090			
3	HRU VJ ČELO	T	1		1	1790	135	0.200		1.500	
8	HRU VJ <	T	1	1	1	541	180	0.300		2.000	
5	HRU VT <	T	3		3	601	120	0.150		1.500	
7	ČIS VT <	T	3		3	637	120	0.080			
6	ČIS VJ ČELO	T	1		1	895	180	0.080			

Obr 25: První operace v aplikaci Advanced One Touch IGF-1

Hodnoty otáček na (obr. 25) udávají hodnotu otáček v daném čase. CNC soustruh sice vychází ze zadané hodnoty řezné rychlosti, ale potřebné otáčky přizpůsobí podle obráběného průměru tak, aby hodnota řezné rychlosti byla konstanta (viz pole *ROT.*). Došlo by například k „přestřelení“ hodnoty otáček, je k dispozici omezovač otáček (obr. 24) pole *VŘETENA MAX. RYCHLOST*, které obsahuje maximální možnou hodnotu otáček vřetene pro danou operaci.

Na (obr. 26) a (obr. 27) je vidět druhá operace výroby středu kola. Polotovar jsem zvolil jako dutou kruhovou tyč o vnějším průměru 190 mm a se zarovnaným čelem o 3 mm. Takže je jeho výchozí délka 47 mm.

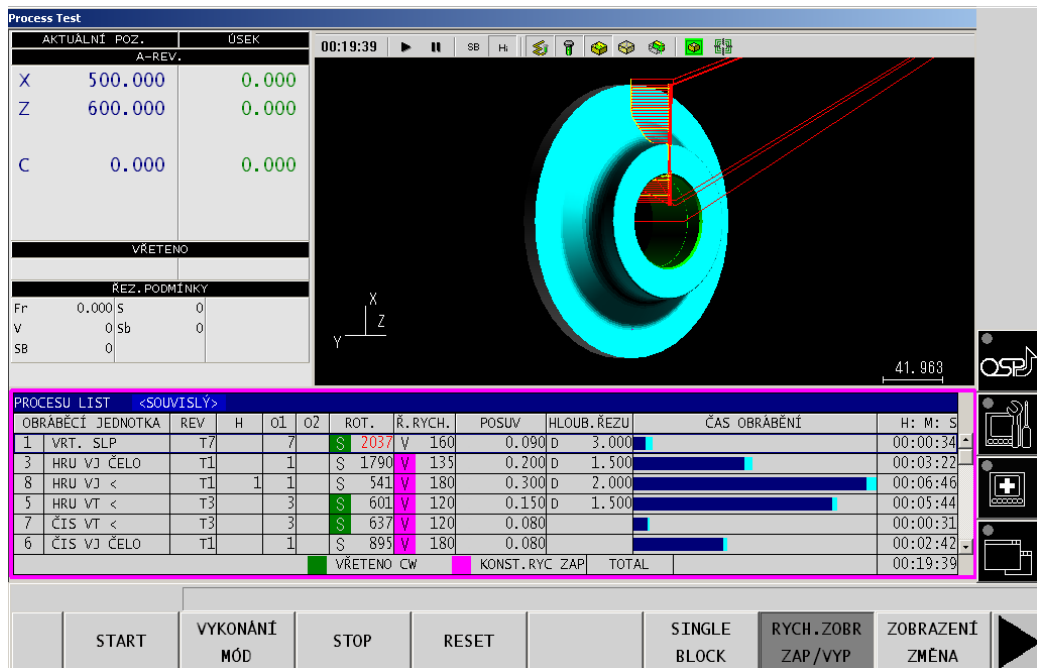
PROCESU LIST									00:05:32/01:56:41	
MACHINING UNIT	REV	H	O1	O2	ROT.	CT.S	POSUV	DEPTH		
1	HRU VJ ČELO	T	1	1	758	150	0.200	1.500		
2	HRU VJ <	T	1	1	257	150	0.250	1.500		
3	HRU VT <	T	3	3	513	100	0.150	1.000		
4	HRU VT ČELO	T	3	3	468	100	0.200	1.000		
5	ČIS VT <	T	3	3	488	95	0.080			
6	ČIS VT ČELO	T	3	3	451	95	0.090			
7	ČIS VT ČELO	T	3	3	404	85	0.070			
8	ČE M VRT SLP	T	5	5	3032	100	0.120	12.000		
9	ČE M VRT SLP	T	5	25	4897	100	0.110	6.000		
10	ČE M KONT R	T	11	11	3979	100	0.050	2.000		
11	ČE M KONT R	T	11	11	4775	120	0.040	5.000		
12	Y ČE M V.KAP R	T	9	9	2918	110	0.050	5.200		
13	Y ČE M V.KAP R	T	9	9	2918	110	0.050	5.200		
14	Y ČE M V.KAP F	T	9	9	3183	120	0.040	7.500		
15	Y ČE M V.KAP F	T	9	9	3183	120	0.040	7.500		
16	Y ČE M V.KAP R	T	9	9	2653	100	0.045	4.000		
17	Y ČE M V.KAP F	T	9	9	2918	110	0.040	7.500		
18	Y ČE M V.KAP R	T	9	9	2653	100	0.045	4.000		
19	Y ČE M V.KAP F	T	9	9	2918	110	0.040	7.500		
20	Y ČE M V.KAP R	T	9	9	2653	100	0.045	4.000		
21	Y ČE M V.KAP F	T	9	9	2918	110	0.040	7.500		
CCW		KONST. RYCH.								

Obr. 26: Druhá operace v aplikaci Advanced One Touch IGF-1 (nárys v řezu)

