

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

INOVACE TECHNOLOGIE VÝROBY

VYBRANÝCH DÍLCŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: Aleš Tichý

Studijní obor: Technologie, materiály a ekonomika ve strojírenství

Vedoucí práce: Ing. Vítězslav Rázek, CSc.

Praha 2015

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne

.....

podpis

Poděkování:

Děkuji zejména vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Vítězslavu Rázkovi, CSc., za všechny cenné rady a za nasměrování na formální a technologickou cestu. Jako vedoucí mi byl velmi nápomocný a pokaždé mi ochotně poradil.

Anotace:

Předmětem této bakalářské práce je inovace stávající, již nedostačující, výrobní technologie vybraných dílů. V práci jsou uvedeny výhody CNC obrábění proti konvenčnímu způsobu a využití CAD/CAM systémů. Dále je zde obsažen popis a rozbor stávající technologie výroby na konvenčním soustruhu Škoda SUR 350 a návrhu nové technologie na CNC soustruhu Tornado T6M včetně jejich specifikací, výrobních postupů, řezných podmínek, časové náročnosti a u CNC soustruhu i vytvořených programů. Tyto technologie jsou pak porovnány z hlediska jejich časové náročnosti a přesnosti výroby.

Annotation:

Subject of this bachelor thesis is upgrading current, now insufficient, production technology of selected components. There are stated advantages of CNC machining against conventional machining and use of CAD/CAM systems. Furthermore thesis contains description and analysis of the current technology for conventional lathe Škoda SUR 350 and a draft of new technology for CNC lathe Tornado T6M including its specifications, production process, cutting conditions, time consumption and CNC programs. These two technologies are then compared in terms of time consumption and precision of production.

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Stávající technologie	9
2.1	Specifikace stroje.....	10
2.2	Druhy používaných nástrojů.....	10
2.2.1	Pájené slinuté karbidy.....	10
2.2.2	Vyměnitelné břitové destičky (VBD).....	10
2.2.3	Rychlořezná ocel	11
2.3	Výroba	12
2.3.1	Vrtání otvorů na více upnutí.....	13
2.3.2	Upnutí mezi hroty.....	15
2.3.3	Dokončení výroby	16
3	Obrábění na CNC strojích	18
3.1	Výhody	19
3.2	Nevýhody.....	20
3.3	CAD/CAM systémy	20
3.4	Moderní řízení	21
4	Návrh nové technologie.....	23
4.1	Specifikace stroje.....	23
4.2	Použité nástroje.....	24
4.3	Tvorba programů	25
4.3.1	Programová struktura	25
4.3.2	Přehled použitých kódů	25
4.4	Výroba	26
4.4.1	Příprava stroje.....	26
4.4.2	Korekce nástrojů.....	27
4.4.3	Korekce polohy obrobku	28

4.4.4	První upnutí	29
4.4.5	Druhé upnutí	31
4.4.6	Třetí upnutí – mezi hroty	33
4.4.7	Čtvrté upnutí	34
4.4.8	Páté upnutí	36
5	Zhodnocení	37
5.1	SUR 350	37
5.2	Tornado T6M	38
5.3	Porovnání	39
6	Závěr	40
7	Seznam použité literatury	41
8	Seznam tabulek	42
9	Seznam obrázků	43
10	Seznam příloh	44

V práci jsou popsány další výhody CNC obrábění proti konvenčnímu způsobu. Dále je zde obsažen popis a rozbor stávající technologie výroby na konvenčním soustruhu Škoda SUR 350 a návrhu nové technologie na CNC soustruhu Tornado T6M anglické firmy Colchester-Harrison 600 Group včetně jejich specifikací, výrobních postupů, řezných podmínek. Dále je zmíněn řídicí systém FANUC soustruhu T6M, jsou zhotoveny výrobní programy a přípravky pro CNC obrábění. Závěrem jsou tyto technologie porovnány z hlediska jejich časové spotřeby a přesnosti výroby.

Výrobní postupy, praktické poznatky, dostupné technologické a ekonomické možnosti byly konzultovány s pověřenými zaměstnanci firmy.

2 Stávající technologie

Po změně požadavků na přesnost je i nadále vyráběn díl na konvenčním soustruhu Škoda SUR 350 (Obr. 2). Práce se dále zabývá popisem a problematikou již upravené technologie, která splňuje nové požadavky zákazníka na výrobek.



Obr. 2 Soustruh Škoda SUR 350

2.1 Specifikace stroje

Soustruh Škoda SUR 350

- Rok výroby: 1965
- Maximální otáčky vřetene: 315 ot/min
- Oběžný průměr nad ložem: 300 mm
- Vzdálenost mezi hroty: 2000mm
- Výkon: 6kW
- Hmotnost stroje: 5t
- Počet nástrojů v otočné nožové hlavě: 4

Nesporná výhoda tohoto stroje spočívá v tuhosti jeho provedení. Při váze pěti tun umožňuje opracovávat polotovary o velké hmotnosti a obrábět s velkým úběrem třísky. Tento stroj není určený pro jemné a přesné obrábění, vzhledem k nízkým otáčkám vřetene a z toho plynoucím nízkým řezným rychlostem.

2.2 Druhy používaných nástrojů

2.2.1 Pájené slinuté karbidy

Při obrábění jsou převážně používány nože s pájeným slinutým karbidem, kde je vybroušen potřebný úhel nastavení hlavního ostří pro určité prvky, např. sražené hrany pod určitým úhlem. Nože jsou broušeny pro lepší tvar a odvod třísek nebo takovým způsobem, aby se s jedním nožem dalo provádět více úkonů, např. obrobit vnější průměr součásti a následně srazit hranu. Nemusí se tedy otáčet nožovou hlavou pro použití dalšího nože.

2.2.2 Vyměnitelné břitové destičky (VBD)












Dále jsou používány nože s výměnnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů. Jejich největší výhody oproti pájeným slinutým karbidům jsou:

- nemusí se brousit
- mohou se povlakovat
- stejná geometrická a rozměrová přesnost po výměně
- více řezných břitů se stejnou geometrií na jedné destičce
- rozdílné utvařeče třísek se stejnou geometrií destičky – jeden nůž pro různé destičky

Pokud se používaný břit opotřebí, destička se otočí a pokračuje se v obrábění dosud nepoužívaným břitem. Destička se může použít oboustranně, pokud je úhel hřbetu roven nule. VBD se vyrábějí v různých tvarech a s různými tolerancemi přesnosti (Obr. 3). S rostoucí přesností roste i cena destiček. Přesné destičky se převážně používají u nástrojů s více destičkami. Existuje také několik různých způsobů upínání destiček do lůžek. Každý způsob upínání má při obrábění své výhody, nevýhody a vliv na přesnost polohy břitu po výměně destičky. [1, s. 2-5]

Největší využití nachází VBD při použití na CNC strojích. Otočení či výměna destičky je časově nenáročná záležitost a zkracují se neproduktivní časy. Po výměně se upraví korekce polohy špičky a může se pokračovat ve výrobě. Nenastávají komplikace se změnou geometrie nástroje či utvařeče třísek a není potřeba dalších zásahů do procesu.

Označení	Tolerance (mm)			Uhel špičky (stupně)	Obrázek
	Výška špičky (m)	Tloušťka (s)	Průměr vepsané kružnice (od)		
A	±0.005	±0.025	±0.025		
F	±0.005	±0.025	±0.013		
C	±0.013	±0.025	±0.025		
H	±0.013	±0.025	±0.013		
E	±0.025	±0.025	±0.025		
G	±0.025	±0.13	±0.025		
J	±0.005	±0.025	±0.005 ~ ±0.13		
K	±0.013	±0.025	±0.05 ~ ±0.13		
L	±0.025	±0.025	±0.05 ~ ±0.13		
M	±0.08 ~ ±0.18	±0.13	±0.05 ~ ±0.13		
N	±0.08 ~ ±0.18	±0.025	±0.05 ~ ±0.13		
U	±0.13 ~ ±0.38	±0.13	±0.08 ~ ±0.25		

Označení	Tvar	Uhel špičky (stupně)	Obrázek
H	Šestistranné	120°	
O	Osmistranné	135°	
P	Pětistranné	108°	
S	Čtvercové	90°	
T	Trojúhelníkové	60°	
C	Kosočtvercové	80°	
D		55°	
E		75°	
F		50°	
M		86°	
V		35°	
Y	Tvar Y (symbol Tungaloy)	25°	
W	Trigon	80°	
L	Obdélníkové	90°	
A	Rovnoběžníkové	85°	
B		82°	
K		55°	
R	Kruhové	-	

Obr. 3 Přesnost a tvar VBD [1, s. 2]

2.2.3 Rychlořezná ocel

Z rychlořezné oceli jsou ve firmě používány pouze vrtáky. Vrtáky jsou houževnaté, nepotřebují přesné vedení, dají se lehce brousit. Velmi se osvědčily při vrtání otvorů o průměru třicet mm a vyšších. Vrtáky ze slinutých karbidů nebo vrtáky s VBD nejsou ve firmě na konvenčních strojích používány.

2.3 Výroba

Vybraný díl je vyráběn na 11 upnutí. Jednotlivé operace, úkony, řezné podmínky jsou zpracovány do výrobního postupu (Příloha č. 2). Použité nástroje při obrábění jsou zaznamenány v seznamu nástrojů (Příloha č. 3). U nástrojů s pájeným slinutým karbidem nebo z rychlořezné oceli je použit jejich název, nebylo dochováno žádné identifikační značení. Nástroje s VBD jsou pak zaznamenány označením nástroje a destičky.

Polotovary:

Polotovarem je KR 90 – 158 ČSN EN 10060, materiál S355. Řezáno na pásové pile s 2 mm přídávkem. Řezání nebylo do výrobního procesu zahrnuto, jelikož je u obou technologií stejné a nijak neovlivňuje cíle této bakalářské práce.

Výňatek z výrobního postupu s úkony a řeznými podmínkami viz Tab. 1.

Tab. 1 První operace na konvenčním soustruhu

Op.	Úkon	Název	v_c	f	a_p	i
5	1	upnout do univerzálního sklíčidla				
	2	zarovnat čelo na celkovou délku 157,2mm	89	0,30	0,8	1
	3	hrubovat \varnothing 86,6mm do L=80mm	86	0,30	1,7	1
	4	Odepnout				

Kde: v_c řezná rychlost [m/min]
f posuv [mm/ot]
 a_p hloubka řezu [mm]
i počet záběrů

Na konvenčním soustruhu se nastavuje počet otáček za minutu. Řezná rychlost je dpočítána dle vzorce (1).

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1)$$

Kde: D průměr obráběné plochy [mm]
n otáčky [ot/min]

2.3.1 Vrtání otvorů na více upnutí

Zvyklostí je provádět co nejvíce úkonů na jedno upnutí obrobku. Každým upnutím se do procesu vnáší nepřesnost. V Tab. 2 je znázorněno vrtání průměru $\varnothing 54$ mm a na další upnutí vrtání $\varnothing 43$ mm. Tento způsob má dvě opodstatnění:

1. Vrták není upevněn do pinoly koníku jak bývá zvykem, ale v nožové hlavě (Obr. 4-Obr. 6).
2. S touto nožovou hlavou se nedá efektivně otáčet, pokud jsou v ní upnuty dva takto velké vrtáky.

