

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OBRÁBĚNÍ SOUČÁSTI ZE SLITINY HLINÍKU

MACHINING OF ALUMINIUM ALLOY COMPONENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN LAČŇÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL OSIČKA, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Lačňák

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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

Obrábění součásti ze slitiny hliníku

v anglickém jazyce:

Machining of aluminum alloy component

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provést rozbor stávající technologie obrábění součásti ze slitiny hliníku a navrhnout jednotlivá racionalizační opatření ke zproduktivnění výroby.

Cíle diplomové práce:

Úvod.

Rozbor stávající technologie obrábění.

Vyhodnocení technologičnosti konstrukce.

Určení problémových oblastí.

Návrh dílčích racionalizačních opatření.

Ověření možností realizace.

Technicko-ekonomické zhodnocení.

Diskuze.

Závěr.

Seznam odborné literatury:

AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

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

ŠTULPA, Miroslav. CNC obráběcí stroje. 2. dotisk, 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MMPublishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Osička, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 22.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na technologii výroby součásti typu turbína ve firmě Edwards. Specifikace zaměření je na část technologie soustružení, kde je v první části vytvořen rozbor součásti a její technologičnost konstrukce. Jsou analyzovány problémové oblasti z hlediska materiálové struktury a technologie postupu. Z oblasti racionalizace materiálové struktury je proveden rozbor původního a nového dodavatele a jejich statistické zhodnocení racionalizačního zlepšení vůči dodržení geometrických tolerancí. Zapichovací nože v části soustružení významně ovlivňují celkový strojní čas. Pro zjištění velikosti radiálních sil, průběhu utváření třísky a drsnosti povrchu při zapichování je proveden experiment. Technologie postupu se dále zabývá racionalizací stávajícího stroje OKUMA LU25-M a nákupu nového stroje Mori Seiki NTX 2000, pro který je vytvořena nástrojová výbava za spolupráce firmy Walter. Závěrečné Technicko-Ekonomické zhodnocení shrnuje všechny poznatky z výzkumu dané problematiky. V diskuzi je navrženo další pokračování výzkumu pro vývoj a plynule řízenou produktivitu součásti.

Klíčová slova

soustružení, slitina hliníku EN AW 7075, racionalizace, technologie výroby, zapichování

ABSTRACT

The thesis focuses on the technology of production of the turbine-type component in Edwards company. It specifically focuses on the part of the turning production, in which in the first part an analysis of the component and the technologicity of its construction is created. Problematic aspects are analysed in terms of material structure and procedure technology. An evaluation of the former and the new supplier is made in terms of rationalization of material structure and their statistical evaluation of rationalization improvement towards keeping to geometrical tolerances. Grooving tools greatly influence the overall machining time during turning. An experiment is made to find out the measured values of the radial forces, the process of chip formation and surface roughness during grooving. The technology of procedure further deals with rationalization of the current machine OKUMA LU25-M and purchase of a new machine Mori Seiki NTX 2000, for which new tool equipment is made in cooperation with Walter company. The final technical-economical evaluation sums up all findings from the research of the given issue. In the discussion, further continuation is suggested for the research in the development and for the continuously controlled component productivity.

Key words

turning, aluminium alloy EN AW 7075, rationalization, technology of production, grooving

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LAČŇÁK, Martin. *Obrábění součásti ze slitiny hliníku*. Brno 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 96 s. příloh 24. Ing. Karel Osička, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Obrábění součásti ze slitiny hliníku** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Martin Lačňák

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Karlu Osičkovi, Ph.D., prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc., Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D., doc. Ing. Jaroslavu Prokopovi, CSc., Ing. Josefu Sedlákov, Ph.D., Ing. Martinovi Slanému za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Za pomoc s materiálovou částí práce bych chtěl poděkovat zejména Ing. Martinu Julišovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky. Ivě Davidové za pomoc při zpracování metalografických vzorků na specializovaném pracovišti ústavu materiálového inženýrství. Za pomoc při experimentální části na výzkumném pracovišti ústavu strojírenské technologie Mgr. Michalu Jílkovi, Milanu Rusiňákovi a Pavlu Svobodovi.

Děkuji tímto firmě Edwards za umožnění zpracování diplomové práce v podniku společnosti a za cenné informace a podklady. Jmenovitě děkuji zaměstnancům firmy a to Ing. Petru Koutnému, Ing. Janu Hurtovi, Bc. Tomáši Navrátilovi, Michalu Vyroubalovi, Jakubu Lorencovi, Miroslavu Pavlíčkovi, Ivu Pláničkovi a Michalu Švancarovi.

Dále bych chtěl poděkovat firmě Walter za spolupráci a cenné konzultace při zpracování nástrojové části diplomové práce. Jmenovitě Vítězslavu Habánovi a Martinovi Štusákovi.

Firmě DMG/Mori Seiki za spolupráci a cenné konzultace při zpracování diplomové práce a to zejména Jaroslavu Veselému.

Firmě Pramet a firmě WNT za pomoc při řešení materiálové části práce pro jednotlivé nástroje.

V neposlední řadě také děkuji zejména své rodině a svým přátelům za podporu během celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	2
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 ANALÝZA VÝROBNÍHO PROCESU	10
1.1 Kontrolní výkres a podmínky výroby	10
2 HODNOCENÍ TECHNOLOGIČNOSTI KONSTRUKCE.....	12
2.1 Úchyly rozměrů a průměrná aritmetická odchylka profilu.....	12
2.2 Hlavní ukazatele technologičnosti	12
2.2.1 Ukazatel jakosti povrchu obráběné plochy	12
2.2.2 Ukazatel průměrné přesnosti	12
2.3 Volba polotovaru	13
2.4 Rozbor materiálu hliníku	15
2.4.1 Vlastnosti hliníku a rozdělení jeho slitin	15
2.5 Rozbor slitiny materiálu hliníku	17
2.5.1 Chemické složení slitiny AlZn5,5MgCu	18
2.5.2 Vliv přísadových prvků a nečistot ve slitině hliníku	20
2.5.3 Mechanické vlastnosti slitiny AlZn5,5MgCu.....	21
3 ROZBOR STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ	22
3.1 Použité stroje a nářadí.....	22
3.1.1 Soustružení.....	22
3.1.2 Kontrola měření	25
3.2 Výrobní postup	26
4 VYTYPOVÁNÍ PROBLÉMOVÝCH OBLASTÍ	28
4.1 Změna dovozce materiálu	28
4.2 Technologie postupu.....	28
4.3 Seřízení teploty procesu.....	28
5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	29
5.1 Strojní vybavení	29
5.2 Příprava měření.....	34
5.3 Průběh měření	35
5.4 Experimentální část 1. – měření sil.....	37
5.4.6 Výpočetní část.....	52

5.4.7	Vyhodnocení sil	53
5.5	Experimentální část 2. – utváření třísky	55
5.5.1	Zhodnocení utváření třísek	56
5.5.2	Vyhodnocení vlivu utvařečů na utváření třísek	57
5.6	Experimentální část 3. - měření profilu povrchu	58
5.6.1	Vyhodnocení drsnosti povrchu	60
5.7	Experimentální část 4. - měření opotřebení	61
5.7.5	Vyhodnocení opotřebení VBD	65
5.8	Zhodnocení experimentální části	66
6	NÁVRH DÍLČÍCH RACIONALIZAČNÍCH OPATŘENÍ	67
6.1	Změna dodavatele materiálu	67
6.2	Racionalizace stávajícího obráběcího stroje	70
6.2.1	Racionalizace nástrojů	70
6.3	Nový obráběcí stroj Mori Seiki NTX 2000	72
6.3.1	Stručný popis některých výhod.....	73
6.3.2	Návrh strojního vybavení.....	74
6.3.3	Návrh technologického postupu	76
6.4	Zhodnocení racionalizační části.....	79
7	OVĚŘENÍ MOŽNOSTI REALIZACE	80
7.1	Ověření nástrojové části.....	80
7.2	Ověření materiálové části	80
8	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	83
8.1	Technické zhodnocení	83
8.2	Ekonomické zhodnocení.....	84
9	DISKUZE	87
	ZÁVĚR	88
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	89
	Seznam použitých symbolů a zkratk.....	91
	SEZNAM PŘÍLOH.....	96

ÚVOD

Ve strojírenské technologii má v současné době své nezastupitelné místo technologie obrábění. Vzhledem k rozsáhlosti technologie obrábění je mnoho firem zaměřeno přímo na problematiku obrábění, čímž při konkurenčním boji dává výhodu zákazníkům při nákupu zboží. Každá součást má svou specifickou problematiku, kterou lze řešit různými způsoby. Tato diplomová práce je zaměřena na firmu Edwards se zaběhnutým výrobním systémem, který přišel již s nástroji z Anglie pro těleso ze slitiny hliníku, kterým je turbínová vývěva. Vývojový systém je rozdělen do několika sektorů a každý se zabývá jinou fází výroby. Diplomová práce se zaměřuje převážně na soustružnické aplikace. Je koncipována tak, že v první části je provedena analýza stávajícího technologického postupu za rozboru technologičnosti konstrukce a vytypování problémových oblastí. V druhé části je převážně zaměření na hlavní oblasti problémů a návrh jednotlivých racionalizačních opatření s ověřením možnosti realizace. V posledním kroku je provedeno technologicko-ekonomické zhodnocení pro přehled návrhů a dosažených výsledků pro zkvalitnění a zproduktivnění výroby. V závěrečné diskuzi jsou předloženy návrhy pro prohloubení výzkumu za účelem zamezení problémových oblastí a dalšího vývoje výroby.

Turbínové vývěvy vyšších řad se v dnešní době využívají především k výzkumným účelům. Vyznačují se zejména maximálním výkonem čímž je dosaženo vysokých rychlostí čerpání a kompresních poměrů. Vysoká spolehlivost je ověřována v nejnáročnějších provozních prostředích. Vývoj vývěvových turbín je směřován i pro snadnou manipulaci pro obsluhu a údržbu.

Firma Edwards zahájila svou podnikatelskou činnost v roce 1919 se sídlem v Londýně. S výrobou vakuového zařízení začala o 20 let později. Postupným vývojem přicházela s novými produkty vakuových pump. Edwards má dnes přibližně 3000 zaměstnanců, kteří pracují ve více než 20 zemích se zaměřením na zajištění inovativních vakuových technologií. Se dvěma globálními týmy – jeden se zaměřením na odvětví polovodičů a další na mnoha obecných vakuových odvětvích. V současné době má velké výrobní centra v Koreji, Japonsku a Číně. V České republice bylo první otevření výrobního závodu v roce 2011 v Lutíně.

1 ANALÝZA VÝROBNÍHO PROCESU

První kapitola je zaměřena na zhodnocení stávající technologie, která je aplikována ve firmě Edwards se závodem v Lutíně (obr. 1.1), technologie byla převzata z mateřské centrální firmy v Londýně a dále vyvíjena za účelem zvýšení přesnosti a dodržení daných tolerancí při snížení celkového času a tím zvýšení produktivity.



Obr. 1.1 Edwards

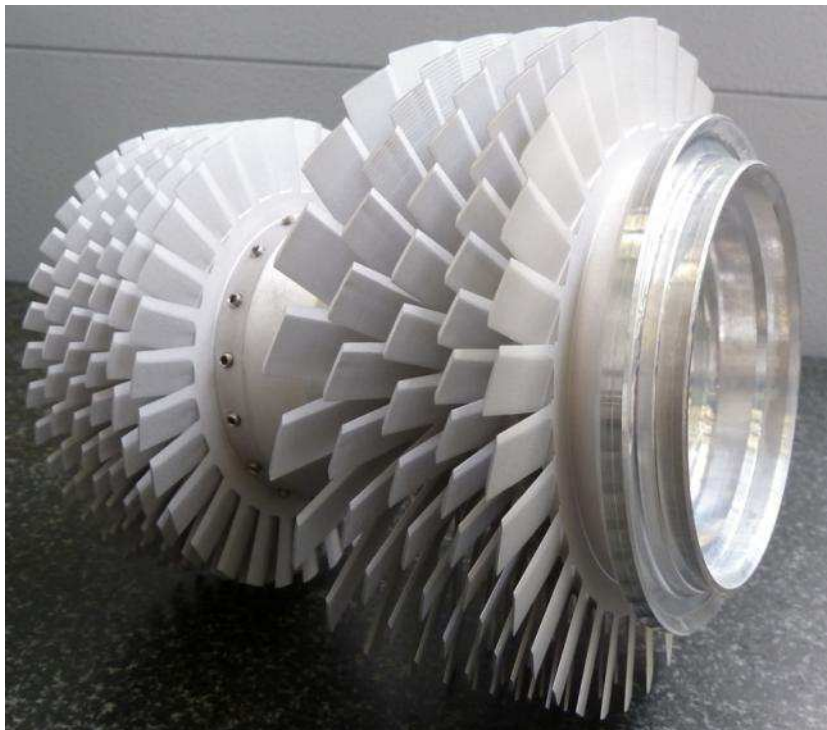
1.1 Kontrolní výkres a podmínky výroby

Součást ze slitiny hliníku je vývěvová turbína znázorněná na obrázku 1.2, těleso je z tyčového materiálu EN AW-7075 (AlZn5,5MgCu) vyrobeného lisováním. Výkres součásti je v příloze č. 1.

Technologie součásti je tvořena z několika částí:

- | | |
|-------------------|--|
| Výrobní: | - soustružení,
- frézování. |
| Kontrolní: | - kontrola jakosti a povrchu. |
| Povrchové úpravy: | - odmaštění,
- leptání a jiné povrchové úpravy. |
| Montážní: | - celková montáž komponentů,
- balení pro expedici. |

Roční výrobní program se skládá z několika těles, které se navzájem velmi podobají a vyrábí se za stejných podmínek a ze stejného materiálu. Tedy uvažujeme s roční výrobou, která zahrnuje výrobu 3900 kusů.



Obr. 1.2 Turbína

Celý proces je ve firmě rozdělen do několika sekcí a tato diplomová práce je zaměřena na sekci výrobní s přesným určením soustružení. Zhotovená součást po soustružení je na obr. 1.3.



Obr. 1.3 Těleso

2 HODNOCENÍ TECHNOLOGIČNOSTI KONSTRUKCE

Hodnocení technologičnosti součásti (výrobku) se provádí z hlediska hospodárné výroby, zda je součást vyrobitelná, jak ji vyrobit co nejproduktivnější metodou, aby dosáhla předepsaného tvaru, jakosti a ceny.[1] Teorie hodnocení technologičnosti konstrukce je rozebráno a uvedeno v příloze č. 2.

V první části jsou shrnuty všechny hlavní tolerované rozměry a vybrány některé podstatné ukazatele technologičnosti. Následně je zdůvodněna volba polotovaru a výpočet normy spotřeby materiálu. V další části je shrnuta teorie materiálu hliníku a jeho slitin. Po zaměření na rozbor daného materiálu slitiny hliníku je uvedeno jeho chemické složení a různé mechanické vlastnosti.

2.1 Úchylky rozměrů a průměrná aritmetická úchylka profilu

Úchylky rozměrů a průměrná aritmetická úchylka profilu jsou závislé na funkčních plochách. Jsou voleny konstruktérem s ohledem na vyměnitelnost součástí a splnění funkce. Na nefunkčních plochách není nutné dávat speciální úchylku rozměru nebo volit jemnější R_a , jinak to vede ke zbytečnému zvyšování nákladů a pracnosti. Všechny rozměry jsou tolerovány dle výkresové dokumentace.

Hlavními kontrolovanými rozměry jsou vzdálenosti lamel od kótovací základny a vnitřní průměry součásti. Nejdůležitější je kontrola následujících geometrických tolerancí:

- soustřednost a sousost umístění (platí téměř pro všechny průměrové rozměry),
- kruhové, obvodové a čelní házení pro všechny lineární rozměry,
- kolmost děr $\phi 26$ mm ve vzdálenosti $L37,3 \pm 0,03$ mm a $\phi 31,13$ mm ve vzdálenosti $L103,51$ mm.

Všechny geometrické tolerance jsou vztaženy k základně A s rozměrem $\phi 18,98 \pm 0,007$ mm.

2.2 Hlavní ukazatelé technologičnosti

Z hlavních ukazatelů technologičnosti jsou vybrány některé podstatné [1].

2.2.1 Ukazatel jakosti povrchu obráběné plochy

Do výpočtu ukazatele jakosti obráběné plochy povrchu jsou zahrnuty všechny rozměrové výkresové tolerance. Jakosti povrchu je určena dle předepsané výkresové dokumentace.

(2.1)

$$U_h = \frac{\sum_{i=1}^h H_i \cdot n_i}{n} = \frac{(0,8 \cdot 2) + (1,6 \cdot 93) + (3,2 \cdot 53)}{148} = 2,16 \mu m$$

Výpočet ukazuje průměrnou jakost povrchu obráběných ploch.

2.2.2 Ukazatel průměrné přesnosti

Do výpočtu ukazatele průměrné přesnosti jsou zahrnuty všechny výkresově tolerované rozměry. Přesnost tolerančního stupně IT je určena dle normy ISO - ČSN EN 20286-1.

(2.2)

$$U_p = \frac{\sum_{i=1}^h p_i \cdot n_i}{\sum n} = \frac{5.2 + 6.34 + 8.2 + 9.10 + 10.7 + 11.9 + 12.22 + 13.5 + 17.11}{102}$$

$$U_p = 9,85$$

Z výpočtu vyplývá, že výkresově tolerované rozměry mají v průměru tolerance pohybující se v tolerančních mezích IT9-10, které se pohybují řádově v desetínách až setinách milimetrů platících pouze při rozměrech řešené součásti.

2.3 Volba polotovaru

Na základě hodnocení technologičnosti konstrukce se zvolil polotovar - přířez z lisované kruhové tyče. Materiál se volil z hlediska minimálních nákladů a dodržení technologičnosti konstrukce. [1]

Rozměry polotovaru.

U výkovků a odlitků se technologické přídavky na obrábění stanoví dle příslušných norem. Pro polotovary z tyčí válcovaných za tepla se přídavek na průměr určí z empirického vzorce. (2.3)

$$p = 0,05 * d + 2 = 0,05 * 127,95 + 2 = 8,3975 \text{ mm}$$

Požadovaný průměr polotovaru.

(2.4)

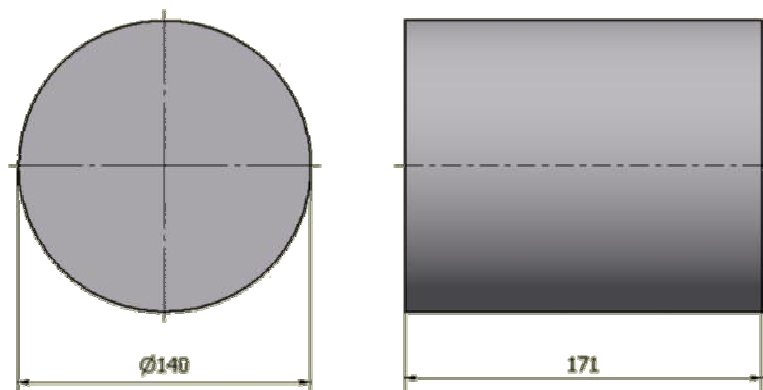
$$d_{pož} = d + p_p = 127,95 + 8,3975 = 136,348 \text{ mm}$$

Vzhledem k tomu, že se tyče o $\varnothing 136,348 \text{ mm}$ dle norem nevyrábí, je vhodnější zvolit normalizovaný průměr tyče. Nejblíže vyráběné a dodávané tyče jsou $\varnothing 135 \text{ mm}$ nebo $\varnothing 140 \text{ mm}$. Dle dostupných dodávaných tyčí je tedy zvolen průměr $\varnothing 140 \text{ mm}$.

Přídavek na délku p_d se stanoví $2 \div 4 \text{ mm}$. Vzhledem ke zvolené technologii, při které se využívá metody upichování, musí být dostatek místa pro zachycnutí polotovaru ve sklíčidle. Proto je přídavek na délku zvolen $37,49 \text{ mm}$.

Výchozí polotovar tedy bude:

$\varnothing 140\text{-}171 \text{ EN AW-7075}$ – tyč slitiny hliníku kruhová lisovaná (obr. 2.1)



Obr. 2.1 Rozměry polotovaru

2.3.1 Výpočet normy spotřeby materiálu

Normy spotřeby materiálu jsou podkladem pro výpočet výrobních nákladů. Polotovary z tyčí – přířezy se dodávají z mateřské firmy Edwards v Anglii.

Při zpracování tyčí vznikají ztráty [1]:

- při dělení,
- obráběním přídavek,
- z konce tyče, který není rozměrově využitelný.

Výpočet normy materiálu je proveden nejdříve teoreticky v příloze č. 3 a poté spočten pro variantu tyče délky 3000 mm.

Vlastní výpočet:

Celková jednotková hmotnost součástí $Q_s = 1,276 \text{ kg}$

Hmotnost polotovaru $Q_p = 7,166 \text{ kg}$

Zjištěno z programu Autodesk Inventor Professional 2011.

Hustota $\rho = 2\,722 \text{ kg/m}^3$

Průměr přířezu $d = 140 \text{ mm}$

Délka přířezu $L_p = 171 \text{ mm}$

Řezání je provedeno pomocí hydraulické pásové pily při tloušťce $u = 0,9 \text{ mm}$.

Délka přířezu s tloušťkou řezání. (2.5)

$$l = L_p + u = 171 + 0,9 = 171,9 \text{ mm}$$

Ztráta materiálu vzniklá dělením, připadajícího na jednici. (2.6)

$$q_u = u * \frac{\pi * d_p^2}{4} * \rho = 0,0009 * \frac{\pi * 0,14^2}{4} * 2722 = 0,038 \text{ kg}$$

Výpočet pro délku tyče $L_1 = 3000 \text{ mm}$

Počet přířezů z tyče. (2.7)

$$n_1 = \frac{L_1}{l} = \frac{3000}{171,9} = 17,45 \cong 17 \text{ ks}$$

Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče připadající na jednici. (2.8)

$$q_{k1} = \frac{Q_{k1}}{n} = \frac{3,238}{17} = 0,191 \text{ kg}$$

Ztráta materiálu z nevyužitého konce. (2.9)

$$\begin{aligned} Q_{k1} &= \left[L_1 * \frac{\pi * d_p^2}{4} * \rho \right] - [n_1 * q_u + n_1 * Q_p] \\ &= \left[3 * \frac{\pi * 0,14^2}{4} * 2722 \right] - [17 * 0,038 + 17 * 7,166] = 3,238 \text{ kg} \end{aligned}$$

Stupeň využití materiálu. (2.10)

$$k_{m1} = \frac{Q_s}{N_m} = \frac{Q_s}{Q_p + q_u + q_{k1}} = \frac{1,276}{7,166 + 0,0377 + 0,191} = 0,173$$

Vzhledem k tomu, že stupeň využití se ve strojírenském průmyslu pohybuje kolem 0,4 – 0,8, není zvolená metoda nejvýhodnější ekonomickou variantou. Vzhledem k potřebné přesnosti a typu vyráběné součásti, není zvolení výkovku nebo jiné varianty s následným menším úběrem materiálu možná nebo ekonomicky výhodná. [1]

Polotovary tyče kruhová lisovaná je dovážena v délce 3000 mm. Z toho vyplývá, že se za daných podmínek přířezu z tyče dosahuje pouze využití materiálu 17,3 %.

2.4 Rozbor materiálu hliníku

V rozboru materiálu hliníku je popsán hliník jako takový a poté celkové rozdělení hliníkových slitin z hlediska zpracování.

2.4.1 Vlastnosti hliníku a rozdělení jeho slitin

Hliník a jeho slitiny se v dnešní době řadí mezi nejpoužívanější prvky, řadí se do široké skupiny neželezných kovů. Ve strojírenství se čisté prvky používají pouze ojediněle, většinou se využívají ve spojení s dalšími prvky. [2]

Hliník:

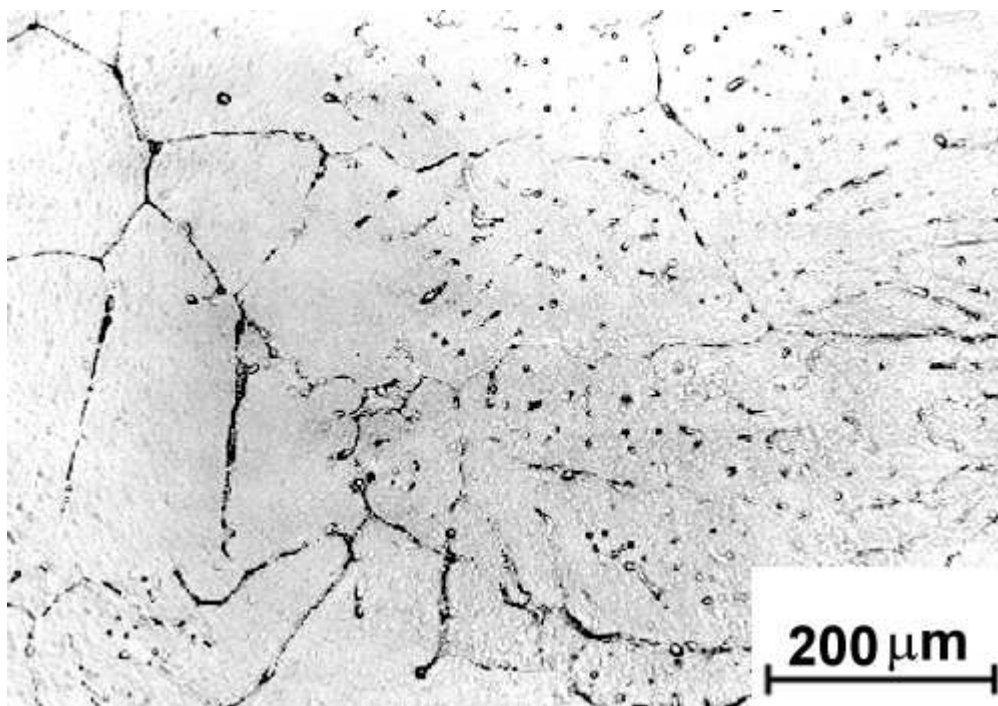
Chemické značení hliníku je Al (lat. Aluminium), je to velmi lehký kov bělavě šedé barvy. Vyznačuje se vysokou elektrickou a tepelnou vodivostí s poměrně vysokou hodnotou měrného tepla tání a vysokým poměrem meze pevnosti tahu a tlaku. Důvod využití hliníku je v jeho příznivých vlastnostech a jeho výjimečnosti oproti ostatním neželezným prvkům jako jsou např. měď, nikl a titan. Čistý hliník se ale využívá spíše výjimečně. Je to především proto, že čistý hliník má špatné mechanické a technologické vlastnosti. Pevnost v tahu nedosahuje 100 MPa, tvrdost čistého hliníku je 20-30 HB. Oproti tomu jsou velmi dobré plastické vlastnosti s tažností přesahující 20 % a jeho poměrná stálost na vzduchu. Pevnostní charakteristiku je také možné intenzivním tvářením zvýšit. [3]

Tab. 2.1 Vybrané fyzikální vlastnosti hliníku [2]

Vlastnosti	Hodnoty
Skupenství	Pevné (při 20 °C)
Teplota tavení	660,4 °C
Objemová změna při krystalizaci	6,5 %
Hustota	2.6989 g.cm ⁻³ (při 20 °C)
Tepelná vodivost	247 W.m ⁻¹ (při 25 °C)

Na obr. 2.2 je zobrazena struktura téměř čistého hliníku. Ve struktuře hliníku jsou viditelná zrna a na hranicích zrn částice nečistot ve formě intermetalických fází AlSiFe, díky čemuž se na první pohled dá usuzovat, že nejde o zcela čistý hliník. Před pozorováním byl vzorek následovně zpracován [4]:

- broušen se zrnitostí kotouče P1200, P2500,
- mechanicky leštěn diamantovou pastou,
- leptán pomocí 0,5% HF (kyselina fluorovodíková) po dobu 10 s,



Obr. 2.2 Struktura hliníku Al99,6 % [4]

Slitiny hliníku:

Hlavní využití hliníku je v jeho slitinách s ostatními prvky. Díky změně chemického složení, ke kterému dochází nalegováním jedním nebo více prvky. Při správné kombinaci prvků dochází ke změně, při které se zlepšují mechanické i technologické vlastnosti.

Rozdělení slitin hliníku se řadí do několika kritérií. Z hlediska obrobitelnosti se hliníkové slitiny rozdělují na slitiny pro odlitky, slitiny pro tváření a slitiny, které jsou přímo určené k obrábění tzv. automatové slitiny. [2]

Hliníkové slitiny pro odlitky:

Jako hlavní legující prvek používají slévárenské slitiny nejčastěji hořčík, měď, zinek nebo křemík. Jako hlavní legující prvek se pro zvýšení slévateľnosti používá křemík. Slitiny s hlavními legujícími prvky mědi, hořčíkem, nebo zinkem jsou velmi dobře obrobitelné a dají se srovnat se slitinami pro tváření. Použití je hlavně pro tenkostěnné odlitky i složitých tvarů. [2]

Hliníkové slitiny pro tváření:

Dělí se dále do dvou skupin podle mechanických vlastností. [2]

Slitiny s vysokými mechanickými vlastnostmi – vysoká pevnost s nízkou odolností proti korozi. Slitiny mědi, zejména duraly.

Slitiny se středními mechanickými vlastnostmi – menší pevnost s vyšší odolností proti korozi. Hlavní přísady hořčík, mangan a popřípadě křemík. Slitiny neobsahující měď.

Automatové slitiny hliníku:

Slitiny hliníku určené k obrábění jsou legovány prvky s nízkou teplotou tání, které mají zajistit podmínky pro tvorbu drobné lámavé třísky. To je způsobeno nerozpuštěním prvků

v základní hliníkové matici a jsou tvořeny měkké částice. Nejčastěji jsou používány slitiny Al-Cu a Al-Mg-Si. [2]

Další rozdělení slitin hliníku

Slitiny hliníku se dále dají rozdělit do dalších skupin podle různých kritérií.

Podle schopnosti slitin tepelného zpracování:

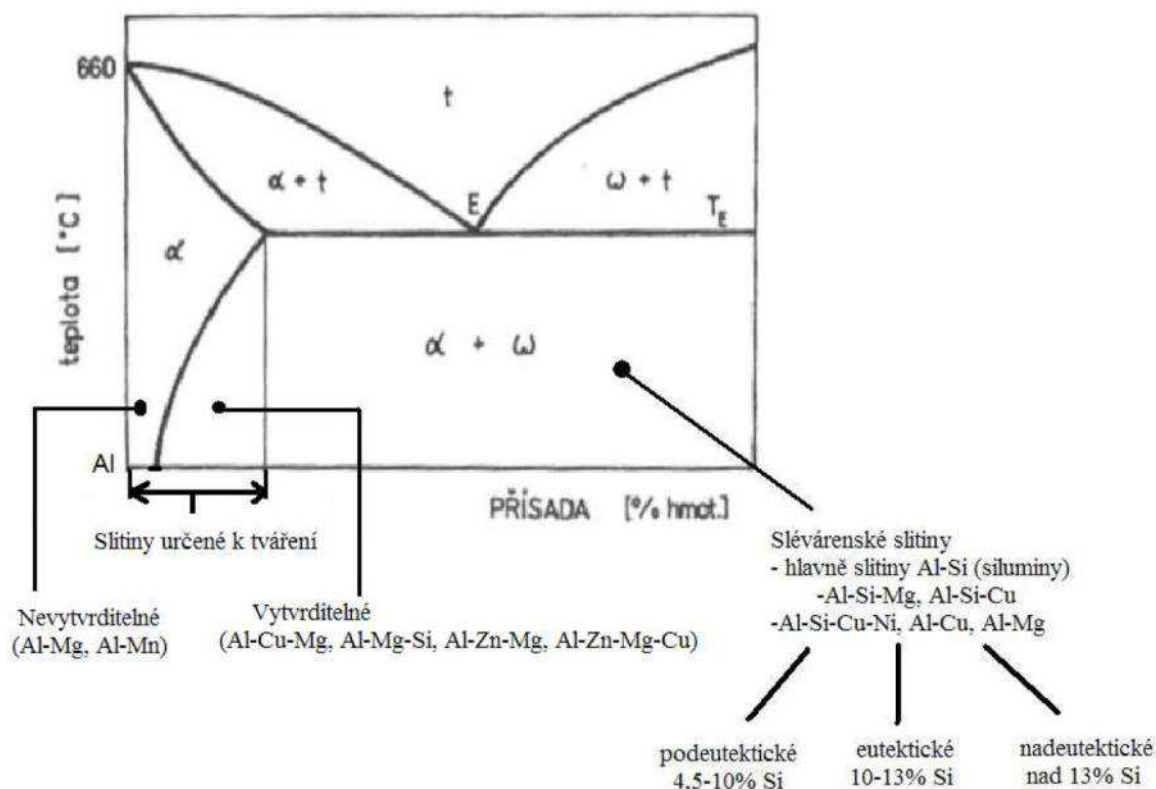
- vytvrditelné,
- nevytvrditelné.

Podle hlavních přísadových prvků:

- slitiny Al-Si (siluminy),
- slitiny Al-Cu (duraluminium),
- slitiny Al-Mg (hydrolium).

2.5 Rozbor slitiny materiálu hliníku

Materiálem je slitina hliníku AlZn5,5MgCu, která spadá mezi vytvrditelné (obr. 2.3) materiály zpracovávané tvářením. Základní materiál se vyrábí přímo lisováním.



Obr. 2.3 Rozdělení slitin hliníku [5]

Hliník a jeho slitiny se v dnešní době řadí mezi nejpoužívanější prvek, řadí se do široké skupiny neželezných kovů. Ve strojírenství se čisté prvky používají pouze ojediněle, většinou se využívají ve spojení s dalšími prvky. Hlavní využití hliníku je v jeho slitinách s ostatními prvky. Díky změně chemického složení, ke kterému dochází nalegováním jedním nebo více prvků. Při správné kombinaci prvků dochází ke změně, při které se zlepšují mechanické i technologické vlastnosti. Slitiny Al-Zn-Mg-Cu patří mezi

nejpevnější slitiny hliníku, mají dobré mechanické vlastnosti a dobrou stálost na vzduchu. Jejich nevýhodou je sklon ke korozi pod napětím, nižší lomová houževnatost a vyšší vrubová citlivost než u duralů.

Tavba hliníkové slitiny probíhá dle normy EN AW-7075 EN 573-3 T6511.

Kde:

W - tvářené slitiny,

7000 - slitiny AlZn,

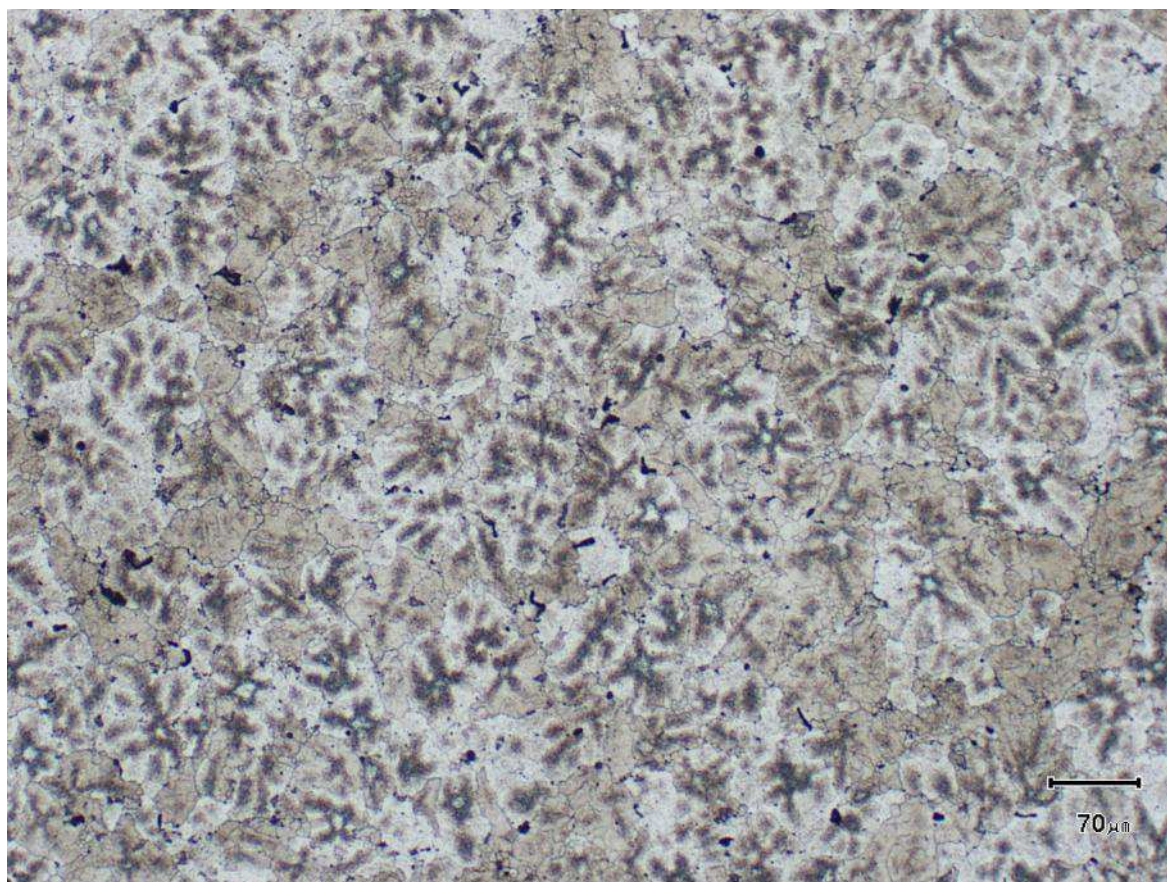
T6 – TZ je rozpouštěcí žihání a umělé stárnutí (4-6 h při T160-180 °C).

2.5.1 Chemické složení slitiny AlZn5,5MgCu

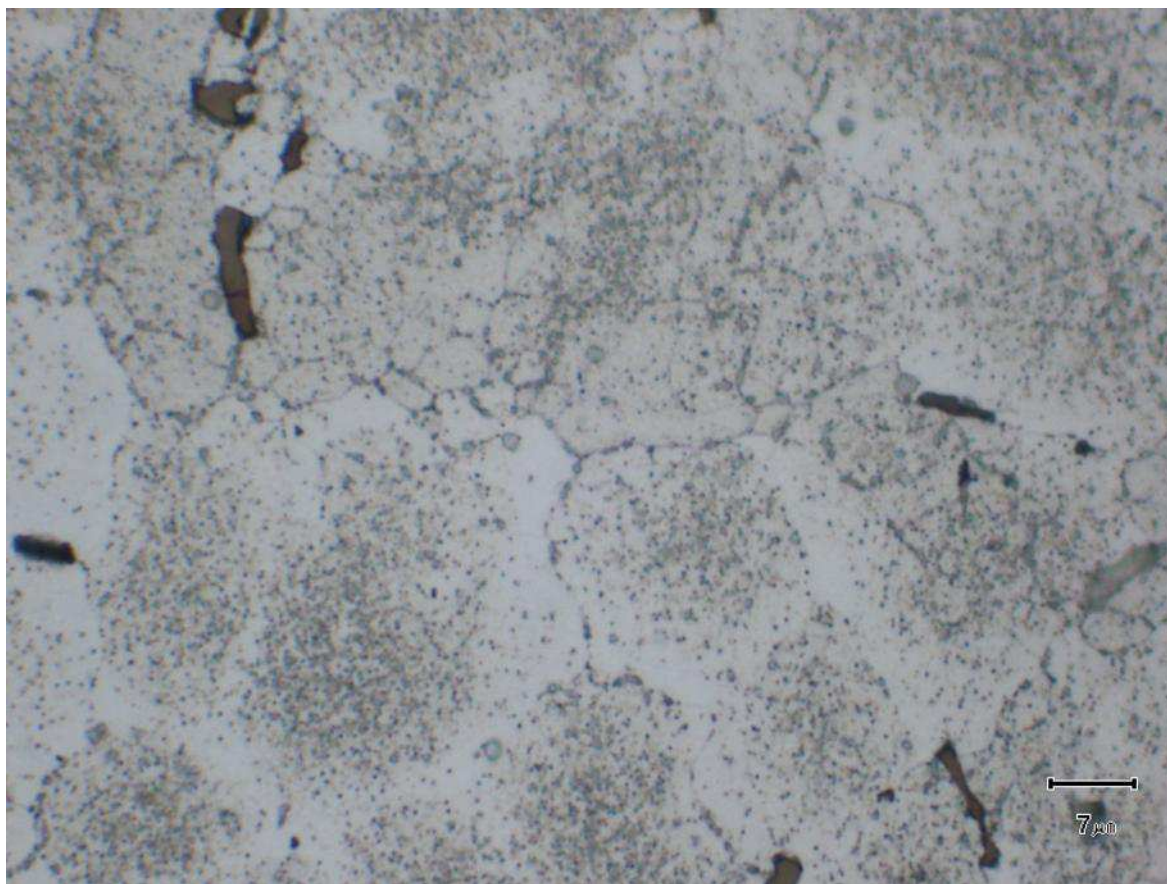
Dle normy EN AW-7075 v porovnání se vzorkem obráběného materiálu.

Tab. 2.2 Analýza chemického složení

EN AW-7075:	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Zr	Al
Předpis: min			1,200		2,100	5,100		0,180		zbytek
max	0,400	0,500	2,000	0,300	2,900	6,100	0,200	0,280	0,050	
Nález:										
Objekt: Těleso	0,129	0,244	1,284	0,199	2,267	5,474	0,031	0,214	0,001	zbytek



Obr. 2.4 Mikrostruktura slitiny hliníku AlZn5,5MgCu při zvětšení 100x



Obr. 2.5 Mikrostruktura slitiny hliníku AlZn5,5MgCu při zvětšení 1000x

Mikrostruktura slitiny AlZn5,5MgCu (EN AW 7075) je velmi složitá. V matici studovaných vzorků bylo pozorováno velké množství sekundárních fází (MgZn_2 nebo $\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$). Na poměru Zn/Mg závisí, která intermetalická fáze bude přítomna v rovnovážné struktuře [6]. Při poměru $\text{Zn/Mg} > 2$ bude přítomna fáze MgZn_2 . Při poměru $\text{Zn/Mg} < 2$ bude přítomna fáze $\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$.

Vzhledem ke změně rozpustnosti intermetalických fází v Al matici v závislosti na teplotě je umožněno vytvrzování daných slitin [2][3][5]. Substituční tuhý roztok α (Al) je tvořen Zn jako hlavním legujícím prvkem v Al. Tuhým roztokem, ve kterém jsou dále rozpuštěny ostatní legující prvky jako je např. Mg, Cu a také různé nečistoty, je tvořena základní kovová matrice. Za nečistoty jsou v základní kovové matici především považovány Fe, Si, Mn, popř. další prvky. Sekundární fáze těchto nečistot nepříznivě ovlivňují mechanické vlastnosti slitiny a to zejména tím, že tvoří vměstky velkých rozměrů. Tyto částice jsou umístěny na hranicích zrn, popř. subzrn a také uvnitř zrna [2][3][6]. Na obr. 2.4 a 2.5 je zobrazena mikrostruktura studované slitiny AlZn5,5MgCu při zvětšení 100x a 1000x. Před pozorováním byl vzorek připraven konvenčním způsobem, tj.:

- broušení za mokra, zrnitost kotouče P500, P1200, P4000,
- mechanicky leštění diamantovou pastou 3 μm , 1 μm při chlazení smáčedlem Bricant.

Přesný postup zpracování je v příloze č. 4. Další zpracování a porovnávání materiálu je v části Návrh racionalizačních opatření.

2.5.2 Vliv přísadových prvků a nečistot ve slitině hliníku

Křemík

Mezi často klíčové prvky ve slitinách hliníku patří křemík. Kromě toho, že pozitivně působí na řadu slévárenských a dalších vlastností, zásadně ovlivňuje jejich obrobitelnost. Z hlediska opotřebení nástroje se rozděluje na podeutektické, eutektické a nadeutektické. Nadeutektické slitiny, které obsahují hrubé částice křemíku, způsobují rychlé opotřebení na řezném nástroji. Opotřebení zpravidla závisí na velikosti obsahu křemíku, s výjimkou slitiny s obsahem křemíku kolem 12 %, která má měkkou matici, do které se tvrdé částice křemíku zatlačí a nedochází tak k opotřebení nástroje. [2]

Železo

Železo je ve slitinách hliníku vždy přítomné. Je dominantní příměsí v komerčně vyráběných slitinách a je běžnou nečistotou ve slitinách hliníku. Často je přidáváno nechtěně užitím ocelových nástrojů pro tavení a odlévání nebo přimícháním železa nebo rzi do tavného materiálu. Do některých slitin se železo přidává záměrně, i když jeho obsah obvykle nepřesahuje hodnotu 1 hm. %. Mezi nejběžnější slitiny patří Al – Cu – Ni, kam je železo přidáváno pro zvýšení vysokoteplotní pevnosti, nízkolegovaná slitina Al – Mg, ve které má železo klíčový význam při redukci, slitiny Al – Fe – Ni, do kterých je Fe přidáváno za účelem snížení koroze v parách při zvýšených teplotách. [2]

Měď

Mezi jedny z nejdůležitějších prvků ve slitinách hliníku je měď, vyznačuje se její značnou rozpustností v hliníku a zvyšuje tvrdost a pevnost za pomoci vytvrzování. Ke zpevnění dochází za nízkých teplot tepelným zpracováním, při vysokých teplotách dochází k tvorbě slitin s niklem, železem, manganem, atd. Mnoho slitin hliníku obsahují měď jako základní prvek nebo působí společně s dalšími legujícími prvky. Tyto slitiny jsou určeny pro dlouhodobou funkci za teplot 350 - 450 °C. V porovnání se siluminy mají větší teplotní interval krystalizace 90 – 100 °C. Mezi nevýhody patří menší zabíhavost, větší sklon k tvorbě trhlin za tepla při tuhnutí odlitku a k pórovitosti, snížení tvárnosti, plasticity a hlavní nevýhodou a nedostatkem je sklon ke korozi. Proto musí být zajištěna povrchová úprava. Z hlediska obrobitelnosti díky mědi vzniká krátká, snadno lámavá tříska při dosažení velmi kvalitního povrchu. [3,4,6]

Mangan

Mangan se dodává do slitin hliníku za účelem zvýšení pevnostních vlastností a zvýšení rekrytalizační teploty avšak v případech, kdy je přítomen ve formě nerozpustných intermetalických sloučenin, plasticita obvykle klesá. Mangan způsobuje zjemnění zrna, blokování růstu zrn v případě jeho vyloučení ve formě disperzních precipitátů, zvýšení citlivosti ke kalení, potlačení nebo vyloučení železa v destičkovém tvaru a vytvoření intermetalické fáze. Dalším důležitým rysem manganu při jeho účinku na hliník a hliníkové slitiny je snížení náchylnosti k interkrystalické korozi a korozi pod napětím [2].

Hořčík

Hořčík je velmi důležitým prvkem ve slitinách hliníku, který umožňuje zvýšení pevnosti a odolnosti proti korozi. Spolu s mědí způsobuje, že je materiál schopen precipitačního vytvrzení. Redukuje teplotu tavení na 451 °C. Vzhledem k tomu, že za vysokých teplot je rozpustnost Mg v Al značně vysoká, při homogenizačním žhání se částice v matici hliníku zcela rozpouští. Hořčík vytváří přednostně fáze s mědí, ve slitině bez mědi však reaguje s železem a tvoří komplexní eutektikum s teplotou tuhnutí 554 °C. Tato fáze výrazně snižuje tažnost litiny. [3]

Zinek

Zinek výrazně zvyšuje pevnost, tekutost slitin a jejich zabíhavost, zlepšuje obrobitelnost. Při tlakovém lití se snižuje lepení kovu na formy. Při obsahu do 2 až 3 % Zn dochází k mírnému zvýšení mechanických vlastností. Při vyšším obsahu však roste sklon ke vzniku trhlin a mírně snižuje korozivzdornost. [3]

Titan

Titan je běžnou příměsí v hliníku, protože TiO_2 je vždy přítomen v bauxitu. Titan se přidává obvykle k řadě průmyslových slitin hliníku z důvodu vysoce efektivní modifikace při lití a snižuje velikost zrn. [2]

Chrom

Pomocí chromu se dosahuje snížení náchylnosti k růstu zrn. U slitiny Al-Mg ztěžuje proces rekrytalizace, rovněž jako u slitin Al-Mg-Si a Al-Mg-Zn. Místo toho u vytvrditelných slitin zvyšuje kalitelnost. [2]

Zirkonium

Zirkonium je u některých slitin legováno v množství 0,1-0,3 %. U lité slitiny Al-Mg-Zn, zirkonium slouží ke zjemňování struktury. Používá se hlavně u slitiny vykazující superplasticitu s cílem zachování jemné struktury. [2]

2.5.3 Mechanické vlastnosti slitiny AlZn5,5MgCu

Dle normy EN AW-7075 v porovnání se vzorkem obráběného materiálu.

Tab. 2.3 Mechanické vlastnosti

EN AW-7075		R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A [%]	HBW
Norma:		530,00	470,00	6,00	-
Nález:					
Tavba:	č. 1	557,33	494,20	8,37	146,00
	č. 2	480,00	410,00	2,00	130,00
	č. 3	540,00	485,00	5,00	150,00

Materiálový rozbor a metalografické snímky jsou koherentní s mechanickými vlastnostmi z tavby č. 2. S porovnáním ostatních mechanických vlastností tavby č. 1, č. 2 a č. 3, lze vidět odlišné mechanické vlastnosti.

3 ROZBOR STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ

Při výrobě této součásti se použije technologie třískového obrábění. Jedná se o odebrání materiálu ve formě třísek k dosažení výsledného tvaru součásti. V rozboru stávající technologie obrábění je provedeno rozdělení použitých metod do jednotlivých částí. Následně je rozpracováno použitého strojního vybavení a nářadí pro jednotlivé části procesu. Po seznámení s výrobní linkou je rozebrán technologický postup.

3.1 Použité stroje a nářadí

Rozdělení použitých metod a informace k jednotlivým strojům a nářadí použité ve firmě Edwards.

3.1.1 Soustružení

Úběr materiálu ve formě třísek. Hlavní rotační pohyb koná obrobek a vedlejší nástroj. Touto metodou se bude obrábět vnitřní i vnější tvar součásti. K vytvoření popisu na čele a vrtání díry průměru 2,7 mm s následným tvářením závitu M3 koná hlavní rotační pohyb nástroj a vedlejší obrobek.

K výrobě součásti bylo použito Soustružnické centrum OKUMA LU25-M (obr. 3.1) s řídicím systémem OSP-U100L. Soustružnické centrum má k dispozici dvě vřetena a jeho technická data jsou v tabulce č. 3.1.



Obr. 3.1 Soustružnické centrum OKUMA LU25-M

Tab. 3.1 Technická data soustružnického centra [8]

OKUMA LU25-M	
Specifikace	4D
Nástrojová vřetena	2
Řídicí systém	OSP-U100L
Otáčky vřetene	3200 min ⁻¹
Kapacita nástrojů	22
Maximální průměr	ø420 mm
Maximální délka	1250 mm
Vnitřní průměr vřetena	ø80 mm
Příkon	15 kW

Vzhledem ke stáří stroje už je nutno používání omezených otáček do 2000 min⁻¹.

Nástroje na výrobu součásti ve firmě EDWARDS v mateřské firmě v Londýně byly zvoleny na základě funkčnosti a trvanlivosti za předpokladu, že budou dodrženy výkresové tolerance. Nástroje byly vybrány z různých firem jako WNT (PLANSEE), WALTER, GRAHAM&HARRISON, JAYESSTOOLS, ALLIED, STELLRAM, HORN a jiné. Tabulka použitých nástrojů je v příloze č. 5. Značení nástrojů je pouze orientační. Značení povlaků materiálů pro jednotlivé firmy je uvedeno v příloze č. 6. V příloze č. 6 jsou rovněž uvedeny řezné materiály pro obrábění slitin hliníku a jejich chlazení.

Upínání

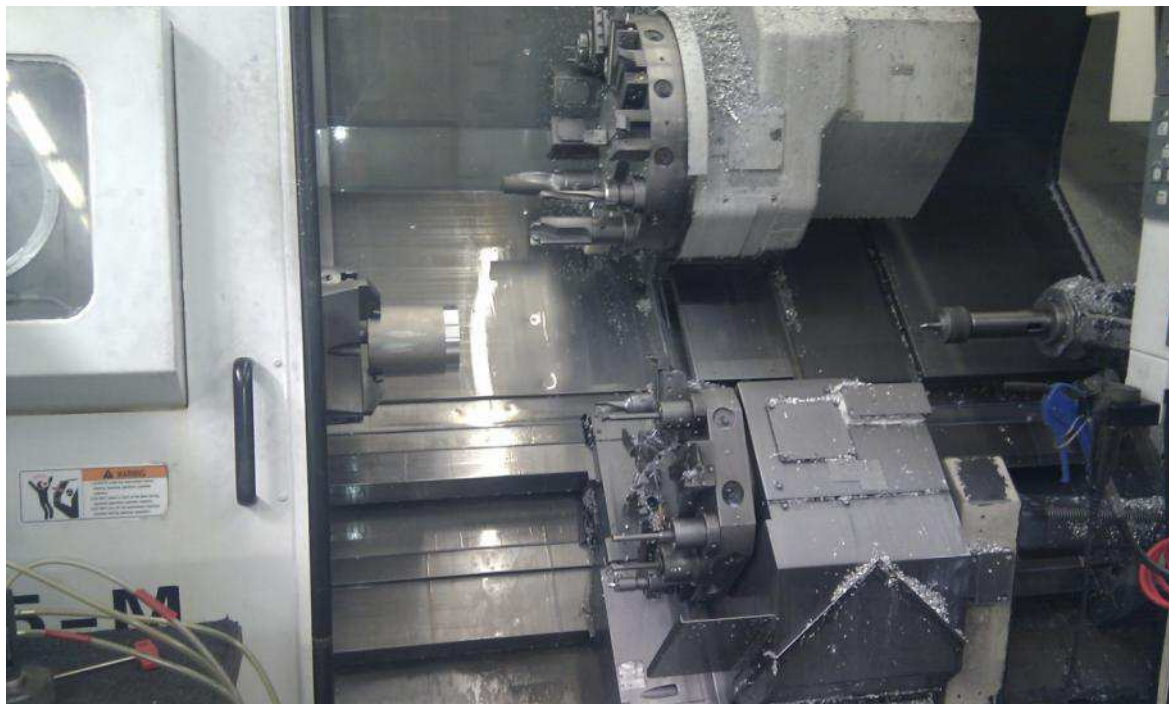
Při soustružení je využito tří druhů upínání a to tříčelistového sklíčidla s průchozím otvorem, tříčelistového sklíčidla s průchozím otvorem s využitím podpěrného otočného hrotu a v poslední řadě je součást upnuta za hydraulický rozpínací trn, který má upínací rozpětí od ø18,974 - ø18,987 mm a po nasazení a přišroubování na vřeteno probíhá jeho kalibrace.

Tříčelistové sklíčidlo s průchozím otvorem:

Je univerzálním upínačem pro rotační součásti do určitého průměru. Obrobek je upnut sevřením jeho vnějšího průměru vnitřním průměrem kleštiny. Podle druhu kleštin lze také upínat rozevřením kleštin za vnitřní průměr obrobku. Zajišťuje osové upnutí obrobku. Vyznačují se nižším poklesem upínací síly se zvyšováním otáček. V univerzálních sklíčidlech lze upínat jen takové obrobky, které jsou dostatečně tuhé a jejichž vyčnívající délka nepřesahuje pětinasobek jejich průměru. Při větším vyložení je nutné podepřít volný konec obrobku otočným hrotem.

Tříčelist'ové sklíčidlo s otočným hrotem:

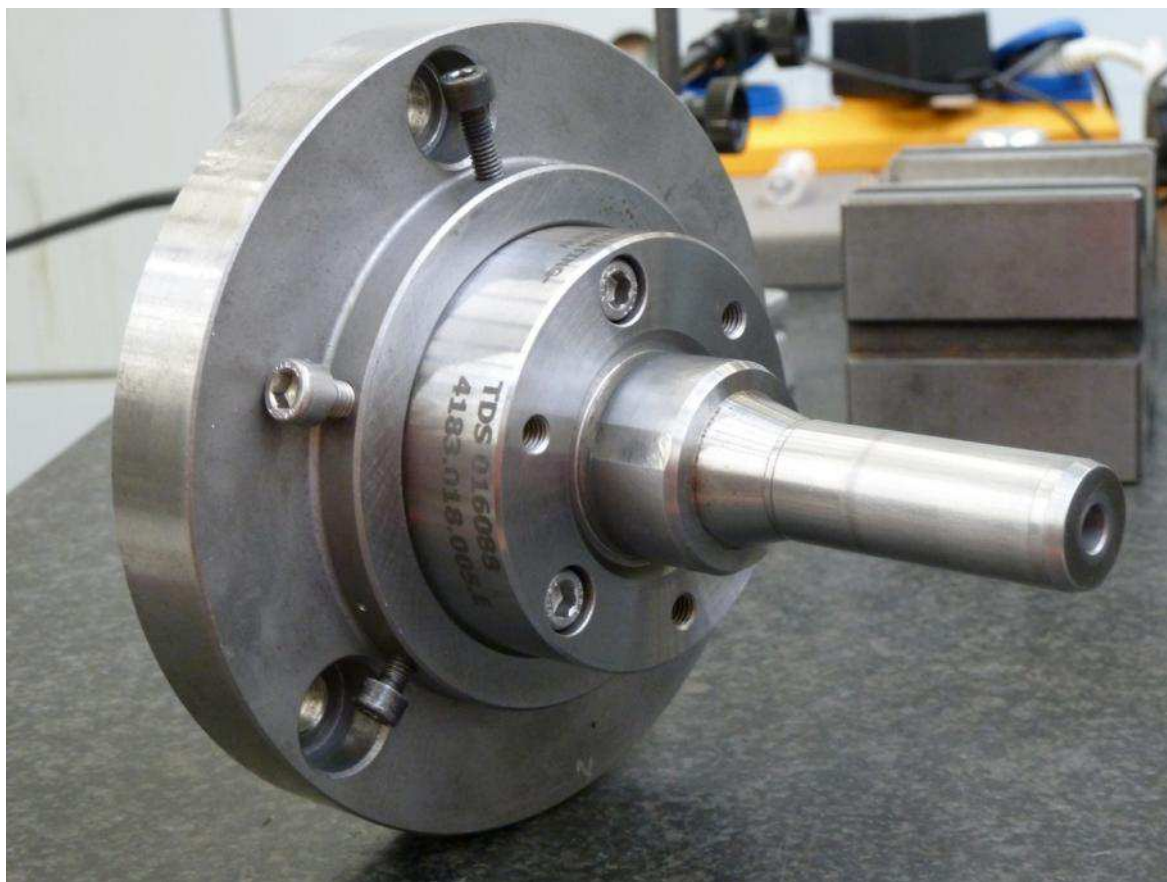
Pro využití otočného hrotu musí být navrtán středící důlek v součásti nebo jinak předvytvořená díra menšího průměru. Soustava upnutí slouží zejména k podepření rozměrově dlouhých obrobků. Otočný hrot se v tomto případě užívá hlavně pro hrubování vnějších rozměrů díky vyšší stabilitě upnutí. Využití pro práci s vyššími řeznými podmínkami.



Obr. 3.2 Tříčelist'ové sklíčidlo s obrobkem

Hydraulický rozpínací trn:

Obrobek je nasazen na trn až po axiální doraz. Hydraulický trn je rozpínán jeho vnějším průměrem, který dosedne na vnitřní průměr obrobku. Zajišťuje osové upnutí obrobku. Vyznačují se nižším poklesem upínací síly se zvyšováním otáček. Trn se rozpíná díky utahování šroubu, který vtlačuje axiálně ve směru k obrobku kužel s následným tlakem na hydraulickou kapalinu. Kontakt s upínaným dílcem se děje ve větší ploše upnutí a proto je jeho využití k upínání tenkostěnných nebo k deformaci náchylných obrobků.



Obr 3.3 Hydraulický rozpínací trn

3.1.2 Kontrola měření

Pro kontrolu měření vnitřních rozměrů mezi lamelami je využito digitálních posuvných měřidel. Vnější průměry jsou měřeny pomocí mikrometrů 100-125 mm a 125-150 mm. K měření výškových rozměrů se využívá zařízení Trimos Vertical 3, pro přesné měření vnitřních děr se využívá vzduchových kalibrů. Závity M3 se měří pomocí závitových kalibrů M3. Všechna využitá ruční měřidla jsou v příloze č. 7. Přesné zjištění geometrických závislostí je zajištěno pomocí souřadnicového měřicího stroje Contura HTG na obrázku 3.4, které je od firmy Carl Zeiss s operačním systémem Calypso. Měření probíhá za teploty 22 °C

Měření pomocí souřadnicového stroje (CMM):

Souřadnicové měřicí stroje (CMM) jsou zařízení pro měření geometrických vlastností objektu, na kterých nastaly fyzikální změny během předchozích procesů. Stroj může být ručně ovládán obsluhou, ale zpravidla je ovládán počítačem. Sondy mohou být mechanické, optické a laserové. Stroj CARL ZEISS CONTURA HTG s operačním systémem CALYPSO měří pomocí dotykových sond. Stroj pracuje na principu CAD systému. Rozměry jsou definovány sondou připevněnou na tří pohyblivou osu tohoto stroje. Jde o princip dotyku sondy s měřenou plochou. Sonda snímá body, které se pak vyhodnocují. [7]



Obr. 3.4 Souřadnicový měřicí stroj Contura HTG

Pro měření na tomto stroji je využito kuličkové sondy na obrázku 3.5 průměru 3 mm.



Obr. 3.5 Kuličková sonda [9]

Měření pomocí dílenských měřidel:

Pomocí dílenských měřidel se měří délky, průměry a hloubky. Je využito posuvných měřidel pro měření lamel, zařízení pro vertikální měření Trimos Vertical 3, mikrometrů pro přesné měření průměrů a vzduchových kalibrů pro měření geometrických děr.

3.2 Výrobní postup

Technologický postup je návod výroby součásti podle operací na vybraném obráběcím stroji Okuma LU25-M s nástrojovou výbavou v příloze č. 5. Technologický postup byl vypracován na základě podkladů, které byly vytvořeny z programu použitého ve firmě Edwards a zpracovány do tabulek v příloze č. 8. Vzhledem k tomu, že celý postup je zaměřen pouze na soustružení na jednom stroji, tak je v tabulce uveden vždy jen postup a použité nástroje s řeznými podmínkami. Číslování bylo zvoleno tak, aby jednotlivé kroky korespondovaly s operací upnutí a použitým nástrojem, to znamená, že první číslo značí počet aktuálního upnutí a druhé číslo změnu nástroje v konkrétním upnutí.

Součást je vyrobena na 3 upnutí. Při prvním upnutí se zarovná čelo a vyrobí odsazení na přechytnutí součásti. Předvrtá se a předsoustruží vnitřní průměr díry. Při druhém upnutí za předsoustružený průměr se zarovná čelo a vyvrtá neprůchozí otvor, v něm navrtá díra pro následnou podpěru otočným hrotem. Po podepření se dokončí vnější tvar jako příprava pro zapichování, průběh zapichování se rozdělí na hrubování zapichovacími noži šířky 6 mm a poté noži šířky 3,1 mm. Následně odjede otočný hrot a vyvrtá se díra v celé délce. Zarovná se čelo s odsazením a předhrubují se vnitřní rozměry. V další části se na dvě fáze dokončí zapichovacími noži vnější tvar. Vyhотовí se čelo na požadovaný rozměr a znovu přesoustruží vnější průměry lamel, protože se po dokončení zapichovacími noži vlivem elasticity a vlivy tepla částečně roztáhly. Dále se dokončí na dvě fáze vnitřní díra z jedné strany. Proběhne upíchnutí součásti a zachytnutí za plastový chytač. Součást se vyjme z plastového chytače a jako 3. upnutí se nasadí na hydraulický rozpínací trn. Dokončí se vnitřní tvar z druhé strany. Hrubuje se detail B. Dokončí se sražení ve vnitřních dírách. Dále se zkompletuje zápich čela v detailu B. Dokončení detailu C dokončovacím nožem. Popisovací nástroj s externími otáčkami, vytvoří popis na čele dle izometrického pohledu. Za pomoci externích otáček se také vytvoří díry po obvodu ve dvou délkách a následně se v nich bude tvářet závit M3.