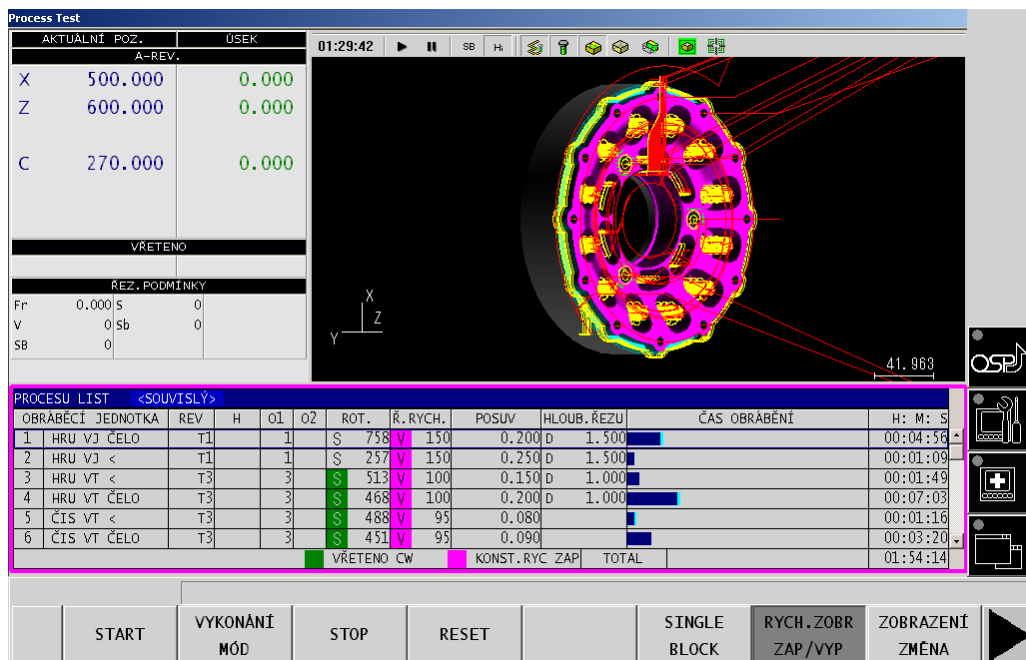
PROCESU LIST									00:00:30/01:56:41	
MACHINING UNIT	REV	H	O1	O2	ROT.	CT.S	POSUV	DEPTH		
1	HRU VJ ČELO	T	1	1	758	150	0.200	1.500		
2	HRU VJ <	T	1	1	257	150	0.250	1.500		
3	HRU VT <	T	3	3	513	100	0.150	1.000		
4	HRU VT ČELO	T	3	3	468	100	0.200	1.000		
5	ČIS VT <	T	3	3	488	95	0.080			
6	ČIS VT ČELO	T	3	3	451	95	0.090			
7	ČIS VT ČELO	T	3	3	404	85	0.070			
8	ČE M VRT SLP	T	5	5	3032	100	0.120	12.000		
9	ČE M VRT SLP	T	5	25	4897	100	0.110	6.000		
10	ČE M KONT R	T	11	11	3979	100	0.050	2.000		
11	ČE M KONT R	T	11	11	4775	120	0.040	5.000		
12	Y ČE M V.KAP R	T	9	9	2918	110	0.050	5.200		
13	Y ČE M V.KAP R	T	9	9	2918	110	0.050	5.200		
14	Y ČE M V.KAP F	T	9	9	3183	120	0.040	7.500		
15	Y ČE M V.KAP F	T	9	9	3183	120	0.040	7.500		
16	Y ČE M V.KAP R	T	9	9	2653	100	0.045	4.000		
17	Y ČE M V.KAP F	T	9	9	2918	110	0.040	7.500		
18	Y ČE M V.KAP R	T	9	9	2653	100	0.045	4.000		
19	Y ČE M V.KAP F	T	9	9	2918	110	0.040	7.500		
20	Y ČE M V.KAP R	T	9	9	2653	100	0.045	4.000		
21	Y ČE M V.KAP F	T	9	9	2918	110	0.040	7.500		
CW										

Obr. 27: Druhá operace v aplikaci Advanced One Touch IGF-1 (půdorys)

Definováním polotovaru, výsledného tvaru po obrábění, řezných podmínek, pozic nástrojů a případné úpravy drah nástrojů se pomocí karty *Proces test* může přejít na 3D simulaci obrábění, která odhalí chyby a nedostatky, kterých se tímto lze vyvarovat. Modrý graf pod obrobkem znázorňuje strojní čas jednotlivých kroků a i celkový čas. Červené přímky znázorňují dráhy špiček nástrojů. Dráhy fréz jsou žluté (obr. 28), (obr. 29)



Obr. 28: Simulace první operace v aplikaci Advanced One Touch IGF-1

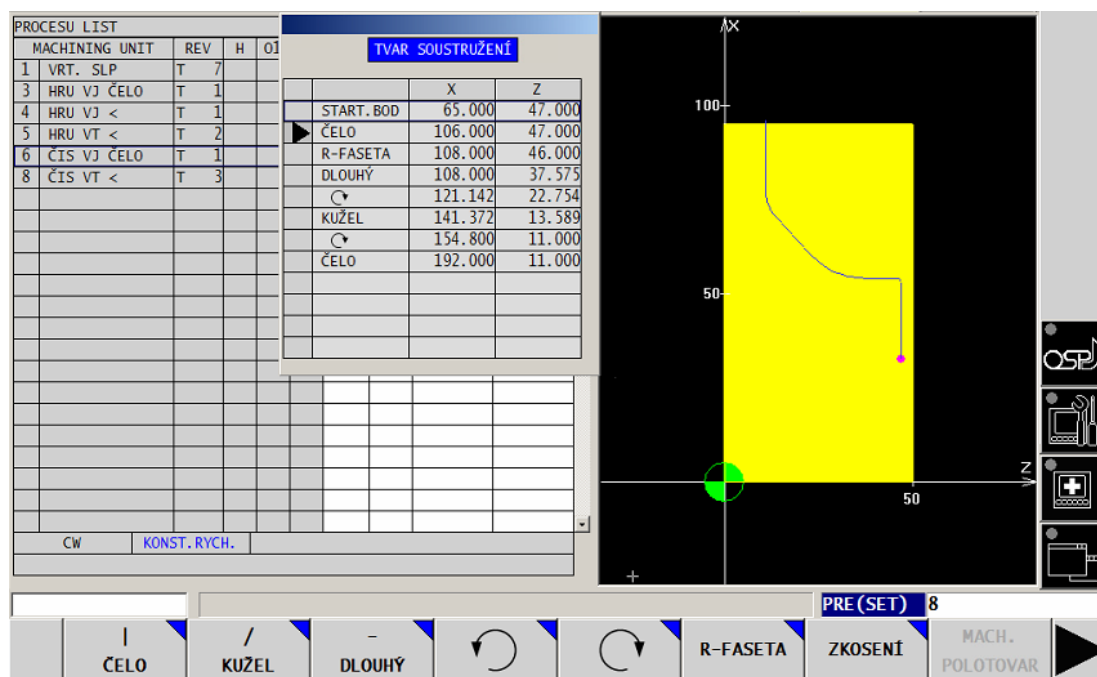


Obr. 29: Simulace druhé operace v aplikaci Advanced One Touch IGF-1

I když výstupem v mé práci není dokonalý popis tvorby dat a tvorba manuálu pro program Advanced One Touch IGF-1, rád bych alespoň pro představu popsal, jak jsem definoval jednu z kontur pro obrobení polotovaru.