Výhoda upnutí vrtáku v nožové hlavě spočívá v automatickém strojním posuvu. Nemusí se posouvat ručně, vrtání je rychlejší, efektivnější, šetří obsluhu stroje. Tímto produktivním vrtáním bez výměny nástroje se vynahradí další upnutí obrobku.

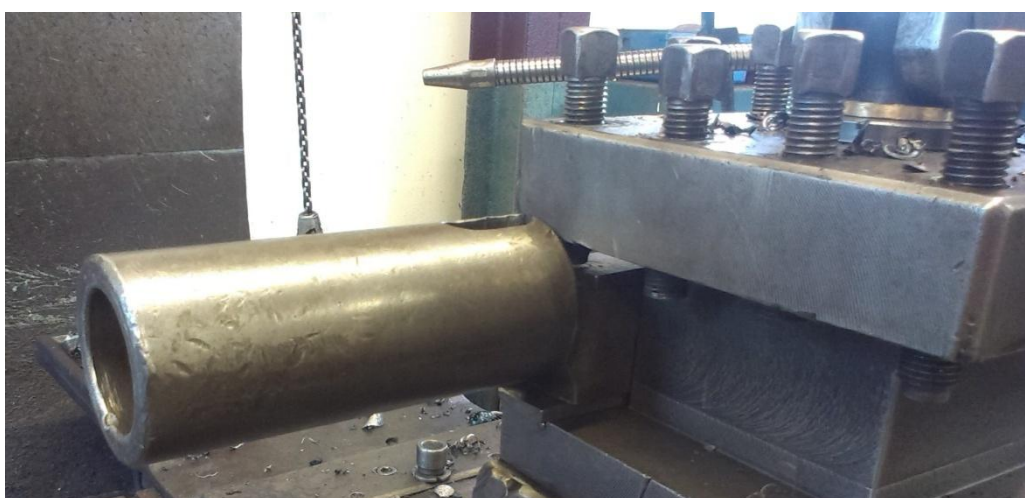
Pokud jsou v nožové hlavě upnuty dva takovéto vrtáky, nebo podobné objemné nástroje, nožová hlava se při jejím povolení nenadzdvihne. Soustruh byl vyroben před padesáti lety a pružina uvnitř nožové hlavy ji už s takovýmto zatížením nedokáže dostatečně nadzdvihnout, aby ji bylo možné otočit do další polohy. Obsluha stroje se musí naklonit nad nožovou hlavu, nadzdvihnout ji vlastními silami a přitom s ní otočit o 180° . Zároveň musí být obsluha dostatečně vzdálená od nožové hlavy, aby o dlouhý upnutý vrták při otáčení nezavadila. Pro obsluhu jsou tyto úkony náročné časově i fyzicky. Ve firmě je tedy zvyklostí další upnutí obrobku a vrták měnit pro další operaci.

Tab. 2 Vrtání otvorů ve 2 operacích

Op.	Úkon	Název	v_c	f	a_p	i
20	1	upnout do univerzálního sklíčidla				
	2	vrtat otvor $\varnothing 54$ do $L=25$	20	0,30	27	1
	3	odepnout				
25	1	upnout do univerzálního sklíčidla				
	2	vrtat otvor $\varnothing 43$ do $L=75$	28	0,30	27	1
	3	odepnout				



Obr. 4 Speciální držák vrtáku pro upnutí v nožové hlavě



Obr. 5 Držák upnutý v nožové hlavě



Obr. 6 Upnutý vrták

Vrtání průchozího otvoru:

Otvor $\varnothing 43$ mm je vrtán nadvakrát (Tab. 3). Mohl by být použit dostatečně dlouhý 3D¹ vrták pro průchozí vrtání, ale tento způsob se neosvědčil. Vrták neměl při upnutí v nožové hlavě přesné vedení a výsledná osa otvoru nebyla shodná s osou obrobku. Ve výstupním otvoru vycházel na stěnu velmi malý přídavek a na protilehlou stěnu přídavek i několik milimetrů. Otvor bylo následně nutno hrubovat na dva záběry nebo byl otvor příliš velký a obrobek se stal zmetkem. Z těchto důvodů je ekonomičtější vrtání otvoru z každé strany stejně hluboko a s větším posuvem. Chlazení vrtáku procesní kapalinou je takto snazší a tříska je lépe odváděna.

Tab. 3 Vrtání průchozího otvoru

Op.	Úkon	Název	v_c	f	a_p	i
25	1	upnout do univerzálního sklíčidla				
	2	vrtat otvor $\varnothing 43$ do $L=75$	28	0,20	27	1
	3	odepnout				
30	1	upnout do univerzálního sklíčidla				
	2	vrtat otvor $\varnothing 43$ do $L=85$	28	0,20	27	1
	3	odepnout				

2.3.2 Upnutí mezi hroty

Při obrábění vnějšího průměru načisto nejsou použity žádné unášeče, ale díl je upnut mezi hroty (Tab. 4). V univerzálním sklíčidle je upnut přípravek (Obr. 7), o který se opře obrobek (Obr. 8) a z druhé strany se podepře hrotem zasazeným do pinoly koníku. Díl je při tomto upnutí vystředěn s obvodovým házením menším než 0,1 mm. Otáčivý moment je přenášen pouze kontaktní plochou mezi přípravkem a obrobkem, přesněji je kontaktní plochou sražená hrana v otvoru o $\varnothing 56$ mm. Vzhledem k hloubce řezu 0,3 mm je takovéto upnutí dostačující a obrobek se při obrábění nepootočí.

Tab. 4 Obrobení vnějšího průměru upnutím mezi hroty

Op.	Úkon	Název	v_c	f	a_p	i
45	1	upnout mezi hroty				
	2	obrobit načisto $\varnothing 86$	85	0,20	0,3	1
	3	odepnout				

¹ 3D vrták – vrták schopný vrtat otvory do hloubky trojnásobku svého průměru



Obr. 7 Přípravek pro obrábění mezi hroty



Obr. 8 Přípravek pro obrábění mezi hroty s obráběným dílem

2.3.3 Dokončení výroby

Obrobek je nutno upnout do speciálních čelistí pro poslední dvě operace (Tab. 5). Čelisti jsou protočené na vnější průměr dílu, aby ho upnuly na co největší kontaktní ploše a vystředily s minimálním obvodovým házením. Přesto je nutné díl po upnutí zkontrolovat a vyrovnat na obvodové házení. Na stroj je připnut magnetický úchylkoměr (Obr. 9), hrot

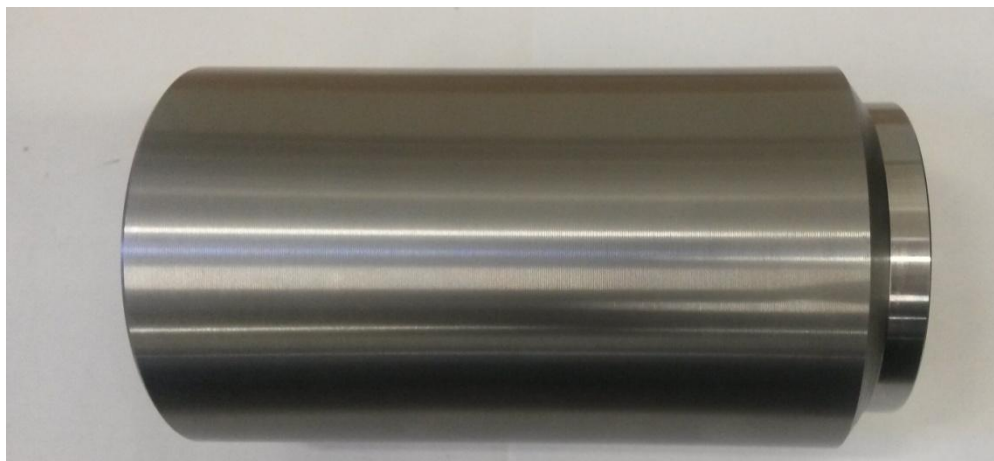
je umístěn na vnější plochu obrobku a zároveň je otáčeno se sklíčidlem. Díl je následně vyrovnán pomocí gumové paličky na výsledné obvodové házení v 0,03 mm a obráběn.

Tab. 5 Dokončení výroby

Op.	Úkon	Název	v_c	f	a_p	i
50	1	upnout do protočených čelistí pro tento dílec a vyrovnat na obvodové házení v 0,03mm				
	2	obrobení načisto otvoru $\varnothing 46H7$	46	0,15	0,3	1
	3	zarovnat čelo na celkovou délku 156,2	85	0,20	0,2	1
	4	obrobit načisto $\varnothing 70f7$ + srazit hranu $0,5 \times 45^\circ$	69	0,15	0,3	1
	5	odepnout				
55	1	upnout do protočených čelistí pro tento dílec a vyrovnat na obvodové házení v 0,03mm				
	2	zarovnat čelo na celkovou délku 156 + srazit hranu $0,5 \times 45^\circ$	85	0,20	0,2	1
	3	odepnout				



Obr. 9 Číselníkový úchylkoměr [2]



Obr. 10 Vyhotovený díl – vnější pohled



Obr. 11 Vyhotovený díl – otvory

3 Obrábění na CNC strojích

CNC je zkratka pro Computerized Numerical Control – stroj s číslicovým řízením počítače. Numericky řízené obrábění existuje už několik desítek let. Jako první s touto teorií přišli ve druhé polovině 40. let 20. století mechanici letectva Spojených států amerických. První NC stroj byl vyroben v roce 1952 v Massachusetts Institute of Technology. [3]

CNC je řízen pomocí programu s vysokou přesností polohy najetí nástrojů při obrábění. Obrábění je řízeno sestaveným programem a nástroj může vykonávat pohyb v několika osách zároveň. Na CNC stroji může být upnuto několik nástrojů naráz s automatickou

výměnou. Dále při výrobě z tyčového polotovaru může být nainstalován podavač a výroba se stane nepřerušovanou. Pro upnutí další tyče není potřeba obsluhy, tyč je podavačem vložena a následně upnuta.

Čas výrobního cyklu, dokončování operace a náklady na součást jsou hlavní předměty zájmu výrobce. CNC spolehlivost, účinnost a inovace výrobních technologií může vést k snížení výrobního času, zvýšení kvality dokončovacích operací a tím snížit celkové náklady na výrobek. Snížení vedlejších, neproduktivních časů také vede k velkému snížení výrobních nákladů. [4]

Ergonomická důležitost:

Zlepšování ergonomie sdělovačů a ovládačů vede ke zvýšení koncentrace obsluhy a pomáhá redukovat zrakovou únavu včetně snižování bolestí hlavy při dlouhých pracovních směnách. [4]

Bezpečnost:

Při konvenčním obrábění se obsluha nachází v blízkosti rotujícího vřetene či nástroje a proces obrábění musí zblízka sledovat. Při použití CNC strojů se obrábění stává mnohem bezpečnějším. Na rozdíl od konvenčních strojů by obsluha při dodržení bezpečnosti práce neměla přijít do kontaktu s jakýmkoliv točivým předmětem. Obrábění probíhá za bezpečnostním krytem vybaveným čidly k rozpoznání zavření tohoto krytu. Pokud je kryt otevřen, obráběcí proces nemůže být spuštěn.

3.1 Výhody

CNC obrábění má mnoho výhod. Tyto výhody se neustále rozšiřují vzhledem k pokroku v počítačových technologiích, které vylepšují tyto CNC procesy. Některé výhody CNC spočívají v následujících bodech:

- Programy mají 100% opakovatelnost, každý vyrobený díl bude identický
- Mohou produkovat tisíce identických součástí v relativně krátkém čase, mnohem rychleji než při konvenčním obrábění
- Mohou být v chodu dvacet čtyři hodin denně, sedm dní v týdnu a vyžadovat velmi krátký čas na údržbu
- Mohou být jednoduše aktualizovány úpravou programu a přenastaven za velmi krátký čas, což umožňuje pružnou výrobu a rychlou změnu vyráběných dílů
- Umožňuje výrobu dílu, které by na konvenčních strojích nebylo možné vyrobit

- K obsluze stroje není třeba tak zkušeného pracovníka jako u konvenčního obrábění
- Jedním pracovníkem může být obsluhováno několik strojů
- Nižší zmetkovitost
- Proměnlivá rychlost otáček při běhu programu umožňuje nastavení optimálních řezných podmínek

Nespornou výhodou jsou i moderní CAD/CAM softwary umožňující výrobu velmi složitých a náročných dílů v několika osách zároveň. Ruční programování pro stroje s více jak dvěma osami je velmi obtížné nebo dokonce neproveditelné. [3] [5]

CAD/CAM softwaru je dále zmíněn v kapitole 3.3.

3.2 Nevýhody

Jako každá technologie i CNC stroje mají své nevýhody, které jsou ale ve srovnání s výhodami zanedbatelné.

- Náklady na pořízení jsou vyšší než u konvenčních strojů
- Není sice potřeba tak zkušené obsluhy, ale je potřeba kvalifikovaný personál pro výrobu programů a nastavení stroje
- Ve spoustě zemí se již nevyučuje výroba na konvenčních strojích, která je poté uplatněna při programování CNC výroby. Bez znalosti základů konvenčních technologií nelze vytvářet programovou nadstavbu. [5]

3.3 CAD/CAM systémy

CAD – Computer Aided Design (česky počítačem podporovaný návrh)

CAM – Computer Aided Manufacturing (česky počítačem podporovaná výroba)

Tyto systémy umožňují navrhnout součást a následně generovat výrobní program v závislosti na znalosti stroje, jeho technologických možnostech a dostupných nástrojů. Uživatelem je zvolena posloupnost nástrojů, jejich řezné parametry a systémem jsou vygenerovány dráhy nástrojů. Následně může být proces nasimulován a odladěn od případných chyb a nedostatků. Software je využíván pro výrobu složitějších dílů, kde klasické ruční programování nestačí nebo by bylo velmi obtížné.

Za zmínku stojí český CAD/CAM systém Kovoprogram, ze zahraničních FeatureCAM, PowerMILL, CamBam, PowerCAM. [6] [7]

3.4 Moderní řízení

V dnešní době jsou kladeny nejvyšší nároky na kvalitu výroby v leteckém a automobilovém průmyslu. Díky pokrokům v CNC a CAD/CAM systémech je výroba neustále posouvána dopředu a stává se přesnější než v minulosti. Pro výrobu skoro všech součástí do leteckého průmyslu je potřebný pohyb ve čtyřech nebo pěti osách a programování těchto složitých geometrií vyžaduje kvalitní CAD/CAM systém. [8]

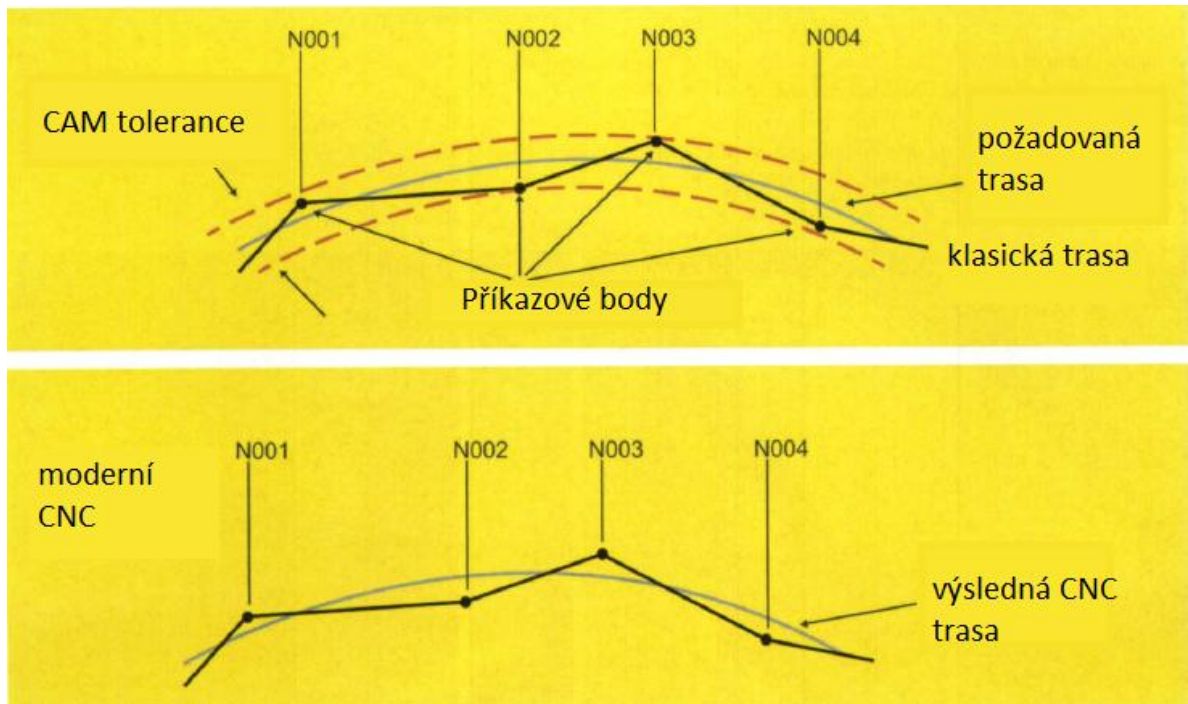
CAD/CAM systémy generují sérii obráběných bodů. Tyto body nebývají přímo na povrchu součásti, ale nachází se uvnitř definované tolerance z CAD/CAM systémů. Tyto body mohou být CNC strojem zpracovány s omezenou až žádnou úpravou v závislosti na vlastnostech CNC. [8]

Pokud jsou tyto body interpretovány pouze jako body, CNC postupuje lineárně od bodu k bodu. Vhodným přirovnáním jsou dětské spojovačky, kde je tužkou kreslena přímka od jednoho bodu k dalšímu. Povrch je v tomto případě ve výsledku obráběn přímým pohybem mezi body a nemusí být požadovaně hladký. [8]

V moderních CNC jsou obsaženy pokročilé funkce, které dokáží různě interpretovat vytvořené body. Tyto body jsou CNC strojem chápány jako definice hladké křivky a výsledkem je optimální, mnohem přesnější dráha nástroje. Takovéto pokročilejší stroje jsou k dostání na trhu přinejmenším 10 let. [8]

Vzhledem k funkcím CNC a možnostem servopohonu je interpolována jediná křivka. V porovnání s předchozím způsobem, kde je nástrojem pohybováno po několika přímkách z bodu do bodu. V tomto případě je nástrojem obrobena mnohem menší dráha (Obr. 12). [8]

Výsledný rozdíl hladkosti povrchu mezi těmito způsoby je zobrazen na Obr. 13.



Obr. 12 Interpretace bodů pro definování křivky [8]



Obr. 13 Porovnání tradičního CNC obrábění (vlevo) a moderního obrábění (vpravo) [8]

4 Návrh nové technologie

Ve firmě byl pro účely této práce zvolen CNC soustruh Tornado T6M výrobce Colchester-Harrison 600Group (Obr. 14). Při návrhu výrobního postupu (Příloha č. 4) a CNC programů (Příloha č. 6) byl brán zřetel na technologické možnosti stroje a obráběcí zvyklosti ve firmě.



Obr. 14 Tornado T6M [9]

4.1 Specifikace stroje

- „Počet os: 3
- Průměr vrtání vřetene: 56 mm
- Maximální průměr obrábění: 215 mm
- Maximální obráběná délka: 450 mm
- Otáčky vřetene: 6000 ot/min
- Výkon vřetene: 5 kW
- Počet nástrojů: 12
- Otáčky poháněných nástrojů: 5000 ot/min
- Typ nástrojového držáku: VDI 30
- Výkon poháněných nástrojů: 3,7 kW
- Přesnost najetí – opakovaná $\pm 0.005/0.002$ mm“ [9]

Ke standardnímu vybavení také patří:

- „AC servopohony os
- Valivé vedení snižující tření v ose X a Z
- Systém automatického mazání vodících ploch a kuličkových šroubů
- Zařízení pro odběr obrobků – lapač
- Chladicí systém
- Blokování ochranného krytu
- Nožní ovládání hydraulického upínání nebo sklíčidla
- Pracovní prostor opatřený krytem
- Automatické mazání na saních“ [9]

Soustruh je vybaven unikátní konstrukcí Duo-Stable, která vylepšuje termální a dynamickou stabilitu. Velmi přesné najetí nástrojů, výjimečná přesnost a efektivnost jsou zajištěny ovladači systému Fanuc. V kontrolním systému T6M je obsažena nejnovější barevná plochá obrazovka se speciálně upravenou Manual Guidei nadstavbou pro zjednodušení obsluhy stroje. [10]

4.2 Použité nástroje

Na CNC soustruhu jsou používány pouze nástroje s VBD. Výhody již byly popsány v kapitole 2.2.2. Všechny použité nástroje byly zaznamenány v Příloze č. 5 označením nože a upnuté destičky.

Pro obrábění vybraného dílu byl zakoupen vnitřní obráběcí nůž o průměru třicet dva mm (Obr. 15), aby nevznikla chvění a nepřesnosti při obrábění průchozího otvoru načisto.



Obr. 15 Nůž pro obrábění otvorů načisto

4.3 Tvorba programů

Programy byly vytvořeny v poznámkovém bloku společnosti Microsoft. V této firmě nebyl k dispozici žádný CAM software nebo nějaký jiný programovací software. Programy byly napsány pomocí jednoduchých příkazů, jak je ve firmě zvyklostí. Kvalifikovaný programátor není ve firmě vždy k dispozici a jednoduchý program si obsluha strojů dokáže upravit. Potřeba úpravy programy může nastat při změně velikosti polotovaru, jeho materiálovém složení, použití vyměnitelných destiček s jinou geometrií atd.

4.3.1 Programová struktura

Program pro CNC soustruh je sekvenční a zarovnan v blocích. Blok se skládá z několika kódů, které spouští různorodé funkce stroje. [11, s. 4]

Zvyklostí je každý blok číslovat a ukončit středníkem. Např.:

```
N005 G0 X90 Z100;
```

```
N010 G96 S200;
```

Pro systém Fanuc není třeba bloky číslovat ani ukončovat středníkem. Středník si systém doplní a bloky jsou programem postupně vykonávány tak, v jakém pořadí byly zapsány. [11] Vytvořené bloky v programech nebyly číslovány ani ukončeny středníky.

4.3.2 Přehled použitých kódů

Nejsou zde vypsány všechny dostupné příkazy pro CNC stroj, ale jen příkazy použité ve vytvořených programech.

„M01 – zastavení programu, pokud je aktivní funkce Option stop

M03 – otáčení vřetene proti směru hodinových ručiček

M04 - otáčení vřetene po směru hodinových ručiček

M05 – zastavení vřetene

M08 – zapnutí procesní kapaliny

M09 – vypnutí procesní kapaliny

M30 – konec programu a přesun na začátek

G00 – pohyb nástroje rychloposuvem

G01 – lineární interpolace zvoleným posuvem

G21 – metrický systém

G92 – maximální otáčky vřetene

G95 – posuv v mm/ot

G96 – programování s konstantní řeznou rychlostí

G97 – programování v ot/min

G40 – deaktivace kompenzace zaoblení hrotu nástroje“ [11, s. 5-10]

Txxxxy – volání polohy nástroje v revolverové hlavě (xx) a pozici korekcí nástroje z tabulky (yy)

4.4 Výroba

Nový výrobní postup se skládá z pěti operací. Vzhledem k technologickým možnostem stroje a dostupného upínacího systému nelze díl vyrobit s menším počtem operací. Pokud by byl k dispozici dvou vřetenový CNC soustruh, díl by bylo možné vyrobit na dvě upnutí. V případě zakoupení přesnějšího univerzálního sklíčidla a upínacích čelistí by nejspíš bylo možné počet operací snížit. Takováto investice je však velmi nákladná a firma o ní neuvažuje.

4.4.1 Příprava stroje

Před započítím obrábění je potřeba stroj nastavit na plánovanou výrobu. Programy jsou nahrány do paměti, nástroje upevněny do revolverové hlavy, zadány korekce nástrojů, připravena sklíčidla a nastavena poloha obrobku

V revolverové hlavě je možné umístit 12 nástrojů. Při umísťování do pozic je nutné dbát na posloupnost volání nástrojů a pokud možno je v tomto pořadí i umísťovat. S hlavou je pak otáčeno jedním směrem a jsou zkráceny neproduktivní časy. Dále je při umísťování nástrojů dát pozor, aby při obrábění jedním nástrojem nedošlo ke kolizi ostatních nástrojů s obrobkem, sklíčidlem nebo koníkem. Může být například obráběn vnější průměr, ve vedlejší pozici bude upnut dlouhý vrták a může dojít ke kolizi s upínacími čelistmi nebo sklíčidlem. Umístění nástrojů v revolverové hlavě pro obrábění vybraného dílu je zobrazeno na Obr. 16.



Obr. 16 Nástroje umístěné v revolverové hlavě

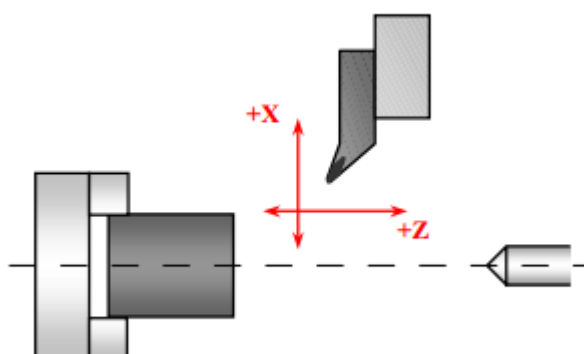
4.4.2 Korekce nástrojů

Po umístění nástrojů je nutné zadat jejich korekce. Korekcemi je systému určena poloha a geometrie nástrojů v souřadném systému. Ve firmě má každý nástroj zaznamenané korekce a není potřeba je znovu odměřovat. Korekce nástrojů nejsou součástí programu, v samotném programu se programuje s polohou špičky nástroje. Při výměně destičky či jejím opotřebení jsou přepsány hodnoty v tabulce korekcí. [12, s. 22] Hodnoty X a Z slouží k souřadnicovému určení polohy špičky ke vztažnému bodu na revolverové hlavě, hodnota R je poloměr špičky a T je poloha nože při záběru.

Na Obr. 17 jsou zobrazeny korekce nástrojů upnutých nožů pro obrábění vybraného dílu. Korekce poloměru špičky a poloha nože při záběru nejsou ve firmě používány. Poloha špičky nástroje je zohledněna v těle programu s úpravou souřadnic drah pohybu. Po odladění programu už není korekci nutno zadávat do tabulky. Firma se tímto snaží obsluze ulehčit práci, zmenšit prostor pro vytvoření chyby a předejít výrobě zmetků při špatném dosazení do tabulky.

NÁSTR. KOR. /GEOMETRIE				
CIS.	X	Z	R	T
G 01	117.840	47.220	0.000	0
G 02	0.000	0.000	0.000	0
G 03	0.000	202.500	0.000	0
G 04	0.000	0.000	0.000	0
G 05	-25.050	168.704	0.000	0
G 06	0.000	0.000	0.000	0
G 07	47.560	130.173	0.000	0
G 08	0.000	0.000	0.000	0

Obr. 17 Tabulka korekcí nástrojů



Obr. 18 Souřadný systém [12, s. 19]

4.4.3 Korekce polohy obrobku

Po upnutí obrobku je nutno určit jeho polohu, resp. nulový bod. Nulový bod souřadného systému stroje se přesouvá na čelo obrobku. Od tohoto bodu jsou odvozeny všechny souřadnice při programování. [12, s. 25] Ve firmě se špička vnějšího nože posune na čelo obrobku a systém si přes korekci nástroje spočítá nulový bod.

4.4.4 První upnutí

Tab. 6 Operace 5 na CNC

Op.	Úkon	Název	v_c	f	a_p	i
5	1	upnout do univerzálního sklíčidla				
	2	vrtat $\varnothing 32$ do $L=80$	140	0,10	16	1
	3	zarovnat čelo na celkovou délku 157,2	200	0,25	0,8	1
	4	hrubovat $\varnothing 86,6$ do $L=80$	200	0,25	1,7	1
	5	hrubovat otvor na $\varnothing 45,4$ do $L=80$	220	0,25	2,0	4
	6	hrubovat otvor na $\varnothing 55,4$ do $L=26,8$ + srazit hranu $1 \times 45^\circ$	220	0,25	2,0	3
	7	odepnout				

Program:

```
%  
O2000(ZOELLER 0240506024 – OPERACE 5)  
G21  
G10 P0 Z-295  
G92 S2500  
M01
```

Hlavička programu, je zde definována poloha obrobku, metrický systém, maximální otáčky.

```
(VRTAK PLATK. D32)  
G0 G40 G95 X250 Z250 T0300 G96 S140 M03  
X0 Z5 T0303 M8  
G1 Z-80 F0.1  
G0 Z10  
X250 Z250 T0300 M09  
M05  
M01
```

Vrtání otvoru, koresponduje s úkonem č. 2. Je volán nástroj č. 3 na pozici s absolutními souřadnicemi. Vřetenem je roztočeno proti směru hodinových ručiček na otáčky odpovídající řezné rychlosti 140 ot/min. V následném kroku jsou již volány korekce polohy nástroje pro najetí k obrobku rychloposuvem a zapnutí přívodu procesní kapaliny. Posuvem 0,1 mm/ot je vrtán otvor do hloubky 80 mm. Rychloposuvem poté nástroj vyjede z otvoru, odjede na absolutní souřadnice, vypne se přívod procesní kapaliny a je zastaveno vřetenem.

```
(NUZ TRIGON R0.8)  
G0 G40 G95 X250 Z250 T0100 G96 S200 M04
```

X96 Z0 T0101 M8
G1 X30 F0.25
Z0.5
G0 X86.6
G1 Z-80
Z-84 X92
G0 X250 Z250 T0100 M09
M01

Hrubování vnějším nožem, koresponduje s úkony č. 3-4. Je zvolena konstantní řezná rychlost 200 m/min, stroj si při změně X souřadnice nástroje úměrně mění otáčky vřetene pro zachování řezné rychlosti.

(NUZ VNITRNI TRG DO OTVORU R0.8)
G0 G40 G95 G97 X250 Z250 T0500 G96 S220 M04
X36 Z5 T0505 M8
G1 Z-80 F0.25
X32
G0 Z5
X40
G1 Z-80
X36
G0 Z5
X44
G1 Z-80
X40
G0 Z5
X48
G1 Z-26.8
A255 X42
G0 Z5
X52
G1 Z-26.8
A255 X42
G0 Z5
X57.7 Z0.1
G1 X55.4 Z-1
Z-26.8
A255 X45.4
Z-80
X42 Z-84
G0 Z10
X250 Z250 T0500 M09
M05

M01
M30
%

Hrubování vnitřním nožem, koresponduje s úkony č. 5-6. Hrubuje se na několik úběrů. Třemi úběry je hrubován průchozí otvor v úkonu č. 5, následně je hrubován na dva úběry otvor v úkonu č. 6. Posledním úběrem jsou při nepřerušném řezu obrobena oba otvory na výsledný průměr. Nůž obrobí vnější otvor, srazí hranu 105° a pokračuje obrobením vnitřního otvoru. Příkaz A255 značí posun nože po přímce v úhlu 255° po směru hodinových ručiček od osy posuvového pohybu. Nůž je posouván nad osou obrobku, takže příkazem A255 je obráběno zkosení 105° dle výkresu.

4.4.5 Druhé upnutí

Tab. 7 Operace 10 na CNC

Op.	Úkon	Název	v_c	f	a_p	i
10	1	upnout do univerzálního sklíčidla				
	2	vrtat $\varnothing 32$ do $L=80$	140	0,10	16	1
	3	zarovnat čelo na celkovou délku 156,4	200	0,25	0,8	1
	4	hrubovat $\varnothing 86,6$ do $L=80$	200	0,25	1,7	1
	5	hrubovat $\varnothing 70,6$ + zkosení	220	0,25	2,0	4
	6	hrubovat otvor na $\varnothing 45,4$ do $L=80$	220	0,25	2,0	4
	7	hrubovat otvor na $\varnothing 55,4$ do $L=35,1$ + srazit hranu $1 \times 45^\circ$	220	0,25	2,0	3
	8	odepnout				

Program:

Program je téměř stejný jako program předchozí, liší se pouze v dalším obrábění úkonu č. 5 a posunutí polohy obrobku.

%
O2001(ZOELLER 0240506024 – OPERACE 10)
G21
G10 P0 Z-294.2
G92 S2500
M01

(VRTAK PLATK. D32)
G0 G40 G95 X250 Z250 T0300 G97 S1400 M03
G0 X0 Z5 T0303 M8
G1 Z-80 F0.1
G0 Z10

G0 X250 Z250 T0300 M09
M05
M01

Koresponduje s úkonem č. 2.

(NUZ TRG.R0.8)
G0 G40 G95 X250 Z250 T0100 G96 S200 M04
X96 Z0 T0101 M8
G1 X30 F0.25
Z0.5
G0 X86.6
G1 Z-80 F0.25
X89
G0 Z2
X82
G1 Z-11.4
X83 Z-10.5
G0 Z2
X78
G1 Z-10.3
X79 Z-9.5
G0 Z2
X74
G1 Z-9.15
X75 Z-8.5
G0 Z2
X70.6
G1 Z-8.1
A120 Z-13.8
G0 X250 Z250 T0100 M09
M01

Koresponduje s úkony č. 3-5.

(NUZ VNITRNI TRG DO OTVORU R0.8)
G0 G40 G95 X250 Z250 T0500 G96 S220 M04
X36 Z5 T0505 M8
G1 Z-80 F0.25
X32
G0 Z5
X40
G1 Z-80
X36
G0 Z5

X44
 G1 Z-80
 X40
 G0 Z5
 X48
 G1 Z-35.1
 A255 X42
 G0 Z5
 X52
 G1 Z-35.1
 A255 X42
 G0 Z5
 X57.7 Z0.1
 G1 X55.4 Z-1
 Z-35.1
 A255 X45.4
 Z-80
 X42 Z-84
 G0 Z10
 X250 Z250 T0500 M09
 M05
 M01
 M30
 %

Koresponduje s úkony č. 6-7.

4.4.6 Třetí upnutí – mezi hroty

Princip upnutí stejný jako v kapitole 2.3.2, je použit stejný přípravek (Obr. 7 - Obr. 8). Koník je zde ovládán hydraulicky s nožním ovládáním.

Tab. 8 Operace 15 na CNC

Op.	Úkon	Název	v_c	f	a_p	i
15	1	upnout mezi hroty				
	2	obrobit načisto $\varnothing 86$ + srazit hranu $0.5 \times 45^\circ$	250	0,12	0,3	1
	3	odepnout				

Program:

%
 O2002(ZOELLER 0240506024 – OPERACE 15)
 G21
 G10 P0 Z-350

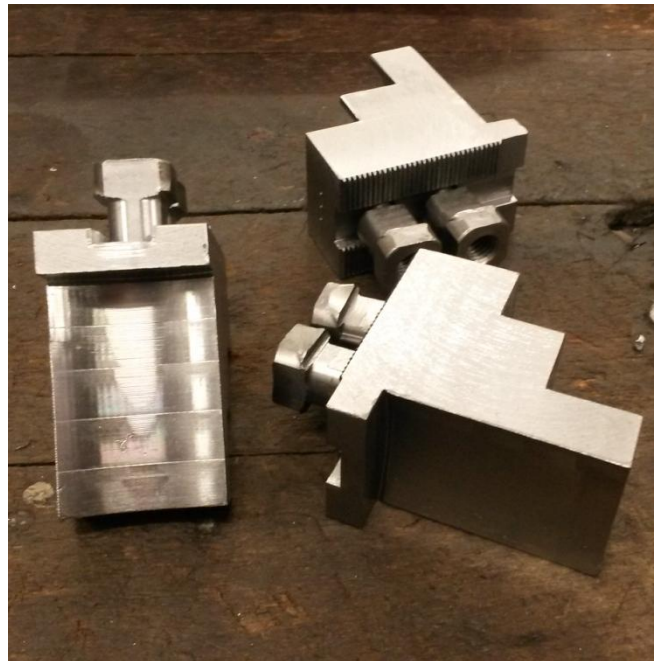
G92 S2500
M01

N10(NUZ NACISTO VNEJSI)
G0 G40 G95 X200 Z200 T0700 G96 S250 M04
X87 Z1 T0707 M8
G1 Z0.1 X85.95 F0.12
Z-146 X85.93
X88
G0 X200 Z200 T0700 M09
M05
M01
M30
%

Koresponduje s úkonem č. 2. Nůž najede nad obrobek a poté obrábí vnější průměr. Na základě zkušeností je koncový bod dráhy určen souřadnicemi X a Z pro kompenzaci nepřesnosti dráhy stroje a zamezení tvorby kužele.

4.4.7 Čtvrté upnutí

Díl je upnut do čelistí vyrobených jen pro tento díl (Obr. 19). V těchto posledních dvou operacích je obráběno načisto a tyto čelisti jsou nutné pro zachování předepsaných geometrických tolerancí. Důvody již byly popsány v kapitole 2.3.3.



Obr. 19 Čelisti pro operace 4 a 5 na CNC

Tab. 9 Operace 20 na CNC

Op.	Úkon	Název	v_c	f	a_p	i
20	1	upnout do čelistí pro tento dílec				
	2	zarovnat čelo na celkovou délku 156,2	250	0,12	0,2	1
	3	obrobit načisto $\varnothing 70f6$	250	0,20	0,3	1
	4	obrobit načisto $\varnothing 56$ do $L=35$ + zkosení 105°	200	0,15	0,3	1
	5	obrobit načisto $\varnothing 46H7$	200	0,10	0,3	1
	6	odepnout				

Program:

%

O2003(ZOELLER 0240506024 – OPERACE 20)

G21

G10 P0 Z-292.2

G92 S2500

M01

(NUZ NACISTO VNEJSI)

G0 G40 G95 X250 Z250 T0700 G96 S250 M04

X72 Z0 T0707 M8

G1 X54 F0.12

Z0.5

G0 X68.6

G1 Z0.1

Z-0.7 X69.96

Z-8

A120 X88

G0 X250 Z250 T0700 M09

M05

M01

Koresponduje s úkony č. 2-3.

(NUZ TRG. PR.32 DO OTVORU R0.4)

G0 G40 G95 X250 Z250 T0900 G96 S200 M03

X58.3 Z3 T0909 M8

G1 Z0.1 F0.15

X55.9 Z-1.1

Z-35

A255 X46.012

Z-132 X46 F0.1

X42 F0.3

G0 Z10

X250 Z250 T0900 M09
M05
M01
M30
%

Koresponduje s úkony č. 4-5.

4.4.8 Páté upnutí

Po upnutí, stejně jako při konvenční výrobě, se díl musí vyrovnat na obvodové házení. Důvody a způsob jsou zmíněny v kapitole 2.3.3. V případě zakoupení univerzálního sklíčidla s vysokou hodnotou opakovatelné přesnosti upnutí obrobku by odpadlo vyrovnávání dílu na obvodové házení.

Tab. 10 Operace 25 na CNC

Op.	Úkon	Název	v_c	f	a_p	i
25	1	upnout do čelistí pro tento dílec a vyrovnat na obvodové házení v 0,02 mm				
	2	zarovnat čelo na celkovou délku 156	250	0,12	0,2	1
	3	obrobit načisto $\varnothing 56$ do $L=26,7$ + zkosení 105°	200	0,15	0,3	1
	4	odepnout				

Program:

%
O2004(ZOELLER 0240506024 – OPERACE 25)
G21
G10 P0 Z-292
G92 S2500
M01

(NUZ NACISTO VNEJSI)
G0 G40 G95 X250 Z250 T0700 G96 S250 M04
X87 Z-0.9 T0707 M8
G1 X85.5 Z0 F0.12
X54
Z1
G0 X250 Z250 T0700 M09
M05
M01

Koresponduje s úkonem č. 2.

(NUZ TRG. PR.32 DO OTVORU R0.4)
 G0 G40 G95 X250 Z250 T0900 G96 S200 M03
 X58.3 Z3 T0909 M8
 G1 Z0.1 F0.15
 X55.9 Z-1.1
 Z-26.7
 A255 X44
 G0 Z10
 X250 Z250 T0900 M09
 M05
 M01
 M30
 %

Koresponduje s úkonem č. 3.

5 Zhodnocení

5.1 SUR 350

Při výrobě konvenčního dílce byl zaznamenán jednotkový a dávkový čas (Tab. 11). Nebyl zvlášť měřen čas jednotkový za klidu stroje a čas strojní. Pro účely této práce je postačující celkový čas výroby jednoho dílce.

Tab. 11 Spotřeba času na SUR 350

Operace	t_A [min]	t_B [min]
5	4,7	16
10	6,1	0
15	2,6	7
20	2,5	0
25	2,4	3
30	2,6	0
35	3,8	5
40	2,7	0
45	3,9	11
50	5,4	15
55	2,6	0
Σ	39,3	57

Kde: t_A jednotkový čas
 t_B dávkový čas

Po součtu dílčích časů všech operací pro výrobu dílu je celkový jednotkový čas 39,3 minut a celkový dávkový čas 57 minut. Dávkové časy jsou u některých operací nulové z důvodu stejného nastavení stroje jako v předchozí operaci. Dávkové časy byly zaokrouhleny na nejbližší celé číslo, obsluha při výrobě další série stroj nenastaví za stejný čas s přesností na vteřiny a pro účely firmy tyto údaje postačují.

Při výrobě dvaceti kusů byly vyhotoveny dva zmetkové kusy a tři další kusy si zákazník odebral s výhradou.

5.2 Tornado T6M

Na reálnou výrobu dílce se po sestavení programů, koupě vnitřního nože a vytvoření čelistí již nenašla kapacita. Vytvořené programy byly odzkoušeny a byl zaznamenán jednotkový strojní čas. Další časy byly odhadnuty na základě zkušeností nebo převedeny z výroby podobných dílců.

Po součtu časů všech operací pro výrobu dílu je celkový jednotkový čas 15,4 minut a celkový dávkový čas 63 minut.

Tab. 12 Spotřeba času Tornado T6M

Operace	t_s [min]	t_{A11} [min]	t_A [min]	t_B [min]
5	2,6	1,3	4,0	38
10	2,9	1,1	4,0	3
15	1,4	1,0	2,4	10
20	1,3	0,8	2,2	12
25	0,4	2,5	2,9	0
Σ	8,7	7	15,4	63

Kde: t_s jednotkový strojní čas
 t_{A11} jednotkový čas za klidu stroje
 t_A jednotkový čas
 t_B dávkový čas

Jednotkový čas t_A je počítán dle vzorce (2):

$$t_A = t_{A11} + t_s [\text{min}] \quad (2)$$

Vzhledem ke zkušenostem s přesností výroby na soustruhu T6M by neměl být vyroben jediný zmetkový kus, pokud nedojde k lidskému pochybení.

5.3 Porovnání

Při výpočtu počtu efektivních hodin je uvažována jedna dávka o dvaceti kusech (Tab. 13). Z naměřených hodnot vyplývá, že na CNC je vyšší dávkový čas, ale strojní klesl o více než dvojnásobek. Důvodem je snížení vedlejších neproduktivních časů, snížení počtu upnutí a použití vyšších řezných rychlostí.

Celkový výrobní čas se výrobou na CNC snížil 2,27krát.

Tab. 13 Porovnání spotřeby času

Stroj	t_A [min]	t_B [min]	q	p_d	H_n [hod]
Škoda SUR 350	39,31	57	20	1	14,05
Tornado T6M	15,40	63	20	1	6,18

Kde: t_A jednotkový čas
 t_B dávkový čas
q počet kusů v dávce
 p_d počet dávek
 H_n počet efektivních hodin

Počet efektivních hodin H_n je počítáno dle vzorce (3):

$$H_n = \frac{t_A * q + t_B * p_d}{60} [\text{hod}] \quad (3)$$

Výroba na CNC soustruhu je rychlejší, přesnější a méně náročná. Zároveň není potřeba tak zkušené obsluhy a díl může vyrábět více zaměstnanců firmy než v případě konvenční výroby, kde byl kvalifikovaný pouze jeden pracovník.

6 Závěr

Tato bakalářská práce měla vytyčených několik cílů. Prvním z nich byl rozbor stávající technologie výroby, která již byla nedostačující a bylo nutné tuto technologii inovovat. Z tohoto důvodu byl proveden detailní rozbor současné výroby na konvenčním soustruhu Škoda SUR 350. Díl byl obráběn na jedenáct upnutí s vysokými neproduktivními časy. Na konvenční obrábění je potřeba velmi zkušené obsluhy.

Dále byly v práci popsány rozdíly mezi konvenčním a CNC obráběním, charakteristiky CNC obrábění a důvody, proč je v dnešní době tak důležité a potřebné. CNC obrábění je v dnešní době standardní záležitost, některé díly ani nelze vyrábět konvenčním způsobem. Toto obrábění je přesné, rychlé, produktivní a dovoluje výrobu tisíce identických dílů. Byly uvedeny systémy pro podporu výroby, zjednodušení obrábění a výrobu složitějších dílů, kde systém sám vygeneruje program pro obrábění. Pro nastavení stroje a spuštění výroby je potřebný kvalifikovaný pracovník, ale pro obsluhu zaběhnuté výroby už nejsou tak vysoké nároky.

Dalším cílem bylo zjištění technologických možností a jejich aplikací do výroby. Byly uvedeny specifikace vybraného stroje, dostupné vybavení, princip tvorby programů, byl zmíněn řídicí systém FANUC soustruhu T6M. Pro CNC obrábění byly zhotoveny výrobní programy, detailní výrobní postup s časovým vyhodnocením a byl uveden seznam použitých nástrojů a vyměnitelných destiček.

Výroba byla porovnána z hlediska časové náročnosti a přesnosti výroby. Z naměřených hodnot vyplývá, že na CNC je sice větší dávkový čas, ale strojní klesl o více než dvojnásobek. Důvodem je snížení vedlejších neproduktivních časů, snížení počtu upnutí a použití vyšších řezných rychlostí. Celkový čas výroby dvaceti kusů na konvenčním soustruhu byl 14,05 hodin, na CNC soustruhu 6,18 hodin.

Výroba na CNC soustruhu je přesnější, méně náročná a 2,27 krát rychlejší. Současně není potřeba zkušené obsluhy a díl může vyrábět více zaměstnanců firmy než v případě konvenční výroby, kde byl kvalifikovaný pouze jeden pracovník.

Při konvenční výrobě jsou vyráběny zmetky nebo díly, které zákazník odebere s výhradou. Zavedení navrženého postupu ve firmě je tedy důležitým krokem k zjednodušení výroby a udržení si dobrého jména u odběratele.

7 Seznam použité literatury

- [1] Vyměnitelné břitové destičky. In: *Tungaloy Czech s.r.o.* [online]. Tungaloy corporation. 2013, s. 146 [cit. 2015-06-15]. Dostupné z: http://www.tungaloy.co.jp/cz/products/catalog/02_TAC_Inserts_cs.pdf
- [2] Úchylkoměr s magnetickým stojánkem. In: *Vybavení pro dílnu, dům i zahradu | unitechnic.cz s.r.o.* [online]. Unitechnic cz. ©1996-2015 [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: <http://www.unimax.cz/uchylkomer-s-magnetickym-stojankem/d/>
- [3] Advantages Of CNC Machining Over Conventional Machining. *Euro Machining* [online]. 2013-12-3 [cit. 2015-06-15]. Dostupné z: <http://www.euromachining.com/advantages-of-cnc-machining-over-conventional-machining/>
- [4] Increasing Machine Tool Productivity With CNC Technology. *Canadian Industrial Machinery* [online]. FMA Communications. 2011-08-16 [cit. 2015-06-15]. Dostupné z: <http://www.cimindustry.com/article/controlsoftware/increasing-machine-tool-productivity-with-cnc-technology>
- [5] RYAN, V. Advantages and disadvantages of CNC machines. *A Design and Technology Site* [online]. ©2004-2009 [cit. 2015-06-15]. Dostupné z: <http://www.technologystudent.com/cam/cncman4.htm>
- [6] Katalog CAD CAM software. *Víceosé frézování* [online]. DELCAM Brno. ©2010-2014 [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: <http://www.cadcam-zdarma.cz/katalog-cad-cam-software/>
- [7] CAD/CAM systém KOVOPROG - jediný český CAD CAM systém. *CAD/CAM systém KOVOPROG* [online]. Peška & Brtna Computer Service. ©1999-2014 [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: <http://kovoprog.cz/cz/index.html>
- [8] SCHULTZ, Rick. The Modern CNC Advantage. In: *Manufacturing Engineering: aerospace & defense manufacturing 2014* [online]. 2014, 27.09.2014 (1): 119-121 [cit. 2015-06-01]. ISSN 03610853. Dostupné z: <http://ezproxy.techlib.cz/login?url=http://search.proquest.com.ezproxy.techlib.cz/docview/1564775490?accountid=119841>
- [9] Tornado T6M. *Consorta Praha s.r.o.* [online]. 2013-01-28 [cit. 2015-06-14]. Dostupné z: <http://consorta.cz/tornado-t6m/>
- [10] Tornado T6M. In: *Colchester-Harrison CNC Lathes and vertical machining Centres* [online]. Colchester-Harrison 600Group [cit. 2015-06-15]. Dostupné z: <http://www.colchester-harrison.com/products/product.asp?id=75>
- [11] CONSORTA PRAHA. *Programování*. 2005, s. 92.
- [12] KELLER, Petr. Programování a řízení CNC strojů. *KVS* [online]. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní - Katedra výrobních systémů. ©2005, s. 51 [cit. 2015-06-16]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf

8 Seznam tabulek

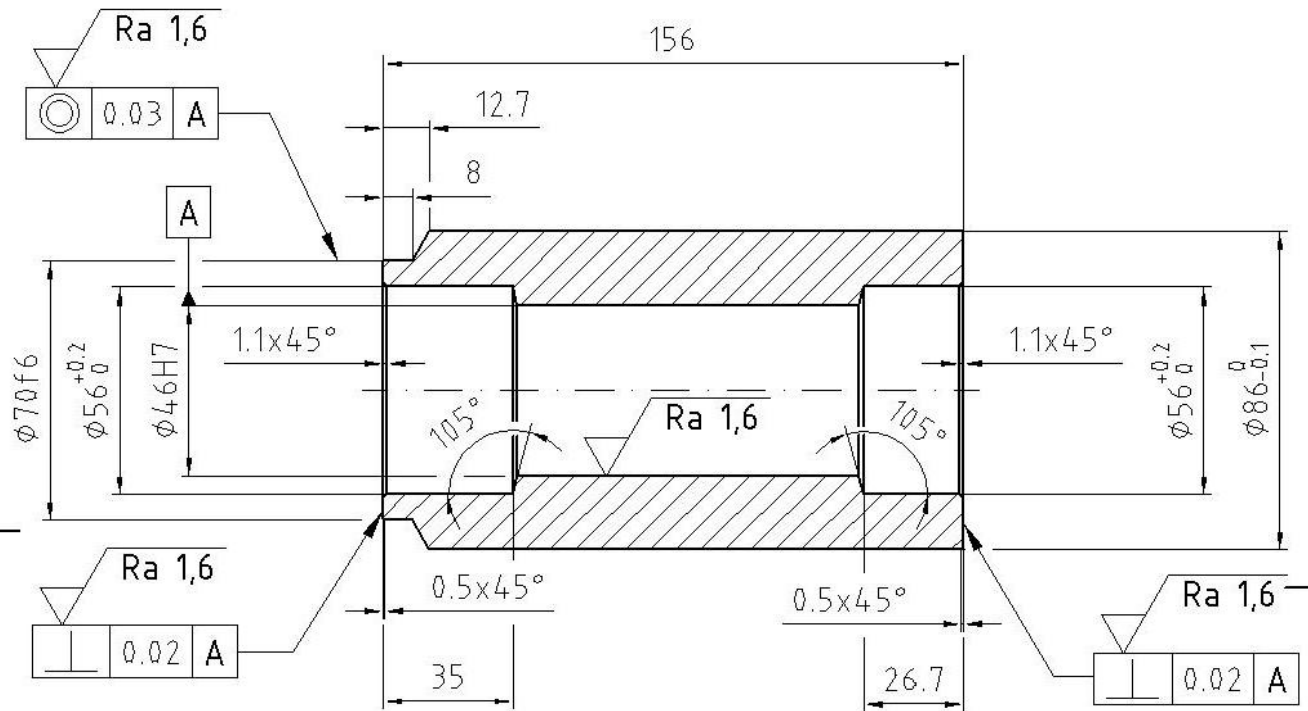
Tab. 1 První operace na konvenčním soustruhu	12
Tab. 2 Vrtání otvorů ve 2 operacích	13
Tab. 3 Vrtání průchozího otvoru	15
Tab. 4 Obrobení vnějšího průměru upnutím mezi hroty	15
Tab. 5 Dokončení výroby	17
Tab. 6 Operace 5 na CNC.....	29
Tab. 7 Operace 10 na CNC.....	31
Tab. 8 Operace 15 na CNC.....	33
Tab. 9 Operace 20 na CNC.....	35
Tab. 10 Operace 25 na CNC.....	36
Tab. 11 Spotřeba času na SUR 350	37
Tab. 12 Spotřeba času Tornado T6M	38
Tab. 13 Porovnání spotřeby času.....	39

9 Seznam obrázků

Obr. 1 Vybraný díl.....	8
Obr. 2 Soustruh Škoda SUR 350	9
Obr. 3 Přesnost a tvar VBD [1, s. 2].....	11
Obr. 4 Speciální držák vrtáku pro upnutí v nožové hlavě	14
Obr. 5 Držák upnutý v nožové hlavě.....	14
Obr. 6 Upnutý vrták.....	14
Obr. 7 Přípravek pro obrábění mezi hroty	16
Obr. 8 Přípravek pro obrábění mezi hroty s obráběným dílem	16
Obr. 9 Číselníkový úchylkoměr [2]	17
Obr. 10 Vyhotovený díl – vnější pohled.....	18
Obr. 11 Vyhotovený díl – otvory.....	18
Obr. 12 Interpretace bodů pro definování křivky [8]	22
Obr. 13 Porovnání tradičního CNC obrábění (vlevo) a moderního obrábění (vpravo) [8] ..	22
Obr. 14 Tornado T6M [9].....	23
Obr. 15 Nůž pro obrábění otvorů načisto	24
Obr. 16 Nástroje umístěné v revolverové hlavě	27
Obr. 17 Tabulka korekcí nástrojů	28
Obr. 18 Souřadný systém [12, s. 19]	28
Obr. 19 Čelisti pro operace 4 a 5 na CNC	34

10 Seznam příloh

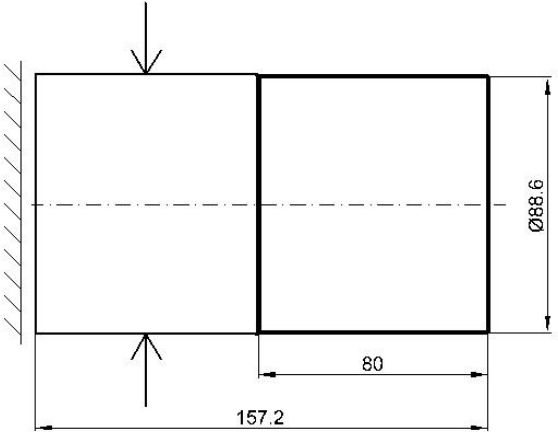
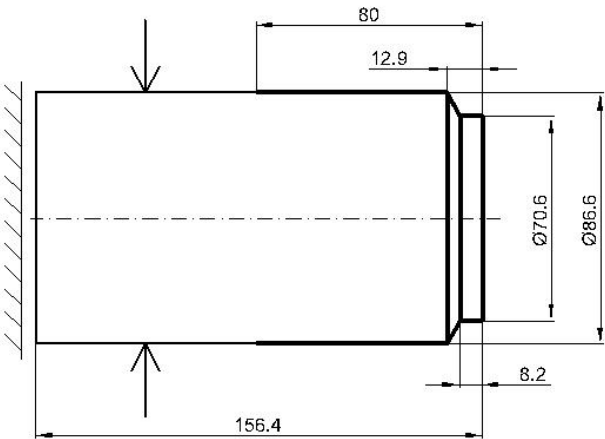
Příloha č. 1 Výkres dílu č. 0240506024.....	45
Příloha č. 2 Výrobní postup pro SUR 350.....	46
Příloha č. 3 Seznam nástrojů pro SUR 350.....	51
Příloha č. 4 Výrobní postup pro Tornado T6M	52
Příloha č. 5 Seznam nástrojů pro Tornado T6M.....	55
Příloha č. 6 Výpis CNC programů.....	56

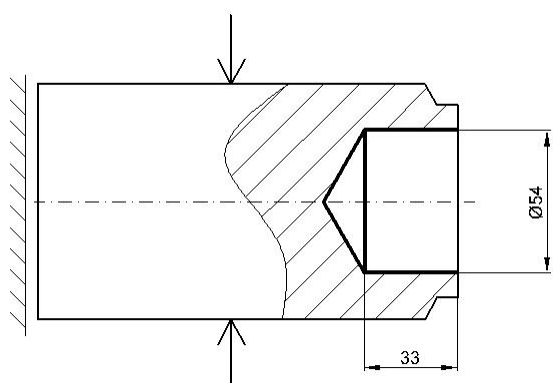
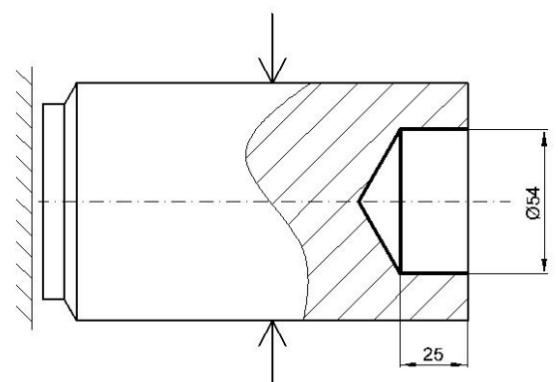
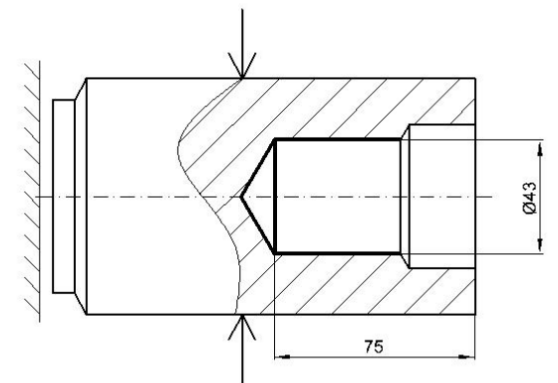


MATERIÁL: S355	MĚŘÍTKO: 1:2			
POLOTOVAR: KR 90 - 158 CSN EN 10060	KRESLIL: ALEŠ TICHÝ	2015-05-31		
PROMÍTÁNÍ: $\begin{matrix} \square \\ \oplus \end{matrix}$ (ISO E)				
TOLEROVÁNÍ PODLE ISO 8015 : NE				
PŘESNOST ISO 2768 - mK			ZMĚNA	DATUM

Kovoobrábění Tichý	NÁZEV	TYP:
	Náboj	
	ČÍSLO VÝKRESU	
	0240506024	
		LIST: 1/1

Příloha č. 2

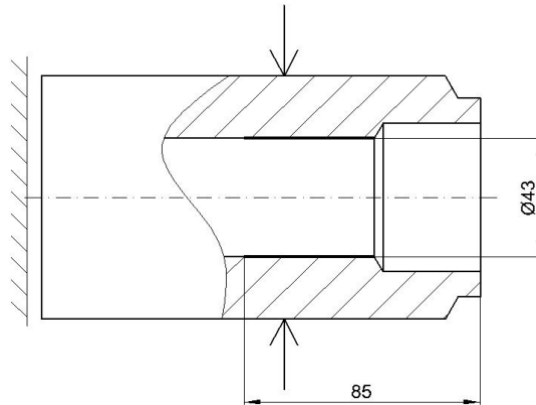
		PŘEHLED OPERACÍ	Počet listů: 5	List č.: 1		
Materiál: ČSN EN 10060		Součást: Náboj Č.výkresu: 0240506024 Polotovar: KR 90 - 158	Stroj: Škoda SUR 350			
Op.	Úkon	Název	v_c	f	a_p	i
5	1	upnout do univerzálního sklíčidla				
	2	zarovnat čelo na celkovou délku 157,2	89	0,30	0,8	1
	3	hrubovat $\varnothing 86,6$ do L=80	86	0,30	1,7	1
	4	odepnout				
 <p style="text-align: center;">Technical drawing of a shaft. The total length is 157.2. The diameter is $\varnothing 86.6$. A section of length 80 is indicated. The drawing shows the shaft being held in a universal lathe chuck, with arrows indicating the clamping points.</p>						
10	1	upnout do univerzálního sklíčidla				
	2	zarovnat čelo na celkovou délku 156,4	89	0,30	0,8	1
	3	hrubovat $\varnothing 86,6$ do L=80	86	0,30	1,7	1
	4	hrubovat $\varnothing 70,6$ včetně úkosu	70	0,30	2,00	4
	5	odepnout				
 <p style="text-align: center;">Technical drawing of a shaft. The total length is 156.4. The diameter is $\varnothing 86.6$. A section of length 80 is indicated. The diameter of the section is $\varnothing 70.6$. The drawing shows the shaft being held in a universal lathe chuck, with arrows indicating the clamping points. Additional dimensions include 12.9 and 8.2.</p>						

PŘEHLED OPERACÍ						List č.: 2
Op.	Úkon	Název	v_c	f	a_p	i
15	1	upnout do univerzálního sklíčidla				
	2	vrtat otvor $\varnothing 54$ do $L=33$	20	0,30	27	1
	3	odepnout				
						
20	1	upnout do univerzálního sklíčidla				
	2	vrtat otvor $\varnothing 54$ do $L=25$	20	0,30	27	1
	3	odepnout				
						
25	1	upnout do univerzálního sklíčidla				
	2	vrtat otvor $\varnothing 43$ do $L=75$	28	0,30	27	1
	3	odepnout				
						

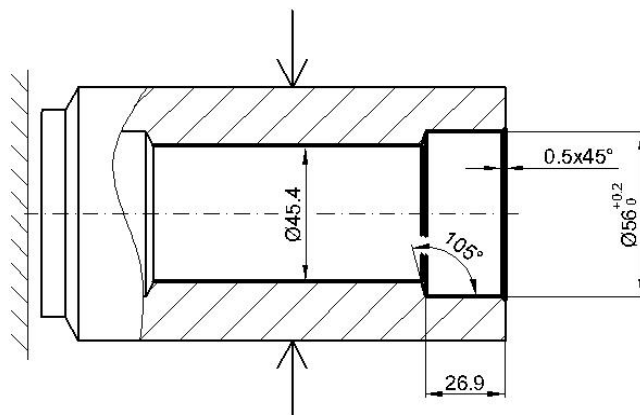
PŘEHLED OPERACÍ

List č.:
3

Op.	Úkon	Název	v_c	f	a_p	i
30	1	upnout do univerzálního sklíčidla				
	2	vrtat otvor $\varnothing 43$ do $L=85$	28	0,30	27	1
	3	odepnout				



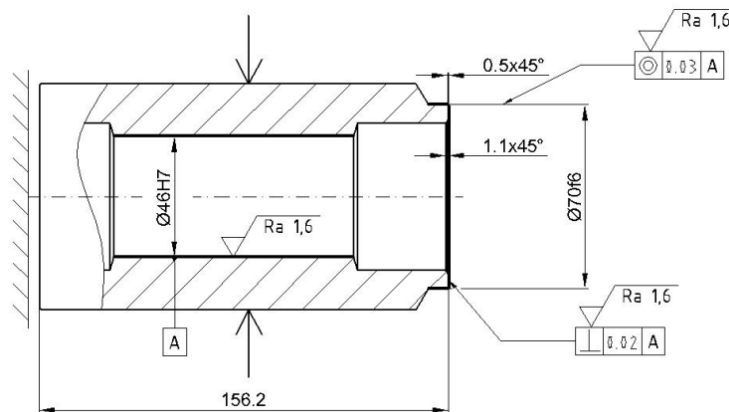
35	1	upnout do univerzálního sklíčidla a vyrovnat na obvodové házení v 0,1 mm				
	2	obrobení načisto $\varnothing 56$ do $L=26,9$ + sražení hrany 105°	55	0,20	1	1
	3	hrubování otvoru na $\varnothing 45,4$	46	0,30	1,25	1
	4	sražení hrany $0.5 \times 45^\circ$	55	0,20	0,50	1
	5	odepnout				



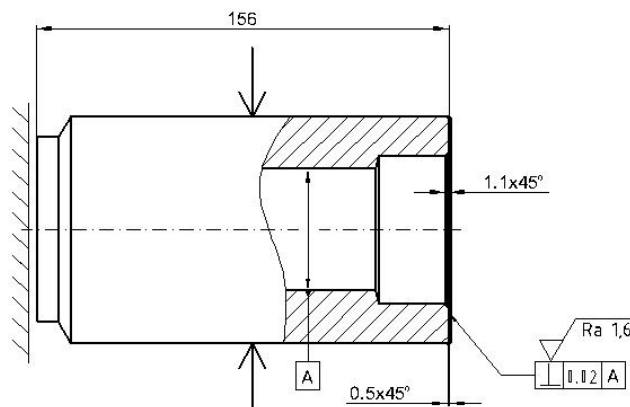
PŘEHLED OPERACÍ						List č.: 4
Op.	Úkon	Název	v_c	f	a_p	i
40	1	upnout do univerzálního sklíčidla a vyrovnat na obvodové házení v 0,1 mm				
	2	obrobení načisto $\varnothing 56$ do $L=35,2$ + sražení hrany 105°	55	0,20	1	1
	3	sražení hrany $0.5 \times 45^\circ$	55	0,20	0,50	1
	4	odepnout				

45	1	upnout mezi hroty				
	2	obrobit načisto $\varnothing 86$	85	0,20	0,3	1
	3	odepnout				

PŘEHLED OPERACÍ				List č.: 5		
Op.	Úkon	Název	v_c	f	a_p	i
50	1	upnout do protočených čelistí pro tento dílec a vyrovnat na obvodové házení v 0,03 mm				
	2	obrobení načisto otvoru $\varnothing 46H7$	46	0,15	0,3	1
	3	zarovnat čelo na celkovou délku 156,2	85	0,20	0,2	1
	4	obrobit načisto $\varnothing 70f7$ + srazit hranu $0,5x45^\circ$	69	0,15	0,3	1
	5	odepnout				



55	1	upnout do protočených čelistí pro tento dílec a vyrovnat na obvodové házení v 0,03 mm				
	2	zarovnat čelo na celkovou délku 156 + srazit hranu $0.5x45^\circ$	85	0,20	0,2	1
	3	odepnout				

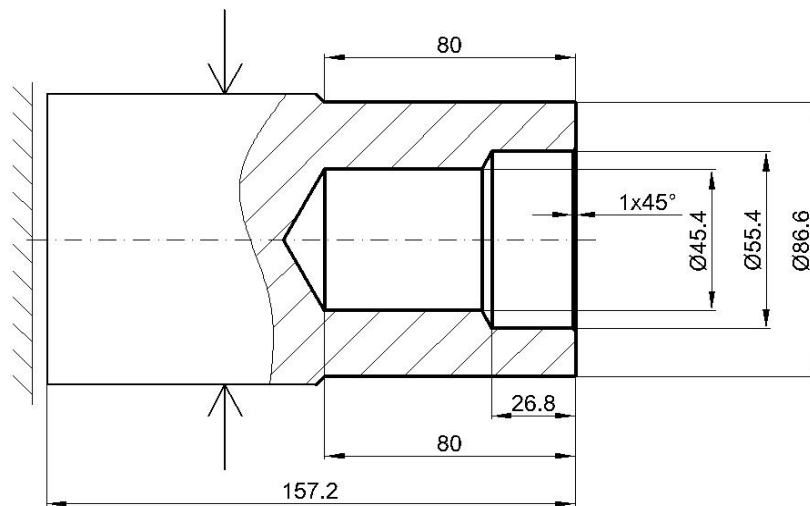


Příloha č. 3

SEZNAM NÁSTROJŮ		Stroj: Škoda SUR 350	Č.výkresu: 0240506024
Op.	Úkon	Nástroj	
5	2;3	přímý nůž PN 0522 s VBD=CNMM 190616 350	
10	2;3	přímý nůž s VBD=CNMM 190616 350	
10	4	stranový nůž s pájeným SK	
15	2	RO vrták ø54mm	
20	2	RO vrták ø54mm	
25	2	RO vrták ø43mm	
30	2	RO vrták ø43mm	
35	2;3	vnitřní ubírací nůž s pájeným SK	
35	4	vnitřní ohnutý nůž s pájeným SK	
40	2	vnitřní ubírací nůž s pájeným SK	
40	3	vnitřní ohnutý nůž s pájeným SK	
45	2	stranový nůž s pájeným SK	
50	2	vnitřní ubírací nůž s pájeným SK	
50	3;4	vnější ohnutý nůž s pájeným SK	
55	2	vnější ohnutý nůž s pájeným SK	

Příloha č. 4

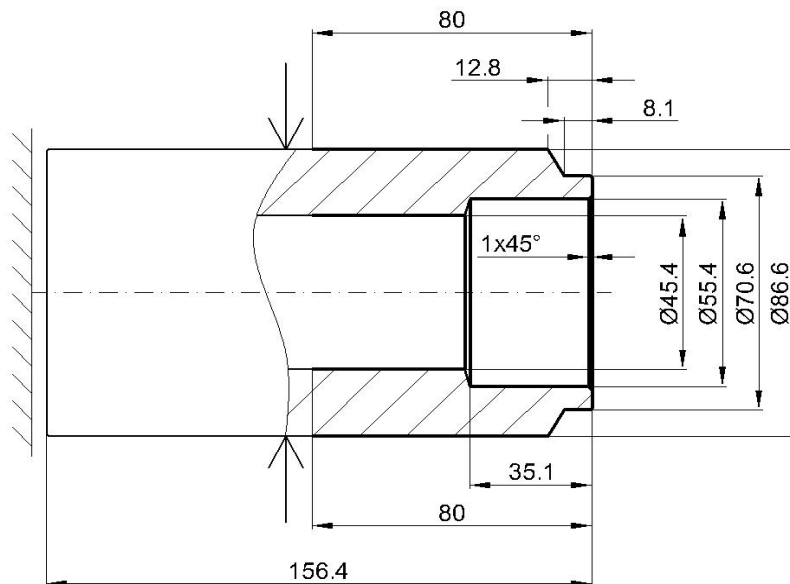
		PŘEHLED OPERACÍ	Počet listů: 3	List č.: 1		
Materiál: ČSN EN 10060		Součást: Náboj Č.výkresu: 0240506024 Polotovar: KR 90 - 158	Stroj: Tornado T2M			
Op.	Úkon	Název	v_c	f	a_p	i
5	1	upnout do univerzálního sklíčidla				
	2	vrtat $\varnothing 32$ do L=80	140	0,10	16	1
	3	zarovnat čelo na celkovou délku 157,2	200	0,25	0,8	1
	4	hrubovat $\varnothing 86,6$ do L=80	200	0,25	1,7	1
	5	hrubovat otvor na $\varnothing 45,4$ do L=80	220	0,25	2,0	4
	6	hrubovat otvor na $\varnothing 55,4$ do L=26,8 + srazit hranu 1x45°	220	0,25	2,0	3
	7	odepnout				



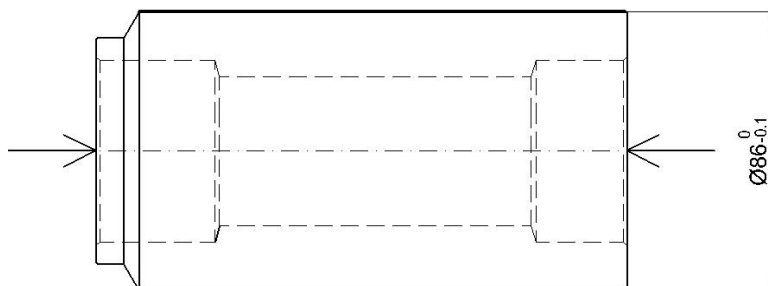
PŘEHLED OPERACÍ

List č.:
2

Op.	Úkon	Název	v_c	f	a_p	i
10	1	upnout do univerzálního sklíčidla				
	2	vrtat $\varnothing 32$ do $L=80$	140	0,10	16	1
	3	zarovnat čelo na celkovou délku 156,4	200	0,25	0,8	1
	4	hrubovat $\varnothing 86,6$ do $L=80$	200	0,25	1,7	1
	5	hrubovat $\varnothing 70,6$ + zkosení	220	0,25	2,0	4
	6	hrubovat otvor na $\varnothing 45,4$ do $L=80$	220	0,25	2,0	4
	7	hrubovat otvor na $\varnothing 55,4$ do $L=35,1$ + srazit hranu $1 \times 45^\circ$	220	0,25	2,0	3
	8	odepnout				



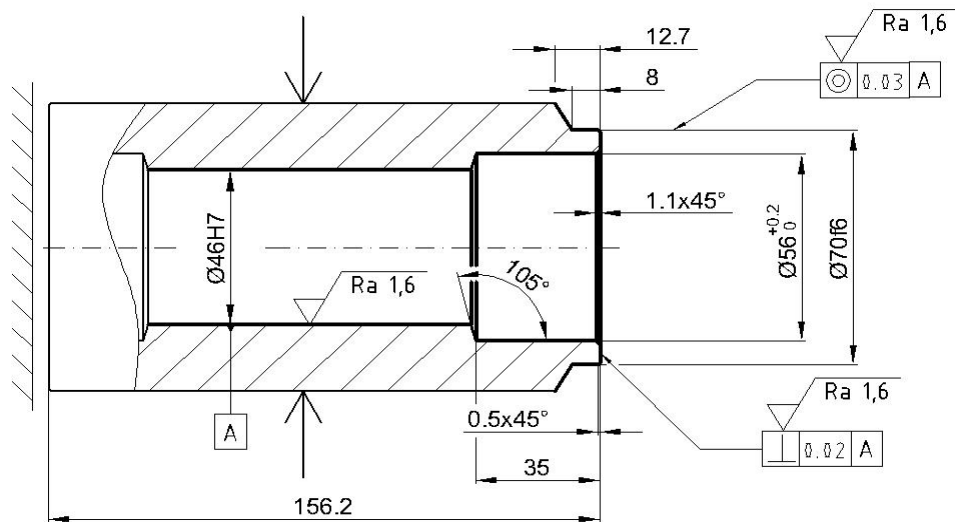
15	1	upnout mezi hroty				
	2	obrobit načisto $\varnothing 86$ + srazit hranu $0.5 \times 45^\circ$	250	0,12	0,3	1
	3	odepnout				



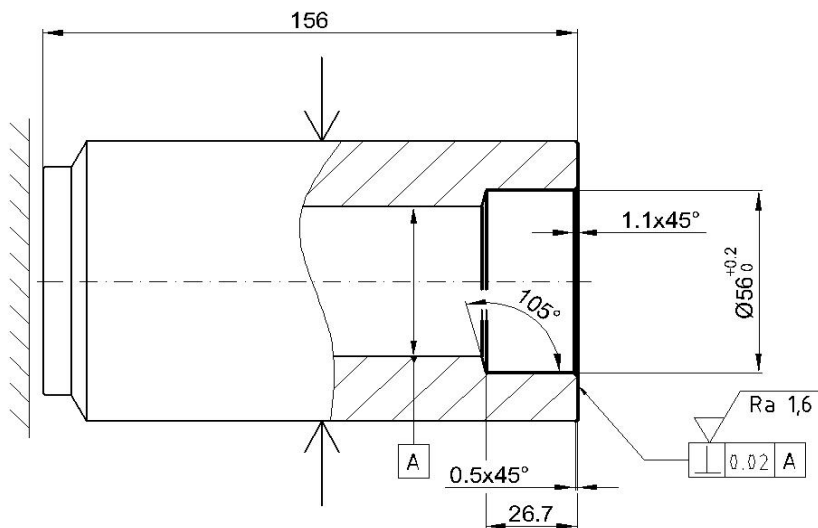
PŘEHLED OPERACÍ

List č.:
3

Op.	Úkon	Název	v_c	f	a_p	i
20	1	upnout do čelistí pro tento dílec				
	2	zarovnat čelo na celkovou délku 156,2	250	0,12	0,2	1
	3	obrobit načisto $\varnothing 70f6$	250	0,20	0,3	1
	4	obrobit načisto $\varnothing 56$ do $L=35$ + zkosení 105°	200	0,15	0,3	1
	5	obrobit načisto $\varnothing 46H7$	200	0,10	0,3	1
	6	odepnout				



25	1	upnout do čelistí pro tento dílec a vyrovnat na obvodové házení v 0,02 mm				
	2	zarovnat čelo na celkovou délku 156	250	0,12	0,2	1
	3	obrobit načisto $\varnothing 56$ do $L=26,7$ + zkosení 105°	200	0,15	0,3	1
	4	odepnout				



Příloha č. 5

SEZNAM NