

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

**Návrh výroby součásti z hliníkové slitiny v podmínkách
společnosti Edwards, s.r.o.**

Proposal of production of aluminium alloy component
in Edwards Ltd.

Student:

Bc. Lukáš Kučera

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.

Konzultant:

Ing. Martin Lačňák

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Kučera**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie

Specializace: 20 Strojírenská technologie

Téma: **Návrh výroby součásti z hliníkové slitiny v podmínkách společnosti Edwards s.r.o.**
Proposal of Production of Aluminium Alloy Component in Edwards Ltd.

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Analýza současného stavu výroby zvolené součásti.
3. Návrh nového technologického postupu výroby.
4. Ověření technologického postupu ve výrobě.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.
6. Závěr a doporučení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha : Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cutting - A Practical Handbook*. ISBN 91-972299-4-6.
- [2] FOREJT, M.; PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [3] VLACH, B. a kolektiv: *Technologie obrábění a montáží*. Praha: SNTL 1990 ISBN 80-03-00143-09

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.**


Konzultant diplomové práce: Ing. Martin Lačňák

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016




doc. Ing.et Ing.Mgr. Jana Petru, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 16. 5. 2016

Kučera
.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 16. 5. 2016


.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Lukáš Kučera

Adresa trvalého pobytu autora práce: Žerotínova 51, Litovel, 784 01.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KUČERA, L. *Návrh výroby součásti z hliníkové slitiny v podmínkách společnosti Edwards, s.r.o.: Diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2016, 70 s. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá návrhem výroby součásti z hliníkové slitiny v podmínkách společnosti Edwards, s.r.o. Jedná se o zavedení a ověření návrhu výroby s následným odstraněním problémů ve výrobním procesu. Teoretická část popisuje problematiku obrábění hliníkových slitin a analýzu vhodných řezných nástrojů. V praktické části je proveden rozbor technologie výroby, zpracování návrhu výroby součásti, který obsahuje volbu řezných nástrojů vhodných pro obrábění hliníkových slitin a stanovení řezných podmínek. Součástí návrhu je také zpracování postupu kontroly součásti na CMM zařízení a způsob mezioperačního skladování. V závěru je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení, kde je porovnána nákupní cena součásti s náklady na vyrobenou součást.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

KUČERA, L. *Proposal of production of aluminium alloy component in Edwards Ltd.: Master thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly, 2016, 70 pages. Thesis head: Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.

The thesis deals with a proposal of the production of an aluminium alloy component at Edwards, Ltd. The thesis focuses on implementation and verification of the production proposal, with subsequent removal of problems in the manufacturing process. The theoretical part describes the issues involved in the machining of aluminium alloys and the analysis of appropriate cutting tools. In the practical part, the manufacturing technology is analysed and the component manufacture proposal is worked out. The proposal encompasses selection of cutting tools suitable for machining of aluminium alloys and determination of cutting conditions. The proposal also contains working-out of the component measuring procedure at the CMM equipment, and the method of inter-operational storage. In the conclusion, technical-economic evaluation is performed where the component purchase price is compared with the cost for the manufactured component.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	8
Úvod.....	10
1 Charakteristika společnosti Edwards, s.r.o.	11
2 Neželezné kovy a slitiny	12
2.1 Charakteristika hliníkových slitin.....	12
2.1.1 Tvářené slitiny hliníku.....	13
2.1.2 Slévárenské slitiny hliníku	14
2.1.3 Označování hliníkových slitin.....	14
3 Obrobitelnost hliníkových slitin.....	16
3.1 Obrábění hliníkových slitin soustružením	18
3.2 Nástroje pro obrábění hliníkových slitin	20
3.2.1 Volba řezného materiálu pro nástroje na obrábění hliníkových slitin....	21
3.2.2 Volba geometrie nástroje pro obrábění hliníkových slitin	22
3.3 Obráběcí proces – zapichování a upichování	23
3.3.1 Kinematická charakteristika zapichování.....	24
3.3.2 Geometrie břitu nástroje pro zapichování	25
3.4 Pracovní prostředí	26
4 Rozbor technologie výroby	27
4.1 Výrobní sled operací	28
4.2 Charakteristika výrobního stroje.....	29
4.3 Charakteristika měřicího stroje (CMM)	31
4.4 Obráběná součást	34
4.4.1 Výpočet rozměru polotovaru.....	35
4.4.2 Charakteristika materiálu EN AW 7075.....	36
5 Zpracování návrhu technologie výroby	38
5.1 Výrobní operace – obrábění.....	38

5.1.1	Upnutí obrobku na výrobním stroji	38
5.1.2	Volba rezných nástrojů	41
5.1.3	Celkový přehled použitých nástrojů	46
5.1.4	Tvorba CNC programu	47
5.1.5	Použití procesní kapaliny	47
5.2	Kontrolní operace – měření (CMM)	48
5.2.1	Upnutí měřené součásti	48
5.2.2	Nástroje pro měření	49
5.2.3	Kalibrace nástrojů pro měření	50
5.3	Mezioperační skladování	51
6	Ověření návrhu výrobního procesu a jeho zavedení	52
6.1	Ověření procesu obrábění	52
6.1.1	Průběh první operace OP10	52
6.1.2	Průběh druhé operace OP20	54
6.1.3	Testování přesnosti stroje při podélném soustružení	54
6.2	Ověření procesu měření	55
6.2.1	Test upínacího přípravku	56
6.2.2	Změna upínacího přípravku	57
6.2.3	Validace upínacího přípravku	58
6.3	Ověření mezioperačního skladování	58
6.4	Zpracování standardního operačního postupu	59
7	Technicko-ekonomické zhodnocení	60
8	Závěrečná doporučení	62
	Závěr	63
	Poděkování	65
	Seznam použité literatury	66
	Seznam příloh	70

Seznam použitých zkratk a symbolů

Označení	Význam	Jednotka
A	tažnost	[%]
CAD	počítačem podporované projektování (Computer Aided Design)	[-]
CNC	číslicové řízení počítačem (Computer Numeric Control)	[-]
CMM	souřadnicový měřicí stroj (Coordinate Measuring Machine)	[-]
D, D ₁ , D ₂	průměr	[mm]
D _p	průměr polotovaru	[mm]
D _{max}	maximální průměr	[mm]
G96	konstantní řezná rychlost	[-]
G97	konstantní otáčky vřetene stroje	[-]
HBW	tvrdost podle Brinella	[-]
HV	tvrdost podle Vickerse	[-]
L _p	délka polotovaru	[mm]
PVD	fyzikální nanášení povlaku (Physical Vapour Deposition)	[-]
R _p	smluvní mez kluzu	[MPa]
R _m	mez pevnosti	[MPa]
RO	rychlořezná ocel	[-]
SK	slinutý karbid	[-]
SOP	standardní pracovní postup (Standard Operating Procedure)	[-]
TiCN	karbonitrid titanu	[-]
TiB ₂	borid titanu	[-]

TiN	nitrid titanu	[-]
T_{\max}	maximální vzdálenost	[mm]
VBD	vyměnitelná břitová destička	[-]
a_p	hloubka řezu	[mm]
b, b_1, b_2	šířka	[mm]
d_{\max}	maximální průměr součásti	[mm]
f	posuv	[mm]
h, h_1, h_2	výška	[mm]
l, l_1, l_2, l_3, l_4	délka	[mm]
l_s	délka součásti	[mm]
k_c	měrná řezná síla	[N.mm ⁻²]
n	otáčky	[min ⁻¹]
$p_{\check{c}}$	přídavek na čelo	[mm]
p_d	přídavek na průměr	[mm]
p_l	přídavek na délku	[mm]
r_e	rádus špičky nástroje	[mm]
v_c	řezná rychlost	[m.min ⁻¹]
v_e	výsledná rychlost řezného pohybu	[m.min ⁻¹]
v_f	posuvová rychlost	[m.min ⁻¹]
s	šířka břitu zapichovacího nástroje	[mm]
α	úhel hřbetu	[°]
γ	úhel čela	[°]
κ_r	úhel nastavení hlavního ostří	[°]
λ_s	úhel sklonu hlavního ostří	[°]

Úvod

Tato diplomová práce se zabývá problematikou zavedení výroby součásti v podmínkách společnosti Edwards, s.r.o. Technologie pro výrobu dané součásti byla převzata z mateřské společnosti Edwards Limited Inc. v Anglii.

Vyráběnou součástí je polotovár rotoru z hliníkové slitiny EN AW 7075, který je používán do zařízení turbomolekulárních vývěv. Obráběná hliníková slitina je charakteristická především svými vlastnostmi, mezi které patří vysoká mez pevnosti a snížená tažnost. Obrobitelnost tohoto materiálu je řazena spíše jako průměrná. Při obrábění tohoto materiálu vznikají rizika tvorby nárůstku a nepříznivé dlouhé třísky. Pokud jsou však zvoleny správné nástroje s vhodnými řeznými podmínkami, jsou tyto problémy eliminovány a povrch obrobené součásti je velmi kvalitní.

Cílem diplomové práce je zavedení součásti z hliníkové slitiny do výrobního procesu. Důvodem bylo rozhodnutí společnosti, začít tento polotovár turbíny vyrábět ve vlastním závodě, místo nákupu od externí společnosti. Snahou bylo dosažení nižších nákladů na polotovár této turbíny, ze které pak následně vyrábí společnost hotový produkt. Zaváděný výrobní proces obsahuje obráběcí operace na soustruhu OKUMA LU-15 M, návrh postupu kontroly obrobených součástí a jejich mezioperační skladování. Ve výrobních operacích se jedná především o stanovení a specifikaci řezných nástrojů spolu s řeznými podmínkami, a vypracování CNC programu. V návrhu postupu kontroly vyrobené součásti je určen způsob měření, jeho postup a specifikace použitého měřicího zařízení. Následně je definován způsob mezioperačního skladování pro obrobené součásti.

1 Charakteristika společnosti Edwards, s.r.o.

Společnost Edwards, s.r.o. sídlí v Olomouckém kraji v Lutíně. Tento výrobní závod je součástí nadnárodní společnosti Edwards Limited Inc. sídlící ve Velké Británii. Ta je předním světovým výrobcem a leaderem v oblasti vakuové techniky pro průmyslové, vědecké a polovodičové aplikace. Společnost působí v odvětví elektroniky, chemie, strojírenství, vědy a výzkumu. Zaměřuje se především na vývoj a výrobu široké škály vývěv, systémů a doplňků založených na technologiích, které jsou schopny dosáhnout vysokého vakua až 10^{-10} mbar. Od ledna roku 2014 je celý komplex společností Edwards ve vlastnictví švédské společnosti Atlas Copco AB. [11, 12]

V Lutíně se společnost Edwards, s.r.o. zaměřuje na výrobu vakuové techniky právě zmiňovaných vývěv. Produkty se dělí podle využití čerpací technologie na dvě hlavní odvětví (suché vývěvy – věda a výzkum, olejové – průmysl). Vyráběné součásti do těchto zařízení jsou většinou z hliníkových slitin a litiny. Součásti se následně kompletují s ostatními prvky vakuového zařízení přímo v montážních úsecích závodu. Některé typy vývěv, jako je vývěva turbomolekulární, se sestavují a testují v tzv. „clean room assembly“ laboratořích. Tento typ suché vývěvy se používá v oblastech vědy a výzkumu zejména pro elektronovou mikroskopii nebo hmotnostní spektrometrii aj. [11, 12]



Obr. 1.1 Sídlo společnosti Edwards s.r.o. [11]

2 Neželezné kovy a slitiny

Z celosvětové produkce a spotřeby kovových materiálů tvoří neželezné kovy a jejich slitiny mnohem menší skupinu oproti železu a jeho slitinám. Neželezné slitiny jsou však v průmyslu významné pro své specifické vlastnosti. Mezi tyto vlastnosti patří zejména vysoká elektrická vodivost, tepelná roztažnost, kluzné vlastnosti, nižší měrná hmotnost a zpravidla vyšší korozní odolnost než u železných slitin. V praxi se neželezné kovy v čistém stavu příliš nevyskytují (např. pro konstrukční účely mají nízkou mez pevnosti). Tyto kovy jsou zastoupeny především ve slitinách (např. dural, mosaz aj.), které mají již požadované vlastnosti pro dané výrobky. [1]

Neželezné kovy se dělí do skupin podle jejich vlastností. Zde patří hlavně teplota tání a další vlastnosti, jako je měrná hmotnost nebo chemická stálost. V technické praxi se nejvíce používá rozdělení neželezných kovů na: [1]

- kovy s nízkou teplotou tání (Zn, Pb, Sn...),
- lehké kovy (Mg, Al, Ti...),
- kovy se střední teplotou tání (Cu, Ni, Co, Mn),
- ušlechtilé kovy (Au, Ag, Pt...)
- kovy s vysokou teplotou tání (W, Cr, Mo...).

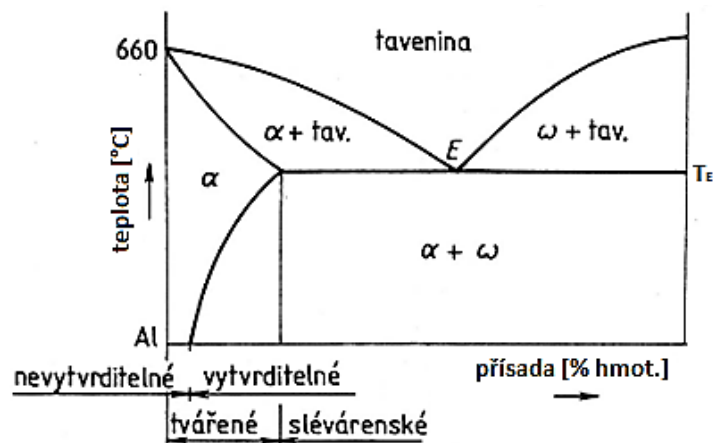
Obecně lze neželezné kovy využívat jako konstrukční materiál (čistá forma nebo jako slitina), legující surovina pro výrobu ocelí (legury pro oceli korozivzdorné, žáruvzdorné aj.) a materiál pro povrchové úpravy. Využití neželezných kovů a jejich slitin je tedy velmi rozsáhlé a je využíváno v různých formách napříč všemi technickými odvětvími. [1]

2.1 Charakteristika hliníkových slitin

Hliníkové slitiny patří vyjma ocelí k nejpoužívanějším kovovým konstrukčním materiálům pro technické účely. Hliníkové slitiny patří do kategorie lehkých neželezných kovů a slitin. Obecně se hliníkové slitiny řadí do materiálů se střední pevností (v rozmezí $R_m = 40 - 625$ MPa). Vyšší hodnoty mechanických vlastností se dosahují přidáním legujících prvků zejména Cu a Mg (slitiny duralu) nebo také tepelným zpracováním. Nejčastějším typem tepelného zpracování je u hliníkových slitin žihání a vytvrzování. Nejpoužívanější je žihání na odstranění pnutí (pro součásti tvářené za tepla a po svařování), žihání rekrytalizační a homogenizační. [1, 2]

Hliník jako čistá forma neželezného kovu je vyráběn z minerálu bauxitu. Tento materiál s kubickou plošně centrovanou mřížkou je charakteristický zejména pro svou nemagnetičnost, dobrou odolnost proti korozi, elektrickou vodivost a tvárnost za tepla i studena. Hliník má teplotu tavení 660 °C a měrnou hmotnost 2699 g.cm⁻³. [1, 2]

Vlastnosti hliníkových slitin zůstávají podobné jako u čistého hliníku, ale za pomoci ostatních příměsí mají zpravidla zvýšenou pevnost, lepší obrobiteľnost a dostatečnou korozní odolnost. Pro základní rozdělení hliníkových slitin slouží rovnovážný diagram zohledňující jejich vhodnost ke tváření, slévání a teplemu zpracování, (Obr. 2.1) [1, 2]



Obr. 2.1 Schéma obecného rovnovážného diagramu binárních slitin hliníku [2]

Z výše uvedených informací je patrné, že hliníkové slitiny se dělí podle technologie zpracování na tvářené (výroba tvářených polotovarů válcováním, lisováním a kováním) a slévárenské (výroba odlitků). [1]

2.1.1 Tvářené slitiny hliníku

Tvářené slitiny hliníku dosahují vyšších mechanických hodnot než hliníkové slitiny odlévané. Tyto slitiny mohou být ve vytvrditelném a nevytvrditelném stavu, což výrazně ovlivňuje jejich mechanické vlastnosti. Dále se slitiny dělí podle chemického složení nebo z hlediska mechanických vlastností na: [1, 2]

- Slitiny se středními mechanickými vlastnostmi (dobrá korozní odolnost, přísady Mg, Mn a Si),
- Slitiny s vysokými mech. vlastnostmi (nižší korozní odolnost, přísady Cu, Zn),
- Slitiny s vysokou pevností (Dural, Superdural, slitiny typu Al-Zn-Mg...),
- Slitiny s dobrou odolností proti korozi (obsah 2 - 8 % Mg – tzv. Hydronalium).

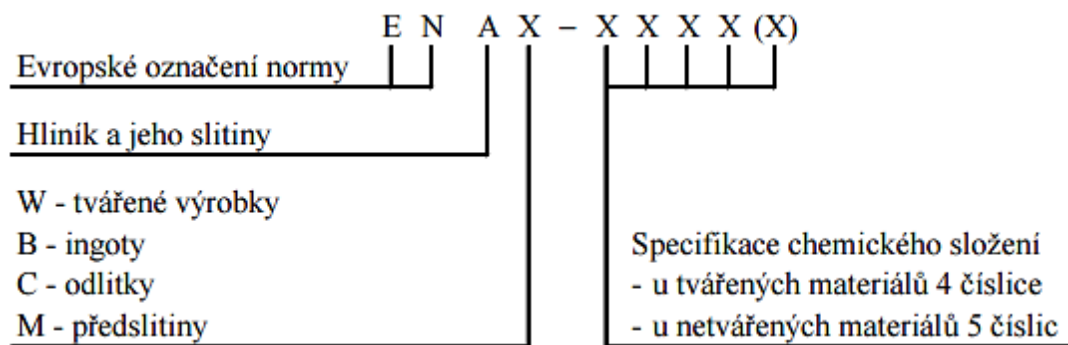
2.1.2 Slévárenské slitiny hliníku

V průmyslu se slévárenské slitiny používají ve větším množství než tvářené slitiny. Slévárenské slitiny používají jako legující prvky nejčastěji hořčík, měď, zinek a křemík. Z těchto zmíněných legujících prvků je hlavním a nejvýznamnějším křemík, který příznivě ovlivňuje slévateľnost slitin (Al-Si slitina tzv. Silumin). Charakteristické vlastnosti těchto slitin jsou především vytvrditelnost a houževnatost, ale také špatná obrobiteľnost. Nejčastější užití slévárenských slitin je v leteckém a automobilovém průmyslu (tenkostěnné odlitky motorů). [1]

2.1.3 Označování hliníkových slitin

V současnosti se pro označování hliníkových slitin (neželezných kovů) stále používají normy ČSN EN a také ČSN. Normy ČSN EN mají v technické praxi větší přednost. [2]

Norma ČSN EN je značena písmeny a také čtyřmístným číslem. Tyto číslice ztvárňují chemické složení, které udává čistotu hliníku nebo jmenovitý obsah příslušného prvku. Hliníková slitina je označována pro tváření dle normy ČSN EN 573-1 až 3, a pro odlitky ČSN EN 1706. Dle normy používané u nás se řadí do 8 řad, které určují dodatečný slitinový prvek a slouží k rychlé orientaci. [2]



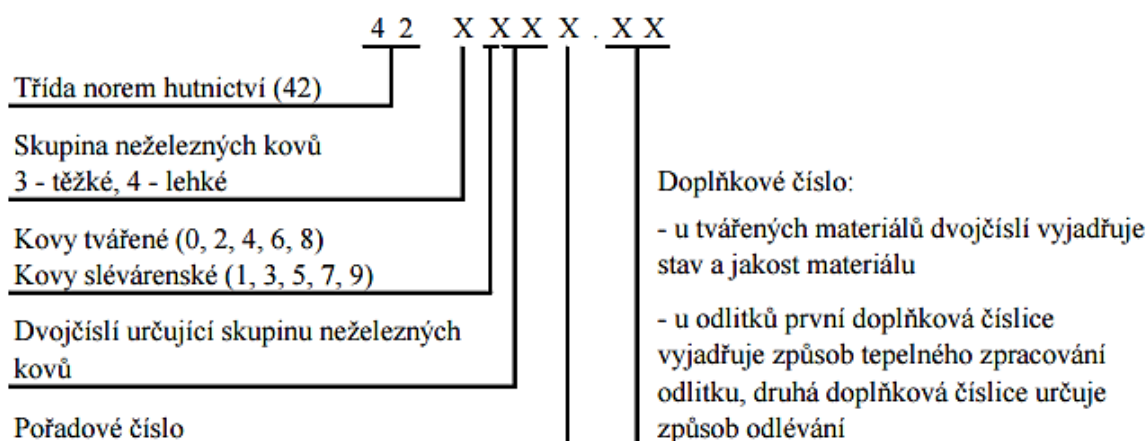
Obr. 2.2 Schéma označování slitin hliníku dle ČSN EN [2]

Označení stavu tvářených výrobků z hliníku a hliníkových slitin se určuje dle normy ČSN EN 155. Typ stavu materiálu se připojuje za označení slitiny pomocí pomlčky (např. EN AW 7075 – T6510). Základní stavy se označují písmeny (např. O – žíhaný stav, H – deformační zpevnění, T – stav tepelně zpracovaný atd.) a číslicemi určujícími specifikaci základního stavu materiálu. Pro názornou ukázkou stavu tepelného zpracování slouží tabulka 2.1. [2]

Tab. 2.1 Tepelné zpracování dle ČSN EN 515 [2]

Označení	Stav materiálu – definice
T1	Po ochlazení ze zvýšené teploty tváření a přirozeném stárnutí
T2	Po ochlazení ze zvýšené teploty tváření, tváření za studena a přirozeném stárnutí
T3	Po rozpouštěcím žihání, tváření za studena a přirozením stárnutí
T4	Po rozpouštěcím žihání a přirozeném stárnutí
T5	Po ochlazení ze zvýšené teploty tváření a umělém stárnutí
T6	Po rozpouštěcím žihání a umělém stárnutí
T7	Po rozpouštěcím žihání a umělém přestárnutí
T8	Po rozpouštěcím žihání, tváření za studena a umělém stárnutí
T9	Po rozpouštěcím žihání, umělém stárnutí a tváření zastudena

Na rozdíl od předešlé normy, jsou v normách ČSN jednotlivé typy slitin hliníku označovány vždy samostatnou normou a šestimístním číslem – např. 42 4400. Třída norem 42 udává hutnictví, skupina norem 40 - 45 pak uvádí, že jde o hliník nebo slitiny hliníku na odlitky nebo pro tvářené výrobky. Kromě číselného značení lze použít i chemické označení. Kompletní schéma značení dle normy ČSN je znázorněno na obrázku 2.3. [2]

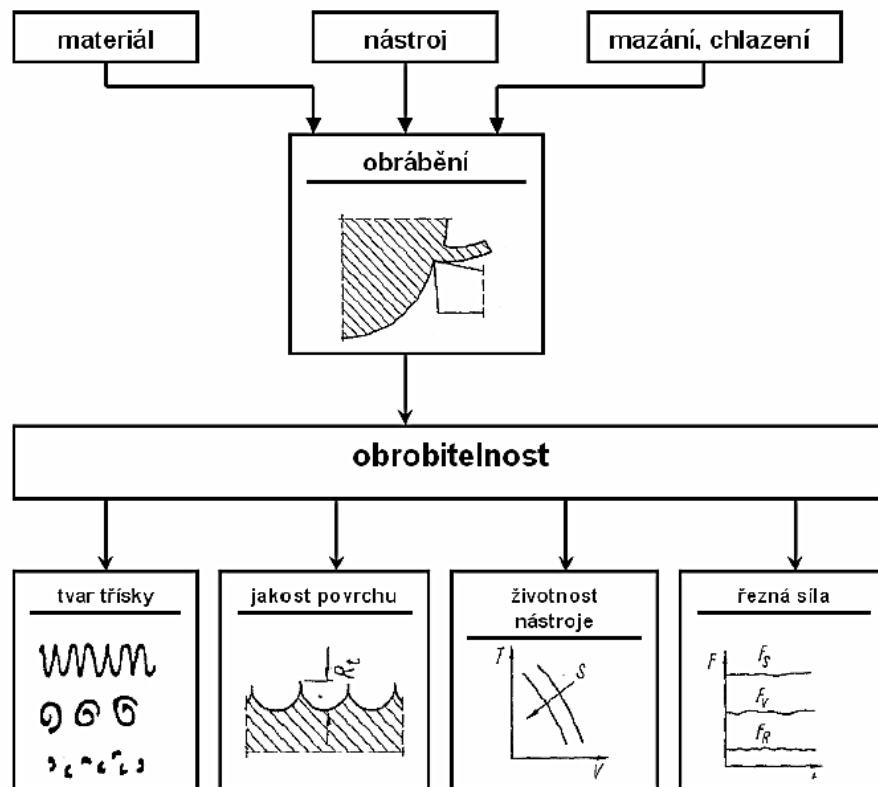


Obr. 2.3 Schéma značení slitin hliníku dle ČSN [2]

3 Obrobitelnost hliníkových slitin

Pojmem obrobitelnost materiálu je označován souhrn vlastností obráběného materiálu z hlediska vhodnosti na výrobu součásti konkrétním způsobem obrábění. Obrobitelnost, jako základní technologický aspekt, je vyhodnocena kvalitativním, kvantitativním a ekonomickým výsledkem procesu obrábění. [3, 4]

Obrobitelnost nevychází pouze z vlastností obráběného materiálu (chemické složení, mechanické a fyzikální vlastnosti), ale závisí i na aspektech podílejících se na obráběcím procesu (pracovní prostředí, obráběcí stroj, nástroje, řezné podmínky apod.). Na schématu níže jsou znázorněny vlivy na obrobitelnost a její působení na obráběcí proces. [2, 4]



Obr. 3.1 Parametry charakterizující obrobitelnost [2]

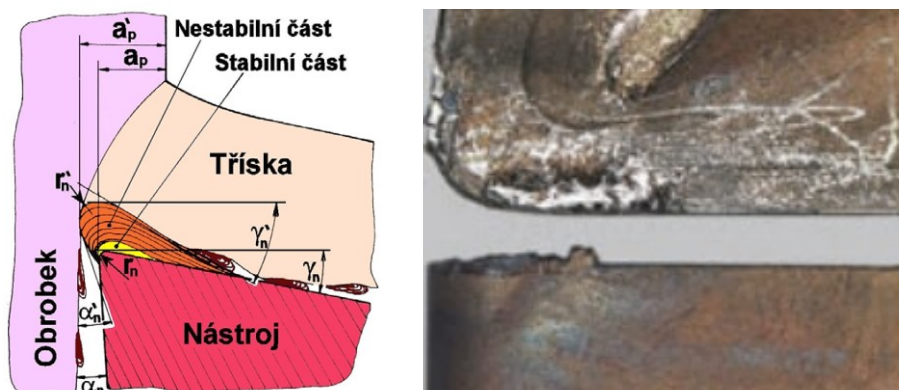
Pro hodnocování obrobitelnosti jsou technické konstrukční materiály rozděleny do devíti základních skupin, které jsou označovány malými písmeny: [5]

- | | |
|--|--------------------------------------|
| a - litiny, | f - přírodní nerostné hmoty, |
| b - oceli, | g - vrstvené hmoty, |
| c - těžké neželezné kovy (slitiny Cu), | h - pryže, |
| d - lehké neželezné kovy (slitiny Al), | v - tvrzené litiny pro výrobu válců. |
| e - plastické hmoty, | |

Před písmeno základní skupiny se udávají číslice (1 - 20), které společně tvoří třídy obrobiteľnosti materiálu. Platí pravidlo, že čím vyšší číslo, tím lepší obrobiteľnost. Třídy obrobiteľnosti pro hliník a jeho slitiny tvoří řadu 14d - 16d. [5]