Jako příklad jsem vybral definování soustružené vnější kontury a čela obrobku na čisto v první operaci. K tvorbě obráběné plochy se dostaneme po zvolení způsobu obrábění a následné volbě rezných podmínek, které jsou už předvyplněné, na základě dedukce programu

podle zvoleného typu obrábění. Samotné řezné podmínky (jak už bylo zmíněno) jsem volil až po importu dat z počítače přímo na stroji. Na (obr. 30) je vidět startovní bod, který je zbarven do růžova. Jeho souřadnice jsou vidět v tabulce.



Obr. 30: Definování obráběné plochy v aplikaci Advanced One Touch IGF-1

Pro upřesnění, je obrobek znázorněn v řezu. Proto je nutné psát hodnoty bodů ve směru x dvojnásobně než je uvedeno na ose. Tato trivialita mi několikrát zkomplikovala celý proces tvorby plochy. Startovní bod určuje jednak počáteční bod, z kterého se celá křivka bude odvíjet, ale zároveň definuje počáteční bod pro příslušný typ obrábění. Dále se postupuje podle potřeby zcela jednoduchým způsobem definováním křivek. Funkcí *Čelo* se soustruží čelo (rovnoběžně s osou x) a stačí pouze určit koncový bod. Funkce *R-faseta* slouží k definování zaoblení, kde stačí akorát stanovit rádius. Funkce *Dlouhý* slouží ke stanovení křivky rovnoběžné s osou z a stačí (stejně jako u funkce *Čelo*) stanovit pouze koncový bod. Funkce oblouku, která je na kartě charakterizována šipkou definující smysl natočení oblouku, vytvoří požadovaný rádius. Lze jí uplatnit i místo funkce *R-faseta*. V tomto případě si stačí akorát vybrat smysl otáčení oblouku, koncový bod a střed kružnice, která určuje stanovený oblouk. Funkce *Kužel* vytvoří úsečku v obecném tvaru (tzn. v poloze nerovnoběžné ani s jednou osou). Stačí definovat koncový bod a úhel úsečky. V tomto případě neuplatněná funkce *Zkosení* funguje na stejném principu jako *R-faseta*. Je podstatné brát také v potaz, jak se vlastně nástroje budou pohybovat a kde budou jejich počáteční a konečné polohy. S úmyslem, že při soustružení na čisto by měl nástroj danou plochu přejet, proto jsem volil koncový bod 192, a také počáteční bod má zvolenou jistou bezpečnost.

Při tvorbě křivek můžeme narazit na náročnější úlohy. Speciálně při frézování obvodového tvaru, který je vidět např. na (obr. 27), by se jednalo o nekonečný proces, jelikož musí být zvolen pouze jediný počáteční bod a uplatněním funkce pole, kterou je mj. aplikace vybavena, vytvoří několik počátečních bodů (v tomto případě 12). Tímto postupem dojde k jistému nahlášení chyby, jak jsem se mohl sám přesvědčit. Uživatel může křivku získat pomocí importování DXF křivky, kterou lze vytvořit například v aplikacích od firmy Autodesk. Tento postup jsem volil i já a tím jsem si značně ulehčil práci. Pro tvorbu kapes, které jsou vidět taktéž na (obr. 27), jsem využil zmíněnou funkci pole a rovněž jsem si tím práci značně usnadnil.

Obrábění pomocí programu Advanced One Touch IGF-1 nehodnotím z mého pohledu záporně z hlediska náročnosti ovládní. S tímto programem jsem se setkal prvně, až při tvorbě mé práce, ale po drobných konzultacích a náhledu do manuálu [11], jsem ho během pár dní byl kompletně schopný ovládat. Je sice pravda, že během mé práce nastala nejedna nahlášená a z mého pohledu nevysvětlitelná chyba. Jedním z příkladů je nakonec vyřazený zpětný vnitřní soustružnický nůž, který byl jasně definován v obsahovém centru aplikace, ale při přechodu do sekce *Proces test*, se tento nůž vůbec nezobrazoval, jako by vůbec nebyl. Po konzultaci jsem pro tento krok použil ve virtuálním prostředí kopii podobného nástroje s upravenými parametry.

9 Vyhodnocení celého procesu a fotodokumentace

Řezání na pásové pile se neobešlo bez komplikací. Při řezání prvního polotovaru bylo zjištěno, že pás je otupený. Výsledkem byl narušený polotovar, který po přeměření neměl konstantní délku 50 mm. Po diskuzi bylo usouzeno, že vzhledem ke zvolenému přídávku na obrobení čela se polotvar dal použít a jeho zkrácená délka, která v jednom místě dosahovala hodnoty 48 mm, neohrozí proces a lze polotovar využít pro výrobu. Při řezání ostatních polotovarů s vyměněným pásem nedošlo k žádné komplikaci. (obr. 31), (obr. 32)



Obr 31: Řezání polotovaru na pásové pile

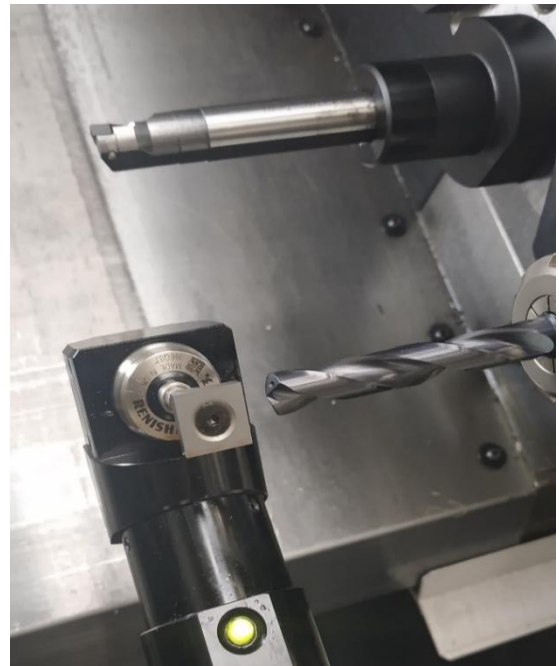


Obr. 32: Řezání polotovaru na pásové pile (detail)

Ikdyž má revolverová hlava CNC soustruhu dvanáct poloh pro nástroje, bylo pro první operaci obsazených poloh nástroji šest tak, aby vedle každým nástrojem byla volná poloha. Tím jsem se vyhnul možné kolizi s čelistmi. (obr. 33) Vlivem nedostatku držáků pro neaxiální vrtání se muselo přistoupit k variantě výměny sedmého nástroje během druhé operace. Výměna spočívala v pozastavení procesu a následné záměně vrtáku 10,5 mm, který už byl během druhé operace aplikován za vrták 6,5 mm a s nimi i odpovídajících kleštin. Před samotným obráběním se však musely nakorigovat nulové polohy nástrojů, podle kterých se budou nástroje orientovat v prostoru. (obr. 34)