Jednotkový strojní čas pro současný výrobní postup:

Jednotkový strojní čas po 1. a 2. upnutí:	13 min a 10 sec
Jednotkový strojní čas po 3. upnutí:	6 min a 50 sec
Celkový čas pro výrobu jednoho kusu:	20 min

Pro současný výrobní postup je celkový jednotkový strojní čas 20 min. Kde je 1. a 2. upnutí polohováno do tří čelistového sklíčidla s jednotkovým strojním časem 13 min 10 sec. Pro 3. upnutí je nutno vysadit sklíčidlo a nasadit hydraulický rozpínací trn a spustit druhou část programu, která běží po dobu 6 min a 50 sec. Nejdelší časové úseky jsou v operačním úseku dokončování a to zejména při obrábění vnější části (lamel) součásti zapichovacími noži a při obrábění vnitřní části součásti.

4 VYTYPOVÁNÍ PROBLÉMOVÝCH OBLASTÍ

Tato kapitola je zaměřena na vytypování problémových oblastí z hlediska jejich minimalizace a zvýšení produktivity za předpokladu funkčnosti celého procesu. Vytypování problémových oblastí naznačuje možné řešení a racionalizaci dosavadních postupů.

Mezi hlavní problémy při výrobě ve společnosti Edwards patří především nedodržení geometrických tolerancí vůči základně A, vzhledem k počtu upnutí a nepřesnosti při jednotlivých dokončovacích operacích vůči sobě. Během obráběcího procesu se některé výkresové rozměry stávají taktéž problémovými, většinou se tak stává přímo u délkových rozměrů lamel. Mezi další podstatné problémy patří vznik vibrací při velkých radiálních silách, které se neutlumují během procesu.

4.1 Změna dovozce materiálu

Hlavní problémovou oblastí je různorodý stav daného materiálu, který je dodáván při značně různých mechanických vlastnostech, u kterých je problém seřadit linku na plynulou výrobu za konstantních výrobních dávek.

4.2 Technologie postupu

Technologie postupu je z hlediska racionalizace koncipována do několika sekcí. Tyto sekce budou řešit jednotlivé problémy, které ve výsledku budou zkombinovány do jednotlivých celků technologických postupů. V řešených sekcích bude rozbor následujících navrhovaných změn:

- úprava technologie postupu pro změnu tuhosti soustavy S-N-O, zejména snaha o nalezení technologické varianty, při které by se snížil počet upnutí, nebo zamezila nepřesnost při dokončovacích operacích,
- změna rozměrů obrobku a technologického postupu za účelem zvýšení využití materiálu,
- změna technologie postupu pro snahu o maximální snížení vibrací při procesech, v kterých nabývá vznik velkých radiálních sil,
- změna nástrojových úhlů a rezného materiálu,
- úprava rezných podmínek.

4.3 Seřízení teploty procesu

Vhodnou metodou pro seřízení celého procesu i výsledného využití vyráběného tělesa by bylo vhodné zjištění teplot při procesu obrábění ve všech výrobních částech a seřadit teploty pro výslednou teplotu tělesa při její funkci.

5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro experiment byl vybrán zapichovací nástroj, který je nejdéle v záběru a patří mezi nejovlivnitelnější činitele procesu soustružení, protože v samotném obráběcím procesu je používán jak na částečné hrubování, tak polodokončení a dokončení vnějšího tvaru součástí. Tedy ovlivňuje výslednou jakost povrchu většiny vnějších průměrů (všech lamel) a významně také ovlivňuje celkový strojní čas. V experimentu se hodnotí velikosti sil (především radiálních) při použití různých utvařečů třísek s destičkami od firmy PRAMET a destičkou používanou ve firmě Edwards která je od firmy WNT se speciálním povlakem od firmy Ionbond Czechcoating s.r.o. Velká a významná část teorie zapichování je uvedena v příloze č. 9.

Měření probíhalo v dílnách FSI VUT v Brně, na ústavu strojírenské technologie, odboru technologie obrábění. Obráběný materiálem je polotovár EN AW-7075 T6510 se základními rozměry $\phi 140$ -171 mm.

5.1 Strojní vybavení

Experiment byl prováděn za pomoci univerzálního hrotového soustruhu SU50A-SP TOS KURIM s univerzálním čítačem otáček. Stroj je znázorněn v příloze č. 10 s tabulkou technických parametrů. Chlazení bylo zajištěno za pomoci kapaliny CIMSTAR 597 (standard) od firmy CIMCOOL s 5% koncentrací roztoku.

Nástroje byly vybrány dle výrobních katalogů pro dané VBD od firmy WNT a PRAMET. V obou případech jde o modulární systém s upínací planžetou se samosvorným lůžkem. Modulární systém se sestavuje v základu s nožovým držákem, do kterého se upne vyměnitelná planžeta zajištěná třemi šrouby. Ve vyměnitelné planžetě je pro VBD samosvorné lůžko do kterého se vloží příslušná VBD a zajistí se mírným poklepáním dřevěnou paličkou, přesného dosednutí VBD do lůžka proběhne až při samotném procesu zapichování. Nožový držák E20R00-2020J s upínací planžetou E20R20-FX3.1 od firmy WNT je znázorněn na obrázku č. 5.1 a nožový držák MS EN 2020K s upínací planžetou XLCFN 250215-3.00 od firmy Pramet je znázorněn na obr č. 5.2.



Obr. 5.1 Nůž firmy WNT



Obr. 5.2 Nůž firmy Pramet

Mezi testovanými destičkami byly VBD firmy PRAMET LFMX 3.1-0.20SN-F2 (mat. 8030), LFMX 3.1-0.20SN-M2 (mat. 8030), LFMX 3.1-0.20EN-F1 (mat. 8030). VBD firmy WNT FX3.1N0.15-ALP se speciálním povlakem od firmy Ionbond Czechcoating s.r.o. Utvařeče destiček jsou znázorněny na obrázku č. 5.3.

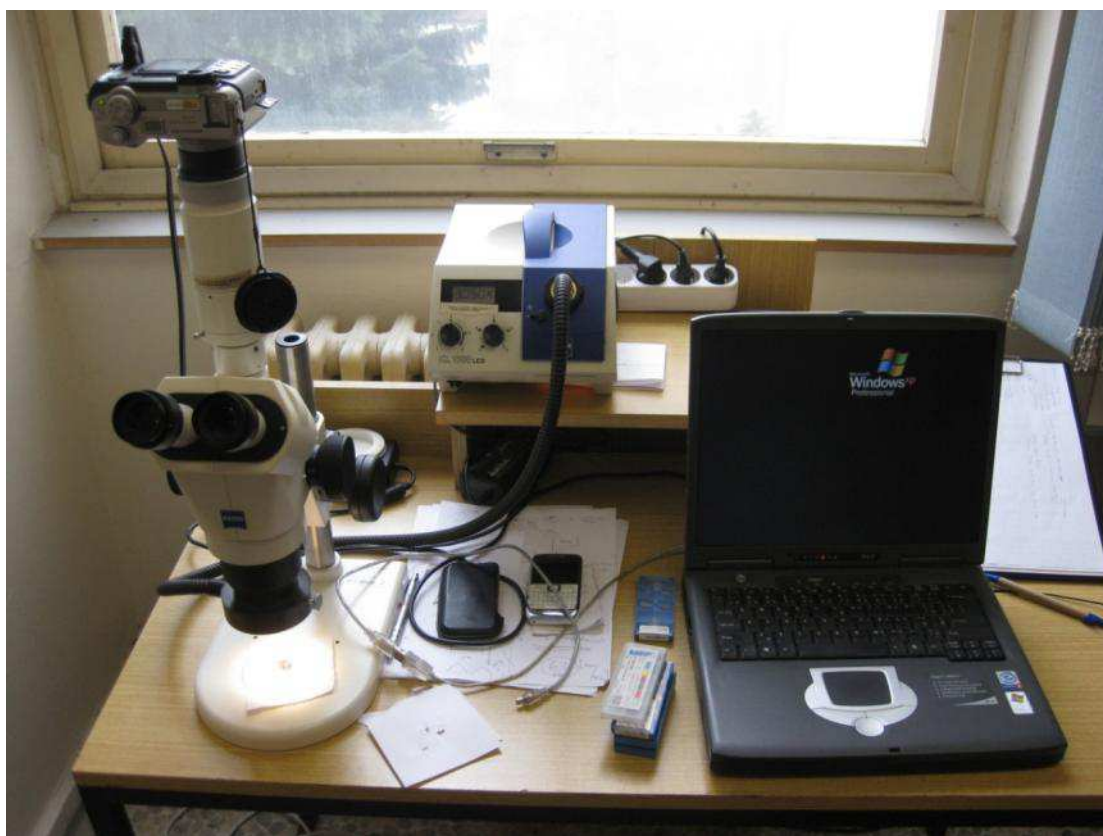


Obr. 5.3 Typy utvařečů třísek, z leva WNT, F1, M2, F2.

Materiál upichovacích destiček firmy Pramet, který se označuje pod číslem 8030, je submikronový substrát typu H, který je podkladovým materiálem složeným z WC s vysokým obsahem Co. Nanostrukturní gradientní povlak tvoří kombinace prvků TiN a TiAlN. VBD od firmy WNT mají složení nepovlakovaných destiček WC s obsahem Co v základní matici a dále jsou destičky přeposlány do firmy Ionbond Czechcoating s.r.o., kde jsou povlakovány gradientní vrstvou TiCN s kluznou vrstvou PLC. Podrobnosti o materiálu, povlaku a jeho vlastnostech jsou popsány v příloze č. 6.

Měřicí mikroskopy sloužily zejména ke zjištění opotřebení. Na sestavě od firmy Carl Zeiss (obr. č. 5.4), která obsahovala mikroskop Stemi 2000-C se studeným světelným zdrojem KL 1500 a fotoaparát DSC-S75 napojený do notebooku, byly zajištěny fotky opotřebení.

Na ruském mikroskopu TP-1 s posuvným noniem bylo změřeno opotřebení s přesností $5\text{ }\mu\text{m}$.



Obr. 5.4 Sestava mikroskopu od firmy Carl Zeiss



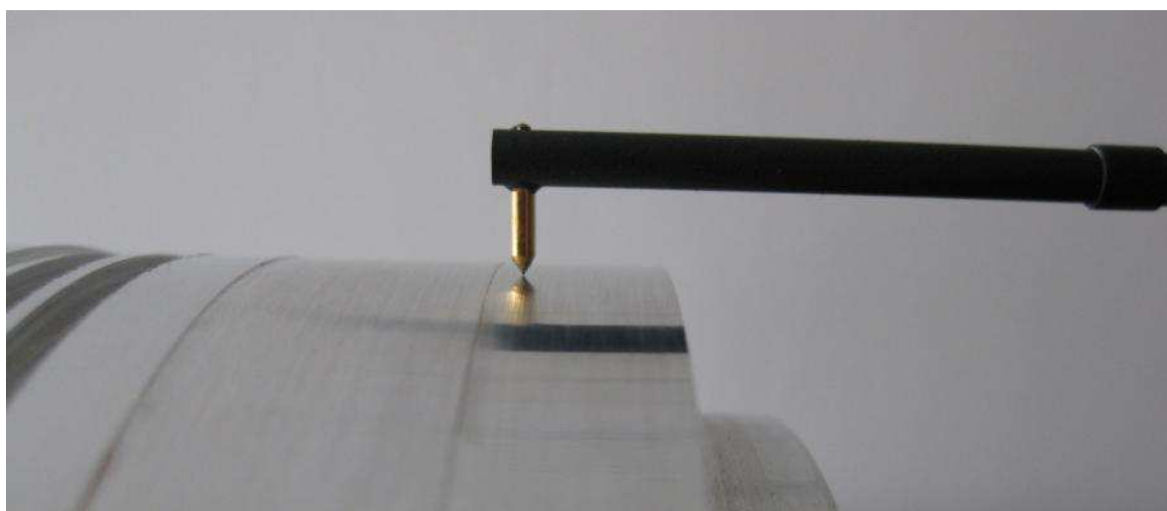
Obr. 5.5 Ruský mikroskop TP-1

Drsnoměr firmy Taylor Hobson (obr. č. 5.6), Form Talysurf 50 s držákem 112/2564-1845 a standardním kuželovým diamantovým hrotem. Drsnoměrem jsou získány hodnoty profilu povrchu R_a , R_p , R_v , R_z , R_{mr} . Teorie profilu povrchu je v příloze č. 11.



Obr. 5.6 Drsnoměr Form Talysurf 50

Držák č. 112/2564-1845 se standardním kuželovým diamantovým hrotem je na obr. č. 5.7.



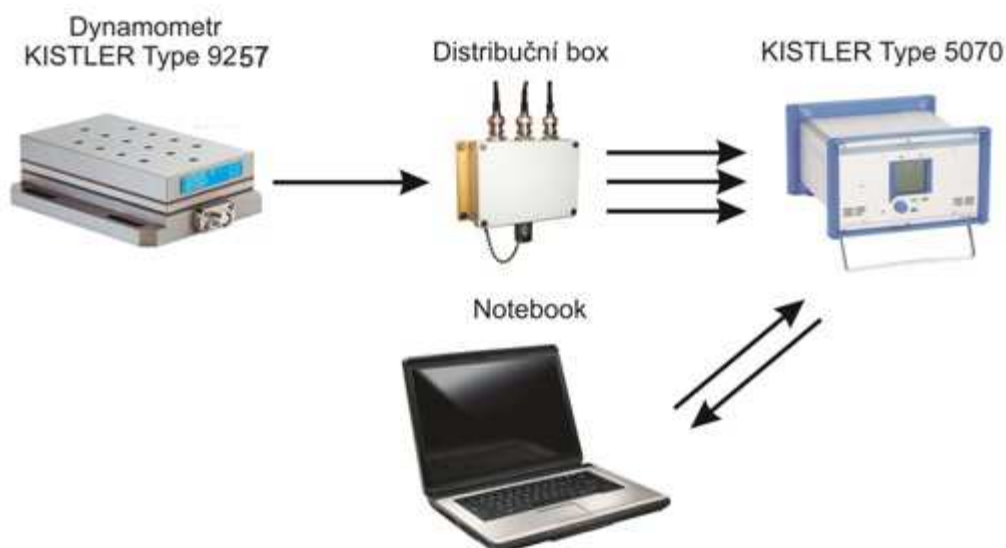
Obr. 5.7 Kuželový diamantový hrot

Tabulka 5.1 Strojní vybavení

Obráběcí stroj:	Univerzální hrotový soustruh SU50A-SP
Nástroje:	Modulární nůž, firma Pramet Tools Nožový držák MS EN 2020K Upínací planžeta XLCFN 250215-3.00 Modulární nůž, firma WNT Nožový držák E20R00-2020J Upínací planžeta E20R20-FX3.1
VBD:	Pramet tools: LFMX 3.1-0.20EN-F1 LFMX 3.1-0.20SN-F2 LFMX 3.1-0.20SN-M2 WNT VBD – FX3.1N0.15-ALP
Materiál VBD:	Pramet 8030 (WC-Co,TiN,TiAlN) WNT speciál (WC-Co,TiCN+PLC)
Utvařec VBD:	Pramet - F1, F2, M2 WNT - ALP
Měřicí přístroj:	Piezoelektrický dynamometr Kistler 9257B
Zesilovač:	Kistler type 5070, 8 kanálový
Software:	DynoWare 2825A – 02, verze 2.4.1.5
Procesní kapalina:	CIMSTAR 597, 5% koncentrace roztoku firma CIMCOOL
Drsnoměr:	Profiloměr Taylor Hobson, Form Talysurf 50 držák profiloměru 112/2564-1845
Optický měřicí přístroj:	Ruský měřicí mikroskop TP-1
Optický měřicí přístroj s fotoaparátem:	Mikroskop Carl Zeiss, Stemi 2000-C Studený světelný zdroj Carl Zeiss, KL1500 LCD Fotoaparát Carl Zeiss, DSC-S75

Měřicí obvod byl zapojen dle obr. 5.8. Piezoelektrický dynamometr Kistler typ 9257B byl připevněn na soustruhu, na místo nožových saní s nožovou hlavou, takže přímo na podélném suportu. Z dynamometru byl kabelem zajištěn tok dat do distribučního boxu, kde byl dále rozdělen třemi konektory do 8 kanálového měřicího zesilovače firmy Kistler typ 5070A. Poslední sekvencí obvodu je notebook se softwarem DynoWare 2825A-02, verze 2.4.1.5.

Piezoelektrický dynamometr 9257B měří silové zatížení v osách X, Y, Z. Software DynoWare 2825A-02 zpracovává při procesu zapichování nebo podélném soustružení silová zatížení ve všech osách do souborů číselných dat, které vykresluje v příslušných grafech v závislostech jednotlivých sil na čase. Při experimentu bylo silové zatížení měřeno s různými délkami časů podle jednotlivých procesů.



Obr. 5.8 Měřicí obvod

5.2 Příprava měření

Před samotným procesem měření byl navrhnout postup tak, aby odpovídal co nejlépe reálným výrobním podmínkám ve firmě Edwards. Podmínkou bylo třeba dosáhnout s dostupným umožněným vybavením. Proces experimentu byl rozdělen na 4 fáze, kde v první fázi se simuluje proces hrubování, ve druhé fázi probíhá simulace polodokončování, v třetí etapě je proces dokončování a ve čtvrté fázi se aplikuje simulace podélného soustružení. Pro všechny fáze obrábění byly stanoveny výchozí řezné podmínky, které jsou uvedeny v tab. 5.2.

Tab. 5.2 Podmínky při experimentu

WNT & PRAMET	f_n [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	$n_{střed}$ [min ⁻¹]	a_p [mm]	$D_{poč}$ [mm]	D_{kon} [mm]	T [s]
Hrubování	0,18	385	905	3,1	138	133	0,921
Polodokončení	0,22	300	720	0,2	138	127,6	1,969
Dokončení	0,2	400	960	0,2	138	127,6	1,625
PS, polodok.	0,22	300	729	0,1	L = 12 mm		4,489
PS, dokončení	0,074	400	973	0,05	L = 6 mm		5

Pro všechny operace byly otáčky určeny na základě středního průměru obráběného celku. Pro výpočet otáček byl upraven vzorec 17.2 v příloze č. 9 s výsledným vztahem 5.1. Nastavení otáček bylo manuální s odchylkou $\pm 2 \%$ od vypočtených hodnot.

(5.1)

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

Porovnány budou VBD mezi sebou z hlediska složek celkové síly při zapichování v hrubovacích i dokončovacích operacích. Zhodnoceny budou i drsnosti povrchu při podélném dokončovacím soustružení. Všechna porovnání budou v závislosti na materiálu a utvařecí třísce jednotlivých typů VBD.

5.3 Průběh měření

Všechny nástroje byly v záběru řezného procesu při stejných fyzikálních podmínkách. Od každého typu nástroje byl vybrán jeden a na něm byly provedeny testy. S jednou destičkou byly provedeny následující úkony. Hrubování, polodokončování a dokončování na stejném povrchu s počtem 5 po sobě následujících měření po každém úkonu. Při dalším úkonu bylo provedeno podélné soustružení polodokončovací a dokončovací, které bylo provedeno na povrchu po polodokončování. Při podélném soustružení bylo provedeno pouze jedno měření v každé části a poté byla součást změřena na drsnoměru po PS polodokončování i dokončování dvakrát vždy na jiné části průměru.

Před samotným experimentem byl obrobek navrtán pro podepření hrotem z obou stran a přesoustružen na průměr 139 mm. Po upnutí do stroje SU50A-SP byl průměr znovu přesoustružen na průměr 138 mm z důvodu snížení házivosti.

Průběh nastavení nástroje a měření probíhal tak, že do sestaveného modulárního nože s upínací planžetou byla vložena příslušná destička a celá sestava byla upnuta do měřicího přístroje Kistler. Na soustruhu byl nastaven posuv podle tabulky 5.2, po zapnutí stroje se nastavily otáčky pomocí univerzálního čítače otáček. Byl spuštěn start programu DynoWare spolu s posuvem do záběru a po nastavenou dobu bylo na piezoelektrickém dynamometru měřeno silové zatížení. Po výjezdu ze záběru byl stroj přenastaven a mezitím program DynoWare vyhodnotil velikost složek celkové síly ve třech osách. Naměřené hodnoty byly uloženy a proběhlo další měření.

Při procesu hrubování byl proveden pohyb do záběru při přednastaveném posuvu $f=0,18$ mm a otáčkách $n=905$ min⁻¹ automatickým posuvem, kde byl v požadované hloubce 2,5 mm vypnut a odjetí bylo provedeno ručně z důvodu náhlého zatížení nástroje (vůle v ložiscích stroje) a vibrací stroje při zpětném chodu automatického posuvu, při kterém nastával křehký lom nástroje. Při celém procesu byl nástroj pod konstantním chlazením procesní kapaliny CIMSTAR s 5% koncentrací. Nástroj po vyjetí ze záběru byl posunut podélně o 5,1 mm, díky čemuž byly vytvořeny 2 mm lamely mezi jednotlivými zápichy. Celkem bylo provedeno s jedním nástrojem 5 zápichů. S prvním a posledním zápichem byla odebrána a nafocena utvořená tříska. Po zapichování bylo změřeno opotřebení na každém nástroji.

Polodokončení a dokončení probíhalo podobným způsobem. Pro jednotlivé nástroje byl proveden pohyb nástroje do záběru obrobku na přesoustruženém průměru, který měl zároveň vybrání na čele (obr. č. 5.9) kvůli zamezení drobného rázu při zastavení automatického posuvu. Zapichování probíhalo v hloubce 5,2 mm s šířkou záběru $a_p=0,2$ mm pro polodokončení i dokončení. Vždy bylo provádění nejdříve polodokončení s řeznými podmínkami $f=0,22$ mm, $n=720$ min⁻¹ a poté dokončení při $f=0,2$ mm, $n=960$ min⁻¹. Pro každou operaci bylo provedeno 5 zápichů s každým nástrojem. Po polodokončení a dokončení bylo změřeno opotřebení na všech nástrojích.



Obr. 5.9 Zkušební obrobek s vybráním na čele

Podélné soustružení bylo provedeno v části polodokončování s řeznými podmínkami $f=0,22 \text{ mm}$, $n=729 \text{ min}^{-1}$ a v části dokončovací $f=0,074 \text{ mm}$, $n=973 \text{ min}^{-1}$. Podélné soustružení zapichovacím nožem bylo prováděno na předsoustruženém průměru 138 mm. V první operaci polodokončování se podélně soustružilo do délky 12 mm v hloubce 0,1 mm. Ve druhé operaci bylo na stejném průměru provedeno dokončování v délce 6 mm a hloubce 0,05 mm. Po dokončení podélného soustružení byl povrch součásti změřen drsnoměrem Carl Zeiss ve vzdálenosti 3 mm na dvou místech průměru pro každou operaci odděleně. Po změření drsnosti po soustružení všemi nástroji byly nástroje proměřeny z hlediska opotřebení.

Poznámka: Přívod chladicí kapaliny je přimontován k podélnému supportu, z čehož vyplývá, že pro příčné zapichování do větších hloubek se kapalina postupně nedostává do místa řezu. Proto je při experimentu zapichování provedeno pouze do hloubky 2,5 mm. Další problémy se vyskytly při použití dorazu u příčného posuvu. V některých případech nastával rázový skok, při kterém se deformoval nástroj křehkým lomem. Proto měření probíhalo při automatickém posuvu bez dorazu za sledování nonia, takže přesnost najetí do požadované vzdálenosti probíhal při odchylce $\pm 2,5 \%$.

Během 5 s měření silového zatížení program DynoWare zaznamenal 2500 hodnot pro každou ze tří složek celkové síly. Z naměřených dat byla vždy vybrána část procesu odběru třísky, tedy hlavního silového zatížení. Tato oblast je čistý čas, kdy je nástroj v řezu a není v něm zakomponovaný náběh a přeběh. Tato oblast dat byla exportována přes poznámkový blok z programu DynoWare a otevřena v programu Microsoft Excel, kde byla statisticky zpracována a vložena do příslušných tabulek. Statistické zpracování proběhlo dle

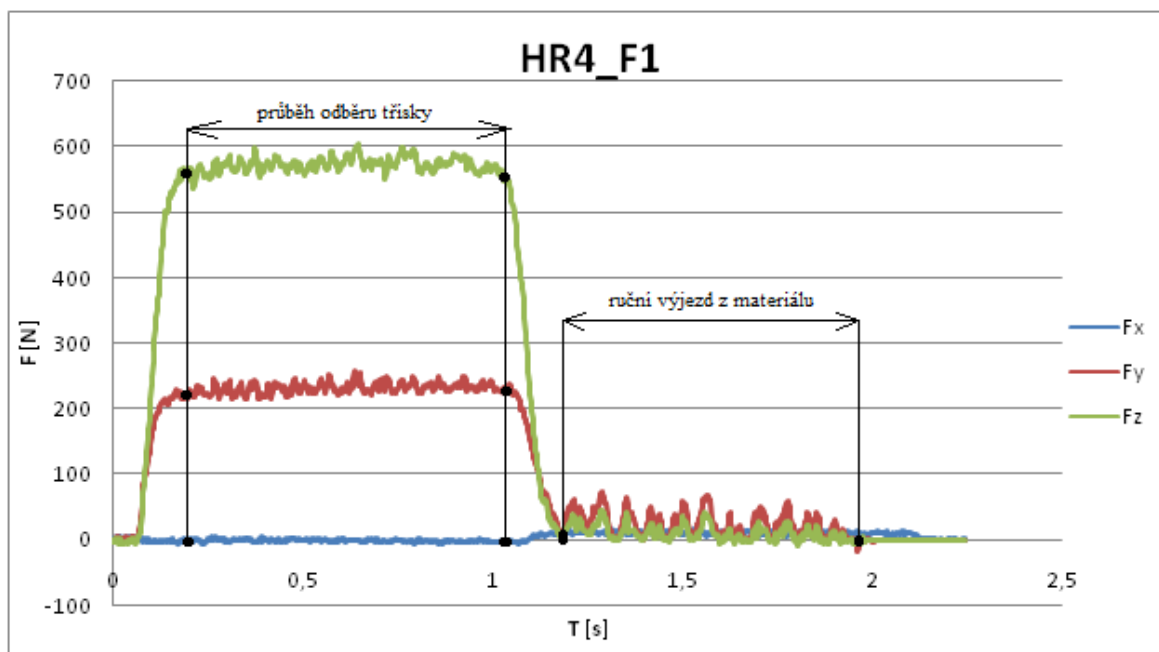
učebnicových textů a přednášek [10][11]. Díky těmto údajům se vypočítaly měrné řezné síly a maximální řezný výkon.

5.4 Experimentální část 1. – měření sil

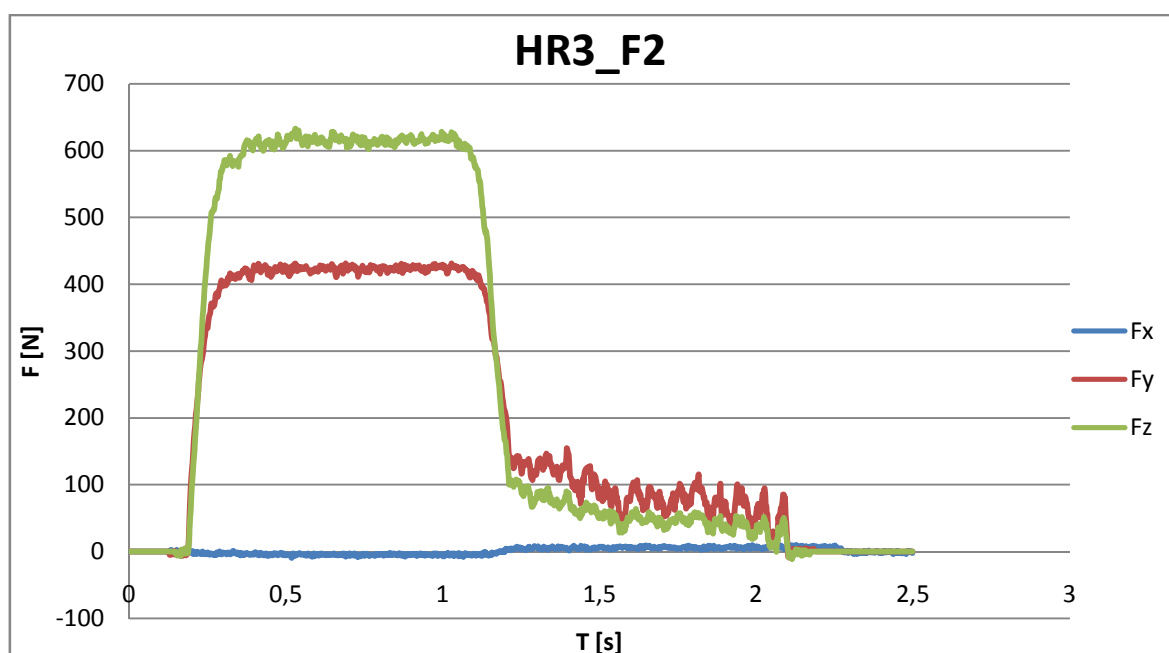
Během měření piezoelektrickým dynamometrem Kistler byly naměřeny jednotlivé složky celkové síly zobrazených v grafech č. 5.10 – 5.29 a porovnány jednotlivé síly v tabulkách č. 5.3 - 5.17. Všechny uvedené hodnoty jsou rozděleny do jednotlivých tabulek a grafů prováděných operací. Vybrané grafy jsou zveřejněny na základě nejlépe reprezentujících křivek dle průměrných hodnot při statistickém zpracování všech pěti měření. Kde $F_x=F_f$, $F_y=F_p$, $F_z=F_c$.

Hrubování

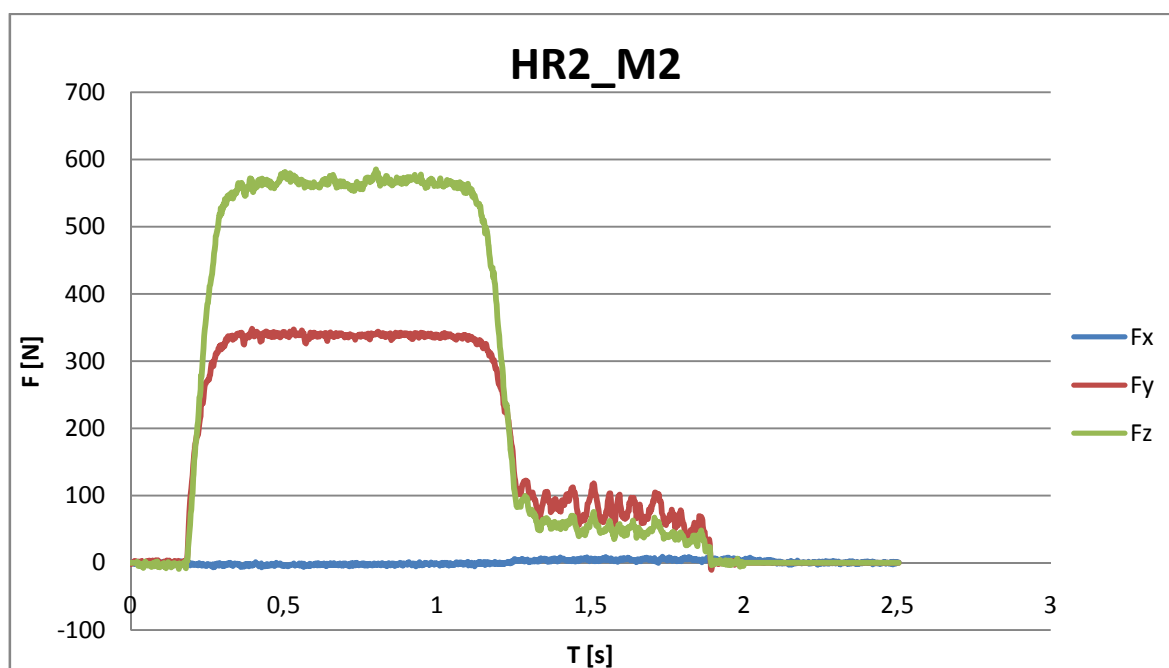
Na obrázku 5.10 je znázorněn princip průběhu odběru třísky, pro který proběhlo celkové statistické zpracování dat ve znázorněném vyhraničeném poli pro všechny síly. Hrubování proběhlo pro všechny grafy za podmínek $f=0,18$ mm, otáčkách $n=905$ min⁻¹ a hloubce 2,5 mm. Označení hrubování pod zkratkou HR4_F1 označuje hrubování č. 4 destičkou s utvařečem F1 firmy Pramet. Číslo hrubování je vybráno dle průběhu, který nejlépe reprezentuje střední hodnotu z pěti měřených odběrů třísky.



Obr. 5.10 Graf závislosti sil na čase pro VBD F1

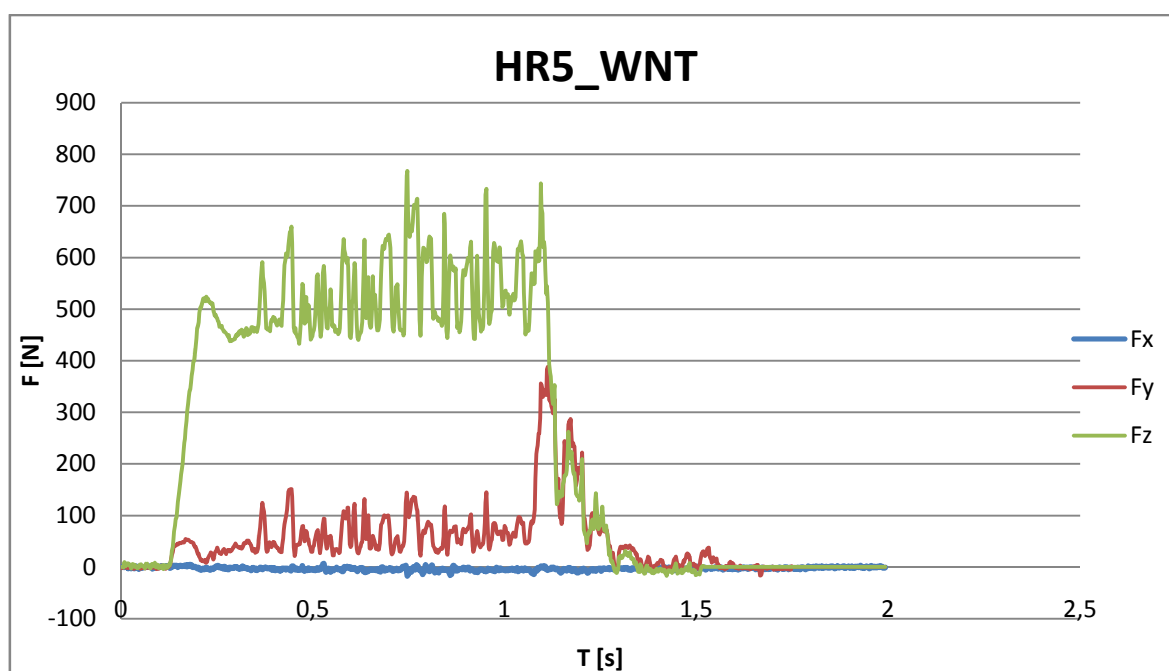


Obr. 5.11 Graf závislosti sil na čase pro VBD F2



Obr. 5.12 Graf závislosti sil na čase pro VBD M2

Pro grafy WNT musela být vytvořena speciální tabulka s hodnotami pouze z měření HR4 a HR5 z důvodu vysokého kolísání hodnot. Všechny grafy i tabulka pro statistické zpracování pro všech 5 hodnot z hrubování nástroje WNT je uvedena v příloze č. 12. V příloze č. 12 je uveden i graf HR1_pokus2_WNT, na kterém jde jasně vidět průběh sil (vznik pasivní síly) za změny geometrie při porušení VBD křehkým lomem. Křehký lom nastal při stejných podmínkách při dodatečném měření jinou destičkou. V příloze č. 13 jsou přiloženy snímky opotřebení.



Obr. 5.13 Graf závislosti sil na čase pro VBD WNT

Pro porovnání hodnot u jednotlivých VBD utvařečů jsou jednotlivé síly rozděleny do tabulek se všemi VBD.

Tab. 5.3 Pasivní síly F_x při operaci HR

F_x, F_p	střední hodnota	chyba střední hodnoty	medián	modus	směrodatná odchylka	minimum	maximum
F1	-2,684	0,050	-2,758	0,3052	2,213	-11,943	4,451
F2	-3,586	0,041	-3,637	-5,290	-1,590	-9,588	1,976
M2	-1,684	0,045	-1,699	-0,305	1,666	-6,397	3,831
WNT	-3,870	0,103	-4,048	-	3,161	-16,954	6,585

Tab. 5.4 Posuvové síly F_y při operaci HR

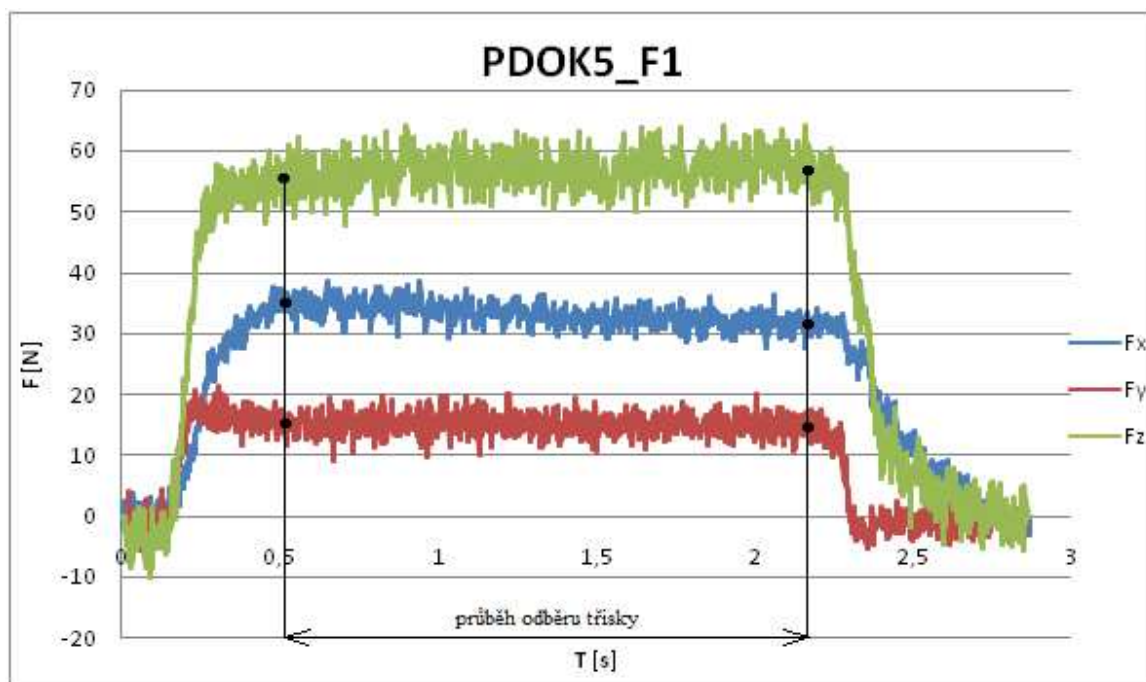
F_y, F_f	střední hodnota	chyba střední hodnoty	medián	modus	směrodatná odchylka	minimum	maximum
F1	231,806	0,223	231,018	234,528	10,216	207,151	267,679
F2	424,067	0,117	424,386	428,717	4,563	406,606	437,208
M2	338,704	0,099	338,875	338,672	3,708	321,853	352,692
WNT	69,036	1,691	53,090	66,937	52,147	9,096	387,907

Tab. 5.5 Řezné síly F_z při operaci HR

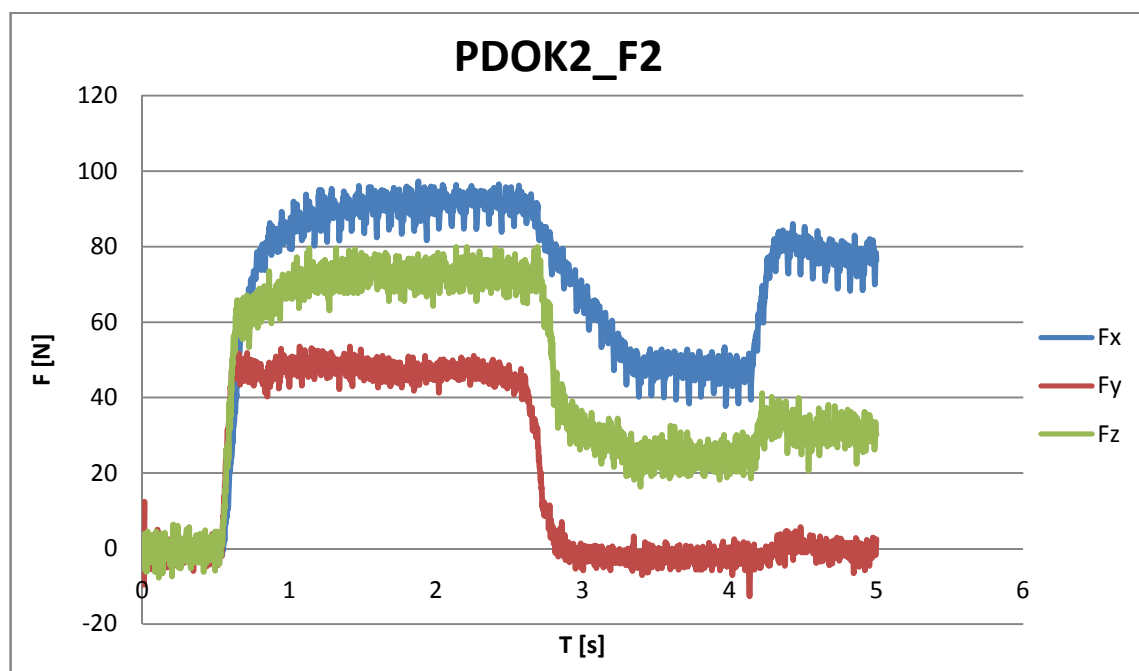
F_z, F_c	střední hodnota	chyba střední hodnoty	medián	modus	směrodatná odchylka	minimum	maximum
F1	572,925	0,453	575,010	585,327	20,164	444,982	610,657
F2	617,774	0,210	617,839	617,341	8,201	595,038	641,07
M2	570,8594	0,192	570,867	566,697	7,187	552,846	592,344
WNT	511,408	3,535	493,638	465,303	109,004	32,011	767,828

Polodokončování

Na obrázku 5.14 je znázorněn princip průběhu odběru třísky, pro který proběhlo celkové statistické zpracování dat ve znázorněném vyhraničeném poli pro všechny síly. Polodokončování proběhlo pro všechny grafy v hloubce 5,2 mm s šířkou záběru $a_p=0,2$ mm s řeznými podmínkami $f=0,22$ mm, $n=720$ min⁻¹. Označení polodokončování pod zkratkou PDOK5_F1 označuje hrubování č. 5 destičkou s utvařečem F1 firmy Pramet. Číslo hrubování je vybráno dle průběhu, který nejlépe reprezentuje střední hodnotu z pěti měřených odběrů třísky.

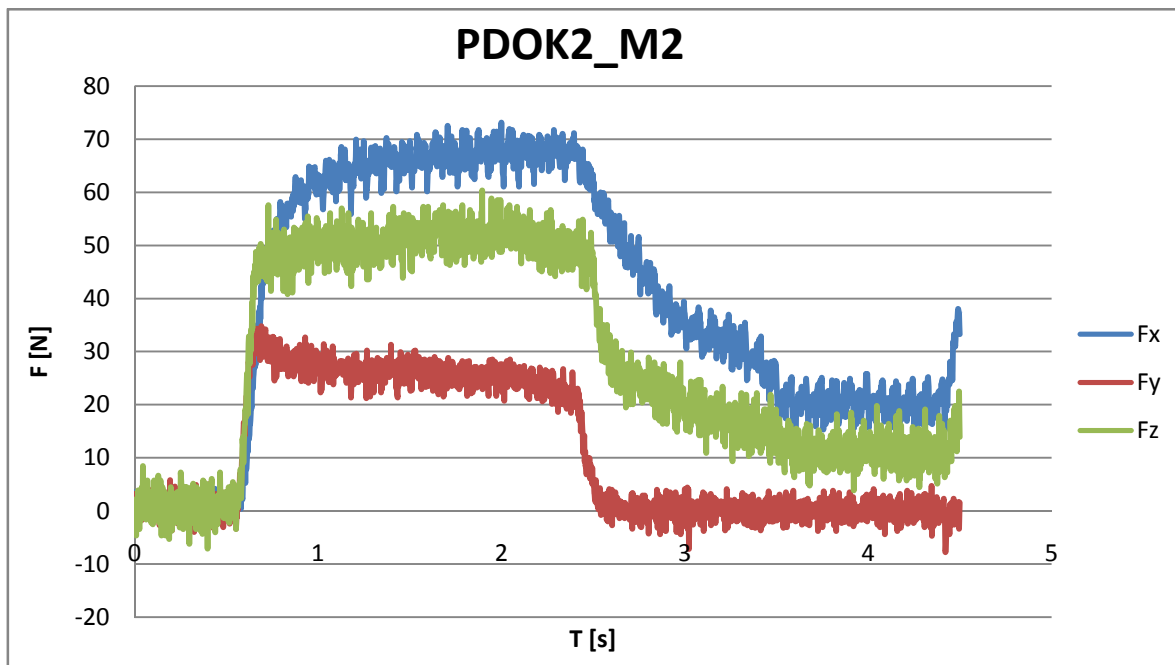


Obr. 5.14 Graf závislosti sil na čase pro VBD F1

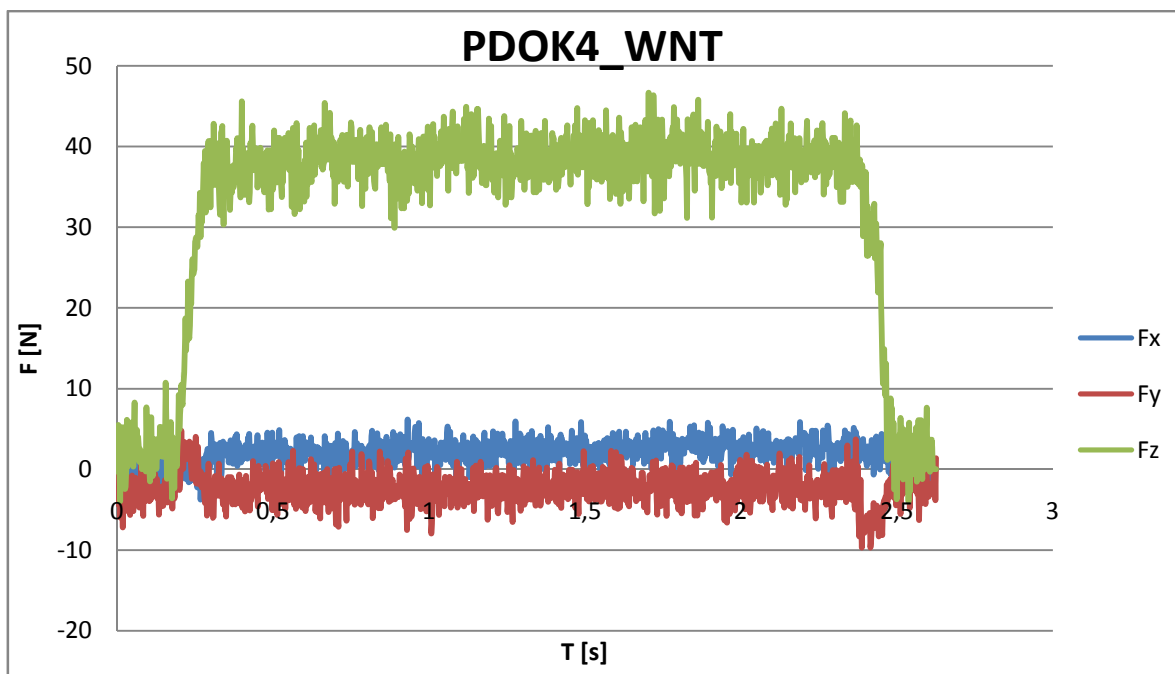


Obr. 5.15 Graf závislosti sil na čase pro VBD F2

V grafu obr. 5.15 VBD F2 jsou výkyvy u výjezdu z materiálu způsobeny kvůli geometrii utvařeče, kde při výjezdu špička VBD je v kontaktu s čelem obrobku. Tento fakt není započten ve statistickém zhodnocení, ve statistickém zhodnocení je výpočet zohledněn pouze na proces odběru třísky. Stejně tak tomu platí i pro graf obr. 5.16 VBD M2.



Obr. 5.16 Graf závislosti sil na čase pro VBD M2



Obr. 5.17 Graf závislosti sil na čase pro VBD WNT

Pro porovnání hodnot u jednotlivých VBD utvařečů jsou jednotlivé síly rozděleny do tabulek se všemi VBD.

Tab. 5.6 Pasivní síly F_x při operaci PDOK

F_x, F_p	střední hodnota	chyba střední hodnoty	medián	modus	směrodatná odchylka	minimum	maximum
F1	31,925	0,029	31,916	30,914	1,889	21,080	38,516
F2	88,979	0,071	89,189	88,273	4,345	74,846	101,396
M2	69,323	0,096	69,479	64,359	5,325	55,815	81,344
WNT	2,695	0,025	2,726	1,691	1,710	-3,808	8,684

Tab. 5.7 Posuvové síly F_y při operaci PDOK

F_y, F_f	střední hodnota	chyba střední hodnoty	medián	modus	směrodatná odchylka	minimum	maximum
F1	14,701	0,043	14,776	15,106	2,837	3,652	23,465
F2	43,856	0,109	42,101	39,812	6,598	30,657	59,282
M2	29,878	0,089	28,384	36,487	4,934	19,872	42,285
WNT	-1,015	0,028	-0,990	-2,343	1,973	-7,947	6,980

Tab. 5.8 Řezné síly F_z při operaci PDOK

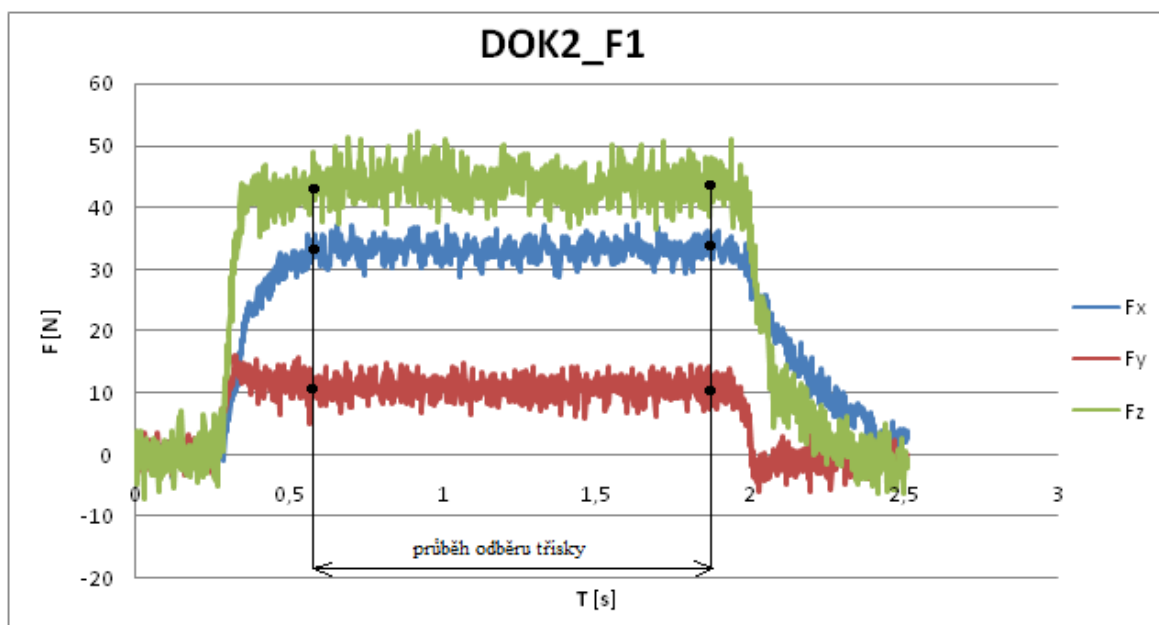
F_z, F_c	střední hodnota	chyba střední hodnoty	medián	modus	směrodatná odchylka	minimum	maximum
F1	56,040	0,102	56,042	53,962	6,679	38,451	73,449
F2	67,743	0,136	65,235	63,404	8,239	49,671	88,877
M2	58,104	0,144	55,578	51,172	7,985	41,711	77,585
WNT	37,109	0,069	37,122	42,348	4,813	22,735	52,936

Poznámka:

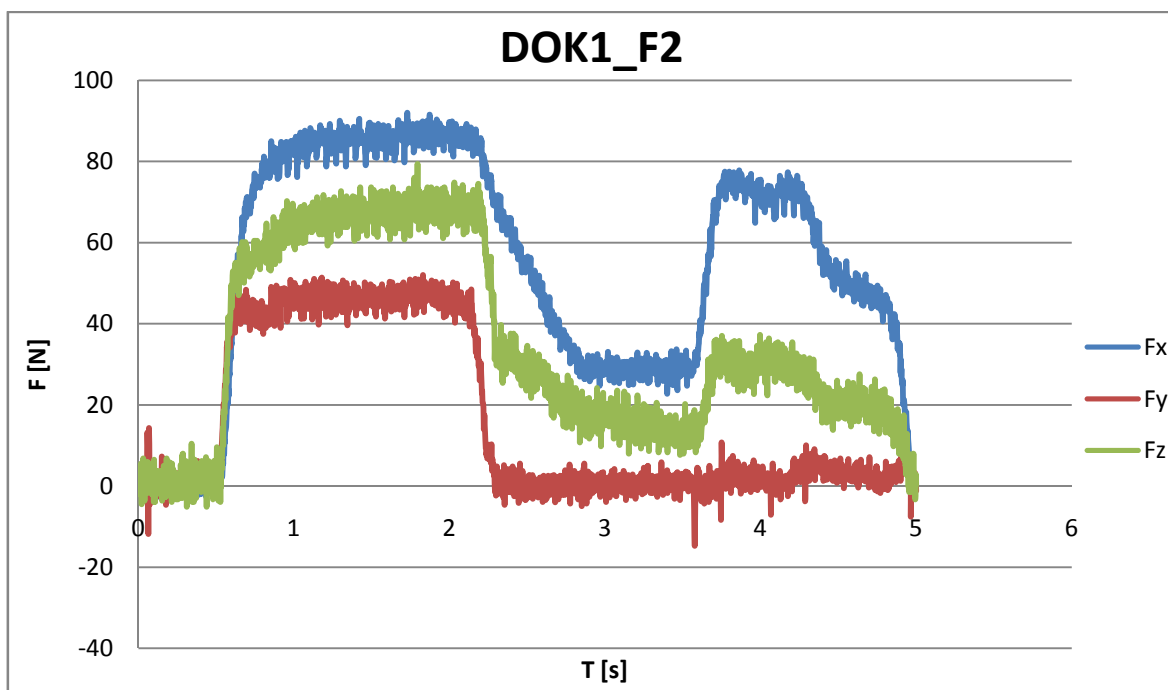
U polodokončování a dokončování se průběhy sil mezi prvním až pátým měření z důvodu zpevnění povrchové vrstvy po předchozích průjezdech změnily maximálně v rozmezí o velikosti 8 N.

Dokončování

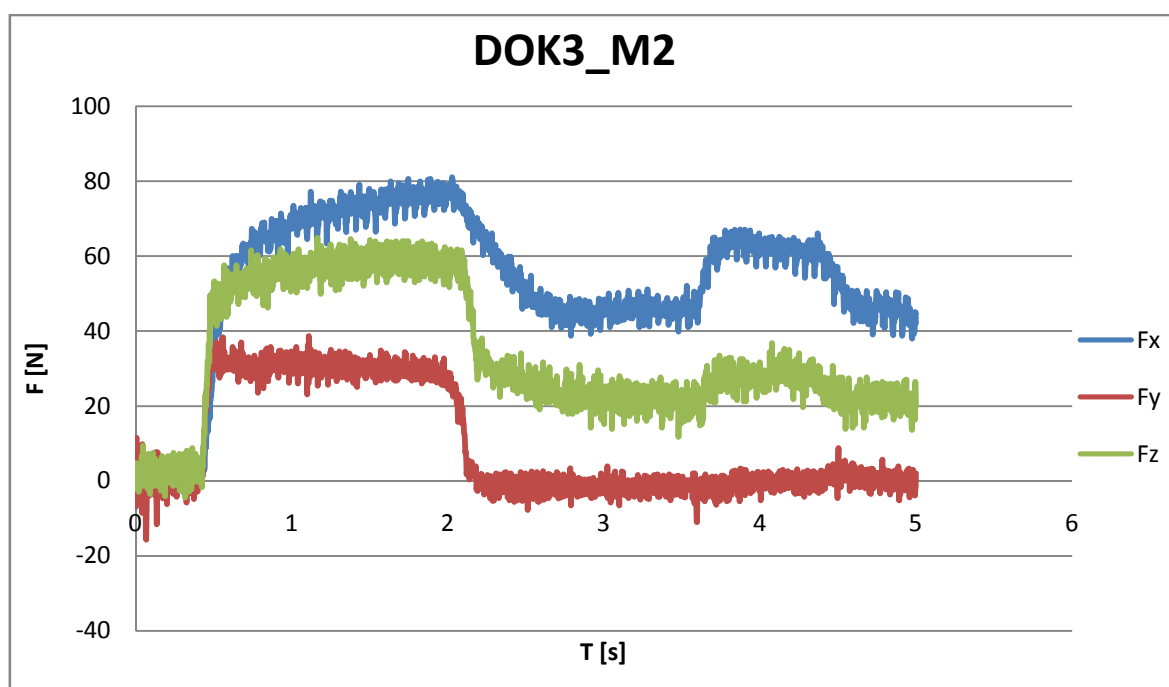
Na obrázku 5.18 je znázorněn princip průběhu odběru třísky, pro který proběhlo celkové statistické zpracování dat ve znázorněném vyhraničeném poli pro všechny síly. Dokončování proběhlo pro všechny grafy v hloubce 5,2 mm s šířkou záběru $a_p=0,2$ mm s řeznými podmínkami $f=0,2$ mm, $n=960$ min⁻¹.



Obr. 5.18 Graf závislosti sil na čase pro VBD F1

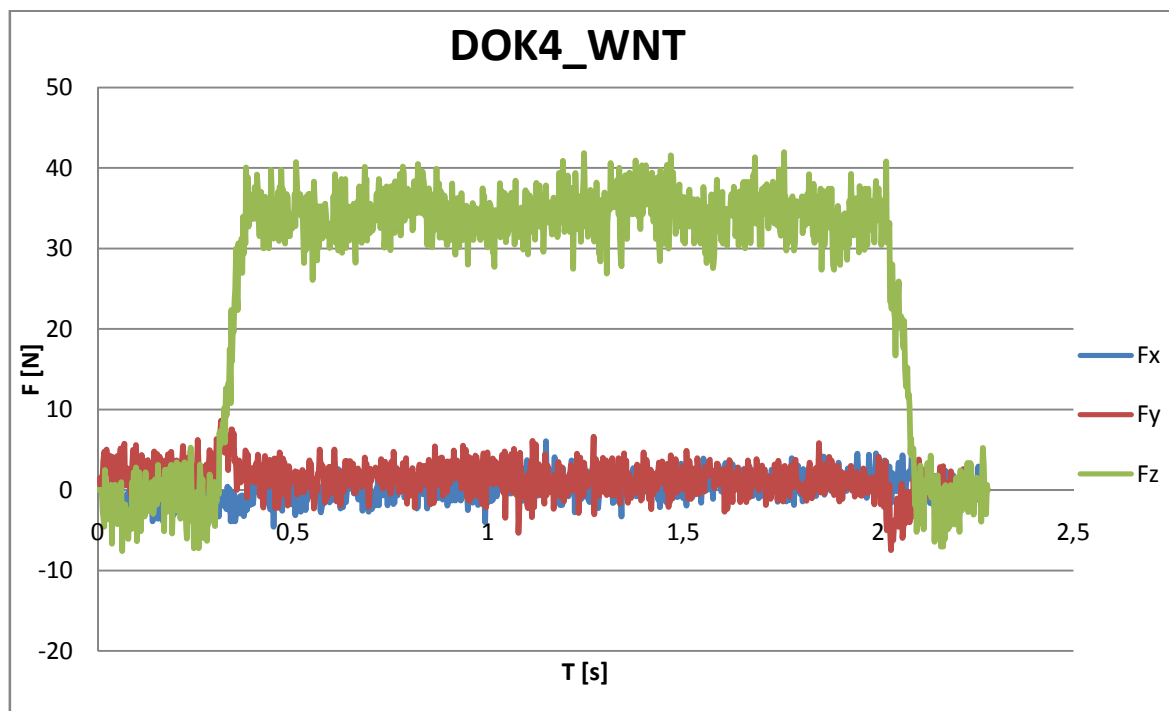


Obr. 5.19 Graf závislosti sil na čase pro VBD F2



Obr. 5.20 Graf závislosti sil na čase pro VBD M2

Mírný výkyv na začátku téměř všech grafů je způsoben spuštěním spojky při startu příčného posuvu. V grafu obr. 5.19 VBD F2 stejně jako u PDOK jsou výkyvy u výjezdu z materiálu způsobeny kvůli geometrii utvařeče, kde při výjezdu špička VBD je v kontaktu s čelem obrobku. Tento fakt není započten ve statistickém zhodnocení, ve statistickém zhodnocení je výpočet zohledněn pouze na proces odběru třísky. Stejně tak tomu platí i pro graf obr. 5.20 VBD M2.



Obr. 5.21 Graf závislosti sil na čase pro VBD WNT

Pro porovnání hodnot u jednotlivých VBD utvařečů jsou jednotlivé síly rozděleny do tabulek se všemi VBD.

Tab. 5.9 Pasivní síly F_x při operaci DOK

F_x, F_p	střední hodnota	chyba střední hodnoty	medián	modus	směrodatná odchylka	minimum	maximum
F1	32,887	0,044	32,897	33,931	2,472	23,153	40,090
F2	85,315	0,066	85,637	88,994	3,431	73,498	94,351
M2	71,879	0,104	72,641	72,947	5,166	53,721	83,628
WNT	1,335	0,053	1,704	2,238	3,107	-7,717	10,096

Tab. 5.10 Posuvové síly F_y při operaci DOK

F_y, F_f	střední hodnota	chyba střední hodnoty	medián	modus	směrodatná odchylka	minimum	maximum
F1	11,758	0,047	11,476	11,925	2,676	3,706	20,574
F2	43,017	0,090	43,864	42,643	4,664	28,131	53,896
M2	35,145	0,147	32,530	31,004	7,269	23,069	52,772
WNT	0,394	0,034	0,371	0,238	1,964	-6,852	7,084

Tab. 5.11 Řezné síly F_z při operaci DOK

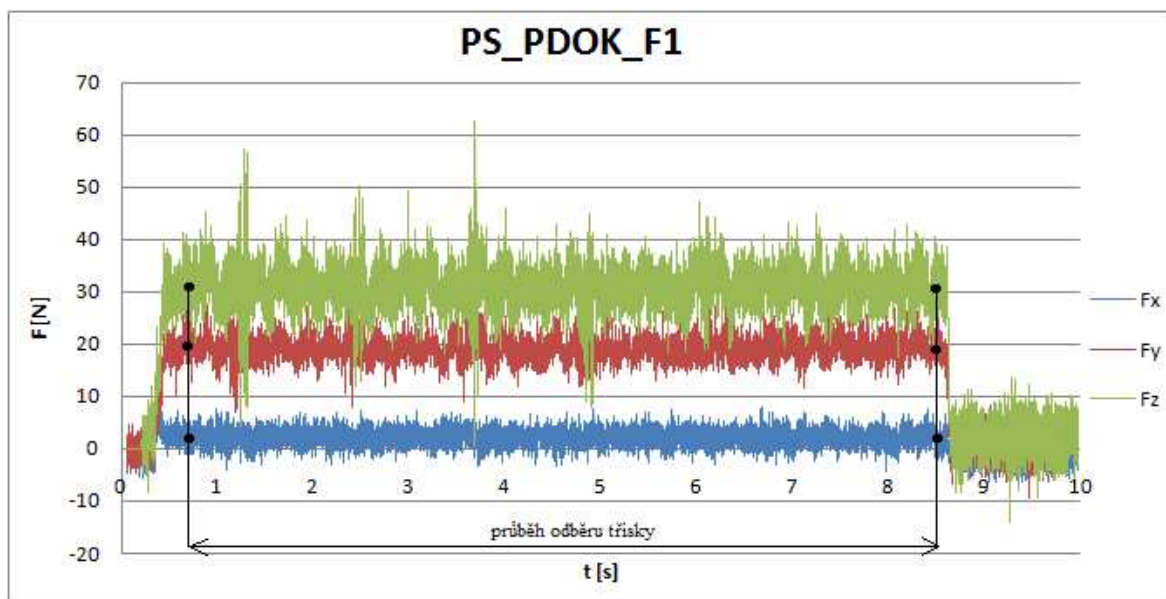
F_z, F_c	střední hodnota	chyba střední hodnoty	medián	modus	směrodatná odchylka	minimum	maximum
F1	46,390	0,115	45,422	51,749	6,549	30,351	61,238
F2	63,843	0,116	64,904	68,761	6,007	45,509	79,442
M2	60,780	0,188	58,496	57,554	9,308	41,711	85,241
WNT	34,822	0,133	35,352	35,915	7,792	10,768	53,152

Poznámka:

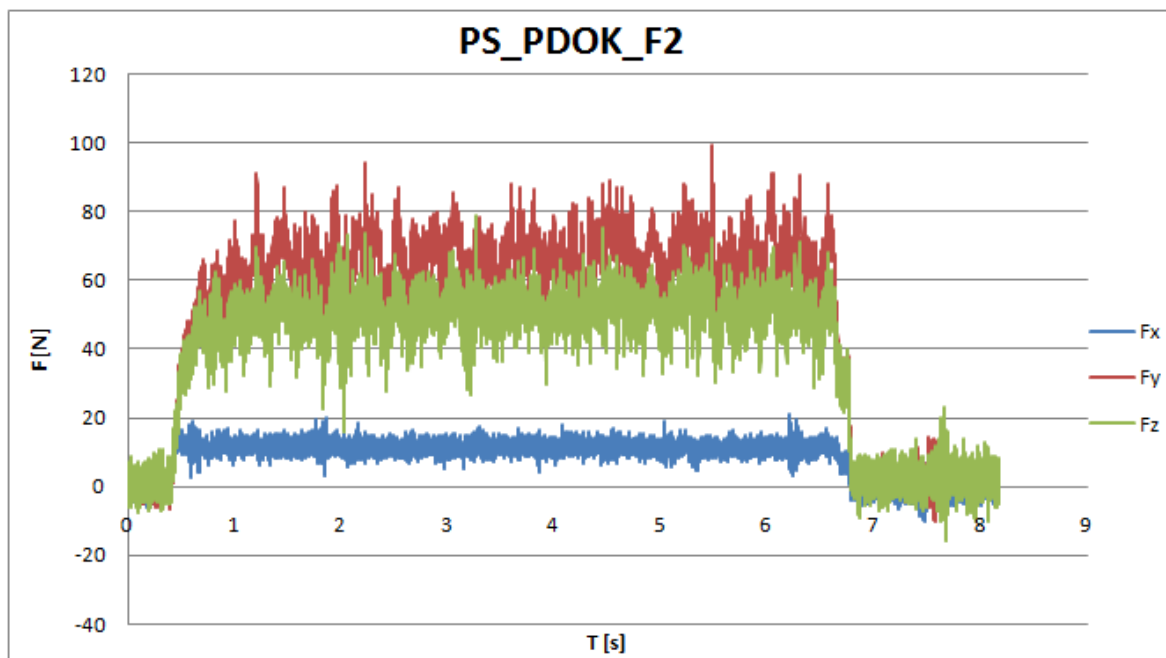
U polodokončování a dokončování se průběhy sil mezi prvním až pátým měření z důvodu zpevnění povrchové vrstvy po předchozích průjezdech změnily maximálně v rozmezí o velikosti 12 N.