Obecně lze hliníkové slitiny zařadit, ve srovnání s ostatními kovovými konstrukčními materiály, mezi ty lépe obrobiteľné (malé řezné síly při obrábění). Pouze obrobiteľnost čistého hliníku je na rozdíl od jeho slitin velmi špatná. Výrazný rozdíl mezi obrobiteľností čistého hliníku a jeho slitinami spočívá ve struktuře, která má tendenci ulpívat na břítu nástroje. Slitiny hliníku díky vlivu precipitátů, měkkých částic a stupni deformačního zpevnění působí na obrobiteľnost velmi příznivě. Obrobiteľnost hliníkových slitin je ovlivněna především jejich chemickým složením a tepelným zpracováním. Například slitiny obsahující měď, hořčík nebo zinek jsou lépe obrobiteľné než slitiny s vyšším obsahem křemíku, u kterých je zapotřebí použít nižší řezné rychlosti. Tepelně zpracované neboli vytvrzené hliníkové (tvářené) slitiny lze mnohem lépe obrábět a dosáhnout perfektního opracovaného povrchu. Nevytvrzené slitiny hliníku se obrábějí hůře především z důvodu tvorby dlouhé spojité třísky. [2, 13]

Přestože se hliníkové slitiny oproti jiným materiálům lépe obrábějí, tak se při opracování těchto slitin vyskytují problémy znesnadňující samotný obráběcí proces. Mezi tyto problémy patří tvorba dlouhé třísky a nárůstku (Obr. 3.2). Tvoření dlouhé třísky při obrábění zvyšuje riziko poškození nástroje a především znehodnocuje povrch již obroběného materiálu. Tvorba nárůstku má vliv především na změnu geometrie řezného klínu a rovněž znehodnocuje povrch obroběné plochy. [6, 13]



Obr. 3.2 Tvorba nárůstku a jeho vliv na geometrii nástroje [5, 7]

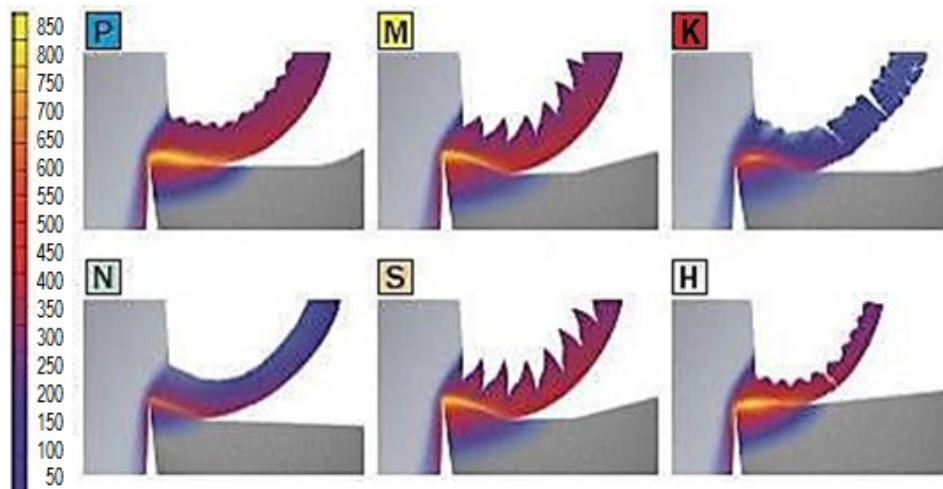
Hodnocení obrobiteľnosti se u hliníkových slitin se nejčastěji provádí podle tvaru třísky – vizuální hodnocení a klasifikace do jednotlivých skupin. Dále se obrobiteľnost posuzuje dle obroběného povrchu nebo životnosti nástrojů. Po vyhodnocení se pak mění

nejčastěji řezné podmínky a to zejména – pracovní prostředí (chladicí kapalina) a řezné parametry (řezná rychlost, posuv, atd.). [2, 13]

3.1 Obrábění hliníkových slitin soustružením

Soustružení je klasický představitel metody třískového obrábění pro výrobu převážně rotačních tvarů. Hliníkové slitiny se při obrábění nepotýkají s tolika problémy, jako například těžkoobrobitelné materiály, či některé typy ocelí. Každopádně i pro hliníkové slitiny nastávají problémy, které komplikují průběh obrábění (viz kapitola 2.2). [3]

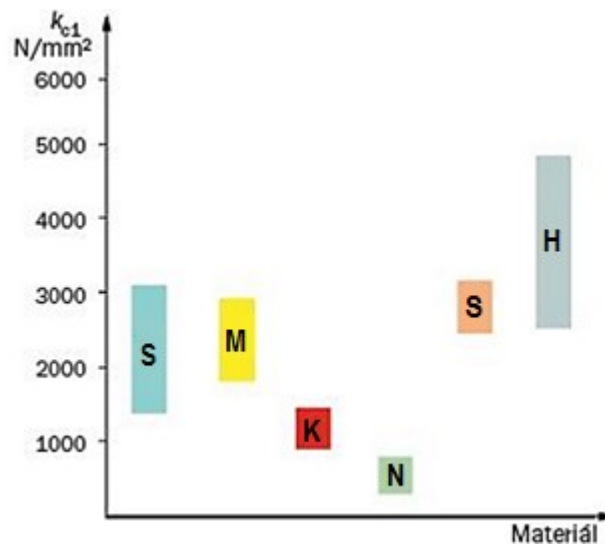
Jak již bylo zmíněno, hliníkové slitiny tvoří spíše tzv. plynulou soudržnou třísku, kterou lze však relativně snadno kontrolovat, pokud je materiál legovaný. Při použití vhodných vytvrzených hliníkových slitin, správného řezného nástroje a vhodných řezných parametrů, se tříška tvoří do dlouhého stočeného tvaru, který se snadno láme. Na obrázku níže jsou znázorněny charakteristické teploty a tvary třísek pro jednotlivé materiály dle ČSN ISO 513, kde ISO N je zastoupení právě neželezných materiálů respektive hliníkových slitin. [7, 14]



Obr. 3.3 Tvar a teplota třísky při řezu břitovou destičkou z SK [13]

Dalším zmíněným a zřejmě nejvýznamnějším jevem při obrábění hliníkových slitin je tvorba nárůstku na břitu nástroje. Ten má vliv na zvýšenou teplotu v místě řezu a změnu geometrie nástroje, která negativně ovlivňuje kvalitu obrobeneho povrchu. Vyšší teploty v místě řezu vlivem nárůstku jsou nežádoucí zejména pro samotný nástroj. Nástroj se vlivem vzrůstající teploty zvyšuje opotřebení (zejména na čele nástroje), a tím snižuje jeho životnost. Pro zabránění tohoto jevu je vhodné použít zvýšené řezné rychlosti, větší úhel čela nástroje a použití účinného chlazení. [2]

Obrábění hliníkových slitin nezatěžuje do takové míry výrobní stroj, jak při obrábění ostatních materiálů. To především díky nízké měrné řezné síle k_c pro obrábění hliníkových slitin, která se pohybuje kolem 350 - 700 N/mm². Řezné síly jsou u neželezných kovů (hliníkových slitin) jedny z nejnižších, tím pádem i požadovaný výkon stroje je velmi nízký. Na obrázku Obr. 3.4 jsou znázorněny měrné řezné síly pro jednotlivé materiály rozčleněné podle ČSN ISO 513. [3, 14]



Obr. 3.4 Měrné řezné síly pro jednotlivé typy materiálů dle ČSN ISO 513 [14]

Z výše uvedených informací o obrábělnosti a specifickém chování materiálu při obrábění je zřejmé, že potřeba volit odlišné řezné podmínky než u standardních obráběných materiálů (např. oceli). Hlavní změnou v řezných podmínkách je především řezná rychlost, která musí být vyšší, jak u běžných obráběných materiálů (pro jemné obrábění v_c až 2000 m.min⁻¹). To má za kladný důsledek zkrácení strojních časů při obráběcím procesu. Dále je výhodné používat chlazení při obrábění pro lepší lámání třísky a zamezení tvorby nárůstku na břitu nástroje. Vhodné parametry řezné rychlosti pro hliníkové slitiny a porovnání s konstrukční ocelí jsou znázorněny v tabulce 3.1. Z hlediska odbírané třísky záleží na typu obrábění, ale pohybuje se do $a_p \leq 5$ mm. [2, 15]

Tab. 3.1 Doporučené řezné rychlosti a posuvy při soustružení [15]

Obráběný materiál	Druh řezného materiálu	Hrubování		Dokončování	
		v_c [m.min ⁻¹]	f [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	f [mm]
Hliník a jeho slitiny	RO	100 - 200	≤ 2	100 - 200	$\leq 0,2$
	SK	100 - 1000	≤ 2	150 - 1000	$\leq 0,2$
Konstrukční ocel	RO	15 - 25	0,8 - 1,6	20 - 80	$\leq 0,2$
	SK	20 - 70	0,8 - 2	85 - 250	$\leq 0,2$

3.2 Nástroje pro obrábění hliníkových slitin

Obrábění hliníkových slitin vyžaduje odlišný přístup pro volbu nástrojů v porovnání s obráběním oceli nebo litiny. Pro obrábění slitin hliníku se používají odlišné řezné nástroje především z důvodu jeho tendence ulpívání materiálu na břitu nástroje a následné tvorby nárůstku. Tento jev vede k řadě problémů při obrábění (viz úvod kapitoly 3). Z těchto důvodů je nutné zvolit řezný nástroj zabraňující vzniku nežádoucího nárůstku a vytvořit tak optimální řezné podmínky. Řezný nástroj je zapotřebí správně definovat z hlediska použitého řezného materiálu, typu vyměnitelné břitové destičky (dále VBD), geometrie břitu, tvaru utvařeče, popřípadě vhodného povlaku břitu nástroje. Typickým představitelem nástroje pro obrábění hliníkových slitin je povlakovaná VBD ze slinutého karbidu s pozitivním ostrím a vhodným utvařečem. [6, 7]

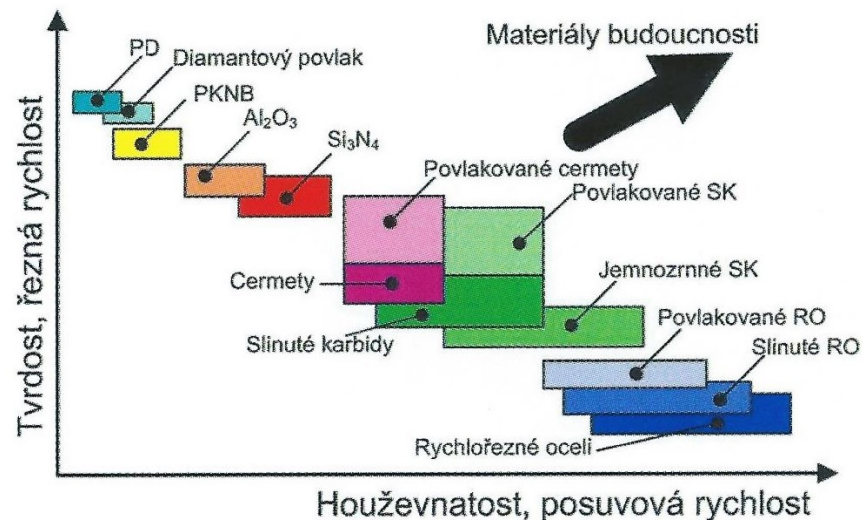
Pro lepší přehlednost volby řezných nástrojů jednotlivých materiálů se používá norma ČSN ISO 513 – Klasifikace a použití tvrdých řezných materiálů k obrábění kovů určeným ostrím. Norma obsahuje šest skupin rozdělených podle různých obráběcích materiálů. Tyto skupiny jsou rozlišovány velkým písmenem a identifikační barvou. Každá skupina je kromě velkého písmena a barvy určena tzv. klasifikačním číslem (viz. Obr. 3.5). Vyšší číslo znamená, že je materiál houževnatější s možností vyššího posuvu, ale je méně tvrdý, tudíž je obráběn nižší řeznou rychlostí a naopak. [16]

Skupina		Podskupina		
Identifikační písmeno	Obráběný materiál		Řezná rychlost, tvrdost	Posuv, houževnatost
P	Ocel: Všechny druhy ocelí kromě korozivzdorných a austenitických	P01 až P50 (nárůst po 5ti)	vysoká ↓ nízká	nízká ↑ vysoká
M	Korozivzdorná ocel: Korozivzdorná austenitická a austeniticko-feritická ocel	P01 až P40 (nárůst po 5ti)	vysoká ↓ nízká	nízká ↑ vysoká
K	Litina: Šedá litina, tvárná litina, temperovaná litina	P01 až P40 (nárůst po 5ti)	vysoká ↓ nízká	nízká ↑ vysoká
N	Neželezné kovy: Hliník a ostatní neželezné kovy, nekovové materiály	P01 až P30 (nárůst po 5ti)	vysoká ↓ nízká	nízká ↑ vysoká
S	Superslitiny a titan: Žáruvzdorné speciální slitiny na základě železa, titanu, niklu a kobaltu	P01 až P30 (nárůst po 5ti)	vysoká ↓ nízká	nízká ↑ vysoká
H	Tvrde materiály: Kalené oceli, tvrzená litina	P01 až P30 (nárůst po 5ti)	vysoká ↓ nízká	nízká ↑ vysoká

Obr. 3.5 Použití a klasifikace materiálu do jednotlivých skupin [14]

3.2.1 Volba řezného materiálu pro nástroje na obrábění hliníkových slitin

Řezný materiál musí být posuzován v úzké souvislosti s obrobitelností materiálu, který má být opracován. Kromě obráběného materiálu mají vliv na volbu i požadavky na jakost povrchu, ekonomičnost výroby atd. Z ekonomického hlediska pak zohledňujeme cenu jednotlivých typů řezných materiálů, popřípadě jejich trvanlivost a životnost. Pro obrábění hliníkových slitin se používá nejčastěji slinutý karbid (SK), polykrystalický diamant (PD) a výjimečně i rychlořezná ocel (RO). Obrábění hliníkových slitin je realizováno pomocí jemnozrnného slinutého karbidu (povlakovaného i nepovlakovaného), za předpokladu nižšího obsahu křemíku Si. V případě hliníkové slitiny s vyšším obsahem Si nad 12 %, se obrábí pomocí břitů osazenými PD, s kterými se je možno dosáhnout vysokých řezných rychlostí (viz Obr. 3.6). Každý z těchto typů materiálu má své určité specifické vlastnosti, které ovlivňují průběh obráběcího procesu a určování řezných parametrů. [7, 14]



Obr. 3.6 Vliv mechanických vlastností nástrojových materiálů na řezné podmínky [8]

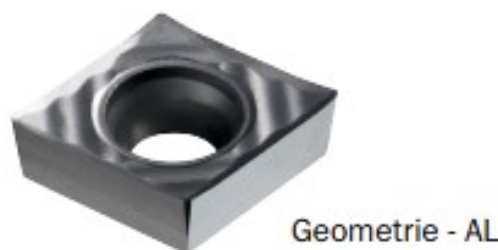
Pro obrábění hliníkových slitin zaujímá převážnou část slinutý karbid. Z důvodů tendence tvorby nárůstků je zapotřebí používat VBD ze slinutých karbidů s nízkou přilnavostí. Nižší přilnavost řezného materiálu lze docílit snížením zrnitosti karbidů wolframu ($WC < 1 \mu m$) a obsahu kobaltu ($Co < 10 \%$). Pro ještě větší snížení tvorby nárůstků se u nástrojů provádí povrchová úprava tzv. mikrořeštění. Mikrořeštěním je zajištěna nižší drsnost povrchu nástroje a snižuje se tak sklon k adhezi, který se projeví ve formě vyšší jakosti obrobeného povrchu. Dalšímu ulpívání hliníku na nástroji omezuje aplikace ochranných vrstev s nízkým koeficientem tření ($\mu = 0,1 - 0,2$), mezi které patří například TiN, TiCN, TiB₂ aj. Obecně jsou VBD určeny na obrábění hliníku buď zcela bez povlaku, nebo s tenkým povlakem (PVD) pro zachování ostré řezné hrany nástroje. [8, 17]

3.2.2 Volba geometrie nástroje pro obrábění hliníkových slitin

Volba geometrie nástroje pro obrábění hliníkových slitin musí být cíleně zaměřena na snižování nebo zabraňování negativních projevů materiálu při obrábění. Obecně se při obrábění slitin hliníku volí nástroje s ostrým pozitivním břitem, u kterých je možné předpokládat použití vysokých řezných rychlostí, díky snížení řezné síly. Pozitivní břit také zajišťuje velmi vysokou kvalitu obrobeného povrchu. Negativní břit se ve výjimečných případech používá pouze pro hrubování, kde není zapotřebí docílit kvalitní obrobený povrch. [6, 7]

Při obrábění slitin hliníku vzniká problém s odvodem třísky, proto geometrie břitu musí splňovat vysoké požadavky pro její snadný odvod. Odvod třísky můžeme ovlivňovat především úhlem čela břitu nástroje. Zejména pro zabránění nárůstku je nutné ovlivnit délku styku mezi třískou obrobku a plochou čela nástroje. To znamená, že čím pozitivnější bude úhel čela, tím kratší je délka styku. Pro soustružení hliníkových slitin se volí pozitivní úhel čela od 18 do 25°. Vzniklý pozitivní břit však představuje křehkou řeznou hranu s vyšším rizikem vylomení. Úhel hřbetu se volí pro hliníkové slitiny převážně vyšších hodnot $\pm 11^\circ$. Při obrábění hliníkových slitin nevznikají velké řezné síly, proto jsou vhodné VBD s pozitivní geometrií břitu, s malým úhlem nastavení hlavního ostří a úhlem sklonu hlavního ostří. [6, 7]

Dále je nutné dbát na zaoblení břitu nástroje. Sklon k zvětšování nárůstku také roste se zvětšováním zaoblení břitu nástroje. Zaoblení břitu nástroje respektive zaoblení špičky by se mělo volit malé od 0,1 do 0,8 mm a u monolitních nožů z rychlořezné oceli jsou tyto hodnoty ještě nižší. V případě vzniku dlouhé spojité třísky je zapotřebí utvařeče, který kladně ovlivňuje její průběh vzniku a redukuje délku díky dřívějšímu odlamování. [6, 7]

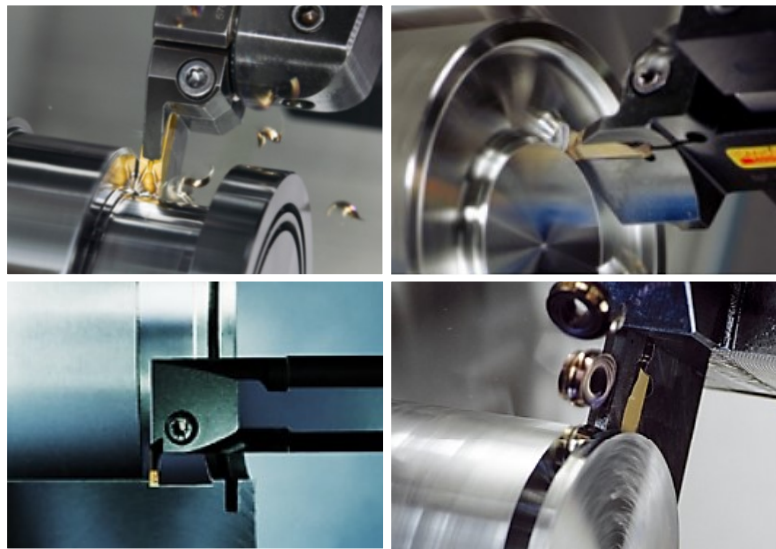


Obr. 3.7 Typ pozitivní VBD pro obrábění hliníkových slitin [14]

3.3 Obráběcí proces – zapichování a upichování

Zapichování je dominantním prvkem obráběcího procesu pro vyráběnou součást, která je následně po první operaci upíchnuta. Z toho důvodu je v této kapitole blíže specifikován tento druh procesu soustružení a s ním spojené informace potřebné pro správné určování nástrojů a řezných parametrů. [7, 18]

Zapichování a upichování patří mezi samostatné kategorie soustružení používané pro široké spektrum obráběcích aplikací. Proces zapichování se používá k soustružení drážek různých tvarů a šířek. Rozdělují se podle umístění zápichu na vnitřní a vnější, nebo podle způsobu obrábění na radiální a axiální zapichování. Všechny tyto operace vyžadují používání speciálních nástrojů volených podle zmiňovaných metod zapichování (viz Obr. 3.8). Dalším typem zapichování může být podsoustružování, nebo tvorba tvarových zápichů, při kterém je daný nástroj opatřen profilem požadovaného tvaru. [18]



Obr. 3.8 Ukázky procesu zapichování (radiální, axiální, vnitřní) a upichování [18]

Princip upichování je stejný jako při tvorbě zápichu, jen je řez hluboký a vede až do středu obrobku. Upichovací nože mají delší řeznou část a jejich délka se řídí podle průměru upichovaného materiálu. Pro upichování nejsou tak náročné požadavky na přesnost a kvalitu obrobeného povrchu jako u tvorby zápichů. [7, 18]

Pro volbu správného nástroje je potřeba určit typ metody zapichování, či upichování. Dále je nutné uvažovat o hloubce záběru a jeho šířce, poloměr břitu, způsob chlazení a požadavky na kvalitu obrobeného povrchu. Všeobecně se pak musí dbát na správné vyložení nástroje, které by mělo být, co nejkratší pro eliminaci vibrací nástroje (vznik nekvalitního obrobeného povrchu a snížení životnosti nástroje). [7, 18]

3.3.1 Kinematická charakteristika zapichování

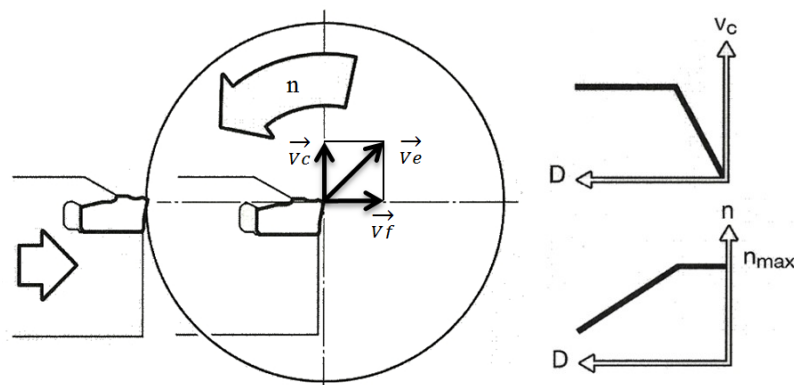
Při zapichování a upichování je hlavním pohybem rotační pohyb obrobku, kde rychlost tohoto hlavního pohybu udává řeznou rychlostí v_c (1). Vedlejší posuvovou rychlost (2) vykonává nástroj, který provádí přímočarý radiální pohyb do středu obrobku kolmo na jeho osu. Výsledná rychlost řezného pohybu (3) je vektorovým součtem skládajícím se z řezné i posuvové rychlosti. Směry vektorů jsou znázorněny v obrázku 3.9. [4]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [m \cdot min^{-1}] \quad (3.1)$$

$$v_f = \frac{f \cdot n}{1000} [m \cdot min^{-1}] \quad (3.2)$$

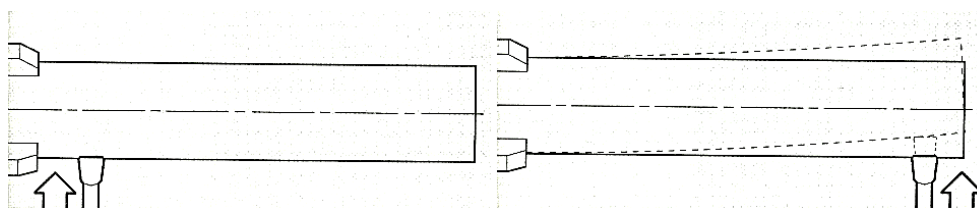
$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} [m \cdot min^{-1}] \quad (3.3)$$

Zapichování se pak provádí buď při konstantních otáčkách, kde se při zmenšujícím se průměru snižuje řezná rychlost, nebo při konstantní řezné rychlosti, kde narůstají otáčky za zmenšujícího se průměru obrobku. [7]



Obr. 3.9 Závislost průměru obrobku na otáčkách a řezné rychlosti spolu se směry vektorů [7]

Při zapichování mohou vznikat vibrace, které způsobují nedodržení daných tolerancí rozměrů a zapříčiňují nekvalitní povrch obrobeké součásti. Omezení vibrací lze dosáhnout změnou řezných parametrů, volbou vhodnějšího nástroje s krátkým vyložení. Záleží také na vzdálenosti zápichu od upnutí, čím je zápich tvořen dále, tím riziko vibrací stoupá. [7]

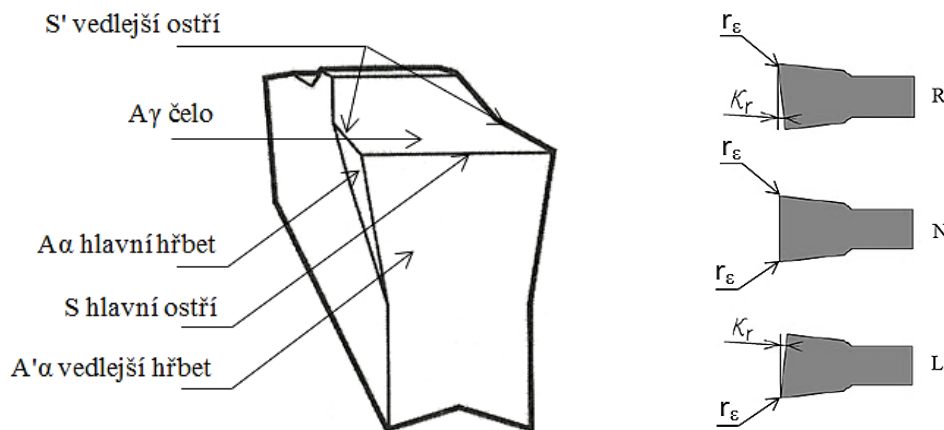


Obr. 3.10 Závislost vzniku vibrací na vzdálenosti obrábění od upnutí součásti [7]

3.3.2 Geometrie břitu nástroje pro zapichování

Při použití VBD by se mělo zohlednit, že na začátku obrábění (při konstantních otáčkách) vznikají vysoké řezné rychlosti, a proto je nutné volit VBD odolné vůči plastické deformaci. Odlišné požadavky přístupnosti břitu při obrábění zapichováním kladou vyšší nároky na složitost geometrie břitu nástroje. Kromě vhodné geometrie se také musí dbát na správné nastavení VBD do osy obrobku. Při nastavení polohy nástroje pod osu se zmenšuje úhel čela γ a zvětšuje úhel hlavního hřbetu α , a naopak. Odchylka výšky od středové osy obrobku by neměla překročit $\pm 0,1$ mm. [7, 18]

Pozitivní úhel čela γ používaný právě pro obrábění hliníkových slitin má za následek nižší řezné síly a menší radiální sílu působící na obrobek, avšak zeslabuje břit nástroje. Pro dostatečný prostor mezi břitem a obrobenou plochou je nutné mít odpovídající velikosti úhlu hřbetu hlavního α i vedlejšího α' . Úhel nastavení hlavního ostří κ_r může nabývat různých hodnot. Podle typu tohoto úhlu se VBD dělí na rovné ($\kappa_r = 90^\circ$) pro zapichování umožňující dodržení úzkých tolerancí, nebo na pravořezné a levořezné (aplikace zejména pro upichování), kdy zvyšující se úhel κ_r zvyšuje axiální složku řezné síly. Dále se určuje poloměr špičky r_ϵ , kdy malý poloměr zmenšuje tlak na břit nástroje při obrábění. Větší poloměr špičky pak umožňuje vyšší posuvy a prodlužuje trvanlivost břitu. [7]

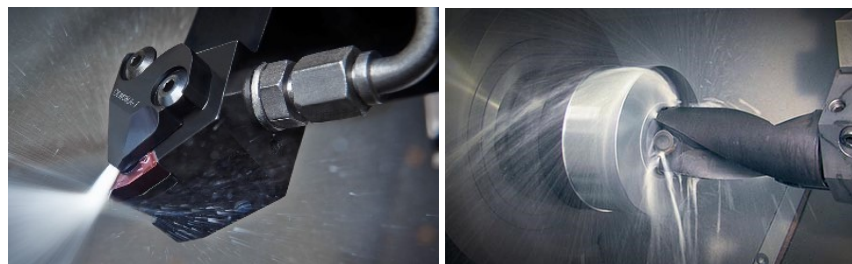


Obr. 3.11 Schéma základních ploch ostří zapichovacího nože a typy nastavení hlavního ostří (pravořezné, neutrální a levořezné) [7]

Při hlubším zapichování a upichování je důležitým faktorem odvod třísek, který je však kvůli omezenému prostoru při posuvu nástroje do středu obrobku limitován. Proto mají VBD obvykle na čele vylisované utvařeče, které napomáhají ke snadnému tvarování a odvádění třísky, které snižuje riziko poškození povrchu obrobku a vylomení VBD. Problémy utváření třísky, pak mohou být způsobeny také nesprávným výběrem geometrie, řezných parametrů nebo materiálem obrobku. [7]

3.4 Pracovní prostředí

Je obecně známým faktem, že hliník a jeho slitiny při obrábění ulpívá (tzv. lepí) na břitu nástroje. Ulpívání materiálu je zapříčiněno poměrně nízkou teplotou tavení (660°C). Pro zabránění tohoto nežádoucímu jevu, jsou hliníkové slitiny standardně obráběny za pomoci procesní kapaliny. Pro soustružení se nejčastěji využívají emulze, syntetické a polosyntetické kapaliny. Při obrábění na soustruhu se kapaliny mohou přivádět do místa řezu rozvodným potrubím zabudovaným ve stroji (standardní typ chlazení), vnitřním chlazením přinášející zvýšení výkonu obrábění (speciálně upravené nástroje), nebo vysokotlakým a velkoobjemovým chlazením (tlak přibližně 3 - 20 MPa). [6, 19]



Obr. 3.12 Způsoby vysokotlakého přívodu procesní kapaliny [20, 21]

Procesní kapalina má všeobecně kladné vlastnosti jako je možnost vyšších řezných rychlostí a tím zvýšení produktivity obrábění, snižování a odvádění tepla v místě řezu, nebo prodloužení trvanlivosti a životnosti nástroje. Dále má pozitivní vliv na tvarování a oddělování třísky z místa řezu a zlepšuje kvalitu obrobeného povrchu. Nevýhodou procesních kapalin mohou být pak vyšší náklady na výrobu spojené s cenou kapaliny, jejím skladováním, rozvodem či likvidací. Pokud je však procesní kapalina vhodně zvolena a aplikována, tak je výroba z ekonomického hlediska výhodnější. [6, 19]

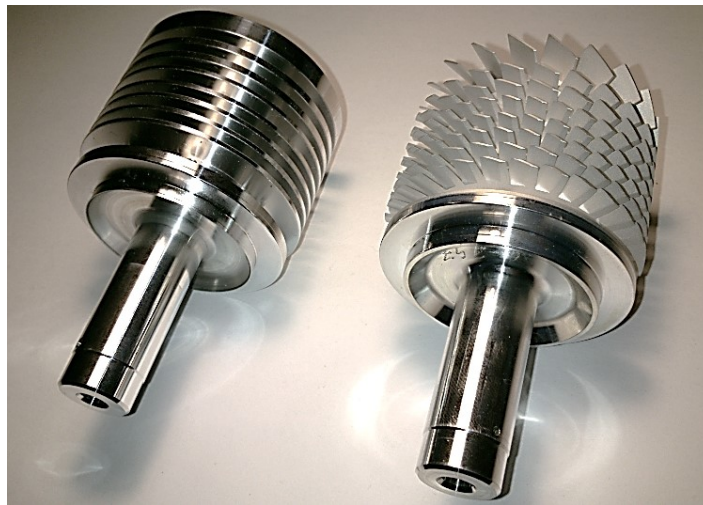
Pro používání procesní kapaliny je velmi důležité, aby byla přiváděna průběžně, a co nejbližší k řezné hraně nástroje v místě obrábění. Tato podmínka umožňuje využití veškerých výhod poskytovaných procesní kapalinou: [19]

- chladicí účinek odvádějící teplo z místa řezu,
- mazací účinek, který má vliv na jakost povrchu (tj. drsnost, tvrdost aj.),
- čistící účinek, který napomáhá lámání a odstraňování třísek z místa řezu.