Obr 33: Upnuté nástroje



Obr. 34: Korigování nulových poloh nástrojů

Na (obr. 35) je vidět upnutý obrobek po první operaci. Kromě axiálního vrtání je součástí této operace pouze soustružení. Kritičtějším místem byla kuželová plocha a k ní příslušná zaoblení. Zde bylo třeba využít jeden polotvar jako pokusný a vyladit řezné podmínky tak, aby byla výsledkem na omak hladká plocha stejně jako všude jinde. Speciální důraz byl kladen na soustružení funkční vnitřní plochy, která podléhá toleranci na délce 8 mm. Při axiálním vrtání i při soustružení se tvořila žádoucí drobná tříška, kterou bych dle (obr. 8) zařadil do sekce A – B. (obr. 36)



Obr. 35: Upnutý obrobek (první operace)



Obr. 36: Tříška

Celá výroba probíhala s jistou opatrností, jelikož destičky, které byly používány, byly určeny především k obrábění konstrukčních ocelí. Tím pádem neexistovaly jasně dané parametry pro obrábění používaného materiálu. Zvolené hodnoty dle (tab. 1) a (tab. 3) vycházejí tak, aby byl výsledkem hladký povrch a splnění požadovaných tolerancí. K vyladění těchto hodnot pomohl sekundární pokusný obrobek ze stejného materiálu. Po konzultaci jsem se přikláněl spíše k variantě volit nižší řezné rychlosti pro soustružení. Opravdu znát byla změna řezné rychlosti pro vnitřní soustružení načisto $\text{Ø}68$ na délce 36 mm ve druhé operaci a následné soustružení vnitřní plochy a čela načisto. Změna řezné rychlosti z původních $110 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ na $95 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ měla skutečně zásadní význam pro výsledný povrch.

Druhá operace je oproti té první značně náročnější. Je v ní zahrnuto soustružení, neaxiální vrtání a čelní frézování. Bylo potřeba detailně zmapovat způsob postupu obrábění. Pomocí primárního pokusného silonového obrobku, který sloužil k odhalování chyb ve vygenerovaném NC kódu, bylo odhaleno několik fatálních problémů, které značně zneprůjemnily a odložily výrobu. Oba problémy vznikly v sekci frézování. Jako první byla odhalena chyba při frézování kapes. Kapsy byly původně definovány pomocí polárních souřadnic. To spočívalo v pohybu obrobku kolem své osy c pomocí hlavního vřetene a pohybu nástroje, jehož osa byla definována pomocí roztečné kružnice od osy vřetene. Nástroj byl samozřejmě poháněn a vykonával rotační pohyb. Chyba spočívala v nekonstantním pohybu vřetene, které se při nájezdu frézy odbrzdilo a vykonalo nekonstantní cukavý pohyb. To se opakovalo při úběru materiálu v každé odebrané vrstvě. Po rozebírání a hledání chyby se muselo přistoupit na alternativní řešení. Bylo jasné, že při tomto nekonstantním pohybu hrozila destrukce nástroje, v případě použití obrobku z požadovaného materiálu, a sice duralu. Druhým řešením, které nakonec vyšlo jako příznivé, spočívalo v definování kapes pomocí kartézských souřadnic, to znamenalo, že vřeteno bylo při tvorbě kapsy zabrzděno a pohyboval se pouze hnaný nástroj. Po vytvoření dvou sousedících kapes se vřeteno odbrzdilo, došlo k pootočení o potřebný úhel a celý proces se opakoval. Druhým problémem bylo zjištění, že při tvorbě loukotí, které jsou nedílnou částí celého středu kola, by docházelo ke kolizím s čelistmi o pár milimetrů. Tento fakt mě donutil vyměnit čelisti za měkké čelisti, které jsem si osoustružil o 8 mm na $\text{Ø}108$, tak aby byly přizpůsobeny pro druhou operaci. Po výměně čelistí byla kolize vyloučena. Způsob tvorby loukotí probíhal stejným způsobem jako finální tvorba kapes tj. pomocí kartézských souřadnic. Nicméně se muselo přistoupit k rozdělení frézování loukotí do dvou tvarů, neboť byla funkční délka radiusové frézy FR1 pouhých 26 mm a potřebných 34 mm nebylo možno udělat jedním krokem. Dva definované tvary, jejichž výsledkem byl

požadovaný tvar loukotí, měl každou hloubku frézování jinou, tak aby se frézovalo pouze funkční délkou 26 mm. Kvůli cukavému pohybu vřetene byl definován náběh frézy po definované tečné křivce, která navazovala na obvodový tvar středu kola. Náběhem frézy došlo k cuknutí vřetene, ve chvíli, kdy byla fréza FR2 ještě mimo obrobek. Oproti soustružení načisto, které již bylo vystiženo v předchozích odstavcích této kapitoly, bylo frézování načisto zcela jednodušší, neboť nástroje byly určeny pro obrábění daného materiálu a tak se dalo řídit reznými podmínkami, které výrobci uvádí. Samozřejmě jsem se snažil z opatrnosti volit spíše ze spodní hranice rozsahu. Jak už bylo řečeno, tak k odhalování již zmíněných chyb byl použit pokusný obrobek z bílého silonu. Volba pokusného materiálu byla rozhodně správná, neboť při frézování kapes načisto došlo k jeho nešťastné destrukci, konkrétně v oblasti plochy kapsy a vnitřní plochy středu kola. Došlo tak při špatnému definování výjezdu frézy po dokončení kroku. Destrukci bych svedl spíše na fyzickou únavu z dlouhé práce.

Při obrábění naostro tj. s použitím obrobku, který byl úspěšně obroben v první operaci, se začínalo soustružením. Stejně jako v první operaci, se muselo dát pozor, aby tentokrát SN2, jehož VBD má definované rezné podmínky pro konstrukční oceli, obrobil materiál do hladka při dokončovací. Zejména v problémovém místě, kterým byla plocha kužele s příslušným zaoblením. Vše bylo vyladěno na sekundárním pokusném obrobku a konečné hodnoty vytvořili velice hladkou strukturu plochy materiálu. V části vrtání nebyl jediný problém a není třeba tyto kroky nějak rozvádět. V sekci frézování byly všechny mouchy vycity již při obrábění testovacích obrobků. Jediným problémem, který byl prostým faktem, byly naprogramované dráhy fréz, způsobující dlouhý strojní čas. Úpravou drah fréz, tak že se zvýšila hloubka frézování jedné hladiny a zvýšením posuvu, se strojní čas značně zkrátil. Při všech metodách obráběcích metodách, které zde byly aplikovány, se tvořila vizuálně podobná žádoucí tříška, kterou bych rovněž jako v první operaci zařadil do sekce A – B dle (obr. 8). Na (obr. 37) je upnutý obrobek v měkkých čelistech před druhou operací. Výsledný obrobek po druhé operaci je na (obr. 38).