PS - PDOK

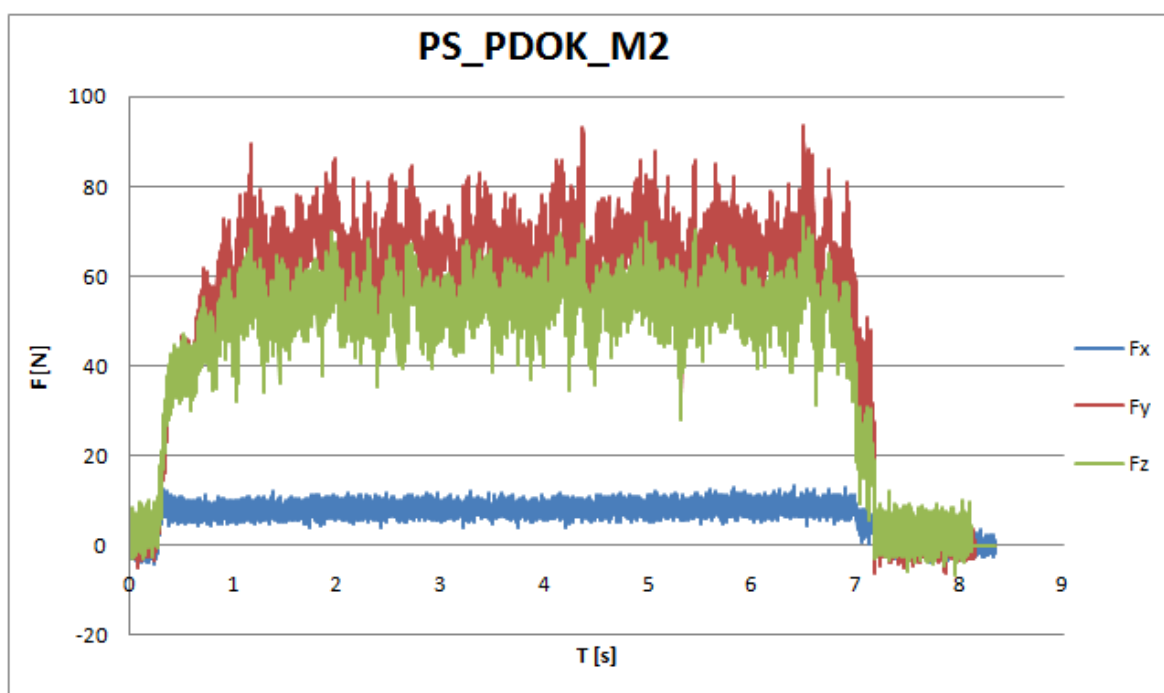
Na obrázku 5.22 je znázorněn princip průběhu odběru třísky, pro který proběhlo celkové statistické zpracování dat ve znázorněném vyhraničeném poli pro všechny síly. PS - PDOK proběhlo za podmínek $f=0,22$ mm, otáčkách $n=729$ min⁻¹, $a_p=0,1$ mm v délce do 12 mm. Délka PS není vždy přesně stejná, je vždy dlouhá natolik, aby se na celkové délce dostal rozsah měření drsnoměrem pro polodokončování i dokončování. Pro každý nástroj bylo v tomto případě provedeno jen jedno měření.



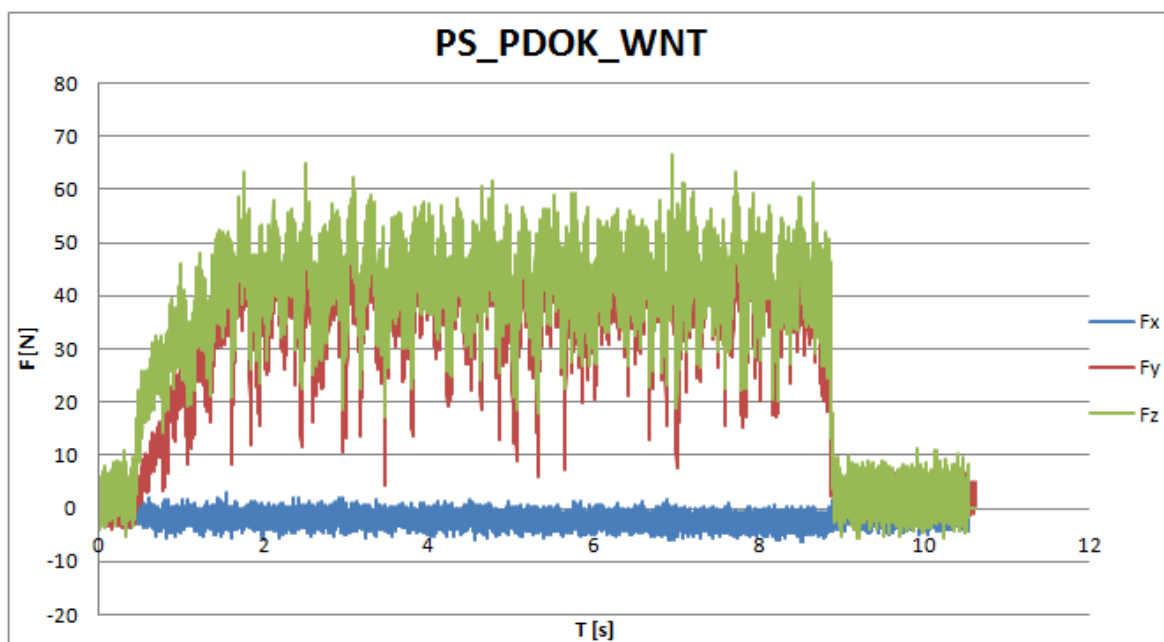
Obr. 5.22 Graf závislosti sil na čase pro VBD F1



Obr. 5.23 Graf závislosti sil na čase pro VBD F2



Obr. 5.24 Graf závislosti sil na čase pro VBD M2



Obr. 5.25 Graf závislosti sil na čase pro VBD WNT

Pro porovnání hodnot u jednotlivých VBD utvařečů jsou jednotlivé síly rozděleny do tabulek se všemi VBD.

Tab. 5.12 Pasivní síly F_x při operaci PS - PDOK

F_x, F_p	střední hodnota	chyba střední hodnoty	medián	modus	směrodatná odchylka	minimum	maximum
F1	2,108	0,014	2,050	-	1,533	-4,394	7,833
F2	11,397	0,018	11,387	10,170	1,661	3,073	20,876
M2	8,272	0,013	8,290	10,422	1,224	3,827	12,815
WNT	-2,188	0,012	-2,184	-	1,193	-6,128	2,259

Tab. 5.13 Posuvové síly F_y při operaci PS - PDOK

F_y, F_f	střední hodnota	chyba střední hodnoty	medián	modus	směrodatná odchylka	minimum	maximum
F1	19,228	0,021	19,150	17,952	2,239	6,884	30,423
F2	65,838	0,096	66,390	71,508	8,728	36,658	99,153
M2	66,194	0,085	66,501	67,424	7,794	30,571	93,302
WNT	38,074	0,065	39,734	42,151	6,360	4,343	49,100

Tab. 5.14 Řezné síly F_z při operaci PS - PDOK

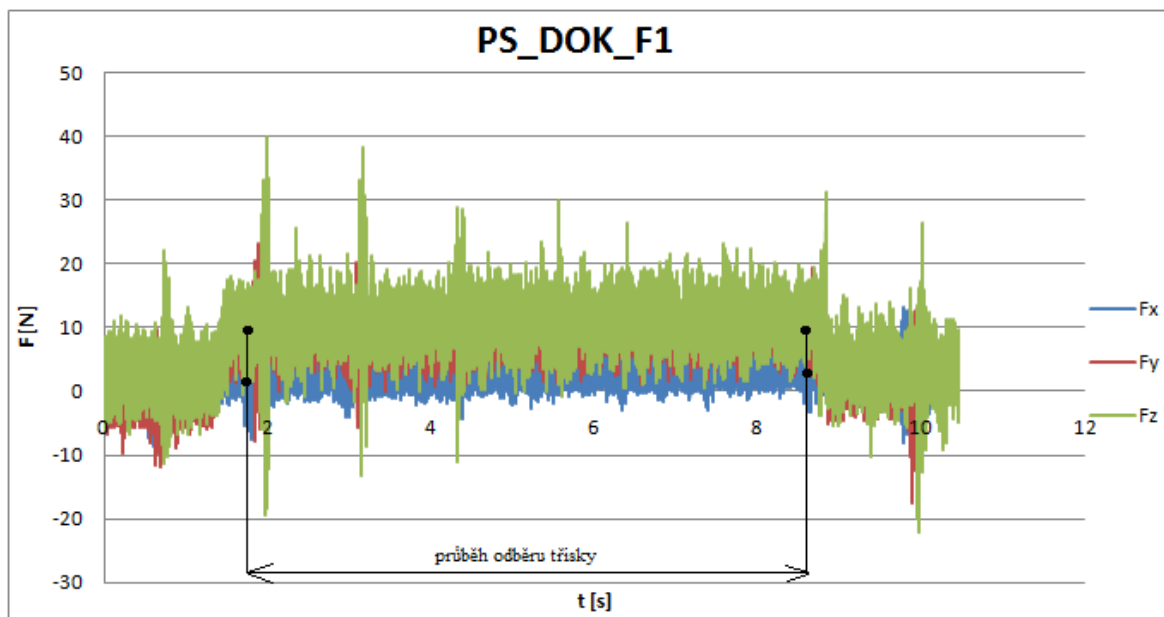
F_z, F_c	střední hodnota	chyba střední hodnoty	medián	modus	směrodatná odchylka	minimum	maximum
F1	30,992	0,036	30,941	30,131	3,866	0,502	62,453
F2	50,838	0,069	51,136	53,743	6,286	16,021	78,857
M2	53,968	0,058	54,062	54,131	5,281	28,392	72,070
WNT	43,076	0,071	43,387	44,772	6,854	17,200	66,743

Poznámka:

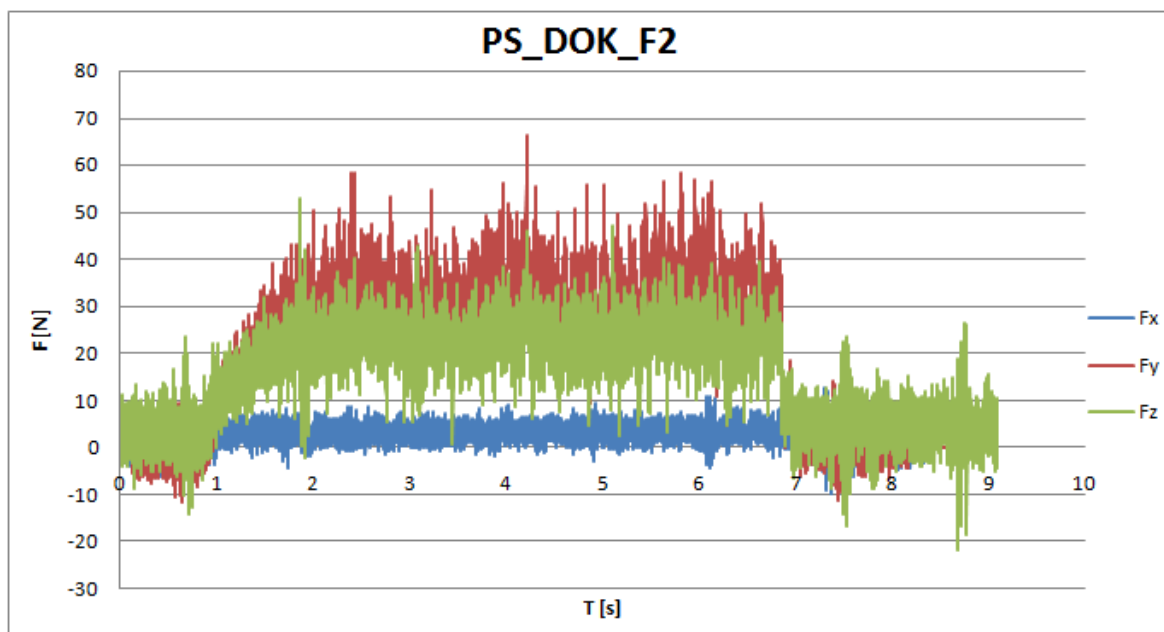
U polodokončování a dokončování se průběhy sil mezi prvním až pátým měření z důvodu zpevnění povrchové vrstvy po předchozích průjezdech změnily maximálně v rozmezí o velikosti 10 N.

PS - DOK

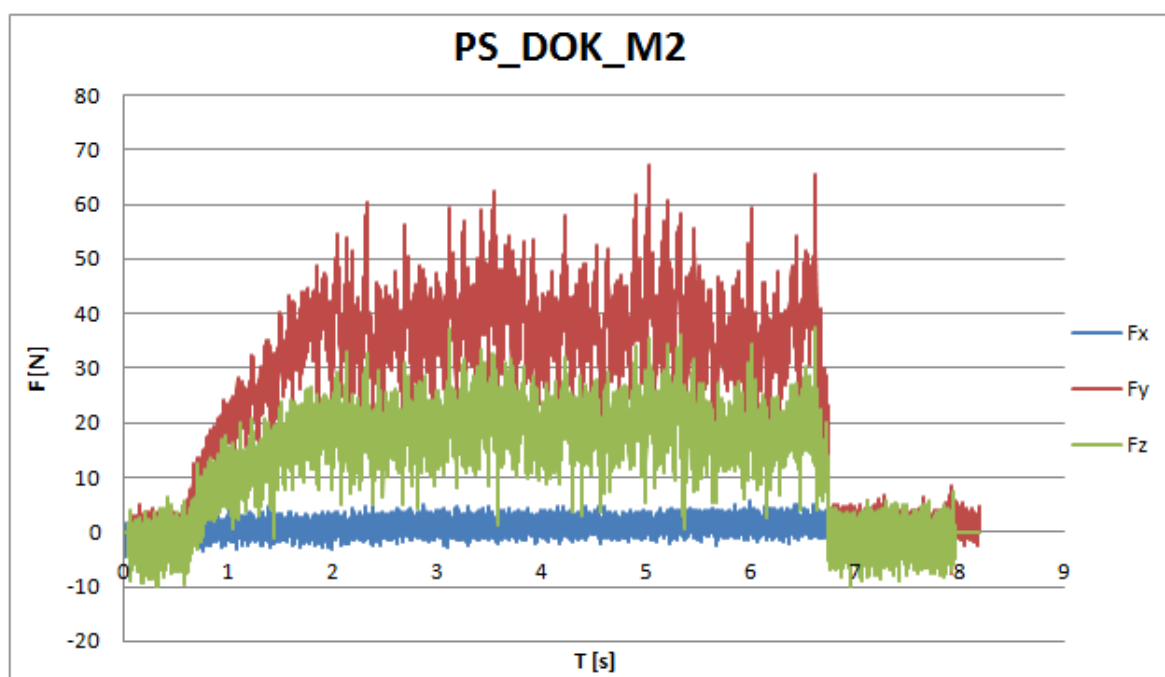
Na obrázku 5.26 je znázorněn princip průběhu odběru třísky, pro který proběhlo celkové statistické zpracování dat ve znázorněném vyhraničeném poli pro všechny síly. PS - DOK proběhlo za podmínek $f=0,074$ mm, otáčkách $n=973$ min⁻¹, $a_p=0,05$ mm v délce do 6 mm na předchozí zpevněné vrstvě po PS - PDOK. Délka PS není vždy přesně stejná, je vždy dlouhá natolik aby se na celkové délce dostal rozsah měření drsnoměrem pro polodokončování i dokončování. Pro každý nástroj bylo v tomto případě provedeno jen jedno měření.



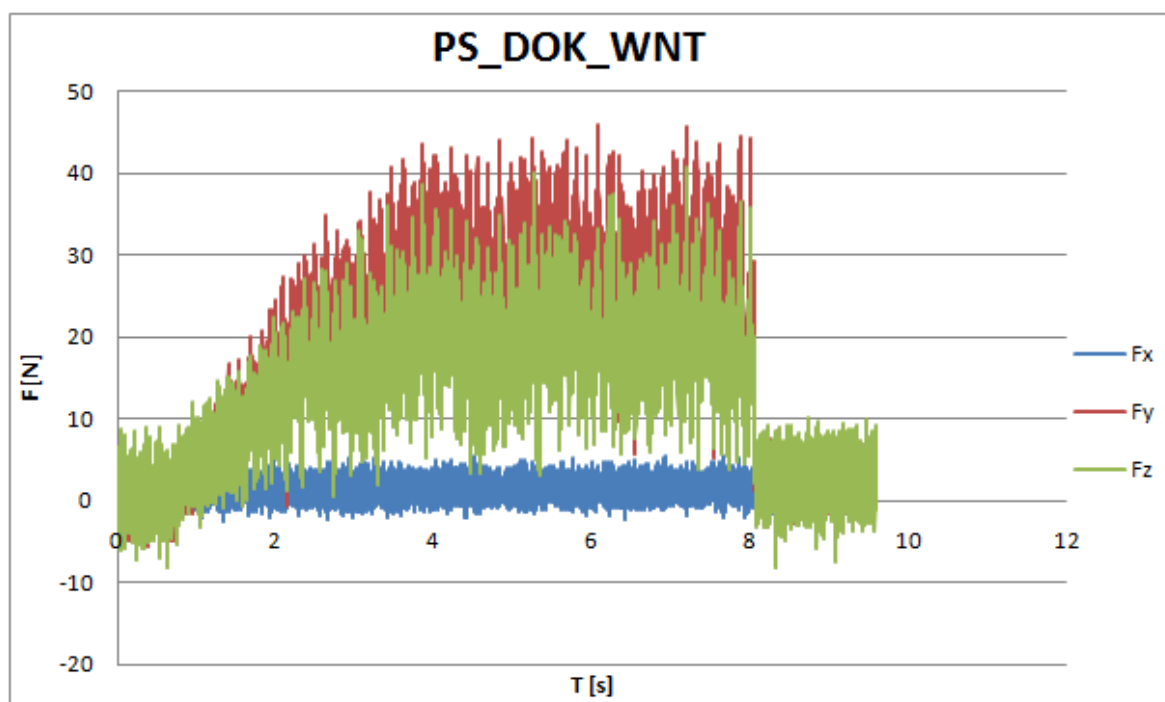
Obr. 5.26 Graf závislosti sil na čase pro VBD F1



Obr. 5.27 Graf závislosti sil na čase pro VBD F2



Obr. 5.28 Graf závislosti sil na čase pro VBD M2



Obr. 5.29 Graf závislosti sil na čase pro VBD WNT

Pro porovnání hodnot u jednotlivých VBD utvařečů jsou jednotlivé síly rozděleny do tabulek se všemi VBD.

Tab. 5.15 Pasivní síly F_x při operaci PS - DOK

F_x, F_p	střední hodnota	chyba střední hodnoty	medián	modus	směrodatná odchylka	minimum	maximum
F1	2,468	0,016	2,472	1,160	1,578	-4,268	9,341
F2	3,312	0,020	3,277	3,124	1,671	-4,355	11,057
M2	1,211	0,014	1,201	-	1,131	-2,620	5,719
WNT	1,547	0,014	1,505	-	1,123	-2,386	5,413

Tab. 5.16 Posuvové síly F_y při operaci PS - DOK

F_y, F_f	střední hodnota	chyba střední hodnoty	medián	modus	směrodatná odchylka	minimum	maximum
F1	7,978	0,022	7,950	10,837	2,167	-5,802	23,033
F2	33,791	0,093	33,980	28,476	7,614	4,623	66,398
M2	37,563	0,092	37,591	36,949	7,420	9,095	67,053
WNT	28,734	0,086	29,175	26,011	6,789	5,646	45,935

Tab. 5.17 Řezné síly F_z při operaci PS - DOK

F_z, F_c	střední hodnota	chyba střední hodnoty	medián	modus	směrodatná odchylka	minimum	maximum
F1	11,052	0,037	11,047	12,096	3,636	-19,358	39,847
F2	23,141	0,062	23,193	24,414	5,122	0,610	46,997
M2	18,861	0,055	18,836	18,849	4,465	0,615	36,976
WNT	19,792	0,069	19,603	18,334	5,417	3,156	40,742

Poznámka:

U polodokončování a dokončování se průběhy sil mezi prvním až pátém měření z důvodu zpevnění povrchové vrstvy po předchozích průjezdech změnily maximálně v rozmezí o velikosti 10 N.

5.4.6 Výpočetní část

Ve výpočetní části je pomocí nejvyšší hodnoty $F_{c\ MAX}$ spočítán pomocí vzorce 17.7 maximální měrný řezný odpor a dle vztahu 17.9 je proveden výpočet maximálního řezného výkonu, kde je použit mezi-výpočet pro průřez odřezávané vrstvy A_D ve vzorci 17.8. Pro porovnání všech sil vůči sobě je proveden výpočet výsledné síly F_e , který je spočítán pomocí vzorce 17.6. Všechny uvedené výpočty jsou zpracovány pomocí programu Excel a hodnoty uvedeny v tabulce č. 5.18. Uvedené vzorce jsou v příloze č. 9.

Tab. 5.18 Výpočtová tabulka pro všechny operace

		$F_{c\ MAX}$ [N]	f_n [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	a_p [mm]	A_D [mm ²]	k_c [MPa]	P_c [kW]	F_e [N]
HR	F1	610,657	0,18	385	3,1	0,558	1094,367	3,918	618,049
	F2	641,070					1148,871	4,114	749,327
	M2	592,344					1061,548	3,801	663,780
	WNT	767,828					1376,036	4,927	516,061
PDOK	F1	73,449	0,22	300	0,2	0,044	1669,295	0,367	66,150
	F2	88,877					2019,932	0,444	120,124
	M2	77,585					1763,295	0,388	95,260
	WNT	52,936					1203,091	0,265	37,221
DOK	F1	61,238	0,2	400	0,2	0,040	1530,950	0,408	58,068
	F2	79,442					1986,050	0,530	114,913
	M2	85,241					2131,025	0,568	100,479
	WNT	53,152					1328,800	0,354	34,850
PS PDOK	F1	62,453	0,22	300	0,1	0,022	2838,773	0,312	36,533
	F2	78,857					3584,409	0,394	83,959
	M2	72,070					3275,909	0,360	85,806
	WNT	66,743					3033,773	0,334	57,532
PS DOK	F1	39,847	0,074	400	0,05	0,004	10769,459	0,266	13,852
	F2	46,997					12701,892	0,313	41,089
	M2	36,976					9993,514	0,247	42,050
	WNT	40,742					11011,351	0,272	34,925

5.4.7 Vyhodnocení sil

Hrubování

Střední hodnoty pasivních sil F_p u hrubovacích operací se pohybovaly v rozsahu $-3,9 \div -1,7$ N (max 6,6 N). Pasivní síly nabývaly velmi nízkých hodnot, při procesu zapichování je nástroj minimálně axiálně namáhán díky neutrální geometrii kde $\kappa_r = 90^\circ$. Vznik těchto sil nabývá vlivem vibrací a nízké tuhosti soustavy S-N-O a zároveň se může zvyšovat právě při změně geometrie za vzniku nárůstu na břitu nebo při zvyšujícím se opotřebením VBD. V příloze č. 12 je uveden graf HR1_pokus2_WNT, na kterém lze přehledně vidět průběh sil (vznik pasivní síly) za změny geometrie při porušení VBD křehkým lomem. Střední hodnoty posuvové síly F_f se pohybují v rozmezí $69 \div 424,1$ N (max 437,2 N) a u řezné síly F_c jsou hodnoty v rozsahu $511,4 \div 617,8$ N (max 767,8 N). Střední hodnoty posuvových sil F_f jsou o 30-50 % nižší než u řezných sil F_c .

Mezi středními řeznými silami při hrubování je mezi nejnižšími hodnotami VBD WNT, poté destička F1, M2, a nejhůře při hrubování dopadla destička F2. Takže se potvrdil teoretický předpoklad, že velmi pozitivní geometrie je v tomto případě vhodnou variantou pro obrábění daného materiálu, ale je velmi důležité neopomenout fakt, že destička WNT prokázala vysokou nestabilitu a náchylnost na jakékoli druhy vibrací, přívod kapaliny, změny geometrie vlivem opotřebením a vzniku nárůstu na břitu nástroje. V příloze č. 12 je průběh všech pěti měření destičkou WNT, kde je prokázána vysoká nestabilita řezných sil při hrubování. Při pokusech o zapichování celou šířkou nástroje bez podepření otočným hrotem na stroji SU 50A-SP proběhla vždy deformace formou křehkého lomu. Z hlediska vyšší stability by bylo vhodným řešením použít například destičku F1.

Polodokončení

Hodnoty středních pasivních sil u PDOK operací nabývaly hodnot v rozmezí $2,7 \div 89$ N (max 101,4 N). Zvýšení pasivních sil ovlivňoval zejména tvar destičky, kde při zvyšujícím se rádiu na špičce destičky se zvyšuje i pasivní síla (obr. č. 5.15). Mezi nezanedbatelné fakty patří i to, že geometrie destičky může souviset s hlazením povrchu obrobku po obrábění vlivem vysoké elasticity materiálu hliníku. Střední hodnoty posuvové síly jsou v rozsahu $-1 \div 43,9$ N (max 59,3 N) a řezné síly dosahovaly $37,1 \div 67,7$ N (max 88,9 N).

Dokončení

Střední hodnota pasivních sil při dokončování se pohybovala v rozsahu $1,3 \div 85,3$ N (max 94,3 N). Střední hodnoty posuvové síly F_f se pohybují v rozmezí $0,4 \div 43$ N (max 53,9 N) a u řezné síly F_c jsou hodnoty v rozsahu $34,8 \div 63,8$ N (max 85,2 N).

Pro polodokončování a dokončování jsou ideální volbou VBD WNT z hlediska velmi nízkých nabývajících sil, kde pasivní a posuvová síla jsou v rozmezí hodnot ± 3 N. VBD WNT v tomto případě vyniká díky velmi výhodné pozitivní geometrii a menšímu rádiu špičky. Jako sekundární volbu lze uvažovat i o VBD F1, kde taktéž vyniká pozitivní geometrie. Mezi nejhoršími jsou VBD M2 a F2.

Podélné soustružení PDOK

Hodnoty středních pasivních sil u PS PDOK nabývaly hodnot v rozmezí $-2,2 \div 11,4$ N (max 20,9 N). Střední hodnoty posuvových sil jsou v rozsahu $19,2 \div 66,2$ N (max 99,15 N) a řezné síly v rozmezí $31 \div 54$ N (max 78,9 N).

Podélné soustružení DOK

Střední hodnota pasivních sil při podélném soustružení v části dokončování se pohybovala v rozsahu $1,2 \div 3,3$ N (max 1,1 N). Střední hodnoty posuvové síly F_f se pohybují v rozmezí $8 \div 37,6$ N (max 67,1 N) a u řezné síly F_c jsou hodnoty v rozsahu $11,1 \div 23,1$ N (max 47 N).

Při podélném soustružení DOK i PDOK se ukázala jako nejlepší varianta VBD F1, která vykazuje nejnižší velikost sil ze všech testovaných destiček. Z grafu lze vidět i vysoká stabilita při procesu řezání. VBD WNT vykazuje nižší stabilitu při procesu podélného soustružení ze stejného důvodu jako při procesu zapichování (hrubování). Vzhledem k silně pozitivní geometrii je břit destičky zeslaben a je náchylný na vibrace jakékoli změny při procesu (nárůstek, opotřebení, přívod kapaliny atd.). VBD M2 a F2 při podélném soustružení vykazovaly nejvyšší síly. M2 a F2 jsou vysoce stabilní VBD, které jsou spíše vhodné pro obrábění oceli.

Z celkové síly F_e vyplývá, že při zvětšujícím se úhlu čela (pozitivní geometrii) klesá celková síla. Měrný řezný odpor klesá ve stejné závislosti, ale při zvyšujících se vibracích se proces mění.

Z vypočítaných hodnot k_c vyplývá, že se zvyšující se řeznou rychlostí klesá měrný řezný odpor. Měrný řezný odpor narůstá v závislosti na snižující se velikosti průřezu třísky. Při porovnání hodnot $F_{c \text{ MAX}}$ a k_c lze usuzovat, že pro hrubovací operace je vhodnější destička s vyšší stabilitou a vyššími řeznými rychlostmi závislými na opotřebení nástroje. Pro dokončovací operace se hodí destička s pozitivní geometrií, kde je proces stabilní a měrný řezný odpor materiálu tak výrazně klesá.

S počítanou hodnotou $F_{c \text{ MAX}}$ má pro maximální řezný výkon při procesu hrubování nejvyšší hodnotu VBD WNT, ale ta převládá zejména díky velkým výkyvům hodnot při procesu hrubování. Při menších výkyvech v procesech dokončovacích řezný výkon výrazně klesá oproti ostatním VBD. Při podélném soustružení dosahuje nejlepší hodnoty stabilnější VBD s pozitivní geometrií F1.

5.5 Experimentální část 2. – utváření třísky

V části experimentu 2., kde se hodnotí vliv typu utvařeče na tvar třísky je hodnocení zaměřeno hlavně na část hrubování. Porovnány budou všechny 4 utvařeče mezi sebou při vstupních podmínkách stejných jako při experimentu v 1. části.

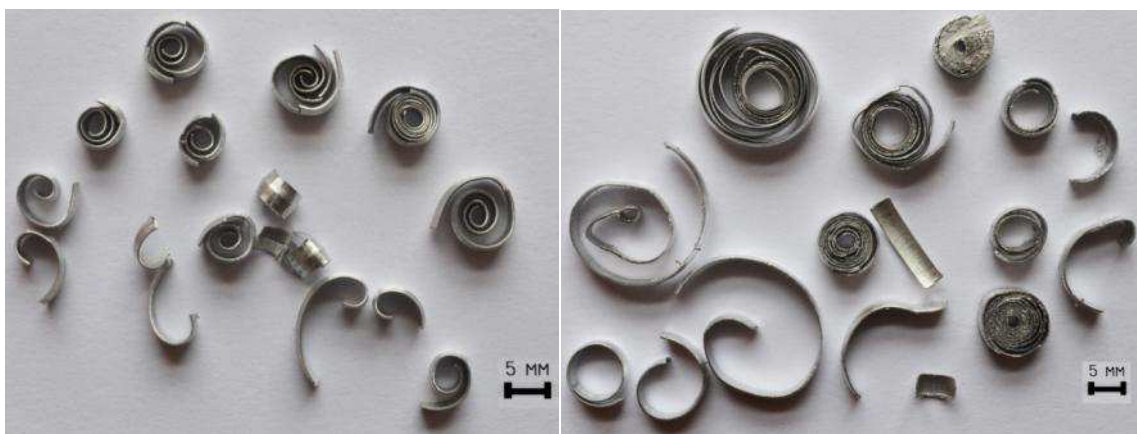
Hrubování probíhalo za podmínek dle tab. 5.2 $f=0,18$ mm, řezné rychlosti $v_c=385$ m.min⁻¹, $a_p=3,1$ mm a hloubce 2,5 mm. Třísky byly odebírány vždy při prvním (HR1) a posledním (HR5) měření.

Tab. 5.19 Utvořené třísky

	HR1	HR5
F1		
F2		
M2		
WNT		

5.5.1 Zhodnocení utváření třísek

Mezi nejlépe utvářené třísky při stávajících řezných podmínkách tvořily utvařeče F1 a WNT. Utvařeč typu F1 tvoří třísku stočenou do ploché spirály poměrně spěchovanou. VBD WNT tvoří třískou stejně jako utvařeč F1, ale více spěchovanou v některých případech až příliš, proto by bylo vhodné zvýšit řeznou rychlost nebo změnit posuv na otáčku. Více spěchovaná plochá tříska je velmi výhodnou z důvodu manipulace a odpadového hospodářství.



Obr. 5.30 Utvořená tříska nástroji F1_HR1 a WNT_HR5

Utvařeč typu F2 láme třísku v krátkých intervalech a tvoří elementární třísku. VBD M2 vine třísku do spirály, tříska je ale méně spěchovaná než při utváření noži F1 a WNT



Obr. 5.31 Utvořená tříska nástroji F2_HR1 a M2_HR1

5.5.2 Vyhodnocení vlivu utvařečů na utváření třísek

Mezi nejvýhodnější utváření třísek při zapichování jsou z hlediska manipulace a odpadového hospodářství krátké spirálové třísky. Tyto třísky zajišťují menší příkon, nižší zatížení ostří, nízké řezné síly a snazší odvod třísek. [12]

Při řezných podmínkách $f=0,18$ mm, řezné rychlosti $v_c=385$ m.min⁻¹, $a_p=3,1$ mm a hloubce 2,5 mm byly vytvořeny třísky danými utvařeči.

Jako nejvhodnější VBD za daných řezných podmínek je utvařeč F1, který tvoří třísku spirálovitou a ideálně spěchovanou.

VBD WNT vytváří z pohledu manipulace a ekonomického hlediska velmi dobrou třísku, ale za velmi vysokého spěchování. Vhodnějších podmínek lze dosáhnout částečnou korelací řezných podmínek, buď zvýšením řezné rychlosti, nebo změnou posuvu na otáčku.

U utvařeče typu M2 dochází k mírnému vinutí třísky do spirál, ale při těchto řezných podmínkách, se ještě stále utváří i elementární tříska. Vhodnějších třísek by bylo možné dosáhnout úpravou řezných podmínek.

Utvařeč typu F2 prokazuje díky elementární třísce vyšší zatížení ostří, a tím i vyšší řezné síly. Problém s daným utvářením třísky nastává z hlediska nízkého posuvu, při kterém tříska nepřekoná šířku fazetky (0,15 mm) a láme se dříve. Minimální posuv by měl být vyšší, než je samotná šířka fazetky. F2 je vhodný spíše pro tvrdší materiály, které vyžadují danou geometrii ostří a utvařeč třísek tohoto typu. Zlepšení by mohlo být dosaženo také za snižování řezných rychlostí.

5.6 Experimentální část 3. - měření profilu povrchu

Měření profilu povrchu bylo provedeno po operacích podélného soustružení u procesů polodokončování a dokončování, kde PS PDOK bylo provedeno za řezných podmínek $f=0,22$ mm, $v_c=300$ m.min⁻¹, $a_p=0,1$ mm v délce do 12 mm. PS DOK bylo provedeno za podmínek $f=0,074$ mm, $v_c=400$ m.min⁻¹, $a_p=0,05$ mm v délce do 6 mm na předchozí zpevněné vrstvě po PS - PDOK. Měření proběhlo na každém měřeném průměru na dvou místech.

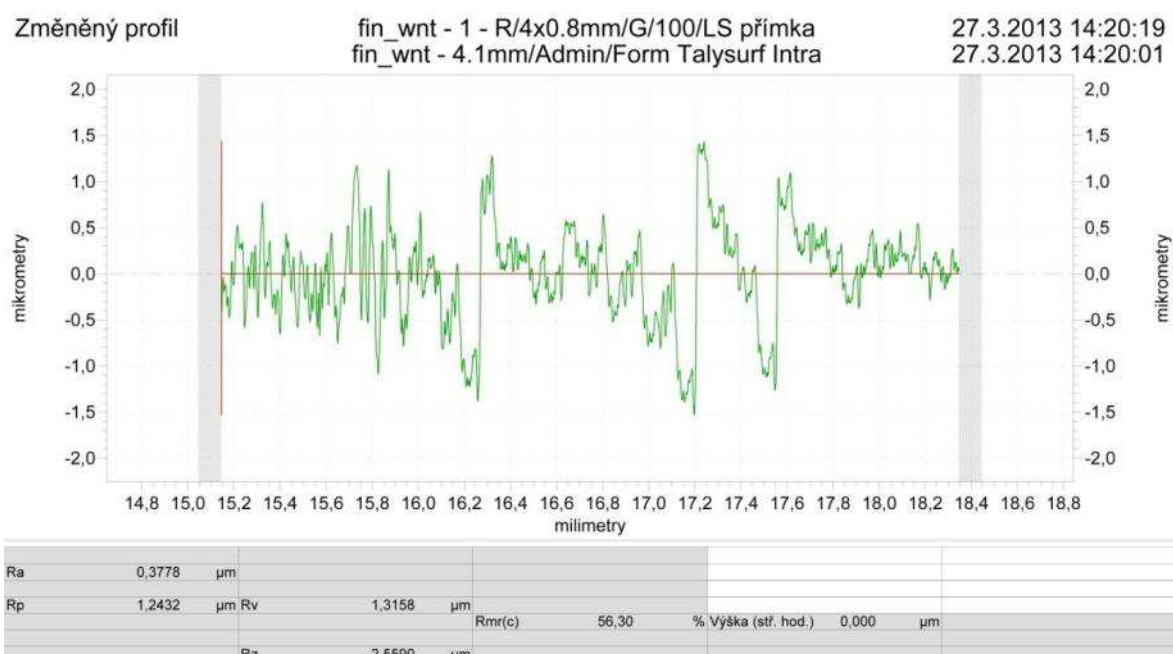
Měření bylo provedeno pomocí drsnoměru firmy Taylor Hobson (obr. č. 5.6), Form Talysurf 50 s držákem 112/2564-1845 a standardním kuželovým diamantovým hrotem (obr. č. 5.7). Drsnoměrem jsou získány hodnoty profilu povrchu R_a , R_p , R_v , R_z , R_{mr} . Teorie profilu povrchu je v příloze č. 11.

Tab. 5.20 naměřených hodnot:

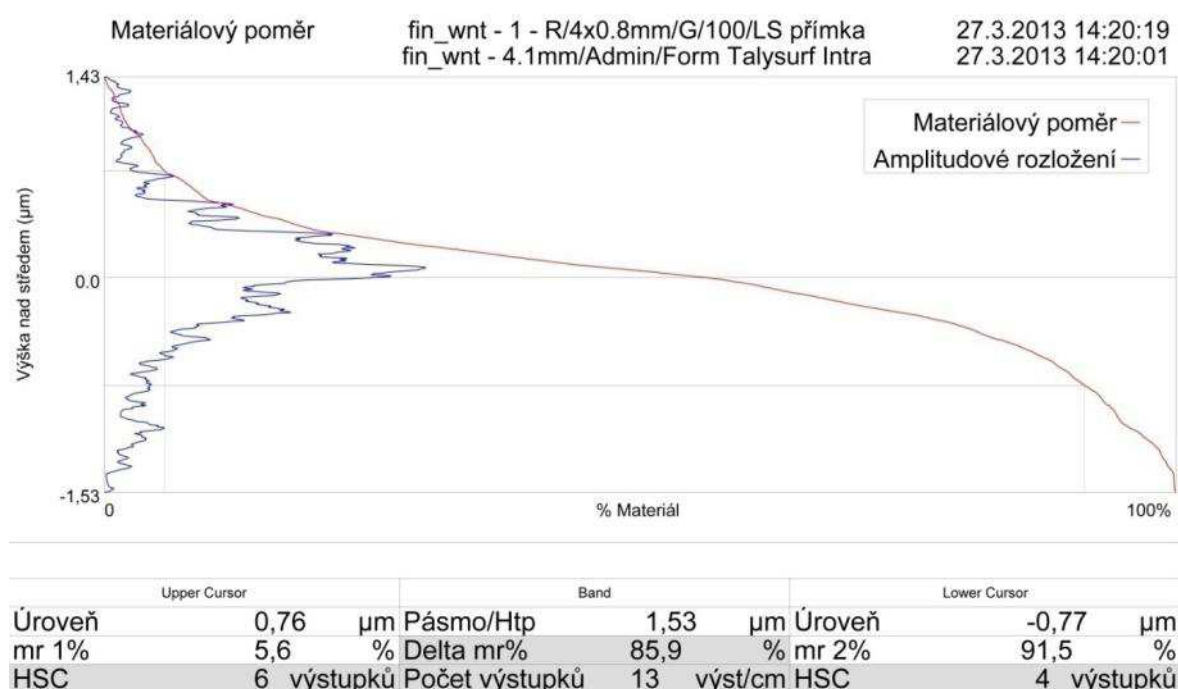
		R_a [μm]	R_p [μm]	R_v [μm]	R_z [μm]	R_{mr} [%]
PS PDOK1	F1	1,099	2,859	3,289	6,148	51,13
	F2	0,359	1,011	1,878	2,889	56,63
	M2	0,328	1,213	1,328	2,541	51,64
	WNT	0,567	1,711	1,493	3,203	51,55
PS PDOK2	F1	0,877	2,841	2,921	5,762	51,60
	F2	0,320	1,004	1,775	2,779	52,04
	M2	0,305	1,010	1,265	2,275	51,72
	WNT	0,684	2,286	1,905	4,191	51,12
PS DOK1	F1	0,799	2,051	2,668	4,719	52,63
	F2	0,281	0,920	1,297	2,216	54,87
	M2	0,340	0,982	1,262	2,244	54,03
	WNT	0,378	1,243	1,316	2,559	56,30
PS DOK2	F1	0,557	1,430	1,979	3,408	52,83
	F2	0,321	0,977	1,519	2,496	54,90
	M2	0,288	0,884	1,238	2,123	55,69
	WNT	0,344	0,966	1,377	2,342	52,28

Tabulka naměřených hodnot (tab. 5.20) udává měřené veličiny při podélném soustružení při operaci polodokončování a dokončování. Naměřeny byly vždy dvě hodnoty na stejném průměru, který byl opracován pouze jedním nožem v jedné operaci. Vzhledem k tomu, že se některé hodnoty od sebe podstatně liší, tak na základě tohoto faktu byla vytvořena tabulka č. 5.21 se statistickým zpracováním střední hodnoty, u které jsou i zpracovány výsledky teoretického předpokladu pro R_a a R_z výpočtové vztahy jsou v příloze č. 11.

Výstup z drsnoměru s programem Taylor Hobson ultra 5.12.6.29 je na obr. č. 5.32, kde je zobrazený 2D profil měřeného povrchu a pod ním je zobrazen výstup měření s naměřenými hodnotami drsnosti. Na obr. č. 5.33 je zobrazen výstup materiálového poměru, kde modrá křivka zobrazuje křivku hustoty pravděpodobnosti a červená nosnou křivku. Výstupy profilů povrchu firmy Pramet jsou v příloze č. 14.



Obr. 5.32 Profil měřeného povrchu PS DOK1 WNT



Obr. 5.33 Materiálový poměr, křivka hustoty pravděpodobnosti a nosná křivka

Parametry, nazvané materiálový poměr profilu (nosný podíl) a křivka materiálového poměru profilu (nosná křivka), popisují velikost stykových ploch dvou kluzně spojených součástí. Při vzájemném posuvu součástí se postupně opotřebovávají vrcholky profilu povrchů a linie styku se posunuje směrem do materiálu, tzn., že se zvětšuje styková plocha.[13]

Tab. 5.21 Střední hodnoty:

		R_a [μm]	R_{at} [μm]	R_p [μm]	R_v [μm]	R_z [μm]	R_{zt} [μm]	R_{mr} [%]	α_A [rad]	r_e [mm]	f [mm]
PS PDOK	F1	0,988	8,298	2,850	3,105	5,955	32,967	51,365	0,327	0,2	0,22
	F2	0,339	8,298	1,007	1,827	2,834	32,967	54,335	0,327	0,2	0,22
	M2	0,317	8,298	1,111	1,297	2,408	32,967	51,680	0,327	0,2	0,22
	WNT	0,625	11,796	1,998	1,699	3,697	48,020	51,335	0,448	0,15	0,22
PS DOK	F1	0,678	0,884	1,740	2,324	4,064	3,452	52,730	0,107	0,2	0,074
	F2	0,301	0,884	0,948	1,408	2,356	3,452	54,885	0,107	0,2	0,074
	M2	0,314	0,884	0,933	1,250	2,183	3,452	54,860	0,107	0,2	0,074
	WNT	0,361	1,186	1,104	1,346	2,451	4,635	54,290	0,143	0,15	0,074

5.6.1 Vyhodnocení drsnosti povrchu

Rozdíl při podélném soustružení mezi polodokončovací a dokončovací operací je jasně viditelný. Přesto by se z hlediska předepsaných drsností na výkrese dal zvýšit posuv při dokončovací operaci. Povrch, který je obroben podélným soustružením vykazuje vyšší jakost povrchu než je předepsána.

Teoretická průměrná aritmetická úchylna posuzovaného profilu a teoretická největší výška profilu pro vyšší posuvy přibližujícím se podmínkám ve vzorcích 19.1 a 19.3 v příloze č. 11 se začínají odchylovat. Pro operaci podélného soustružení – dokončování se o jistém předpokladu konečného povrchu dá uvažovat. Pro podélné soustružení zapichovacím nožem nekopíruje profil povrchu jen rádius nástroje ale „celá plocha“ (s ohledem na vychýlení) ostří zapichovacího nože. Profil povrchu zapichovacího nože je rozebrán v příloze č. 9.

Z tabulky č. 10.2 v případě PS DOK se dá usuzovat, že mezi vhodnějšími variantami pro vyšší jakost profilu povrchu v operaci podélného soustružení zapichovacím nožem se hodí nejvíce VBD typu M2, kde se prokazují nízké hodnoty všech měřených veličin a křivka rozložení hustoty pravděpodobnosti se rozkládá téměř symetricky kolem nulové čáry a limitně se tak přibližuje normálnímu rozdělení.

Drsnosti naměřené na povrchu po použití utvařeče F2, se velmi podobají naměřeným hodnotám u utvařeče M2, ale křivka rozložení hustoty pravděpodobnosti je posunuta směrem k povrchu součásti. To nasvědčuje tomu, že se v povrchové vrstvě materiálu mohou vyskytovat větší mikrotrhliny, které se mohou stát místy počátku jejich šíření. Součást se tímto stává více náchylnou k únavovému porušení.

VBD WNT se pohybuje v hodnotách až po F2 a M2, ale stejně jako u M2 se křivka rozložení hustoty pravděpodobnosti rozkládá téměř symetricky kolem nulové čáry a limitně se tak přibližuje normálnímu rozdělení.

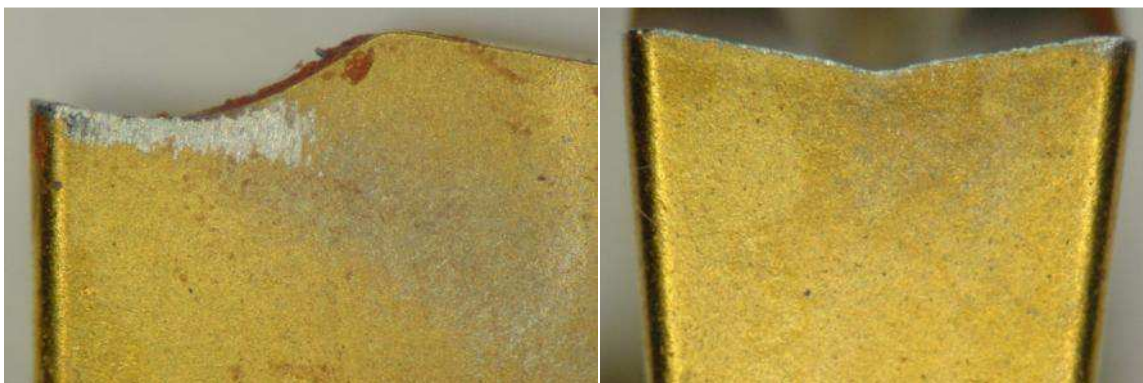
Mezi nejhoršími hodnotami se pohybuje destička F1, která se pohybuje mezi naměřenými hodnotami téměř až dvojnásobně oproti M2. Křivka rozložení hustoty pravděpodobnosti je posunuta směrem k povrchu součásti stejně jako u utvařeče F2, což značí možný výskyt mikrotrhlin, které mohou způsobit větší náchylnost k únavovému porušení.

5.7 Experimentální část 4. - měření opotřebení

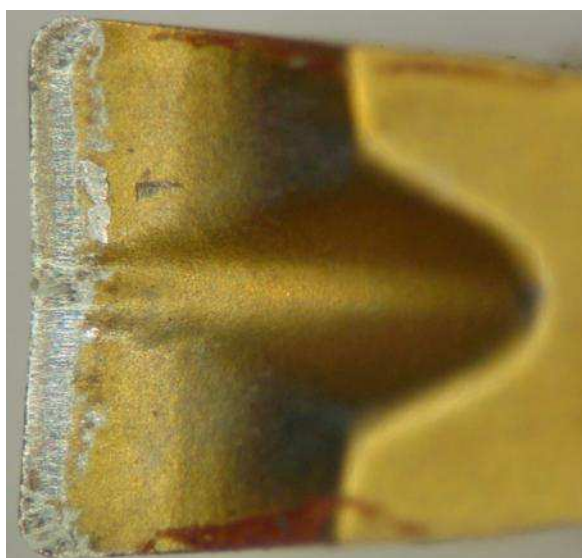
Měření opotřebení probíhalo na ruském mikroskopu TP-1 s přesností měření $5\mu\text{m}$ a focení bylo pořízeno na sestavě od firmy Carl Zeiss. První měření probíhalo po hrubování, druhé po dvou operacích polodokončování a dokončování a třetí a celkové měření proběhlo po podélném soustružení polodokončovacím a dokončovacím. Z hlediska velikosti celkového opotřebení bude uvedeno jen finálních již opotřebovaných VBD po všech operacích. Vzhledem k časové náročnosti k dostatečnému opotřebování VBD a množství jiných aspektů nebylo možné zkompletovat měření natolik, aby mohly být vytvořeny například křivky opotřebování Taylorových závislostí $T-v_c$.

Při měření docházelo ke spoustě chybným odhadům vzhledem k neustálému tvoření mikronárůstku, který pokrýval řeznou část břitů. Dle pořízených fotografií se dá usuzovat, že během celého procesu nenastalo opotřebování natolik významné, aby zde bylo číselně zaznamenáno v celkovém množství. Mimo jiné zde nastaly problémy s křehkým lomen nástroje u VBD WNT, ale z hlediska opotřebování a záznamového měření se může dokladovat pouze kompletní obrázková dokumentace s částečným číselným vyjádřením opotřebování.

Opotřebování VBD utvařeče F1



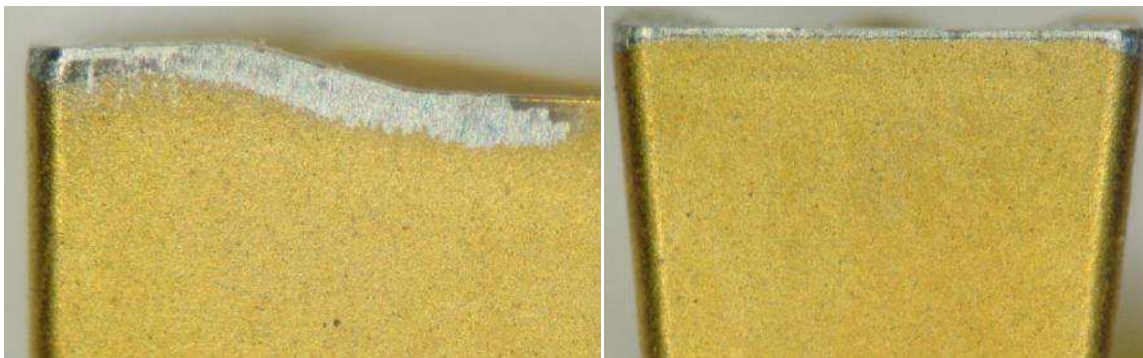
Obr. 5.34 Opotřebování vedlejšího a hlavního hřbetu



Obr. 5.35 Opotřebování na čele

Na obr. 5.34 kromě vrstvy mikronárůstku lze vidět mírné abrazivní opotřebení na vedlejším hřbetě, které dosahuje hodnoty $VB_{MAX}=0,14$ mm. V místě abrazivního opotřebení ještě zcela nezmizela vrstva povlaku TiN. Při opotřebení na čele na obr. 5.35 jsou vidět drobné abrazivní rýhy na horní polovině VBD. Opotřebení na čele je v poměrně dobrém stavu, kde je vidět stále horní vrstva povlaku TiN.

Opotřebení VBD utvařeče F2

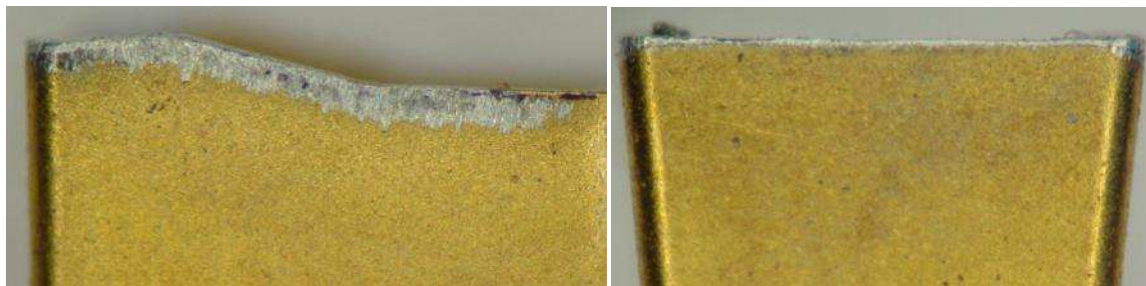


Obr. 5.36 Opotřebení vedlejšího a hlavního hřbetu

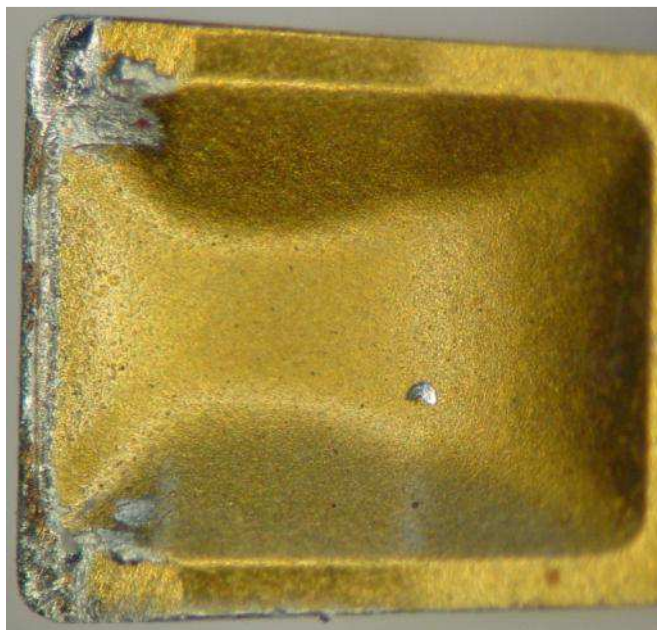


Obr. 5.37 Opotřebení na čele

Na obr. 5.36 lze vidět mírné abrazivní opotřebení na vedlejším hřbetě $VB_{MAX}= 0,125$ mm, které ale ještě zcela nepřekonal vrstvu povlaku TiN. Při opotřebení na čele na obr. 5.37 jsou vidět drobné abrazivní rýhy na obou stranách rádiu VBD. Opotřebení na čele je v poměrně dobrém stavu, kde je vidět stále horní vrstva povlaku TiN. Vzhledem k tomu, že na utvařeči typu F2 není žádná známka opotřebení ani vrstvě mikronárůstku po utváření třísky, lze z toho usuzovat, že posuv (hrubování $f_n=0,18$ mm) nebyl pro tuto destičku dostatečně vysoký na to, aby utvářená tříska překonala šířku fazetky (0,15 mm), takže tříska se lámala v kontaktu šířky fazetky. Pro využití geometrie nástroje by měl být posuv minimálně tak vysoký jako je samotná šířka fazetky. [12]

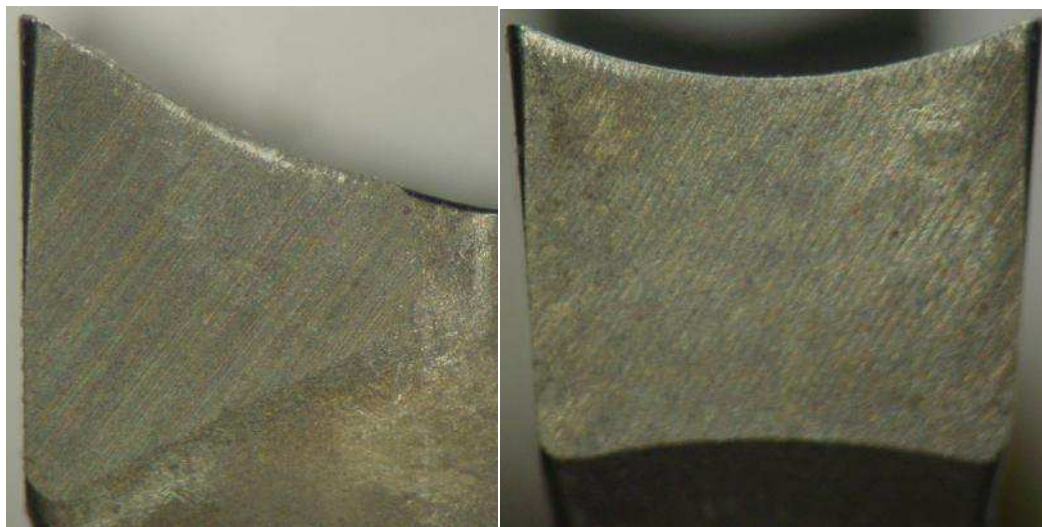
Opotřebení VBD utvařeče M2

Obr. 5.38 Opotřebení vedlejšího a hlavního hřbetu

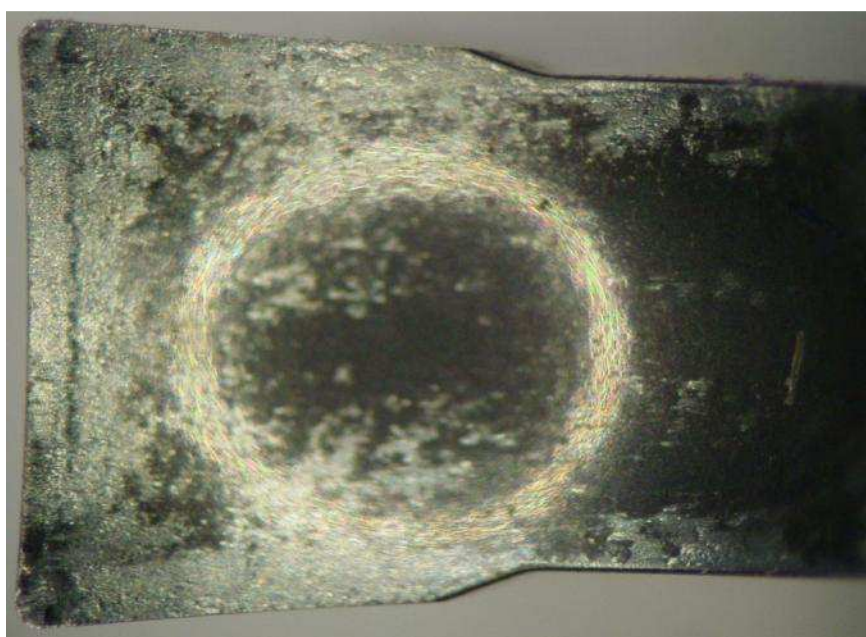


Obr. 5.39 Opotřebení na čele

Na obr. 5.38 lze vidět mírné abrazivní opotřebení na vedlejším hřbetě $VB_{MAX}=0,12$ mm, které ale ještě zcela nepřekonallo vrstvu povlaku TiN. U opotřebení na čele na obr. 5.39 jsou vidět drobné abrazivní rýhy na horní straně VBD. Opotřebení na čele je v poměrně dobrém stavu, kde je vidět stále horní vrstva povlaku TiN. V tomto případě utvářená tříska překonala šířku fazetky (0,085 mm), takže se tříska částečně odvíjela a částečně se lámala v kontaktu šířky fazetky. Na obrázcích je zcela zjevné, že obrábění materiálu slitin hliníku je z hlediska vlivu nalepování hliníku na řezný materiál nástroje velmi negativní pro geometrii nástroje.

Opotřebení VBD WNT

Obr. 5.40 Opotřebení vedlejšího a hlavního hřbetu



Obr. 5.41 Opotřebení na čele

Na obr. 5.40 na špičce vedlejšího hřbetu si lze povšimnout fialovo-černého zbarvení, které naznačuje, že vzhledem k velmi pozitivní geometrii tohoto nástroje se teplota integruje v jeho nejvyšším bodě, který do styku s materiálem přichází jako první. Nástroj v záběru potom dosahuje nejvyšších teplot právě ve špičce, kde při nestabilních podmínkách dochází ke křehkému lomu. Hlavní ani vedlejší hřbet nejeví větší známky opotřebení. Rýha na čele obr. 5.41 ve vzdálenosti (0,285 mm) od ostří nástroje, dokazuje částečně opotřebenou PLC vrstvu se stále neporušenou TiCN vrstvou. Podle utvářeče třísek lze vidět, že utvářená tříska prochází téměř celou jeho plochou. V příloze č. 13 je ukázka VBD HR1_pokus2_WNT, kde nastal křehký lom. Pro danou ukázkou je v příloze č. 12 průběh grafu sil za vzniku dané deformace.

5.7.5 Vyhodnocení opotřebení VBD

Hodnocení opotřebení destiček je spíše dodatečnou částí ke kompletaci celého experimentu, protože z hlediska opotřebení destiček po daných procesech není příliš výrazné. Řezné nástroje pro slitiny hliníku mají poměrně dlouhou životnost i za vyšších řezných rychlostí. Takže pro řádné testování je spíše vhodné opotřebení měřit za provozu přímo ve firmě. Mezi velké výhody při měření opotřebení je využití Taylorova vztahu $T-v_c$ nebo $VB_{0,3}-v_c$ např. pro regulaci časové plynulosti výrobních dávek.

Ve všech řezných částech na snímcích u všech testovaných VBD je prokazatelná vysoká přilnavost slitiny hliníku při obrábění na povrch nástroje. Tím se částečně mění nástrojové úhly a geometrie řezu třísky při řezném procesu.

Po obrábění destičkou F1 byly na vedlejším hřbetě po podélném soustružení známky částečného abrazivního opotřebení a na čele VBD jsou vidět drobné abrazivní rýhy. Ani v jednom případě se opotřebení neprojevovalo natolik, aby se dostalo přes svrchní vrstvu povlaku TiN.

Destička F2 z hlediska opotřebení prokazovala, stejně jako VBD F1, mírné opotřebení na vedlejším hřbetě a na čele u obou stran zaoblení špičky byly viditelné drobné abrazivní rýhy. A stejně tak první vrstva povlaku TiN nebyla významně opotřebená. Hlavní výhodou pořízených snímků u utvařeče F2 je zjištění, že na utvařeči není žádná známka opotřebení ani vrstvě mikronárůstku po utváření třísky. Lze z toho usuzovat, že posuv nebyl pro tuto destičku dostatečně vysoký na to, aby utvářená tříska překonala šířku fazetky, takže tříska se lámala v kontaktu šířky fazetky. Pro využití geometrie nástroje by měl být posuv minimálně tak vysoký jako je samotná šířka fazetky.[12]

Utvařeč typu M2 prokazoval z hlediska opotřebení stejné vlastnosti jako u VBD s utvařečem typu F1, kde bylo zjištěno drobné abrazivní opotřebení na vedlejším hřbetě a malé abrazivní rýhy na pravé straně čela VBD. Horní vrstva povlaku TiN nebyla téměř porušena. Utvářená tříska v tomto případě překonala šířku fazetky, takže se tříska částečně odvíjela a částečně se lámala v kontaktu šířky fazetky.

VBD WNT na hlavním ani vedlejším hřbetě nejeví větší známky opotřebení. Rýha na čele dokazuje částečně opotřebenou PLC vrstvu se stále neporušenou TiCN vrstvou. Z utvařeče třísek lze vidět, že utvářená tříska prochází téměř celou jeho plochou.

5.8 Zhodnocení experimentální části

Experimentální část byla využita pro zjištění sil, třísek, drsností a opotřebení během obráběcího procesu, který byl simulací obrábění zapichovacím nožem na stroji OKUMA LU25-M. Ve zhodnocení experimentální části jsou doporučeny nástroje do navržených technologických postupů s ohledem na dané operace. Kombinace těchto nástrojů bude k nahlédnutí v samotných postupech.

Z hlediska minimalizace sil (zejména radiálních) a nutnosti stability při hrubovacích operacích je nejvhodnější za daných řezných podmínek VBD s utvařečem typu F1, kde je proces hrubování velmi stabilní a tříska je tvořena do spirál s ideálním přechováním.

Pro polodokončování a dokončování je ideální VBD typ WNT, který se díky vysoce pozitivní geometrii snadno dostává do materiálu a díky velmi nízkým hodnotám radiálních sil v záběru se může snadno používat i na dokončení bez podepření otočným hrotem. Řezné síly, které v procesu nabývají, jsou při dokončovacích operacích u VBD WNT velmi stabilní.

Při podélném soustružení polodokončování a dokončování vykazovala nejlepších hodnot u měření sil VBD WNT a VBD s utvařečem F1. Naopak při těchto operacích při měření jakosti povrchu díky fazetce obstály nejlépe VBD F2, M2 a s nimi i VBD WNT s lehce horšími hodnotami. Z důvodu, že VBD WNT velmi dobře obstála při polodokončovacích a dokončovacích operacích, je vhodnou variantou i při dokončování podélným soustružením, kde kvalita obrobeného povrchu je velmi dostačující k předepsaným výkresovým tolerancím.

Kvalita povrchu, která byla naměřena za daných řezných podmínek a technologického postupu je mnohem vyšší jakosti, než je předepsaná průměrná aritmetická drsnost povrchu na výkrese. Proto by bylo vhodné časové zkrácení dokončovacích operací upravením řezných podmínek nebo změnou postupu při dokončování. Vhodnou variantou by mohlo být vynechat operaci PS DOK a místo ní ponechat jen PS PDOK, při které byly naměřeny dostačující hodnoty pro výkresovou drsnost střední aritmetické úchylky profilu.

6 NÁVRH DÍLČÍCH RACIONALIZAČNÍCH OPATŘENÍ

Návrh dílčích racionalizačních opatření se zabývá samotným zlepšením stávajícího systému ve firmě Edwards. Prvním řešeným problémem z hlediska výrobnosti a spolehlivosti při výrobním procesu je samotný materiál, z kterého je součást vyráběna. Materiál byl dodáván při značně různých mechanických vlastnostech, při kterých byl problém seřadit linku na plynulou výrobu za konstantních výrobních dávek. Racionalizace z hlediska nástrojového a strojního vybavení se bude zlepšovat tak, že se bude snižovat výrobní čas, a tím i celkové náklady za předpokladu dodržení výrobních tolerancí. Tohoto zlepšení bude docíleno za pomoci nákupu nového obráběcího stroje nebo úpravou stroje stávajícího. Dále za pomoci změny univerzálních řezných nástrojů za nahrazení speciálními nástroji, které zvládnou udělat na jedno upnutí stejné operace jako dva jiné univerzální nástroje. Nástrojů, které mají díky výhodnější geometrii a materiálového složení lepší řezné vlastnosti a delší životnost.

6.1 Změna dodavatele materiálu

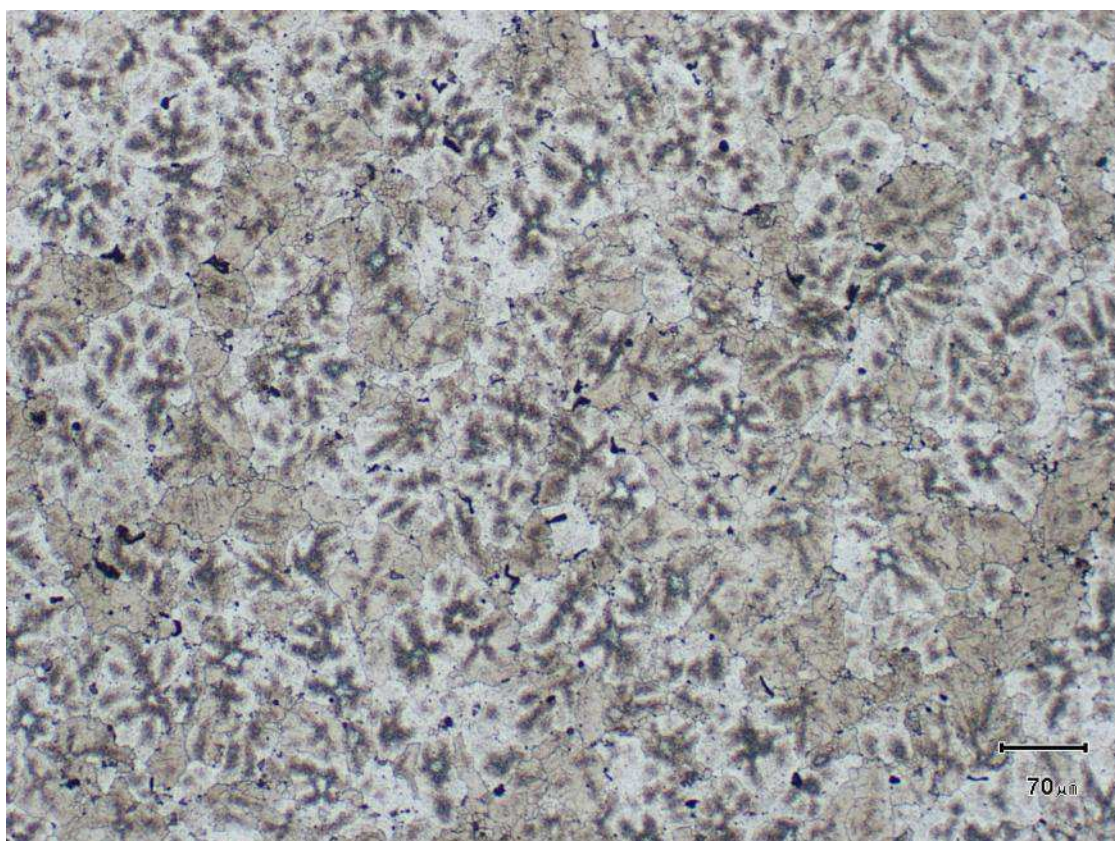
Materiál byl na základě problémů se soudržností rozměrů a vysokým měrným řezným odporům v závislosti na různých dávkách od původního dodavatele prozkoumán. Bylo pozorováno heterogenní složení mikrostruktury s nerovnoměrným rozložením velikosti zrn. Při změně dodavatele se ukázalo, že původní materiál byl ve velmi nevyváženém stavu.

Pro porovnání obou materiálů jsou dále uvedeny obrázky 6.1 – 6.4, kde první dva obrázky jsou pro přehlednost zobrazeny při zvětšení (100x) a další dva při velkém zvětšení (500x). Jako první je vždy zobrazen (horší) materiál od původního dodavatele a jako druhý je materiál (lepší) od nového dodavatele.

Materiál od původního dodavatele (viz obr. 6.1 a 6.3), vykazuje velké rozdíly ve velikosti zrn. Rozložení sekundárních fází je rozdílné od materiálu nového dodavatele. Ve větších uskupeních je na hranicích velkých zrn patrné jejich dělení na menší zrna. Zrna rovněž vykazují vysokou heterogenitu v uspořádání sekundárních fází. Z hlediska výše zmíněných veličin a pozorované struktury materiálu lze usuzovat, že bylo špatně provedeno tepelné zpracování, kde při žíhání a umělém stárnutí nebyly dodrženy přesné teploty. Z dalších možností předpokladů o heterogenitě struktury by se dalo usuzovat, že po umělém stárnutí proběhlo dlouhodobé přirozené stárnutí. Původní dodavatel zřejmě vyráběl materiál v dávkách, které neprodal v celé míře tavby, kde ve zbytku neprodané tavby mezitím probíhalo přirozené stárnutí. Vzhledem k těmto odhadům by se daly také přisuzovat různé obráběcí vlastnosti, pro které se nepříznivě přizpůsobovala plynulost chodu celé linky.

Materiál od nového dodavatele (obr. 6.2 a 6.4), vykazuje velmi rovnoměrné rozložení zrn. Struktura materiálu je na první pohled velmi jemnozrná. Rozložení sekundárních fází je taktéž v rovnovážném stavu. Vzhledem k anizotropii zrn je zřejmé, že materiál je zkoumán v podélném řezu. Materiál od nového dodavatele je dovážen přímo po umělém stárnutí a nevykazuje žádné znatelné výkyvy mezi jednotlivými dávkami z hlediska stálosti rozměrů při obrábění.

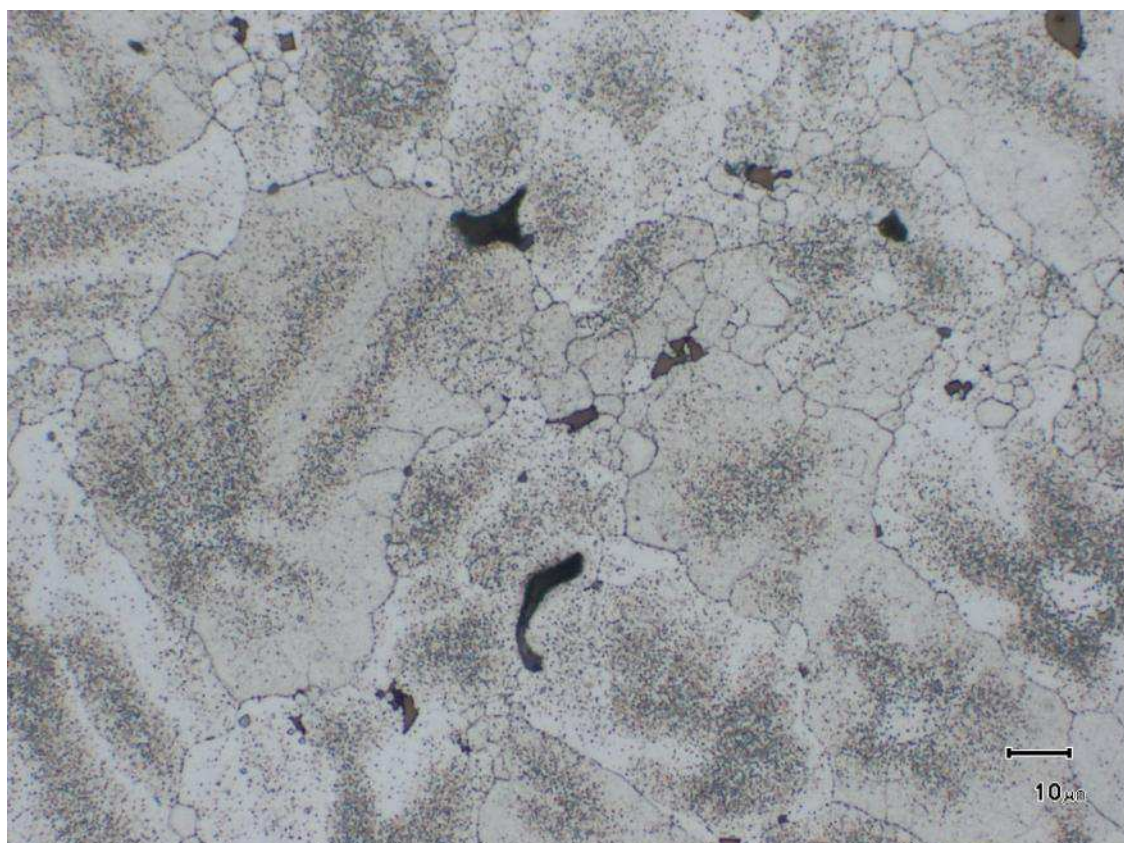
Podrobnější přehled o postupu a použitém zařízení při zpracování metalografických vzorků materiálu od nového i stávajícího dodavatele je uveden v příloze č. 4.



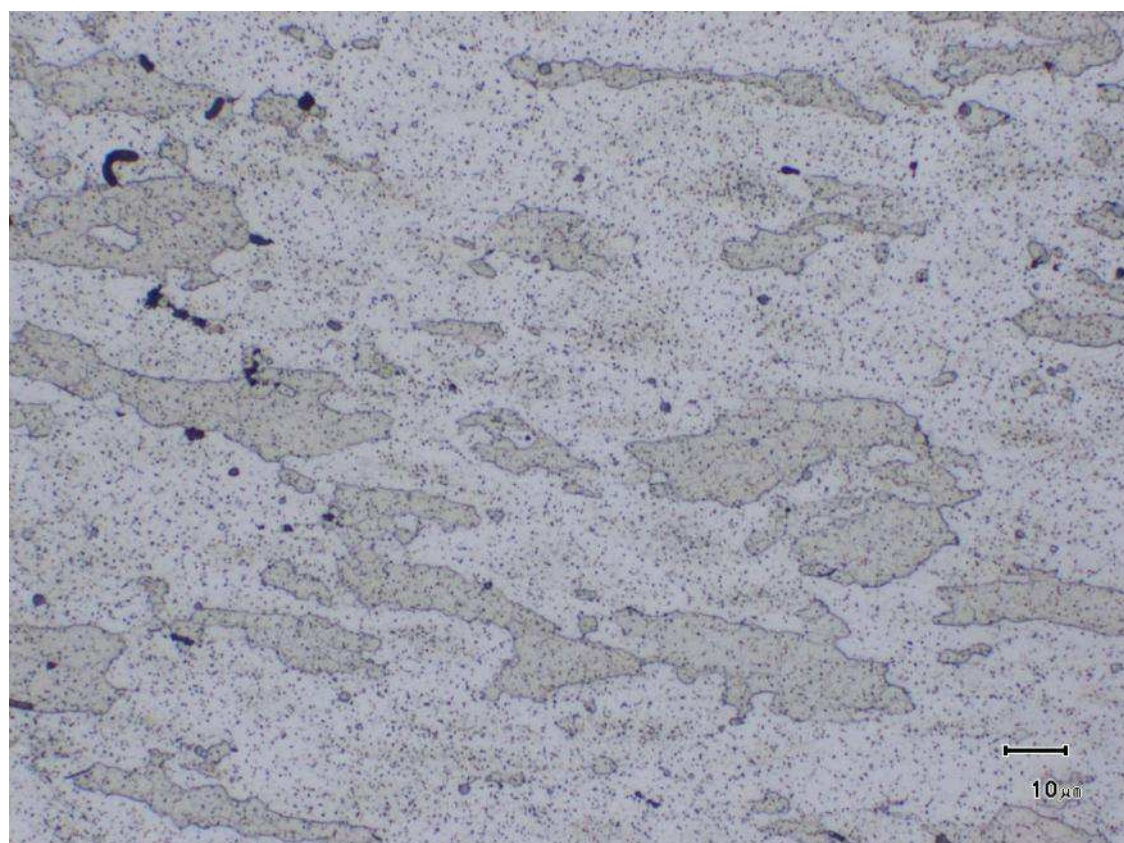
Obr. 6.1 Materiál od původního dodavatele, zvětšení 100x



Obr. 6.2 Materiál od nového dodavatele, zvětšení 100x



Obr. 6.3 Materiál od pôvodného dodavateľa, zväčšenie 500x



Obr. 6.4 Materiál od nového dodavateľa, zväčšenie 500x

6.2 Racionalizace stávajícího obráběcího stroje

Racionalizace stávajícího obráběcího stroje OKUMA LU25-M je zaměřena na modernizaci a změnu používaných dosavadních nástrojů za speciální nástroje, které budou zkracovat celkový strojní výrobní čas a stabilizovat proces obrábění.

Přídavné proti-vřetení

Pro modernizaci stávajícího stroje bylo navrženo několik výrobních postupů, které velmi ovlivní celkový výrobní čas a celkovou tuhost celého obráběcího procesu soustružení. Hlavním základem těchto postupů je nákup proti-vřetení na stávající stroj. Ve firmě Misan, která je novým zastoupením firmy Okuma pro ČR byli zjištěny podstatné informace pro celkový ekonomický a technologický pohled na danou situaci z hlediska na stáří stroje a možnosti montáže proti-vřetení do stávajícího stroje OKUMA LU25-M. Zjištěné informace byly využity ve prospěch nákupu nového stroje. Pro stávající stroj by to z ekonomického hlediska nebyla vhodná investice. Proto bude racionalizace stávajícího stroje zaměřena pouze na změnu technologie s využitím speciálních nástrojů.

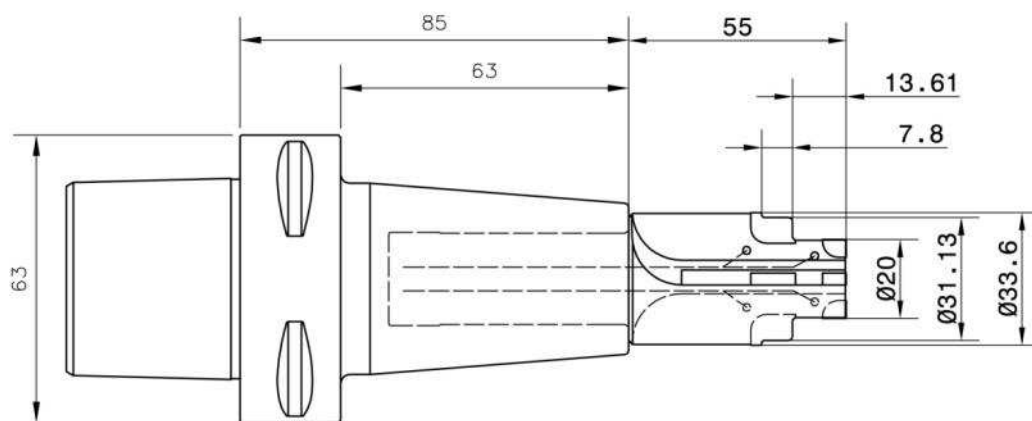
Změna kalibrace hydraulického rozpínacího trnu

Změnou v technologii pro přesnější ustavení při 3. upnutí na hydraulický trn je, že po nasazení a zašroubování hydraulického trnu na vřetení kalibrace probíhá při nasazené součásti. Díky tomu se přesnost při finálních operacích taktéž zvyšuje.

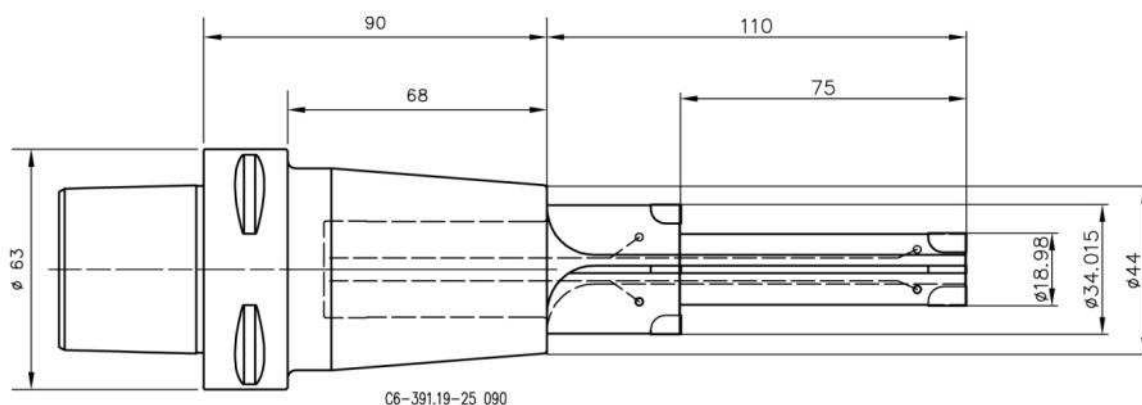
6.2.1 Racionalizace nástrojů

Vzhledem k již pořízenému vybavení je zvaženo jen pro vybavení, které poskytne jistou návratnost při koupi. Změna nástrojů poskytne vyšší stabilitu při procesu obrábění snížením radiálních sil při dokončovacích a hrubovacích soustružených vnitřních úkonů, které budou z větší části převedeny na axiální při vrtacích úkonech. Díky experimentu nastane změna používaných VBD při hrubovacích a dokončovacích operacích, kde budou v záběru dvě odlišné destičky, jedna bude v záběru celou svou šířkou a druhá jen částí. Nebude tomu tak po celou část procesu, ale ovlivnění nastane jak pro trvanlivost nástroje, tak pro vyšší stabilitu řezného procesu.

Náhrada vnitřního hrubovacího nože T4 a vnitřního drážkovacího nože T5, který byl používán na podélné soustružení. Tyto nástroje byly použity po vrtání vrtákem s napájenou hlavou $\varnothing 18$ mm, který vrtal skrze celou součást v části upnutí 2.9 v příloze č. 8. Poté v kroku 2.11 nástroj č. T4 hruboval vnitřní rozměry a v upnutí č. 2.14 proběhlo polodokončení a dokončení. Místo tohoto procesu je navrhována racionalizace s nástroji N39 (obr. č. 6.1) a N42 (obr. č. 6.2), které navazují na předvrtanou díru $\varnothing 18$ mm, kde první nástroj N39 díru dokončí a částečně předhrubuje pro další nástroj a N42 dokončí celý vnitřní tvar. Nástroje N39 a N42 byly pečlivě vybrány a navrženy za spolupráce firmy Walter-tools. V příloze č. 15 je výkres nástroje N39 a v příloze č. 16 je výkres nástroje N42. Oba nástroje budou použity znovu při navrhování nástrojů pro nový stroj.



Obr. 6.1 Nástroj N39 se systémem upínání Capto

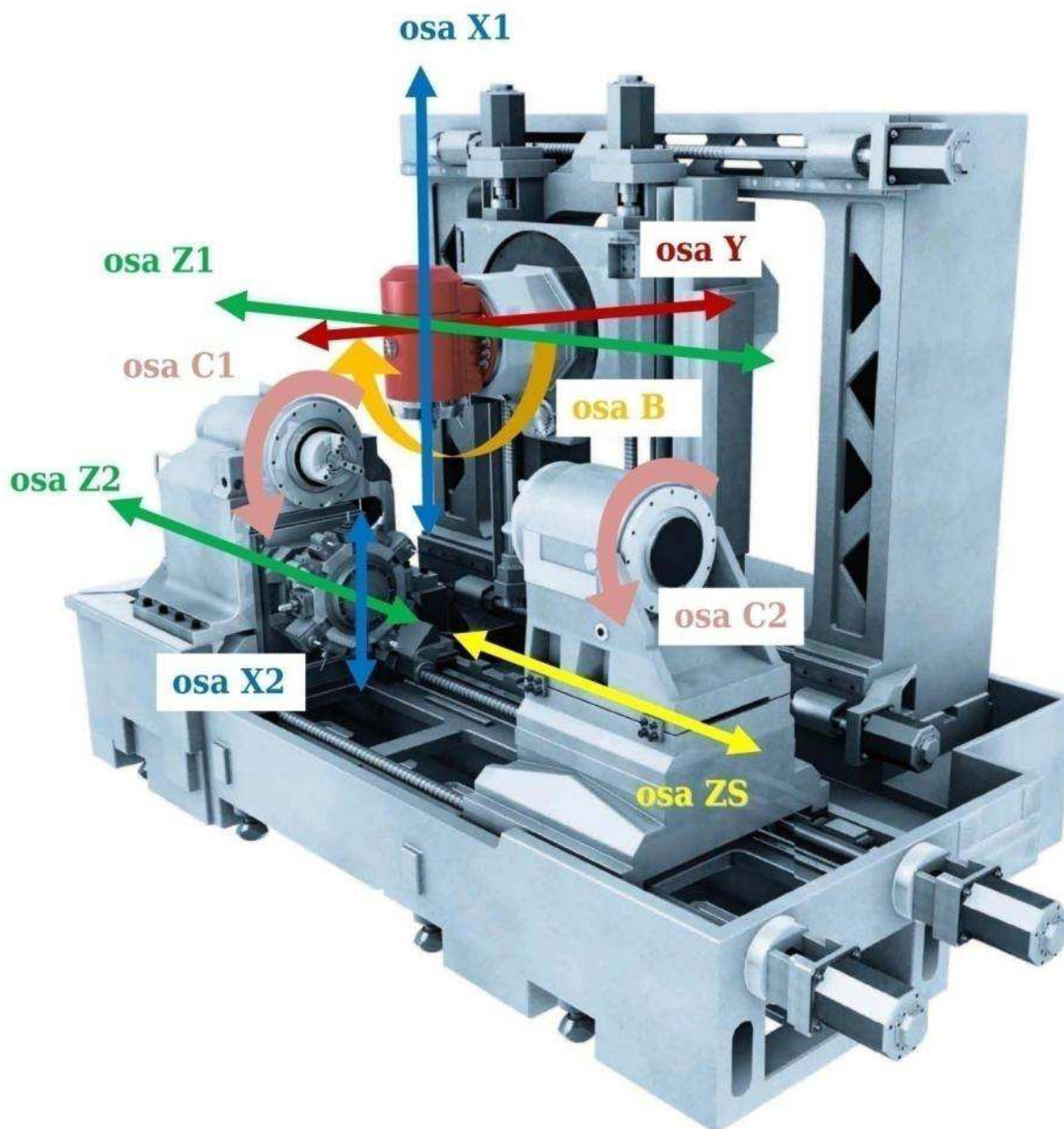


Obr. 6.2 Nástroj N42 se systémem upínání Capto

Pomocí experimentu bylo zjištěno výhodných řezných VBD pro zapichovací operace v částech postupu 2.7 a 2.12 (příloha č. 8), kde jsou v záběru vždy dvě VBD proti sobě. V hrubování v části 2.7 byly použity zapichovací nože šířky 3,1 mm. Jeden ze dvou bude vyměněn za nůž stejné šířky od firmy Pramet s utvařečem typu F1, který provede řez stejné plochy ale při procesu takovém, že VBD F1 bude hrubovat celou šířkou ostří a destička WNT bude vzhledem k nestabilitě při hrubování pouze zvětšovat šířku mezi lamelami na požadovaný rozměr. Při dokončovacích operacích podélným soustružením zapichovacím nožem v části 2.12 bude dokončovat VBD WNT, která vykazovala vyšší jakost povrchu při dokončovacích operacích.

6.3 Nový obráběcí stroj Mori Seiki NTX 2000

Pro nákup obráběcího stroje byl vybrán stroj firmy DMG/Mori Seiki CNC soustružnicko-frézovací centrum série NTX 2000 (příloha č. 17). Nákup stroje byl vybrán především díky jeho mnoha výhodám z hlediska zvýšení produktivity práce, velmi přesného obrábění díky omezení teplotních vlivů, snížení doby vibrací stroje (rychlý útlum) a tím zvýšení životnosti nástrojů, zlepšení kvality povrchu, kruhovitosti a taky především z hlediska šetrnosti k životnímu prostředí (redukce mazání, redukce spotřeby elektrické energie). Schéma rozmístění os stroje je na obr. č. 6.3. [14]

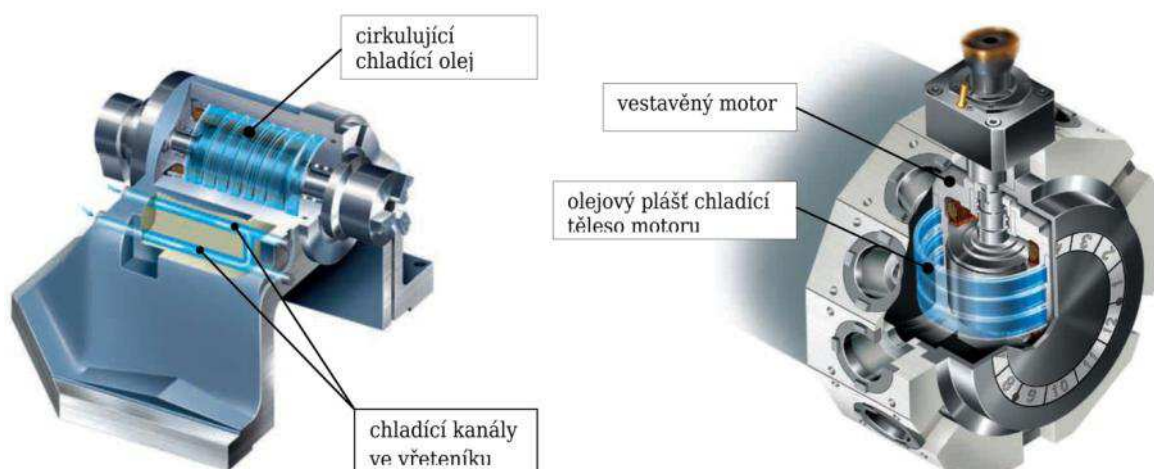


Obr. 6.3 schéma rozmístění os stroje [14]

6.3.1 Stručný popis některých výhod

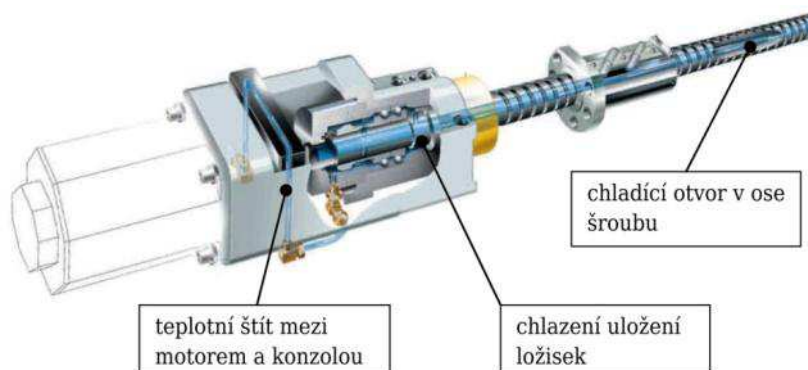
Omezení teplotních vlivů:

Na stálou přesnost stroje během obráběcího procesu má negativní dopad teplota strojních celků a s ní spojené teplotní deformace. Tyto teplotní vlivy se potlačují důkladným průtokovým chlazením všech tepelných zdrojů. Vřetenovou nástrojovou jednotku obklopuje spirálové olejové proudění, které vyrovnává teplotu nástrojové hlavy. Druhou nástrojovou hlavu díky zabudovanému motoru přímo v nástrojové hlavě s přímým pohonem nástrojů, odpadají přídavné zdroje tepla z převodového systému. Olejový plášť, který prochází přímo tělesem motoru, pak dokáže eliminovat téměř zcela všechny teplotní vlivy (obr. č. 6.4, vpravo). Řízení teploty v symetrické konstrukci vřeteníku a druhé nástrojové hlavy je vznikající teplota odváděna chladicími kanálky rovnoměrně z odlitku. To je doprovázeno za intenzivního chlazení vřetene (obr. č. 6.4, vlevo). [14]



Obr. 6.4 Chlazení vřeteníku a druhá nástrojová hlava s vřeteníkem[14]

Chladicí systém v pohonech os má v osách kuličkových šroubů připraveny otvory, v kterých proudí chladicí olej. Ten prochází přes uložení podpěrných ložisek do konzoly držící motor, kde zabraňuje prostupu tepla vznikajícího ve vinutí motoru (obr. č. 6.5). [14]



Obr. 6.5 Chladicí systém v pohonech os[14]

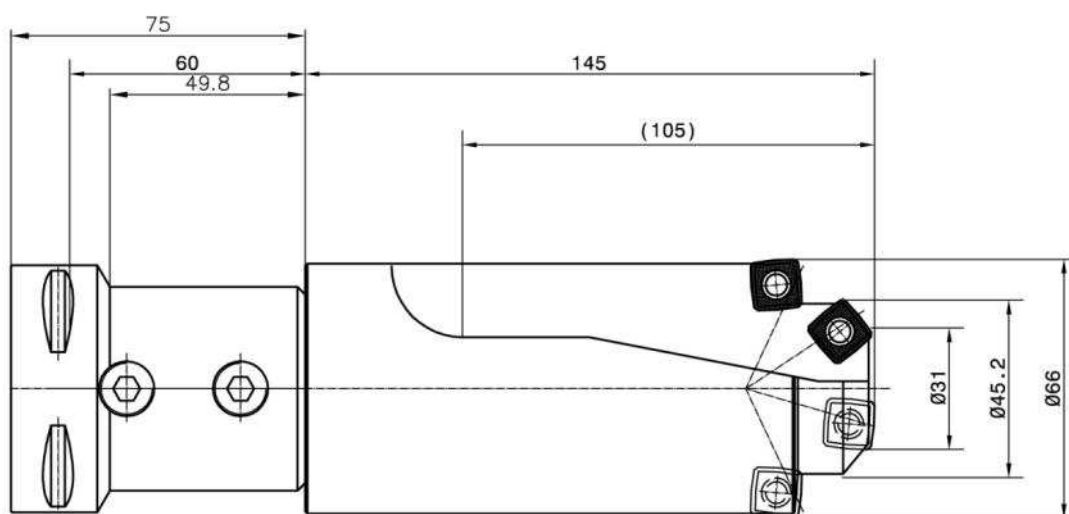
Výhody menších vibrací:

Při NC řízení se stává, že stroj chybně detekuje odchylku od naprogramované polohy a snaží se ovlivnit posuvový motor, aby tyto nesrovnalosti eliminoval. Často se tím způsobují ještě větší vibrace. Proto se u konvenčních strojů při změně rychlosti pohybu, musí toto zrychlení dávkovat, aby vibrace nepřekročily maximální hranici. Tím se výrazně zmenšuje oblast, kde se může zrychlení pohybovat plným výkonem a zároveň díky tomu narůstá čas k potřebné změně rychlosti. Díky menším vibracím u série NTX se plně zrychlení může využít téměř okamžitě a tím eliminovat celkový čas. Nástroj a obrobek jsou dva prvky na konci vibrujícího řetězce představujícího stroj, každé snižování vibrací má přímý pozitivní vliv na jakost povrchu. Při vibracích nástroje při kontaktu do řezu vykazuje vibrace, významně se tím opotřebovává jeho špička, díky snižování vibrací se přímo prodlužuje životnost nástroje. Z hlediska kruhového obrábění jsou generovány vibrace vlivem jako změny směru pohybu přejíždění z jednoho kvadrantu do druhého. Snižování vibrací zásadně zlepšuje kvalitu povrchu, přesnost, pracovní čas a životnost nástroje. [14]

6.3.2 Návrh strojního vybavení

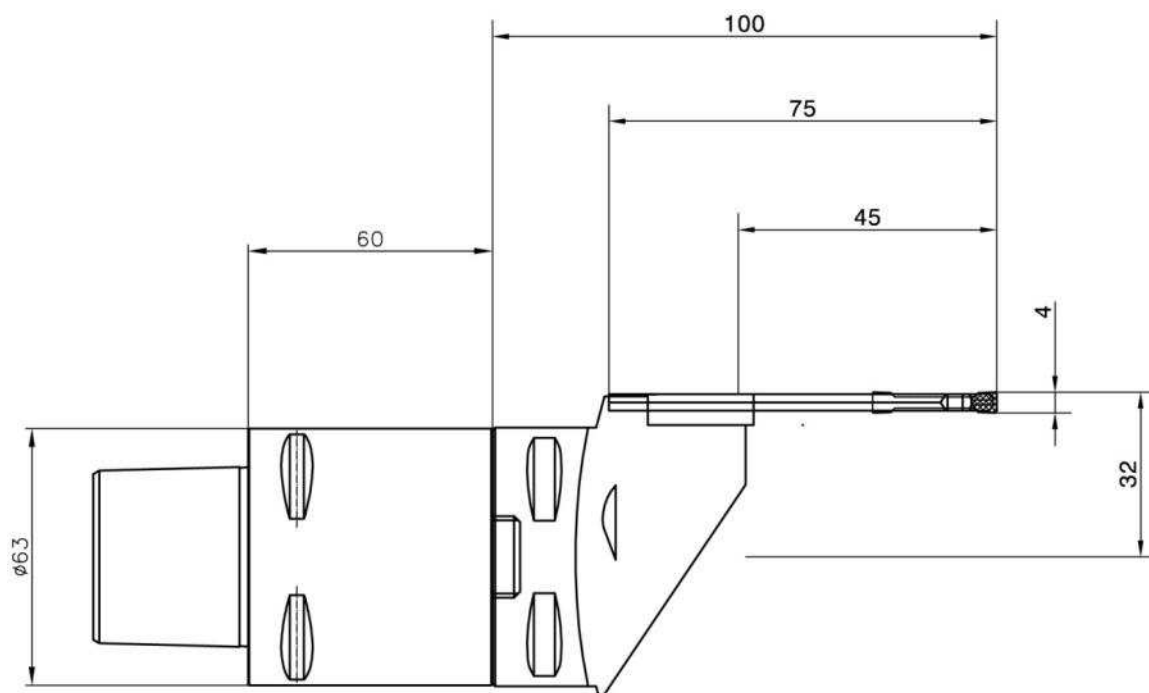
Strojní vybavení pro stroj Mori Seiki NTX 2000 bylo vybráno ve spolupráci s firmou Walter. Základ nástrojového vybavení vychází z původního využívaného na stroji Okuma LU25-M. Tabulka nástrojů a možných alternativ je přiložena v příloze č. 18. Schematické zobrazení nástrojů nebo jejich výkresová dokumentace bude zobrazena jen pro speciální nástroje. Nástroje s katalogovým označením lze nalézt přímo v katalogu firmy Walter. Speciální nástroje pro hrubování a dokončování finálních děr již byly schematicky zobrazeny na obrázcích 6.1 a 6.2 v racionalizaci nástrojů pro stroj Okuma LU25-M, jejich výkresovou dokumentaci lze nalézt v příloze č. 15 a 16.

Speciálním nástrojem pro hrubování děr je tvarový vrták N13 (obr. 6.6), který je vyroben na základě již používaného tvarového vrtáku na stroji Okuma s číslem T12. Tvarový vrták předhrubuje díru na jeden záběr a není nutné hrubovat dalšími nástroji. Proces je zobrazen v části postupu 1.3 v příloze č. 19. Výkres tvarového vrtáku je přiložen v příloze č. 20.

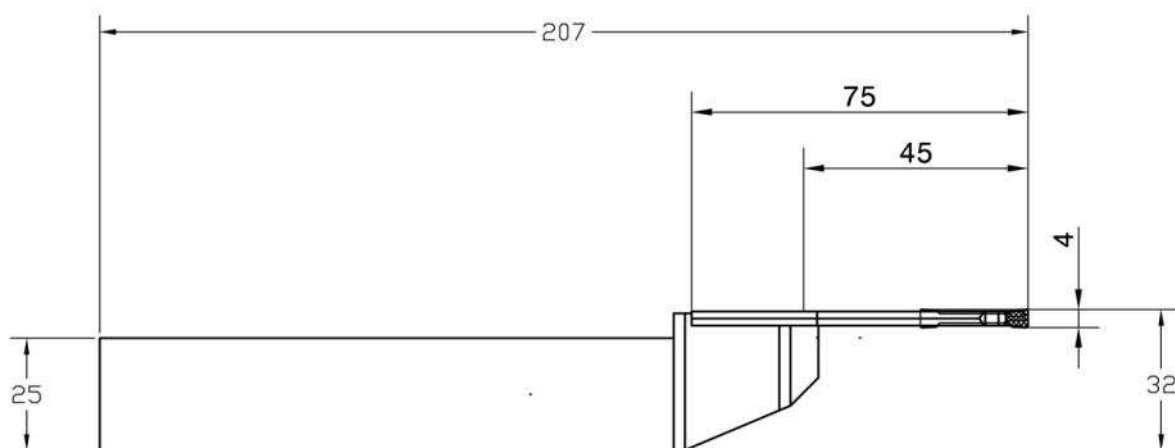


Obr. 6.6 Tvarový vrták N13

Speciální nástroje na zapichování byly zkonstruovány tak, aby vibrace při hlubokém zapichování byly co nejvíce minimalizovány. Mezi hlavními požadavky pro snížení vibrací je, aby konstrukce držáku s nástrojem byla s co nejmenším vyložením. Výška nože v držáku, která je alespoň natolik vysoká jako délka posunu nástroje do středu. Pro ukázkou jsou zobrazeny jen dva hrubovací držáky pro N23, N32 a N26 s větší délkou vyložením, které reprezentují upnutí v nástrojovém vřetenu 1 (obr. č. 6.7) a 2 (obr. č. 6.8). Na obr. 6.7 má nožový držák navíc prodloužení pro větší rozsah pohybu nástrojového vřetene 1.



Obr. 6.7 Schéma hrubovacího nože pro N23 a N32



Obr. 6.8 Schéma hrubovacího nože N26

Hlavní úprava držáků oproti normalizovaným je zejména v úpravě délek, kde pro nejvyšší stabilitu je nejmenší možná délka vyložením. Zapichovací nástroje, které byly vyráběny jako speciální, jsou přiloženy v příloze č. 21, 22 a 23. Kde v příloze č. 21 je výkres pro nástroje N17 a N29. V příloze č. 22 je výkres držáku pro nástroje N23 a N32. Příloha č. 23 obsahuje výkres pro nástroj N26.

6.3.3 Návrh technologického postupu

Technologický postup byl vymyšlen pro inovaci jak z hlediska snížení výchozího času, tak pro zajištění vysokých přesností během procesu obrábění. Vzhledem k neustálému vývoji a zvyšování přesností na součásti se nedá zcela hledět na předepsanou výkresovou jakost povrchu. Proto v návrhu technologického postupu jsou vytvořeny dvě varianty, které se mezi sebou dají kombinovat. Jeden postup je vytvořen za spolupráce firmy Walter, a proto je u něj použito veškeré vybavení, které firma Walter dodává přímo se strojem Mori Seiki. Tento technologický postup bude nazván „Technologický postup Walter“. Jako druhý je vytvořen postup, který měl být původně na stroji Okuma LU25-M s přídavným protisklídlem, ale vzhledem k dané situaci bude postupu využito na novém stroji Mori Seiki s kombinovaným vybavením z původního stroje i s vybavením, které poskytuje firma Walter. Tento technologický postup je nazván „Technologický postup principu protikus“, protože při zapichovacích operacích je využito speciálního přípravku, který kopíruje vnitřní výsledný tvar strany součásti. Tento přesný přípravek nám zaručuje vysokou přesnost polohy součásti a tím také vysokou tuhost celé soustavy S-N-O. Díky tomuto postupu je možnost pracovat s kratším polotvarem a není potřebou mít delší část pro zapichování.

Poznámka: Při mírné modifikaci by se Technologický postup protikus dal změnit tak, že místo přídavného protisklídlu s protikusem by se dal použít otočný hrot. Díky této inovaci z hlediska technologického postupu by se jednoduše dal zavést na stroj Okuma LU25-M, hlavním problémem ale je, že po určitém čase se otočný hrot vychyluje z osy vřetene z důvodu dlouhodobého působení sil zejména v radiálním směru. Pokud by se tento postup aplikoval, musel by se otočný hrot kalibrovat. Určila by se mezní doba kalibrace a hrot by se pravidelně seřizoval do osy vřetene pro vysokou tuhost a přesnost obrábění. Z tohoto důvodu byl taktéž prováděn experiment, kde probíhal výzkum závislosti sil na geometriích, stabilitě, měrného řezného odporu při pěchování a odvodu třísky. Díky tomuto experimentu by se určili nástroje, které mají nejnižší radiální síly a prodloužila se tak mezní doba kalibrace.

Technologický postup Walter

Tento postup je vytvořen na základě snížení ovlivnění lidského vlivu na přesnost při upínacích procesech. Nástroje na zapichování jsou vybrány na základě prováděného experimentu tak, aby při procesu odběru třísky docházelo k co nejnižším radiálním silám. Vybrané nástroje firmy Walter by měly být geometrií a materiálem adekvátní nebo lepší než nástroje při aplikovaném experimentu. Pro případ, že se předpoklad o zlepšení nástrojů nepotvrdí, je uvedena alternativa s nástroji použitými v experimentu. Vzhledem k tomu, že celý postup je zaměřen pouze na soustružení na jednom stroji, tak je v tabulce uveden vždy jen postup a použité nástroje s řeznými podmínkami. „Technologický postup Walter“ je k nahlédnutí v příloze č. 19. Číslování bylo zvoleno tak, aby jednotlivé kroky korespondovaly s operací upnutí a použitým nástrojem, to znamená, že první číslo značí počet aktuálního upnutí a druhé číslo změnu nástroje v konkrétním upnutí. Součást je vyrobená na tři upnutí, kde první a druhé je ruční a třetí si přechytne stroj z hlavního sklídlu na hydraulický rozpínací trn, který je upnut ve vřetenu místo proti-sklídlu.

Při prvním upnutí se vysoustruží odsazení na přechytnutí součásti. Předvrtá se díra $\varnothing 18$ mm a speciálním tvarovým vrtákem N13 se hrubuje vnitřní tvar součásti. Při druhém ručním přepnutí za předsoustružený průměr se zarovná čelo na průměr a vysoustruží dvě odsazení pro tvorbu zápichů. Průběh zapichování se rozdělí na hrubování zapichovacími

noži šířky 3 mm a poté noži šířky 4 mm. Dokončování zapichovacími noži (nůž 3 mm a 4 mm) se zkrátí z polodokončování a dokončování celého tvaru lamel jen na dokončovací část. Zapichování dvěma noži probíhá vždy proti sobě se snahou o maximální redukci vznikajících radiálních sil. Po dokončení větší části vnějšího tvaru se v dalším kroku vrtá průchozí díra $\varnothing 18$ mm. S návazností na vrtanou díru se dokončuje jedna strana vnitřní části tělesa a to speciálními tvarovými nástroji N39 a poté N42, které vyhotoví celý tvar na jeden záběr. Po dokončení jedné strany vnitřního tvaru přijede proti-vřetenem s hydraulickým rozpínacím trnem, který upne součást za její dokončenou část. Při maximální stabilitě upnutí součásti proběhne upíchnutí součásti na konci, kde je součást přichycena ve sklíčidle. Předhrubuje se detail B hrubovacími noži. Dokončí se kompletně vnitřní tvar dokončovacím nožem N48. Dále se dokončí vysoustružení čelního vybrání v detailu B i s detailem C dokončovacím nožem N44. Popisovací nástroj s externími otáčkami v nástrojovém vřetenu 2, vytvoří popis na čele dle izometrického pohledu. Za pomoci nástrojového vřetene 1 se vyvrtají díry po obvodu ve dvou délkách a následně se v nich bude tvářet závit M3.

Technologický postup principu protikus

Postup se zakládá na úpravě velikosti vstupního kusu, který je zkrácen na délku 137 mm pro zvýšení využití materiálu a produktivity z celé tyče. Postup zároveň zvyšuje tuhost soustavy S-N-O při hrubovacích a dokončovacích operacích zapichovacími noži, díky které se utlumí veškeré vibrace v obrobku tvořené při zapichování ve větších vzdálenostech od upnutí v předchozích variantách. Nástroje použité v této variantě jsou kombinací nástrojů použitými ve firmě Edwards v kombinaci se dvěma nástroji od firmy Walter, speciální tvarové vrtáky N39 a N42 a zapichovacími nástroji testovanými v experimentu. Nástroje jsou omezeny počtem na rozsah nástrojových vřeten stroje OKUMA LU25-M. U tohoto postupu jde především o upozornění na vysokou tuhost soustavy S-N-O při hrubování a dokončování s protikusem a zároveň pro možnou obměnu za otočný hrot. „Technologický postup principu protikus“ je k nahlédnutí v příloze č. 24. Značení v postupu je stejné jako u předchozích postupů.

Součást je vyrobena na 3 upnutí. Při prvním upnutí hrubovací nůž zarovná čelo na požadovaný průměr a vyrobí odsazení na přechytnutí součásti. Poté se vyvrtá díra vrtákem $\varnothing 56$ mm pro hrubování tvaru multifunkčním vrtákem T9. Proběhne ruční otočení součásti a upnutí na doraz za předsoustružený průměr. Hrubovací nůž zarovná čelo na požadovaný průměr a vysoustruží odsazení (částečné odlehčení). Zapichovací nože šířky 6 mm vyhrubují část mezi lamelami pro odlehčení součásti. Poté se vyvrtá průchozí díra vrtákem $\varnothing 18$ mm s vyměnitelnou hlavou. S návazností na vrtanou díru se kompletně dokončuje jedna strana vnitřní části tělesa a to speciálními tvarovými nástroji N39 a poté N42, které vyhotoví celý tvar na jeden záběr. Hrubovací a dokončovací nůž zkompleťují čelo do finální fáze. Součást se ručně otočí a nasadí na hydraulický rozpínací trn, který se při prvním nasazení kalibruje již s upnutou součástí. Po kalibraci dokončí tvar vnitřní díry multifunkční vrták T9. Poté nástroj T14 vytvoří popis na čele součásti. Dále proběhne hrubování vnější části nástrojem T1 a poté dokončení detailu B čelním zapichovacím nožem. Následně vnější dokončovací nůž vyhotoví povrch po hrubovacím noži a vytvoří dvakrát detail C. Pro vyšší stabilitu procesu při hrubování zapichovacími noži přijede protikus a podepře součást čelní plochou proti čelu rozpínacího trnu. Při konstantních otáčkách obou vřeten proběhne hrubování zapichovacími noži šířky 6 mm a poté hrubování noži šířky 3,1 mm. Kde VBD F1 od firmy Pramet bude hrubovat celou šířkou

ostří a destička WNT bude vzhledem k nestabilitě při hrubování pouze zvětšovat šířku mezi lamelami na požadovaný rozměr. Při dokončovacích operacích podélným soustružením zapichovacími noži bude dokončovat VBD WNT, která vykazovala vyšší jakost povrchu při dokončovacích operacích. Po procesu zapichování se dokončovacím nožem dokončí vnější průměry lamel. Za pomoci externích otáček se také vytvoří díry po obvodu ve dvou délkách a následně se v nich bude tvářet závit M3.

Výpočet materiálu pro „Technologický postup principu protikus“ se zmenšenou délkou přířezu $l=137,9$ mm. Výpočet probíhal dle přílohy č. 3.

Celková jednotková hmotnost součásti $Q_s = 1,276$ kg

Hmotnost polotovaru $Q_p = 5,74$ kg

Zjištěno z programu Autodesk Inventor Professional 2011.

Hustota $\rho = 2\,722$ kg/m³

Průměr přířezu $d = 140$ mm

Délka přířezu $L_p = 137$ mm

Řezání je provedeno pomocí hydraulické pásové pily při tloušťce $u = 0,9$ mm.

Délka přířezu s tloušťkou řezání je vypočtena dle vztahu 2.5 a ztráta materiálu vzniklá dělením, připadajícího na jednici q_u je převzata ze vzorce 2.6.

Výpočet pro délku tyče $L_2 = 3000$ mm, [1]

Počet přířezů z tyče. (6.1)

$$n_2 = \frac{L_2}{l} = \frac{3000}{137,9} = 21,76 \cong 21 \text{ ks}$$

Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče připadající na jednici. (6.2)

$$q_{k2} = \frac{Q_{k2}}{n} = \frac{4,368}{21} = 0,208 \text{ kg}$$

Ztráta materiálu z nevyužitého konce. (6.3)

$$\begin{aligned} Q_{k2} &= \left[L_2 * \frac{\pi * d_p^2}{4} * \rho \right] - [n_2 * q_u + n_2 * Q_p] \\ &= \left[3 * \frac{\pi * 0,14^2}{4} * 2722 \right] - [21 * 0,038 + 21 * 5,74] = 4,368 \text{ kg} \end{aligned}$$

Stupeň využití materiálu. (6.4)

$$k_{m2} = \frac{Q_s}{N_m} = \frac{Q_s}{Q_p + q_u + q_{k2}} = \frac{1,276}{5,74 + 0,0377 + 0,208} = 0,213$$

Z daného výpočtu lze vidět, že při zmenšení přířezu tyče na vzdálenost 137,9 mm se dosáhne výroby dalších 4 kusů a zvýšení stupně využití materiálu ze 17,3 % se zvýší na 21,3 %.

6.4 Zhodnocení racionalizační části

Návrh pro racionalizaci uvedených variant by měl sloužit k podnětům pro zdokonalení stávajících variant. Dané postupy je potřebné zdokonalovat při jejich realizaci jako takové, z hlediska korekce řezných podmínek v závislosti na životnosti nástrojů a plynulosti výroby. Tyto postupy se mohou kombinovat mezi sebou v závislostech na omezení stroje (výkon, počet nástrojů, přesnost atd.).

Z hlediska změny materiálu se dosáhlo plynulosti chodu linky za udržitelnosti tolerančních rozměrů v konstantních dávkách.

Racionalizace stávajícího stroje Okuma LU25-M byla provedena zejména za změny nástrojové výbavy a to speciálních nástrojů N39 a N42. Dle experimentu byla provedena změna technologie hrubování a dokončování zapichovacích nožů za změny VBD šířky 3,1 mm.

Pro zajištění vyšší stability a zvýšení produktivity byl navrhnut nákup nového obráběcího stroje Mori Seiki NTX 2000 a k němu sestavena za pomoci firmy Walter nástrojová výbava s následným zpracováním technologického postupu.

Dále byl vyvinut postup principu protikus, který je vytvořen zkrácením vstupního polotovaru a zajištění soustřednosti a souososti vůči základně A. Zkrácení vstupního polotovaru zvýší stupeň využití materiálu. Postup byl v principu vytvořen ke stroji Okuma LU25-M, ale vzhledem k potřebnému proti-vřetení je vhodný spíše pro stroj Mori Seiki, ale při kalibraci osy vřetene s osou podpěrného otočného hrotu by mohl být aplikován s drobnějšími úpravami na stroji Okuma. Při aplikaci daného postupu na stroj Mori Seiki by se při drobné úpravě dal postup upínání vylepšit tak, že by se zamezilo faktoru mezi člověkem a součástí pouze na jedno upnutí.

7 OVĚŘENÍ MOŽNOSTI REALIZACE

Tato kapitola se zabývá částmi z komplexního tématu práce, které se dají ověřit ať už přímou nebo nepřímou metodou. Z hlediska obsáhlosti práce bude uvedeno jen některých částí, které byly ověřeny zejména prakticky.

7.1 Ověření nástrojové části

Nástrojová část byla ověřena zejména pro zapichovací nože, pro které byl prováděn experiment. Experiment zajistil zjištění průběhu sil při zapichovacích operacích v hrubovacích i dokončovacích částech. Zjistil se průběh a tvar utvářené třísky při hrubovacích operacích pro jednotlivé utvařeče třísek. Pro dokončovací část podélného soustružení zapichovacím nožem byla zjištěna výhodná geometrie pro dosažení vyšší jakosti povrchu a v teoretické části práce byl objasněn princip pro další zvyšování jakosti povrchu.

7.2 Ověření materiálové části

Z hlediska změny dodavatele a změně ustavení třetího upnutí na stroji Okuma byly naměřeny hodnoty z měření geometrické tolerance soustřednosti a souososti pro průměry $\phi 67,5$ mm a $\phi 46$ mm vůči základně A. Měření probíhalo na souřadnicovém měřicím stroji Contura HTG (**obr. 3.4**) s kuličkovou sondou průměru $\phi 3$ mm (**obr. 3.5**). Pro každou hodnotu proběhlo 30 měření nejprve před změnou dodavatele a poté po změně dodavatele se změnou ustavení třetího upnutí na stroji. Hodnoty byly měřeny na každé páté součásti a byly vybrány náhodně. Naměřené hodnoty vykazují předpoklad pro normální rozdělení, které bylo ověřeno pomocí programu Minitab 16. Aplikací statistické interpretace přesnosti obráběcího procesu se zjistil jednostranný konfidenční interval střední hodnoty m_H (7.3) a při aplikaci studentova rozdělení jednostranný statistický toleranční interval L_s (7.4) pomocí normálního rozdělení. Díky statistickému zpracování se dokázalo, při jakých přesnostech se v dané geometrické toleranci součást vyráběla a momentálně vyrábí.[10][11]

Odhad střední hodnoty. (7.1)

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Odhad směrodatné odchylky. (7.2)

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Mez jednostranného konfidenčního intervalu střední hodnoty. (7.3)

$$m_{H1} = \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Mez jednostranného statistického tolerančního intervalu. (7.4)

$$L_s = \bar{x} + k_1(n, p, 1 - \alpha) \cdot s$$

Statistické interpretační hodnoty byly vypočítány dle vzorců 7.1 – 7.4 za použití koeficientů pro [11]:

jednostranný konfidenční interval

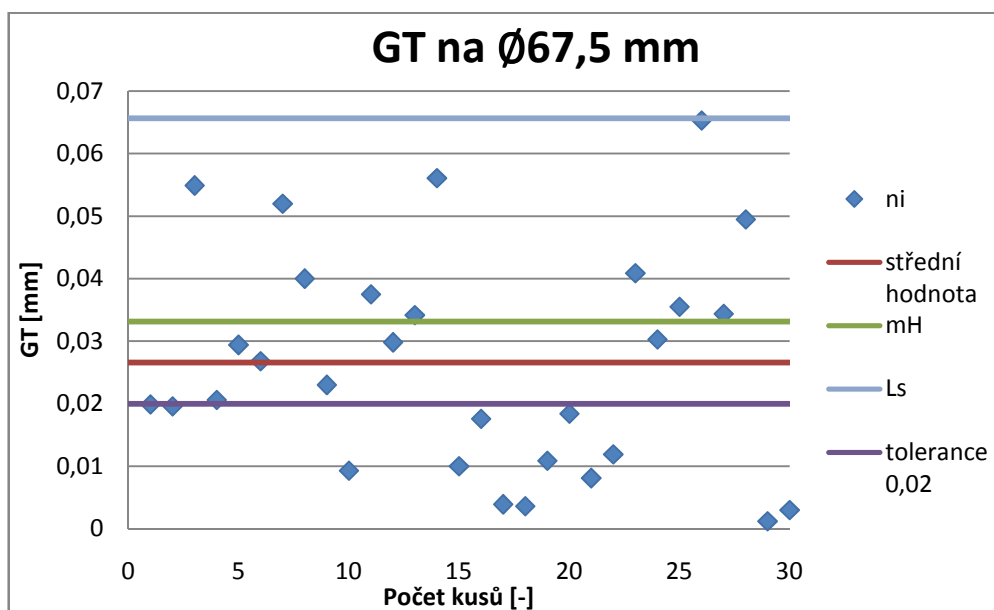
$$t_{1-\frac{\alpha}{2}; n-1} = 2,045$$

jednostranný statistický toleranční interval

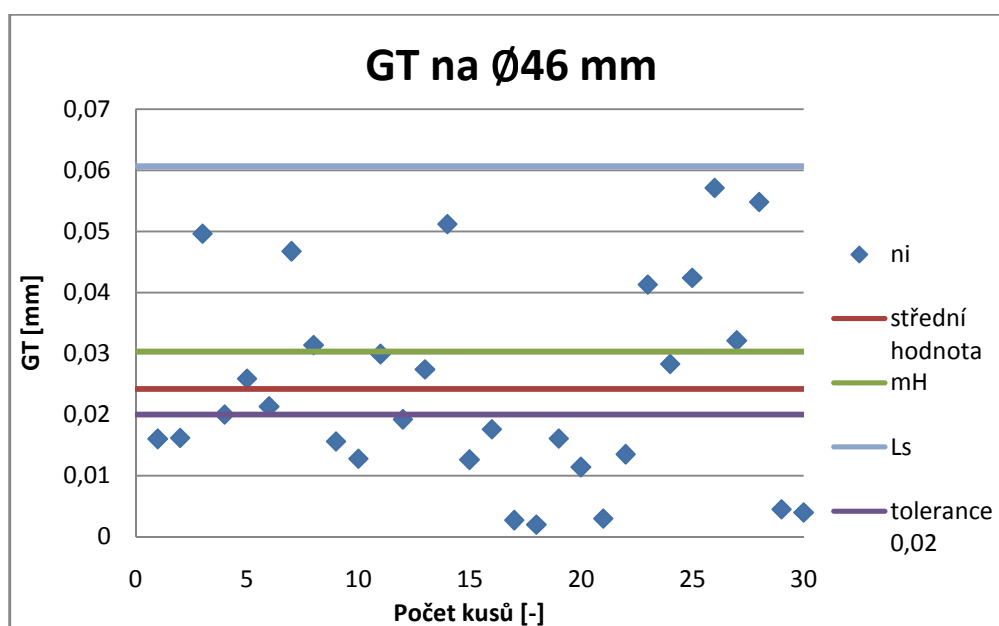
$$k_1 = 2,22$$

V grafech (obr. č. 5.1 a 5.2) lze pozorovat přesnost výrobního procesu před změnou dodavatele a po změně dodavatele (obr. č. 5.3 a 5.4). Měřené rozměry jsou vztaženy ke geometrické toleranci soustřednosti a souososti 0,02 mm k základně A.

GT v závislosti na obrábění materiálu slitiny hliníku od původního dodavatele.

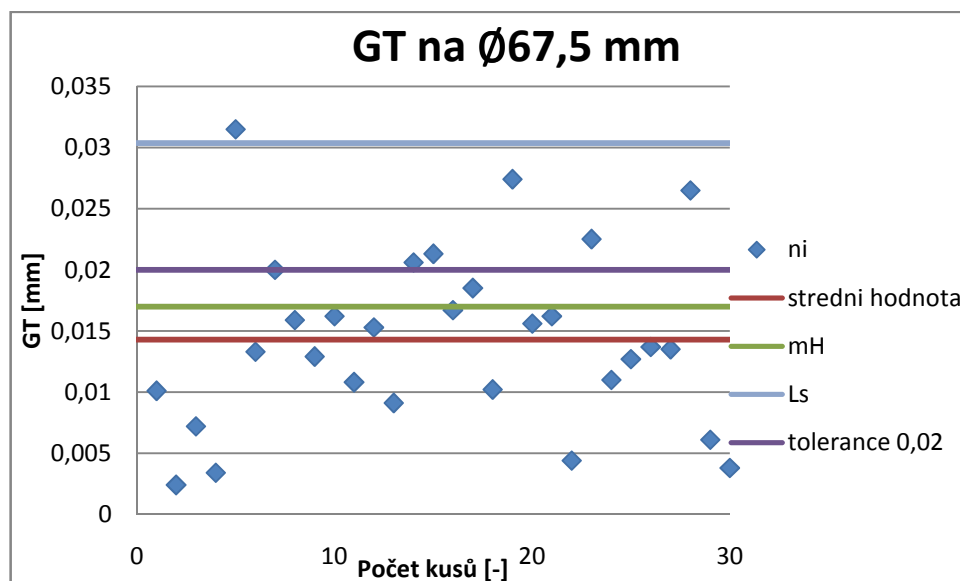


Obr. 7.1 Přesnost výroby GT soustřednosti a souososti

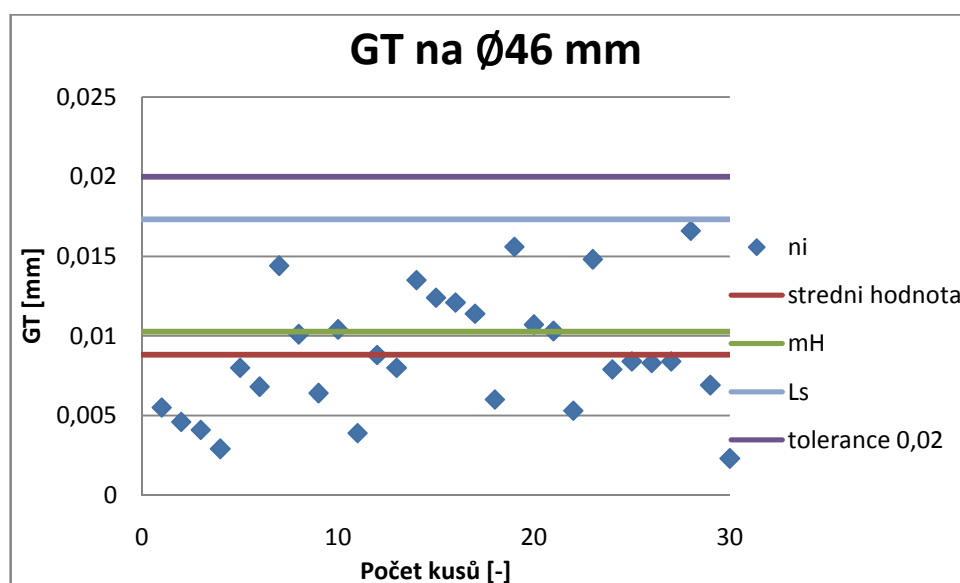


Obr. 7.2 Přesnost výroby GT soustřednosti a souososti

GT v závislosti na obrábění materiálu slitiny hliníku od stávajícího dodavatele.



Obr. 7.3 Přesnost výroby GT soustřednosti a souososti



Obr. 7.4 Přesnost výroby GT soustřednosti a souososti

Výrobní přesnost GT se při porovnání obou dodavatelů materiálu podstatně liší. Při porovnání hodnoty L_s , která vymezuje procento dosahované přesnosti, lze usuzovat, že přesnost výroby byla díky změně dodavatele snížena více než na polovinu jednostranné toleranční hodnoty. Pro $\varnothing 46$ mm při stávajících podmínkách výrobní přesnosti se dosahuje hodnot, které poskytují velmi dobrých podmínek pro plynulou výrobu v dané přesnosti. Bohužel tomu tak není, protože na $\varnothing 67,5$ mm se při stejných podmínkách stejné přesnosti nedosahuje a vzhledem ke GT souososti a soustřednosti 0,02 mm k základně A je potřebný další vývoj pro zvýšení dosahované přesnosti.

8 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V části technicko-ekonomické zhodnocení je rozebrána technická část práce, kde jsou zkompletovány všechny navržené racionalizační části. Jedná se o racionalizace z částí materiálové, strojové i nástrojové. Veškeré racionalizace se aplikovaly za účelem maximální stability stávajícího procesu nebo zvýšení produktivity za částečného zlepšení stávající stability technologického procesu. Část ekonomického zhodnocení je zaměřena na nákladovou návratnost a její výpočetní teoretickou aplikaci pro stroj Mori Seiki NTX2000.

8.1 Technické zhodnocení

V technickém zhodnocení je uvedena veškerá racionalizace stávajícího systému z oblastí materiálové, strojové i nástrojové. Racionalizace vede k rozšíření vybavenosti nebo specializovanosti stávajícího systému. Stávající systém vykazoval značné výkyvy a nepřesnosti při průběhu obrábění a nesplňoval požadavky pro konstantní tok materiálu z hlediska plynulosti výrobnosti dávek v daných kritériích.

Materiál od nového dodavatele je dovážěn přímo po umělém stárnutí a nevykazuje žádné znatelné výkyvy mezi jednotlivými dávkami z hlediska stálosti rozměrů při obrábění. Materiál vykazuje rovnoměrné rozložení zrn a struktura je velmi jemnozrná. Rozložení sekundárních fází je v rovnovážném stavu. Dodávaný materiál je nyní s ohledem na mechanické vlastnosti velmi stálý.

Racionalizací pro stávající stroj Okuma LU25-M by mělo být dosaženo zkrácení strojních časů při dokončovacích operacích a zároveň by se mělo projevit zvýšení stability při aplikaci nových řezných nástrojů, zejména pro snižování vibrací při řezném procesu. Změna technologie s novými nástroji by z hlediska hrubování a dokončování vnitřních děr měla převést radiální síly převážně na axiální a tangenciální. Pro obrábění vnější části (lamel), byl proveden experiment, kde se vyhodnocovaly síly, tvorba třísek a profil povrchu. Díky tomuto experimentu byly stanoveny doporučené řezné nástroje a jejich kombinace pro zapichování v částech hrubování, polodokončování a dokončování.

Pro zajištění vyšší stability a zvýšení produktivity byl navrhnut nákup nového obráběcího stroje Mori Seiki NTX 2000 a k němu sestavena za pomoci firmy Walter nástrojová výbava s následným zpracováním technologického postupu. V nástrojové výbavě jsou mimo jiné i speciální nástroje, které jsou přiloženy ve výkresové dokumentaci. Nástroje mají vyšší stabilitu a snižují celkový strojní čas. Technologický postup minimalizuje zásahy člověka do procesu upínání a je zcela kompatibilní s nástrojovou výbavou.

Dále byl vyvinut postup principu protikus, který je vytvořen zkrácením vstupního polotovaru a zajištění soustřednosti a souososti vůči základně A. Zkrácení vstupního polotovaru zvýší stupeň využití materiálu. Postup byl v principu vytvořen ke stroji Okuma LU25-M, ale vzhledem k potřebnému proti-vřetení je vhodný spíše pro stroj Mori Seiki, ale při kalibraci osy vřeteně s osou podpěrného otočného hrotu by mohl být aplikován s drobnějšími úpravami na stroji Okuma.

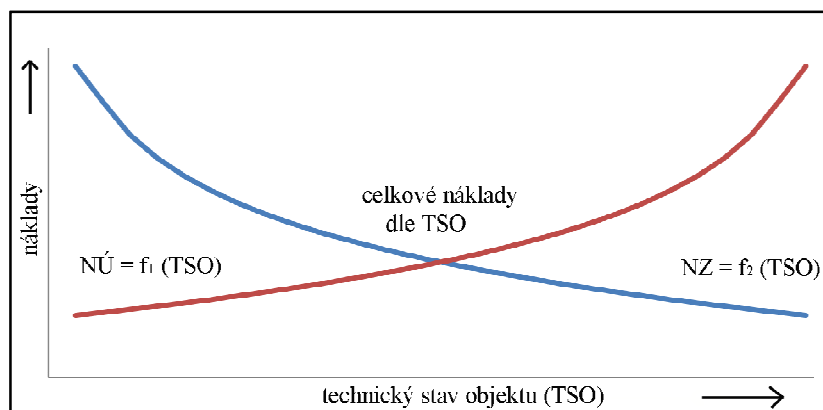
8.2 Ekonomické zhodnocení

V ekonomické části zhodnocení je zaměřeno na nákladovou návratnost a vyřízení stroje, kde je rozebrán princip výpočtu návratnosti na základě praktického příkladu s teoretickými hodnotami pro zakoupení obráběcího centra Mori Seiki NTX2000. Z ekonomického hlediska, zejména efektivnosti vynaložených investic by bylo vhodné dosáhnout všech výpočtů aplikovaných racionalizovaných částí pro ověření o správnosti či výhodnosti daných tezí. Stroj Mori Seiki není stále k dispozici pro zajištění přesného jednotkového výrobního času, je nutno počítat pouze s předpokladem.

Výpočet nákladové návratnosti:

Náklady lze obecně definovat jako peněžní investice z nakoupených zdrojů ekonomického růstu, založené na výrobě dalších produktů, provedení práce nebo poskytnutím služeb. Nákladová návratnost má specifický rozhodující význam při výběru optimální varianty. Ukazatel nákladové návratnosti vyjadřuje návratnost vložených investičních nákladů ve vztahu k dosaženým úsporám.[15]

Na obr. č. 8.1 je zobrazena závislost nákladů spjatých s údržbou na technickém stavu objektu. Kde náklady na údržbu rostou se stářím stroje. Lze vidět i klesající hodnota stroje, která zároveň představuje odpisy stroje. Plocha pod křivkou f_1 by se měla rovnat ploše pod křivkou f_2 . Průsečíky obou funkcí značí v příkladu dobu používání obráběcího stroje, což je 7 let. Do této doby jsou zavedeny odpisy stroje, po této době se uvažuje už jen s výrobními náklady a mzdovými náklady.



Obr. 8.1 Závislost nákladů spjatých s údržbou na technickém stavu objektu

Řešení návratnosti průmyslového obráběcího centra Mori Seiki NTX2000 na základě teoretických údajů:

Investiční náklady včetně úroků z úvěru

$I_n = 14\,800\,000$ Kč

Roční výrobní produkce

$V_{p1} = 3900$ ks

Týdenní výrobní produkce

$V_{p2} = 78$ ks

Týdenní pracovní doba

$P_d = 112,5$ h

Doba životnosti obráběcího centra

$t_k = 7$ let

Sazba stroje NTX 2000:

- výrobní náklady

$V_{n1} = 240$ Kč/h

- mzdové náklady se správním režii

$M_n = 320$ Kč/h

- odpisy stroje

$$O_s = 350 \text{ Kč/h}$$

Předpoklad jednotkového strojního času

$$t_{AS1} = 15 \text{ min}$$

Sazba stroje LU25-M:

- výrobní náklady

$$V_{n2} = 400 \text{ Kč/h}$$

- mzdové náklady se správní režii

$$M_n = 320 \text{ Kč/h}$$

Předchozí jednotkový strojní čas

$$t_{AS2} = 20 \text{ min}$$

Vytížení stroje Mori Seiki.

Vytížení stroje je vyjádření procentuálního stavu celkové týdenní výroby zvolených vyráběných dílů vzhledem k týdenní pracovní době. (8.1)

$$V_s = \frac{V_{p2} \cdot t_{AS2}}{P_d} = \frac{78.15}{112,5} = 10,4 \%$$

Náklady na výrobu vybraných součástí pro srovnávací základnu.

Náklady po realizaci investice se udávají na principu odhadu procentuálního podílu z nákladů ke srovnávací základně.[15] (8.2)

$$N_{sz} = \frac{V_{p1} \cdot t_{AS2}}{60} \cdot (V_{n2} + M_n) = \frac{3900.20}{60} \cdot (400 + 320) = 936\,000 \text{ Kč}$$

Náklady na výrobu vybraných součástí po realizaci obráběcího centra. (8.3)

$$N_{rl} = \frac{V_{p1} \cdot t_{AS1}}{60} \cdot (V_{n1} + M_n + O_s) = \frac{3900.15}{60} \cdot (240 + 320 + 350) = 887\,250 \text{ Kč}$$

Vzhledem k velmi nízké úspoře nákladů za rok při momentálním vytížení stroje, je zaveden předpoklad vytížení stroje $V_s=100\%$. Z úpravy vzorce 8.1 je vytvořen vztah pro týdenní výrobní produkci při 100% vytížení stroje. (8.4)

$$V_{p3} = \frac{V_s \cdot P_d}{t_{AS2}} = \frac{100 \cdot 112,5}{15} = 750 \text{ ks}$$

Tzn. $V_{p4} = 37\,500$ kusů za rok.

Náklady na výrobu vybraných součástí pro srovnávací základnu. (8.5)

$$N_{sz} = \frac{V_{p4} \cdot t_{AS2}}{60} \cdot (V_{n2} + M_n) = \frac{37500.20}{60} \cdot (400 + 320) = 9\,000\,000 \text{ Kč}$$

Náklady na výrobu vybraných součástí po realizaci obráběcího centra. (8.6)

$$N_{rl} = \frac{V_{p4} \cdot t_{AS1}}{60} \cdot (V_{n1} + M_n + O_s) = \frac{37500.15}{60} \cdot (240 + 320 + 350) = 8\,531\,250 \text{ Kč}$$

Úspora nákladů za rok.

Úspora nákladu se vyjadřuje ke vztahu se srovnávací základnou, kde srovnávací základna udává stav před investováním, který je přepočítaný na objem produkce po realizaci.[15] (8.7)

$$U_{nr} = N_{sz} - N_{rl} = 9\,000\,000 - 8\,531\,250 = 468\,750 \text{ Kč}$$

Na základě těchto údajů nelze návratnost pro nový stroj zcela určit pouze z časových úspor. Pro danou součást se při 100% vytížení stroje z ekonomického hlediska nevyplatí výroba na daném stroji. Návratnosti lze dosáhnout kooperací přivedením jiných dílů nebo výrobou takových dílů, díky kterým se při poměru nákupní ceny z trhu oproti výrobní ceně nové součásti dosáhne vyššího stupně nákladové návratnosti. Při přivedení nových dílů by se do návratnosti započítal rozdíl mezi cenou výrobní (cena za materiál a výrobu součásti) oproti ceně tržní. Např. Pro vyšší vytížení stroje a snížení doby nákladové návratnosti je přiveden nový díl kde:

Nákupní cena z trhu	$N_c = 408 \text{ Kč}$
Výrobní cena	$N_p = 96 \text{ Kč (materiál)} + 194 \text{ Kč (výroba)}$
Roční výrobní produkce	$V_{p3} = 97\,500 \text{ ks}$
Týdenní výrobní produkce	$V_{p4} = 1917 \text{ ks}$
Jednotkový strojní čas	$t_{AS3} = 5 \text{ min}$
Vytížení stroje.	(8.8)

$$V_s = \frac{V_{p2} \cdot t_{AS2} + V_{p4} \cdot t_{AS3}}{P_d} = \frac{78.15 + 1917.5}{112.5} = 95,6 \%$$

Výdělek z prodejního rozdílu za rok.

Výdělek z prodejního rozdílu za rok určuje, kolik je cenový rozdíl vyrobeného dílu oproti ceně, kterou určuje nejnížší nákupní cena na trhu. Předpoklad tvoří myšlenku, že prodejní cena se bude rovnat nákupní ceně na trhu. (8.9)

$$V_t = N_c \cdot V_{p3} - N_p \cdot V_{p3} = 408 \cdot 97\,500 - 290 \cdot 97\,500 = 11\,505\,000 \text{ Kč}$$

Náklady na výrobu vybraných součástí po realizaci obráběcího centra. (8.10)

$$N_{rl} = \frac{V_{p1} \cdot t_{AS2} + V_{p3} \cdot t_{AS3}}{60} \cdot (V_{n1} + M_n + O_s) = \frac{3900 \cdot 15 + 97\,500 \cdot 5}{60} \cdot (240 + 320 + 350)$$

$$N_{rl} = 8\,281\,000 \text{ Kč}$$

Úspora nákladů za rok. (8.11)

$$U_{nr} = N_{sz} - N_{rl} = 936\,000 - 8\,281\,000 = -7\,345\,000 \text{ Kč}$$

Nákladová návratnost. (8.12)

$$N_n = \frac{I_n}{U_{nr} + V_t} = \frac{14\,800\,000}{-7\,345\,000 + 11\,505\,000} = 3,56 \text{ roku}$$

Stupeň nákladové návratnosti.

Stupeň nákladové návratnosti vyjadřuje podíl s_{nn} z technicko-ekonomické životnosti daného stroje.[15] (8.13)

$$s_{nn} = \frac{N_n}{t_k} = \frac{3,56}{7} = 0,508$$

Dle výpočtu stupně nákladové návratnosti bude za 50,8 % životnosti zakoupeného stroje jeho investice navrácena, tj. za 3,56 roku provozu a to za předpokladu, že vytížení stroje je na 95,6 %.

9 DISKUZE

Diskuzní téma je rozděleno do několika částí, ve kterých budou probrány zejména úvahy a doporučení pro výzkum v daných oblastech. Probrány budou témata z části materiálové, experimentální a varianty postupů pro zajištění dalšího vývoje součásti.

Vzhledem k materiálovému nálezu je vhodné zauvažovat o dalším výzkumu z hlediska mechanických vlastností a kompletní metalografie materiálu EN AW 7075 ať už od původního nebo stávajícího dodavatele. Materiál od původního dodavatele by bylo vhodné detailněji prozkoumat z hlediska vývoje daného tělesa pro kompletní zjištění důvodu heterogenity rozložení zrn a shlukování sekundárních fází. Pokud by nález souvisel s přirozeným stárnutím materiálu, znamenalo by to ovlivnění celkového vývoje daného tělesa. Z hlediska vhodných řešení je na místě zkouška tvrdosti podle Vickerse při nižších zatížení (až HV 0,1 $\approx$ 1 N), kde jedna testovaná část by byla ve shluku sekundárních fází a druhá testovaná část do míst, kde jsou sekundární fáze v co nejmenším množství. Další doporučenou zkouškou by měla být zkouška tahová pro ověření mechanických vlastností zejména pevnosti a meze kluzu pro porovnání s mechanickými vlastnostmi dané výrobce.

V experimentální části byly testy aplikovány při stejných řezných podmínkách pro všechny nástroje. Pro podrobnější porovnávání sil, utvářených třísek, profilu povrchu a opotřebení by bylo vhodné testovat zvolené nástroje s pozitivnější geometrií v závislosti na řezných podmínkách pro celkovou optimalizaci procesu zapichování. Měření řezných rychlostí v závislosti na opotřebení, trvanlivosti VBD by se dosáhlo Taylorových křivek opotřebení $T-v_c$ nebo $VB-v_c$, díky kterým by se dalo dosáhnout optimálních variant pro trvanlivost VBD při řezném procesu.

Při experimentálním měření drsnosti povrchu se zjistilo, že kvalita povrchu, která byla naměřena za daných řezných podmínek a technologického postupu je mnohem vyšší jakosti, než je předepsaná průměrná aritmetická drsnost povrchu na výkrese. Proto by bylo vhodné zvážení poměru jakost/cena. Tím je myšlena úvaha o časovém zkrácení dokončovacích operací upravením řezných podmínek nebo změnou postupu při dokončování. Naopak při dodržení rovnoměrného profilu povrchu, tedy vyšší jakosti na celé součásti by bylo možné dimenzovat součást pro vyšší výkony.

V technologickém postupu firmy Walter je prozatím zvoleno doporučených řezných rychlostí, které se budou postupně zlepšovat k výsledné optimální variantě.

„Technologický postup principu protikus“ je spíše holým konceptem, zejména jako případná náhrada po technologickém postupu firmy Walter. Je navržen pro maximální stabilitu a zamezení vibrací při všech zapichovacích operacích. Poukazuje i na to, že je možnost výroby součásti i se zkrácením vstupního polotovaru a tím zvýšení využití materiálu. „Technologický postup principu protikus“ by se dal i zkombinovat mezi dvěma stroji, ve kterých by proběhlo zvláště dokončení děr a čel součásti a ve druhém stroji by se součást upnula mezi rozpínací trn a protikus, kde by se dokončil vnější tvar součásti.

Mezi prospěšné výzkumy z hlediska výroby součásti by bylo zaměření na průběhy teplot při obráběcích procesech ve všech výrobních částech a seřízení teplot pro výslednou teplotu tělesa při její funkci. Teplota při procesu obrábění má výrazný vliv jak na materiál obráběný, tak i na materiál řezný. Teplota řezného procesu má na obráběnou součást vliv z hlediska mechanických vlastností, pýchování a zpevnění povrchové vrstvy, tření na hřbetě i čele nástroje.

ZÁVĚR

Diplomová práce je zaměřena na technologii výroby v oblasti soustružení pro součást Těleso ve firmě Edwards. Cíl práce spočíval zejména v seřízení plynulosti chodu linky za udržitelnosti tolerančních rozměrů a popřípadě zkrácením celkového času. Pro stávající systém byly navrženy změny, které zlepší celkový chod provozní linky.

Výzkum materiálu prokázal značné nedostatky stávajícího dodavatele materiálu, který dodával materiál při různých mechanických vlastnostech, pro které se obtížně seřizoval chod celé linky. Díky změně dodavatele se dosáhlo usměrnění mechanických vlastností a rovnovážnosti mikrostruktury. Pro ověření tohoto faktu byly porovnány geometrické tolerance před změnou dodavatele a po změně dodavatele za stejných výrobních podmínek. Dosahovaná přesnost po změně dodavatele se zdvojnásobila.

Mezi časově nejdelší a velmi problémové operace při obrábění dané součásti jsou operace zapichovací, proto byl pro tyto operace vyhotoven experiment, kde se porovnávaly VBD s různými utvářeči třísek. VBD byly zkoumány z hlediska vzniku sil, tvorby třísky, profilu obrobeného povrchu (PS-PDOK, PS-DOK) a opotřebení v částech hrubování, polodokončování a dokončování. Po zhodnocení experimentální části byly destičky vhodnou kombinací začleněny do technologických postupů.

Racionalizací pro stávající stroj Okuma LU25-M by mělo být dosaženo zkrácení strojních časů při dokončovacích operacích a zároveň by se mělo projevit zvýšení stability při aplikaci nových řezných nástrojů, zejména pro snižování vibrací při řezném procesu. Změna technologie s novými nástroji by z hlediska hrubování a dokončování vnitřních děr měla převést radiální síly převážně na axiální a tangenciální. Pro obrábění vnější části (lamel) se pomocí experimentu využily výhodné nástroje pro hrubování a dokončování.

Pro zajištění vyšší stability a zvýšení produktivity byl navrhnut nákup nového obráběcího stroje Mori Seiki NTX 2000. Ke stroji jsou navrženy dva technologické postupy:

- „Technologický postup firmy Walter“, s kterým je navržena i nástrojová výbava, která zajišťuje vyšší stabilitu a snižuje celkový strojní čas, snižuje zásahy obsluhy do upínacích částí, kde je nutnost ručního zajištění polohy součásti,
- „Technologický postup principu protikus“, který je vytvořen zkrácením vstupního polotovaru (vyšší využití materiálu) a zajištěním soustřednosti a souososti vůči základně A, postup byl v principu vytvořen ke stroji Okuma LU25-M, ale vzhledem k potřebnému proti-vřetení je vhodný spíše pro stroj Mori Seiki.

Technologický postup principu protikus je vyhotoven pro případ, že při aplikaci „Technologického postupu firmy Walter“ nebude přesnost geometrických tolerancí dostačující. Tento postup je koncepcí pro zdokonalení tuhosti celého procesu. Postupy jsou vytvořeny i pro jejich vzájemnou kombinaci za předpokladu vytvoření vhodného finálního postupu pro dosažení maximální jakosti součásti.

Ekonomické zhodnocení, je zaměřeno na nákladovou návratnost a vytížení stroje Mori Seiki NTX2000. Výpočty jsou řešeny pomocí předpokladů cenových a časových relací. Pro danou součást je vypočteno vytížení stroje 10,4 %, a proto je počet kusů navýšen do 100% vytížení, kde je zjištěno, že pro danou součást stroj není zcela vhodnou investicí. Proto je např. kooperací přiveden nový díl, díky kterému se zvýší vytížení stroje na 95,6 % a dle výpočtu stupně nákladové návratnosti bude za 50,8 % životnosti zakoupeného stroje jeho investice navrácena, tj. za 3,56 roku provozu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KOCMAN, Karel a PERNIKÁŘ, Jiří. *Ročníkový projekt II – obrábění*. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie. 2002 [počítačový soubor .pdf], 27s.
2. MICHNA, Štefan. et al. *Encyklopedie hliníku*. Prešov. Nakladatelství Adin, 2005. ISBN 80-89041-88-4.
3. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno. Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2004. ISBN 80-214-2790-6.
4. ŠERÁK, Jan a JANDA, Petr., et al. *Atlas struktur slitin neželezných kovů* [online]. Multimediální výukový projekt. Praha: VŠCHT-FCHT, Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství.[vid. 2013-02-02] Dostupné z: <http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/struktur/index.htm>
5. PTÁČEK, Luděk a kol. *Nauka o materiálu II*. Brno. Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2002, ISBN 80-7204-248-3.
6. HANDRK, Jiří. *Pevnostní a materiálová analýza horolezeckých karabin ze slitiny hliníku*. Bakalářská práce v oboru „Materiálových věd a inženýrství – pevnostní a materiálové analýzy“. Brno: VUT-FSI, Ústav materiálových věd a inženýrství. 2011. 51 s.
7. NENÁHLO, Čeněk. *Povrchové úpravy a logistika*. [online]. Strojárstvo extra: Odborné a vědecké články, roč. 2007, č. 7-8 [vid. 2013-11-13]. Dostupné z: <http://www.strojartstvo.sk/docwww/SK/290/290.pdf>
8. NATECH. *Technické parametry stroje OKUMA LU25-M*. [online]. [vid. 2012-12-12]. Dostupné z: <http://www.natech.no/eng/programomr.asp?id=32&prog=3>
9. NOVÁK, Zdeněk. *Současná měřicí a kontrolní technika. Souřadnicové měřicí stroje CMM*. [online]. MM: Průmyslové spektrum, 14.03.2007, roč. 2007, č. 3 [vid. 2013-01-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/soucasna-merici-a-kontrolni-technika.html>
10. BEDNÁŘ, Josef, OPUS – vzdělanostní síť k výrobním technologiím. *Aplikovaná statistika v průmyslu: Vzdělávací a tréninkový modul*. Brno: VUT-FSI, 2012. ISBN CZ.1.07/2.4.00/12.0029.
11. PROKOP, Jaroslav. *Přednášky z předmětu: Vybrané statě z obrábění, Název přednášky – Statistická interpretace technologických veličin*. Brno: VUT-FSI, 2013.
12. PATRICK DE VOS. SECO TOOLS AB. SECO technical education programme: Řezné geometrie CZ/SK – 2013. Brno: VUT-FSI, 2013. [vid. 2013-04-06].
13. NOVÁK, Zdeněk. *Metrologie - Kontrola jakosti. Zvyšování kvality hodnocení struktury povrchu*. [online]. MM: Průmyslové spektrum, 15.12.2004, roč. 2004, č. 12 [vid. 2013-02-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/zvysovani-kvality-hodnoceni-struktury-povrchu-2.html>
14. NEWTECH. *Propagační leták NT série Mori Seiki*. [online]. [vid. 2012-11-20]. Dostupné z: <http://www.newtech.cz/media/attachments/nt-serie.pdf>
15. PROKOP, Jaroslav. *Přednášky z předmětu: Technologická příprava výroby, Název přednášky – Výběr optimální varianty obráběcího stroje*. Brno: VUT-FSI, 2012.

16. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM, Trendy - Obrábění. *Nástroje pro obrábění hliníkových slitin s mikroleštěným povrchem*. [online]. MM: Průmyslové spektrum, 17.04.2002, roč. 2002, č. 4 [vid. 2013-03-05]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nastroje-pro-obrabeni-hlinikovych-slitin-s-mikrolestenym-povrchem.html>
17. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha. MM publishing, s.r.o. 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
18. SOSNOVÁ, Martina a KŘÍŽ, Antonín. et al. FRICTION THIN LAYERS, *Aplikace tenkých vrstev ve strojírenství*. Plzeň: ZCU – OPI, 2005, Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/tz_prednaska.pdf
19. VONDRÁČEK, Milan. Výroba - Obrábění. *Diamant jako řezný materiál*. [online]. MM: Průmyslové spektrum, 13.3.2012, roč. 2012, č. 3 [vid. 2012-11-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/diamant-jako-rezny-material.html>
20. KŘÍŽ, Petr. Trendy – Průmyslové kapaliny. *Vývoj kapalin pro obrábění hliníku*. [online]. MM: Průmyslové spektrum, 17.10.2012, roč. 2012, č. 10 [vid. 2012-11-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vyvoj-kapalin-pro-obrabeni-hliniku.html>
21. IONBOND CZECHCOATING s.r.o. *Povlakování nástrojů* [online]. [vid. 2013-02-02] Dostupné z: http://czechcoating.cz/index.php?p=vlastnosti_a_doporuceni
22. PRAMET TOOLS s.r.o. *PRAMET – Katalog Soustružení 2012*. [online]. [vid. 2013-01-11] Dostupné z: <http://www.pramet.com/cz/ke-stazeni.html>
23. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění – Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. Praha. Scienta, s.r.o. 1997. ISBN 91-972299-4-6. Přel. z: *Modern Metal Cutting – A Practical Handbook*.
24. HUMÁR, Anton. *Technologie I : Technologie obrábění - 1. část*. [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie 2003. [vid. 2013-01-23] Dostupné z: http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-1cast.pdf
25. HOFFMANN GROUP – GARANT *GARANT příručka obrábění*. 2006. 644 s.
26. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. *Technická příručka*. 10. vyd. Švédsko. Nakladatelství Elanders., 2010. 605 s. Přel. z: *Technical Guide*.
27. HUMÁR, Anton. *Přednášky z předmětu: Experimentální metody, Název přednášky – Metody měření řezných sil*. Brno: VUT-FSI, 2012.
28. *Dokumentace ke stroji SU50A – SP*. TOS KUŘIM.
29. PROKOP, Jaroslav. *Přednášky z předmětu Vybrané statě z obrábění, Název přednášky – Technologická identifikace kvality povrchu obrobené plochy*. Brno: VUT-FSI, 2013.
30. *Technické údaje stroje NTX2000*. MORI SEIKI. Březen 2013.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CMM	[-]	coordinate measuring machine
CNC	[-]	computer numeric control
CVD	[-]	chemical vapour deposition
DLC	[-]	diamond-like carbon
DOK	[-]	dokončení
FSI	[-]	fakulta strojního inženýrství
G50	[-]	nastavení omezení pro maximální otáčky vřetene
G96	[-]	konstantní řezná rychlost (zvyšování otáček dle průměru obráběného materiálu)
GT	[-]	geometrická tolerance
HBW	[-]	tvrdost podle Brinella
HF	[-]	kyselina fluorovodíková
HR	[-]	hrubování
HRA	[-]	tvrdost dle Rockwella
HSC	[-]	high speed cutting
HV	[-]	tvrdost dle Vickerse
IT	[-]	stupeň přesnosti
MTCVD	[-]	microwave plasma chemical vapour deposition
N1	[-]	nástroj č. 1 (firmy Walter)
NC	[-]	numeric control
NÚ	[-]	náklady na údržbu
NZ	[-]	náklady na pozdní údržbu a ztráty
PCVD	[-]	plasma chemical vapour deposition
PDOK	[-]	polodokončení
PKD	[-]	polykrystalický diamant
PLC	[-]	polymer-like carbon
PS	[-]	podélné soustružení
PVD	[-]	physical vapour deposition
SK	[-]	slinutý karbid

S-N-O	[-]	stroj-nástroj-obrobek
T1	[-]	tool n. 1 (nástroj č. 1), (firmy Edwards)
TSO	[-]	technický stav objektu
TZ	[-]	tepelné zpracování
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
VUT	[-]	Vysoké učení technické v Brně
WC	[-]	wolframcarbid
Al	[-]	hliník
Ar	[-]	argon
Co	[-]	kobalt
Cr	[-]	chrom
Cu	[-]	měď
Fe	[-]	železo
Mg	[-]	hořčík
Mn	[-]	mangan
Ni	[-]	nikl
Si	[-]	křemík
Ti	[-]	titan
TiAlN	[-]	titanhliníkonitrid
TiCN	[-]	titancarbonitrid
TiN	[-]	titannitrid
Zn	[-]	zinek
Zr	[-]	zirkonium

Symbol	Jednotka	Popis
A	[%]	tažnost
A_D	[mm ²]	průřez odřezávané vrstvy
C_{vs}	[Kč]	prodejní cena vyřazených strojů
D_{kon}	[mm]	konečný průměr
D_{poč}	[mm]	počáteční průměr
F	[N]	síla

F_c	[N]	řezná síla (tangenciální)
$F_{c\ MAX}$	[N]	maximální síla
F_e	[N]	výsledná celková síla
F_f	[N]	posuvová síla (radiální)
F_p	[N]	pasivní síla (axiální)
H_i	[μm]	jakost povrchu (R_a)
I_n	[Kč]	investiční náklady
L	[mm]	délka
L_p	[mm]	délka přířezu
L_s	[-]	mez statistického tolerančního intervalu
M	[N.m]	moment síly
M_n	[Kč.h ⁻¹]	mzdové náklady se správní režii
N_m	[kg]	celkové ztráty materiálu na jednici
N_n	[rok]	nákladová návratnost
N_{rl}	[Kč.r ⁻¹]	náklady po realizaci investice
N_{sz}	[Kč.r ⁻¹]	náklady ke srovnávací základně
O_s	[Kč.h ⁻¹]	odpisy stroje
P_c	[kW]	řezný výkon
P_d	[h]	týdenní pracovní doba
P_s	[kW]	příkon stroje
Q_k	[kg]	ztráta materiálu z nevyužitého konce
Q_p	[kg]	hmotnost polotovaru
Q_s	[kg]	celková jednotková hmotnost součásti
R_a	[μm]	průměrná aritmetická úchylka profilu
R_{at}	[μm]	teoretická průměrná aritmetická úchylka profilu
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
R_{max}	[μm]	přibližná očekávaná hodnota drsnosti
R_{mr}	[%]	materiálový poměr profilu
R_p	[μm]	maximální výška výstupku profilu

$R_{p0,2}$	[MPa]	smluvní mez kluzu
R_q	[μm]	střední kvadratická hodnota drsnosti
R_v	[μm]	maximální hloubka výstupku profilu
R_z	[μm]	maximální výška profilu
R_{zt}	[μm]	maximální teoretická výška profilu
T	[s]	čas
U_{nr}	[Kč]	úspora nákladů za rok
VB	[mm]	opotřebení na hřbetě
VB_{MAX}	[mm]	maximální opotřebení na hřbetě
V_{nj}	[Kč.h ⁻¹]	výrobní náklady
V_p	[ks]	výrobní produkce
V_s	[%]	vytížení stroje
V_t	[Kč]	výdělek z prodejního rozdílu za rok
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
d	[mm]	vnější průměr obrobku
$d_{pož}$	[mm]	požadovaný průměr polotovaru
f_n	[mm]	posuv na otáčku
k_c	[MPa]	měrná řezná síla (odpor)
k_m	[-]	stupeň využití materiálu
l	[mm]	délka přířezu s tloušťkou průřezu
m_H	[-]	mez horního konfidenčního intervalu
n	[-]	četnost výskytu všech uvažovaných jednotek
n	[min ⁻¹]	otáčky
n_B	[min ⁻¹]	otáčky na nástrojovém vřetenu B
n_i	[-]	četnost výskytu jednotky
n_{stred}	[min ⁻¹]	střední otáčky
p	[-]	podíl souboru
p_p	[mm]	přídavek na průměr
p_d	[mm]	přídavek na délku
p_i	[-]	IT číslo dané operace

p_{nsz}	[-]	podíl z nákladů ke srovnávací základně
q_k	[kg]	ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče připadající na jednici
q_o	[kg]	ztráta vzniklá obráběním přídavku
q_u	[kg]	ztráta materiálu vzniklá dělením, připadajícího na jednici
r_ε	[mm]	poloměr špičky nástroje
s	[-]	směrodatná odchylka
s_{nn}	[-]	stupeň nákladové návratnosti
t_k	[rok]	doba používání
u	[mm]	tloušťka průřezu pilou
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
v_f	[m.min ⁻¹]	rychlost posuvu
$\bar{x}$	[-]	střední hodnota
$1-\alpha$	[-]	konfidenční úroveň
α_A	[rad]	úhel obloukové části špičky
κ_r	[°]	úhel nastavení hlavního ostří
κ_r'	[°]	úhel nastavení vedlejšího ostří
ρ	[kg/m ³]	hustota

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres součásti Těleso
Příloha 2	Hodnocení technologičnosti konstrukce
Příloha 3	Teoretický výpočet spotřeby materiálu
Příloha 4	Postup přípravy metalografického vzorku
Příloha 5	Tabulka nástrojů Edwards
Příloha 6	Řezné materiály pro obrábění slitin hliníku a jejich chlazení
Příloha 7	Ruční měřicí nástroje
Příloha 8	Technologický postup Edwards
Příloha 9	Teorie zapichování
Příloha 10	Technické parametry stroje SU50A-SP
Příloha 11	Teorie profilu povrchu
Příloha 12	Grafy sil HR_WNT
Příloha 13	Křehký lom VBD HR1_pokus2_WNT
Příloha 14	Měření profilu povrchu pro nástroje firmy Pramet
Příloha 15	Výkres nástroje N39
Příloha 16	Výkres nástroje N42
Příloha 17	Technické parametry stroje Mori Seiki NTX2000
Příloha 18	Tabulka nástrojů Walter
Příloha 19	Technologický postup Walter
Příloha 20	Výkres tvarového vrtáku N13
Příloha 21	Výkres zapichovacího nože pro N17 a N29
Příloha 22	Výkres zapichovacího nože pro N23 a N32
Příloha 23	Výkres zapichovacího nože pro N26
Příloha 24	Technologický postup principu protikus

PŘÍLOHA 2 – HODNOCENÍ TECHNOLOGIČNOSTI KONSTRUKCE

Hodnocení technologičnosti konstrukce se provádí z uvedených hledisek:

a) Dodržení tvaru a geometrie součásti

Konečného tvaru a geometrie součásti se dosahuje třískovým obráběním. Počet a sled operací je ovlivněn volbou polotovaru. Taktéž náklady na výrobu jsou ovlivněny volbou polotovaru. Proto při hodnocení efektivnosti výroby součásti je nutno brát v úvahu, jak náklady na polotovar, tak i na obrábění.[1]

b) Dodržení parametrů přesnosti rozměru, tvaru, geometrie a jakosti povrchu součásti

Žádnou veličinu, uvedenou na výkrese, nelze dodržet ve jmenovité hodnotě, každou je nutno tolerovat. Konstruktor stanovuje úchytky rozměru a jakost povrchu z hlediska splnění funkce a vyměnitelnosti součásti. Tyto hodnoty musí být optimální z hlediska funkce výrobku i z hlediska jeho výroby. Zbytečně úzká tolerance a jakost povrchu klade vyšší nároky na volbu metody obrábění, počet a sled operací a zapříčiňuje vyšší náklady na výrobu. Zjednodušeně lze říci, že čím menší je tolerance a vyšší jakost povrchu, tím vyšší jsou náklady na výrobu. [1]

c) Zvýšení produktivity práce a efektivnosti výroby

Zvýšení produktivity práce a efektivnosti výroby je záležitostí především technologa. Výrazně ji však ovlivňuje konstruktor technologičností konstrukce výrobku. [1]

d) Z hlediska jednotnosti základů

Konstrukční základna, ze které vychází kótovací systém, by měla být současně základnou technologickou, případně i základnou měřicí. Upínací, případně ustavovací základny, by měly být voleny tak, aby poloha součásti při obrábění byla jednoznačná a stabilní. [1]

e) Z hlediska systému kótování

Z hlediska systému kótování, který by měl vycházet z technologické základny. [1]

f) Z hlediska náročnosti

Z hlediska náročnosti, která je závislá na lícování a drsnosti povrchu obráběného kusu lze strojní čas redukovat dodržováním následujících pravidel: [1]

- volba vhodných upínacích ploch a tím dosažení dostatečně tuhého a rychlého upnutí,
- vytvářet předpoklad pro obrábění ploch více nástroji, nevyžadovat obrobení nepřístupných ploch – využít možnosti stroje na maximum,
- stanovení optimálních přídavek na obrábění,
- obrábět pouze funkční plochy, ostatní pouze v nezbytné míře,
- tvarové plochy, tolerance, drsnost volit s ohledem na funkci výrobku,
- zvážení obrobiteľnosti materiálu a využití odpadu,
- volit co nejmenší počet přepínání obrobku,
- vyloučit zbytečné přestavování pracovních poloh stroje a výměn.

PŘÍLOHA 3

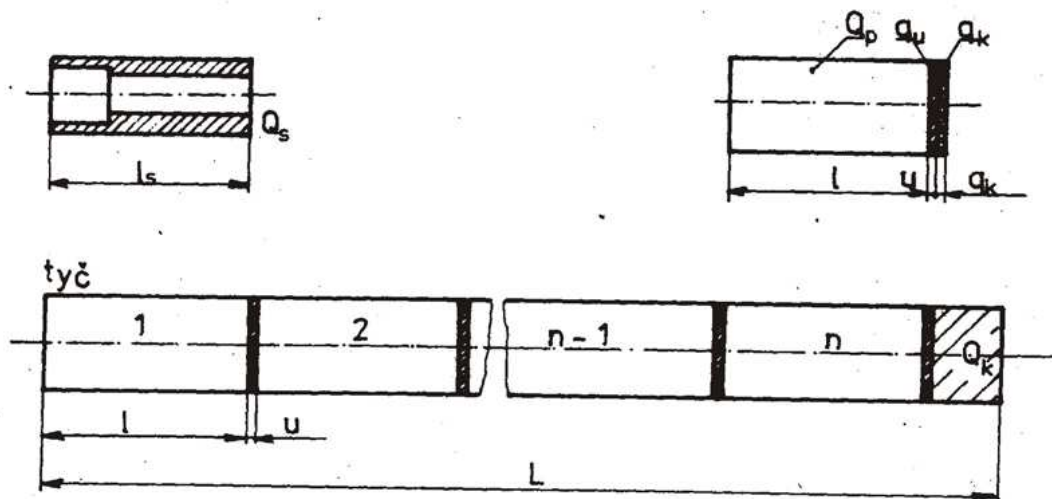
TEORETICKÝ VÝPOČET NORMY SPOTŘEBY MATERIÁLU

Norma spotřeby materiálu. (11.1)

$$N_m = Q_s + Z_m$$

Celkové ztráty materiálu na jednici. (11.2)

$$Z_m = q_k + q_u + q_o$$



Obr. 11.1 Ztráty materiálu u polotovarů z tyče [1]

Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče připadající na jednici. (11.3)

$$q_k = \frac{Q_k}{n}$$

Ztráta vzniklá obráběním přídatku. (11.4)

$$q_o = Q_p - Q_s$$

Dosazení celkové ztráty materiálu na jednici do rovnice normy spotřeby materiálu a její následná úprava. (11.5)

$$N_m = Q_s + Q_p - Q_s + q_u + q_k = Q_p + q_u + q_k$$

Stupeň využití materiálu. (11.6)

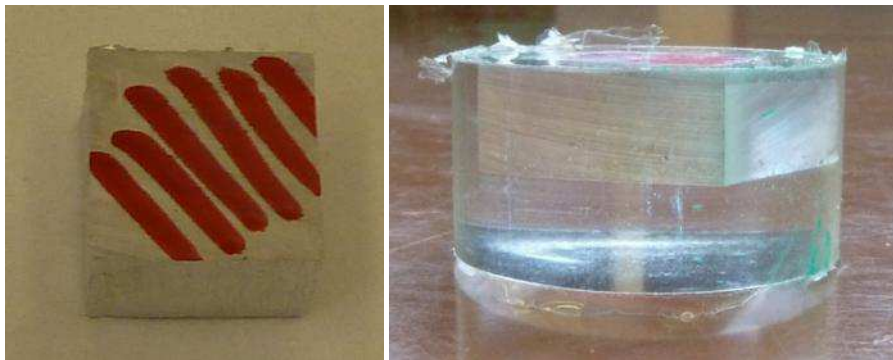
$$k_m = \frac{Q_s}{N_m}$$

Ve strojírenství bývá $k_m = 0,4$ až $0,8$. Podle stupně využití materiálu můžeme posuzovat celkovou pracnost výrobku a pokrokovost použitých technologických metod. Blíží-li se $k_m=1$, znamená to, že množství odebraných třísek je malé a tedy obrábění vyžaduje i malou spotřebu pracovního času a naopak. Zvýšením stupně využití materiálu k_m lze dosáhnout snížení pracnosti a tím zvýšení produktivity práce. [1]

PŘÍLOHA 4

POSTUP PŘÍPRAVY METALOGRAFICKÉHO VZORKU

1. Nařezání vzorku zhruba na rozměry 10x10x6mm. Řezáno pásovou pilou s chlazením.



Obr. 12.1 Vzorek po nařezání a po lisování v clarofastové pryskyřici

2. Na dno nádoby v lisovacím zařízení LaboPress-3 značky Struers na obr. č. 12.2 se rozprostřel zásyp, vzorek se umístil plochou k pozorování na dno nádoby a na vzorek a jeho okolí se nasypal clarofast. Poté se okolí vzorku za tepla 180 °C vytvrzuje clarofastovou pryskyřicí po dobu 8min. silou 20 kN. Po 8min začne fáze chlazení, která trvá po dobu 3 min.



Obr. 12.2 Lisovací zařízení LaboPress-3

3. Po vytvrzení se vzorky umístí do brousícího poloautomatického zařízení Dap-7 značky Struers na obr. č. 12.3 a postupně se brousí brusnými papíry od nejtvrdšího brusného zrna P500 přes střední P1200 až po nejjemnější s drsností zrna P4000 každý po dobu 4 min za 125 min^{-1} . Broušení probíhá celý čas při chlazení pod tekoucí vodou.



Obr. 12.3 Poloautomatické zařízení Dap-7

4. Po broušení nejjemnějším zrnem se vzorky omyjí lihem a vysuší a pokračují na leštění u stejného zařízení s diamantovou pastou s drsností $3 \mu\text{m}$ na obr č. 12.4, ke které se přidává konstantně smáčedlo Bricant pro neželezné materiály.



Obr. č. 12.4 Kotouč s nanesenou diamantovou pastou

5. S koncem leštění se vzorky znovu omyjí lihem a osuší. Leštění se znovu opakuje pomocí diamantové pasty s drsností 1 μm , vzorky ve stejném zařízení rotují tentokrát při chlazení smáčedlem Struers.

Vzhledem k tomu, že hliník je velmi měkký materiál, vyskytly se na konci procedury rýhy na vzorcích viditelné na kontrolním mikroskopu od firmy Carl Zeiss, proto se procedura musí znovu opakovat od bodu 4. tak dlouho, dokud rýhy nebudou zcela vybroušeny. K dostatečně čistému povrchu bylo zapotřebí 3x opakování.

6. Po dosažení dostatečně čistého povrchu se vzorek pozoroval na světelném mikroskopu GX71 značky Olympus, který je zobrazen na obrázku č. 12.5. Měřítko zobrazení vůči zvětšení na světelném mikroskopu je v tabulce č. 12.1.



Obr. 12.5 Světelný mikroskop Olympus-GX71

Tabulka č. 12.1 Měřítko zobrazení - zvětšení na světelném mikroskopu

zobrazení	zvětšení
70 μm	100x
10 μm	500x
7 μm	1000x

PŘÍLOHA 5 - TABULKA NÁSTROJŮ EDWARDS

Název:	Označení nástroje:	Průměr:	Typ držáku:	typ VBD:	Materiál VBD:	Výrobce držáku:	Výrobce VBD:
Nůž HR	T1		DCLNR 2525M12-T	CNMG120408EN-42	CWT20	WNT	WNT
Zapichovací nůž čelní	T2		MSS-E25L00-2525L MSS-E25L15 GX24-3	GX24-2R1.50N-M3	SR127	WNT	WNT
DOK nůž	T3		SVHCR 2525-16	VCGT160404FN-25P	CWT20	WNT	WNT
Vnitřní HR nůž	T4	12mm	E12Q SCLCR 06	CCGT060202FN-25P	CWT20	WNT	WNT
Vnitřní DOK nůž	T5		B116.0016.03	R116.1897.02	TN35	HORN	HORN
Zapichovací nůž	T6		XCLFN3206-GX24-4S	GX24-4E6.00N05027P	CWK26	WNT	WNT
Zapichovací nůž	T7		MSS-E32R00-32225 MSS-E32R45-FX3.1	FX3.1 N0.15.27P	TiN+PLC	WNT	WNT
Vrták (2VBD)	T8	56mm	SDP56 020R	Vnitřní SPMX 1904 T525 Vnější SCMT 150512.55T540	-	STELLRAM	STELLRAM
Vrták (1VBD)	T9	25mm	EC 25R-2.25D13	XCET130404FN-ALP	CWK26	WNT	WNT
Navrtávaček	T10	-	COLLET TE100 Ø6mm	BS No4 CENTRE DILL	HSS	STELLRAM	MONKS & CRANE
Součástkový chytač	T11	18mm	TDS016559	-	NYLON	HATTOS	HATTOS
Tvarový vrták (4VBD)	T12		RIGIBORE 5010228	SEET13T3AGFNL	ACP300	G.H.	GRAHAM HARRISON
Vrták (korunka)	T13	18mm	COLLET ER32 Ø20mm	KDS180 LAX	ACP300	WNT	GRAHAM HARRISON
Popisovací nástroj	T14	4mm	COLLET 4MMER4	TDS014741	-	WNT	JAYESS TOOLS
Pěchovník závitů	T15	M3	COLLET ER40 Ø4mm	M3 LONG SERIES TAP	HSS	WNT	GRAHAM HARRISON
Stupňovitý vrták se sražením	T16	2,7mm	COLLET Ø4mm ER40	TDS016560	HSS	WNT	ALLIED

PŘÍLOHA 6 – ŘEZNÉ MATERIÁLY PRO OBRÁBĚNÍ SLITIN HLINÍKU A JEJICH CHLAZENÍ

Při volbě rezných nástrojů pro obrábění slitin hliníku se na první volbu dostává slinutý karbid a s ním polykrystalický diamant. Mezi volené materiály je snaha o co nejnížší koeficient tření z důvodu vysoké otěruvzdornosti. Aplikace těchto materiálů je upřednostňována kvůli nízké afinitě a adhezi vůči hliníku a uhlíku. Protože hliník má až 2x větší tepelnou vodivost než běžná ocel a výrazné sklony k adhezi na břit většiny rezných materiálů. Vysoká tepelná vodivost odvádí značné množství tepla z místa řezu do obrobku a vysoká tepelná roztažnost má za následek tepelné deformace obrobku.[2][16]

Slinuté karbidy:

Slinuté karbidy se vyrábí pomocí technologie práškové metalurgie. Mletím v kulových bubnech je připravována základní směs, která je smíchána s pojícím kovem, lisována a slinována (tlak 1 MPa) v ochranné atmosféře. Základní směs je složena z karbidu wolframu, dále pojiva, které je v základu Co nebo Ni a dalších látek jako jsou např. karbid titanu, karbid tantalu atd.) [17]

Mezi další struktury povrchu slinutých karbidů patří funkčně gradientní. Struktura funkčně gradientního povrchu se postupně mění od povrchu k jádru. Za řízeného procesu slinování je dosaženo povrchové vrstvy s tloušťkou desítek μm . Tloušťka obsahuje větší podíl kovového pojiva a menší podíl tvrdých zrn kubických karbidů. Postupně směrem od jádra tvrdých kubických karbidů ubývá. Materiál má poté houževnatý povrch a tvrdé jádro. Houževnatý povrch brání šíření trhlin. Pomocí gradientního slinování lze vytvářet substráty, které mají různou mikrostrukturu na hřbetě i na čele. Tato struktura lze zajistit i na povlacích.[17]

Povlak je tenká vrstva s vynikající odolností proti opotřebení a vysokou tvrdostí. Materiál povlaku neobsahuje žádné pojivo a má díky tomu oproti základnímu materiálu jemnější zrnitost. Díky tenké vrstvě s vysokou tvrdostí a nízkou zrnitostí má povlak menší výskyt strukturních defektů (póry a dutiny). Povlak tvoří bariéru proti difuznímu mechanismu opotřebení nástroje. Vlastnosti povlaku povrchové vrstvy se výrazně podílí na zamezování tvorby nárůstku. Tvorba povlaků na karbidickém podkladu je vytvářena za pomoci základních metod PVD (fyzikální napařování), CVD (chemické napařování z plynné fáze), PCVD (plazmaticky aktivovaná CVD) a MTCVD (CVD za středních teplot).[17]

Metoda PVD je charakteristická nízkými pracovními teplotami (pod $500\text{ }^{\circ}\text{C}$) za sníženého tlaku ($0,1\text{--}1\text{ Pa}$) kondenzací částic, které jsou uvolňovány ze zdroje částic fyzikálními metodami. Uvolněné částice jsou ionizovány, reagují s atmosférou komory, kterou tvoří inertní a reaktivní plyn (Ar a N_2) a záporným předpětím, jsou urychlovány k povrchu substrátu, kde se vytvoří tenká vrstva homogenního povlaku ($1\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$, v atmosféře obsahující dusík se tvoří povlak TiN). Povlak je nejčastěji vytvářen napařováním, napařováním a iontovou implantací.[17]

Metoda CVD probíhá za vysokých teplot ($700\text{--}1500\text{ }^{\circ}\text{C}$). Je to chemický proces povlakování, který se zakládá na reakci plynných a chemických sloučenin v plazmě, která se vytváří na povrchu podkladového slinutého karbidu s následujícím uložením povlaku na tomto povrchu. Hlavní prioritou této metody je, aby výchozí plyny obsahovaly stabilní a zároveň prchavou sloučeninu, která se při přivedení energie (ohřev, plazma, laser) bude chemicky rozkládat. Prvky jsou pak dále ukládány na ohřátý povrch povlakovaného předmětu a působí zde jako katalyzátor. Pro proběhnutí požadované reakce (vrstva

povlaku) je zapotřebí také nekovový reaktivní plyn (např. N_2). Metoda povlakování může být realizována: tepelně indukovaná, plazmaticky aktivovaná, elektronově indukovaná (paprsek elektronů), fotonově indukovaná (laserem).[17]

Metoda PCVD se liší od metody CVD nízkými pracovními teplotami. Princip zůstává při vytváření povlaku z plynné fáze. PCVD metoda je realizována tak, že molekuly reaktivního plynu jsou ionizovány plazmovým výbojem, který doutná v komoře reaktoru. Výboj je vyvolán přiložením negativního pólu el. napětí na povlakovaný předmět. Tím se dosahuje snížení teploty povlakování ($400-600\text{ }^{\circ}\text{C}$).[17]

Metoda MTCVD probíhá za středních teplot CVD. MTCVD technologie umožňuje nanášet povlaky z plynné fáze za nižších teplot ($700-850\text{ }^{\circ}\text{C}$). Tato metoda využívá oproti CVD jako vstupní sloučeninu acetonitril jako zdroj dusíku nebo vysoce toxický a hořlavý metykyanid. Zdrojem titanu je chlorid titaničitý. Z plynné fáze se vylučují povlaky TiC a TiN.[17]

Kluzné vrstvy PLC a DLC Při změně koncentrace vodíku a poměru vazeb jsou připraveny měkké PLC (polymer) vrstvy nebo tvrdé amorfni DLC (diamant) vrstvy. DLC vrstvy mají podobné mechanické vlastnosti jako přírodní diamant, ale nemají jednoznačnou krystalovou strukturu. Jsou amorfni a skládají se ze směsi uhlíkových struktur.[18] Díky kluzné vrstvě klesá koeficient tření (až na $0,1\text{ }\mu\text{m}$), a tím přilnavost obráběného materiálu na břit nástroje. Kluzná vrstva zajišťuje díky snížení tření částečné snížení teploty při obráběcím procesu (u Al slitin až o $140\text{ }^{\circ}\text{C}$). Mezi velmi pozitivní výhody patří také utváření třísek do nahuštěných spirál.

Při volbě karbidových nástrojů pro obrábění hliníkových slitin se volí nástroje s nízkou adhezí proti nalepování materiálu na břit nástroje. Nalepování stoupá s rostoucí zrnitostí karbidu wolframu, obsahu kobaltu, drsností řezné hrany a povrchu řezného nástroje, proto je potřeba dosáhnout nízkého koeficientu tření $m=0,1\div 0,2\text{ }\mu\text{m}$ [16]. Slinuté karbidy snižují tok tepla nástrojem a díky tomu vzrůstá životnost nástroje. Mezi další hlavní volby při obrábění hliníku se především volí nástroje s pozitivní geometrií břitu. Pro obrábění hliníkových slitin je z materiálového složení snaha o velmi jemný submikronový substrát $WC<1\text{ }\mu\text{m}$ a nízkým obsahem kobaltu ($Co<10\text{ }\%$ a méně).[16] Pro snížení koeficientu tření se slinuté karbidy leští a vytváří se gradientní PLC vrstva. Mezi povlaky se u slinutých karbidů pro slitiny hliníkových materiálů využívá zejména TiN (zlatý), TiCN (šedá).

Polykrystalický diamant:

Diamant je uhlík, který má přeměněnou hexagonální mřížku na kubickou. PKD se vyrábí na speciálních strojích za vysoké teploty ($1500\text{ }^{\circ}\text{C}$) a tlaku (6 MPa), na slinování karbidových destiček se používá tlak 1 MPa . PKD destička vzniká tak, že na základní polotovar (karbid wolframu) se při vysoké teplotě do směsi bohaté na Co nalisují PKD o velikosti nejčastěji $5-10\text{ }\mu\text{m}$. Z lisovacího stroje vznikne kolečko o průměru 50 mm , které se řeže na elektroerozivním stroji na požadovaný tvar včetně všech úhlů a sražení. PKD se letují na tělo nástroje vyrobené z oceli nebo ze slinutého karbidu. Po opískování se rozměry nástroje znovu erodují (tolerance $\pm 0,01\text{ mm}$) nebo brousí (tolerance $\pm 0,002\text{ mm}$). Tím vznikne nástroj, kterým je možné obrábět hliník, hliníkové slitiny, slitiny mědi, slinuté karbidy do $15\text{ }\%$ Co, dřevo, sklo a kompozitní materiály.[17][19]

Aplikace těchto nástrojů je vhodná z důvodu nízké afinity a adheze hliníku a uhlíku. PKD nástroje zajišťují vysokou otěruvzdornost a mikrotvrdost. Musí se dbát na to, že jsou velmi náchylné na změny teplot při procesu řezání. S PKD nástroji musí být tuhost

soustavy S-N-O velmi stabilní a nesmí docházet k výkyvům sil. Při procesu řezání je velmi důležitým aspektem přívod procesní kapaliny pod stálým tlakem do místa řezu. Při nárůstu teploty může dojít k degradaci diamantu. Přítomnost kovové pojivové fáze a modifikátorů má významný vliv na grafitizaci po hranicích diamant-kov, hlavně v případech, kdy materiál obsahuje Co, Ni nebo Fe. Tato degradace výrazně zhorší vlastnosti diamantových zrn (snížení pevnosti a odolnosti proti opotřebení), které negativně ovlivní vlastnosti nástroje.[17] U obrábění HSC se přivádí kapalina při vysokotlakém chlazení nebo se nepoužívá vůbec. PKD nástroje pracují za vysokých řezných rychlostí ($500-5000 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$) s velkou životností, která je v poměru s SK přibližně 10:1.[19]

Chlazení Al:

Při řezném procesu obrábění je chladicí kapalina velmi důležitou součástí, která se nesmí opomíjet. Kapalina má při procesu řezání funkci odvodu tepla z místa řezu a při tom zajišťuje i bezpečný odvod třísek (např. při procesu řezání závitu má kapalina i funkci mazací). Pro chlazení hliníkových slitin se používají vodou mísitelné kapaliny. V základu se používají dva druhy [20]:

- Mikroemulze se sníženým obsahem minerálního oleje a relativně vysokým obsahem syntetických esterů,
- Syntetické roztoky zcela bez minerálního oleje – především při vysokém tlaku,
- Mikroemulze na bázi syntetických esterových olejů zvyšuje životnost nástrojů až o 10 %.

Materiál firmy WNT s povlakem od firmy Ionbond Czechcoating s.r.o.

podkladový materiál (ISO K20) složený z WC a s vysokým obsahem Co v základní matrici, nanostrukturní gradientní TiCN (šedý, 1-4 μm) povlak s kluznou gradientní PLC (šedá, do 1 μm) vrstvou [21], povlak vykazuje vysokou tvrdost a v součinnosti s kluznou vrstvou omezuje tvorbu nárůstku na břit nástroje po vytvoření PLC vrstvy je koeficient tření $m = 0,15-0,2$ μm , maximální teplota při použití PLC vrstvy musí být do 300 °C .[21]

Materiál firmy Pramet s označením 8030

Tab. 14.1 Vlastnosti a složení materiálu 8030 [22]

	- submikronový substrát typu H, podkladový materiál složený z WC s vysokým obsahem Co, - nanostrukturní gradientní povlak TiN (zlatý) a TiAlN (fialová) nanesený metodou PVD, - dobrá otěruvzdornost a provozní spolehlivost, - střední řezné rychlosti, - horší záběrové podmínky.
---	---

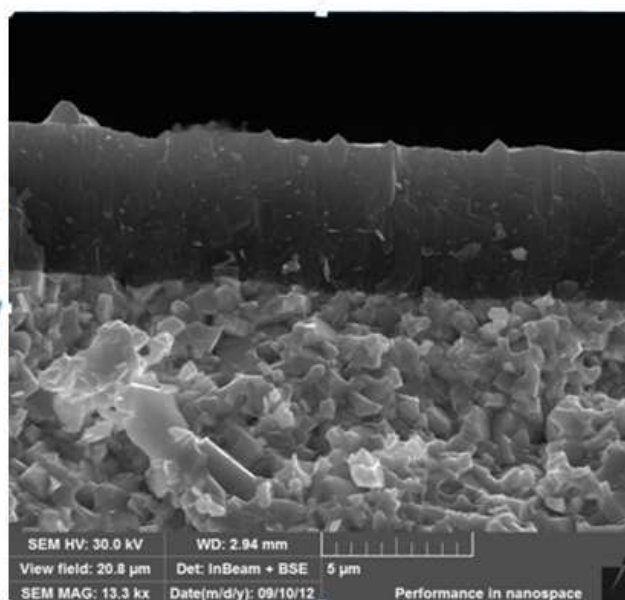
mokrý pískování pro T 8030

TiN vrstva

gradientní nanostrukturní
povlak TiN/TiAlN

TiN adhezní vrstva

iontové čištění před
povlakováním



Obr. č. 14.1 materiál 8030

Poznámka: Materiál s označením 8030 se postupně stahuje z prodeje a nahrazuje ho materiál s označením 8345, který je téměř stejný. Složení je stejné, jen je jiná tloušťka povlaků. Na obr. č. 14.1 je zobrazen materiál s označením č. 8345, ale pro přehlednost struktury a složení pro materiál se starým označením postačí.

Značení materiálu firmy Walter:

WXN10 – PVD, TiCN, (N10)

WNN25 – PVD, ta-C (DLC), (N25)

WK40 – nepovlakovaný SK, (N40)
(N33)

WSM33 – PVD, TiAlN + Al₂O₃ (ZrCN),

WCD10 – PKD, (N10)

Značení materiálu nástrojů ve firmě Edwards:

CWT20 – SK bez povlaku, (K15)

TN35 - TiN

CWK26 - SK bez povlaku, (K20)

ACP300

SR127

PŘÍLOHA 7 – RUČNÍ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE



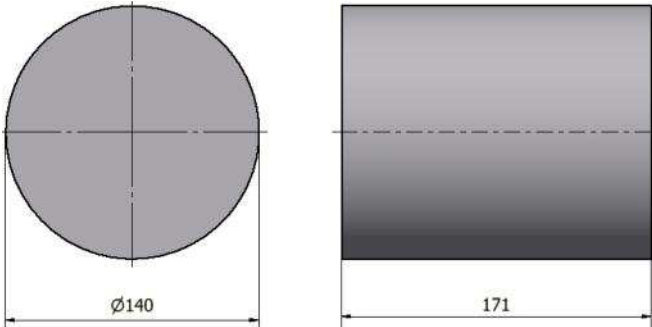
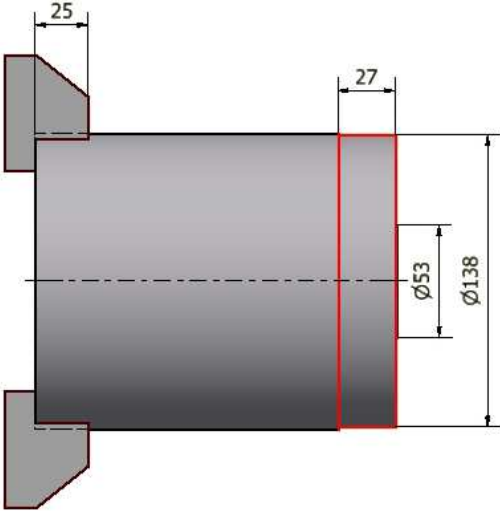
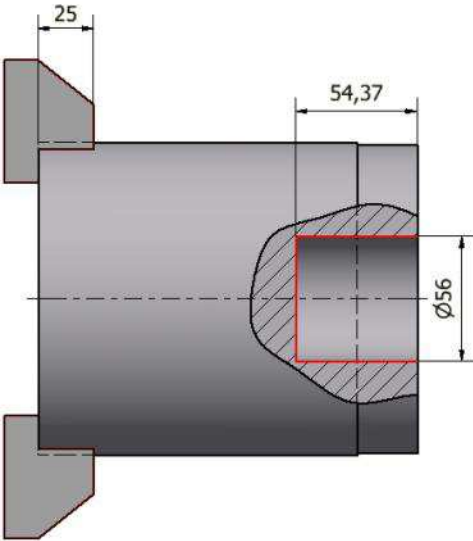
Obr. 15.1 Vzduchové kalibry a Použitá ruční měřidla

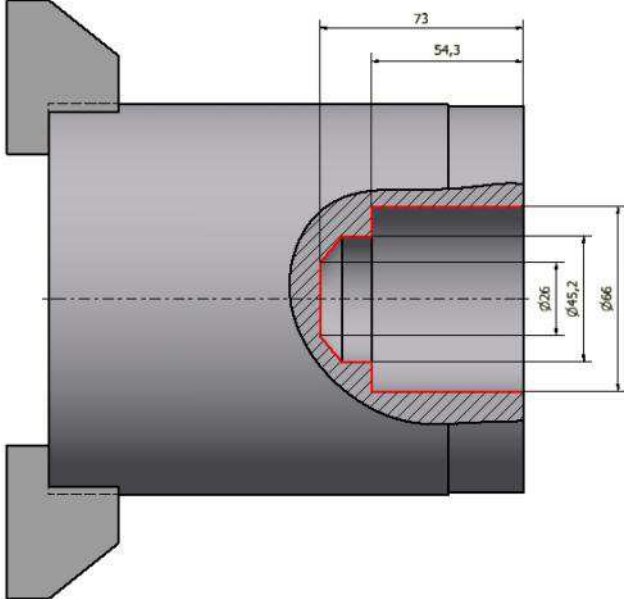
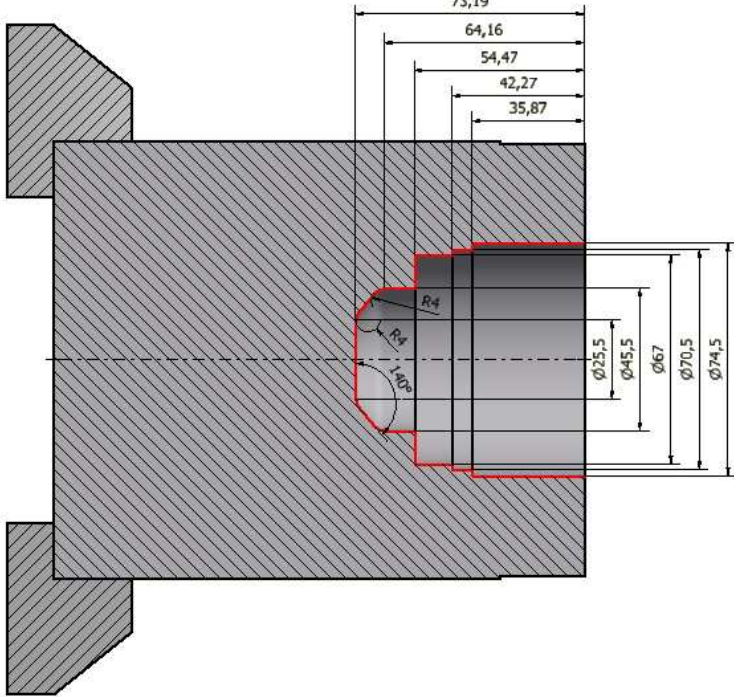
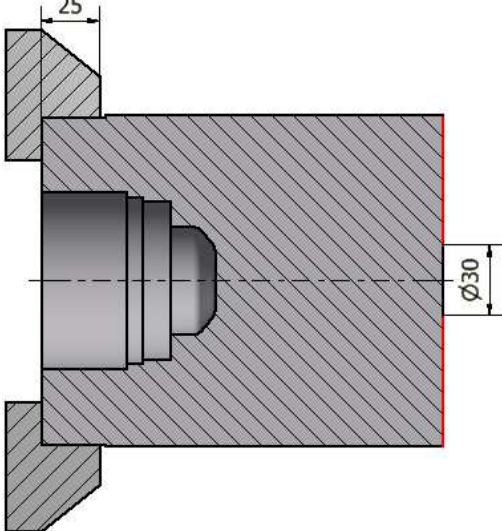


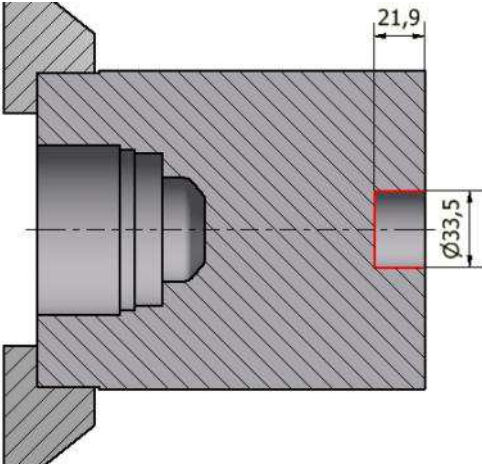
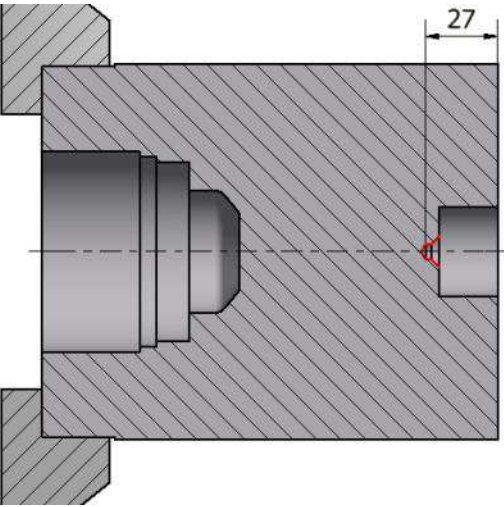
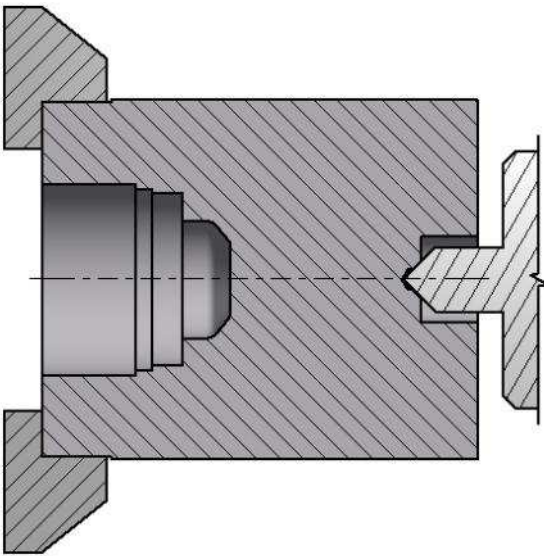
Obr. 15.2 Trimos Vertical

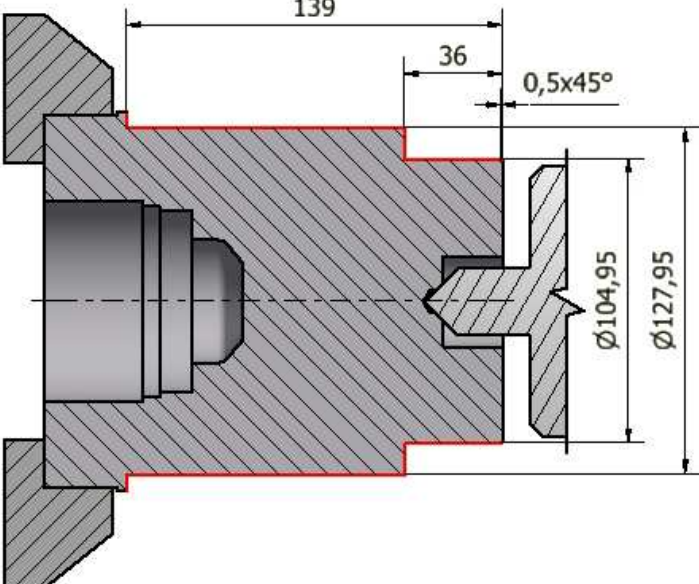
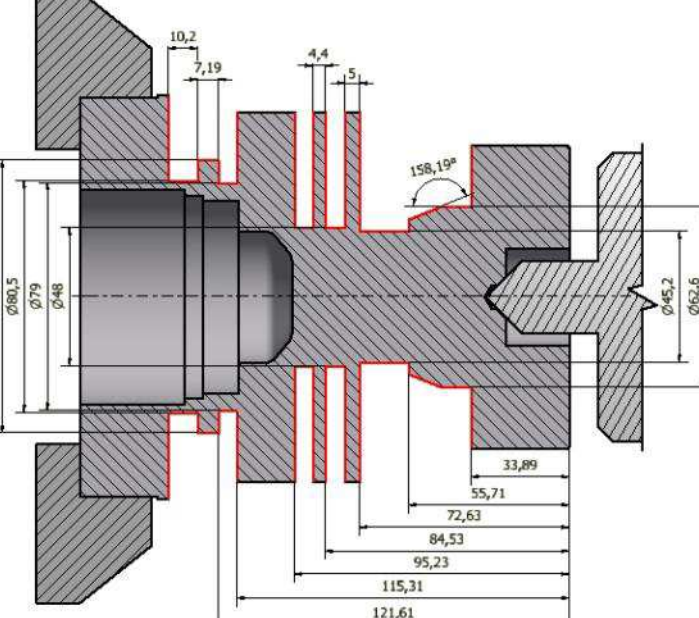
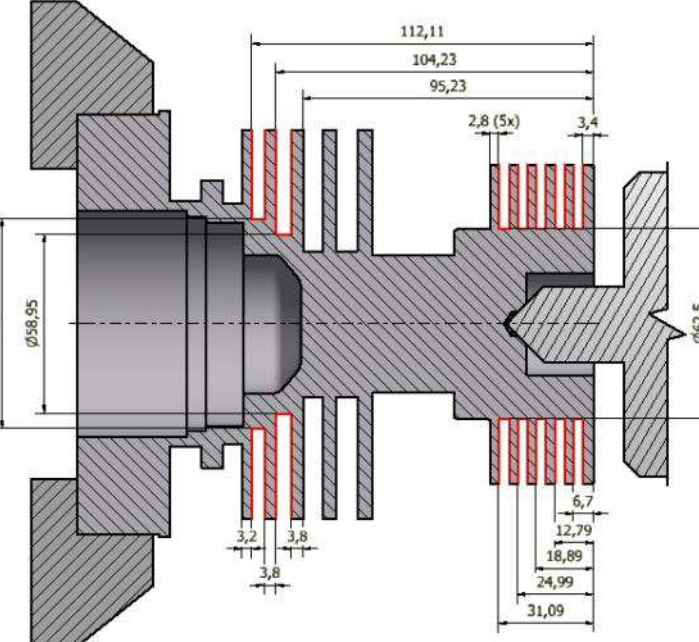
PŘÍLOHA 8

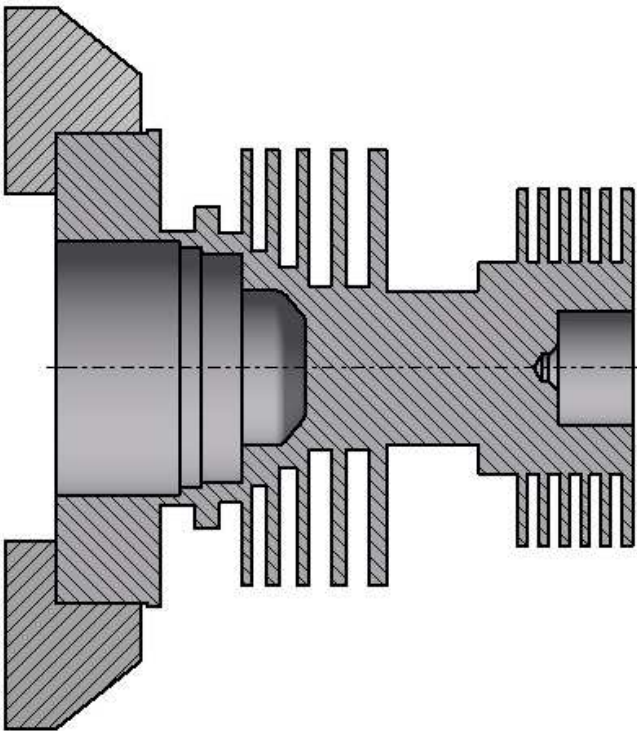
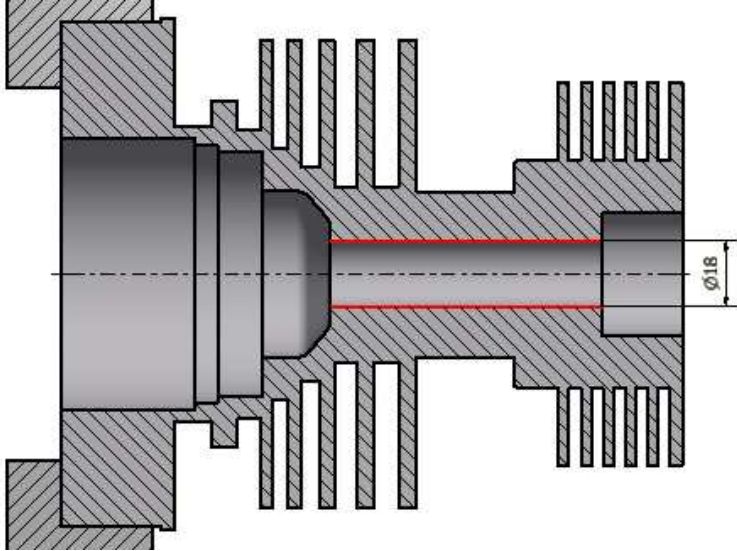
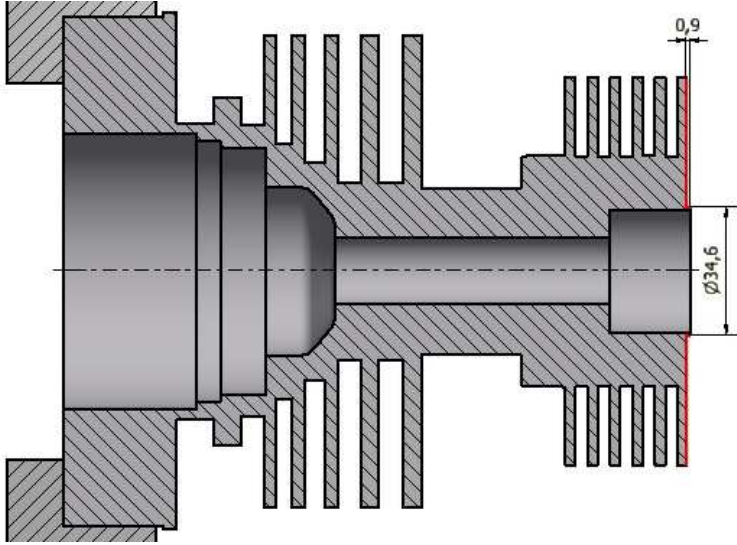
TECHNOLOGICKÝ POSTUP FIRMY EDWARDS - OKUMA LU25-M

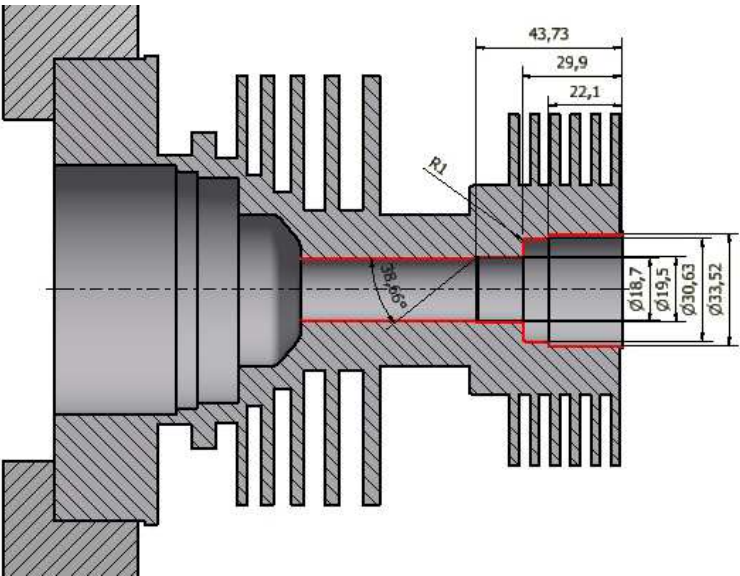
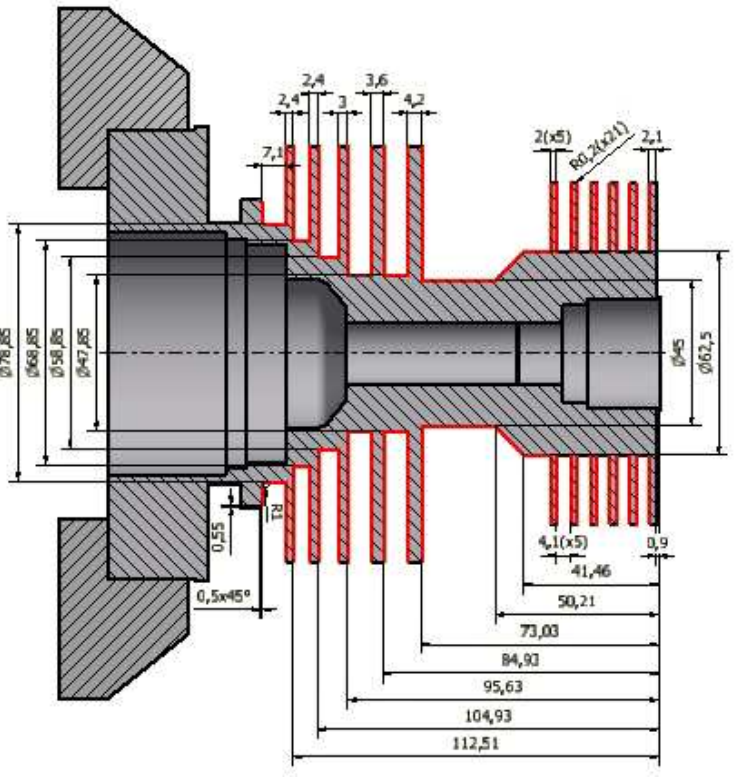
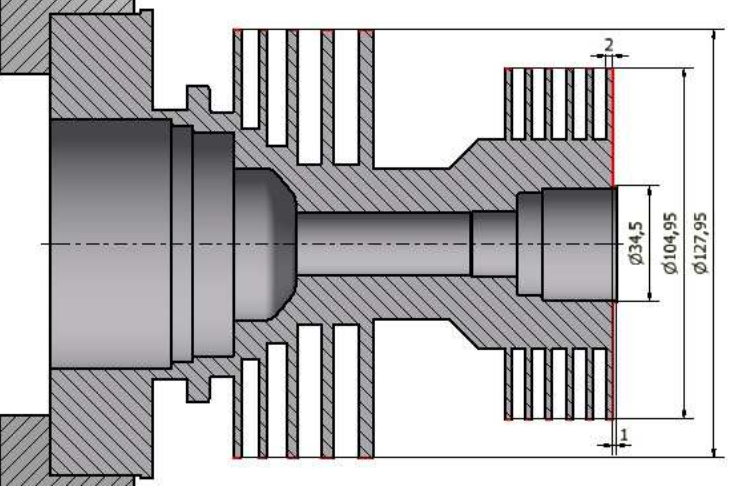
číslo upnutí	popis práce	obrázek	nástroj + řezné podmínky
0.	Nařezaný surový kus po lisování z tavby $\phi 140$ - L171		
1.	Upnout na doraz, za $\phi 140$ -L25.		
1.1	Zarovnat čelo do $\phi 53$ a odsazení na $\phi 138$ -L27.		Hrubovací nůž T1 G50 n1200 G96 v _c 1200 posuv na čele f _n 0,275 posuv na délce f _n 0,5
1.2	Vrtat $\phi 56$ - L54,37.		Vrták T8 $\phi 56$ mm s 2VBD n 1200 posuv na délce f _n 0,16

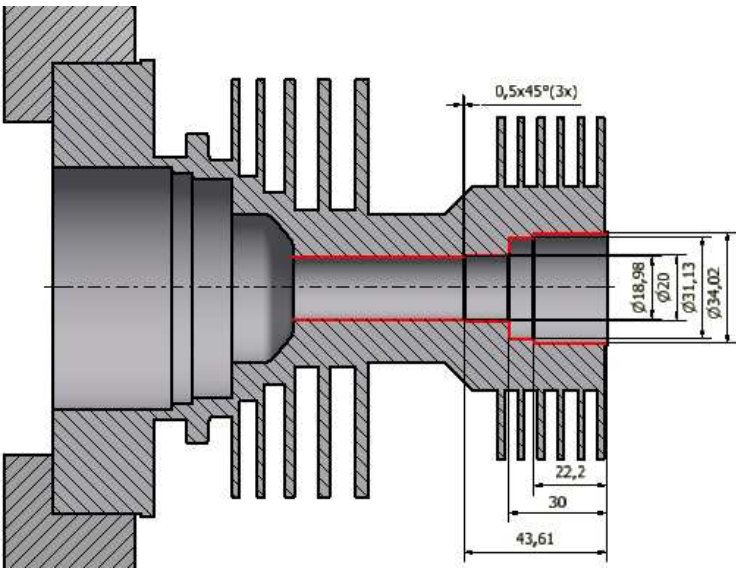
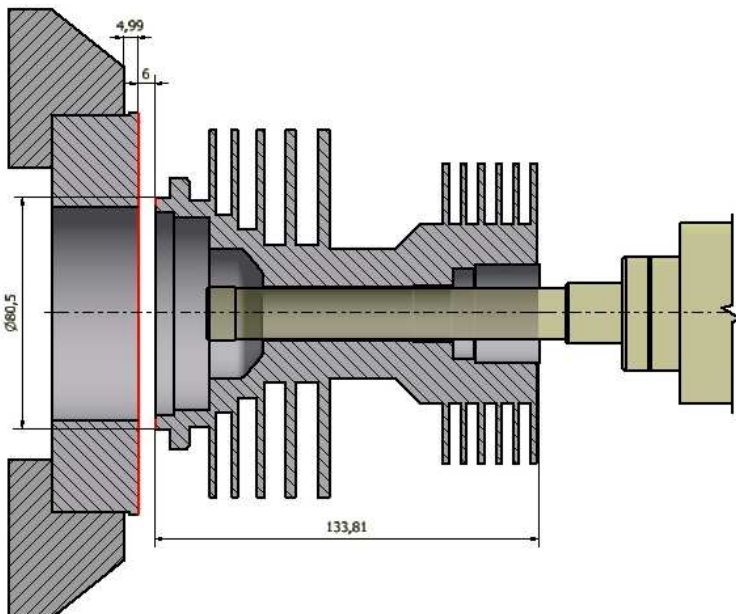
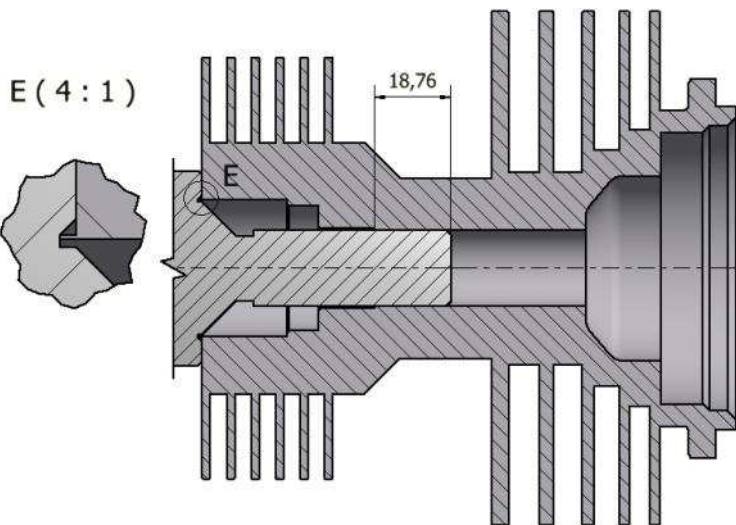
1.3	Vrtat do hloubky L73, s předhrubováním děr $\phi 45,2$ a $\phi 66$ na jeden záběr.		speciální sdružený vrták T12 se 4VBD n 1200 posuv na délce $f_n 0,13$
1.4	Hrubovat vnitřní tvar $\phi 74,5$ -L35,87, $\phi 70,5$ -L42,27, $\phi 67$ -L54,47, $\phi 45,5$ -L64,16 s návazností R4 pod úhlem 140° , R4 s návazností $\phi 25,5$ -73,19.		Multifunkční vrták T9 ($\phi 25$ mm) 1VBD n 1200 posuv na čele $f_n 0,21$ posuv na délce $f_n 0,3$
2	Otočit součást a upnout $\phi 138$ -L25.		
2.1	Zarovnat čelo do $\phi 30$.		Hrubovací nůž T1 n 800 posuv na čele $f_n 0,28$

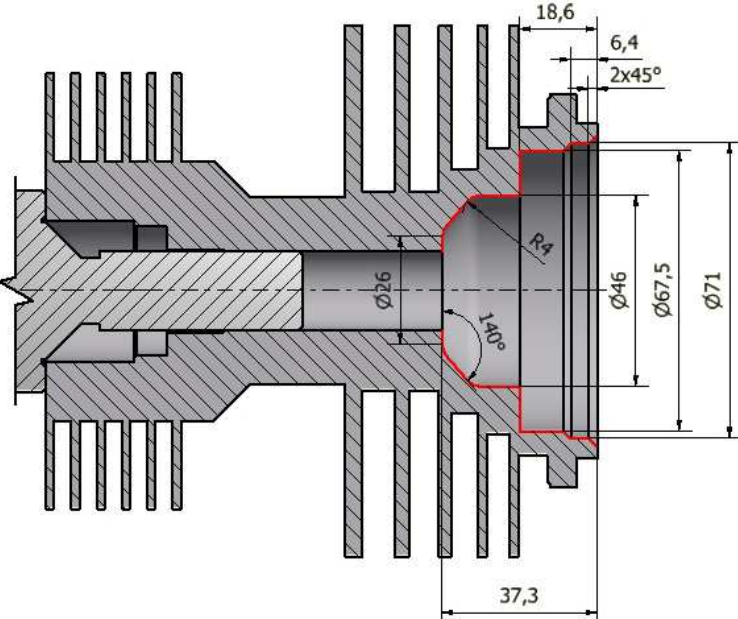
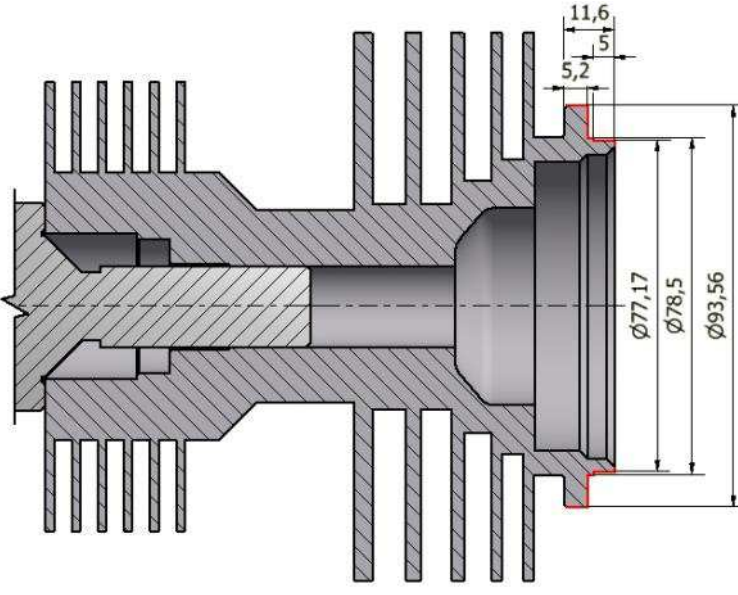
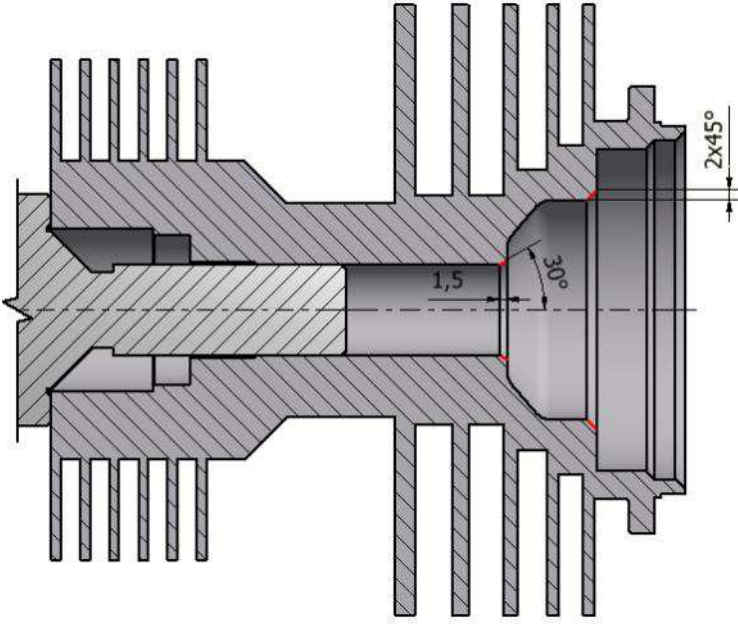
2.2	Hrubovat $\phi 33,5$ -L21,9.		Multifunkční vrták T9 ($\phi 25$ mm) 1VBD G50 n 1500 G96 v_c 1400 posuv na čele f_n 0,253 posuv na délce f_n 0,15
2.3	Navrtat díru L27.		Navrtáváček T10 n 1500 posuv na délce f_n 0,3
2.4	Podepřít otočným hrotem.		

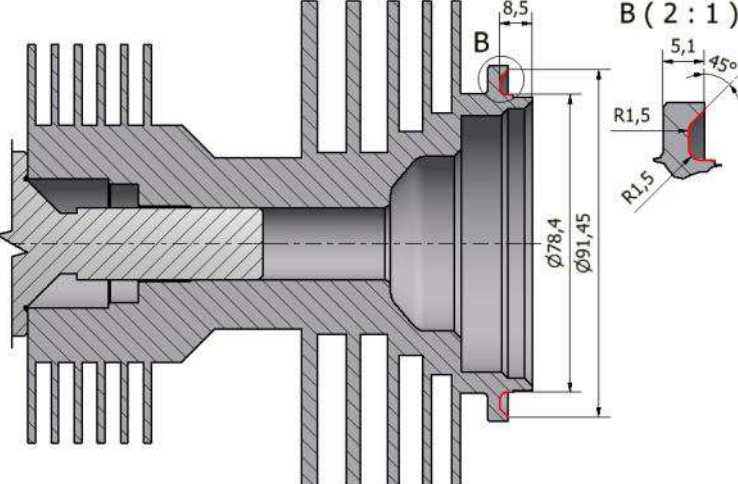
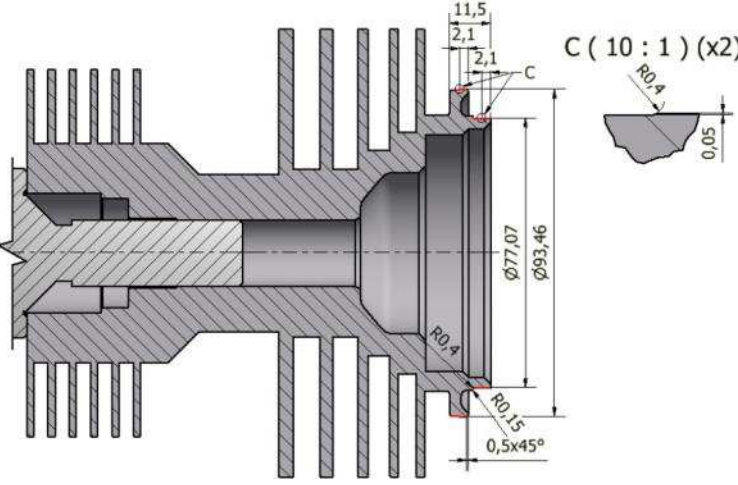
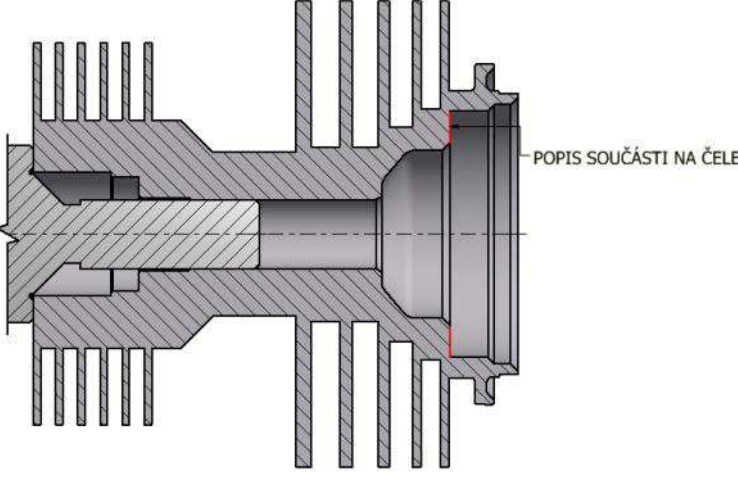
2.5	Hrubovat vnější průměry $\phi 127,95$-L139, $\phi 104,95$-L36. Srazit na čele $0,5 \times 45^\circ$.		Hrubovací nůž T1 n 800 posuv na čele $f_n 0,55$ posuv na délce $f_n 0,55$
2.6	Hrubovat vnější tvar od $\phi 62,6$-L33,89 s návazností na úhel $158,19^\circ$-L55,71, do $\phi 45,2$-L72,63. zápich $\phi 48$-L84,53-tl.6,9, $\phi 48$-L95,23-tl.6,3. Hrubovat tvar od $\phi 79$-L121,61, $\phi 94,46$-L128,8, do $\phi 80,5$-L139.		zapichovací nože T6 šířky (6 mm) G50 n 1200 G96 v_c 385 posuv na čele $f_n 0,242$ posuv na délce $f_n 0,242$
2.7	Zápich $\phi 62,5$-L6,7-tl.3,3, $\phi 62,5$-L12,79-tl.3,3, $\phi 62,5$-L18,89-tl.3,3, $\phi 62,5$-L24,99-tl.3,3, $\phi 62,5$-L31,06-tl.3,3, $\phi 58,95$-L104,23- tl.5,2, $\phi 68,95$-L112,11- tl.4,08.		zapichovací nože T7 šířky (3,1 mm) G50 n 1900 G96 v_c 385 posuv na čele $f_n 0,193$ posuv na délce $f_n 0,193$

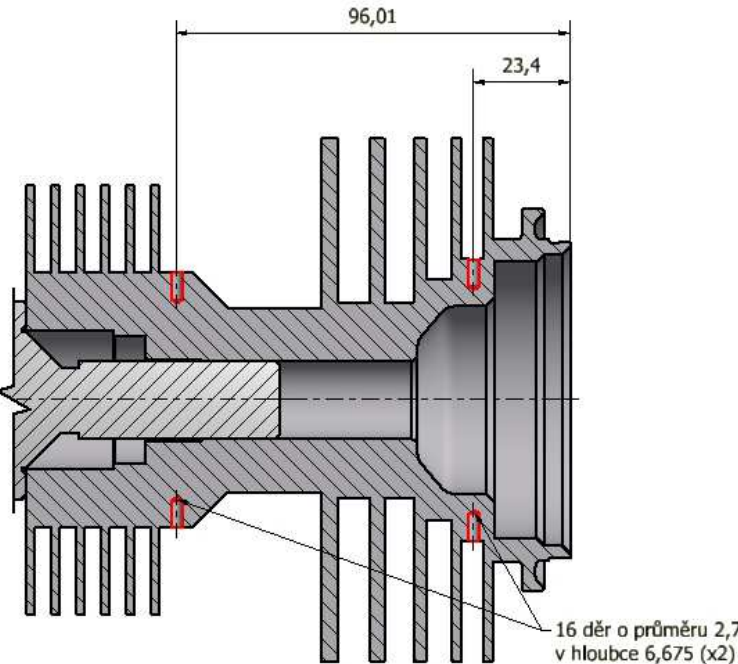
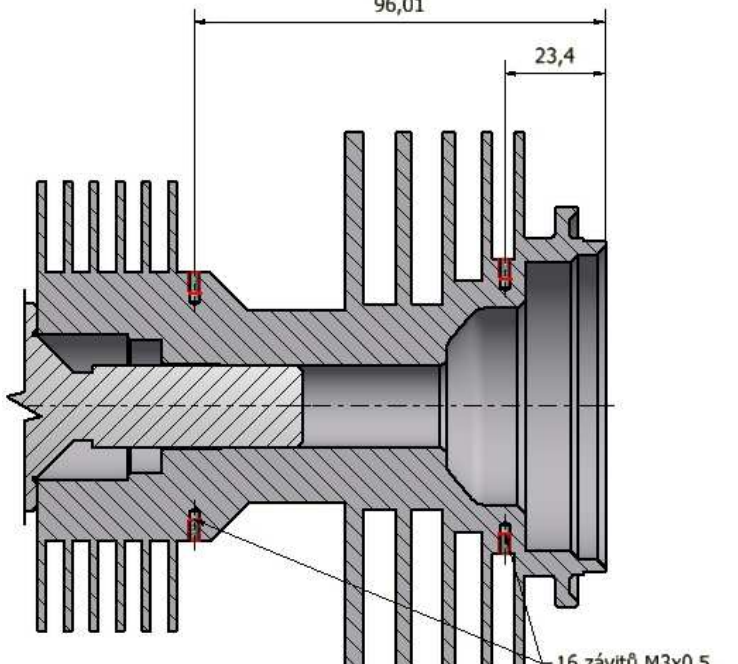
2.8	Odjet s otočným hrotem.		
2.9	Vrtat $\phi 18$ -L97.		nástrojem T13 s vyměnitelnou hlavou ($\phi 18$ mm) n 1200 posuv na délce f_n 0,48
2.10	Zarovnat čelo s přídkem 0,1 do $\phi 34,6$.		Hrubovací nůž T1 G96 v_c 275 posuv na čele f_n 0,225 posuv na délce f_n 0,225

2.11	Hrubovat vnitřní rozměry $\phi 33,52$-L22,1, $\phi 30,63$-L29,9 s návazností R1, $\phi 19,5$-L43,73 s návazností na úhel 38,66°, $\phi 18,7$-L97.		Vnitřní hrubovací nůž T4 ($\phi 12$ mm) n 1200 posuv na čele f_n 0,225 posuv na délce f_n 0,225 posuv na rádius f_n 0,225
2.12	Dokončení vnějších rozměrů. Zápich $\phi 62,5$ v délkách L7,1; L13,2; L19,29; L25,39; L31,49; tl.4,1 od $\phi 62,5$-L33,49 s návazností na úhel 135°-L50,21 do $\phi 45$-L73,03. Zápich $\phi 47,85$-L84,93-tl.7,7 $\phi 47,85$-L95,63-tl.7,1 $\phi 58,85$-L104,93-tl.6 $\phi 68,85$-L112,51-tl.5,48 sražení 0,5x45°-L122,51 s návazností $\phi 78,85$-L122,01-tl.7,1 a R1.		zapichovací nůž T7 (3,1 mm) <u>Polodokončení</u> G50 n 1900 G96 v_c 300 posuv na čele f_n 0,22 posuv na délce f_n 0,22 <u>Dokončení</u> G50 n 1900 G96 v_c 400 posuv na čele f_n 0,2 posuv na délce f_n 0,075 posuv na rádius f_n 0,07
2.13	Dokončit vnější rozměry $\phi 104,95$ a $\phi 127,95$. Dokončení čela s $\phi 34,5$-L1.		Dokončovací nůž T3 G50 n 1900 G96 v_c 450 posuv na čele f_n 0,22 posuv na délce f_n 0,22 posuv na rádius f_n 0,075

2.14	Dokončit vnitřní rozměry $\phi 34,02$-L22,2, $\phi 31,13$-L30, $\phi 34,02$-L43,61, na konci každé délky sražno $0,5 \times 45^\circ$ $\phi 18,98$-L97.		vnitřní drážkovací nůž T5 <u>Polodokončení</u> G50 n 1900 G96 v_c 80 posuv na čele f_n 0,176 posuv na délce f_n 0,176 <u>Dokončení</u> posuv na čele f_n 0,15 posuv na délce f_n 0,15
2.15	Upíchnout součást L133,8 a zachycení za plastový chytač T11.		upichovací nůž T6 (6 mm) a plastový chytač T11 n 900 posuv na čele f_n 0,165
3	Otočení součásti a chycení na hydraulický rozpínací trn. Délka upnutí 18,76 mm.		Trn – nasadit a příšroubovat na vřeteno, dále kalibrovat na osu vřetene.

3.1	Dokončit vnitřní tvar. $\phi 71$-L6,4 srazit na začátku a na konci $2 \times 45^\circ$. $\phi 67,5$-L18,6, $\phi 46$ po R4 s návazností 140° na $\phi 26$-L37,3.		multifunkční vrták T9 ($\phi 25$ mm) n 700 posuv na čele $f_n 0,25$ posuv na délce $f_n 0,25$
3.2	Hrubovat čela a vnější průměry $\phi 77,17$-L5, $\phi 78,5$-L6,4, $\phi 93,56$-L11,6.		Hrubovací nůž T1 G50 n 1200 G96 $v_c 250$ posuv na čele $f_n 0,12$ posuv na délce $f_n 0,12$
3.3	Srazit hrany $1,5 \times 30^\circ$ na $\phi 18,98$, $2 \times 45^\circ$ na $\phi 46$.		vnitřní drážkovací nástroj T5. n 1200 posuv na čele $f_n 0,075$ posuv na délce $f_n 0,075$

3.4	Dokončení čelního zápichu od $\phi 78,4$ do $\phi 91,45$ v L8,5 zobrazeného v detailu B.		čelní zapichovací nůž T2 n_{800} posuv na čele $f_n 0,05$ posuv na délce $f_n 0,05$
3.5	Dokončit vnější tvar. $\phi 77,07$ s detailem C a návazností na R0,4 a R0,15. Sražení $0,5 \times 45^\circ$ na $\phi 93,46$ s detailem C do L11,5.		vnější dokončovací nůž T3 G96 $v_c 250$ posuv na čele $f_n 0,12$ posuv na délce $f_n 0,12$
3.6	Popis součásti na čele. Místo popisu dle obrázku.		Popisovací nástroj T14 $n_B 4500$ vlastní posuv

3.7	Vrtat díru $\phi 2,7$ se sražením pro M3 16x na L23,4 a 16x na L96,01.	 16 děr o průměru 2,7 v hloubce 6,675 (x2)	stupňovitý vrták se sražením T16 externí otáčky na nástrojovém vřetenu B n_B 4500 posuv v_f 475
3.8	Tvářet závit M3x0,5 16x na L23,4 a 16x na L96,01.	 16 závitů M3x0,5 v hloubce 4,75 (x2)	tvářecí závitník T15 externí otáčky na nástrojovém vřetenu B n_B 3000 posuv v_f 1500

G96 = konstantní řezná rychlost (zvyšování otáček podle průměru obráběného materiálu)

G50 = nastavení omezení pro maximální otáčky vřetene

n = otáčky [min⁻¹]

n_B = otáčky na nástrojovém vřetenu B [min⁻¹]

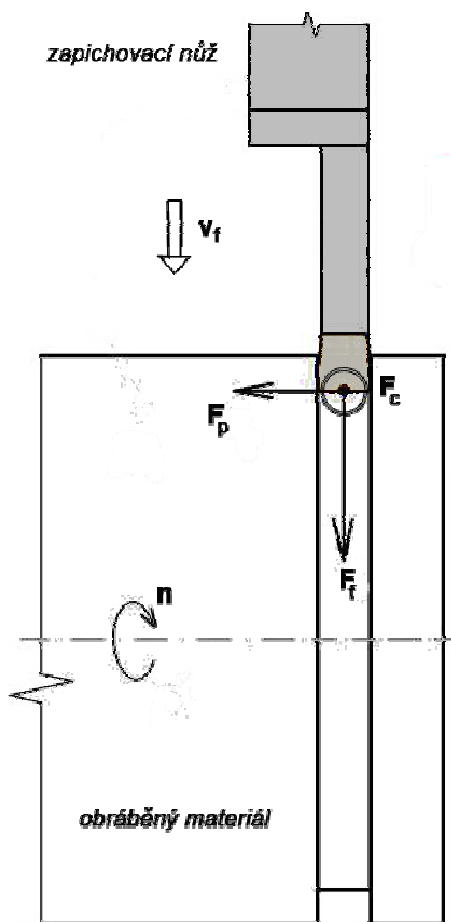
f_n = posuv na otáčku [mm]

v_f = rychlost posuvu [mm. min⁻¹]

v_c = řezná rychlost [m. min⁻¹]

PŘÍLOHA 9 - TEORIE ZAPICHOVÁNÍ

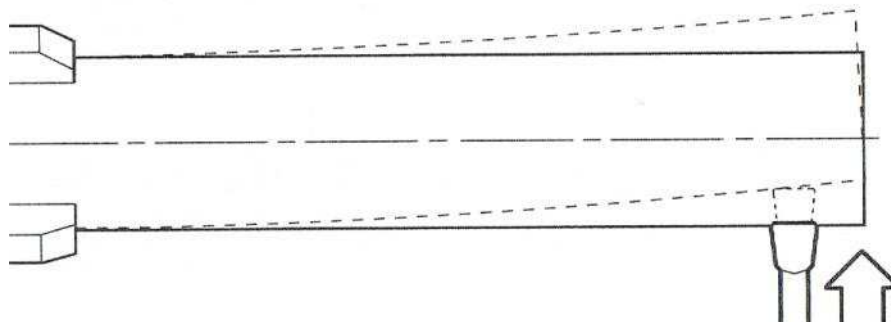
Zapichování vychází ve své podstatě z teorie nedokončeného upichování. Obrobek rotuje a nástroj koná přímočarý posuvný pohyb. Nástroj se pohybuje od obvodu obrobku k jeho ose dle obrázku č. 17.1. Zvýšenou pozornost je třeba věnovat toleranci rozměrů, hloubce a šířce zápichu a jakosti obrobené plochy. [23]



Obr. 17.1 Schéma zapichování

Vibrace:

Při zapichování ve větší vzdálenosti od upnutí nebo s delším vyložení se musí brát v úvahu možnost vzniku samobuzených nebo případně i vynucených vibrací soustavy S-N-O, které velmi ovlivňují výslednou kvalitu obrobené plochy (vznik vlnitosti, zhoršená drsnost povrchu), zvyšují intenzitu opotřebení nástroje (mohou způsobit vylamování břitů nebo i celkovou destrukci nástroje), urychlují opotřebení součástí obráběcího stroje a zhoršují pracovní prostředí (vysoké tóny nebo silný hluk) [22]. Dojde-li k vychýlení (prohnutí) obrobku zobrazené na obr. č. 17.2, mohou vznikat vibrace. Pro vznik vibrací jsou nejdůležitější deformace obrobku hlavně ve směru radiální a tangenciální složky řezné síly. Čím méně je obrobek vysunut z upínače, tím menší vychýlení vznikne a tím je také menší nebezpečí vzniku vibrací. Proto je snaha o obrábění co nejbližší k upínači. K zamezení vzniku vibrací se musí brát ohled nejen na nejvhodnější nástroj a nejstabilnější upnutí, ale také na vhodně zvolené řezné podmínky, aby se sklony k vibračním minimalizovaly u nástroje i obrobku. Na základě vnějšího působení různých impulzů a sil lze rozlišit kmitání vlastní, samobuzené a vynucené.[22][24]



Obr. č. 17.2 Vychýlení obrobku a vznik vibrací [23]

Vlastní kmitání

Kmitání některé části nebo několika částí soustavy vlastními kmity, určenými vlastní frekvencí. Může být vyvoláno rázem (záběrem nástroje nebo zapnutím spojky). Vlastní kmity se udržují působením pružných sil, vlivem odporů se utlumí, a proto lze jejich vliv obvykle zanedbávat.[24]

Samobuzené kmitání

Vzniká bez periodického vnějšího budícího účinku. Soustava je uvedena do samobuzeného kmitání prvním impulzem, který vyvolá výchylku z rovnovážné polohy a kmitání probíhá dále bez přívodu energie z vnějšku a jeho periodická proměnlivost závisí pouze na vlastnostech kmitající soustavy. Prvním impulzem může být např. uvolnění nárůstku z nástroje, nebo náraz nástroje na tvrdší strukturální částici v obráběném materiálu [24]. Mezi další prvotní příčiny samobuzených vibrací soustavy je snížení tuhosti některého členu – nejčastěji v důsledku vysoké štíhlosti obráběného hřídele při vnějším soustružení a omezená tuhost nožového držáku při vnitřním soustružení.[22] Samobuzené kmitání může nastat za vlivu:

Nesouvisející s procesem řezání:

- relaxační kmitání (trhavé pohyby při velmi malých posuvech u vyvrtávaček),
- kmitání kopírovacího systému se zpětnou vazbou.

Související s řezným procesem:

- reprodukce předchozí vlnitosti povrchu,
- postupné usmýkávání článků nebo prvků třísky,
- nestabilita nárůstku,
- změna součinitele tření v závislosti na rychlosti pohybu.

Vynucené kmitání

Vznikne, působí-li na soustavu periodicky proměnlivá budící síla a jeho charakteristickým znakem je, že frekvence kmitání se obvykle shoduje s frekvencí této síly[24]. Vynucené kmitání technologické soustavy může být trojího druhu:

Kmitání, které není vyvolané řezným procesem, ale pramení z technologické soustavy a vzniká v důsledku:

- nevyváženosti rotujících součástí,
- setrvačných sil, které vznikají vratným rotačním nebo přímočarým pohybem součástí,
- nepřesností převodových mechanismů obráběcího stroje,
- rotace nesymetrických hřídelí (např. s drážkou).

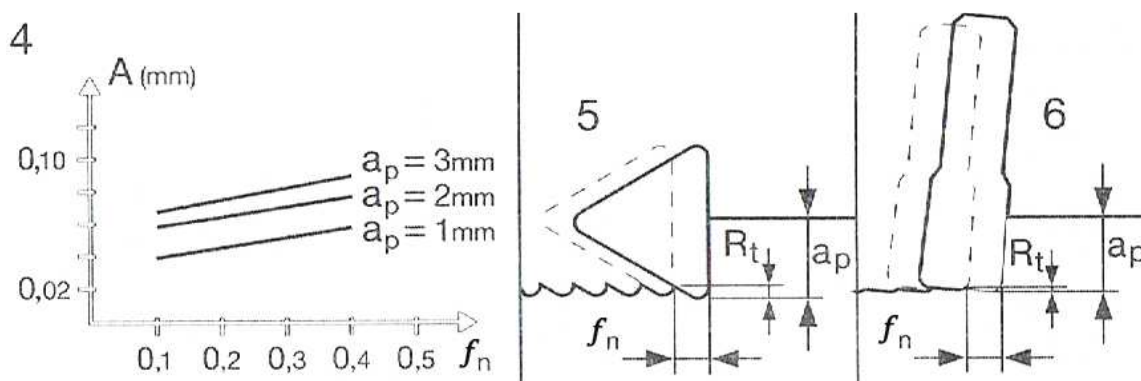
Kmitání vyvolané vlastním řezným procesem:

- přerušovaný řez (např. soustružení hřídele s drážkou),
- kolísání hloubky řezu (např. soustružení mnohohranu),

Vynucené kmitání přenášené do technologické soustavy z okolí.

Podélné a tvarové soustružení

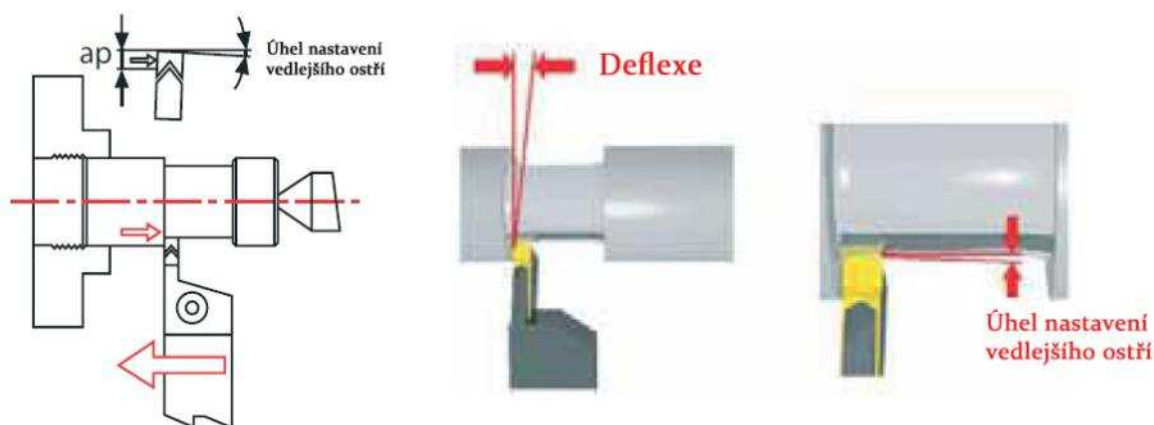
Při podélném a tvarovém soustružení je nástroj vystaven působení axiálních řezných sil, které ho uvádějí do šikmé, resp. vychýlené polohy. V oblasti přechodu mezi radiálním a axiálním posuvem pak vzniká odchylka na průměru obrobku. Aby se rozdíl vyrovnal, měla by se odchylka změřit a nástroj odpovídajícím způsobem korigovat. [23] Při kontrolované deformaci systému nástroje (tzv. deflexe) lze vytvořit na břitové destičce úhel nastavení vedlejšího ostří. Princip deflexe je na obr. 17.4 [25]. Na diagramu (4) v obrázku 17.3 je znázorněno, jaké vyrovnání A na průměru obrobku je nutné zohlednit při různých hloubkách řezu a_p a posuvech f . Sklon, respektive úhel nastavení vedlejšího ostří vyměnitelné břitové destičky, vyvolá efekt obrábění na čisto (6), vede ke zlepšení jakosti obrobeného povrchu R_t v porovnání s povrchem obrobeným běžnými soustružnickými noži (5). [23]



Obr. 17.3 Vyrovnání odchylky A při hloubkách řezu a posuvech, efekt obrábění na čisto při podélném soustružení.[23]

Deflexe se dá ovlivnit následujícími faktory:

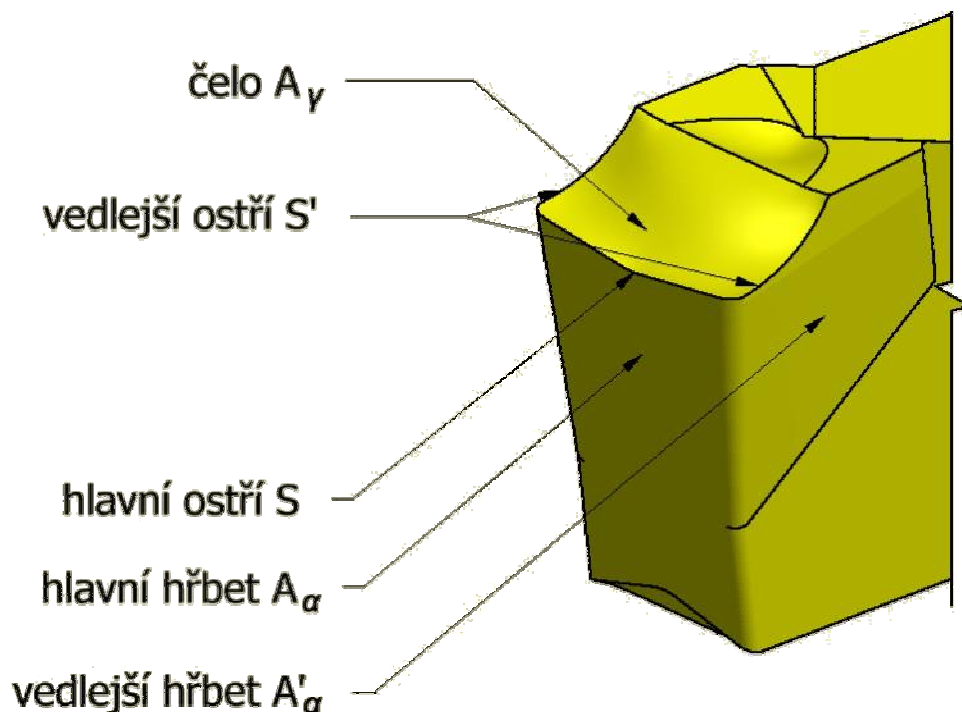
- | | | |
|------------------|--------------------------|------------------|
| - posuv f , | - hloubka řezu a_p , | - šířka zápichu, |
| - šířka břitu, | - řezná rychlost v_c , | - materiál, |
| - vyložení nože, | - stroj. | |



Obr. 17.4 Deflexe [25]

Geometrie řezné části destiček

Nástroj je definován svými řeznými částmi a úhly, díky kterým snadněji dochází ke snižování odporu materiálu proti vnikání břitu. Na obr. č. 17.5 jsou znázorněny základní plochy a ostří na zapichovacím noži, kde čelo A_γ je plocha, po které odchází třísky. Část čelní plochy určená na lámání třísky nebo její svinování je utvařec třísky. Vytváří se tvarováním čela podle druhu materiálu a aplikace, pro kterou bude použit. Úhel čela je vzhledem k obráběnému materiálu pozitivní. Hřbet (A_α a A'_α) je plocha, která při procesu řezání směřuje k ploše obrobku. Hlavní ostří S je řeznou částí nástroje, kterou se realizuje vlastní proces řezání. Vedlejší ostří S' provádí dokončovací práci na obrobené ploše (podélné soustružení).[24]



Obr. 17.5 Základní plochy a ostří na zapichovacím noži

Kinematika zapichování.

Hlavní pohyb vykonává vřeteno s obrobkem a vedlejší přímočarý pohyb vykonává nástroj. Posuvová rychlost je definována vztahem 17.1, výpočet řezné rychlosti dle vztahu 17.2. Celková rychlost je vektorovým součtem skládajícím se z obou předchozích rychlostí, řezné i posuvové ve vzorci 17.3 [24]. Všechny vektory řezných rychlostí jsou znázorněny v obrázku 17.6.

(17.1)

$$v_f = \frac{f \cdot n}{1000}$$

(17.2)

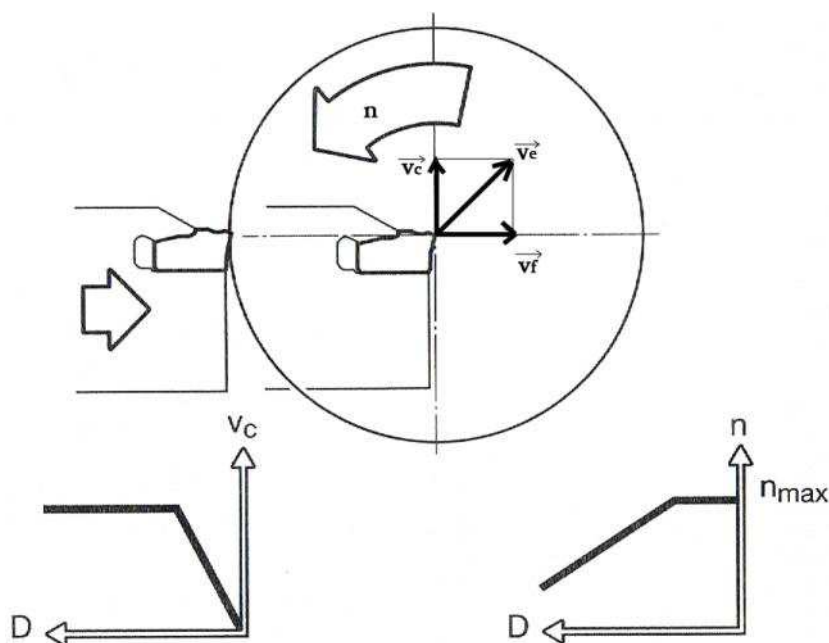
$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

(17.3)

$$v_e = \sqrt{v_f^2 + v_c^2}$$

Zapichování může probíhat za tří podmínek:

1. Zapichování při konstantní řezné rychlosti a konstantními otáčkami za proměnného obráběného průměru, kdy je nástroj v záběru až do požadované hloubky. Tato varianta je nejhorší možná.
2. Za konstantních otáček kde se zmenšujícím se průměrem klesá řezná rychlost, nástroj zabírá až do požadované hloubky.
3. Při konstantní řezné rychlosti, kdy za zmenšujícího se průměru obrobku, narůstají otáčky do $n_{\max}$. Nástroj zabírá do požadované hloubky. Po dosažení maximálních otáček řezný proces pokračuje bodem 2.[26]



Obr. 17.6 Řezné rychlosti a závislosti změny průměru na otáčkách a řez rychlosti [23]

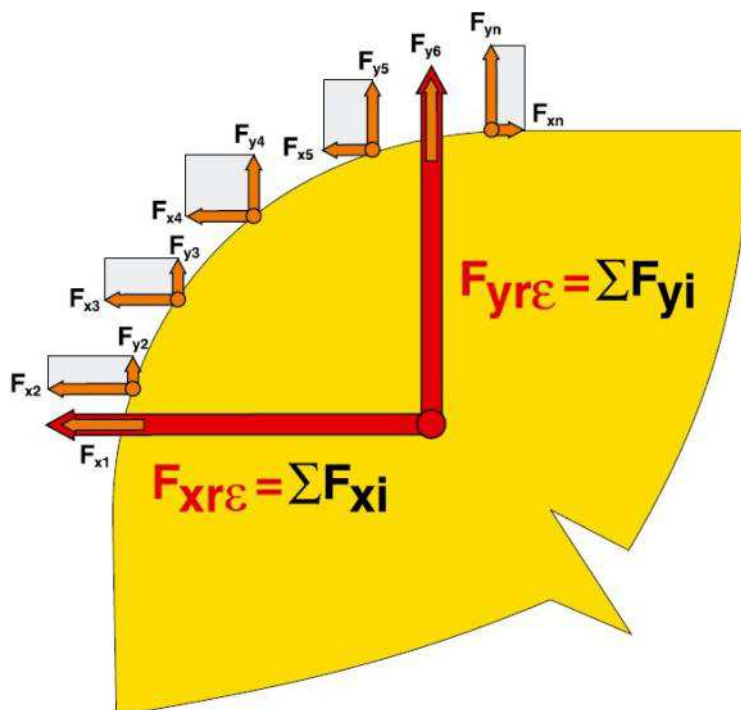
Teorie sil a momentů

Během řezného procesu působí na nástroj i obrobek síly, které výrazně ovlivňují proces řezání, jejich základní rozložení je na obr. č. 17.8.

Vznikající síly při řezném procesu.

Při řezném procesu zapichování vznikají tři druhy řezných sil (obr. č. 17.8), a to síla tangenciální F_z (řezná), která působí proti směru otáčení obrobku, síla radiální F_y (posuvová) působící ve směru pohybu posuvu a jako poslední síla axiální F_x (pasivní), která působí rovnoběžně s osou rotace obrobku. Velikosti sil se mění v důsledku mnoha kritérií jako např. druh materiálu nástroje i obrobku, velikosti řezných sil, vzniku vibrací apod. Při procesu řezání je snaha o minimalizaci radiálních sil kvůli vzniku vibrací, např. u podélného soustružení se volí pro snížení vibrací a snížení radiálních složek úhel nastavení hlavního ostří co nejbližší k 90° , při úhlu nastavení $\kappa_r \approx 75^\circ$ vzroste radiální složka F_y oproti $\kappa_r = 90^\circ$ přibližně o dvojnásobek. [22]

Zapichovací VBD s neutrálním břitem má $\kappa_r = 90^\circ$ a velmi důležitou součástí at' už při zapichování nebo při podélném soustružení má největší vliv na radiální složku zaoblení špičky nástroje r_ϵ . Jedná se o pasivní řeznou sílu odtlačující obrobek a její složky se podílejí na silách axiálních F_x a radiálních F_y . Při zvětšování poloměru zaoblení r_ϵ se zvětšuje podíl sil působících (na špičce) na celkové složce radiální síle F_y , a tím větší je odtlačení (průhyb) obrobku. Schematické změny sil na zaoblení jsou znázorněny na obr. č. 17.7 Pro zmenšení pravděpodobnosti vzniku vibrací je nutno volit co nejmenší poloměr zaoblení špičky VBD r_ϵ a volit geometrie utvařeče třísky s pozitivním břitem (maximální vstupní úhel čela γ). [22]



obr. č. 17.7 Změny sil na zaoblení VBD [22]

Krouticí a ohybový moment.

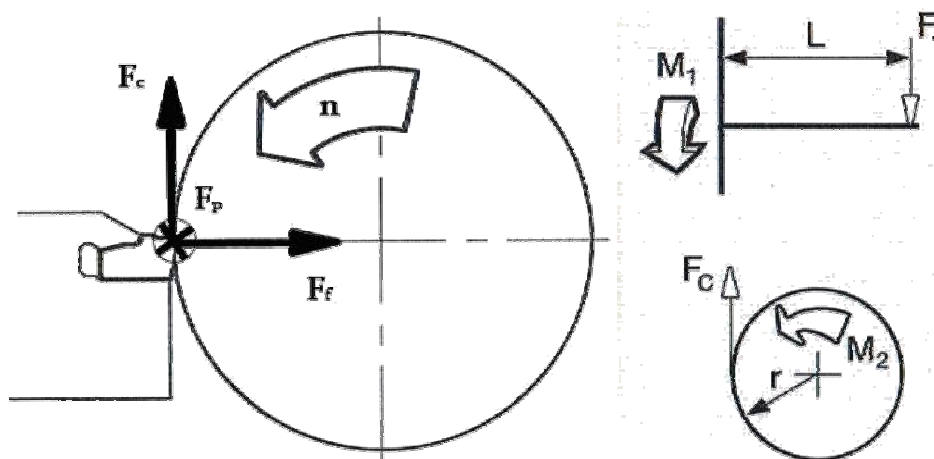
Při soustružení vytváří radiální složka řezné síly F_f ohybový moment M_1 , který je dán vztahem 17.4, tangenciální složka řezné síly F_c pak vytváří krouticí moment M_2 dle vzorce 17.5. Uvedené síly a momenty (obr. 17.8) musí zachytit upínač nástroje a upínač obrobku tak, aby nastal rovnovážný stav. Ve stavu rovnováhy musí být roven nule jak součet vznikajících sil, tak také součet momentů. Ohybový moment způsobuje vychýlení nástroje a obrobku, v důsledku toho vznikají vibrace. U procesu obrábění, které jsou náchylné na vznik vibrací je proto nutné vzít v úvahu, že se pevnost v ohybu s narůstajícím průměrem zvyšuje a při menší délce vyložení se ohybový moment snižuje. [23]

(17.4)

$$M_1 = L \cdot F_f$$

(17.5)

$$M_2 = r \cdot F_c$$



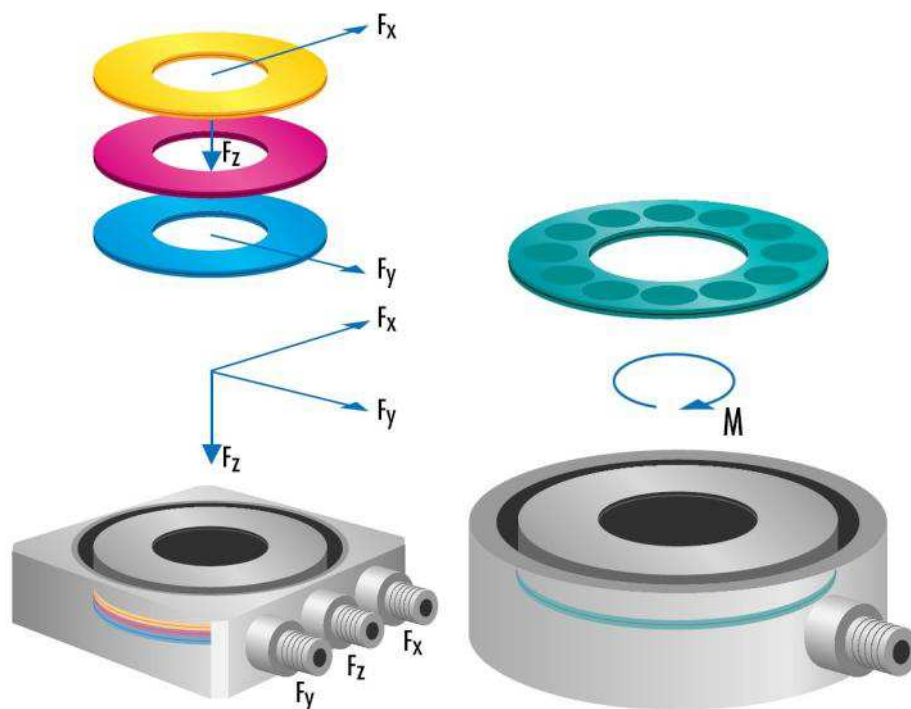
Obr. 17.8. Rozložení sil a momentů při zapichování [23]

Měření sil a momentů:

Zjišťování sil při procesu řezání se měří a zpracovává pomocí záznamových systémů. V praxi se používají pro přesné měření sil tzv. dynamometry, které se dále rozdělují podle metod měření na mechanické, pneumatické, hydraulické, uhlíkové, indukční, kapacitní, tenzometrické a piezoelektrické. Mezi nejčastěji používané pro vysokou přesnost patří tenzometrické a piezoelektrické dynamometry. V experimentu byl použit dynamometr piezoelektrický.

Piezoelektrické dynamometry

Piezoelektrické dynamometry (obr. 17.9) pracují na principu změny elektrického náboje vlivem deformace krystalu SiO_2 . Krystal SiO_2 se řeže na destičky, každá destička zachycuje jeden směr deformace, proto pro měření sil v osách (X, Y, Z, M) je potřeba přesně tolik destiček v kolika osách potřebujeme měřit. Destičce se zatěžuje v určitém směru její mřížka, tím je vyvolána reakce iontů a vytváří se deformační náboj. Velkou výhodou je velký rozsah měření (10^6). Negativním hlediskem je, že nelze měřit dlouhodobé děje (30 min), což není u měření řezných sil nevýhodou, protože doba trvání zátěže je otázkou vteřin. Způsob měření pomocí piezoelektrických dynamometrů byl použit při experimentu. Výsledný výpočet síly je proveden podle vztahu 17.6. [27]



Obr. 17.9 Piezoelektrický snímač [27]

Jednotlivé složky výsledné síly jsou:

F_c – řezná síla – působící ve směru osy Z – síla tangenciální,

F_f – posuvová síla – působící ve směru osy Y – síla radiální,

F_p – pasivní síla – působící ve směru osy X – síla axiální.

Výpočet výsledné síly:

(17.6)

$$F_e = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2}$$

Pro nastavení výkonu obráběcího stroje je velmi důležitý řezný výkon P_c , který je vydáván přímo nástrojem a je ve vzorci (17.7).

(17.7)

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \cdot 10^3}$$

Průřez odřezávané vrstvy A_D je určen šířkou záběru a_p a posuvem na otáčku f_n . Při zapichování a upichování, kde je úhel nastavení hlavního ostří $\kappa_r=90^\circ$, odpovídá šířce třísky b_D a tloušťce třísky h_D .

(17.8)

$$A_D = f_n \cdot a_p = b_D \cdot h_D$$

Velikost měrného řezného odporu je závislá na geometrii nástroje, řezném prostředí, velikostí průřezu třísky (tloušťkou) a fyzikálními vlastnostmi obrobku jako tvrdost a pevnost. Měrný řezný odpor je použit v experimentální části a je vztažen na průřez třísky 1mm^2 . [23]

(17.9)

$$k_c = \frac{F_c}{A_D}$$

PŘÍLOHA 10 - TECHNICKÉ PARAMETRY SOUSTRUHU SU50A - SP

Tab. 18.1 Technické parametry [28]

Univerzální hrotový soustruh U50A - SP	
výrobce	TOS Kuřim
otáčky vřetene	11,2 - 1400 min ⁻¹
maximální vzdálenost hrotů	1500 mm
výkon motoru	11 kW
oběžný průměr nad ložem	500 mm
oběžný průměr nad suportem	250 mm
průměr sklíčidla	250 mm
podélné posuvy v rozsahu	0,027 – 3,8 mm
příčné posuvy v rozsahu	0,013 – 1,9 mm
půdorys plochy stroje	1180x3775 mm
váha se zákl.příslušenstvím	2800 kg

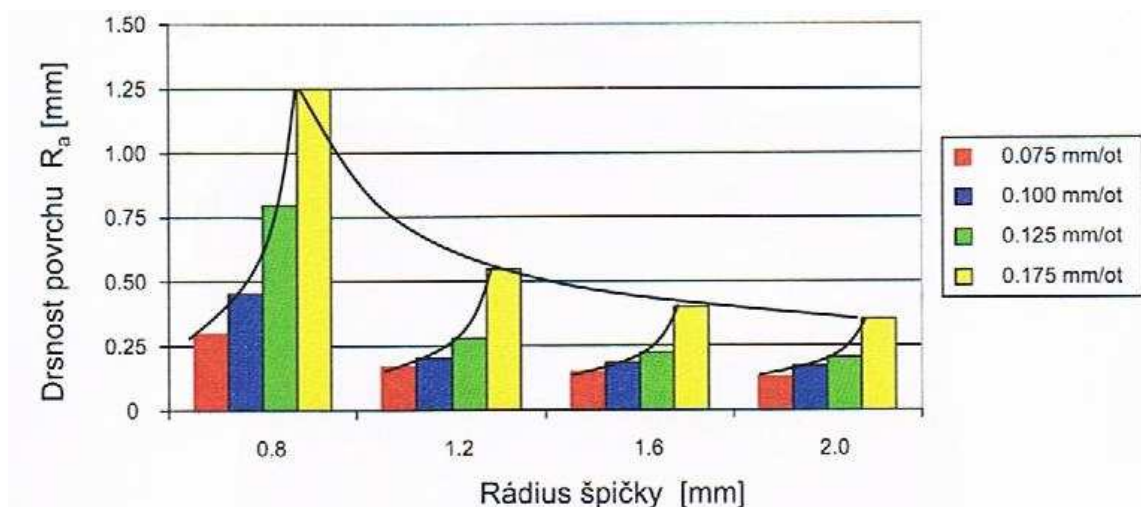


Obr. 18.1 Univerzální hrotový soustruh U50A – SP

PŘÍLOHA 11 - TEORIE PROFILU POVRCHU

Během obráběcího procesu vznikají v povrchové vrstvě a na povrchu změny, které mohou mít za následek změny tvrdosti, plastické deformace, zpevnění, zbytková napětí., strukturní změny apod.

Obecně platí, že se vzrůstající řeznou rychlostí klesá hodnota drsnosti a lze tak dosáhnout povrchu s lepší jakostí. Rozhodujícími faktory při hodnocení drsnosti povrchu při obrábění je poloměr špičky nástroje a velikost posuvu. Na obrázku 19.1 je uveden příklad závislosti radiu špičky na drsnosti povrchu R_a . Závislost je zobrazena pro případ obráběného materiálu siluminu 100Cr6 destičkou z materiálu CBN10 při $v_c=150$ m/min a $a_p=0,15$ mm.[12] [26]



Obr. 19.1 Ovlivnění drsnosti povrchu v závislosti na rádiu špičky[12]

Pro poloměr špičky nástroje $r_\epsilon > 0$ platí, že při dokončovacích procesech posuv na otáčku a šířka záběru nabývají poměrně nízkých hodnot. Povrch je tvořen reprodukcí obloukové části špičky nástroje bez záběru hlavního a vedlejšího ostří. Před samotným procesem obrábění lze určit teoretickou drsnost povrchu. Za podmínky realizace (19.1) lze určit teoretický výpočet pro hodnotu největší výšky profilu R_{zt} uvedenou ve vzorci 19.2. [29]

$$f \leq 2r_\epsilon \cdot \sin \kappa_r$$

(19.2)

$$R_{zt} = f(r_\epsilon, f) = \left(r_\epsilon - \sqrt{r_\epsilon^2 - 0,25f^2} \right) \cdot 10^3$$

Teoretickou hodnotu průměrné aritmetické úchyly profilu R_{at} ve vzorci 19.4 a 19.5 lze realizovat za podmínky pro minimální posuv (19.3). Teoretický povrch je vytvořen kruhovými oblouky o poloměru r_ϵ . Tětiva těchto oblouků je rovna hodnotě posuvu na otáčku. Při překročení uvedené hodnoty posuvu na otáčku bude teoretický povrch vytvářen i přímkovou částí ostří. [29]

(19.3)

$$f \leq 2r_\epsilon \cdot \sin \kappa_r'$$

(19.4)

$$\alpha_A = \arccos \left[\frac{r_\epsilon}{f} \left(\arcsin \frac{f}{2r_\epsilon} + \frac{f}{4r_\epsilon^2} \sqrt{4r_\epsilon^2 - f^2} \right) \right]$$

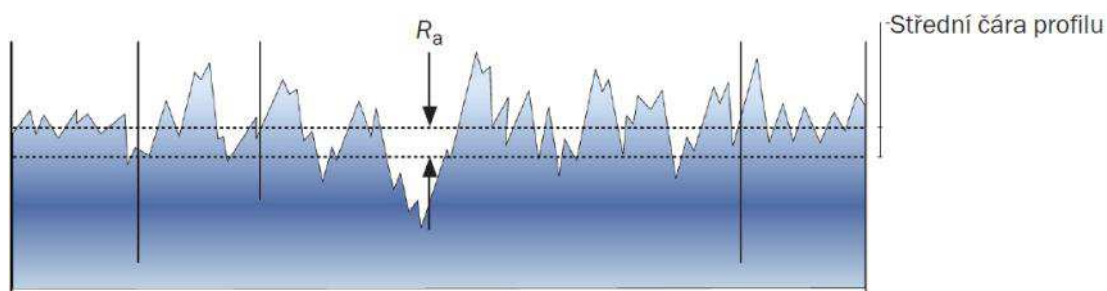
(19.5)

$$R_{at} = \frac{r_\varepsilon^2 (2\alpha_A - \sin 2\alpha_A)}{f} \cdot 10^3$$

Při podélném soustružení zapichovacím nožem probíhá úběr materiálu částečně odlišným způsobem. Nůž se při záběru do materiálu elasticky deformuje a díky tomu nevzniká povrch s kruhovými oblouky tento proces je označován jako deflexe. Deflexe je podrobněji rozebrána v části teorie zapichování – podélné soustružení.

Měření pojmy pomocí drsnoměru firmy Taylor Hobson

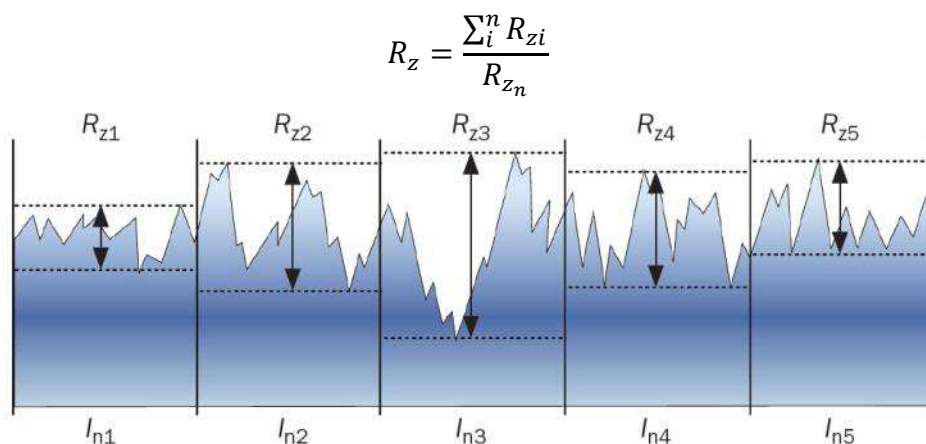
Střední hodnota všech odchylek od střední čáry profilu na vyhodnocované délce. Podle hodnocení profilem R_a nelze určit, zda odchylky mají charakter výstupků nebo prohlubní. Struktura povrchu se může jevit velmi odlišně, ale přesto může vykazovat stále stejnou hodnotu průměrné aritmetické hodnoty profilu. Hodnota R_a není významně ovlivňována ojedinělými odchylkami, díky tomu vzniká riziko zanedbání velkého výstupku nebo rýhy. [22][29]



Obr. 19.2 Průměrná aritmetická úchylka profilu [22]

Maximální výška profilu (průměrná) R_z

Největší výška profilu je průměrnou hodnotou jednotlivých výšek profilu R_{zi} , stanovených z největší výšky výstupku a největší hloubky prohlubně profilu na základních délkách, ze kterých se skládá vyhodnocovaná délka. Hodnota R_z na základní délce, která udává největší úchylku, se označuje R_{zmax} nebo R_{max} . [22][29] (19.6)



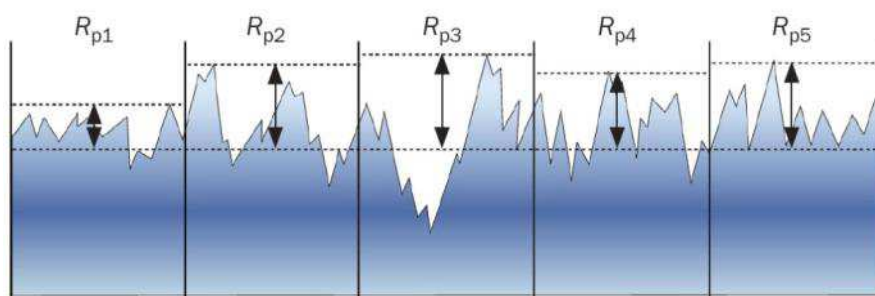
Obr. 19.3 Maximální výška profilu [22]

Maximální výška výstupku profilu R_p

R_p je střední hodnota jednotlivých největších výšek výstupků profilu, stanovených pro jednotlivé základní délky. Parametr jakosti povrchu, R_p , spolu R_z , lze použít pro stanovení údajů o vlastnostech povrchu.[22][29]

(19.7)

$$R_p = \frac{\sum_i^n R_{pi}}{R_{pn}}$$



Obr. 19.4 Maximální výška výstupku profilu [22]

Maximální hloubka výstupku profilu R_v

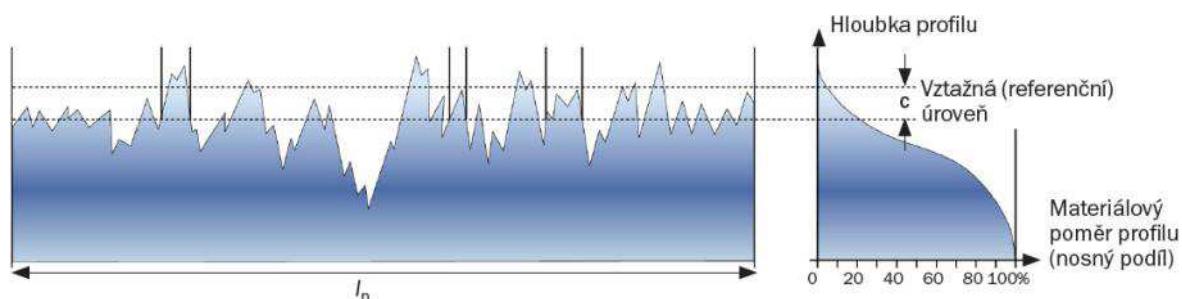
R_v je střední hodnota jednotlivých největších hloubek výstupků profilu, stanovených pro jednotlivé základní délky. R_v je stejného principu jako R_p pouze se zaměřením na spodní část profilu.

(19.8)

$$R_v = \frac{\sum_i^n R_{vi}}{R_{vn}}$$

Materiálový poměr profilu R_{mr} – nosná křivka

Patří mezi nejvhodnější metody pro určení „míry odolnosti proti opotřebení“ u dané součásti je stanovení příslušného materiálového poměru profilu jejího povrchu. Vyhodnocení se provádí jednoduchou metodou, která umožňuje posoudit stupeň povrchových vad.

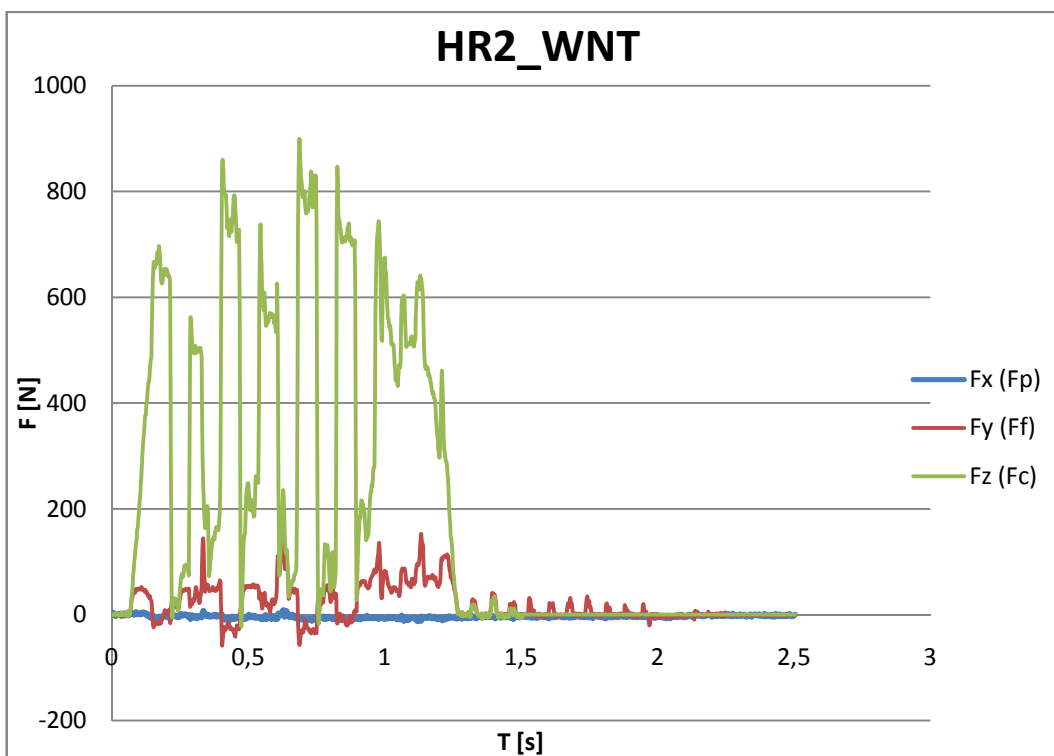
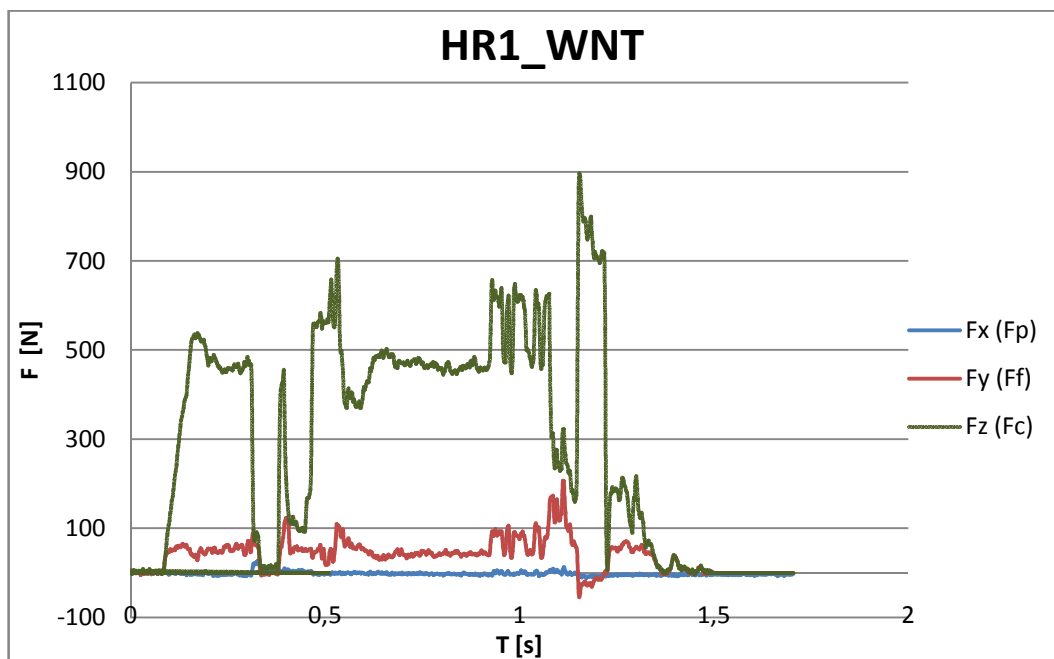


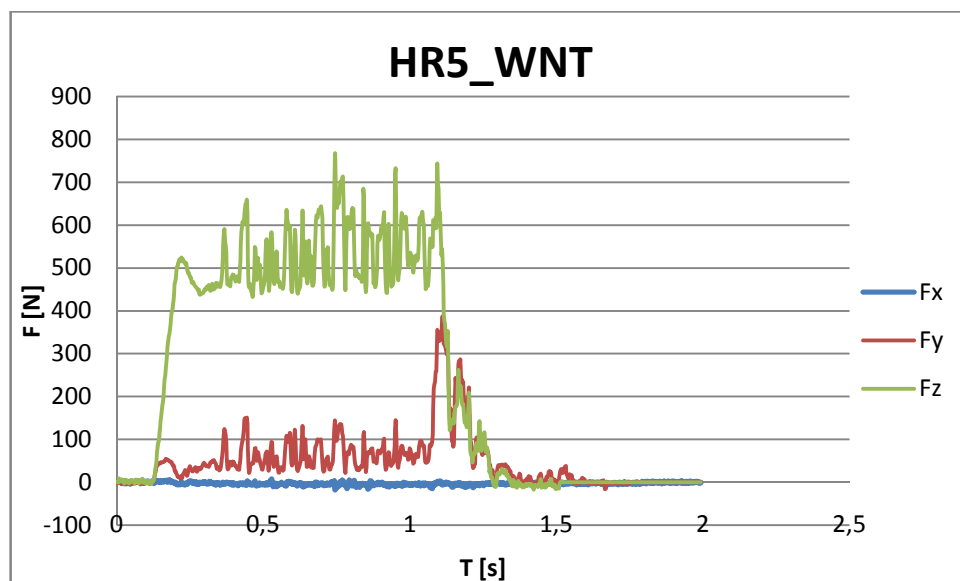
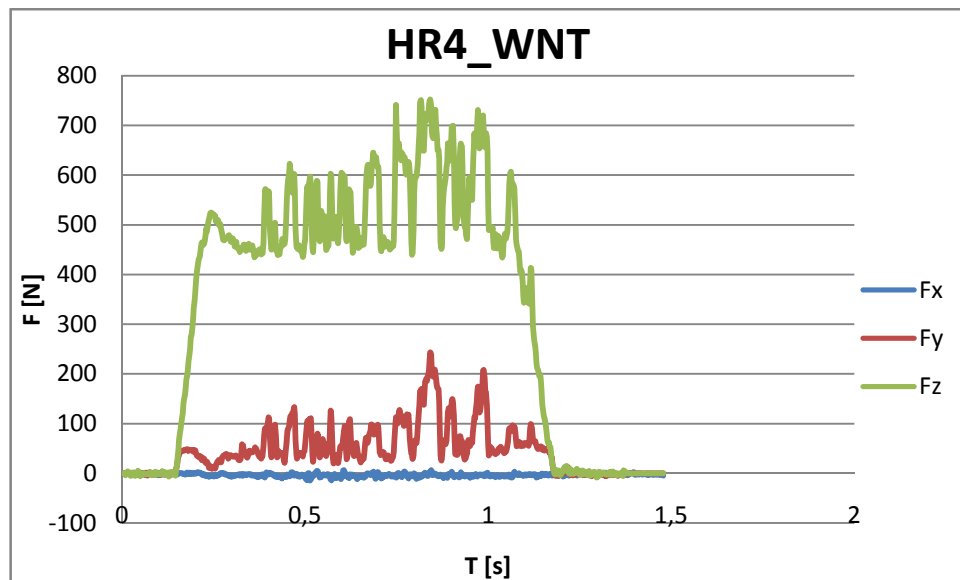
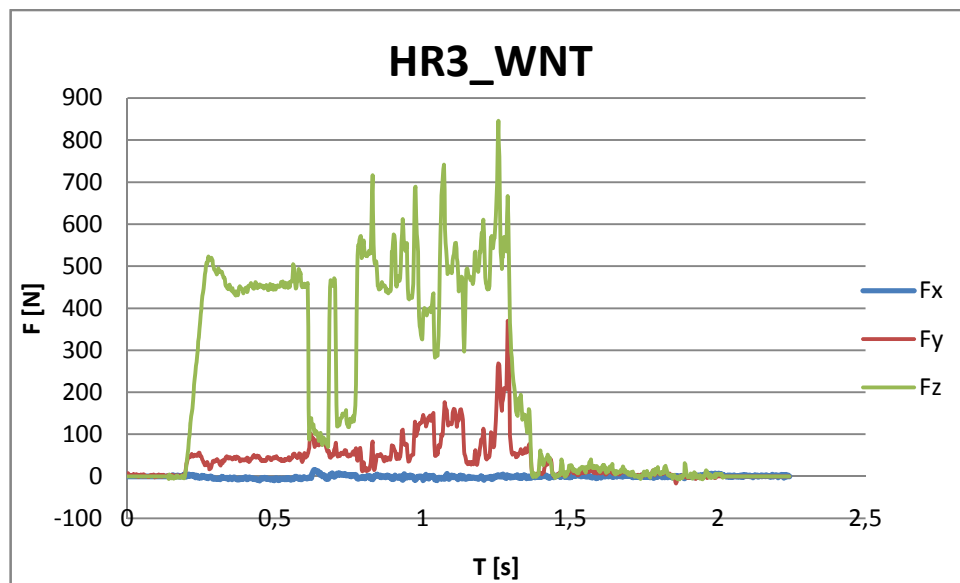
Obr. 19.5 materiálový poměr profilu [22]

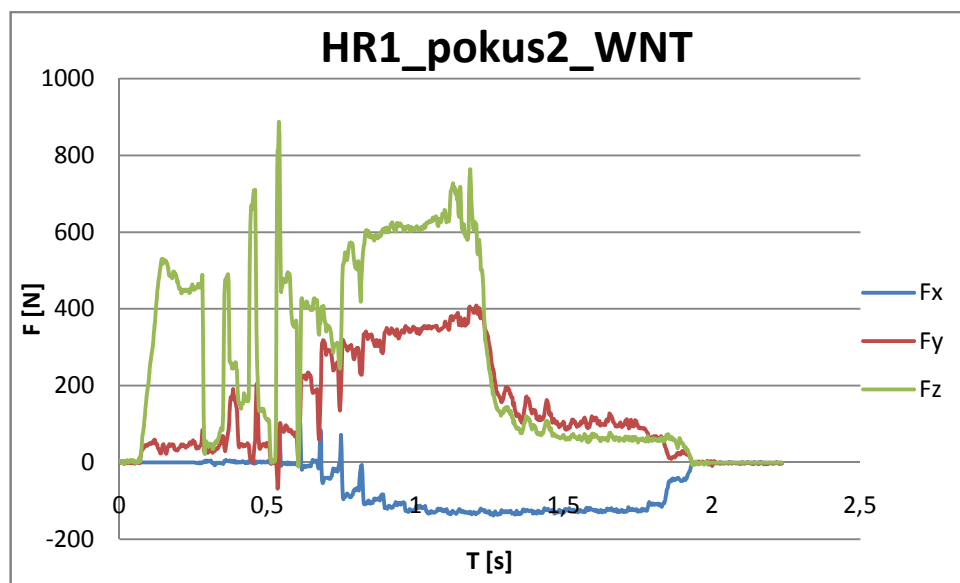
PŘÍLOHA 12

GRAFY SIL HR_WNT

Ve všech grafech je uvedena závislost síly na čase.







Graf HR1_pokus2_WNT byl přidán pro ukázkou, jak se projevuje křehký lom na síly nástroje. Především změna geometrie na vznik pasivní složku síly Fx. Křehký lom nastal za stejných podmínek, $f=0,18$ mm, otáček $n=905 \text{ min}^{-1} \pm 2\%$ a hloubce 2,5 mm, jako při hrubování u experimentu. Deformace nastala z důvodu velmi pozitivního břitu nástroje za nestabilních podmínek stroje. V příloze č. 19 je fotodokumentace křehkého lomu na nástroji, s kterým deformace nastala.

5 měření celkem 2341 hodnot

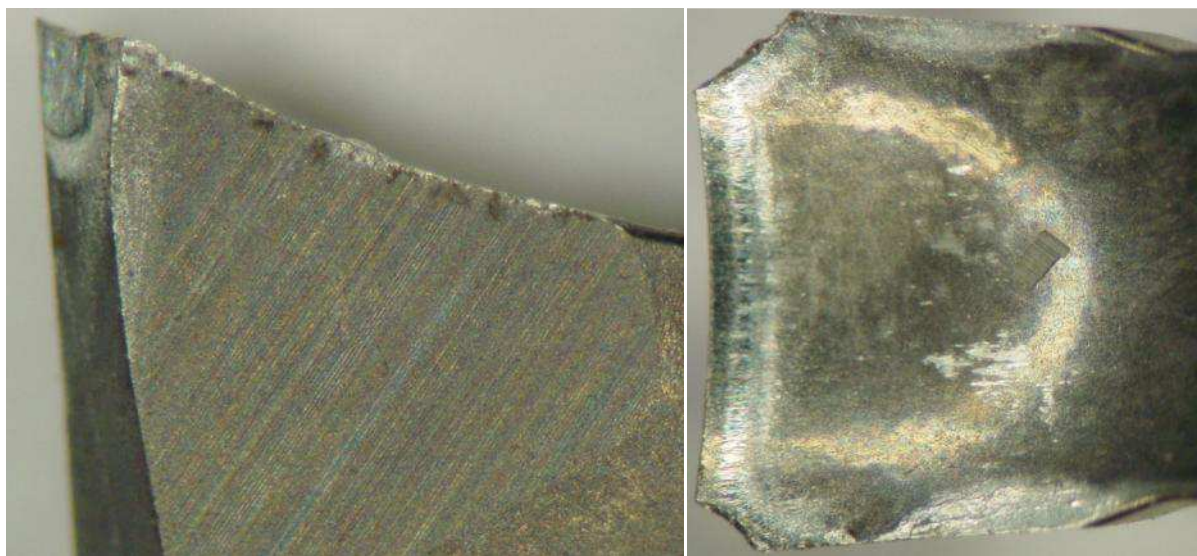
VBD WNT	střední hodnota	chyba střední hodnoty	Medián	modus	směrodatná odchylka	MIN	MAX
x	-3,10853	0,083061	-3,66211	-1,06812	4,018815	-16,9543	27,5496
y	55,87744	0,839216	47,8831	66,937	40,60451	-58,3158	281,529
z	466,7689	3,547107	475,919	520,271	171,6228	-22,6992	899,544

2 měření (pouze HR4 a HR5) celkem hodnot 951

VBD WNT	střední hodnota	chyba střední hodnoty	Medián	modus	směrodatná odchylka	MIN	MAX
x	-3,86983	0,102506	-4,04807	#N/A	3,161116	-16,9543	6,58538
y	69,03569	1,690975	53,0901	66,937	52,14679	9,0958	387,907
z	511,4079	3,534688	493,638	465,303	109,0037	32,0114	767,828

PŘÍLOHA 13

KŘEHKÝ LOM VBD HR1_pokus2_WNT



Obr. 21.1 Opotřebení vedlejšího a hlavního hřbetu

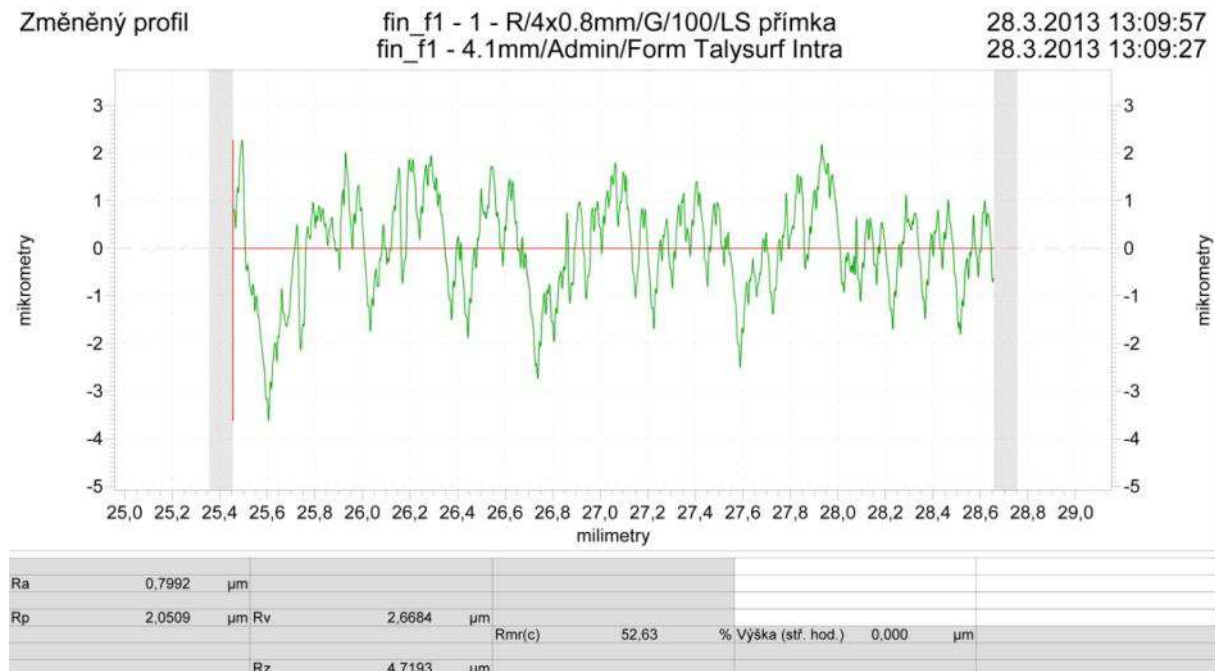


Obr. 21.2 Opotřebení na čele

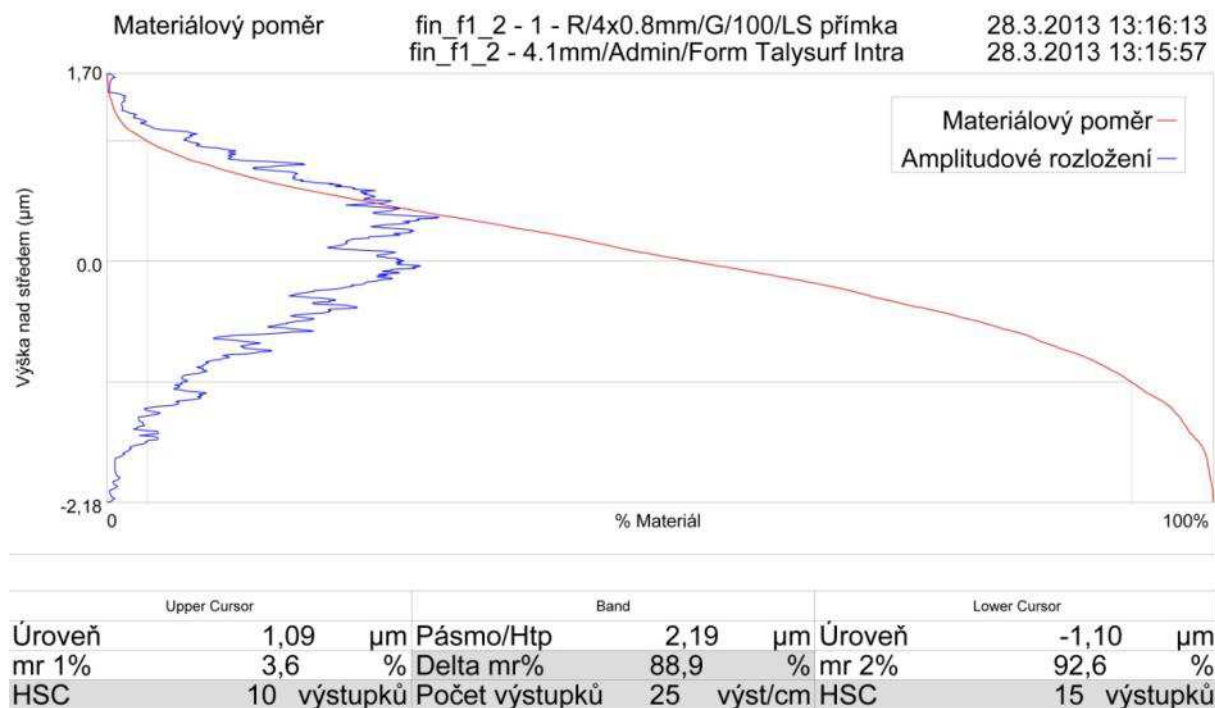
Křehký lom nastal při hrubování, tzn. při záběru celou šířkou nástroje (3,1 mm) za podmínek $f_n=0,18$ mm, otáčkách $n=905 \text{ min}^{-1} \pm 2\%$ a hloubce 2,5 mm. Deformace nastala z důvodu velmi pozitivního břitu nástroje za nestabilních podmínek stroje. Na konci přílohy č. 17 je zobrazen graf změny sil na čase při deformaci křehkým lomem.

PŘÍLOHA 14 - JEDNOTLIVÉ NAMĚŘENÉ PROFILY POVRCHU PRO NÁSTROJE FIRMY PRAMET

Profil povrchu PS DOK pro F1

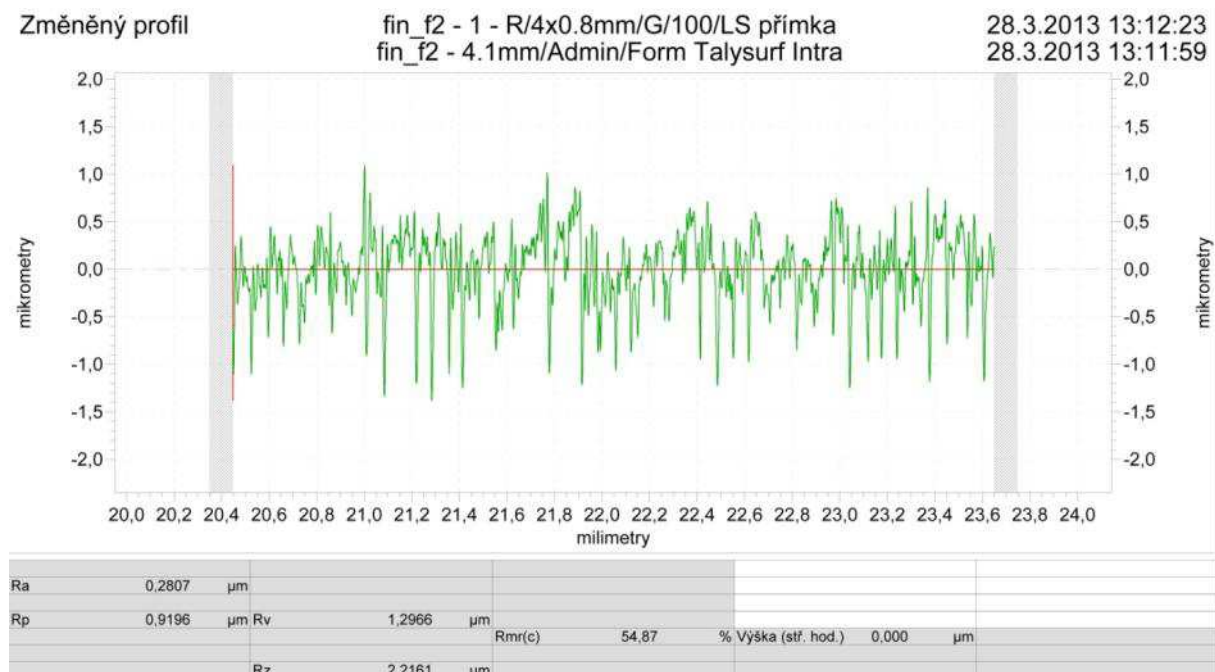


Obr. 22.1 Profil měřeného povrchu PS DOK F1

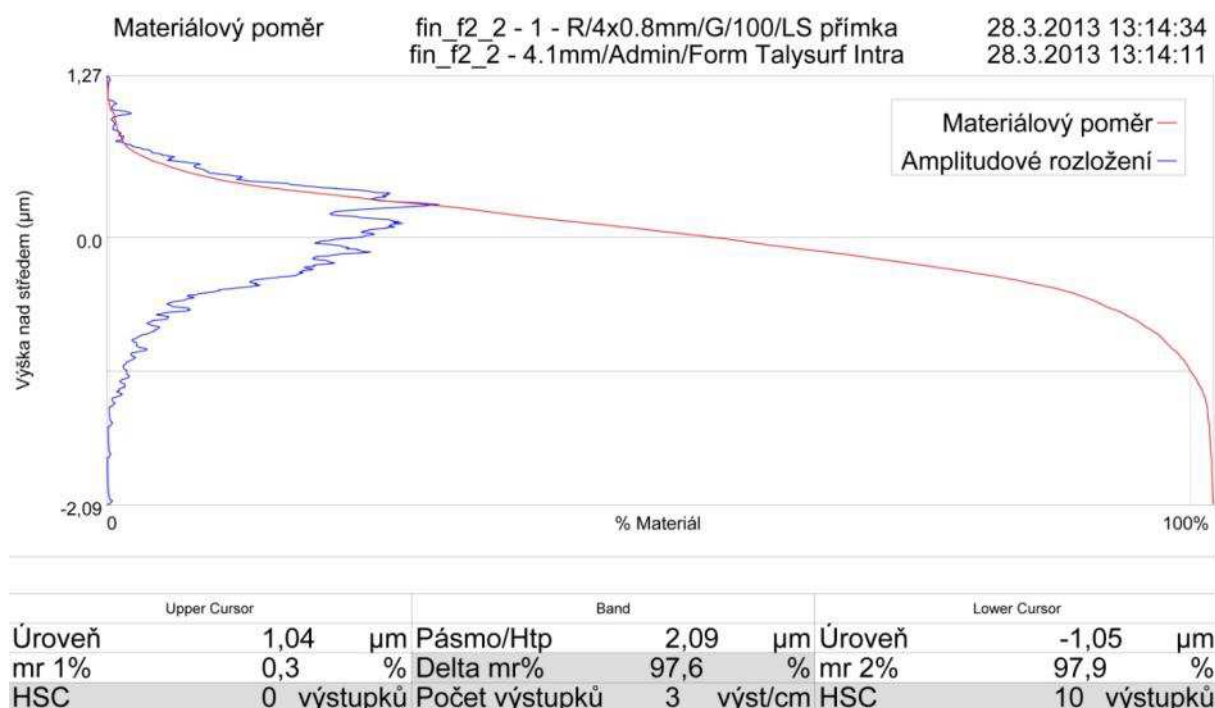


Obr. 22.2 Materiálový poměr, křivka hustoty pravděpodobnosti a nosná křivka pro F1

Profil povrchu PS DOK pro F2

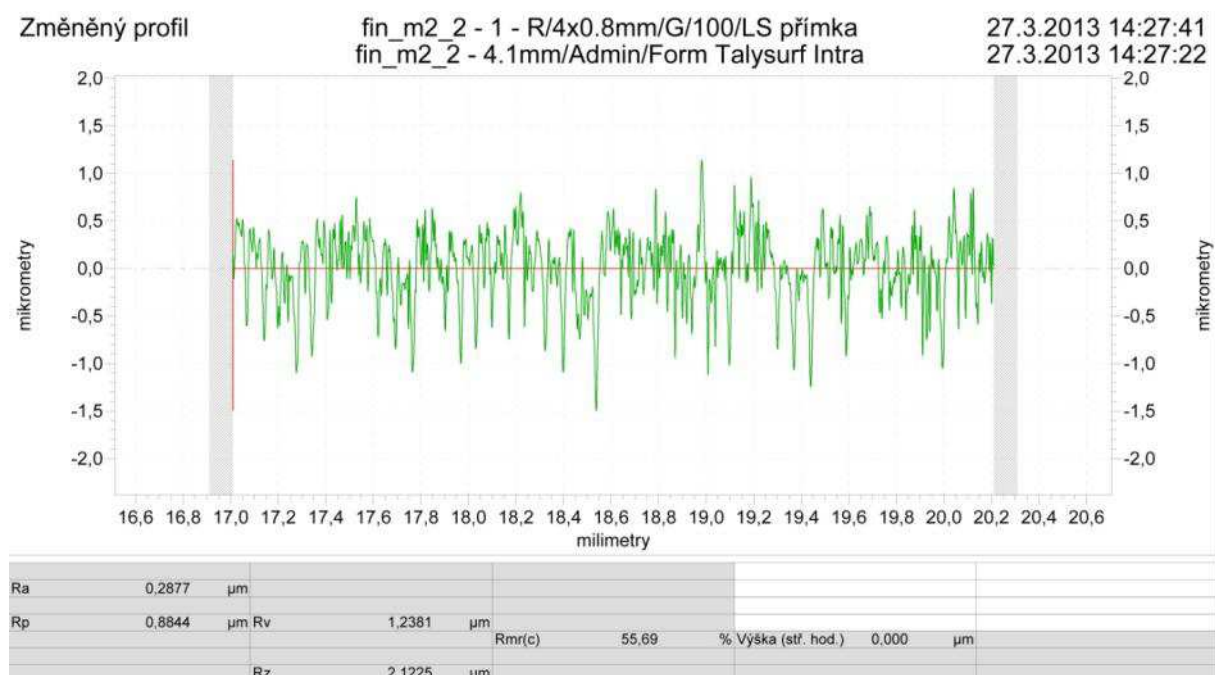


Obr. 22.3 Profil měřeného povrchu PS DOK F2

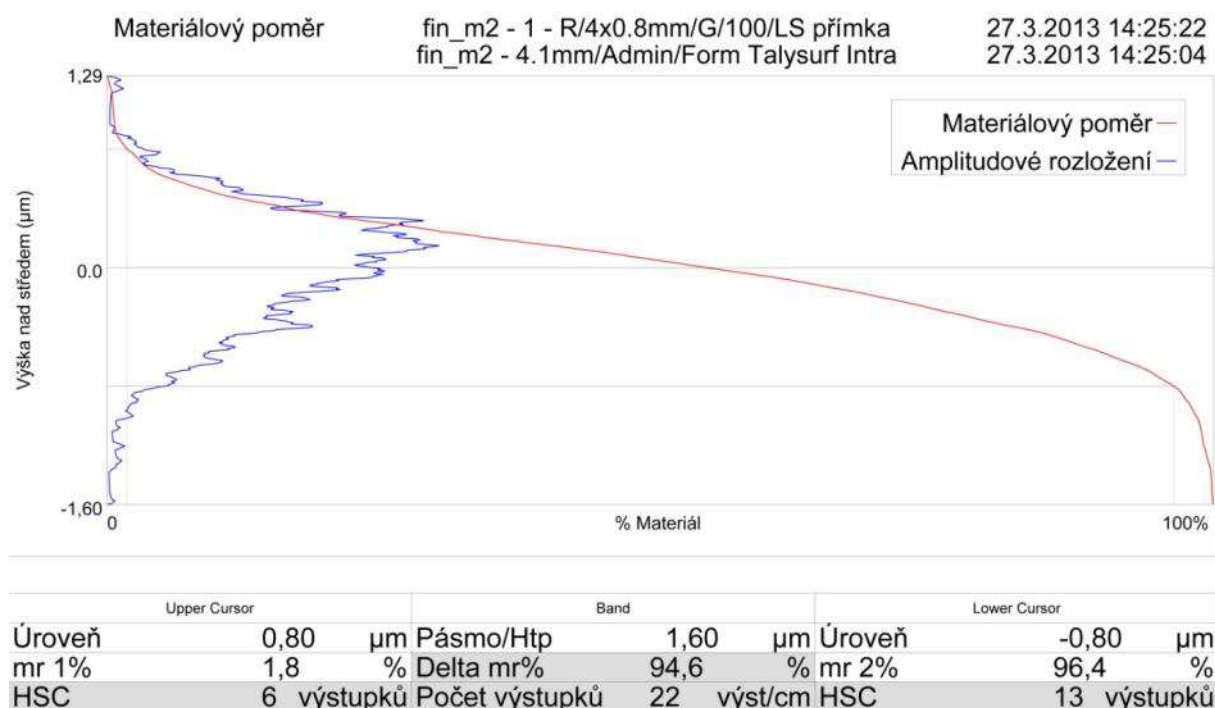


Obr. 22.4 Materiálový poměr, křivka hustoty pravděpodobnosti a nosná křivka pro F2

Profil povrchu PS DOK pro M2



Obr. 22.5 Profil měřeného povrchu PS DOK M2



Obr. 22.6 Materiálový poměr, křivka hustoty pravděpodobnosti a nosná křivka pro M2

PŘÍLOHA 17 - TECHNICKÉ ÚDAJE MORI SEIKI NTX 2000



Obr. 25.1 Soustružnicko-frézovací centrum NTX 2000 [30]

Tab. 25.1 Technické údaje [30]:

Mori Seiki NTX 2000		
řídící systém		MAPPS IV – F3liB5
hlavní vřeteno	otáčky	5000 min ⁻¹
	výkon	22/18,5 kW
proti-vřeteno	otáčky	5000 min ⁻¹
	výkon	22/18,5 kW
nástrojové vřeteno 1	otáčky	12000 min ⁻¹
	výkon	18,5/11 kW
zásobník		38 pozic (řetězový typ)
pojezdy	X1	495 mm
	Y1	±125 mm
	Z1	1560 mm
	B	±120°
nástrojové vřeteno 2	otáčky	6000 min ⁻¹
	výkon	1,5/1,2 kW
zásobník		10 pozic
pojezdy	X2	160 mm
	Z2	1402 mm
výška stroje		2626 mm
půdorys stroje		4076 x 2980 mm
hmotnost stroje		15560 kg

PŘÍLOHA 18 - TABULKA NÁSTROJŮ FIRMY WALTER

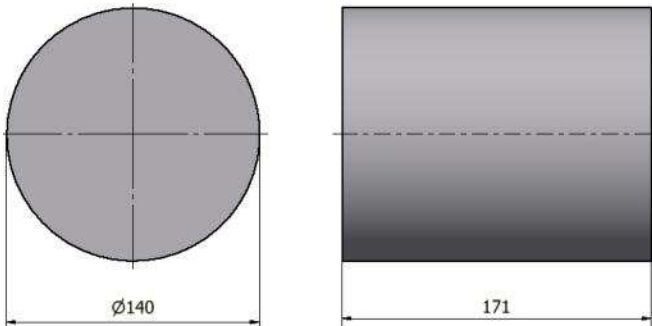
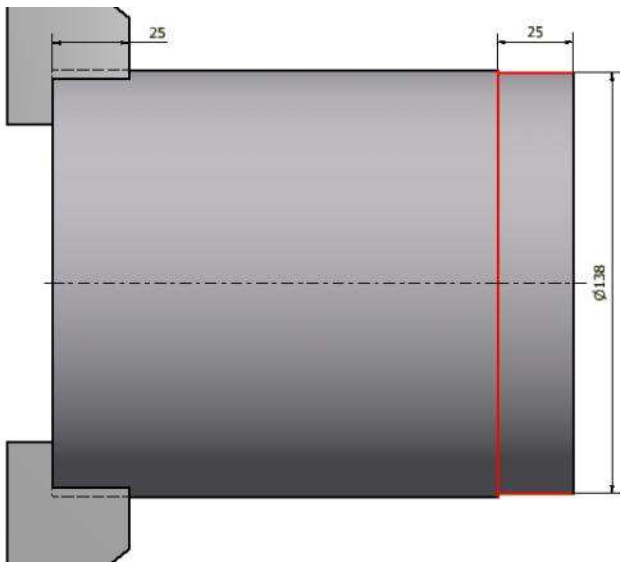
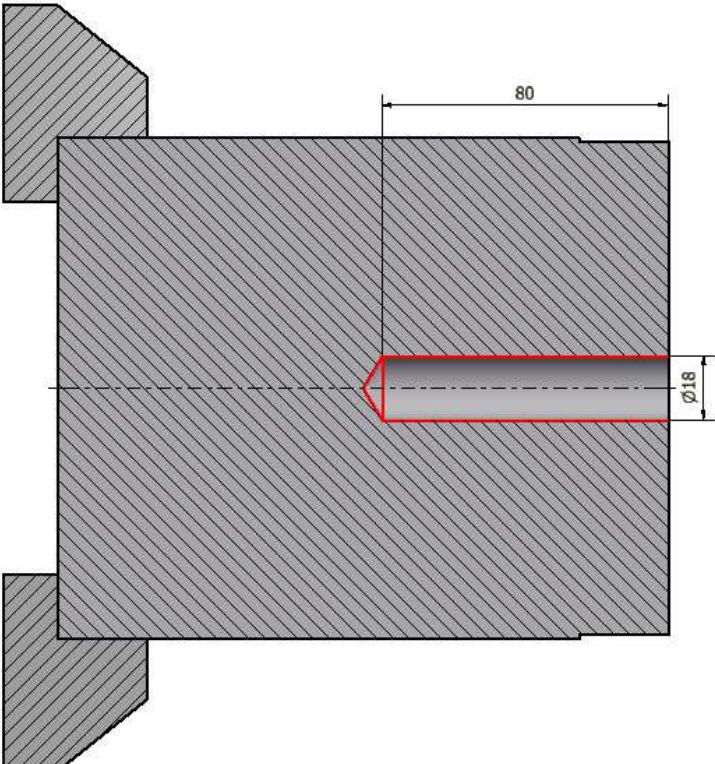
Název:	Označení nástroje:	Počet VBD:	Průměr/šířka:	Typ držáku a doplněk:	typ VBD/ alternativa:	Materiál VBD/ alternativa:	Výrobce držáku:	Výrobce VBD:
Nůž hrubovací	N1	1		C6-SCLCR-45065-12, prodloužení C6-391-63 060	CCGT120408-PM2 CCMT120408	WXN10 WCD10	WALTER	WALTER
Nůž dokončovací	N5	1		SCLCR2525M12	CCGT120404-PF2 CCMT120404 WIPER	WXN10 WCD10	WALTER	WALTER
Vrták (korunka)	N9	1	18	B4015.F20.18,0.Z02.90R upínač C6-391.27-20 070	P6004-18,00R	WNN25	WALTER	WALTER
Tvarový vrták	N13	4		B2074.F32.31.Z01.145R upínač C6-391.27-32 075	P28469-5	WK40	WALTER	WALTER
Zapichovací nůž hrubovací	N17	1	3	D65PK.C6.G1011.3T22GX24 prodloužení C6-391.01-63 060	GX24-2E300N020- CF5	WSM33	WALTER	WALTER
Zapichovací nůž hrubovací	N20	1	3	G1011.2525R-3T21GX24	GX24-2E300N020- CF5	WSM33	WALTER	WALTER
Zapichovací nůž hrubovací	N23	1	4	D65PK.C600R-GX24-T45 prodloužení C6-391.01-63 060	GX24-3E400N020- CF5	WSM33	WALTER	WALTER
Zapichovací nůž hrubovací	N26	1	4	D54PK-2525R-GX24-T45	GX24-3E400N020- CF5	WSM33	WALTER	WALTER
Zapichovací nůž DOK	N29	1	3	D65PK.C6.G1011.3T22GX24 prodloužení C6-391.01-63 060	GX24-2E300N030 LASERED CHIPBR. FX3.1 N0.15.27P	WCD10 TiN+PLC	WALTER	WALTER WNT
Zapichovací nůž DOK	N32	1	4	D65PK.C600R-GX24-T45 prodloužení C6-391.01-63 060	GX24-3F400N030 LASERED CHIPBR. LFMX 4.1-0.2EN-F1	WCD10 8030	WALTER	WALTER PRAMET
Vrták (korunka)	N35	1	18	B4017.F20.18,0.Z02.126R upínač C6-391.27-20 070	P6004-D18,00R	WNN25	WALTER	WALTER
Tvarový vrták	N39	8	20	B1154.Z20.20.Z04.110. C6-391.19-20 085	speciál	WCD10	WALTER	WALTER

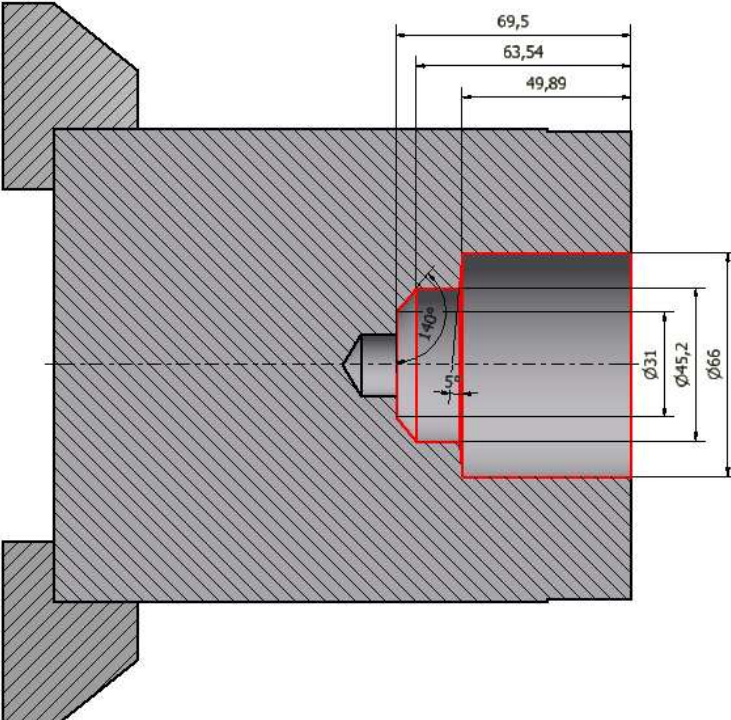
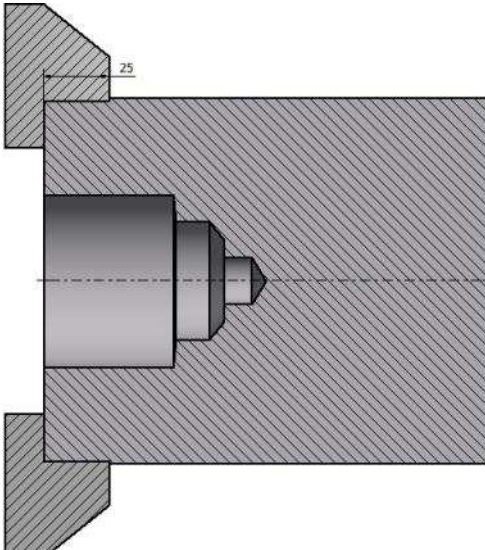
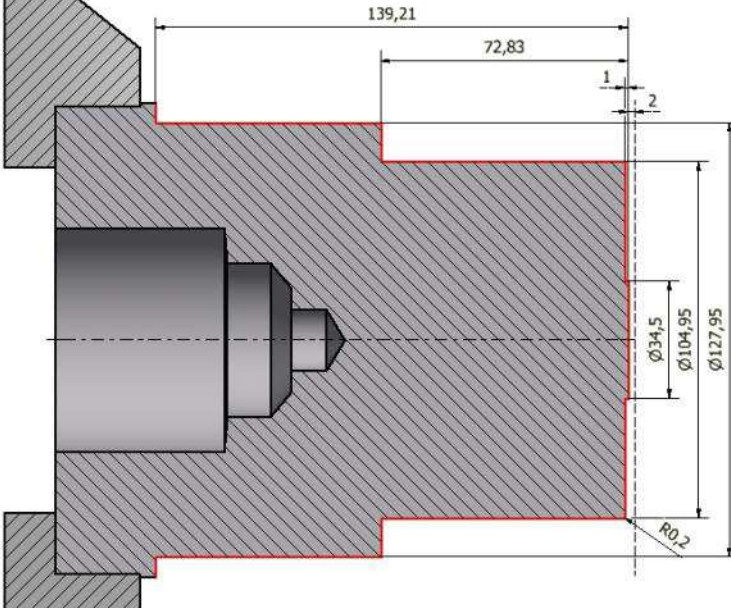
Název:	Označení nástroje:	Počet VBD:	Průměr/šířka:	Typ držáku a doplněk:	typ VBD/ alternativa:	Materiál VBD/ alternativa:	Výrobce držáku:	Výrobce VBD:
Tvarový vrták	N42	8	18,98	B1154.Z25.18,98.Z4+4.167. C6-391.19-25.090	speciál	WCD10	WALTER	WALTER
Nůž dokončovací (pravý)	N44	1		C6-SVQBR-22120-16 C6-391.01-63 060	VCMT160404-PF2 VCMT160404	WXN10 WCD10	WALTER	WALTER
Nůž dokončovací (levý)	N48	1		C6-SVQBL-22120-16 C6-391.01-63 060	VCMT160404-PM2 VCMT160404	WXN10 WCD10	WALTER	WALTER
Monolit vrták	N52	-	2,8	C6-391.14-25 060 kleštiny C330.16.030	A1263-2.8	SK	WALTER	WALTER
Pěchovací závitník	N56	-	M3,088	C6-391.14-25 060 kleštiny C330.16.040	2B1121P M3-6HX 100/11/3.5/4	HSS	WALTER	WALTER
Popisovací nástroj	N60	-	4mm	COLLET 4MMER4	TDS014741	-	WNT	JAYESS TOOLS

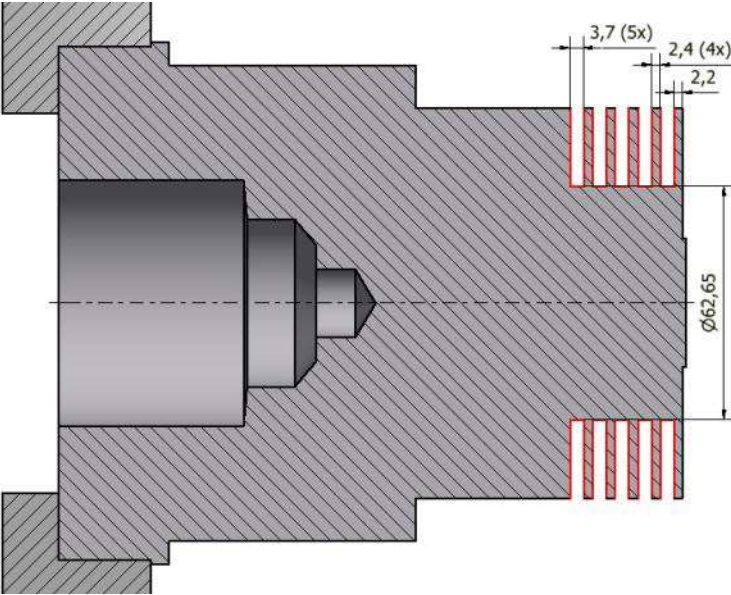
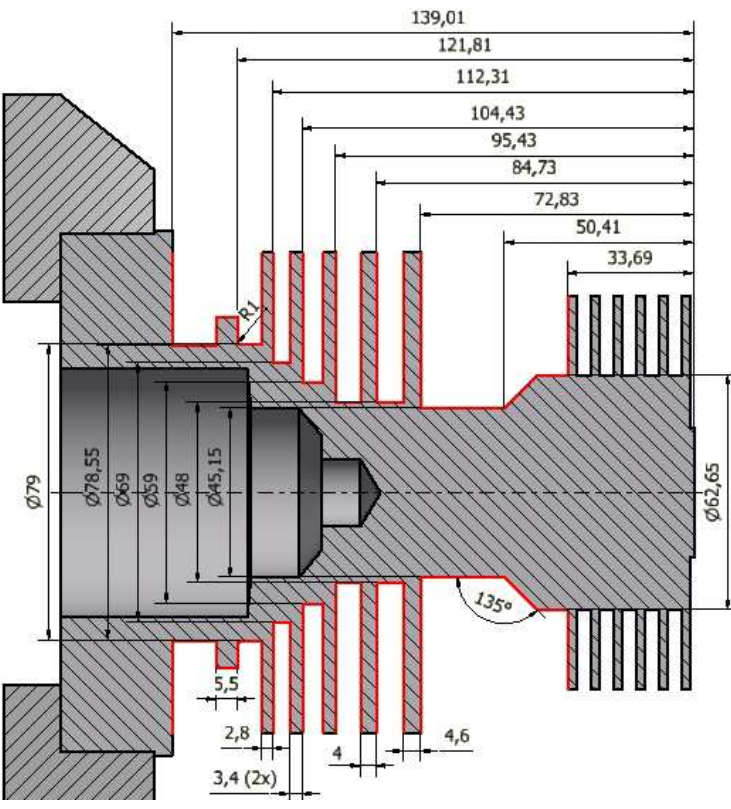
Poznámka: Popis zkratk materiálu je k naleznutí příloze č. 16

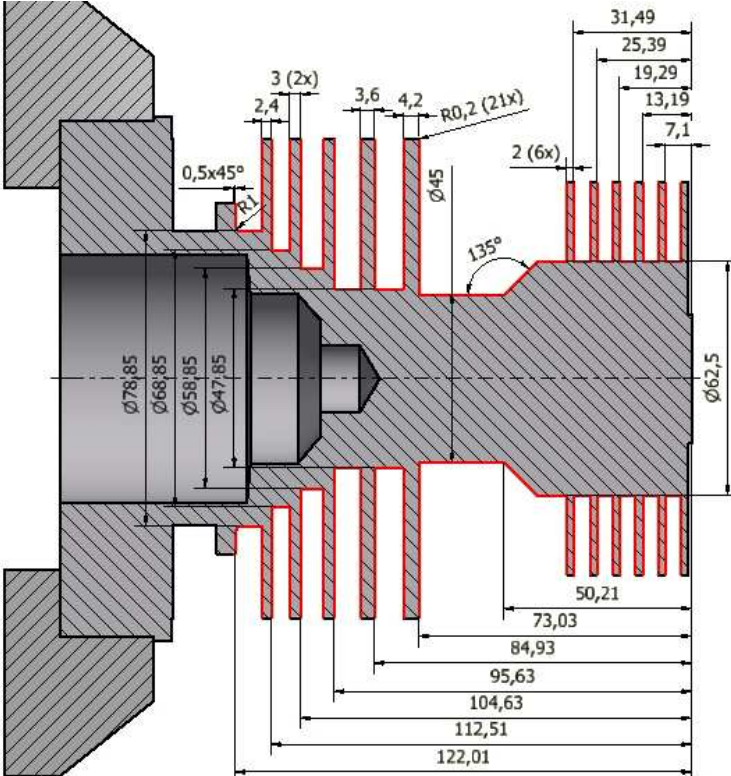
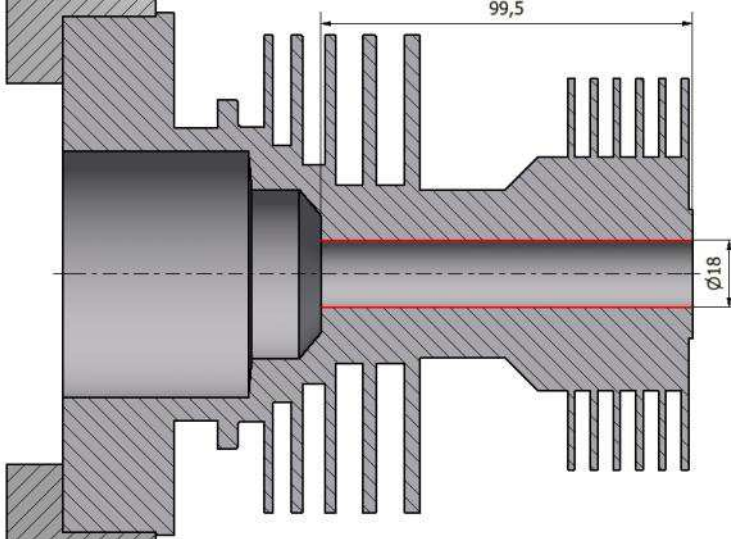
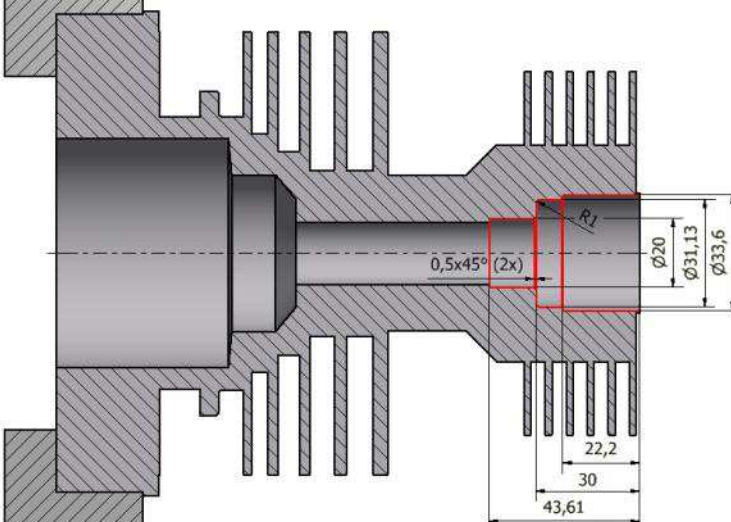
PŘÍLOHA 19

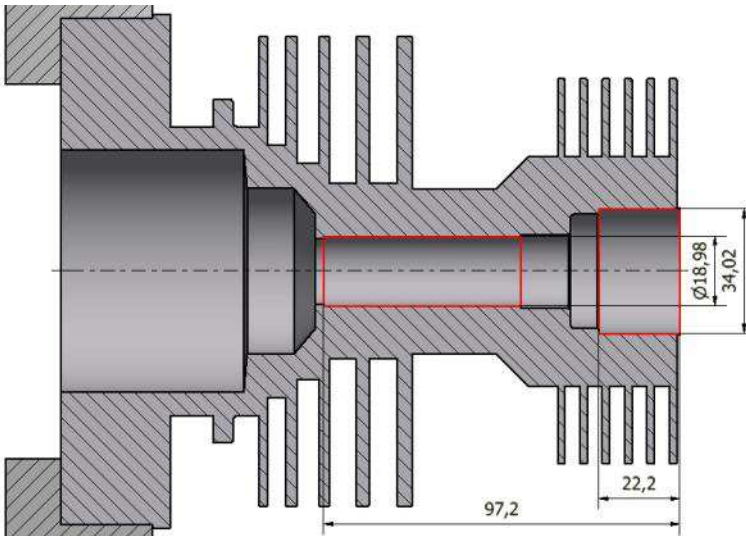
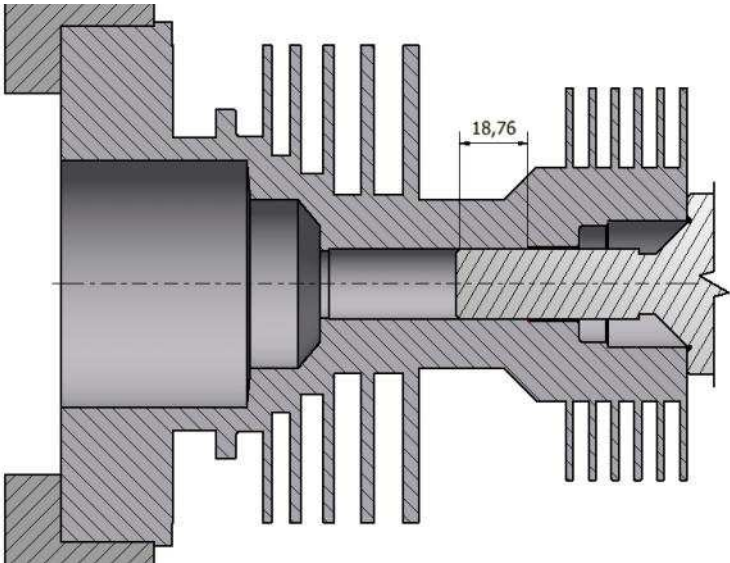
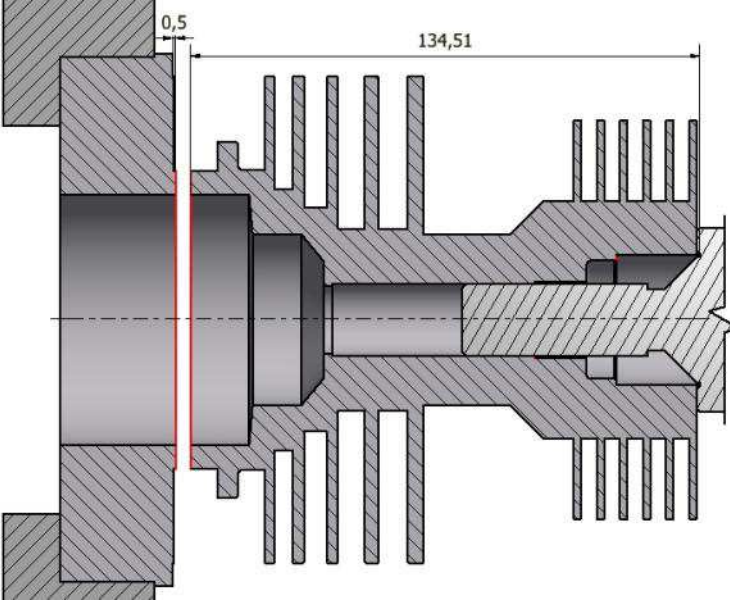
TECHNOLOGICKÝ POSTUP WALTER

číslo upnutí	popis práce	obrázek	nástroj + řezné podmínky
0.	Nařezaný surový kus po lisování z tavby $\varnothing 140$ - L171		
1.	Upnout na doraz, za $\varnothing 140$ -L25.		
1.1	Soustružit odsazení $\varnothing 138$ -L25.		Hrubovací nůž N1 a N5 G50 n 800 G96 v _c 300 posuv na délce f _n 0,5
1.2	Vrtat $\varnothing 18$ - L80.		Vrták N9 $\varnothing 18$ mm s korunkou. n 2500 posuv na délce f _n 0,2

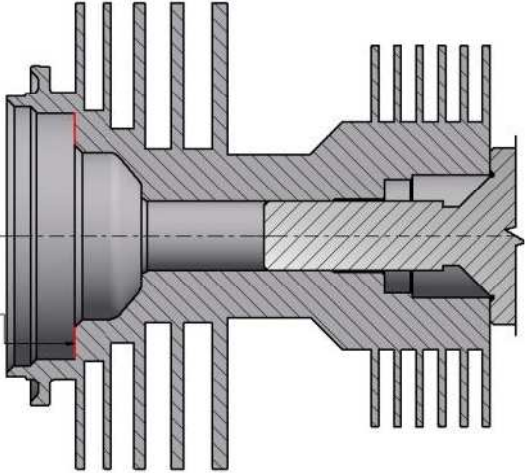
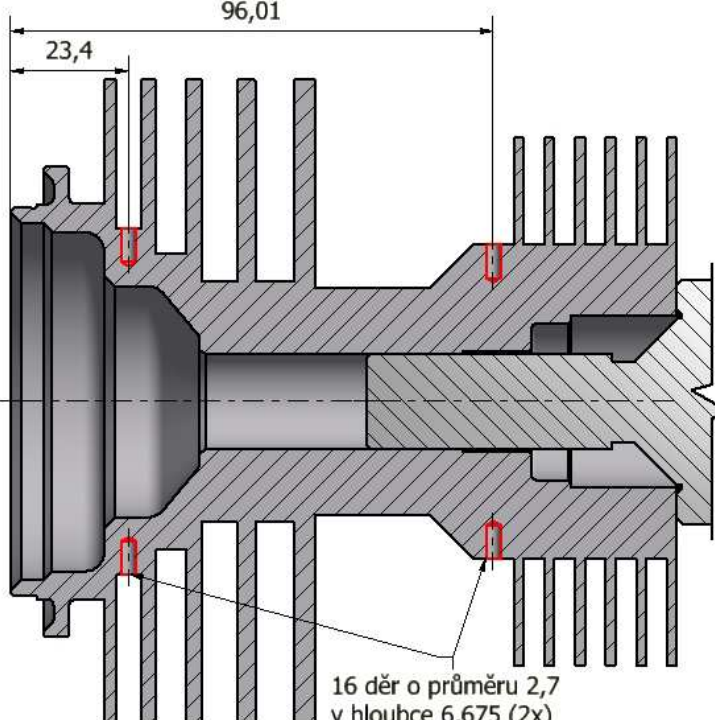
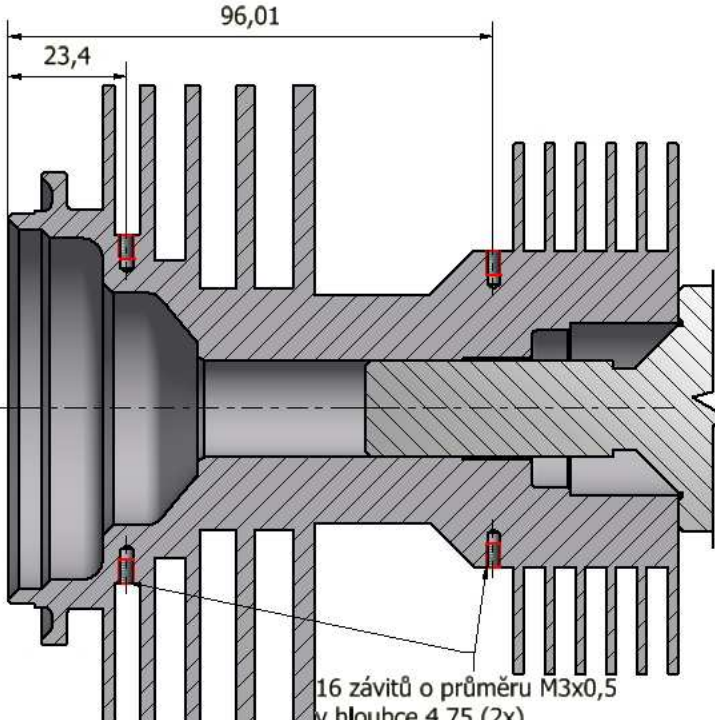
1.3	Vrtat do hloubky $\varnothing 31$-L69,5 s předhrubováním děr $\varnothing 45,2$-L63,54 s úhlem 140°; $\varnothing 66$-L49,89 s úhlem 5°; na jeden záběr.		speciální sdružený vrták N13 se 4VBD v_c 220 n 1440 posuv na délce f_n 0,22
2.	Otočit součást a upnout $\varnothing 138$-L25.		
2.1	Zarovnat čelo L-2; odsazení $\varnothing 34,5$-L1 s R0,2 na $\varnothing 104,95$-L72,83; $\varnothing 127,95$-L139,21.		Hrubovací nůž N1 a N5 G50 n 2500 G96 v_c 300 posuv na čele f_n 0,3 posuv na délce f_n 0,5

2.2	Hrubování vnějších rozměrů. Zápich $\phi 62,65$-L3,2-tl.3,7; $\phi 62,65$-L9,3-tl.3,7; $\phi 62,65$-L15,4-tl.3,7; $\phi 62,65$-L21,5-tl.3,7; $\phi 62,65$-L27,6-tl.3,7.		zapichovací nože N17 a N20 šířky (3 mm) G50 n 2500 G96 v_c 300 posuv na délce f_n 0,2
2.3	Hrubování vnějších rozměrů. Zápich od $\phi 62,65$-L33,69; s návazností na úhel 135°-L50,41; do $\phi 45,15$-L72,83. Zápich $\phi 48$-L84,73-tl.7,3; $\phi 48$-L95,43-tl.6,7; $\phi 59$-L104,43-tl.5,6; $\phi 69$-L112,31-tl.4,48. Zápich $\phi 79$-L121,81-tl.6,7; s R1 na dně $\phi 93,605$-L127,31- tl.5,5; $\phi 78,55$-L139,01- tl.11,7.		zapichovací nože N23 a N26 šířky (4 mm) G50 n 2500 G96 v_c 330 posuv na délce f_n 0,22

2.4	Dokončení vnějších rozměrů. Zápich $\phi 62,5$ v délkách L7,1;L13,2;L19,29; L25,39;L31,49; od $\phi 62,5$-L33,49 s návazností na úhel 135°-L50,21 do $\phi 45$-L73,03. Zápich $\phi 47,85$-L84,93-tl.7,7 $\phi 47,85$-L95,63-tl.7,1 $\phi 58,85$-L104,93-tl.6 $\phi 68,85$-L112,51-tl.5,48 sražení $0,5 \times 45^\circ$-L122,51 s návazností $\phi 78,85$-L122,01-tl.7,1 a R1.		zapichovací nože N29(3 mm) a N32(4 mm) <u>Dokončení</u> G50 n 2500 G96 v_c 400 posuv na čele f_n 0,15 posuv na délce f_n 0,075 posuv na rádius f_n 0,07
2.5	Vrtat $\phi 18$ -L99,7.		Vrták N35 $\phi 18$ mm s korunkou. n 2500 posuv na délce f_n 0,2
2.6	Na jeden záběr hrubovat $\phi 33,6$-L22,2, $\phi 31,13$-L30 s návazností R1,se sražením $0,5 \times 45^\circ$ $\phi 20$-L43,61 se sražením $0,5 \times 45^\circ$.		Speciální tvarový nástroj N39 n 2000 posuv na délce f_n 0,25

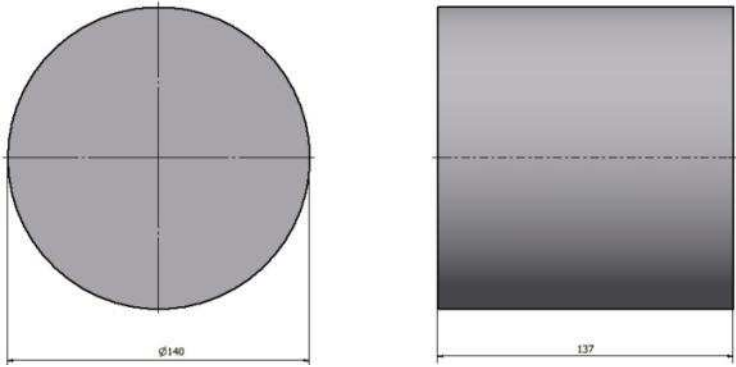
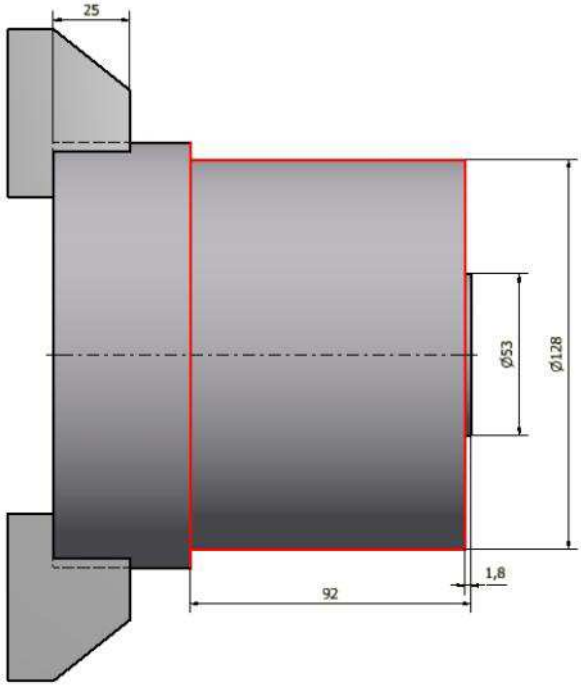
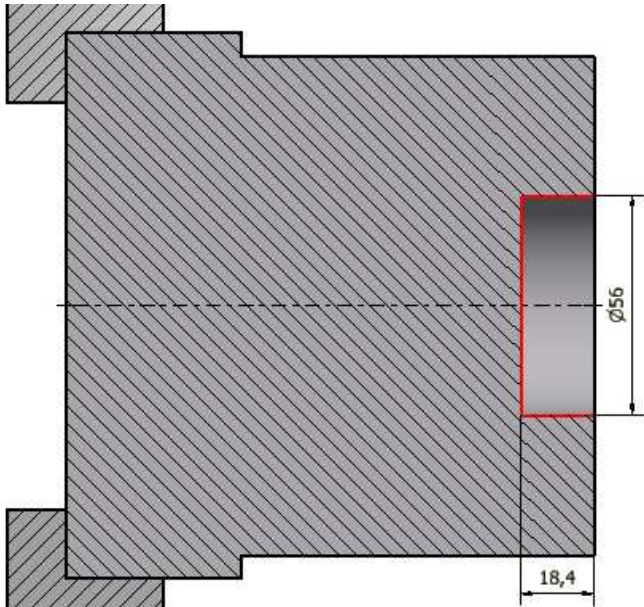
2.7	Dokončit vnitřní rozměry $\phi 34,02$-L22,2, $\phi 18,98$-L97,2.		Speciální tvarový nástroj N42 n 2000 posuv na délce $f_n 0,2$
3.0	Přijet s proti- vřetenem a přichytit na hydraulický rozpínací trn. Délka upnutí 18,76 mm.		Rozpínací trn.
3.1	Upíchnout součást L134,51.		upichovací nůž T23 (4 mm) n 2000 posuv na čele $f_n 0,2$

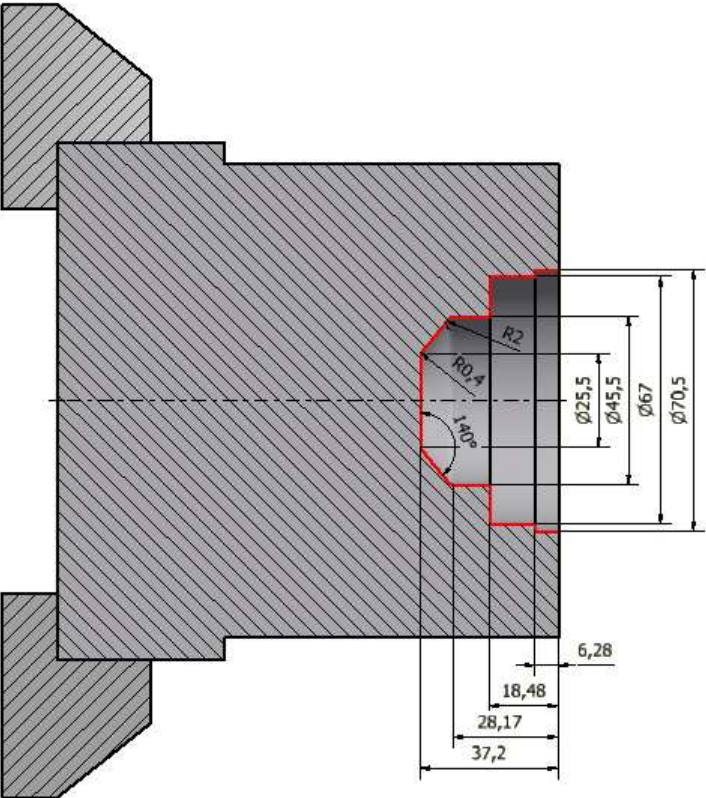
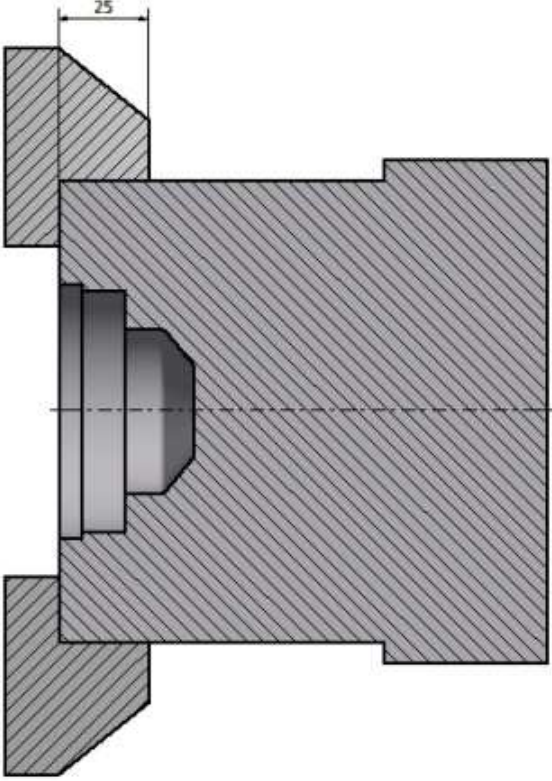
3.2	Hrubovat čelo $\phi 77,07$-L1 hrubovat vnější rozměry $\phi 77,07$-L5,1 se sražením $0,5 \times 45^\circ$; $\phi 78,4$-L6,4 se sražením $0,5 \times 45^\circ$, $\phi 93,46$-L11,6.		Hrubovací nůž N1 a N5 G50 n 1500 G96 v_c 250 posuv na čele f_n 0,1 posuv na délce f_n 0,2
3.3	Dokončit vnitřní tvar. srazit $2 \times 45^\circ$ $\phi 71$-L6,4 srazit na konci $1,75 \times 45^\circ$; $\phi 67,5$-L18,6 s R4 na konci srazit $2 \times 45^\circ$, $\phi 46$ s R4 a návazností 140° na $\phi 26$-L37,3 srazit na konci $1,5 \times 30^\circ$.		vnitřní dokončovací nůž N48 G50 n 2500 G96 v_c 300 posuv na čele f_n 0,1 posuv na délce f_n 0,2
3.4	Dokončit vnější tvar. $\phi 77,07$-L2,1 s detailem C a návazností na R0,4 a R0,4-L5,1. čelního vybrání od $\phi 78,4$ do $\phi 91,45$ v L8,5 s R1,5 (2x) zobrazeného v detailu B. $\phi 93,455$-L11,5 s detailem C v L8,5.		dokončovací nůž N44 G50 n 2500 G96 v_c 350 posuv na čele f_n 0,07 posuv na délce f_n 0,07

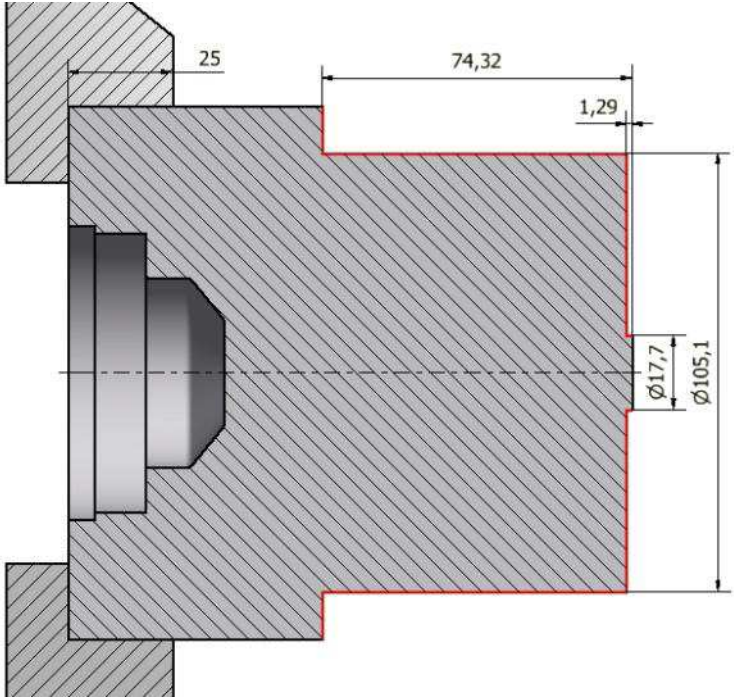
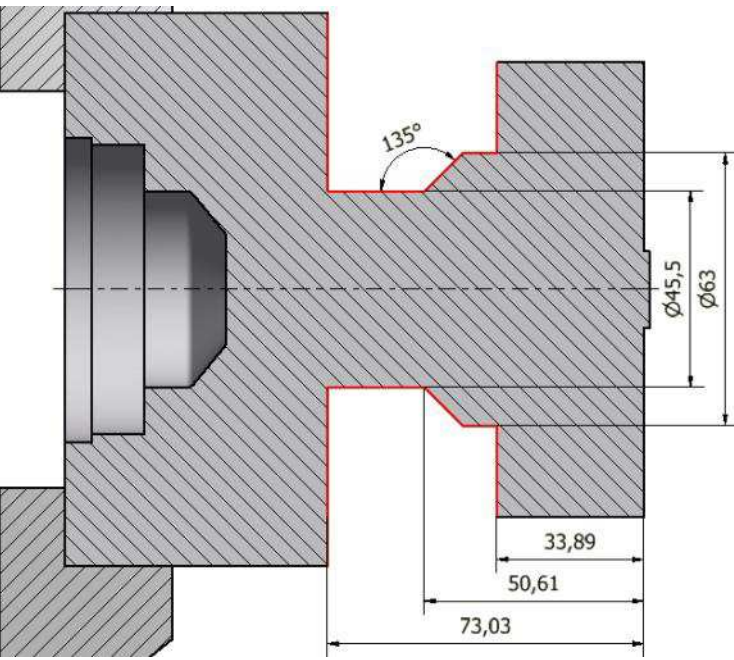
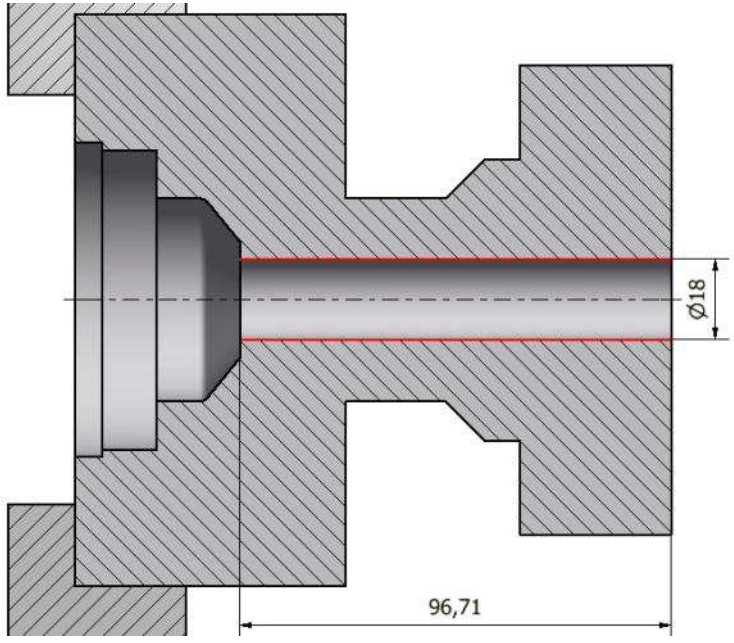
3.6	Popis součásti na čele. Místo popisu dle obrázku.		Popisovací nástroj T14 n_B 4500 vlastní posuv
3.7	Vrtat díru $\phi 2,7$ se sražením pro M3 16x na L23,4 a 16x na L96,01.	 16 děr o průměru 2,7 v hloubce 6,675 (2x)	stupňovitý vrták se sražením N52 externí otáčky na nástrojovém vřetenu B n_B 5000 posuv f_n 0,1
3.8	Tvářet závit M3x0,5 16x na L23,4 a 16x na L96,01.	 16 závitů o průměru M3x0,5 v hloubce 4,75 (2x)	tvářecí závitník N56 externí otáčky na nástrojovém vřetenu B n_B 3000 posuv f_n 0,5

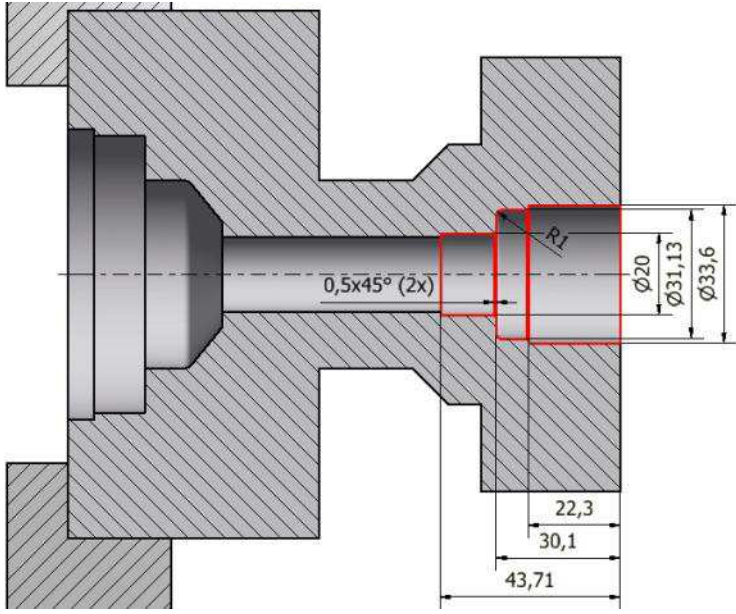
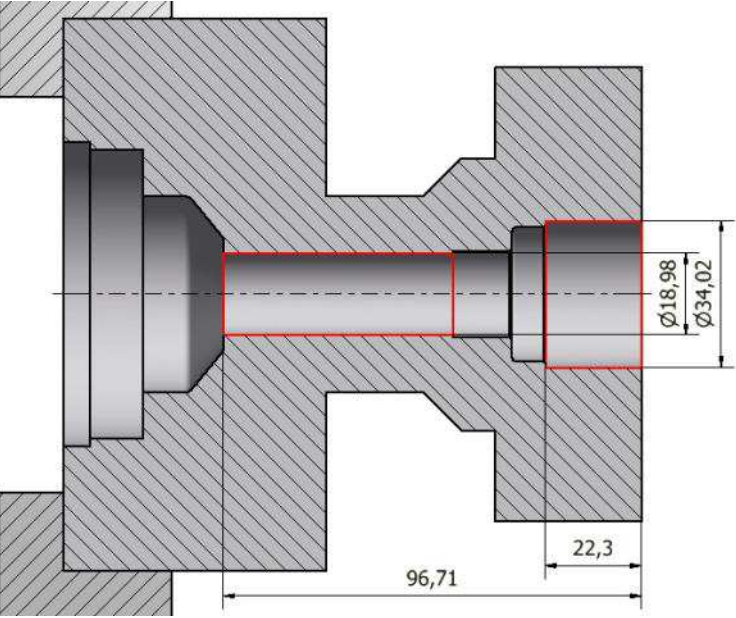
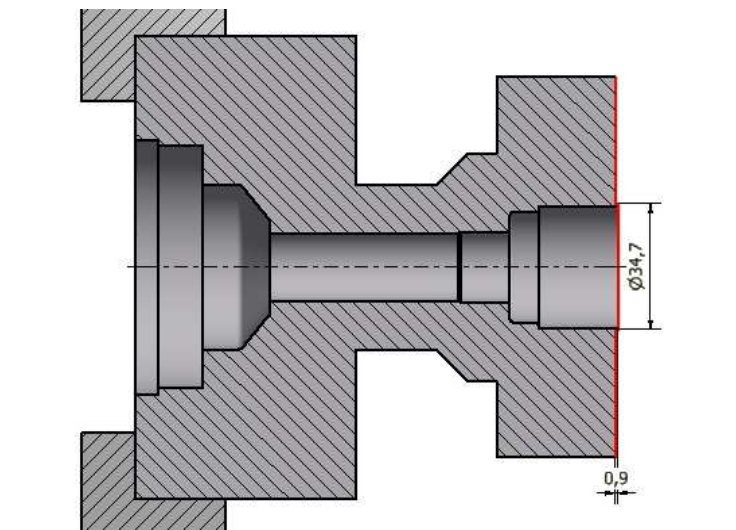
PŘÍLOHA 24

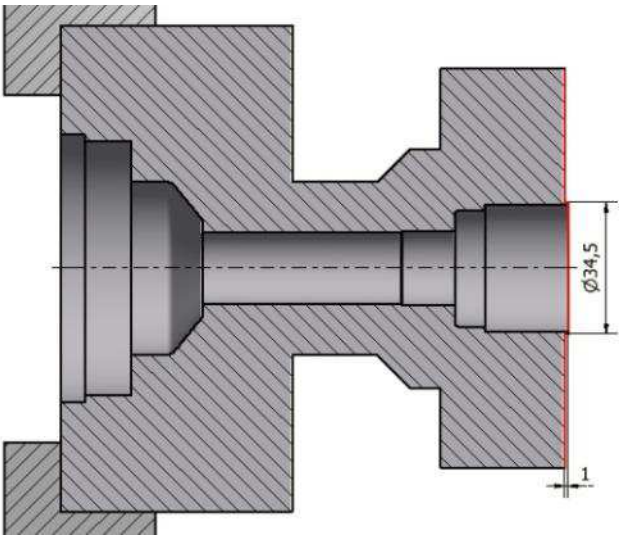
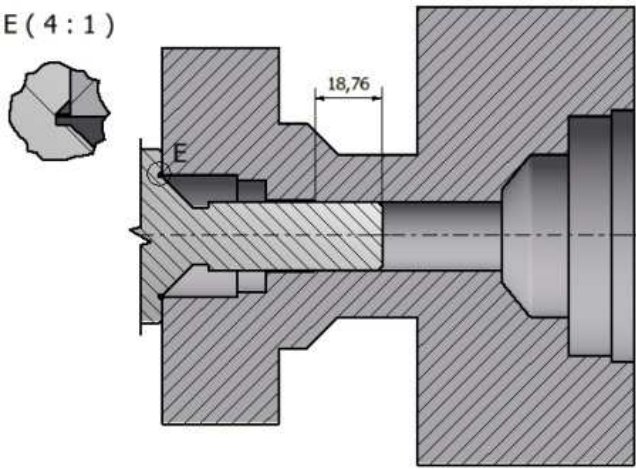
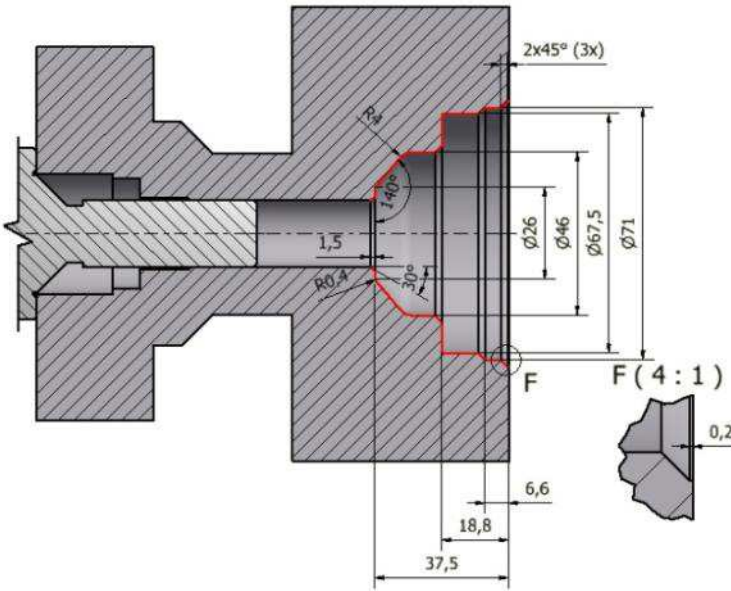
TECHNOLOGICKÝ POSTUP PRINCIPU PROTİKUS (OKUMA LU25-M)

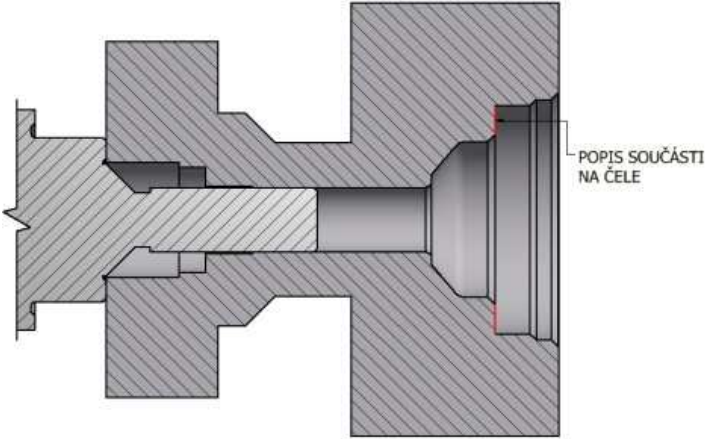
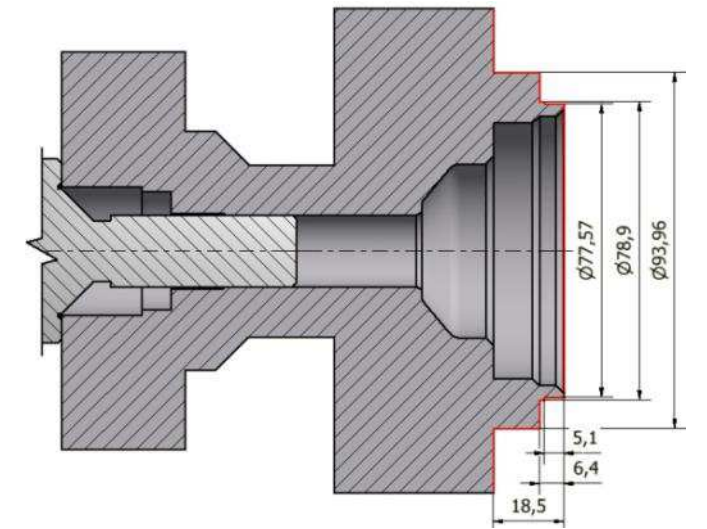
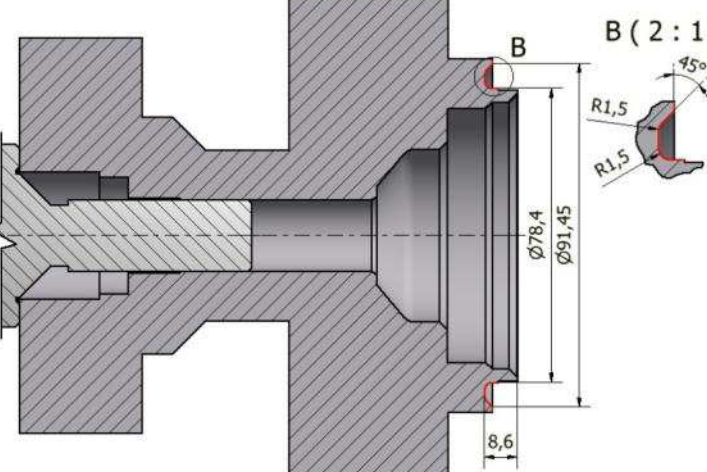
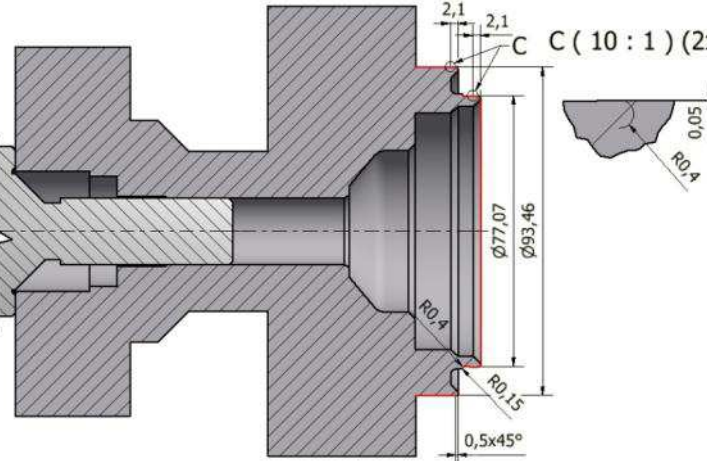
číslo upnutí	popis práce	obrázek	nástroj + řezné podmínky
0.	Nařezaný surový kus po lisování z tavby má rozměry $\varnothing 140$ -L137.		
1.	Upnout na doraz za $\varnothing 140$ -L25.		
1.1	Zarovnat čelo do $\varnothing 53$ -L1,8 a odsazení na $\varnothing 128$ -L92.		Hrubovací nůž T1 G50 n 1400 G96 n 450 posuv na čele $f_n 0,275$ posuv na délce $f_n 0,4$
1.2	Vrtat $\varnothing 56$ -L18,4.		Vrták T8 $\varnothing 56$ mm s 2VBD n 1200 posuv na délce $f_n 0,16$

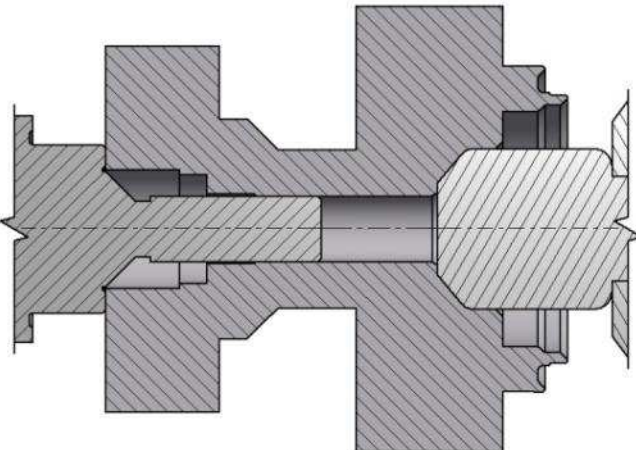
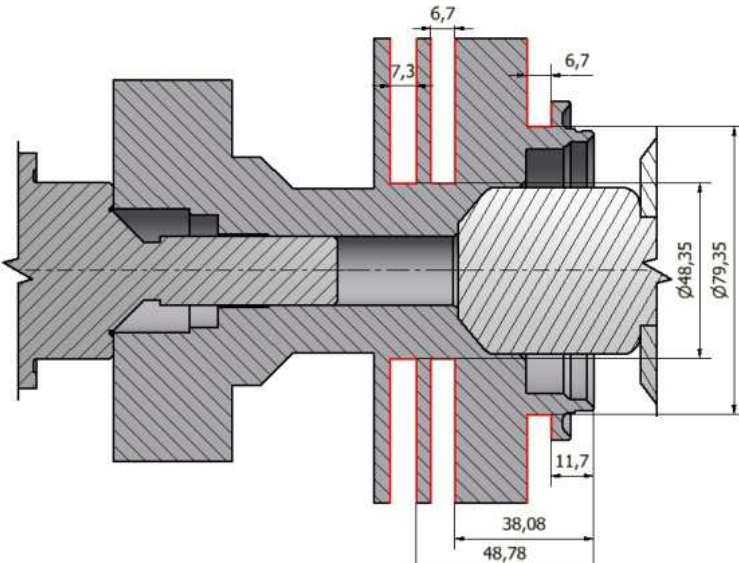
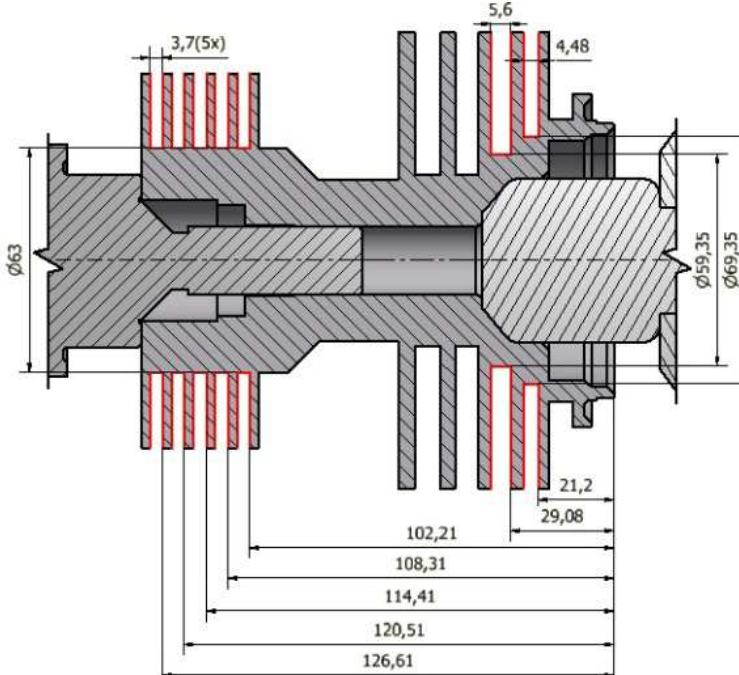
1.3	Hrubovat vnitřní tvar $\phi 70,5$-L6,28, $\phi 67$-L18,48, $\phi 45,5$-L28,17 s návazností R2 pod úhlem 140°, R0,4 s návazností $\phi 25,5$-37,2.	 The drawing shows a cross-section of a mechanical part. The internal feature is a roughed-in shape with a 140-degree angle and a radius of R0,4. The dimensions are as follows: the outer diameter is $\phi 70,5$, the inner diameter of the roughed-in part is $\phi 45,5$, and the diameter of the central hole is $\phi 25,5$. The length of the roughed-in part is 37,2. The length of the central hole is 6,28. The length of the outer part is 18,48. The total length of the part is 28,17. The drawing also shows a roughed-in internal feature with a radius of R2 and a 140-degree angle.	Multifunkční vrták T9 ($\phi 25$ mm) 1VBD G50 n 1400 G 96 v_c 220 posuv na čele f_n 0,25 posuv na délce f_n 0,3
2	Otočení součásti a upnutí na doraz $\phi 128$-L25.	 The drawing shows a different view of the mechanical part. The dimension 25 is indicated at the top. The drawing shows the part being rotated and clamped against a stop.	

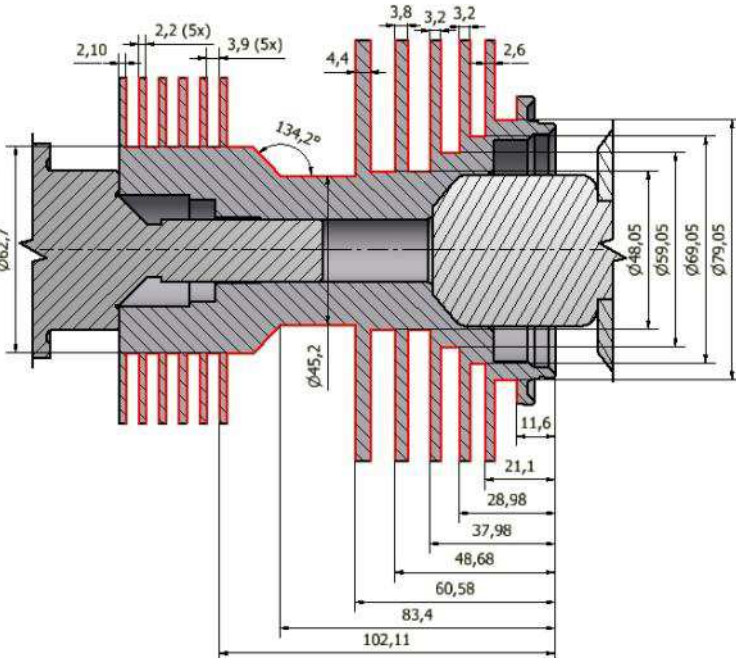
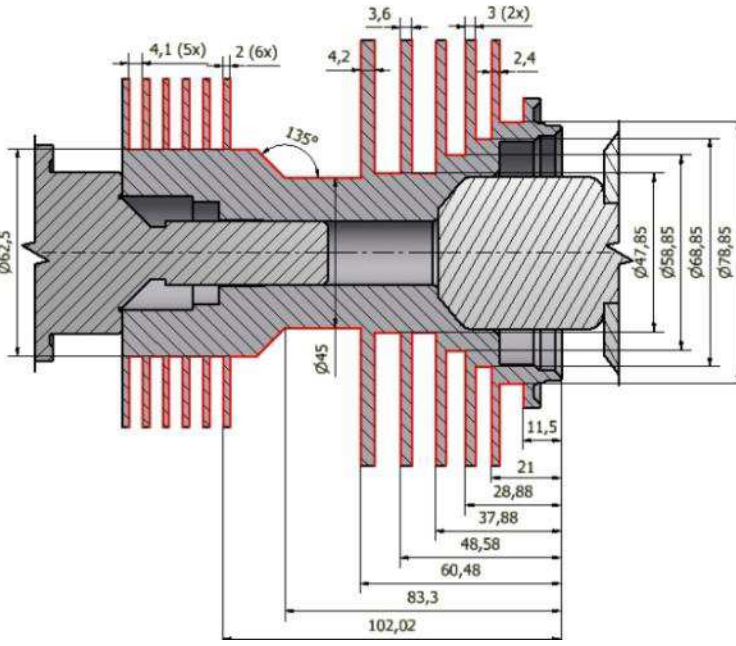
2.1	Zarovnat čelo na $\phi 30$ -L1,29 a odsazení na $\phi 105,1$ -L74,32.		Hrubovací nůž T1 G50 n 1400 G96 v_c 450 posuv na čele f_n 0,275 posuv na délce f_n 0,4
2.2	Hrubovat $\phi 63$ -L33,89, kužel pod úhlem 135° s koncovým bodem v L50,61 a $\phi 45,5$ -L73,03.		zapichovací nož T6 šířky (6 mm) G50 n 1500 G96 v_c 385 posuv na čele f_n 0,242 posuv na délce f_n 0,242
2.3	Vrtat $\phi 18$ -L99,7		nástroj T13 s vyměnitelnou hlavou ($\phi 18$ mm) n 1200 posuv na délce f_n 0,48

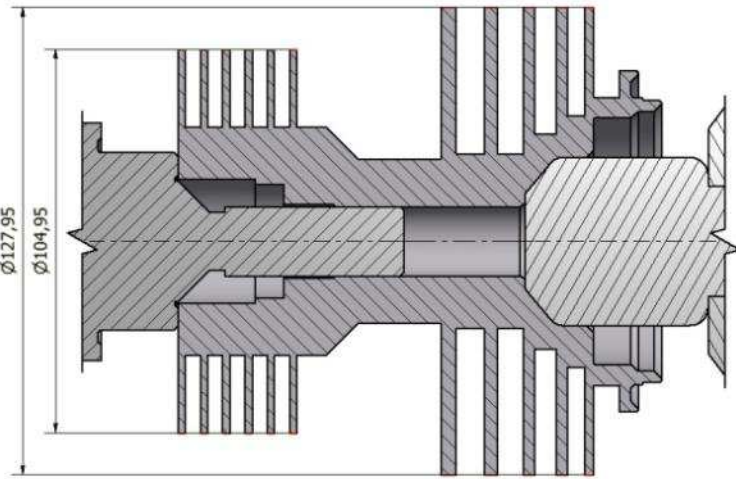
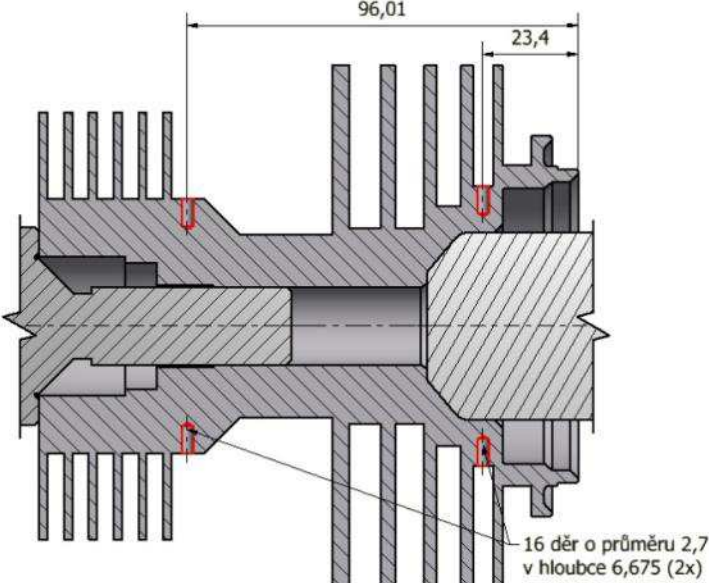
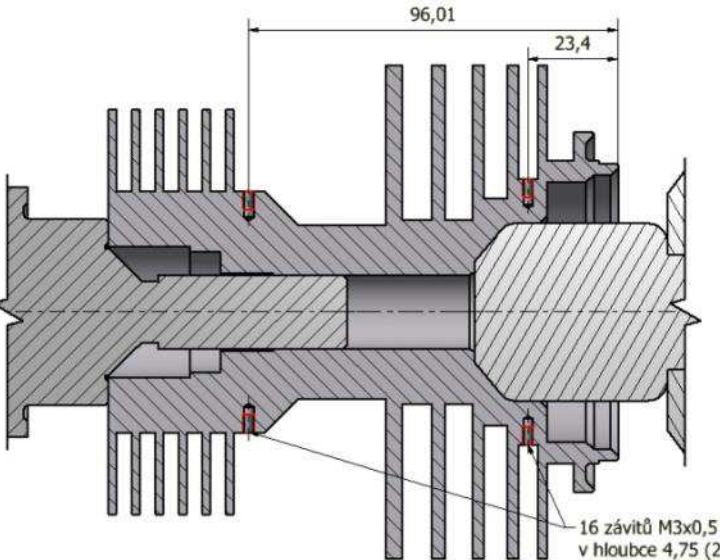
2.4	Na jeden záběr hrubovat $\phi 33,6$-L22,2, $\phi 31,13$-L30 s návazností R1, se sražením $0,5 \times 45^\circ$ $\phi 20$-L43,61 se sražením $0,5 \times 45^\circ$.		Speciální tvarový nástroj N39 n 1600 posuv na délce f_n 0,19
2.5	Dokončit vnitřní rozměry $\phi 34,02$-L22,2, $\phi 18,98$-L97,2.		Speciální tvarový nástroj N42 n 1800 posuv na délce f_n 0,17
2.6	Zarovnat čelo s přídkem L0,1 do $\phi 34,7$.		Hrubovací nůž T1 G50 n 1400 G96 v_c 275 posuv na čele f_n 0,25

2.7	Dokončit čelo s $\varnothing 34,5$ -L1.		Dokončovací nůž T3 G50 n 1400 G96 v_c 350 posuv na čele f_n 0,22 posuv na délce f_n 0,22
3.0	Otočit součást a chytit na hydraulický rozpínací trn. L18,76.		Trn – nasadit příšroubovat na vřeteno a kalibrovat už při nasazené součásti.
3.1	Dokončit vnitřní tvar. $\varnothing 71$ -L6,6 srazit na začátku od L0,2 a na konci $2 \times 45^\circ$. $\varnothing 67,5$ -L18,8, $\varnothing 46$ srazit hranu $2 \times 45^\circ$, R4 s návazností 140° na R0,4 a $\varnothing 26$ -L37,5. Srazit hranu $1,5 \times 30^\circ$.		multifunkční vrták T9 ($\varnothing 25$ mm) G50 n1400 G96 v_c 150 posuv na čele f_n 0,25 posuv na délce f_n 0,25

3.2	Popis součásti na čele. Místo popisu dle obrázku.		Popisovací nástroj T14 n_B 4500 vlastní posuv
3.3	Hrubovat čelo s přídavkem L0,1mm. a vnější průměry $\phi 77,57$ -L5,1 $\phi 78,9$ -L6,4 $\phi 93,96$ -L18,5		Hrubovací nůž T1 G50 n 1200 G96 v_c 250 posuv na čele f_n 0,12 posuv na délce f_n 0,12
3.4	Dokončení čelního zápichu od $\phi 78,4$ do $\phi 91,45$ v L8,5 zobrazeného v detailu B.		čelní zapichovací nůž T2 n 800 posuv na čele f_n 0,05 posuv na délce f_n 0,05
3.5	Dokončit vnější tvar dokončit čelo na L0(133,51) $\phi 77,07$ s detailem C a návazností na R0,4 a R0,15. Sražení 0,5x45° na $\phi 93,46$ s detailem C do L18,5.		vnější dokončovací nůž T3 G96 v_c 250 posuv na čele f_n 0,12 posuv na délce f_n 0,12

3.6	Podepření protikusem.		
3.7	Hrubovat vnější tvar zápich $\varnothing 79,35$ -L18,4-tl.6,7. $\varnothing 48,35$ -L44,78-tl.6,7. $\varnothing 48,35$ -L56,08-tl.7,3.		zapichovací nože T6 šířky (6 mm) G50 n 1200 G96 v _c 385 posuv na čele f_n 0,242 posuv na délce f_n 0,242
3.8.1	Hrubovat zápich $\varnothing 62,5$ -L6,7-tl.3,3, $\varnothing 62,5$ -L12,79-tl.3,3, $\varnothing 62,5$ -L18,89-tl.3,3, $\varnothing 62,5$ -L24,99-tl.3,3, $\varnothing 62,5$ -L31,06-tl.3,3, $\varnothing 58,95$ -L104,23-tl.5,2, $\varnothing 68,95$ -L112,11-tl.4,08.		zapichovací nůž T7 (3,1 mm) a VBD F1 (3,1 mm) G50 n 1900 G96 v _c 385 posuv na čele f_n 0,193 posuv na délce f_n 0,193

3.8.2	Polodokončení vnějšího tvaru. Zápich Ø79,05-L18,5-tl.6,9. Ø69,05-L25,78- tl.5,28 Ø59,05-L34,78-tl.5,8 Ø48,05-L44,88-tl.6,9 Ø48,05-L56,18-tl.7,5 Zápich od Ø45,2-L60,58 s návazností na úhel 134,2°-L83,4 do Ø62,7-L99,91. Zápich Ø62,7 v délkách L106,01;L112,11;L1 18,21; L124,31;L130,41; tl.3,9.		zapichovací nůž T7 (3,1 mm) a VBD F1 (3,1 mm) G50 n 1900 G96 v_c 300 posuv na čele f_n 0,22 posuv na délce f_n 0,22
3.8.3	Dokončení vnějších rozměrů. Zápich Ø78,85-L18,6-tl.7,1. Ø68,85-L25,88- tl.5,48 Ø58,85-L34,88-tl.6 Ø47,85-L44,98-tl.7,1 Ø47,85-L56,28-tl.7,7 Zápich od Ø45-L60,48 s návazností na úhel 135°-L83,3 do Ø62,5-L100,02. Zápich Ø62,5 v délkách L106,12;L112,22; L118,32;L124,42; L130,52;tl.4,1.		zapichovací nůž T7 (3,1 mm) a VBD F1 (3,1 mm) G50 n 1900 G96 v_c 400 posuv na čele f_n 0,2 posuv na délce f_n 0,075 posuv na rádius f_n 0,07

3.9	Dokončit vnější rozměry $\phi 127,95$ a $\phi 104,95$.		Dokončovací nůž T3 G96 v_c 450 posuv na čele f_n 0,22 posuv na délce f_n 0,22 posuv na rádius f_n 0,075
3.10	Vrtat díry $\phi 2,7$ se sražením pro M3 16x na L23,4 a 16x na L96,01.	 16 děr o průměru 2,7 v hloubce 6,675 (2x)	stupňovitý vrták se sražením T16 externí otáčky na nástrojovém vřetenu B n_B 4500 posuv v_f 475
3.11	Tvářet závit M3x0,5 16x na L23,4 a 16x na L96,01.	 16 závitů M3x0,5 v hloubce 4,75 (2x)	tvářecí závitník T15 externí otáčky na nástrojovém vřetenu B n_B 3000 posuv v_f 1500