Procesní kapalina je jedním z nejdůležitějších prvků, hned po volbě řezného nástroje a řezných parametrů obrábění, který ovlivňuje produktivitu a ekonomiku obrábění. Je důležité zvážit užití a popřípadě výběr vhodné procesní kapaliny, protože v obráběcím procesu zahrnuje 10 - 20 % celkových nákladů. [6, 19]

4 Rozbor technologie výroby

Rozbor technologie výroby byl vypracován dle podmínek výrobního závodu v Lutíně společně s informacemi z převzaté dokumentace ze společnosti Edwards Limited z Anglie. Dříve byl polotovar turbíny nakupován od externího dodavatele a ve společnosti Edwards, s.r.o. byl následně dohotoven do konečného produktu (viz Obr. 4.1). V současnosti je snahou vyrábět i tento polotovar přímo v závodě v Lutíně. Technologie výroby zadané součásti je porovnávána s již zavedeným typovým představitelem vyráběného polotovaru turbíny, jenž má podobný tvar a liší se hlavně velikostí. Používá se pro novou řadu vývěv a je určený do většího a výkonnějšího typu vakuového zařízení.



Obr. 4.1 Polotovar turbíny a výsledná součást turbíny

Cílem rozboru technologie výroby je získat souhrn informací, které je nezbytný pro tvorbu dané výroby. Návrh by měl umožňovat využití stejných postupů a podmínek jako u typového představitele zadané součásti. Snahou bylo zvolit stejný výrobní stroj, podobné kontrolní a skladovací metody. Hlavním důvodem je snížení nákladů za nákup či výrobu nových přípravků a nástrojů, které by se využívaly pouze pro danou výrobu. Největší část výrobního procesu dané součásti je třískové obrábění na CNC soustruhu. Diplomová práce se zabývá zmiňovanou částí výroby polotovaru turbíny (v daném případě OP10 a OP20), do které také spadá měření a mezioperační skladování pro tyto jednotlivé operace. Pro danou součást je kromě standardních ručních měřidel používáno i CMM zařízení pro rychlejší a přesnější kontrolu vyráběných součástí. Jelikož je kontrola prováděna u všech obráběných kusů po každé výrobní operaci, je nutné se zaměřit i na tuto část procesu. Veškeré zmiňované náležitosti výrobního procesu zadané součásti jsou popsány v následujících kapitolách.

4.1 Výrobní sled operací

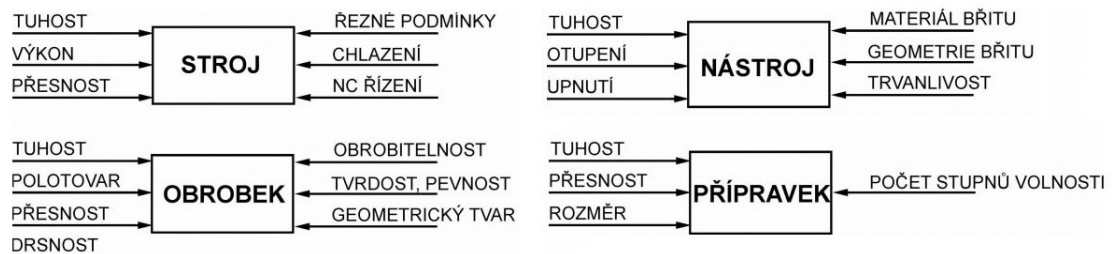
Podrobný průběh výrobního procesu je pro názornost vypsán v tabulce (Tab. 4.1) v podobě SIPOC analýzy. Ta byla zpracována v souladu s typovým představitelem zadané součásti. Tato metoda určená pro mapování procesů se využívá pro strategii Six Sigma. V tomto případě slouží pouze jako obecný náhled na proces výroby, který obsahuje sled operací dle posloupnosti výroby. Diplomová práce zabývá operacemi OP10 a OP20 až po vyrobení polotovaru turbíny. Od operace OP30 se již jedná o zavedený výrobní proces. [9]

Tab. 4.1 Vyobrazení sledu operací pomocí SIPOC analýzy

<u>Supplier</u> Dodavatel	<u>Input</u> Vstup	<u>Process</u> Proces	<u>Output</u> Výstup	<u>Customer</u> Zákazník
Dodavatel materiálu	Vytvoření objednávky	<i>Objednávka materiálu</i>	Dodání materiálu	Sklad
Sklad	Vyzvednutí materiálu	<i>Uskladnění materiálu</i>	Převoz materiálu na obrobnu	Výrobní hala (obrobna)
Obrobna	Dodání mat. ke stroji, nastavení stroje	<i>Soustružení OP10</i>	Kusy OP10	Obrobna - soustružení
Obrobna - soustružení	Kusy OP10	<i>Měření CMM OP10</i>	Protokol z OP10	Oddělení kvality
Obrobna - soustružení	Kusy OP10	<i>Popis dílce OP10</i>	Kusy OP10	Obrobna - soustružení
Obrobna - soustružení	Kusy OP10 + bedna	<i>Uskladnění dílce po OP10</i>	Naskladnění kusů po OP10	Obrobna - soustružení
Obrobna - soustružení	Dodání mat. ke stroji, nastavení stroje	<i>Soustružení OP20</i>	Označený kus (OP20)	Obrobna - soustružení
Obrobna - soustružení	Označený kus (OP20)	<i>Měření CMM OP20</i>	Protokol z OP20	Oddělení kvality
Obrobna - soustružení	Označený kus (OP20)	<i>Uskladnění dílce po OP20</i>	Naskladnění kusů k ručnímu pracovišti	Obrobna - frézování
Obrobna - frézování	Bedna s označenými kusy (OP20)	<i>Ruční šroubování</i>	Kus (OP20) se šrouby	Obrobna - frézování
Obrobna - frézování	Označené kusy (OP20) se šrouby	<i>Frézování OP30</i>	Kus z OP30 s lopatkami	Obrobna - frézování
Obrobna - frézování	Kus OP30 s lopatkami	<i>Ruční měření</i>	Protokol z OP30	Obrobna - frézování
Obrobna - frézování	Kus OP30 s lopatkami	<i>Mytí</i>	Očištěný kus s lopatkami OP30	Obrobna - frézování
Obrobna - frézování	Očištěný kus s lopatkami OP30	<i>Uskladnění očištěných kusů pro expedici</i>	Bedny s očištěnými kusy	Expedice → Poskytovatel chem. úprav XYZ
Poskytovatel chem. úprav XYZ	Bedny s očištěnými kusy pro firmu XYZ	<i>Chemické odjehlení</i>	Finální podoba výrobku	Firma XYZ
Firma XYZ	Převzetí zásilky beden finálních kusů	<i>Příjezd z firmy XYZ - na sklad Edwards</i>	Bedny s hotovými kusy	Expedice → Výrobní hala
Výrobní hala (obrobna)	Převzetí beden	<i>Uskladnění pro montáž</i>	Převoz materiálu na montáž	Oddělení montáže

4.2 Charakteristika výrobního stroje

Veškeré obráběcí operace řešené v rámci diplomové práce (OP10 a OP20) probíhají na CNC soustruhu s označením OKUMA LU-15 M pomocí chlazení procesní kapalinou. Z důvodu technologické složitosti, vysokých požadavků na přesnost, a tím i celkovou tuhost stroje, nelze použít konvenční obráběcí stroj. Mezi faktory ovlivňující přesnost výroby patří zejména tzv. soustava SNOP, která je tvořena obráběcím strojem (S), nástrojem (N), obrobkem (O) a přípravkem (P). Jednotlivé prvky soustavy SNOP jsou definovány a popsány na obrázku 4.2. Dalším důvodem využití CNC soustruhu je zajištění a následné udržení opakovatelnosti výroby. [16]



Obr. 4.2 Vlivy působící na jednotlivé prvky soustavy SNOP [16]

Horizontální CNC soustruh OKUMA LU-15 M

Tento CNC model 4-osého soustruhu je opatřen dvěma revolverovými hlavami (horní a dolní). Horní revolverovou hlavu lze osadit 12 nástroji a hlavu dolní 8. Horní revolverová hlava umožňuje používat poháněné nástroje. Stroj tedy disponuje osami X_1 , X_2 , Z_1 , Z_2 a C. Soustruh obsahuje ovládací panel s obrazovkou umožňující animaci obráběcího procesu, automatickým zavíráním a otevíráním dveří. Dále je soustruh vybaven chladicím systémem, systémem pro nastavení korekcí nástrojů pomocí zabudované sondy, a dopravníkem třísek. Sklíčidlo je na tomto stroji ovládané hydraulicky a upnutí se určuje pomocí hodnoty upínacího tlaku (nastavení nízkého nebo vysokého tlaku). Pro tento soustruh japonského výrobce je používán standardní řídicí systém OSP 7000L. Veškeré podrobné informace o stroji jsou obsaženy v tabulce 4.2. [22]

Tab. 4.2 Základní technické parametry soustruhu OKUMA LU-15 M [22]

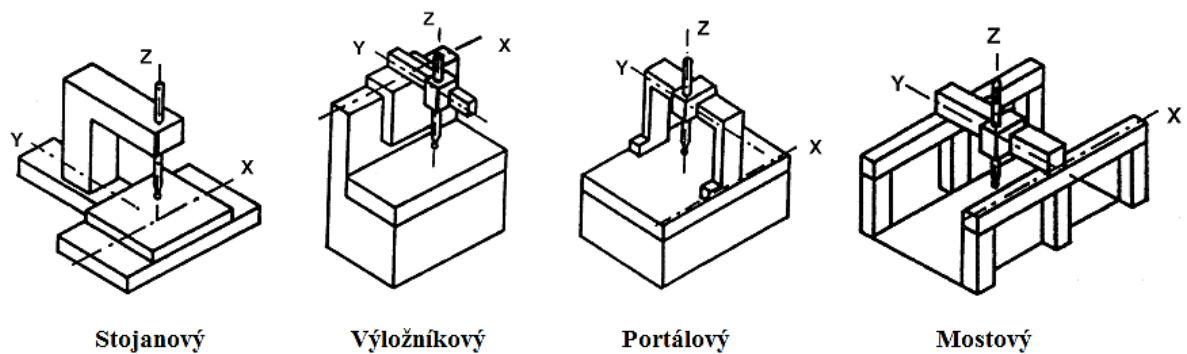
Pracovní rozsah stroje	
oběžný průměr nad ložem	530 mm
oběžný průměr nad suportem	380 mm
maximální průměr pro soustružení	330 mm
vzdálenost mezi hroty	600 mm
Vřeteno	
hlava vřetena	A2 - 6
otvor ve vřetenu	62 mm
rozsah otáček	75 - 3800 min ⁻¹
maximální výkon	22,4 kW (30 HP)
Nástrojové hlavy	
počet	2 (A – horní hlava, B – dolní hlava)
počet nástrojových pozic (hlava A / B)	12 / 8
zdvih v ose X (hlava A / B)	260 / 140 mm
zdvih v ose Z (hlava A / B)	640 mm / 615 mm
rychloposuv v ose X a Z (hlava A / B)	15 / 20 m.min ⁻¹
rozsah otáček nástroje (hlava A)	45 - 4500 min ⁻¹
max. výkon motoru pro nástroj (hlava A)	3,7 kW (5 HP)
Ostatní informace	
rozměry (délka x šířka x výška)	(3,96 x 2,13 x 1,93) m
hmotnost stroje	5 500 kg
dopravník třísek	ANO
koník	NE
řídící systém	OSP-7000L
rok výroby	1996



Obr. 4.3 CNC Soustruh OKUMA LU 15 M [23]

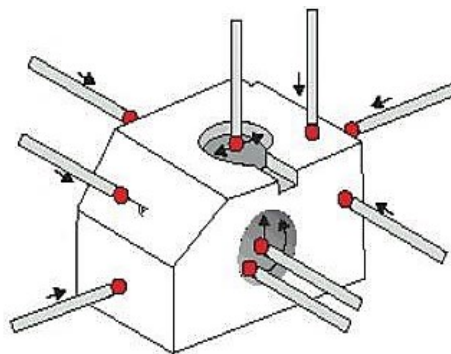
4.3 Charakteristika měřicího stroje (CMM)

Po obou operacích soustružení (OP10 a OP20) následuje pro každý kus vždy měření na tříosádnicovém stroji (CMM) označovaným pod názvem DuraMax. Ten za pomoci nastaveného programu dokáže rychle a efektivně vyhodnotit veškeré požadované rozměry s jejich tolerancemi i tolerance odchylek tvaru a polohy. Souřadnicový měřicí stroj je v provedení výložníkového typu, který se vyznačuje velmi dobrou přístupností k měřenému objektu, krátkou osou Y kvůli zachování tuhosti stroje a je určený pro malé a středně velké měřené objekty (viz obr. 4.4). [10]



Obr. 4.4 Základní typy souřadnicových měřicích strojů [10]

Zařízením CMM měříme většinou výrobky, které jsou obtížně a zdlouhavě měřitelné klasickými měřidly (posuvné měřítko, mikrometr, kalibry apod.). Měřicími nástroji jsou snímací hlavice opatřeny snímacími dotyky v podobě sondy. Ty jsou převážně ve tvaru kuličky z materiálů jako rubín, diamant nebo nitrid křemíku. Díky naprogramovaným drahám pomocí softwaru je měření rychlé a především zaručuje opakovatelnost měření bez neustálého přenastavování operátorem, který pouze spustí příslušný měřicí program. Měření může být prováděno pomocí snímání jednotlivých bodů nebo kontinuálním skenováním součásti. Tyto principy jsou znázorněny na obrázku 4.5. [10, 24]



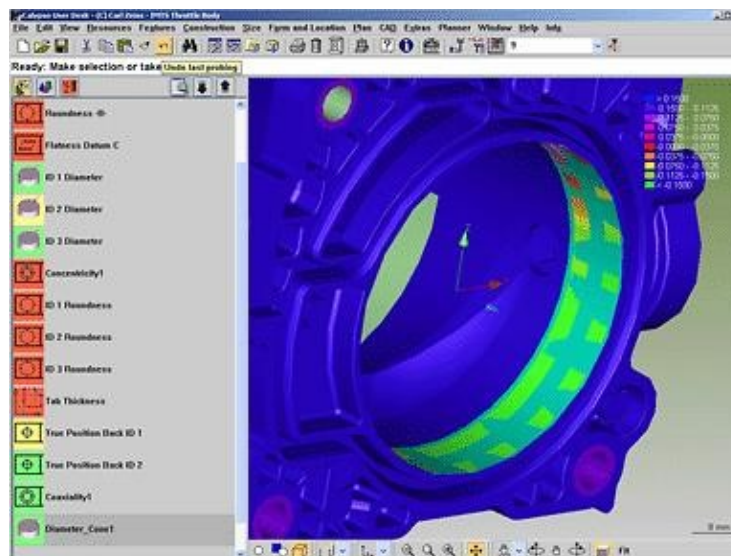
Obr. 4.5 Možné směry a typy snímání měřicích nástrojů – dotykové sondy [24]

Souřadnicový měřicí přístroj DuraMax

DuraMax je výložníkový souřadnicový měřicí stroj značky Zeiss. Je určený přímo do výrobních prostor, které nepotřebují speciální podmínky (čisté a klimatizované prostředí apod.). Toto CMM zařízení je odolné proti prachu, nízkým vibracím a je schopno pracovat do teplot až 30 °C. Díky svým vlastnostem a minimálním nárokům na potřebný prostor lze snadno integrovat do různých výrobních prostorů – v tomto případě do obrobny hliníku.

Zařízení umožňuje rychlé a přesné měření snímacími sondami, které se konstrukcí liší dle požadované aplikace měření. Měřené součásti lze upnout do rozmanitého množství upínacích příslušenství usazených na pracovním stole z leštěné šedé litiny. Zařízení je vybaveno ovládacím panelem s dvěma joysticky, kterými lze manuálně odměřovat součást. Rozsah pohybu dorazu snímače je ± 3 mm, což zabezpečuje ochranu proti kolizi nástroje s měřeným objektem. Zbylé technické parametry jsou uvedeny v tabulce 4.3.

Zařízení CMM je určený pro tzv. 3D měření v osách X, Y a Z. Tento souřadnicový měřicí stroj je podporován softwarem od výrobce stroje pod označením CALYPSO. Software je určen pro manuální a CNC měření, a především pro programování. Program pomocí CAD modelů součástí umí snadno definovat měřený prvek s příslušnými tolerancemi a dokáže vygenerovat vhodnou strategii měření daného prvku. Strategie měření zajišťuje rychlé a bezkolizní pojezdy, nájezdy k měřenému prvku a samotné měření jednotlivých snímačů. Jednotlivé programy lze snadno a operativně upravovat přímo na stroji. V neposlední řadě je možné ihned po dokončení zobrazit protokol naměřených hodnot obsahující přehledné výsledky měření. [25]



Obr. 4.6 Prostředí programu CALYPSO od firmy Zeiss [24]

Tab. 4.3 Základní technické parametry CMM zařízení DuraMax [25]

Pracovní rozsah stroje	
měřicí rozsah	500 x 500 x 500 mm
maximální zatížení pracovní plochy	100 kg
přesnost stroje (odchylka měření)	x, y, z = ± 0,001 mm
posuvová rychlost	x, y, z = 0 - 300 mm.s ⁻¹
teplotní stabilita	+18 až +30 °C
Nástroje	
kapacita výměnného zásobníku snímačů	9 pozic
axiální délka snímače	30 - 150 mm
radiální délka snímače	30 - 65 mm
Vybavení	
ovládací panel	ANO
otočné rameno pro klávesnici a monitor	ANO
integrováný systém pasivního tlumení vibrací	ANO
otočný stůl	NE
odolnost proti prachu (IP54)	ANO
Ostatní informace	
rozměry (délka x šířka x výška)	(1,08 x 1,16 x 2,48) m
software	CALYPSO
rok výroby	2012



Obr. 4.7 Souřadnicový měřicí stroj Carl Zeiss – DuraMax [25, 26]

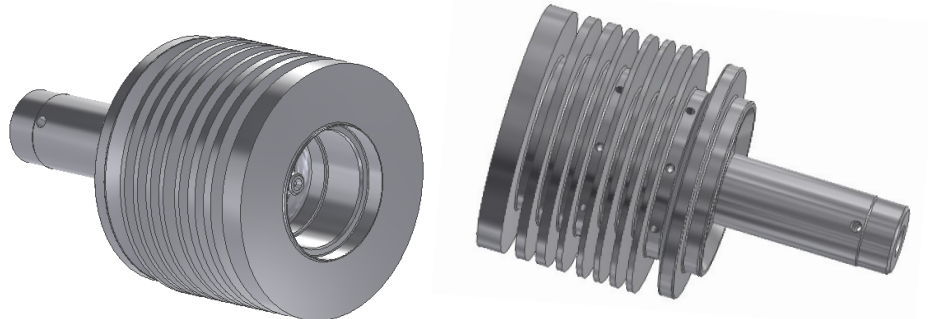
4.4 Obráběná součást

Vyráběnou součástí je v tomto případě rotor, který je jednou z hlavní součástí sestavy tzv. suché (bezolejové) vakuové vývěvy. Jedná se o turbomolekulární vývěvu produkovanou společností Edwards, s.r.o., která se využívá především pro vědecké účely (např. elektronové mikroskopy). Rotor při chodu zařízení dosahuje otáček až $90\,000\text{ min}^{-1}$, které pak ovlivňují objemový průtok plynů. Důležitým parametrem vývěv je především čerpací rychlost udávaná v $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ nebo $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. [27]



Obr. 4.8 Modely turbomolekulárních vývěv řady EXT [27]

Součást se vyrábí ze slitiny hliníku EN AW 7075. Polotovarem obráběné součásti je kruhová tyč z tvářené hliníkové slitiny. Tento lisovaný polotovár je dodáván od výrobce v již požadovaném rozměru $\varnothing 76\text{ mm}$ v délce 135 mm dle normy EN 755-3 (viz výkres polotovaru – příloha F). Přestože se tento polotovár využívá pro výrobu jiné součásti, tak byl nejbližší vypočteným rozměrům polotovaru (viz nadcházející kapitola 4.4.1). [28]



Obr. 4.9 Vyráběná součást vymodelovaná v programu Inventor Professional

4.4.1 Výpočet rozměru polotovaru

Polotovarem zadané součásti je lisovaná kruhová tyč z hliníkové slitiny EN AW 7075. Tato hliníková slitina byla vybrána z důvodu vyhovujících vlastností (viz kapitola 4.4.2) a nižší ceně za materiál. Pro minimální náklady za materiál je nutné také spočítat vhodné rozměry polotovaru se zohledněním přídaveků na obrábění.

Určení velikosti normalizovaného polotovaru pro rotační součást je provedeno podle maximálního průměru součásti. Vychází se ze vztahu pro přídavek na obrábění.

Určení přídavku na průměr p_d : [4]

$$p_d = \frac{5 \cdot d_{\max}}{100} + 2 \text{ [mm]} \quad (4.1)$$

$$p_d = \frac{5 \cdot 65}{100} + 2 = 5,25 \text{ mm}$$

kde: p_d – přídavek na průměr [mm], d_{\max} – je maximální průměr součásti [mm].

Určení průměru polotovaru D_p : [4]

$$D_p = d_{\max} + p_d \text{ [mm]} \quad (4.2)$$

$$D_p = 65 + 5,25 = 70,25 \text{ mm}$$

Za běžné situace by se z tabulek určil nejbližší normalizovaný průměr **70 nebo 75 mm**.

Určení délky polotovaru L_p : [4]

$$L_p = l_s + p_l \text{ [mm]} \quad (4.3)$$

$$p_l = 2 \cdot p_\xi \text{ [mm]} \quad (4.4)$$

kde: l_s – délka součásti [mm], p_ξ – přídavek na čelo [mm], p_l – přídavek na délku [mm].

Za normálních okolností se délka polotovaru vypočítá dle uvedeného vzorce. V tomto případě nelze vzorec použít kvůli zvolené technologii výroby součásti, ve které se používá metoda upíchnutí součásti po první operaci. Z tohoto důvodu musí být délka dostatečná pro uchycení polotovaru do sklíčidla a byl zvolen přídavek na **délku 30 mm**.

Dle výpočtů je vhodný polotovar s rozměry **KR 70 – 135 mm**. Dodavatelem je však zahraniční společnost, u které nebylo možné sjednat v tak krátkém časovém úseku objednání těchto polotovarů. Byl proto použit polotovar stejného materiálu, který se vypočteným hodnotám nejvíce přibližoval, a který se využívá k výrobě typově podobného představitele zadané součásti. Polotovar je tedy použit s rozměry **KR 76 – 135 mm**.

4.4.2 Charakteristika materiálu EN AW 7075

Materiál označovaný jako EN AW 7075 (dle ČSN 42 4222 – AlZn6MgCu) spadá do kategorie tvářených vyztužitelných slitin hliníku (Al - Zn). Materiál je tepelně zpracován dle normy EN 515 pod označením T6510, díky kterému má lepší mechanické a technologické vlastnosti. Tepelné zpracování T6510 je stav materiálu po rozpouštěcím žihání a umělém stárnutí. [2]

Tvářená hliníková slitina je používána v různých oblastech průmyslu ve tvaru lisovaných a válcovaných polotovarů (profily, panely, pásy, tyče, plechy). Materiál je charakteristický vysokou mezí pevnosti a sníženou tažností. Nachází uplatnění zejména v oblastech strojírenství nebo leteckého, automobilového a zbrojního průmyslu. Používá se pro vysoce a dlouhodobě namáhané součásti a konstrukce. Typickými představiteli výrobků jsou turbíny vývěv pro vakuovou techniku, namáhané prvky v automobilech, kryty a výztuže do letadel, nebo některé části zbraně M16. [2, 28]

Tab. 4.4 Chemické složení hliníkové slitiny EN AW 7075 dle normy EN 573-3 [28]

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]	Cr [%]	Zn [%]	Ti [%]	Al [%]
min.	-	-	1,40	0,20	1,80	0,10	5,00	-	zbyt.
max.	0,50	0,50	2,00	0,60	2,80	0,25	7,00	0,20	

Tab. 4.5 Mechanické vlastnosti dle EN 755-2; lisovaná tyč EN AW 7075 – T6510 [29]

Rozměr [mm]	Měrná hmotnost [g.cm ⁻³]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A [%]	Tvrdość [HBW]
25 ≤ D ≤ 100	2,85	min. 560	min. 500	min. 7	150

Kromě chemického složení a mechanických vlastností lze materiál specifikovat podle jeho technologických vlastností. Technologické vlastnosti popisují chování daného materiálu na určité technologické procesy. Obecně jsou popsány formou doporučeného použití nebo pomocí klasifikace vhodnosti materiálu pro daný proces. Tyto informace jsou pouze informativního charakteru a mohou se u jednotlivých dodavatelů mírně lišit. V tabulce 4.6 jsou znázorněny technologické vlastnosti materiálu EN AW 7075 dle dodavatele Alcom Alval s.r.o. [29]

Tab. 4.6 Technologické vlastnosti hliníkové slitiny EN AW 7075 [29]

Technické vlastnosti		EN AW 7075
Svařitelnost	Elektrický oblouk	Špatné
	Inertní plyn	Špatné
	Pájení	Přijatelné
Obrobitelnost	Odlamování třísek při obrábění	Dobré
	Lesk opracovaného povrchu	Dobré
Korozní odolnost	Atmosférická	Přijatelné
	Proti mořské vodě	Špatné
Vhodnost k eloxování	Ochranný	Dobré
	Lesklý	Přijatelné
	Tvrký	Velmi dobré

Z údajů je patrné, že se jedná o materiál s průměrnou obrobitelností, nedoporučující se svařitelností a na rozdíl od ostatních slitin je méně odolný proti korozi.

Z hlediska vhodnosti k obrábění je materiál EN AW 7075 spíše průměrný. Tato slitina tvoří při soustružení (zejména při hrubování) nepříznivě dlouhou třísku charakteristickou svou pružností a pevností. To má za následek namotávání třísky kolem nástroje v místě řezu, což znemožňuje odvod další třísky a vzniká tak znehodnocování již obrobeného povrchu materiálu. Při správně zvolených řezných podmínkách vzniká poměrně dlouhá tříska, která se však příznivě stáčí a lehce láme. Při takto vhodně zvoleném průběhu opracování je pak povrch tohoto materiálu velmi hladký a lesklý. [30]



Obr. 4.10 Obrobené třísky soustružením z materiálu EN AW 7075 [29]

5 Zpracování návrhu technologie výroby

Při navrhování technologie výroby a přizpůsobování převzaté technologie ze společnosti Edwards Limited z Anglie, je nutné zohlednit veškeré návaznosti výrobního procesu. Ten obsahuje výrobní operace, kontrolu a mezioperační skladování součástí.

V kapitole 3 – Rozbor technologie výroby, byly specifikovány stroje a zařízení, které lze použít jak pro zadanou součást, tak i pro typového představitele součásti. Tato zařízení byla zvolena pro výrobu, protože vyhovovala požadavkům pro daný výrobní proces. Jedná se o výrobní soustruh OKUMA LU-15 M a CMM zařízení od firmy Zeiss DuraMax.

V následujících kapitolách jsou zvlášť rozepsány výrobní, kontrolní a mezioperační skladovací operace. Tyto kapitoly ztvárňují kompletní návrh výroby obsahující veškeré potřebné informace o zvolených nástrojích, přípravcích, technických parametrech a postupech. Zároveň jsou uvedeny důvody pro jejich stanovení.

5.1 Výrobní operace – obrábění

Diplomová práce byla zaměřena na zavedení výroby dané součásti s důrazem na dodržení daných tolerancí a ekonomickou stránku výrobního procesu. Bylo nutné porovnat a zvolit řezné nástroje, u kterých se musely určit vhodné řezné parametry. Dále bylo nutné definovat pro výrobní stroj způsob upnutí a procesní kapalinu. Snahou bylo vytvořit takové prostředí, aby bylo dosaženo veškerých rozměrových tolerancí a tolerancí tvaru a polohy.


Pro výrobu zadané součásti (operace OP10 a OP20) je zvolen již zmíněný CNC soustruh OKUMA LU-15 M (viz kap. 4.2). Důvodem je odzkoušená a vyhovující výroba pro typového představitele vyšší řady vývěv. Použití stejného stroje pak umožňuje ponechání podobných či stejných nástrojů pro obě součásti a především sdružení výroby na jedno pracoviště. Na následujících stranách jsou popsány kapitoly obsahující veškeré informace potřebné pro danou výrobu obráběním.

5.1.1 Upnutí obrobku na výrobním stroji

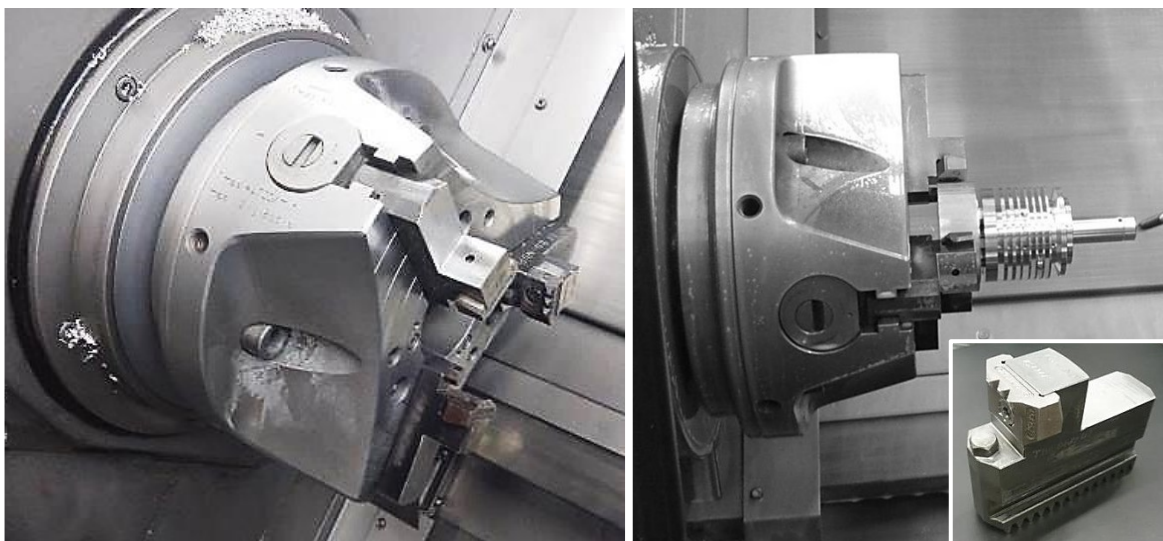
Na soustruhu OKUMA LU-15 M bylo zvoleno pro obě operace stejné sklíčidlo, u kterého se pouze mění upravené tvrdé čelisti (OP10) a speciální čelisti pro ovládání přípravku kleštiny (OP20). Sklíčidlo je použito od firmy FORKARDT s označením FNC 315. Toto tříčelist'ové hydraulicky ovládané sklíčidlo je zvoleno pro danou výrobu, protože

umožňuje velmi snadno a rychle přenastavit čelisti. Výměna čelistí je u stroje důležitá z důvodu časté změny nastavení stroje pro různé typy výrobků. Dále sklíčidlo dosahuje vysokých upínacích sil a je velmi tuhé, což zaručuje přesnost a opakovatelnost výroby. V tabulce 5.1 jsou uvedeny veškeré potřebné technické parametry sklíčidla. [31]

Tab. 5.1 Technické parametry sklíčidla FORKARDT FNC 315 [31]

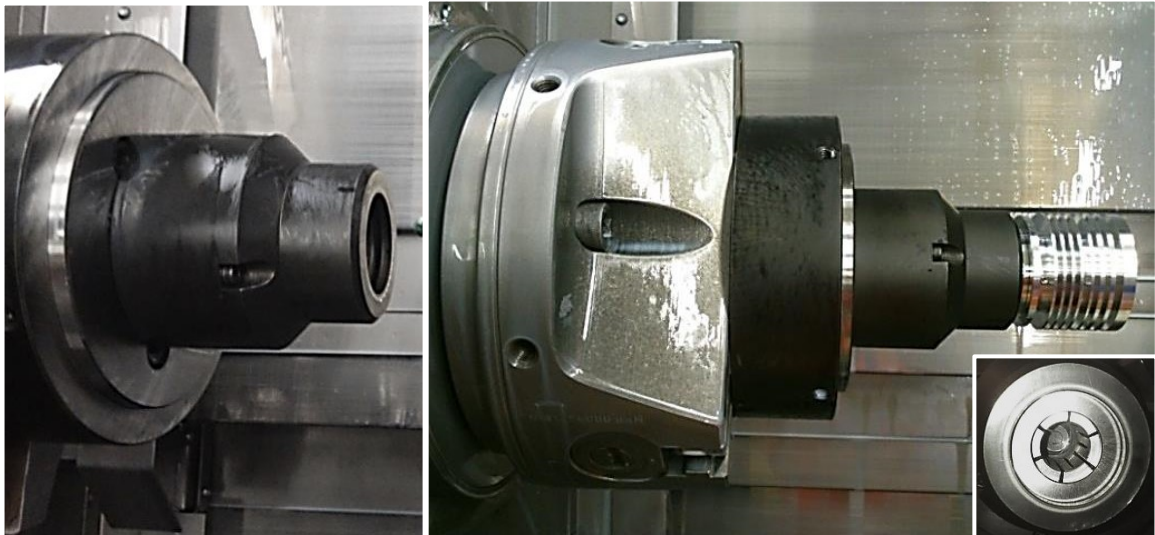
FORKARDT FNC 315		
	Průměr sklíčidla	315 mm
	Výška	100 mm
	Otvor	82 mm
	Max. upínací síla	12 000 daN
	Max. otáčky	4 000 min ⁻¹
	Hmotnost	37 kg
	Typ upnutí sklíčidla	Z11 / 300
	Použití (typ výroby)	střední a malosériová

Pro první operaci (OP10) na CNC soustružijou použity tvrdé upravené čelisti značky FORKARD, které jsou znázorněny na obrázku níže. Jejich úprava spočívá v obrobených vnějších a částečně i vnitřních ploch čelistí kvůli zabránění kolizi nástrojů. Pro eliminaci chybného upnutí obsahují čelisti 5 mm dorazy. Ty zaručují vždy správné upnutí a dodržení požadovaných tolerancí obráběné součásti. Tento typ čelistí umožňuje bezpečné upnutí za krátké upínací plochy, díky kterým lze použít kratší polotovary a tím ušetřit náklady na materiál. Jelikož je obrobek upnut za velmi krátkou délku, je pro upnutí první operace nastaven na stroji vysoký upínací tlak (30 bar). [31]



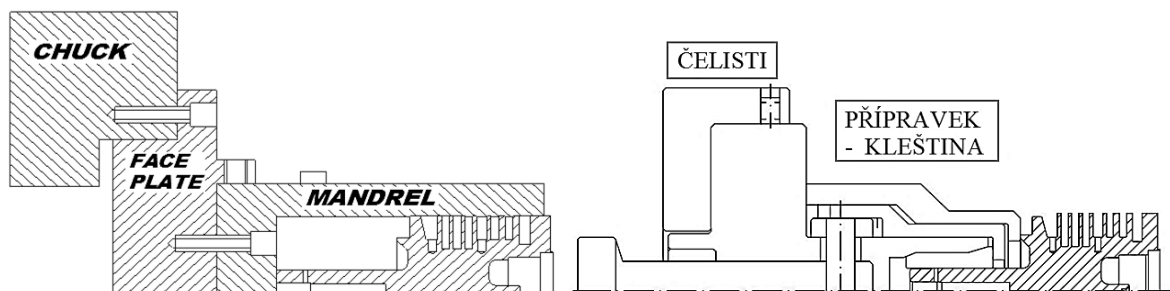
Obr. 5.1 Tříčelistové sklíčidlo s 5mm dorazy pro operaci OP10

Upnutí pro druhou operaci je realizováno pomocí speciálních čelistí a přípravku v podobě kleštiny, která je přes čelisti hydraulicky ovládaná pomocí stejného sklíčidla. Kleština má za funkci dostatečně upnout obráběnou součást bez poškození již obrobeneho povrchu, za který je součástka upnuta. Kleština obklopuje celý obvod upnuté plochy a za pomoci nastaveného nízkého upínacího tlaku stroje (12 bar) nezpůsobuje vtisky na ploše obrobku. Na obrázku níže je znázorněn způsob upnutí součásti zmiňovanou kleštinou.



Obr. 5.2 Hydraulicky ovládaný přípravek speciální kleštiny pro operaci OP20

Tento způsob upnutí pro druhou operaci byl navržen zcela odlišným způsobem, jako tomu bylo v technologickém postupu ze společnosti Edwards Limited. Na obrázku 5.3 je znázorněno schéma předešlého principu upnutí. Změnou v tomto případě bylo využití jiné plochy součásti pro její upnutí. Namísto upnutí za největší průměr součásti pomocí měkkých čelistí se použilo upnutí pomocí kleštiny za část malého průměru osy součásti.



Obr. 5.3 Schéma upnutí součásti pro OP20 (vlevo – starý způsob, vpravo – nově navržený)

Nově navrženým upnutím se docílilo sjednocení upnutí zadané součásti a součásti typového představitele, s kterým je snaha docílit, co nejpodobnějšího výrobního procesu. Dalším důvodem je upnutí za vhodnější plochu s nižším rizikem poškození součásti.

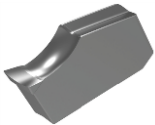
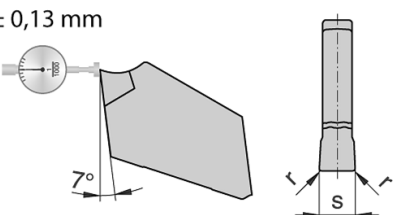
5.1.2 Volba řezných nástrojů

Pro výrobu zadané součásti bylo, kvůli složitému tvaru součásti, zapotřebí velké množství nástrojů od výrobců WNT, WALTER, STELLRAM, SECO aj. Nástroje byly částečně převzaty z technologické dokumentace ze společnosti Edwards Limited z Anglie a zároveň porovnány s nástroji ze závodu v Lutíně, kterými se obrábí ostatní typy turbínových rotorů. Snahou bylo sjednotit tyto nástroje s použitím, co největšího počtu již odzkoušených a používaných nástrojů.

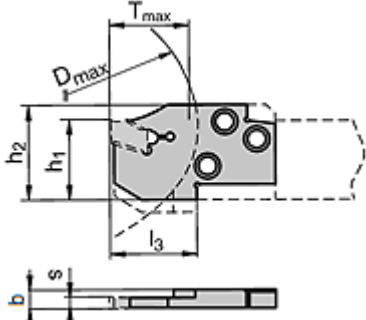
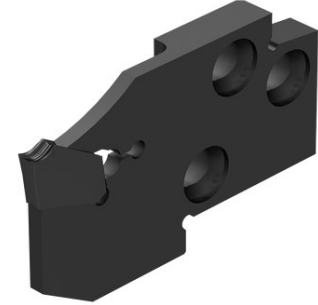
Z důvodů velkého množství použitých nástrojů jsou v kapitole popsány jen některé typy spolu s popisem VBD, jejich držáků a volby řezných parametrů. Souhrn všech nástrojů s jejich značením je uveden v následující kapitole 5.1.3. Dále je zpracován seznam použitých řezných nástrojů (příloha A), kde jsou uvedeni dodavatelé a schémata jednotlivých nástrojů. Řezné parametry spolu s popisem všech nástrojů jsou definovány v příloze B – Kontrolní list nástrojů. Tento dokument nahrazuje technologický postup z důvodu utajení technologického sledu operací při obrábění součásti.

Nejvíce vyskytovaným nástrojem pro danou výrobu je zapichovací nůž (LU3072) od firmy WNT, který je osazen na stroji rovnou čtyři krát. Důvodem je způsob tvorby zapichů, které jsou obráběny sdruženým posuvem obou revolverových hlav, kde každý nástroj obrábí jednu stranu zápichu. Nástroje jsou tedy upnuty zvlášť do horní (A) a dolní (B) revolverové hlavy, kde je v každé z nich nástroj pro hrubování a dokončování. Těmito nástroji jsou vytvářeny na součásti jednotlivé lamely v první operaci OP10. Celý zapichovací nástroj je tvořen VBD, která je upevněna přes zapichovací modul na základní držák (viz tabulky níže).

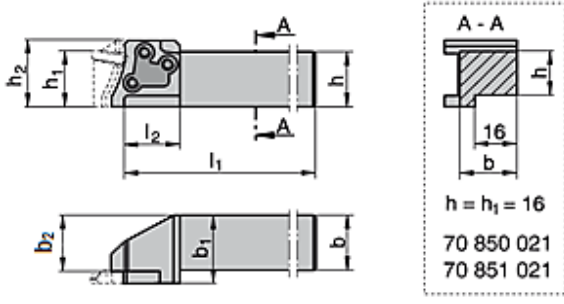
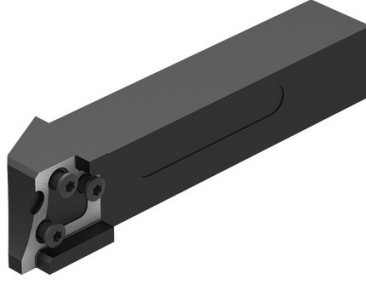
Tab. 5.2 Zapichovací VBD 2,2 mm – LU3072 [32]

Dodavatel:	WNT	Označení:	FX 2.2N0.10-ALP CWK 26	
s [mm]	r_ε [mm]	α [°]	tolerance [mm]	
2,2	0,1	7	± 0,13	
		Specifikace:	Materiál:	
		- zapichovací VBD - vysoce pozitivní geometrie břitu - ostrá řezná hrana - vysoké hodnoty v_c	- nepovlakovaný karbid - typ CWK 26 – ISO K20	

Tab. 5.3 Radiální zapichovací modul FX od WNT – LU3072 [32]

Dodavatel:	WNT	Označení:	MSS-E25R20-FX2.2
D_{max} [mm]	h_1 [mm]	h_2 [mm]	l_3 [mm]
75	25	30	22
s [mm]	T_{max} [mm]	b [mm]	pro držák
2,2	20	6,17	E25
			

Tab. 5.4 Základní držák 0° od WNT – LU3072 [32]

Dodavatel:	WNT	Označení:	MSS-E25R20-FX2.2
$h=h_1$ [mm]	h_2 [mm]	l_2 [mm]	l_1 [mm]
25	30	25	140
b [mm]	b_1 [mm]	b_2 [mm]	R / L
25	31	25,5	R – pravý
			

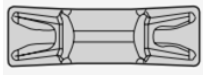
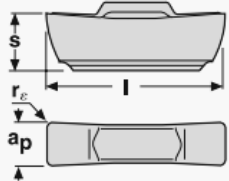
Pro proces zapichování je doporučeno používat řezné podmínky pro hliníkové slitiny, dle příručky obrábění Sandvik Coromant ($v_c = 50 - 2000 \text{ m.min}^{-1}$, $a_p = 0,5 - 5 \text{ mm}$, $f = 0,1 - 0,8 \text{ mm}$). Podmínky byly porovnány s katalogem výrobce VBD a následně zvoleny pro obě operace zapichování – hrubování a dokončování). Pro CNC program byla použita funkce G97 pro konstantní otáčky, kdy se snižuje řezná rychlost s posuvem směrem k ose obrobku. [7]

Tab. 5.5 Volba řezných podmínek – LU3072


Řezné podmínky				
Operace	n [min^{-1}]	f [mm]	a_p [mm]	v_c [m.min^{-1}]
1. Hrubování	2500	0,1	2,2	G97
2. Dokončování	2000	0,2	2,2	G97

Dalším nástrojem pro čelní zapichování vnitřních průměrů součásti je nůž od firmy SECO. Ten je složen z VBD pro čelní zapichování usazené v modulu, který je přišroubován do držáku. Všechny tři části jsou níže specifikovány dle katalogu výrobce.


Tab. 5.6 Čelní zapichovací VBD 4 mm od firmy SECO – LU3095 [33]

Dodavatel:	SECO	Označení:	LCMF 130404-0400-FT	
a_p [mm]	l [mm]	s [mm]	r_ε [mm]	
4	12,35	4	0,4	
		Tolerance: $a_p = \pm 0,05$ $l = \pm 0,08$ $s = \pm 0,05$ l = Délka destičky od břitu k zadnímu opěrnému lůžku	Specifikace: - čelní zapichovací oboustranná VBD - utvařec FT – pro jemné soustružení	Materiál: - povlakovaný karbid - typ povlaku CP500

Tab. 5.7 Axiální zapichovací modul a základní držák od firmy SECO – LU3095 [33]

Dodavatel:	SECO	Označení:	V21-CMR1304R030017
a_p [mm]	l_1 [mm]	κ_r [°]	λ_s [°]
4	21,2	90	3
		Specifikace: - směr řezu – pravý - vnitřní a vnější obrábění - systém upnutí – C	Poznámky: a_p – šířka řezu l_1 – programovaná délka κ_r – úhel nastavení hl. ostří λ_s – úhel sklonu hl. ostří

Tab. 5.8 Základní držák pro vnitřní obrábění od firmy SECO – LU3095[33]

Dodavatel:	SECO	Označení:	A25R-FR-V21
b [mm]	h [mm]	D [mm]	l_1 [mm]
24	23	25	200
		Specifikace: - směr řezu – pravý - vnitřní obrábění - dop. vyložení nástroje 35 mm	Poznámky: b – šířka stopky h – výška stopky držáku D – průměr stopky l_1 – programovaná délka

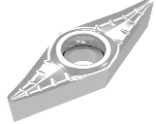
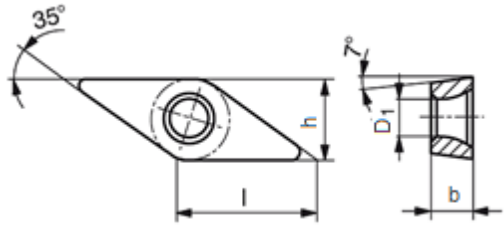
Řezné parametry jsou v tomto případě sniženy na dolní hranici z důvodu většího vyložení nástroje. U zapichovacího nože s šířkou záběru 4 mm, na takto dlouhém vyložení, by mohly vznikat nežádoucí vibrace, které by negativně ovlivnily kvalitu opracovaného povrchu spolu s rozměrovými tolerancemi. Byla zvolena strategie G97 konstantní otáčky.

Tab. 5.9 Volba řezných podmínek – LU3095

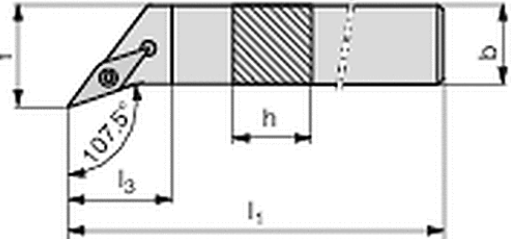
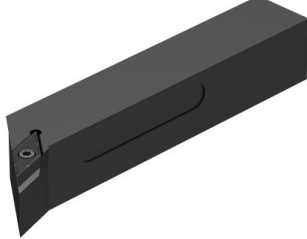
Řezné podmínky				
Operace	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	v_c [m.min ⁻¹]
Vnitřní axiální zapichování	560	0,05	4	G97

Dalším důležitým nástrojem je vnější dokončovací nůž od firmy WNT. Tento nástroj je osazen v horní revolverové hlavě (pro operaci OP10) a dolní (pro operaci OP20). Nástroj dokončuje v první operaci většinu vnějších průměrů součásti a v druhé operaci dokončuje čelo na délku 105 mm.

Tab. 5.10 Čelní zapichovací VBD 4 mm – LU1012 [32]

Dodavatel:		WNT		Označení:		VCGT 160404 FN-25P CWK20		
h [mm]	D₁ [mm]	b [mm]	l [mm]	r_ε [mm]				
9,52	4,4	4,76	16,6	0,4				
				Specifikace: - dokončování - utvařeč 25P - úhel hřbetu 7°		Materiál: - povlakovaný karbid - typ CWK 20 – ISO K20		

Tab. 5.11 Upínací držák 107,5° s upínacím šroubem od WNT – LU1012 [32]

Dodavatel:		WNT		Označení:		SVHCR 2525 M16	
h [mm]	b [mm]	l₁ [mm]	l₃ [mm]	l [mm]			
25	25	150	19,6	32			
							


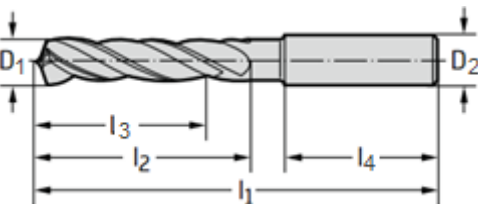
Řezné parametry byly zvoleny dle doporučení v katalogu výrobce. Pro obrábění je použita v CNC programu aplikace G96, při které je nastavena konstantní řezná rychlost s proměnlivými otáčkami dle aktuálního obráběného průměru. Tato strategie zaručuje dosažení požadované drsnosti povrchu a rozměrových tolerancí.

Tab. 5.12 Volba řezných podmínek – LU1012

Řezné podmínky				
Operace	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	v_c [m.min ⁻¹]
Dokončování	G96	0,1	0,4	250


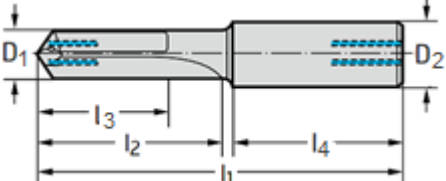
Poháněným nástrojem osazeným v horní revolverové hlavě (A) je nepovlakovaný karbidový vrták. Tento nástroj vrtá díru kolmo na osu součásti, která byla přes žádost konstrukčnímu oddělení změněna z průměru 1,5 mm na 3 mm. Důvodem bylo sjednocení sady nástrojů, které obrábí další typy turbínových rotorů pro vývěvy. Pro řezné parametry byly zvoleny maximální otáčky poháněného nástroje 4500 min^{-1} a posuv $60 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Tab. 5.13 Vrták $\varnothing 3 \text{ mm}$ od firmy Walter – LU4058 [34]

Dodavatel:	WALTER	Označení:	A3367-3		
D₁ m7 [mm]	D₂ h6 [mm]	l₁ [mm]	l₂ [mm]	l₃ [mm]	l₄ [mm]
3	6	66	28	23	36
			Specifikace: - pravořezný - úhel 130° - typ – BSX - DIN 6537 L - doporučené chlazení (oleje/emulze)	Materiál: - nepovlakovaný karbid - označení K30F - jemnozrnný tvrdý substrát (obsah Co 10%) - tvrdost 1550 HV	

Důležitým nástrojem je vrták $\varnothing 7 \text{ mm}$ od firmy Walter, který je vsazený do dolní revolverové hlavy. Tento vrták z SK s přímými drážkami, který má přívod chladicí kapaliny středem nástroje, se používá pro vrtání do osy součásti. Tato díra je následně obráběna na větší průměr speciálním broušeným nástrojem udávající díře rozměr s tolerancí $\pm 0,007 \text{ mm}$.

Tab. 5.14 Vrták s přímými drážkami $\varnothing 7 \text{ mm}$ od firmy Walter – LU4053 [34]

Dodavatel:	WALTER	Označení:	A3387-7.1		
D₁ h6 [mm]	D₂ h6 [mm]	l₁ [mm]	l₂ [mm]	l₃ [mm]	l₄ [mm]
7	8	91	53	32	36
			Specifikace: - pravořezný - úhel 120° - typ – AlphaJet - DIN 6537 L - chlazení středem vrtáku	Materiál: - nepovlakovaný karbid - označení K20F - jemnozrnný tvrdý substrát (obsah Co 10%) - tvrdost 1550 HV	

Tab. 5.15 Volba řezných podmínek – LU4053

Řezné podmínky				
Operace	$n \text{ [min}^{-1}\text{]}$	$f \text{ [mm]}$	$a_p \text{ [mm]}$	$v_c \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}\text{]}$
Vrtání	1400	0,15	-	35

5.1.3 Celkový přehled použitých nástrojů

Použité nástroje pro jednotlivé operace OP10 a OP20 jsou uvedeny v tabulkách níže. Tabulky obsahují označení nástroje dle katalogu firmy, typ držáku, VBD, rádius břitu a polohu nástroje podle pozice a umístění v revolverové hlavě (horní A, dolní B). Další informace o nástrojích jsou uvedeny v SOP dokumentu (příloha D a E), ve kterém je seřizovací list nástrojů obsahující pozici nástroje, jeho korekce, rádius špičky a pozici v X a Z souřadnicích.

Tab. 5.16 Nástroje pro výrobní operaci OP10

Označení nástroje	Typ držáku	Typ destičky	R [mm]	Poloha
LU1001	PCLNR 2525M 12	CNMG 120404EN-42 CWT20	0,4	A01
LU4053	Kleština 8 mm ER40, Držák E9 40x40	Vrták SK s přímými drážkami, Ø 7 mm, TITEX A3387, AlphaJet	-	B08
LU3072	MSS-E25R20-FX2.2 MSS_E25_L00_2525L	FX 2.2N0.10-ALP CWK 26	0,1	A03
LU3072	MSS-E25R20-FX2.2 MSS_E25_L00_2525L	FX 2.2N0.10-ALP CWK 26	0,1	B03
LU9061	Kleština 5 mm ER11	Vrták odstupňovaný Ø 2,8 mm	-	A07
LU9060	Kleština 4 mm ER32	Závitník M3x0,5 RH5-B TiCN	-	A08
LU9058	Kleština 6 mm ER25	Vrták Ø 3 mm, A3367-3 K30F	-	A09
LU3072	MSS-E25R20-FX2.2 MSS_E25_L00_2525L	FX 2.2N0.10-ALP CWK 26	0,1	A05
LU3072	MSS-E25R20-FX2.2 MSS_E25_L00_2525L	FX 2.2N0.10-ALP CWK 26	0,1	B05
LU3094	G1521.2525R-T6GX24	GX24-3F500N03-CF5 WSM43S	0,3	B01
LU1012	SVHCR 2525 M16	VCGT 160404FN-25P CWK20	0,4	B05
LU2048	Držák pro monolit WNT 73 080 165, E2-40x12	Vyvrtačací tyč – broušený monolit (UltraMini – Speciál WNT)	-	B02
LU3000	B2-40x25x44	FX 3.1N0.15-ALP CWK 26	0,15	A12

Tab. 5.17 Nástroje pro výrobní operaci OP20

Označení nástroje	Typ držáku	Typ destičky	R	Poloha
LU4011	SDC28030R, E2-40x32	CPMH 09T308 T240	-	B04
LU3095	V21-CMR1304 R030017, E2 40X25	LCMF 130404-0400-FT, CP500	0,4	A04
LU1001	PCLNR 2525M 12	CNMG 120404EN-42 CWT20	0,4	A01
LU4020	TE300S, E3 40X40	Navrtávák HSS BS Ø 1,6 mm	-	B06
LU2055	A12M SDQCRR07-R, E2-40x12	DCGT 070202-PM2 WXN10	0,2	B02
LU1012	SVHCR 2525 M16	VCGT 160404FN-25P CWK20	0,4	B05

5.1.4 Tvorba CNC programu

Výrobní stroj OKUMA LU-15 M je vybaven systémem OSP-7000L. CNC programy pro obě obráběcí operace zadané součásti byly převzaty z technické dokumentace ze společnosti Edwards Limited z Anglie. Tyto programy byly následně přepracovány podle změn nástrojů a úprav ve sledu operací dle nového výrobního postupu. Jelikož společnost Edwards, s.r.o. nedisponuje CAM systémy pro stroje OKUMA, tak bylo nutné provést změny v CNC programu ručně pomocí poznámkového bloku. Další úpravy CNC programu byly provedeny až přímo na výrobním stroji, kde bylo možné provést simulaci hotového programu s nastavením korekcí nástrojů a přidání ofsetů pro jednotlivé nástroje.

5.1.5 Použití procesní kapaliny

Ve společnosti Edwards, s.r.o. se přivádí procesní kapalina do stroje za pomoci centrálního rozvodu, který zásobuje téměř veškeré stroje v hale obrobny hliníku. Procesní kapalina je použita od firmy FUCHS s označením ECOCOOL AF 4420 V. Jedná se o polosyntetickou kapalinu patřící do kategorie řezných emulzí, která se využívá zejména v oblasti automobilového průmyslu a strojírenství. [35]

Tato vodou mísitelná, chladicí a mazací látka na bázi ropného oleje je aplikována především na obrábění hliníkových slitin a nerezových ocelí. Výrobce zaručuje při používání této kapaliny nejen vyšší dosahovanou přesnost a jakost povrchu obráběných součástí, ale i delší životnost nástrojů. Procesní kapalina se používá v koncentraci 5 - 8 %. Kontrolu koncentrace kapaliny může provést operátor výrobního stroje pomocí tzv. optického refraktometru na olejové emulze (viz Obr. 5.4). Užití této kapaliny by mělo snížit celkové náklady na výrobu a hlavně zaručit optimální výrobní proces s dodržením veškerých rozměrů a tolerancí. [35]



Obr. 5.4 Optický refraktometr na olejové emulze [36]

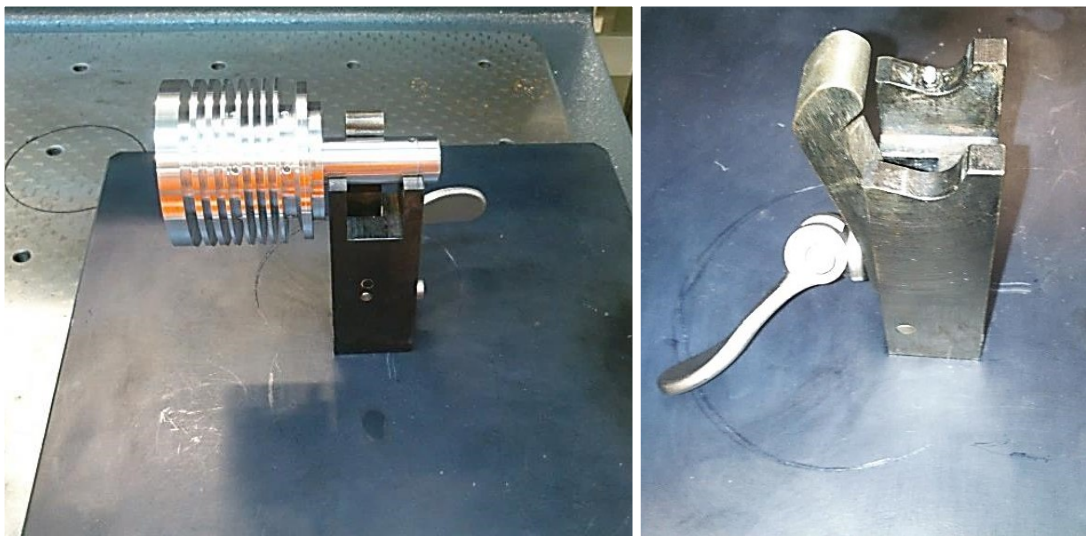
5.2 Kontrolní operace – měření (CMM)

Kontrolní operaci zajišťuje CMM zařízení DuraMax. Tento typ zařízení je používán především pro svou univerzálnost, rychlost, dosahovanou přesnost 0,001 mm a opakovatelnost měření (viz kap. 4.3). Měřicí stroj DuraMax je používán pro celý výrobní úsek obrobny hliníku a je umístěn přímo v prostorách obráběcích strojů. V následujících kapitolách jsou uvedeny náležitosti kontrolního procesu měření dané součásti pro obě operace.

5.2.1 Upnutí měřené součásti

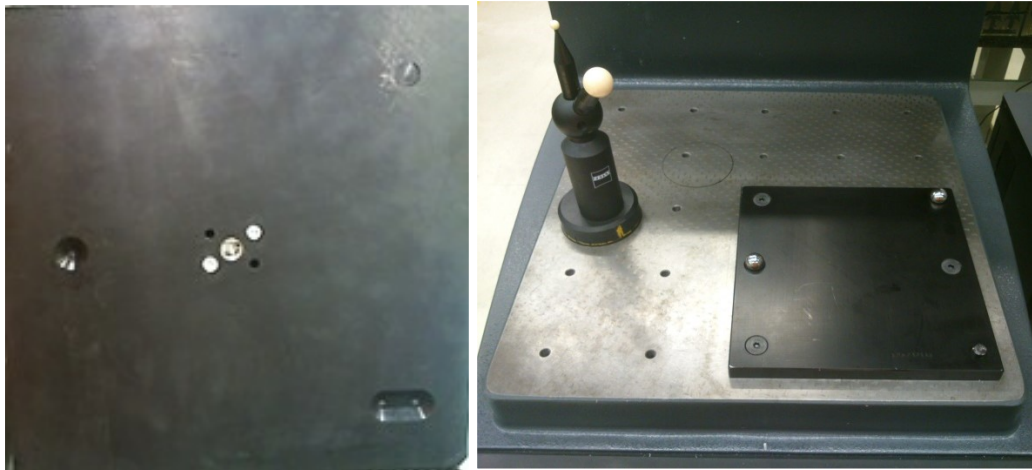
Upnutí měřené součásti je realizováno za pomoci přípravku, který je připevněn na standardizované desce, která se pokládá na pracovní stůl DuraMaxu. Tento přípravek je vyroben přes externího výrobce, který vyrobil přípravek pro typového představitele součásti vyšší řady. Dle výkresů součásti a upínacího přípravku bylo změřeno a porovnáno, že lze použít přípravek i pro zadanou součást, díky stejnému průměru osy součásti, za který je součást upnuta. Musel být však předložen požadavek na oddělení konstrukce, aby byl sjednocen rozměr díry s porovnávanou součástí, za který se součást zapoložuje. Tím byly splněny požadavky na použití tohoto přípravku.

Princip upnutí pomocí přípravku je tvořen dosedacími plochami, do kterých se měřená součást položí a následně upne pomocí páky. Stejnou polohu upnutí pak zajišťuje čep, který je umístěn na jedné z dosedacích ploch (viz Obr. 5.5). Zapoložování součásti je realizováno přes zmíněný čep a vyvrtaný otvor kolmý na osu součásti.



Obr. 5.5 Přípravek pro upnutí na stroji DuraMax s detailem na upínací mechanismus

Deska přípravku zajišťuje usazení na stroj DuraMax pomocí tří elementů zaručující vždy správné a přesné zapolohování. Na obrázku 5.6 jsou tyto elementy znázorněny i s pohledem na pracovní stůl měřicího stroje. Tento typ desky standardizovaný pro všechny závody Edwards je součástí každého upínacího přípravku určeného na tento stroj.



Obr. 5.6 Způsob usazení přípravku (vlevo – spodní strana desky, vpravo – pracovní stůl stroje)

Přípravek je použit pro upnutí obou operací, kdy se součást upíná stejným způsobem a je pouze spuštěn měřicí program dle aktuálního stavu výrobku (po OP10 nebo OP20). Náležitosti pro měření (oba programy, měřicí nástroje atd.) byly pak zkontrolovány a zprostředkovány přes oddělení kontroly.

5.2.2 Nástroje pro měření

Jelikož je měřicí stroj DuraMax používán pro daný výrobní úsek obrobny hliníku, tak je vybaven sadou měřicích snímačů, které pokryjí veškeré měření vyráběných součástí. Takto je zaručena univerzálnost měřicího procesu bez časových prodlev, které by vznikaly při vyměňování měřicích snímačů v zásobníku zařízení. Použité měřicí nástroje byly určeny programátorem měřicího programu tak, aby bylo možné změřit veškeré požadované rozměry součástí. Osazené snímače jsou převážně značky Zeiss v různých typových provedeních dle požadované metody měření.

Měřicí nástroj je složen ze snímací hlavy a snímače umístěného v zásobníku stroje. Ze zásobníku si pak snímací hlava automaticky přebírá potřebný snímač dle vytvořeného programu nebo pomocí manuálního ovládání. Na stroji DuraMax se používá typ snímací hlavy VAST XXT TL3 (viz Obr. 5.7). Tento typ je vhodný pro snímání jednotlivých bodů i pro skenování. Snímací hlava umožňuje vychýlení snímače ± 3 mm z důvodu

ochrany proti kolizi. Součástí snímací hlavy je upínací talíř opatřen magnetem, čipem pro identifikaci talíře snímače a vnější kuličky pro kontrolu správného umístění v upínači. [24]



Obr. 5.7 Snímací hlava VAST XXL T 3 se snímačem a zásobníkem dalších typů snímačů

5.2.3 Kalibrace nástrojů pro měření

Kalibrace je důležitou částí postupu před samotným měřením na CMM zařízení. Pro kalibraci se využívá programu, který provede kalibraci všech potřebných nástrojů osazených v zařízení. Dále je pro kalibraci zapotřebí etalon v podobě kalibrační koule a měřicí snímače. Kalibrační koule je vyrobena z keramiky o průměru 25 mm. Kompletní kalibr (viz Obr. 5.8) je připevněn na pracovní stůl DuraMaxu pomocí šroubu – závit M10.



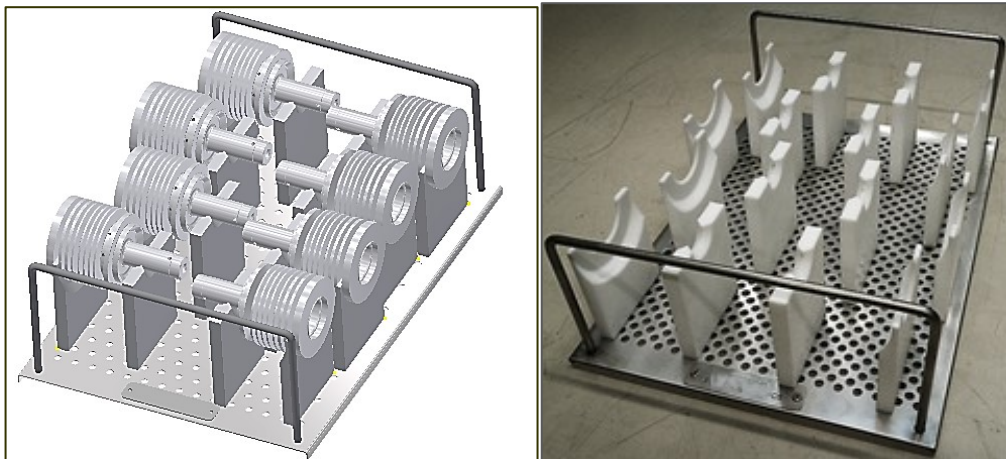
Obr. 5.8 CMM kalibr (1 – kalibrační koule, 2 – nástavec, 3 – držák) [24]

Kalibrace těchto snímačů je zapotřebí provádět denně na začátku každé směny, aby byla zaručena přesnost všech používaných měřidel. Tu provede operátor pouze spuštěním kalibračního programu. Dalším důvodem kalibrace může být změna teploty okolí, nečekaná kolize měřicího nástroje, přidání nebo výměna nové snímací hlavy.

5.3 Mezioperační skladování

Pro mezioperační skladování byl zvolen tzv. přepravní mycí přípravek, který zároveň plní funkci mezioperačního skladování a přepravy. Tento přípravek je použit od samotného začátku výroby, kdy hned po první výrobní operaci OP10 je využit pro uskladnění obrobků čekajících na další operace viz sled operací kapitola 4.1.

Při navrhování skladby přepravního mycího přípravku byla využita základní kostra, ve které se navrhlo vhodné rozpořádání podpěr pro obrobky. Byly porovnány výkresy součástí s výkresem přípravku a přes program Inventor Professional byla vytvořena sestava 3D modelu. Následně bylo navrženo rozložení jednotlivých podpěr pro maximální počet kusů obrobků. Podpěry z PTFE materiálu jsou připevněny ke kostře šrouby se závitem M6. Přípravek má kapacitu 8 vyrobených kusů a po naplnění se vkládá do euro bedny (viz Obr. 5.10). Každý přípravek má přinýtovaný štítek s označením udávající typ uskladněné součásti, viz obrázek 5.9. Sestavný výkres přípravku je obsažen v příloze H.



Obr. 5.9 Přepravní mycí přípravek pro 8 kusů (vlevo – model, vpravo – fotografie přípravku)



Obr. 5.10 Euro bedna se zkompletovaným přípravkem

6 Ověření návrhu výrobního procesu a jeho zavedení

Společnost Edwards, s.r.o. specifikovala požadavek, ve kterém je kromě návrhu výrobního procesu, také jeho následné ověření a následné zavedení. Pro realizaci ověření výrobního procesu bylo zapotřebí nachystat veškeré podklady a zajistit dodání všeho potřebného pro danou výrobu (materiál, nástroje, upínací přípravky atd.). Dále bylo nutné zajistit uvolnění kapacity stroje pro dané otestování a vyladění výrobního procesu. Kapitoly jsou rozděleny podle typu operací výrobního procesu – obrábění, měření a skladování součástí. Vzniklé problémy při výrobním procesu součástí, jejich návrhy řešení a následná realizace jsou popsány v následujících kapitolách.

6.1 Ověření procesu obrábění

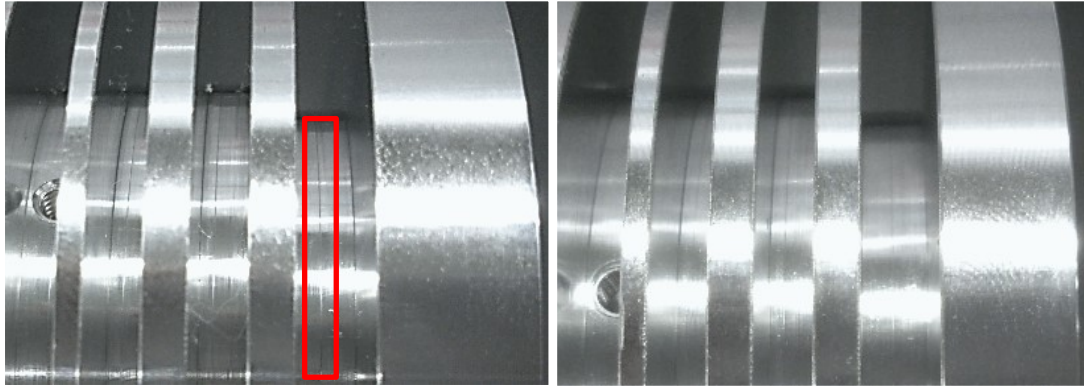
Ověření procesu obrábění bylo prováděno za spolupráce s operátorem stroje. V průběhu testování výroby byly upraveny CNC programy a řešeny problémy vzniklé při obrábění součásti u obou operací (OP10 a OP20).

V prvních krocích se nejprve v simulaci stroje vyzkoušel CNC program a byly odstraněny hlášené kolize a chyby v programu. Při obrábění prvních kusů se zjišťovaly nedostatky vzniklé při obrábění popřípadě úpravy řezných podmínek. Obrobené kusy následně putovaly na CMM měření, kde podle výsledného protokolu naměřených hodnot byly upravovány korekce nástrojů. Některé nástroje obsahují i několik korekcí z důvodu velmi přesných rozměrů (tolerance až 0,007 mm). Řezné nástroje pro danou výrobu byly shledány jako vyhovující a v principu se tedy jednalo o vyladění jejich řezných parametrů, nebo o výměnu vhodnějšího pořadí jednotlivých operací. Byly také zjištěny strojní časy pro jednotlivé operace, které činily pro OP10 14 min a pro OP20 8 min 30 s. V následujících dvou kapitolách je popsán průběh obrábění pro každou operaci zvlášť.

6.1.1 Průběh první operace OP10

Obrábění součásti při první operaci probíhá při upnutí v tvrdých čelistech za vysokého upínacího tlaku. Jeden z prvních nedostatků obrobených kusů bylo při zapichování jednotlivých lamel pomocí sdruženého pohybu obou revolverových hlav. Při této operaci obrábí každý zapichovací nůž jednu ze strany zápichu, kde se vyskytl problém výrazného přechodu na povrchu zápichu (viz Obr. 6.1). Byly proto vhodně

změněny korekce zapichovacích nožů a přidána prodleva (v délce 1 s) na konci zápichu, a tím se zmínil tento přechod na obrobeném povrchu.



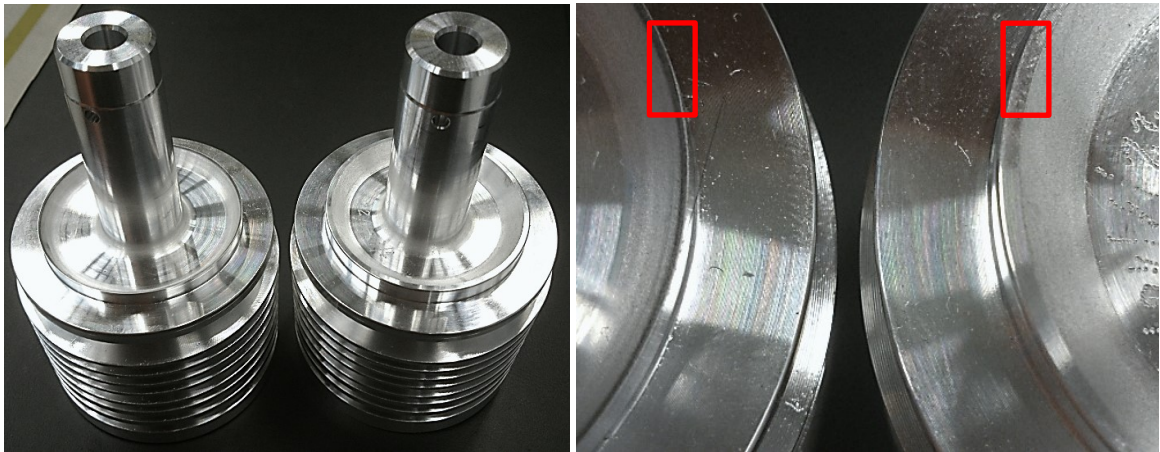
Obr. 6.1 Detail nevhodného přechodu na obrobeném povrchu způsobené oboustranným zapichováním (vpravo součást po opravě CNC programu)

Další změnou byl přesun dvou obráběcích operací v CNC programu. Poslední obráběcí operací bylo vrtání díry kolmé k ose obrobku, kde vznikl po vyvrtání otřep na vnitřní straně součásti. Proto byla operace zařazena před dokončováním vnitřního průměru součásti, který vytvořený otřep odstranil.



Obr. 6.2 Detail vzniklého otřepu po vyvrtání díry (vpravo součást po úpravě pořadí operací v CNC programu)

Nastavování korekcí bylo důležité zejména u zapichovacích nožů, kde bylo nutné určit správnou polohu špičky nástroje. V CNC programu byla korekce špatně nastavena u nástroje pro čelní zapichování. Nástroj má dvě korekce, kdy pro dokončování části malého \varnothing osy součásti je korekce nastavena pro pravou stranu břitu, a pro dokončování vnitřního lemu součásti pro levou stranu břitu. Kvůli chybné korekci pak byla výsledná dosedací plocha pro upnutí obrobku zcela odebrána a nebyl dodržen rozměr součásti.



Obr. 6.3 Detail špatně obrobené dosedací plochy způsobené špatnou korekcí nástroje (pravá součást po opravě korekce)

6.1.2 Průběh druhé operace OP20

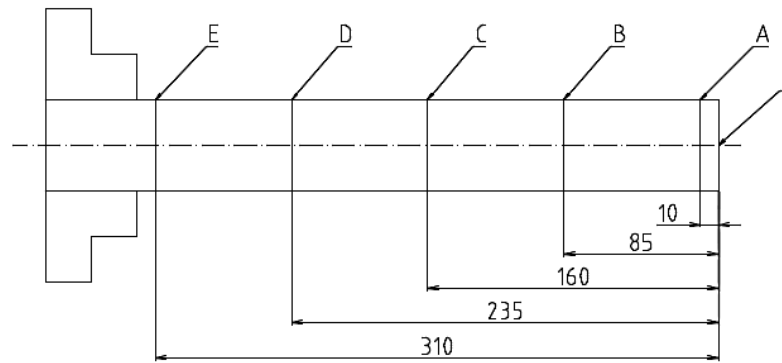
Obrábění v druhé operaci probíhalo bez výraznějších problémů, kde bylo provedeno pouze pár korekcí nástrojů a změn řezných parametrů u některých nástrojů. Jediný problém vznikl na samém počátku druhé operace, kde první vyrobené kusy nesplňovaly požadované geometrické tolerance soustřednosti některých průměrů.

Příčina byla odhalena v chybné instalaci a vyrovnání upínací sestavy – speciálních čelistí a kleštiny. Náprava proběhla v podobě rozebrání této sestavy, a za pomoci číselníkového úchylkoměru byla opětovně sestavena celá upínací sestava. Pro zamezení opakování této chyby byly do standardního operačního postupu (SOP) připsány úkony popisující správný způsob instalace upínací sestavy na sklíčidlo stroje, viz příloha E.

6.1.3 Testování přesnosti stroje při podélném soustružení

Důvodem většího počtu korekcí na nástrojích je snaha o dodržení požadovaných tolerancí, kdy je pro každou toleranci určena samostatná korekce nástroje. Příčinou bylo podezření na nedostatečnou přesnost stroje při obrábění.

Byl proveden test, kdy se do sklíčidla upnula kruhová tyč bez podepření koníkem. Polotovár byl z materiálu EN AW 7075 o rozměrech KR 50 – 400 mm. Následně byl polotovár obroben podélným soustružením nožem LU1012 (dle tabulky nástrojů kap. 5.1.3) na průměr 49 mm. Obrábění bylo provedeno pomocí dolní nástrojové hlavy (B), u které bylo podezření z nedodržování daných tolerancí. Po obrobení se provedlo měření na CMM zařízení Zeiss Prismo v určitých délkách a byly porovnány naměřené průměry.



Obr. 6.4 Schéma měření obrobeného polotovaru

Tab. 6.1 Naměřené hodnoty obrobené tyče

Měřený průměr	Délka od čela obrobku [mm]	Naměřená hodnota [mm]
A	10	49.0468
B	85	49.0305
C	160	49.0180
D	235	49.0081
E	310	48.9989

Měřením bylo zjištěno, že stroj není schopen, při podélném obrábění v ose Z, zachovat požadovaný rozměr v ose X. U obrobeného průměru tak vzniká kužel v poměru $A - E = 0,048$ mm na délce 300 mm (viz tabulka naměřených hodnot). Problém by měl být vyřešen kompenzací přímo v systému CNC stroje, která však vyžaduje hlubší znalost výrobních strojů. Tento problém byl předložen k řešení, kde by se měla sjednat náprava přes oddělení údržby nebo servisu výrobce stroje, a zvolit patřičná opatření.

6.2 Ověření procesu měření

Při ověřování měřicího procesu bylo nejprve odzkoušeno upnutí součásti v přípravku a následně měřicí program. Součást v upínacím přípravku vykazovala pevné upnutí bez vůlí. První měření na stroji DuraMax proběhlo za přítomnosti programátora měřicího programu, který vyzkoušel měřicí program kvůli možným kolizím snímače s měřenou součástí. Byly provedeny nepatrné změny v programu, které docílily kratšího času měření.

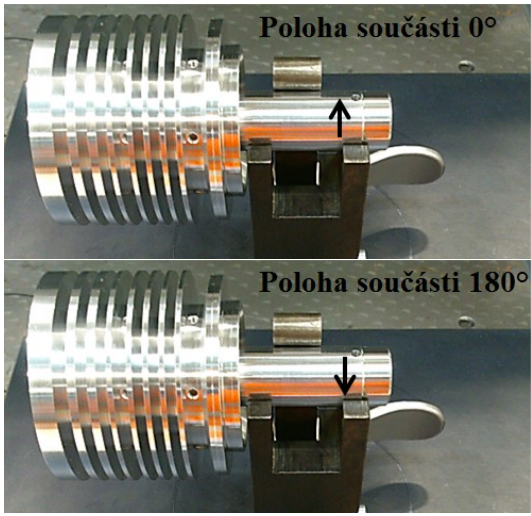
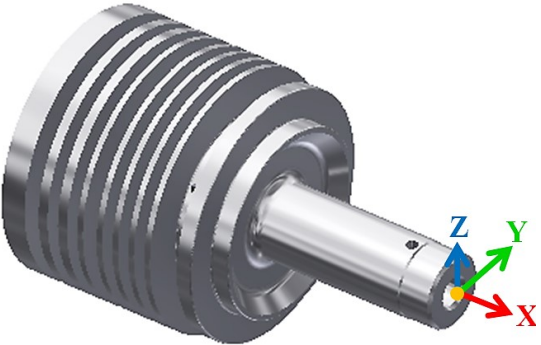
Na následujících měření bylo zjištěno kolísání geometrických tolerancí, kvůli kterým vzniklo podezření na nevhodnost upínacího přípravku. Zaměřeno bylo na způsob upnutí součásti, kdy páčka pro upnutí mohla vykazovat pokaždé jiné upínací síly. Přípravek neměl zajištěnou konstantní upínací sílu a při silném zatažení páky mohly vzniknout až dočasné deformace součásti. Byl proto proveden test pro prokázání tohoto tvrzení.

6.2.1 Test upínacího přípravku

Nejprve se součást vyzkoušela upnout pomocí odlišných utažení páky a pomocí číselníkového úchylkoměru byl prokázán průhyb součásti při silném utažení.

Dalším postupem bylo vytvoření tabulky 6.2 spočívající v šesti měřeních vytypovaného průměru díry v ose součásti (\varnothing AM mm dle výkresu). Měření se provedlo na stejné součásti ve dvou polohách 0° a 180° . Obě polohy byly změřeny ve třech intenzitách utažení (slabě, středně a silně). Tyto naměřené hodnoty se pak zaznamenaly do tabulky a bylo provedeno vyhodnocení.

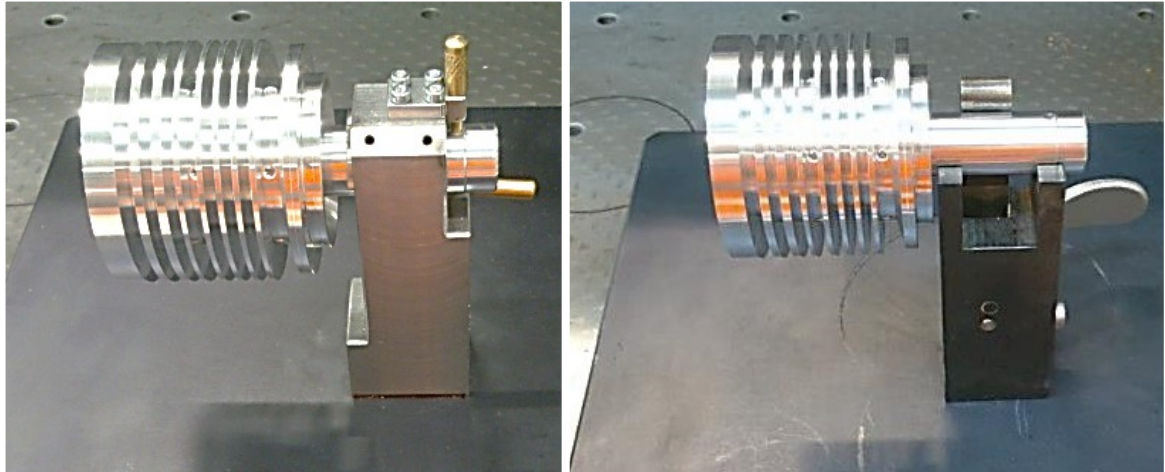
Tab. 6.2 Naměřené hodnoty vytypovaného průměru součásti

Utažení páky	Poloha součásti [°]	Měřený průměr AM \pm 0,007 [mm]	Soustřednost průměru AM [mm]	Souřadnice Y [mm]	Souřadnice Z [mm]
Slabě	0	AM,4951	0,0039	-0,001	0,0017
	180	AM,495	0,008	0,0032	0,0024
Středně	0	AM,4951	0,004	0	0,002
	180	AM,4949	0,0105	0,0043	0,003
Silně	0	AM,495	0,008	0,0018	0,0036
	180	AM,4949	0,0133	0,0054	0,0039
Pozice při měření součásti			Osy součásti při měření		
					

Naměřené hodnoty Y a Z prokazují vzniklou deformaci při silném upnutí. Souřadnice měřené v ose Z znázorňují průhyb součásti ve stejném směru bez ohledu na polohu součásti (0° a 180°). Souřadnice Y pak demonstruje vzniklou deformaci. Dané tolerance sice nebyly kvůli deformaci překročeny, ale při měření dalších součástí, které by neležely ve středu tolerančního pole, by vznikala rizika vyhodnocení součásti jako nevyhovující. Experiment dokazuje, že upínací přípravek není vhodný pro měření dané součásti a byl podán návrh na změnu tohoto přípravku.

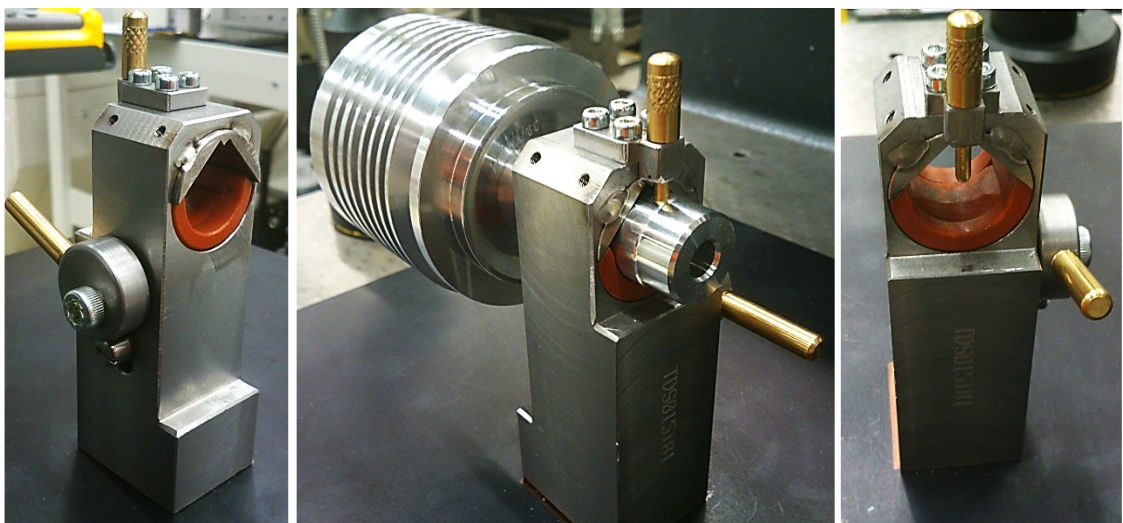
6.2.2 Změna upínacího přípravku

Po identifikaci problému a příčiny upnutí součásti na měřícím stroji byla sjednána schůzka s výrobcem přípravku. Na schůzce byly definovány požadavky na nový způsob upnutí a spolu s programátorem CMM byl vytvořen předběžný návrh. Po schválení konečné varianty byl přípravek vyroben a dodán do společnosti Edwards, s.r.o. Na obrázku níže je uveden náhled na nový a starý způsob upnutí měřené součásti.



Obr. 6.5 Způsob upnutí součásti na CMM zařízení (vlevo – nový přípravek, vpravo – předešlý)

Nový upínací přípravek již nedeformuje měřenou součást díky vhodnějšímu způsobu upnutí. Upnutí je provedeno pomocí gumové výstelky, ve které je na měřenou součást přitlačován element pomocí pružiny. Pružinou je zajištěna vždy stejná síla upnutí. Zajištění polohy součásti je opět provedeno přes čep, který se zasouvá do vyvrtané díry kolmou na osu součásti. Následné uvolnění součásti je realizováno přes páku stlačující pružinu.



Obr. 6.6 Detail nového přípravku pro CMM s čepem pro zapолоhování součásti

6.2.3 Validace upínacího přípravku

Pro zavedení nového upínacího přípravku na CMM je nutné provést validaci, která je zapotřebí při každé změně v měřicím procesu. Z časových důvodů je v této kapitole rozebrán pouze návrh ověření měřicího procesu včetně principu a postupu metody.

Validace přípravku bude dle návrhu konzultanta diplomové práce, použita analýza měřicího procesu GRR (Gauge Repeatability & Reproducibility). Tato metoda vyhodnocuje variabilitu systému měření – opakovatelnost a reprodukovatelnost. [37]

Pro realizaci této studie je zapotřebí zajistit náhodný výběr optimálně 10 dílů. Následně se stanoví počet opakování měření každé součásti, v tomto případě 3 krát. Dále se určí počet operátorů, kteří budou tyto měření provádět. Pro dané měření budou vybráni dva operátoři. Zkrácený měřicí program bude trvat přibližně 6 minut a bude obsahovat pouze několik vytypovaných rozměrů součásti. Každý operátor před začátkem celého měření provede kalibraci měřicích nástrojů, a změří třikrát všech 10 součástí. Získaná data se následně vyhodnotí a určí se, zda je tento přípravek pro měřicí proces vhodný. [37]

6.3 Ověření mezioperačního skladování

Po výrobě prvních vyhovujících kusů se vyzkoušel naplnit navržený přepravní mycí přípravek. Jednalo se o standardizovanou kostru přípravku, kde byly rozmístěny pouze jednotlivé podpěry. Usazení součásti na podpěrách bylo vyhovující. Díky malým vůlím mezi podpěrou a daným kusem, zůstávaly součásti ve stabilní poloze na požadovaném místě. Přípravek byl poté uložen do standardizované euro bedny (viz přiložená fotografie níže) a uskladněn pro nadcházející operace.





Obr. 6.7 Naplněný přepravní mycí přípravek vložený do euro bedny

6.4 Zpracování standardního operačního postupu

Po vyladění výrobního procesu a ověření jeho způsobilosti byly vytvořeny standardní operační postupy, dále jen SOP. Tento dokument je určený pro obsluhu vyrábějící zadanou součást, kde jsou popsány jednotlivé úkony a pomůcky potřebné k vyrobení dané součásti. V dokumentu SOP je umístěn nástrojový list obsahující způsob upnutí na stroji, popis nástrojů a jejich korekce, strojní čas aj. Dále SOP obsahuje popisy úkonů prováděných během dané operace spolu s fotografiemi, symboly a vypsány potřebnými pomůckami. Tento dokument slouží jako návod pro zaměstnance tak, aby byl zaručen správný postup při výrobě bez zbytečných pochybení ve výrobním procesu.

Pro vytvoření SOP bylo zapotřebí nejprve nastudovat náležitosti těchto dokumentů, seznámit se s formou jejich zpracování a obsahovou stránkou uváděných informací. Následně bylo vypracováno SOP pro obě operace (OP10 a OP20) v českém i anglickém jazyce podle zmiňovaných náležitostí společnosti Edwards, s.r.o. V přílohách D a E je vypracováno SOP, na přání firmy, pouze v českém jazyce s pozměněným naformátováním dokumentu.

Operace: OP120	
Inventář (pomůcky):	Instrukce:
- ruční gravírka DREMEL	Na čelo součásti – dle obrázku vygravíruj:
- obrobený díl	den, měsíc, rok, kus v pořadí tohoto dne.
	Př. 11/09/15/01
	
	

Obr. 6.8 Ukázka popisu z SOP dokumentu

7 Technicko-ekonomické zhodnocení

Technicko-ekonomické zhodnocení slouží jako závěrečný výstup navrženého výrobního procesu dané součásti. Obsahuje dílčí výpočty a informace o jednotlivých nákladových položkách pro určení celkových výrobních nákladů vztažených na jeden vyrobený kus. Dále jsou tyto náklady porovnány s dosavadní cenou, za kterou společnost Edwards, s.r.o. tuto součást nakupovala. Výsledkem je vzniklá úspora, která je vypočtena jako rozdíl ceny nakupovaného a vyráběného kusu. V příloze C jsou uvedeny vstupní data (časy, sazby a náklady) pro technicko-ekonomické zhodnocení. Tyto vstupní data byla vynásobena koeficientem z důvodu utajení skutečných sazeb společnosti.

Výroba zadané součásti je zavedena, avšak způsobilost výrobního procesu spolu s dalšími nezbytnými kroky k úplnému odladění výrobního procesu není zcela dokončena. Proto byla zvolena teoretická zmetkovitost pro vyráběné součásti na hodnotu 10 %, která je určena na základě zmetkovitosti podobně nevyladěného výrobního procesu jiné součásti.

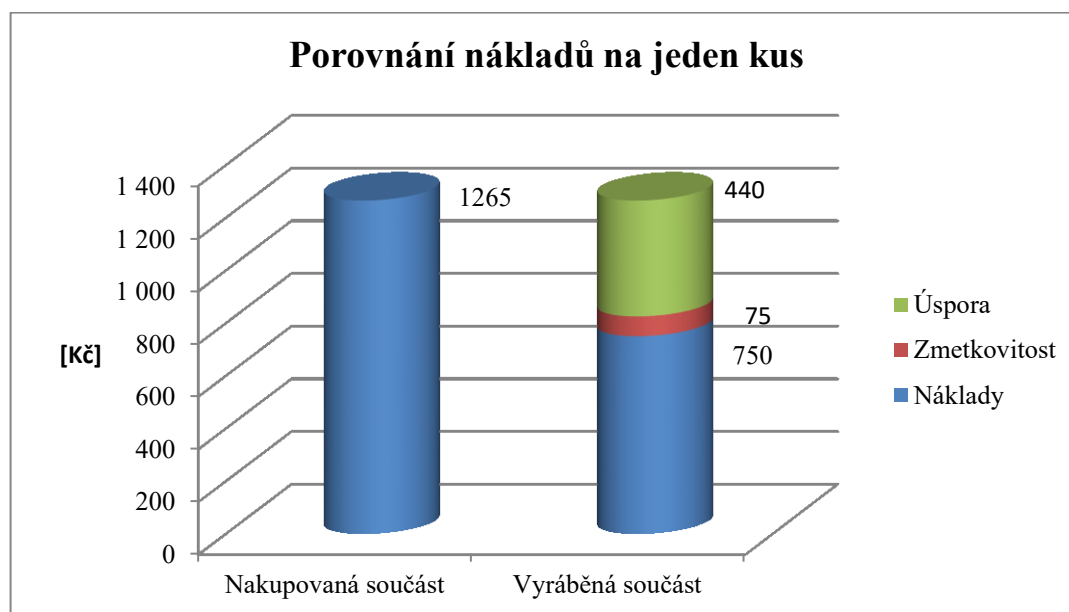
Tab. 7.1 Náklady na výrobu jednoho obráběného kusu

Položky	Soustružení a měření [Kč]		Celkem [Kč]
	OP10	OP20	
Cena polotovaru			345
Mzdové náklady			
- obsluha stroje	36	36	72
- příprava stroje (stroj nevyrábí)	12	12	24
Náklady na výrobní stroj			
- výrobní činnost	68	42	110
- nevýrobní prodleva	10	10	20
Poměrná část režijních nákladů	108	71	179
Výrobní náklady			750
10% zmetkovitost			75
Celkové výrobní náklady			825

Ceny jednotlivých položek v tabulce byly spočteny na základě přílohy C dle vzorců poskytnutých společností Edwards, s.r.o. Ty byly následně převedeny na obecný výpočet, kde byly jednotlivé položky spočteny a zaokrouhleny na celá čísla. Například strojní čas pro operaci OP10:

$$\text{Náklady na výrobní činnost stroje} = \text{strojný čas [h]} \cdot \text{sazba stroje [Kč/h]} \quad (7.1)$$

$$\text{Náklady na výrobní činnost stroje} = \frac{14 \text{ min}}{60} \cdot 293 = 68 \text{ Kč}$$



Obr. 7.1 Graf porovnání nákladů na nakupovaný a vyráběný kus

Z grafu je patrné, že výroba zadané součásti je o 35 % levnější než při nákupu součásti od externí společnosti. Pořizovací cena řezných nástrojů, přípravků atd., je společností Edwards, s.r.o. již započítávána do sazeb výrobního stroje. Náklady na jednu vyrobenou součást jsou o 440 Kč levnější, což znamená, že rozhodnutí firmy zavést výrobu do vlastního závodu bylo správné a ekonomicky výhodné.

Následně byla vyjádřena roční úspora za vyráběné kusy zadané součásti jako rozdíl ceny nakupovaných součástí oproti nákladům na vlastní vyráběné kusy. Polotovary turbíny jsou vyráběny v počtu 45 kusů týdně, což znamená 2 340 kusů ročně. Ve výpočtech níže je uvedena roční úspora vzniklá za předpokladu stejného množství vyráběných kusů v následujícím roce.

Počet vyráběných kusů za 1 rok..... 2 340 ks

Časové období 1 rok

Cena nakupovaného kusu 1 265 Kč

Náklady na výrobu kusu..... 825 Kč

Celkové roční náklady na nakupované kusy = $2\,340 \cdot 1 \cdot 1\,265 = 2\,960\,100$ Kč

Celkové roční náklady na vyráběné kusy = $2\,340 \cdot 1 \cdot 825 = 1\,930\,500$ Kč

Celková roční úspora = $2\,960\,100 - 1\,930\,500 = 1\,029\,600$ Kč

Vypočtená roční úspora činí 1 029 600 Kč. Tato úspora může být ovlivněna změnami tržních cen, které jsou proměnlivé, a nelze jejich vývoj do budoucna odhadnout.

8 Závěrečná doporučení

Pro obrábění zadané součásti se použil polotovár dostupný ve společnosti, který byl ze stejného materiálu a přibližoval se nejbližší hodnotám rozměrů vypočteným v kapitole 4.4.1. Pro úsporu materiálu by bylo vhodnější využít rozměr polotovaru KR 70 – 135 mm na místo použitého KR 76 – 135 mm. Na druhou stranu společnost využívá metodiky Poka Yoke, díky které se snaží docílit snížení rizika záměny polotovarů při daných výroбах. Při použití dalšího rozměru polotovaru by tak mohlo vzniknout riziko záměny. Dalším faktorem je cena polotovaru, která by byla zřejmě vyšší, protože by jeho nákup nebyl v tak velkém množství, jako je tomu u polotovaru KR 76 – 135 mm.

Do budoucna by měla společnost uvažovat o výměně výrobního stroje. Důvodem je ta skutečnost, že CNC soustruh OKUMA LU-15 M s rokem výroby 1996 nemusí být časem na takto přesnou výrobu způsobilý. Prokázání těchto důvodů bylo za pomoci provedení testu. Ten dokazuje, že stroj při podélném soustružení není schopen udržet daný obráběný průměr. Tímto je zpochybněna vhodnost výrobního stroje pro výrobu přesných součástí, viz kapitola 6.1.3. Dále by se v průběhu nadcházejících let měla provést racionalizace řezných nástrojů, protože s rychlostí vývoje nových typů VBD a jejich povlaků by mohly být časem využity vhodnější nástroje.

Kontrolní proces na CMM zařízení byl, po zdárném zavedení nového přípravku pro upnutí, bez dalších výrazných problémů. Bylo by pouze vhodné doporučit zkrácení měřicího programu, který trvá pro operaci OP10 11 min 30 s a pro operaci OP20 6 min. Pro úpravu je však nutná konzultace s programátorem CMM zařízení a konstruktérem, který určuje kontrolované rozměry součásti. Zkrácení času by prospělo ke snížení vytiženosti CMM zařízení a prodlevám při měření jednotlivých součástí.

Z technicko-ekonomického hlediska bude předpokládané zvýšení úspory zavedené výroby až po detailnějším vyladění výrobního procesu. Tím se sníží desetiprocentní zmetkovitost výrobního procesu a vznikne tak vyšší úspora na výrobu dané součásti. Do tohoto předpokladu se však musí zohlednit i proměnlivé ceny spojené s náklady na výrobu jako jsou VBD, procesní kapalina a další náklady, které se mohou v průběhu let měnit.

Závěr

Předkládaná diplomová práce se zabývala zavedením výrobního procesu pro výrobu polotovaru turbíny užívané do turbomolekulárních vývěv v podmínkách společnosti Edwards, s.r.o. Výrobní proces je složen z obráběcích a kontrolních operací spolu s mezioperačním skladováním. Všechny tyto procesy byly podmětem řešení a následného vypracování.

V úvodní části práce byl proveden teoretický rozbor neželezných materiálů se zaměřením na hliníkové slitiny. Ty byly popsány z hlediska jejich využití, vlastností a především problematiky obrábění. V teoretické části byla obrobitelnost hliníkových slitin důkladně analyzována se zaměřením na podmínky při obrábění, volbu řezných nástrojů, jejich geometrii a stanovení řezných parametrů. Teorie obráběcích procesů byla soustředěna na zapichování, které je dominantním prvkem při obrábění zadané součásti.

V praktické části je nejprve zmíněn rozbor technologie výroby a návrh výrobního procesu. V rozboru technologie výroby byl znázorněn sled operací výrobního procesu, analyzována obráběná součást, a definován obráběcí a měřicí stroj. Návrh výrobního procesu obsahoval potřebné údaje a specifikace k jednotlivým fázím výroby. U návrhu obráběcího procesu se jednalo o určení způsobu upnutí, volbě řezných nástrojů spolu s určením řezných podmínek a tvorby CNC programu. Pro kontrolu vyrobených součástí měření na CMM zařízení byly zjištěny potřebné informace, mezi které patřilo určení upínacího přípravku, měřicí program aj. Pro mezioperační přepravu byl použit přepravní mycí přípravek, u kterého se definovalo vhodné rozložení podpěr pro zadané součásti.

Dále byl ověřen navržený výrobní proces, kde se v průběhu výroby součásti identifikovaly vzniklé problémy, u kterých bylo následně navrženo jejich řešení. Snahou bylo docílit bezproblémový chod výrobního procesu umožňujícího vyrábět zadanou součást, která bude splňovat požadované podmínky. Návrhy a řešení vzniklých problémů byly podloženy získanými údaji, které posloužily k následnému zpracování a vyhodnocení. Mezi hlavní změny výrobního procesu patřila úprava CNC programu (změna řezných parametrů, záměna pořadí operací aj.), oprava korekcí používaných nástrojů a výměna upínacího přípravku pro CMM zařízení pro zajištění bezchybného vyhodnocování vyrobených součástí.

V závěru diplomové práce bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení obsahující celkové výrobní náklady na polotovar turbíny dle sazeb společnosti Edwards, s.r.o. Nově navržený výrobní proces se následně cenově porovnal s nákupní cenou součásti a byla vyjádřena roční úspora. Diplomová práce byla na konci doplněna souhrnným doporučením pro daný výrobní proces. Doporučení obsahuje úvahy a další návrhy pro zlepšení výrobního procesu s přihlédnutím do delšího časového období. Jelikož se jednalo o zavedení výroby, které bude dále podrobena analýzám způsobilosti procesu aj., lze předpokládat, že se tyto doporučení zohlední při dalším vylepšování této výroby.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Tomášovi Zlámalovi, Ph.D. z Katedry obrábění, montáže a strojírenské metrologie VŠB – TUO za poskytování cenných rad v průběhu vypracovávání diplomové práce. Velké poděkování patří také Ing. Martinu Lačňákovi ze společnosti Edwards, s.r.o. za odborné konzultace, aktivní přístup a vedení, díky kterým byla tato práce zdárně dokončena.

Práce byla podpořena ze Studentské grantové soutěže Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava v rámci projektu SP2016/172 Vliv technologických parametrů na obrobený povrch a SP2016/174 Studium procesu obrábění progresivních materiálů s cílem zvýšit a podpořit vědecko-výzkumné aktivity studentů doktorských a magisterských studijních programů ve spolupráci s akademickými pracovníky.

Seznam použité literatury

- [1] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2002. ISBN 80-7204-248-3.
- [2] MICHNA, Štefan. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin, 2005. ISBN 80-89041-88-4.
- [3] BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; NOVÁKOVÁ, Jana at al. *Technologie II. 2. díl*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. 150 s. ISBN 978-80-248-1822-1. Dostupné z:
<http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf>
- [4] BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; SADÍLEK, Marek; PETŘKOVSKÁ, Lenka a NOVÁKOVÁ, Jana. *Nové směry v progresivním obrábění* [online]. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-TUO, 2007. 256 s. [cit. 2016-02-26]. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [5] HUMÁR, Anton. *Technologie I - Technologie obrábění - 1. část*. Studijní opory. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2003. [online]. Dostupné na World Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf>
- [6] FOREJT, Milan; PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [7] *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. 1. čes. vyd. Přeložil Miroslav KUDELA. Praha: Scientia, 1997.
- [8] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2
- [9] MILLER, Ivan. *Kapesní příručka Six Sigma*. 1. vyd. Praha: InterQuality, 2008. 141s. ISBN 978-80-902770-4-5.
- [10] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2004. 104 s. ISBN 80-248-0671-1.
- [11] Edwards sro Presentation. *CareerMarket* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <<http://www.proal.cz/info/424222.htm>>

- [12] Edwards, s.r.o. – Vývěvy pro celou planetu. *Svět Průmyslu* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <<http://www.svetprumyslu.cz/edwards-r-vyvevy-celou-planetu/>>
- [13] Obrobitelnost – definice. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_n_non_ferrous_materials/pages/default.aspx>
- [14] ISO N Neželezné materiály. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_n_non_ferrous_materials/pages/default.aspx>
- [15] ŘEZNÉ PODMÍNKY NSÁTROJŮ. *TumliKOVO- Metal cutting technologies* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <<http://www.tumlikovo.cz/rubriky/rezne-podminky-nastroju/>>
- [16] JERSÁK, J. *Technologie III - Obrábění: Navrhování hospodárných řezných podmínek při obrábění* [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_nhrp.pdf>
- [17] Nástroje pro obrábění hliníkových slitin s mikroleštěným povrchem. *MM SPEKTRUM - Průmyslové Spektrum* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nastroje-pro-obrabeni-hlinikovych-slitin-s-mikrolestenym-povrchem.html>>
- [18] Technical Guide - Parting and grooving. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.rpb.cz/sites/default/files/catalogues/sandvik/MTG_B.pdf>
- [19] SIKORA, Kamil; TREFIL, Antonín. *Procesní média* [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <<http://kamil-sikora.webnode.cz/news/procesni-media/>>
- [20] Nástroje se směrovaným přívodem chladicí kapaliny pod vysokým tlakem. *MM SPEKTRUM - Průmyslové Spektrum* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/novinka/nastroje-se-smerovanim-privodem-chladici-kapaliny-pod-vysokym-tlakem.html>>

- [21] High – Pressure Coolant Option. *Haas Automation – CNC Machine Tools* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <<http://www.haascnc.com/whatsnew-HPC.asp?intLanguageCode=1033#gsc.tab=0>>
- [22] Machine Tool Quote. *Okuma Machines* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <<http://www.okumamachines.com/machines/MachQuote.aspx?MachineID=14480>>
- [23] LU15 front view. *KBG - Kunststoff-Bearbeitungs Ges* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.kbg.at/_thumbnails_/326_5_LU15frontview.jpg?m=1446557385>
- [24] PEROUTKA, Miroslav. *Měření 3D měřicím přístrojem DuraMax*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, 2012, 24 stran. Vedoucí práce: Doc. Ing. František Zvoneček, PhD. Dostupné z: <<https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/2629/bak.%20pr.%20duramax.pdf?sequence=1>>
- [25] ZEISS DuraMax. *ZEISS* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs_cz/produkty/systemy/production-cmms/duramax.html>
- [26] DuraMax. *Quality Magazine* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <<http://www.qualitymag.com/ext/resources/Issues/April2013/Analysis/QM0413-FEAT4-analysis-p3SL.jpg>>
- [27] Products. *Edwards Vacuum* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <<https://shop.edwardsvacuum.com/>>
- [28] Hliník AlZn6Mg2Cu - ČSN 424222. *PROAL* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <<http://www.proal.cz/info/424222.htm>>
- [29] Hliníkové kruhové tyče. *ALCOM ALVAL* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <<http://www.hlinik.cz/kruhove-hlinikove-tyce#seznam-produktu>>
- [30] AL slitiny. *KOVO-SPÁČIL* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <<http://www.kovo-spacil.cz/alloys/cz.htm>>

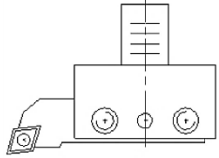

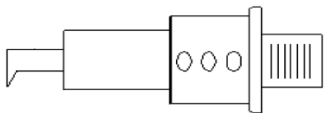
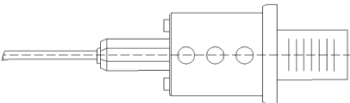

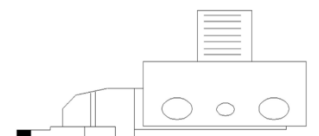
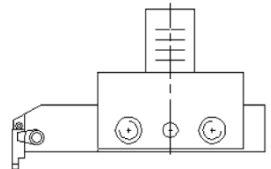
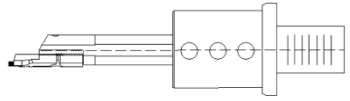
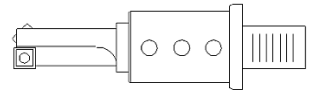
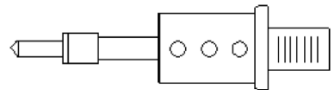
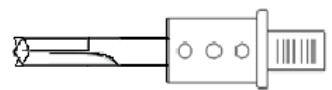
- [31] Power Chucks: FNC - Quick Change Power Chuck. *FORKARDT* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <<http://www.forkardt.com/usa/us-us/products/power-chucks/fnc/>>
- [32] WNT Online Shop. *WNT* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <<https://www.wnt.com/mastertool/CS/category//Hlavn%C3%AD%20katalog>>
- [33] SECO Online Store 7. *Seco Tools* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <<https://www.store.secotools.com/>>
- [34] General-Catalogue-2012-en. *Walter-Tools* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.walter-tools.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/catalogues/en-gb/general-catalogue-2012-en.pdf>
- [35] Ecocool AF 4420 V. *FUCHS - OIL* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <<http://www.fuchs-oil.cz/index.php/aktuality/ecocool-af-4420-v.html>>
- [36] Univerzální refraktometr Brix na olejové emulze a velmi nízké koncentrace. *Refraktometr CZ* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <<http://www.refraktometr.cz/rbr10-atc-univerzalni-refraktometr-brix-na-olejove-emulze-a-velmi-nizke-koncentrace>>
- [37] Analýza systému měření MSA. *PALSTAT s.r.o. – Systémy řízení jakost* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2604_PALAN_1.pdf>

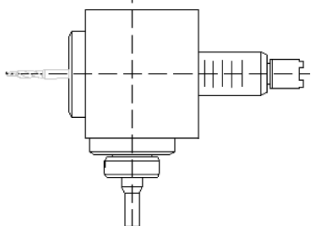
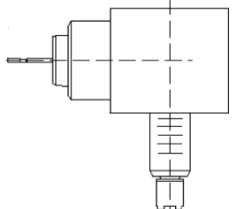
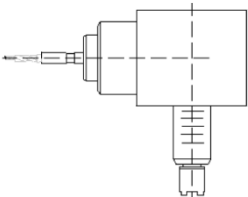
Seznam příloh

Příloha A	Seznam řezných nástrojů
Příloha B	Kontrolní list nástrojů s řeznými podmínkami
Příloha C	Získaná data pro výpočet technicko-ekonomické zhodnocení od společnosti Edwards, s.r.o.
Příloha D	Standardní operační postup (OP10)
Příloha E	Standardní operační postup (OP20)
Příloha F	Výkres polotovaru (č. výkresu DP-01-0)
Příloha G	Výrobní výkres součásti (č. výkresu DP-01-1)
Příloha H	Sestavný výkres přepravního mycího přípravku (č. výkresu DP-S-1)

Příloha A

Seznam řezných nástrojů

Označení nástroje	Název	Výrobce		Schéma
		Držák	VBD	
LU1001	Čelní nůž - hrubovací	STELLRAM / WNT	WNT	
LU1012	Vnější nůž - dokončovací	WNT	WNT	
LU2048	Vnitřní nůž – broušený speciál HSS	WNT	WNT	
LU2055	Vnitřní nůž	WNT	WNT	
LU3000	Upichovací nůž 3 mm	WNT	WNT	
LU3072	Zapichovací nůž 2 mm – hrubovací a dokončovací	WNT	WNT	
LU3094	Čelní zapichovací nůž 5 mm – dokončovací	WNT	WNT	
LU3095	Vnitřní čelní zapichovací nůž 4 mm - dokončovací	SECO	ECO	
LU4011	U-Vrták Ø 28 mm	STELLRAM / WNT	STELLRAM	
LU4020	Navrtávák HSS Ø 1,6 mm	STELLRAM	STELLRAM	
LU4053	Vrták s přímými drážkami Ø 7 mm (axiální poloha)	STELLRAM	WALTER	

LU9058	Vrták Ø 3 mm (radiální poloha)	WNT	WALTER	
LU9060	Závitník M3 (radiální poloha)	SECO	SECO	
LU9061	Odstupňovaný vrták Ø 2,8 mm (radiální poloha)	WNT	WNT	

Příloha B

Kontrolní list nástrojů s řeznými podmínkami

Název součásti:		Polotovár turbíny				
Stroj:		LU-15 M				
Program:		PROG_OP10, PROG_OP20				
ID nástroje	Popis	Rev. hlava	Otáčky [min ⁻¹]	Posuv [mm]	Popis činnosti	Rozměr [mm]
OP10	Čas operace: 14 min					
LU1001	Čelní nůž – hrubovací	A	1400	0,2	hrubování kontury, čela	-
LU4053	Vrták s přímými drážkami Ø 7 mm	B	1400	0,15	díra Ø 7 mm	Ø 7
LU3072	Zapichovací nůž 2 mm – hrubovací	A	2500	0,1	hubování lamel (hlava A)	-
LU3072	Zapichovací nůž 2 mm – hrubovací	B	2500	0,1	hrubování lamel (hlava B)	-
LU9061	Odstupňovaný vrták Ø 2,8 mm	A	4500	F550 ¹⁾	díry po obvodu pro závit M3	Ø 2,8
LU9060	Závitník M3	A	1000	F500 ¹⁾	závit M3	M3
LU9058	Vrták Ø 3 mm	A	4500	F60 ¹⁾	díra Ø 3 mm do osy součásti	Ø 3
LU3072	Zapichovací nůž 2 mm – dokončovací	A	2500	0,2	dokončování lamel (hlava A)	Ø AC, AD, AE
LU3072	Zapichovací nůž 2 mm – dokončovací	B	2500	0,2	dokončování lamel (hlava B)	Ø AC, AD, AE
LU3094	Čelní zapichovací nůž 5 mm – dokončovací	B	1200	0,055	hrubování a dokončování lemu a osy Ø AB mm, a druhý ofset Ø AN mm	Ø AB; AN
LU1012	Vnější nůž – dokončovací	B	250 ²⁾	0,1	dokončování Ø AA, AO, AP, (8x) 65 mm	Ø AA; AO; AP; 65
LU2048	Vnitřní nůž – broušený speciál HSS	B	2000	0,05	dokončování díry Ø AM v ose součásti	Ø AM
LU3000	Upichovací nůž 3 mm	A	800	0,05	upíchnutí součásti	-
OP20	Čas operace: 8 min 30 s					
LU4011	U-Vrták Ø 28 mm	B	500	0,05	hrubování Ø AF a. AG mm	Ø AF; AG
LU3095	Vnitřní čelní zapich. 4 mm – dokončovací	A	560	0,05	dokončování Ø. AI, a AH mm	Ø AI; AH
LU1001	Vnější nůž – hrubovací	A	1000	0,15	hrubování čela	-
LU4020	Navrtávák HSS Ø 1,6 mm	B	2000	0,075	navrtání středícího důlku	Ø 1,6 (AK)
LU2055	Vnitřní nůž	B	1100	0,05	dokončování díry 1. ofset Ø AF mm a 2. ofset Ø AG mm	Ø AF; AG
LU1012	Vnější nůž – dokončovací	B	1500	0,15	dokončování čela	BU

Poznámky: * (Utajené rozměry jsou zapsané podle výrobního výkresu součásti DP-01-1)

1) Fxx - posuv pro poháněné nástroje [mm.min⁻¹]

2) G96 - konstantní řezná rychlost v_c [m.min⁻¹]

(G97 - konstantní otáčky n [min⁻¹])

Příloha C

Získaná data pro výpočet technicko-ekonomické zhodnocení od společnosti Edwards, s.r.o.

Získaná data od společnosti Edwards, s.r.o. byly vynásobeny koeficientem kvůli utajení skutečných sazeb a nákladů.

DESCRIPTION	STATUS	TBC	TIME				STANDARD LOT SIZE
			RUN TIME (10pcs)		SETUP (8ks)	TIME	
			MACH	LABOR			
Turning OP10	10	1	2,33	0,7	0,25	8	
CMM OP10	10	1	0	0,25	0	8	
Turning OP20	10	1	1,42	0,7	0,25	8	
CMM OP20	10	1	0	0,25	0	8	

DESCRIPTION	STATUS	TBC	RATE			
			MACHINE RATE	LABOUR RATE	SETUP LABOUR RATE	OVERHEAD RATE
Turning OP10	10	1	293,25	377,2	377,2	409,4
CMM OP10	10	1	293,25	377,2	377,2	278,3
Turning OP20	10	1	293,25	377,2	377,2	409,4
CMM OP20	10	1	293,25	377,2	377,2	278,3

DESCRIPTION	OVERHEAD CODE	COSTS				
		SETUP LABOUR	RUN LABOUR	SETUP MACHINE	RUN MACHINE	MFG OVERHEAD
Turning OP10	C	11,8	26,4	9,2	68,4	108,3
CMM OP10	D	0,0	9,4	0,0	0,0	0,0
Turning OP20	C	11,8	26,4	9,2	41,5	70,8
CMM OP20	C	0,0	9,4	0,0	0,0	0,0

Příloha D

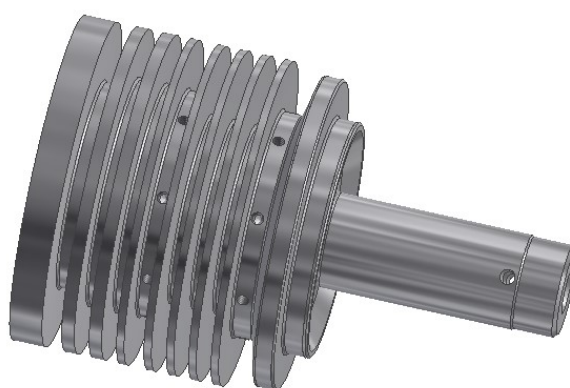
SOP (Standard operating procedure)

SOP No. 1
















Výrobek: Polotovár turbíny

Operace: OP10

Vytvořil: Kučera L.



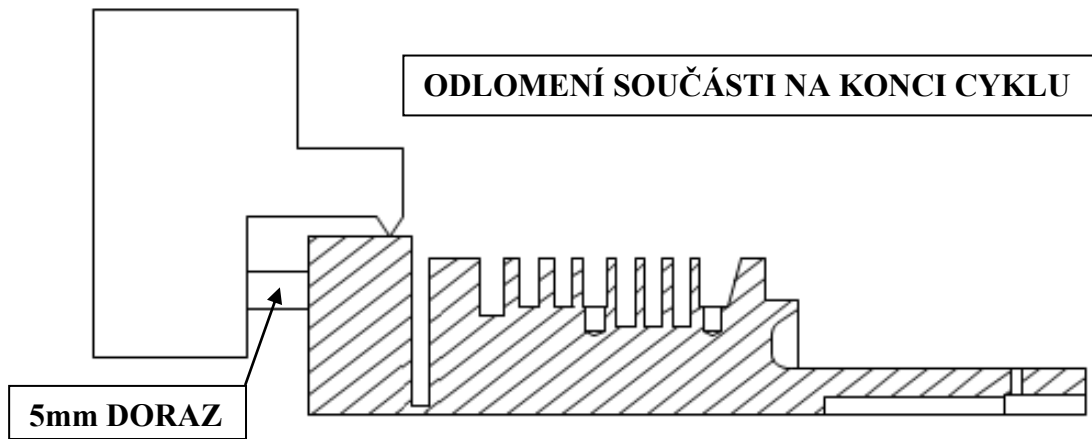
Seznam symbolů

Symbol	Popis	Symbol	Popis
	nutnost používání bezpečnostní obuvi		kontrola
	nutnost používání ochranných brýlí		otevřít
	nutnost používání ochranných rukavic		zavřít
	zkontrolovat teplotu		vyfouknout otvor tlakovou pistolí
	proud vzduchu		likvidovat
	očistit povrch		automatický stop
	ruční montáž, demontáž		automatický start
	ruční dotahování		

Nástrojový list

SOP No. 1

Stroj: LU-15 M	Strojní čas: 14 min	Program č.: PROG_OP10
Díl: Polotovar turbíny	Výkres č.: DP-01-1	Materiál: EN AW 7075
Datum: 1. 3. 2016	Vytvořil: Kučera L.	Polotovar: KR 76 - 135



POZNÁMKY

VYSOKÝ TLAK 30BAR
NASTAVIT ČELISTI MÍNUS 4.5 mm

Pracovní ZA: +153.5

Pozice ZB: +153.5

Upínací zařízení: SKLÍČIDLO FNC 315

Čelisti sklíčidla: TVRDÉ ČELISTI (FORKARDT)

Popis nástroje	ID nástroje	Hlava	Nástroj. pozice	Offset	Pozice nástroje		Rádus	
					X	Z	X	Z
Čelní nůž - hrubovací	LU1001	A	01	51	183.3	53.9	0.4	0.4
Zapich. nůž 2 mm – hrubovací	LU3072	A	03	53	195.2	54.1	0.1	0.1
Zapich. nůž 2 mm – dokončovací	LU3072	A	05	55	195.4	53.6	0.1	0.1
Odstupňovaný vrták Ø 2,8 mm	LU9061	A	07	57	268	75.03	-	-
Závitník M3	LU9060	A	08	58	238.2	75.03	-	-
Vrták Ø 3 mm	LU9058	A	09	59	265.9	70	-	-
Upichovací nůž 3 mm	LU3000	A	12	60	226.3	51.1	0.15	0.15
Čelní zapich. nůž 5 mm – dokončovací	LU3094	B	01	71	166.2	53.5	0,3	0,3
DRUHÝ OFFSET		B	01	81	157.6	53.5	-0,3	0,3
Vnitřní nůž – broušený speciál HSS	LU2048	B	02	72	-3.7	133	-	-
Zapich. nůž 2 mm – hrubovací	LU3072	B	03	73	195.5	51.5	-0.1	0.1
Vnější dokončovací nůž	LU1012	B	05	75	215	55	0.4	0.4
DRUHÝ OFFSET		B	05	70	215	55	0.4	0.4
TŘETÍ OFFSET		B	05	76	215	55	0.4	0.4
ČTVRTÝ OFFSET		B	05	79	215	55	0.4	0.4
PÁTÝ OFFSET		B	05	87	215	55	0.4	0.4
Zapich. nůž 2 mm – dokončovací	LU3072	B	07	77	195	52.4	-0.1	0.1
Vrták s přímými drážkami Ø 7 mm	LU4053	B	08	40	0	143	-	-

Strana:

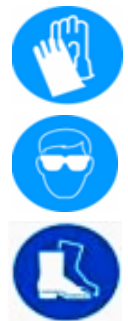
2

Operace: OP10**SOP No. 1****Inventář (pomůcky):**

- upravené tvrdé čelisti s 5mm dorazy

Instrukce:

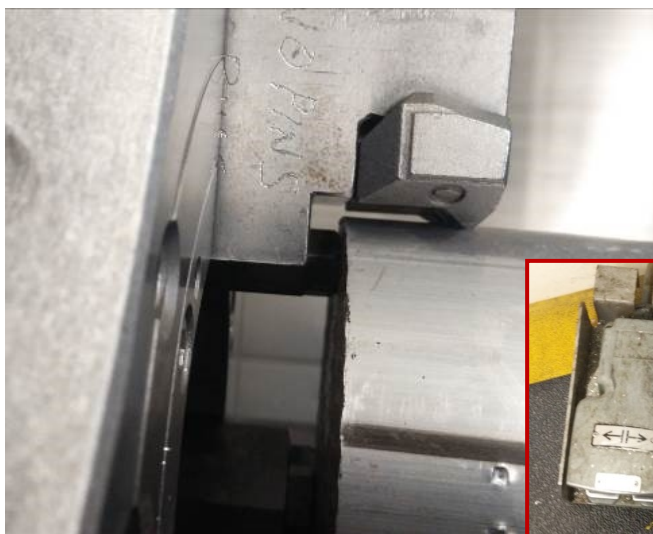
Před nasazením čelistí řádně očisti sklíčidlo.
Postupně nasad' čelisti - číslo na sklíčidlu musí souhlasit s číslem čelistí. Nastav stroj dle seřizovacího listu (korekce, nízký a vysoký tlak).

**Operace: OP20****Inventář (pomůcky):**

- polotovary KR 76 – 135 mm

Instrukce:

Před nasazením polotovaru očisti čelisti od nečistot. Vlož polotovary na doraz do čelistí, upni [1] a zavři dveře.



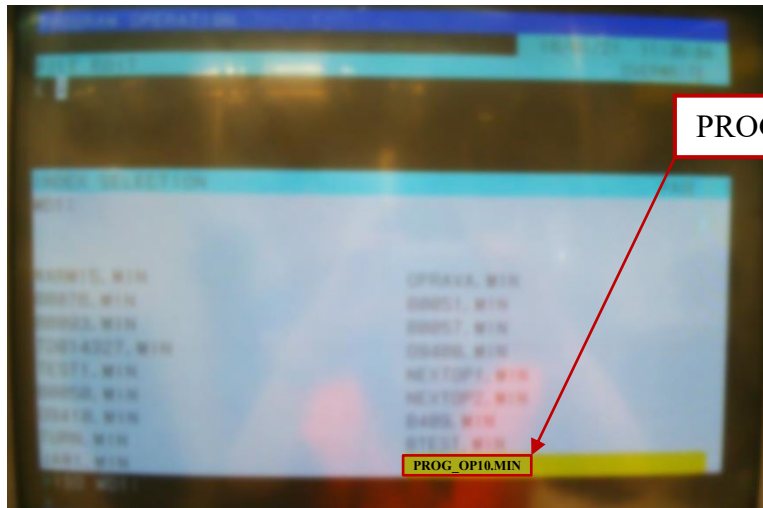
1

**Strana:****3**

Inventář (pomůcky):

Instrukce:

Načti program PROG_OP10.MIN.



PROG_OP10.MIN

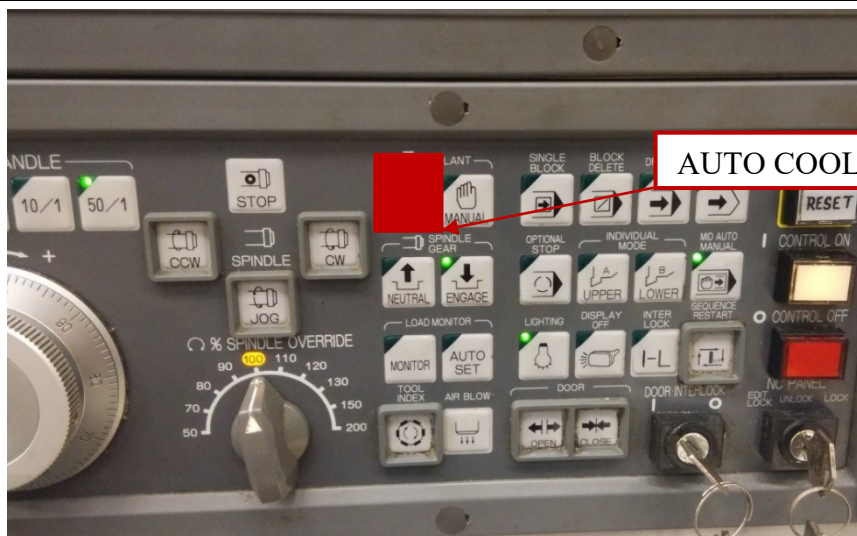
PROG_OP10.MIN

Operace: OP40

Inventář (pomůcky):

Instrukce:

Před tím než spustíš program, tak se ujisti, že je zapnutý AUTO COOLANT. Rozsvítí se zelená kontrolka. HROZÍ ZLOMENÍ NÁSTROJE A NEDODRŽENÍ ROZMĚRŮ.



AUTO COOLANT

A

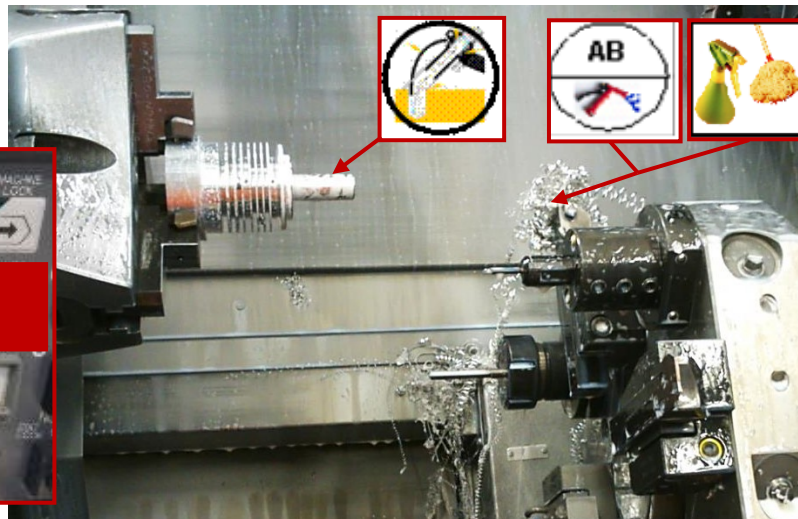
Operace: OP50**SOP No. 1****Inventář (pomůcky):**

- kleště na třísky
- hák na třísky

Instrukce:

Vždy když stroj zastaví na M01 nebo M00 otevřeš pomocí MID AUTO MANUAL a OPEN dveře [1], očisti kus a nástroj od třísek. Po zavření dveří CLOSE, MID AUTO MANUAL vypni [1] a znovu spusť zeleným tlačítkem.

1

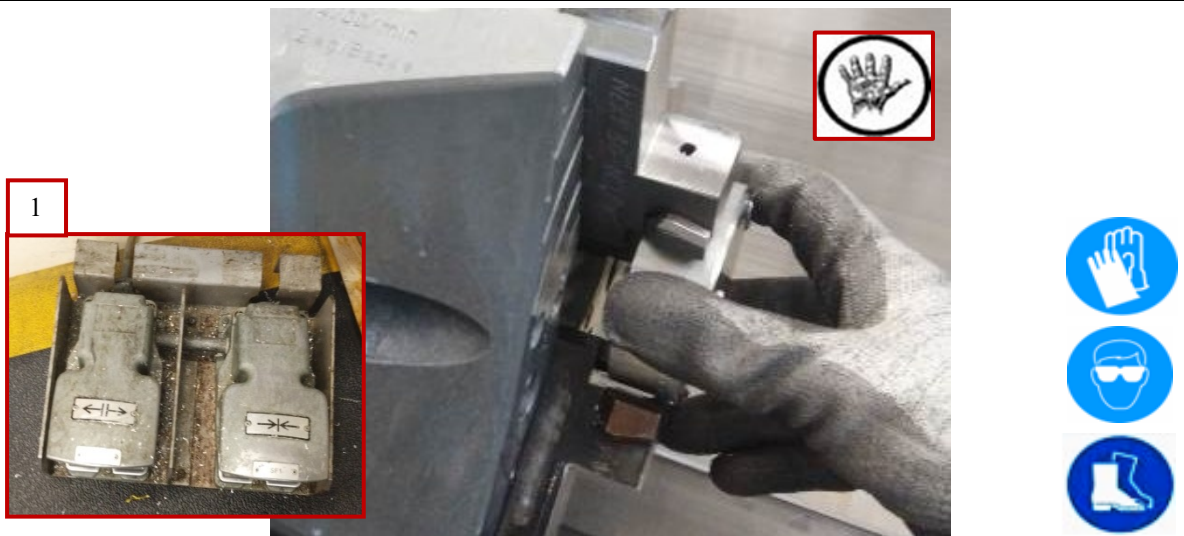
**Operace: OP60****Inventář (pomůcky):****Instrukce:**

Na konci cyklu se stroj automaticky otevře. Ofoukej a očisti kus. Odlom jemně kus ze zbytku polotovaru.

**Strana:****5**

Operace: OP70**SOP No. 1****Inventář (pomůcky):****Instrukce:**

Pokud je nyní nutné počkat na změření součásti, nech zbytek polotovaru v čelistech a spusť WARM UP program. Pokud jsi si jistý, že korekce jsou v pořádku, vyjmi [1] zbytek polotovaru, očisti čelisti a vlož nový.

**Operace: OP80****Inventář (pomůcky):****Instrukce:**

Zbytek polotovaru vyhod' na místo tomu určené.

**Strana:****6**

Operace: OP90

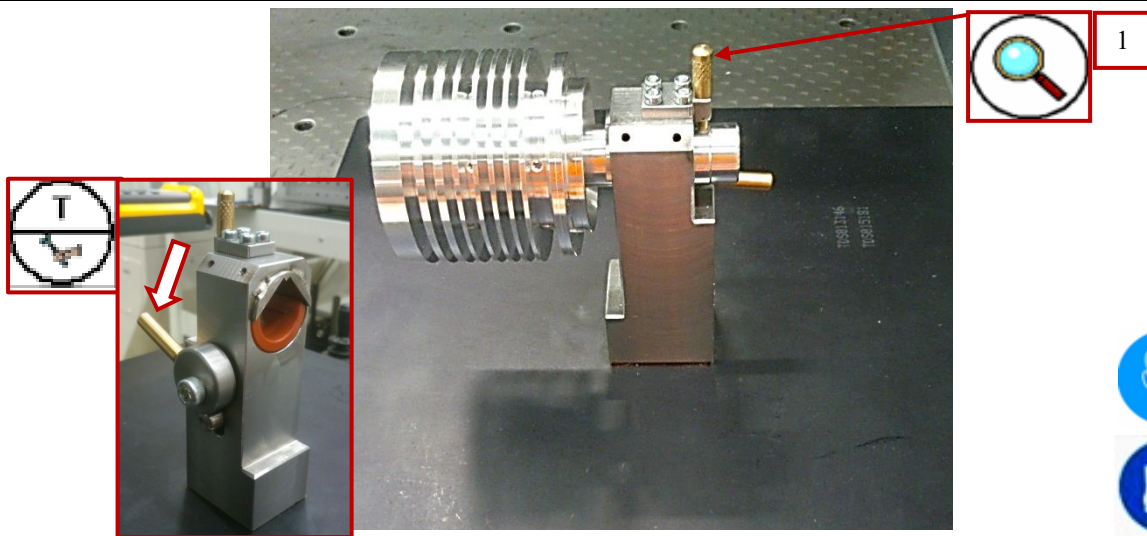
SOP No. 1

Inventář (pomůcky):

- CMM upínací přípravek pro polotovar turbíny
- obrobený díl

Instrukce:

Očisti kus čistícím přípravkem (Loctite), poté vyfoukej a vlož do upínacího přípravku CMM. Polohu zajisti pomocí malého čepu [1]. Přípravek s upnutým kusem zapoložuj na kulové plochy CMM.

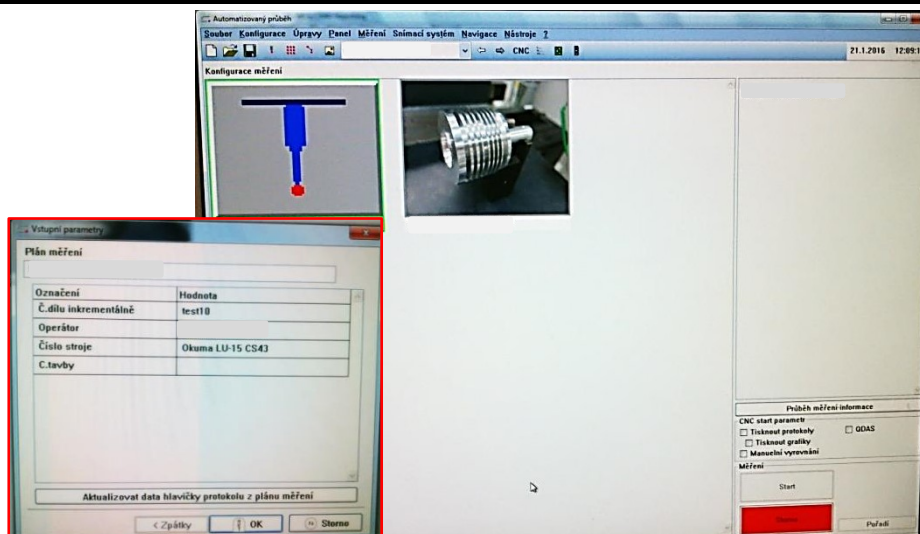


Operace: OP100

Inventář (pomůcky):

Instrukce:

Spust' měřicí program - označ MERENI_OP10 a zmáčkni start. Do tabulky vepiš správné číslo dílu např. 11/09/15/01 (den, měsíc, rok, kus v pořadí tohoto dne), jméno operátora a číslo stroje.



Strana:

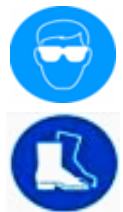
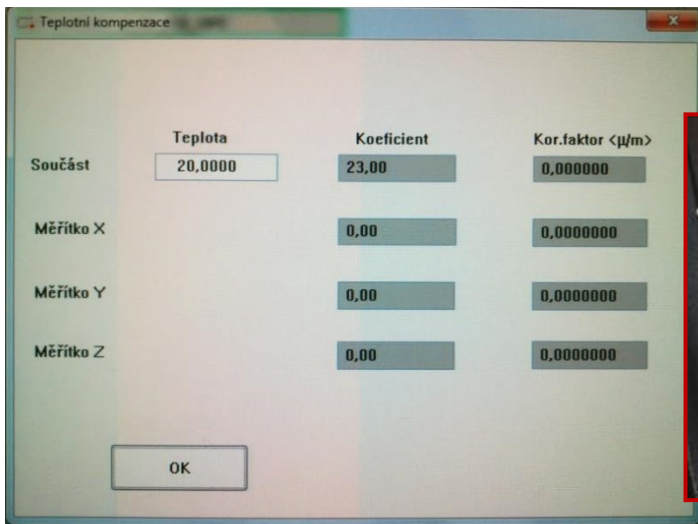
7

Operace: OP110**SOP No. 1****Inventář (pomůcky):**

- dotykový měřič teploty

Instrukce:

Změř teplotu pomocí měřiče teploty a vepiš naměřenou teplotu do kolonky a zmáčkni OK.

**Operace: OP120****Inventář (pomůcky):**

- ruční gravírka DREMEL

- obrobený díl

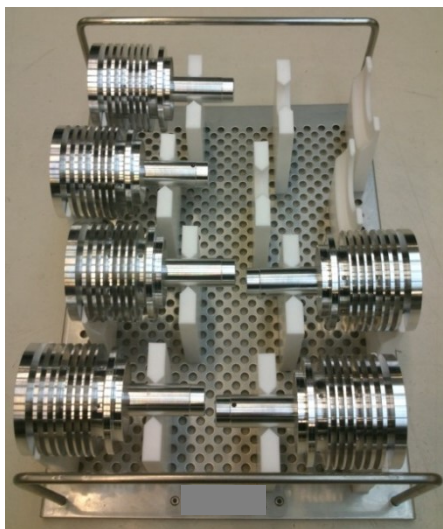
Instrukce:Na čelo součásti – dle obrázku vygravíruj: den, měsíc, rok, kus v pořadí tohoto dne.
Př. 11/09/15/01**Strana:****8**

Operace: OP130**SOP No. 1****Inventář (pomůcky):**

- obrobený díl
- přepravní mycí přípravek

Instrukce:

Kusy ukládej do přepravního mycího přípravku.

**Operace: OP140****Inventář (pomůcky):**

- obrobené díly
- přepravní mycí přípravek
- krabice na uskladnění

Instrukce:

Po naplnění přípravku (8 kusů). Vlož do určených krabic.



Příloha E

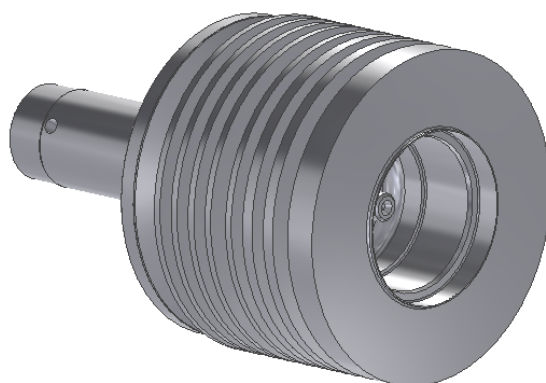
SOP (Standard operating procedure)

SOP No. 2
















Výrobek: Polotovar turbíny

Operace: OP20

Vytvořil: Kučera L.



Seznam symbolů

Symbol	Popis	Symbol	Popis
	nutnost používání bezpečnostní obuvi		kontrola
	nutnost používání ochranných brýlí		otevřít
	nutnost používání ochranných rukavic		zavřít
	zkontrolovat teplotu		vyfouknout otvor tlakovou pistolí
	proud vzduchu		likvidovat
	očistit povrch		automatický stop
	ruční montáž, demontáž		automatický start
	ruční dotahování		

Nástrojový list

SOP No. 2

Stroj: LU-15 M	Strojní čas: 8 min 30 s	Program č.: PROG_OP20
Díl: Polotovar turbíny	Výkres č.: DP-01-1	Materiál: EN AW 7075
Datum: 1. 3. 2016	Vytvořil: Kučera L.	Polotovar: KR 76 - 135



POZNÁMKY

NÍZKÝ TLAK 12 BAR
OTEVŘENÉ ČELISTI NASTAV NA DORAZ

Pracovní ZA: +208.47

Pozice ZB: +208.47

Upínací zařízení: SKLÍČIDLO FNC 315

Čelisti sklíčidla: SPEC. ČELISTI S KLEŠTINOU

Popis nástroje	ID nástroje	Hlava	Nástroj. pozice	Offset	Pozice nástroje		Rádus	
					X	Z	X	Z
Vnější hrubovací nůž	LU1001	A	01	51	185	54	0.4	0.4
Vnitřní čelní zapichovací nůž 4 mm – dokončovací	LU3095	A	04	62	-18.8	166	0.4	0.4
DRUHÝ OFFSET		A	04	63	-27.8	166	0.4	0.4
Navrtávák HSS Ø 1,6 mm	LU4020	B	06	86	0	116	-	-
28mm U-VRTÁK	LU4011	B	04	64	0	192	-	-
Vnitřní nůž	LU2055	B	02	66	-18.1	140	0.2	0.2
DRUHÝ OFFSET		B	02	65	-18.1	140	0.2	0.2
Vnější dokončovací nůž	LU1012	B	05	75	215	55	0.4	0.4

Operace: OP10

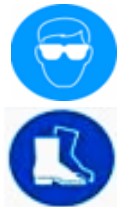
SOP No. 2

Inventář (pomůcky):

- sada šroubů a šroubovák

Instrukce:

Sundej ze sklíčidla vnitřní část pro zachytávání třísek do motoru. Očisti čelo sklíčidla a první část přípravku. Nasad' první část přípravku a přišroubuj 3 šrouby.

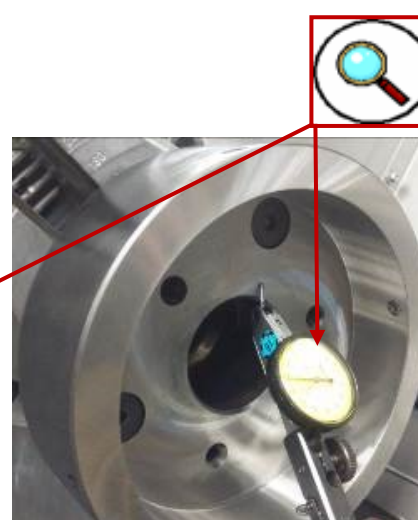
**Operace: OP20****Inventář (pomůcky):**

- stojánek s číselníkovým úchylkoměrem

- sada šroubů a šroubovák

Instrukce:

Vyrovnej první část přípravku [$\pm 0,01$ mm] pro obvod i čelo přípravku.



Strana:

3

Operace: OP30

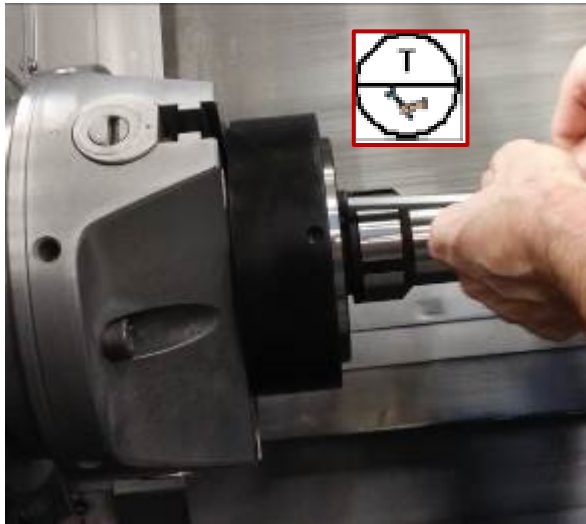
SOP No. 2

Inventář (pomůcky):

- speciální kleštinové upínání
- sada šroubů a šroubovák
- stojánek s číselníkovým úchylkoměrem

Instrukce:

Očisti před nasazením třetí část přípravku. Nasad' a přišroubuj třemi šrouby v čele. Stavěcí šrouby „červíky“ v průměru použij pro vyrovnaní na hodinky. Vyrovněj druhou část přípravku [$\pm 0,002$ mm].



Operace: OP40

Inventář (pomůcky):

Instrukce:

Zkontroluj nastavení nízkého tlaku stroje. Zavři dveře [1]. Přepni do MDI [2], napiš M58 [3] a stiskni ENTER [4]. Poté stiskni CYCLE START [5]. Zkontroluj ukazatel tlaku, zda je tlak 12barů, pokud ne, tak nastav tento tlak [6].



Strana:

4

Operace: OP50

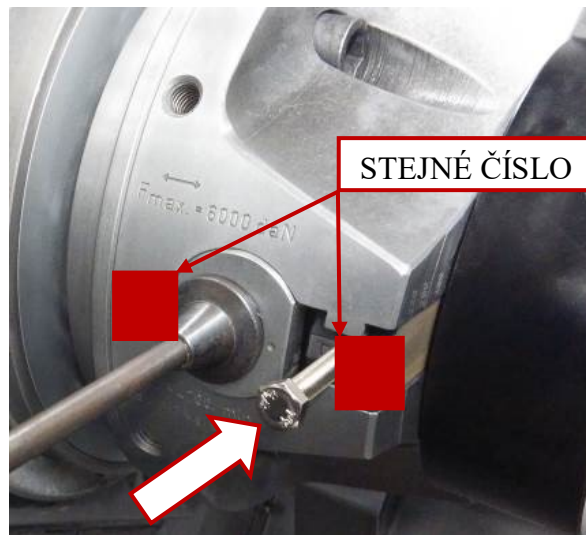
SOP No. 2

Inventář (pomůcky):

- speciální čelisti

Instrukce:

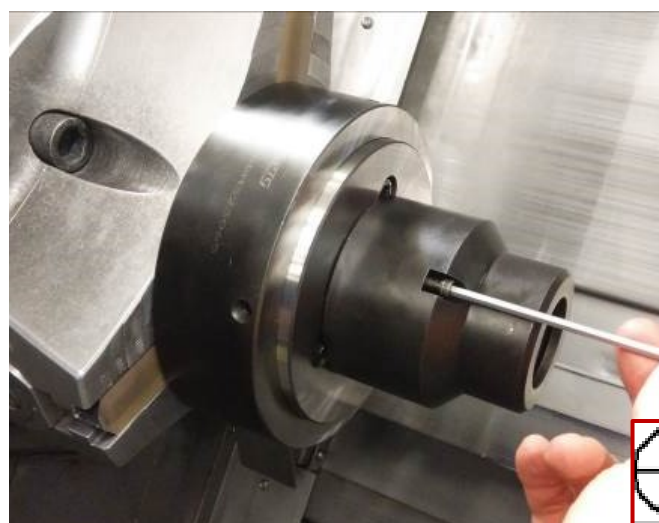
Očisti před nasazením všechny dílu. Zasuň čelisti na doraz – čelisti nasazuj podle pořadí na sklíčidlu.

**Operace: OP60****Inventář (pomůcky):**

- speciální kleštinové upínání

Instrukce:

Očisti před nasazením všechny komponenty. Nasad' poslední část přípravku a utáhni 3mi šrouby.



Strana:

5

Operace: OP70

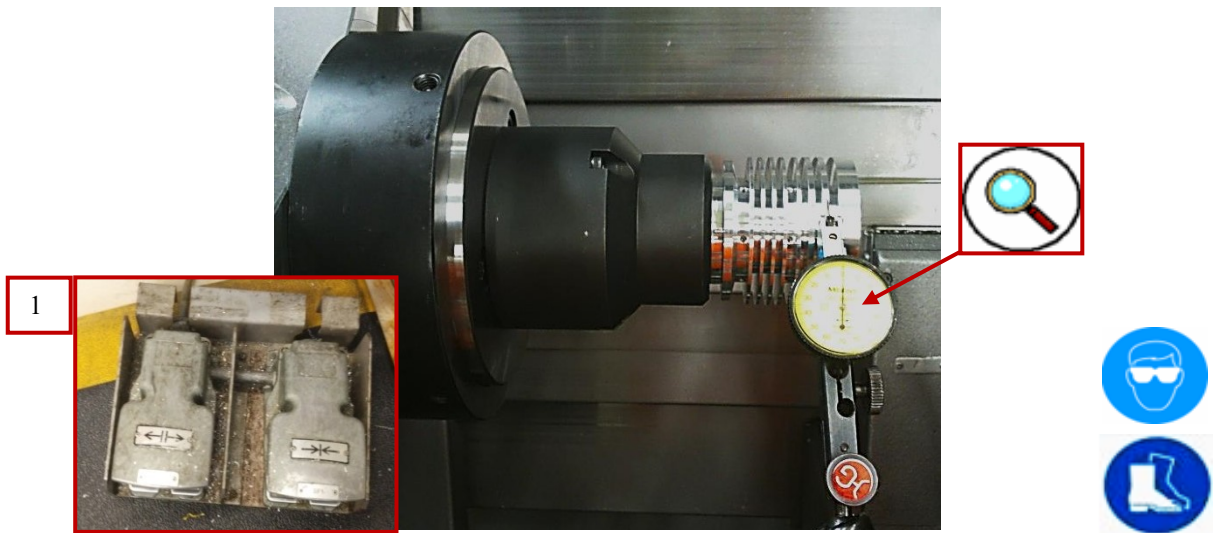
SOP No. 2

Inventář (pomůcky):

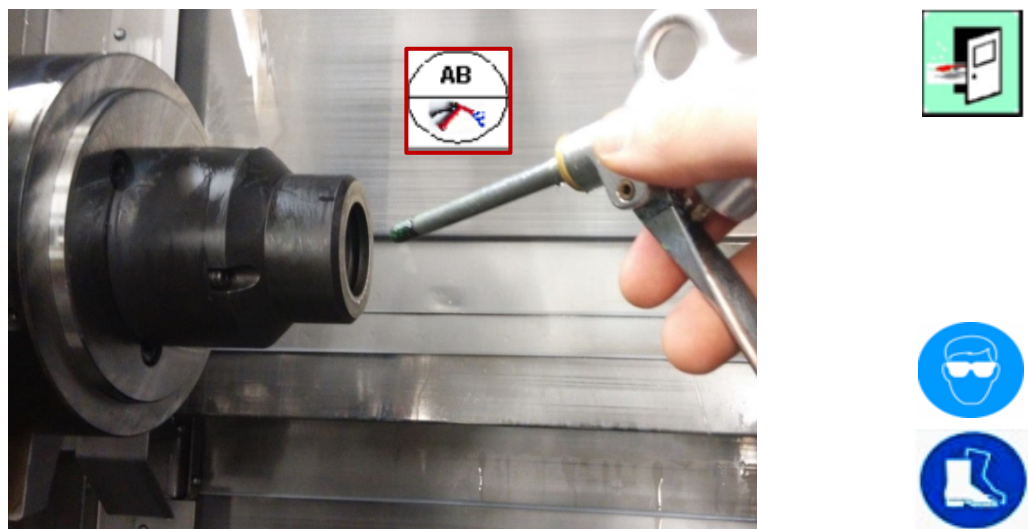
- obrobený díl (po OP10)
- stojánek s číselníkovým úchylkoměrem

Instrukce:

Upni kus [1] a zkontroluj číselníkovým úchylkoměrem. Maximální přípustná hodnota je $\pm 7 \mu\text{m}$ ($\pm 0,007 \text{ mm}$).

**Operace: OP80****Inventář (pomůcky):****Instrukce:**

Ofoukej přípravek – zejména dotykové plochy.



Operace: OP90

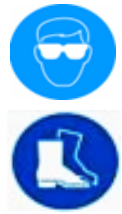
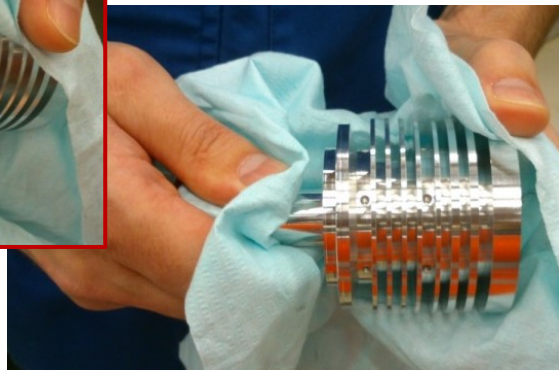
SOP No. 2

Inventář (pomůcky):

- obrobený díl (po OP10)

Instrukce:

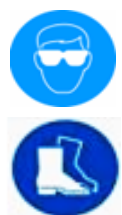
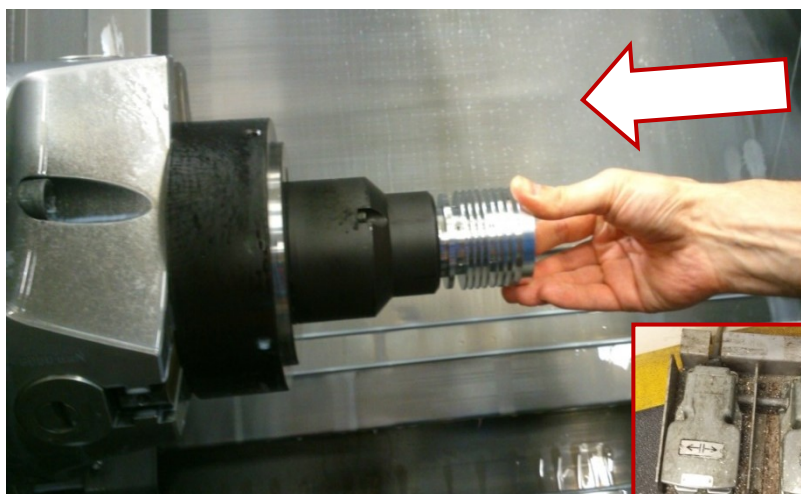
Očisti díl před upnutím – dotykové plochy kusu musí být čisté.

**Operace: OP100****Inventář (pomůcky):**

- obrobený díl (po OP10)

Instrukce:

Vlož kus do přípravku na doraz. Upni kus [1] do přípravku a zavři dveře.



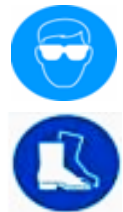
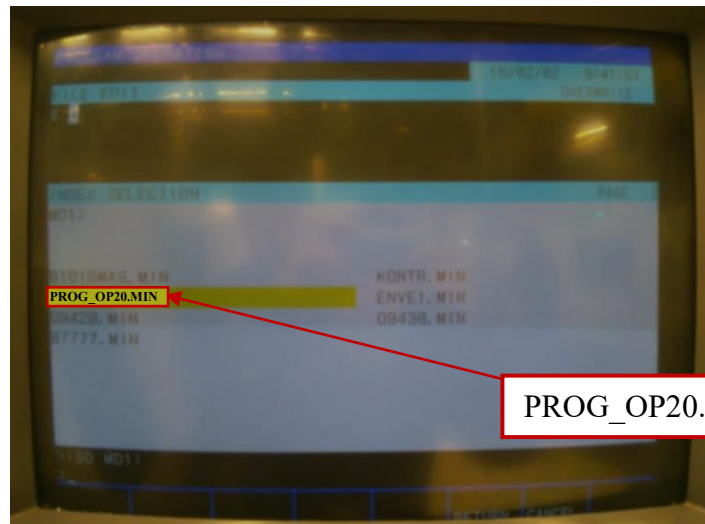
Strana:

7

Inventář (pomůcky):

Instrukce:

Načti program PROG_OP20.MIN.



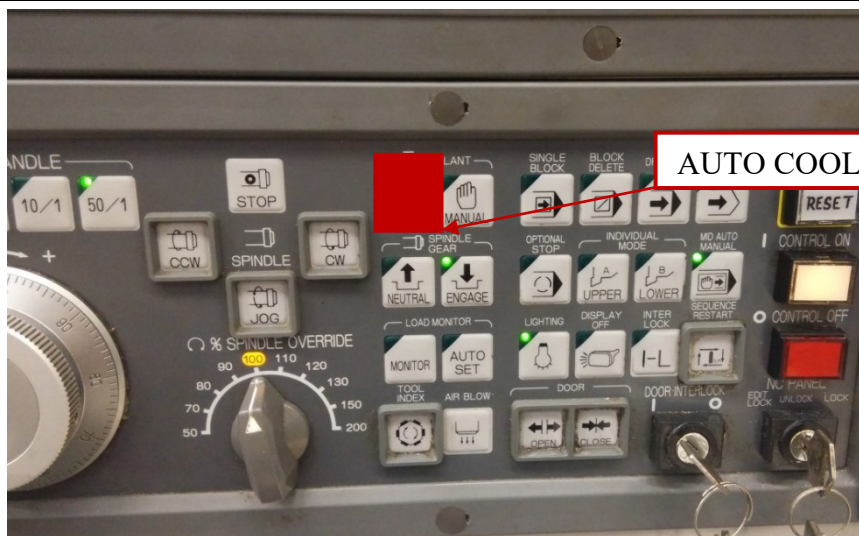
Operace: OP120

Inventář (pomůcky):

Instrukce:

Před tím než spustíš program, tak ujisti se, že je zapnutý AUTO COOLANT. Rozsvítí se zelená kontrolka.

HROZÍ ZLOMENÍ NÁSTROJE
A NEDODRŽENÍ ROZMĚŘŮ.



Operace: OP130

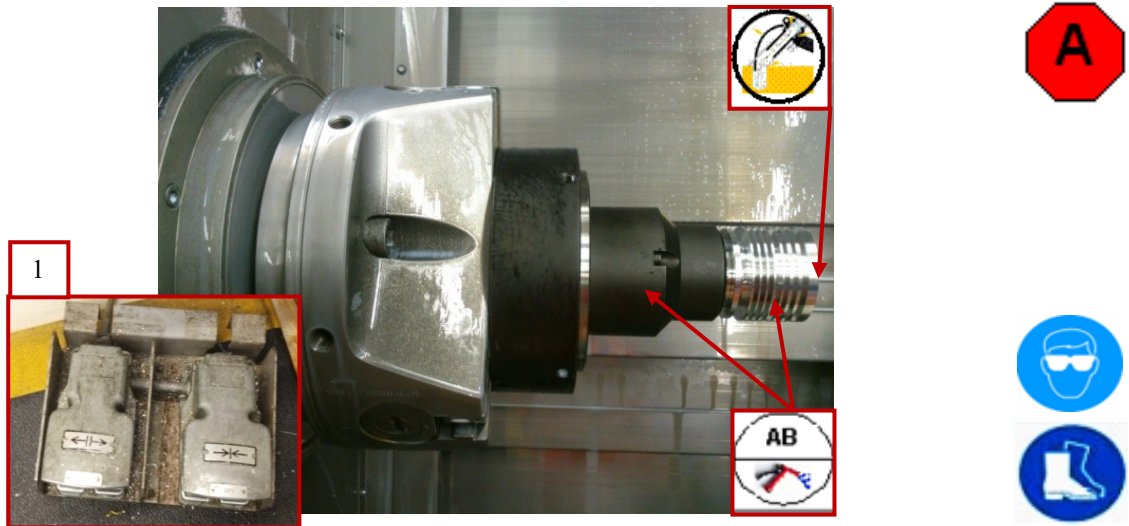
SOP No. 2

Inventář (pomůcky):

- obrobený díl (po OP10)

Instrukce:

Odepni [1] a ofoukej kus a upínací přípravek.

**Operace: OP140****Inventář (pomůcky):**

- obrobený díl (po OP10)

Instrukce:

Očisti kus do sucha.



Strana:

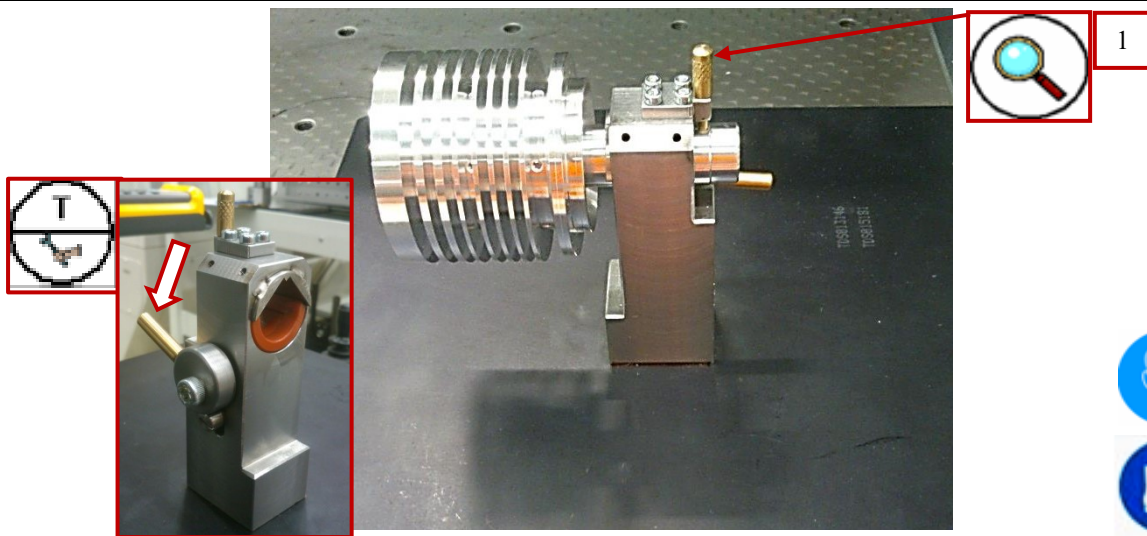
9

Operace: OP150**SOP No. 2****Inventář (pomůcky):**

- CMM upínací přípravek pro polotovar turbíny
- obrobený díl (po OP10)

Instrukce:

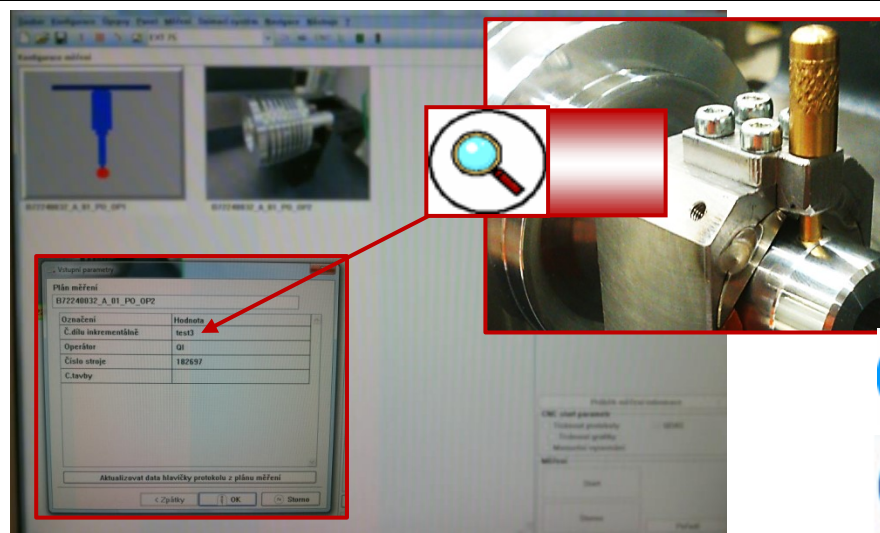
Očisti kus čistícím přípravkem (Loctite), poté vyfoukej a vlož do upínacího přípravku CMM. Polohu zajisti pomocí malého čepu [1]. Přípravek s upnutým kusem zapoložuj na kulové plochy CMM.

**Operace: OP160****Inventář (pomůcky):**

- obrobený díl (po OP10)

Instrukce:

Spust' měřicí program - označ MERENI_OP20 a zmáčkni start. Do tabulky vepiš správné číslo dílu – přesně to stejné, co je již napsáno na čele kusu.



Operace:OP170

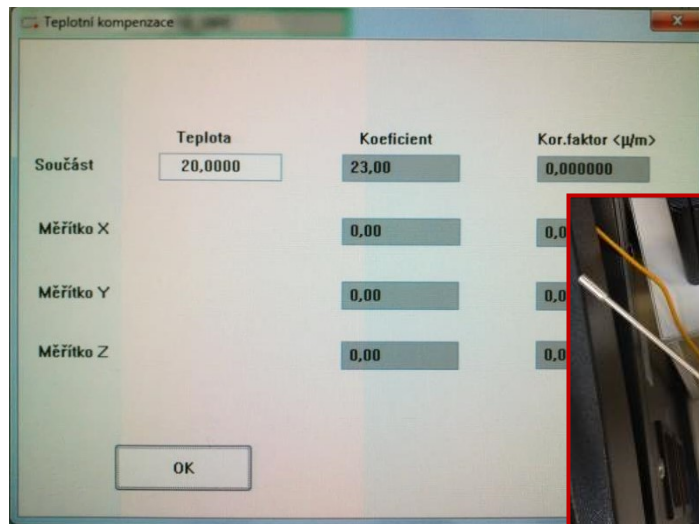
SOP No. 2

Inventář (pomůcky):

- dotykový měřič teploty

Instrukce:

Změř teplotu pomocí měřiče teploty a vepiš naměřenou teplotu do kolonky a stiskni OK.

**Operace: OP180****Inventář (pomůcky):**

- obrobeký díl (po OP10)
- přepravní mycí přípravek
- krabice na uskladnění

Instrukce:

Kusy ukládej do přepravního mycího přípravku, kterého potom vlož do určených krabic (po naplnění přípravku 8mi kusů).



Strana:

11