Obr. 37: Obrobek před druhou operací



Obr. 38: Výsledný obrobek

Kapitola 3 byla věnována obrobiteľnosti hliníkových slitin, kde jsem uvedl vyčtené informace z praxe o volbě řezných podmínek pro slitinu EN AW 7075. Bylo zde řečeno, že tento druh materiálu oproti jiným druhům obrábění je náročnější soustružit. Tato teorie se skutečně potvrdila, neboť stačilo lehce pozměnit řeznou rychlost a povrch vypadal úplně jinak. Podle mého názoru nešlo ani o to, jak moc velká řezná rychlost bude použita. Zásadní je skutečnost, že se obrábělo VBD, které nejsou určeny pro obrábění tohoto materiálu. Po vychytání řezných podmínek mohu konstatovat, že EN AW 7075 je dobře obrobiteľným materiálem, neboť se tvořila dobrá tříška. Během výroby všech osmi součástí a jedné pokusné se dvakrát otočila VBD u SN1 a SB2 kvůli opotřebené špičce. Frézy a vrtáky zůstaly jako nové. Ke zvýšení obrobiteľnosti také přispěla řezná kapalina Blaser synergy 735 o koncentraci 8 % s kterou se obrábělo po celou dobu

10 Použité přístroje k měření

10.1 Měřicí přístroj ScanMax

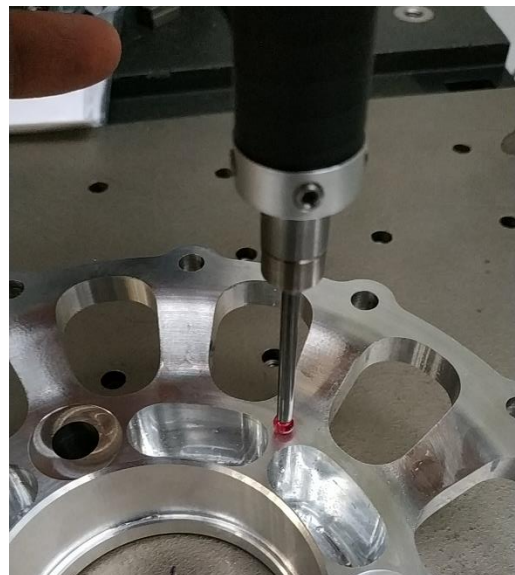
Měření rozměrů obrobku, které jsou opatřeny tolerancemi, proběhlo na ručně ovládaném souřadnicovém měřicím stroji Scanmax, který je vybaven dotykovou sondou ze syntetického rubínu (obr. 39), která měří s maximální přesností (na desetiny mikronů) pomocí tří os. Měřicí přístroj je zachycen na (obr. 40), při měření obrobeného středu kola. Přístroj je vybaven i teplotní sondou, která vyhodnotí výsledek i na základě teploty obrobku. Vyhodnocení měření součástí je shrnuto v kapitole 6.



Obr. 39 Scanmax

Tab. 18: Scanmax [19]

Napětí	230±10% V
Frekvence	50-60 Hz
Celkový příkon	400 W
Rozměry	640 x 1057 x 2080 mm
Oblast měření	850 x 450 x 450 mm
Hmotnost	400 Kg Nosnost 50 Kg
Nosnost	50 Kg



Obr. 40: Detail měření pomocí Scanmax

10.2 Posuvné měřítko Asimeto

Bez kvalitního posuvného měřítka bych se skutečně neobešel. Bylo používáno například pro řezání na pásové pile, pro kontrolu polotovaru v průběhu obrábění (když byl upnut). (obr. 41)



Obr. 41: Posuvné měřítko Asimeto [16]

Tab. 19: Parametry posuvného měřítka Asimeto [16]

Norma	DIN 862
Materiál	Nerezová ocel kalená
Displej	LCD-displej 12 mm
Oblast měření	až 150 mm
Dělení	dělení 0,01 mm/0,0005 inch

11 Vyhodnocení měření středu kola

							
Uživatel:	ČVUT	Název firmy:					
Název součásti:	---	Start-modus:	3D-posuvka				
Číslo výkresu:	---	Sériové číslo:	---				
Číslo zakázky:	---	Číslo dílu:	---				
Poznámka:	dil iO dil s odchylkou dil niO						
Teplota:	22.85°C	Datum:	16.5.2019	Čas:	12:28:36		
Měřicí program:	Varianta:						
Délková jednotka:	mm						
Materiál:	Aluminium						
Stroj:	ScanMax-IPX	ID-Code:				53F8C6040000	
Č.stroje.:	1000401	Revize:				2.6.2	
Charakter	SY	Skut.rozmě	Jmen.rozmě	H.tol.	D.tol.PŘE		
(2) Uložení pro náboj							
D	D	64.0651	64.0000	0.1000	0.0500 		
EG	EG	0.0199					
(9) Díra 10,5-2							
D	D	10.5335	10.5000	0.0270	0.0000 		
EG	EG	0.0133					
(15) Vzdálenost [13,14]							
L XYZ	LXYZ	0.2516	0.0000	0.0250	0.0000 		
(21) Vzdálenost [16,20]							
L XY	LXY	0.2575	0.0000	0.0250	0.0000 		
(24) Vzdálenost [23,22]							
L Z	LZ	29.0166	29.0000	0.0000	-0.1000 		
(12) Rovina							
Pos Z	Z	0.0763	0.0000	0.0250	-0.0250 		
EG	EG	0.0652					

Obr 42: Protokol měření tolerancí součástky

Tab. 20: Vysvětlivka k protokolu měření tolerancí součástky

(2)	Tolerance pro náboj kola $\varnothing 64_{+0,05}^{+0,1}$
(9)	Tolerance díry $\varnothing 10,5H8$
(15)	Geometrická tolerance polohy díry $\varnothing 10,5$ s hodnotou 0,05
(21)	Geometrická tolerance polohy díry $\varnothing 6,5$ s hodnotou 0,05
(24)	Hloubka kapes $29_{-0,1}^{+0}$
(12)	Kolmost resp. házení levého čela (soustruženého při druhé operaci) s hodnotou 0,05

Na obrázku (obr. 42) je protokol měření na souřadnicovém měřicím stroji Scanmax. Černě zbarvený text značí výsledek měření, který se vešel do tolerančního pásma. Červeně zbarvený text patří rozměrům, které se v tolerančním pásmu nevyskytují. Ke kontrole lze použít výkres (obr. 1), kde jsou příslušné tolerance zakótovány. Tento výkres jsem předělal dle modelu, který jsem dostal od CarTech CTU a výkresu, kde jsou uvedeny všechny tolerance.

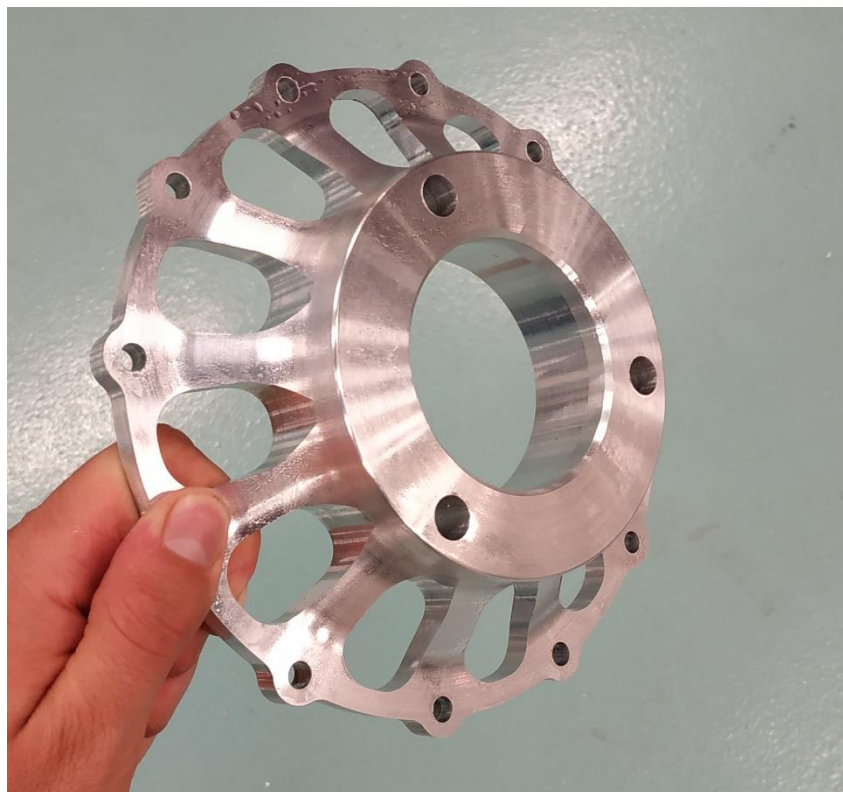
Nejprve bych chtěl komentovat tolerance polohy, které mají pořadová čísla (15) a (21). Tolerance se měřily vzdáleností od teoreticky přesných středů kružnic, které reprezentuje jedna z vybraných děr na dané roztečné kružnici k naměřenému skutečnému středu odpovídající díry. Tato vzdálenost by měla být dle výkresu maximálně 0,025 mm. Pro vybranou díru na roztečné kružnici o průměru 90 mm vyšla tato vzdálenost 0,2516 mm a pro díru na roztečné kružnici 171,4 mm je naměřená vzdálenost 0,2575 mm.

Na první pohled to vypadá tak, že výsledkem je naprosto nepřesná součástka. Dle výkresu se do tolerancí ve většině případech nepodařilo trefit. Po konzultaci s Ing. Jiřím Sommerem, který je mimochodem autorem původního výkresu středu kola, jsme společně i s Ing. Michalem Slaným, který mi při měření asistoval, usoudili, že tolerance na výkrese jsou velice přísné a v některé z nich, dokonce i zbytečné, neboť ztrácí význam. Např. H8 na průměru 10,5 je zde k ničemu, neboť samotný šroub bude mít velký průměr 10. Další zbytečností je kombinace tolerancí házení a kolmosti k základně A, jelikož vystihují tutéž problematiku. Celkem nepřesné bylo vrtání děr z hlediska jejich polohy. Tento problém však nebyl natolik velký, aby ohrozil funkčnost součástky, neboť jsme vyrobenou součástku zkoušeli nasadit na formuli a seděla, jak měla.

Měřena byla pouze jedna součástka, neboť se všechny ostatní řídily stejným výrobním postupem. Přesvědčil jsem se o tom namátkovou kontrolou měření jiné vyrobené součástky, která dosahovala hodnot, které se oproti uvedené změřené součástce lišily v řádu mikronů.



Obr. 43: Vyrobený střed kola I



Obr. 44: Vyrobený střed kola II

12 Závěr

Celá tato práce měla cíl, vyrobit vhodně a jednoduše zvoleným výrobním postupem prototyp součástky, která bude součástí kolové skupiny studentské formule. Konečným výrobním postupem mělo být dle domluvy s týmem CarTech CTU vyrobeno osm těchto součástek. Výroba probíhala na CNC soustruhu Okuma Genos L200E-MY pomocí vytvořeného programu v Advanced One Touch IGF-1 s nástroji dle dostupnosti.

CNC soustruh Okuma Gnos L200E-MY přispěl k výrobě, měl však několik limitujících faktorů, které komplikovaly výrobu. Jednou z nich pracovní prostor pro obrobky. Hraniční průměr je 200 mm. Používané polotovary měly 190 mm a tím pádem se muselo přistoupit k nestandardním postupům obrábění.

Tvorba programu, z kterého se generuje výsledný NC kód, probíhala zpočátku jednoduše. Postupem času bylo odhaleno několik problémů, které zpomalovaly celou realizaci. I když je program vcelku nenáročný, má překladatelské nedokonalosti.

Tvorba výrobního postupu a volba nástrojů měla být dle zadání práce volena, co nejjednodušším způsobem. Volba dvou upnutí byla optimální a dostačující, i když se pohrávalo s myšlenkou zapojit sousední frézku. Volba CNC soustruhu Okuma byla však vhodná volba, i přes komplikace s rotací vřetene při frézování, s kterým bylo nakonec vypořádáno pomocí vyladění programu pro obrábění.

Finální výroba osmi kusů středů kol se dá označit za poloautomatizovanou, neboť se při druhé operaci musel měnit vrták o jiném průměru. Tento postup byl zvolen z důvodu malého prostoru a hrozby kolize nástrojů, při zaplnění všech poloh nástroji v revolverové hlavě CNC soustruhu. Výroba probíhala nejprve obrobením dle první operace všech obrobků, pak až se přistoupilo k operaci druhé. Základní rozměry (zejména funkční průměr 64) byl kontrolován ještě při upnutí digitálním posuvným měřítkem. Dva obrobky byly vyřazeny z důvodů chybné korekce jednoho z nástrojů a chybně definovaného radiusu v programu.

Měření jedné ze součástí a vyhodnocení přesnosti proběhlo na Scanmax. U většiny tolerancí nebylo požadované přesnosti dosaženo. Nepřesnost byla způsobena volbou nejjednoduššího výrobního postupu a zejména v obrábění načisto nevhodně zvolenými nástroji, kterými se obrábělo již nahrubo, ale s jinými podmínkami. Dalším důvodem jsou jistě VBD,

kteře nejsou vhodné na daný materiál. Posledním možným důvodem nesplnění požadavku přesnosti byla zbytečně dlouhá délka držáku nože na vnitřní soustružení, která měla být zachována z důvodu dalšího používání. Tato délka mohla způsobit nežádoucí vibrace, které deformují výslednou konturu. Po konzultaci s týmem CarTech CTU a autorem výkresu, který tolerance zavedl, bylo konstatováno, že tolerance jsou zbytečně důrazné a výsledné rozměry jsou přijatelné.

Na požadované součástce došlo k pár změnám, které nemusí být na první pohled viditelné. První změnou byla změna průměru děr na větší roztečné kružnici z 6,2 na 6,5. To bylo způsobeno chybou při objednání vrtáku, neboť se požadovaný vrták ve škole nenacházel. Dále je třeba zmínit ne zcela dokonale navazující plochu mezi loukotěmi a tělem středu kola na průměru 108. To bylo způsobeno chybným přepočtem při aplikaci měkkých čelistí a jejich osoustružením zhruba o 2 mm hlouběji. Radiusová fréza tak neměla dostatek prostoru pro dokončení návaznosti plochy. Poslední nejviditelnější změnou je eliminace tvorby zkosení hrany levého čela. Bylo by třeba použít další nástroj a celý proces obrábění by se značně protáhl.

Z hlediska časové náročnosti byla práce skutečně náročná. Za vinu dávám to, že jsem si v podstatě celé zadání a průběh vymyslel sám. Jedním ze zlomových momentů byla konzultace s Bc. Janem Michálkem, při které jsem si vybral součástku, která se stane mou bakalářskou prací. Odhadově jsem spočítal počet hodin strávených ve školní hale a dopočítal jsem se k hodnotě 150 hodin. Především závěry byly náročné, jelikož druhá operace jednoho kusu trvala téměř dvě hodiny, proto byla celodenní práce ve školní hale častou záležitostí.

Výsledkem mé práce bylo osm součástí vyrobených totožným výrobním postupem. I když bylo měření nevyhovující, konstatuji, že cíl práce byl splněn, neboť součástky na voze sedí. Jako skutečně vydařenou část výroby, považuji první operaci, při níž po vyladění řezných podmínek (zejména pro soustružení v oblasti vnější kuželové plochy), bylo docíleno skutečně hladkého povrchu bez známek vibrace. Rovněž soustružení v druhé operaci, při kterém se projevovala zbytečně nadměrná délka držáku pro SN2, bylo vyladěno tak, že výsledný povrch byl bez jediné známky vibrace nástroje. Sekci vrtání považuji jako část nevydařenou, neboť nebylo celkem výrazně dodrženo toleranční pásmo. Vyzdvihl bych naměřený funkční rozměr průměru 64,0651mm, který se vešel do tolerančního pole. Tento rozměr je zásadní pro uložení náboj/hřídel. Myslím si, že v budoucnu by se dalo více zaměřit na frézování kapes a loukotí. Dokonce bych zvažoval, zdali nezapojit třetí operaci, která by kompletně obsahovala vrtání a frézování. Operace by mohla probíhat na frézce, třeba i s využitím CAM softwaru. Vyhnulo by

se tím problémům, které nastávaly při frézování v CNC soustruhu. Dále bych se zaměřil na vhodnější volbu nástrojů a VBD, které by příslušely obráběnému materiálu, s tím by se mohlo docílit větší přesnosti a kvalitnějšímu povrchu. Další možnou volbou pro zkvalitnění výsledků, by bylo rozdělení nástrojů pro hrubovací procesy a pro procesy dokončovací.

13 Seznam obrázků

Obr. 1: Výkres se základními rozměry	12
Obr. 2: Sestava kolové skupiny [1].....	13
Obr. 3: Obrobitelnost a její parametry [4]	15
Obr. 4: Třídy obrobitelnosti [6]	16
Obr. 5: Křivky otupení pro různé rychlosti řezu [3].....	17
Obr. 6: Dodefinování trvanlivostí pro příslušnou rychlost pomocí VB_{opt} [3].....	17
Obr. 7: Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti [3]	18
Obr. 8: Základní kategorie třísek podle tvaru [5]	18
Obr. 9: První operace	21
Obr. 10: Druhá operace.....	23
Obr. 11: CNC soustruh Okuma Genos L200E-MY [9].....	25
Obr. 12: Pásová pila Bomar practix 285.230 G [18]	26
Obr. 13: SN1 [11]	28
Obr. 14: VBD pro SN1 [11].....	28
Obr. 15: SN2 [11]	29
Obr. 16: VBD pro SN2 [11].....	29
Obr. 17: VRT1 [11]	30
Obr. 18: VBD1 pro VRT1 [11].....	30
Obr. 19: VBD2 pro VRT1 [11].....	31
Obr. 20: VRT2 [12]	31
Obr. 21: VRT3 [12]	32
Obr. 22: FR1 [13].....	32
Obr. 23: FR2 [14].....	33
Obr. 24: Definování polotovaru a upnutí v aplikaci Advanced One Touch IGF-1	34
Obr. 25: První operace v aplikaci Advanced One Touch IGF-1	35
Obr. 26: Druhá operace v aplikaci Advanced One Touch IGF-1 (nárýs v řezu).....	36
Obr. 27: Druhá operace v aplikaci Advanced One Touch IGF-1 (půdorys)	36
Obr. 28: Simulace první operace v aplikaci Advanced One Touch IGF-1.....	37
Obr. 29: Simulace druhé operace v aplikaci Advanced One Touch IGF-1.....	37
Obr. 30: Definování obráběné plochy v aplikaci Advanced One Touch IGF-1.....	38
Obr. 31: Řezání polotovaru na pásové pile.....	40

Obr. 32: Řezání polotovaru na pásové pile (detail)	40
Obr 33: Upnuté nástroje.....	41
Obr. 34: Korigování nulových poloh nástrojů	41
Obr. 35: Upnutý obrobek (první operace)	41
Obr. 36: Tříska	41
Obr. 37: Obrobek před druhou operací	44
Obr 38: Výsledný obrobek.....	44
Obr. 39 Scanmax.....	45
Obr. 40: Detail měření pomocí Scanmax.....	45
Obr. 41: Posuvné měřítko Asimento [16].....	46
Obr 42: Protokol měření tolerancí součástky	47
Obr 43: Vyrobený střed kola I	49
Obr. 44: Vyrobený střed kola II.....	49

14 Seznam tabulek

Tab. 1: První operace	22
Tab. 2: První operace (strojní čas)	22
Tab. 3: Druhá operace.....	24
Tab. 4: Druhá operace (strojní čas).....	24
Tab. 5: Parametry stroje Okuma Genos L200E-MY [10]	26
Tab. 6: Parametry pásové pily [18].....	27
Tab. 7: SN1 [11]	28
Tab. 8: VBD pro SN1 [20].....	28
Tab. 9: SN2 [11]	29
Tab. 10: VBD pro SN2 [11].....	29
Tab. 11: VRT1 [11]	30
Tab. 12: VBD1 pro VRT1 [11].....	30
Tab. 13: VBD2 pro VRT1 [11].....	31
Tab. 14: VRT2 [12]	31
Tab. 15: VRT3 [12]	32
Tab. 16: FR2 [13].....	32
Tab. 17: FR2 [14].....	33
Tab. 18: Scanmax [19].....	45
Tab. 19: Parametry posuvného měřítka Asimeto [16].....	46
Tab. 20: Vysvětlivka k protokolu měření tolerancí součástky	47

15 Seznam příloh

Přílohou bakalářské práce je CD obsahující programy ve formátu PET, podle nichž se obrábělo. Dále obsahuje fotografie a video z výroby pořízené mobilním telefonem Xiaomi note 6 a sestříhané video točené na kameru Sony Action Cam HDR-AS50 přímo uvnitř soustruhu, při obrábění primárního zkušebního obrobku z bílého silonu. V CD se také vyskytuje výkres středu kola s předloženou 3D dokumentací ve formátu STEP a IPT.

16 Použitá literatura

[1] SOMMER, Jiří. *Konstrukční návrh a pevnostní kontrola kolové skupiny vozu Formula Student*. Praha, 2017. Diplomová práce (ing.), České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Dopravní, letadlová a transportní technika.

[2] World of metals: AW-7075. Bikar Metalle [online]. Raumland: BIKAR-METALLE, 2019 [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <https://www.bikar.com/fileadmin/download/7075-komplett.pdf>

[3] BRYCHTA, Josef. *Technologie II*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1641-8.

[4] MICHNA, Š., et al. *Encyklopedie hliníku*. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005. ISBN 80-89041-88-4.

[5] BAMBULA, Michal. *Hodnocení obrobiteľnosti slitin hliníku – kritéria hodnocení*. Brno, 2008. Bakalářská práce (Bc.), Vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.

[6] *Technologie I: Technologie obrábění - 1. část*. Fakulta strojního inženýrství: Ústav strojírenské technologie [online]. b.r. [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf

[7] www.kovo-spacil.cz [online]. Moravské Bránice 279: Ing. Petr Spáčil [cit. 2019-03-1]. Dostupné z: <http://www.kovo-spacil.cz/alloys/cz.htm>

[8] HANUS, Petr. *Návrh metodiky hodnocení obrobiteľnosti bloků motoru ze slitin hliníku*. Pardubice, 2008. Bakalářská práce (bc.). Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera.

[9] Misan s.r.o. [online]. Lysá nad Labem: Misan, ©2002-2019 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <http://www.misan.cz/misan/obsah-kategorie/misan/kontakt/>

- [10] VEJMĚLEK, Ondřej. *Úprava postprocesoru pro SW FeatureCAM a soustruh OKUMA Genos L200E-MY*. Praha, 2017. Bakalářská práce (bc.), České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie
- [11] Pramet: Katalog [online]. Praha, 2017 [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: https://www.dormerpramet.com/downloads/pramet%20catalogue%202017_updated_set%204_cz-ru-pl-sk.pdf
- [12] Dormer: Katalog [online]. Šumperk, ©2001-2019 [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.dormerpramet.com/Downloads/DORMER%202018%20SK.pdf>
- [13] Dormer: Katalog [online]. Šumperk, ©2001-2019 [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: https://www.dormerpramet.com/Downloads/DORMER%20catalogue%202018_updated_Set%204_CZ-RU-PL-SK.pdf
- [14] ZPS - FRÉZOVACÍ NÁSTROJE [online]. Zlín: ZPS - FRÉZOVACÍ NÁSTROJE, ©2019 [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: [https://www.zps-fn.cz/cz/frezy-valcove-celni-sk/detail/frezy-valcove-celni-dlouhe,-1-brit-pres-stred,-45,-typ-w,-hladka-stopka,-slinute-karbidy-\(sk\)/](https://www.zps-fn.cz/cz/frezy-valcove-celni-sk/detail/frezy-valcove-celni-dlouhe,-1-brit-pres-stred,-45,-typ-w,-hladka-stopka,-slinute-karbidy-(sk)/)
- [15] DRASTÍK, František. *Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu*. 2. dopl. vyd. Ostrava: Montanex, 1999. ISBN 80-85780-95-x.
- [16] *Kmitex: Měřicí nástroje a nářadí* [online]. Praha: KMITEX, ©2018 [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://eshop.kmitex.cz/73-posuvn%C3%A1-m%C4%9B%C5%99%C3%ADtka>
- [17] Interactive Manual Data Input Function ADVANCED ONE-TOUCH IGF-L: OPERATION MANUAL -BASIC/TUTORIAL- (3rd Edition) [online]. Polsko: Okuma, 2013 [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: [http://kbm.polsl.pl/~public-org/\[3-ci\]Programowanie-OSN-n2z.s/Okuma-IGF-Basic-Tutorial.pdf](http://kbm.polsl.pl/~public-org/[3-ci]Programowanie-OSN-n2z.s/Okuma-IGF-Basic-Tutorial.pdf)
- [18] Bomar [online]. Mýto: KARAS pily, ©2019 [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <https://www.bomar-pily.cz/katalog/gravitacni-pasove-pily-na-kov/bomar-practix-285-230-g-manual-101-017-b1>

[19] LAČŇÁK, Martin. *Racionalizace technologie výroby tělesa*. Brno, 2011. Bakalářská práce (Bc.), Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie

[20] *Sumitomo Electric Hardmetal Corporation* [online]. Japonsko: Sumitomo Electric Industries, ©2015 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z:
https://www.sumitool.com/en/products/gradesselecion/assets/pdf/IN_438.pdf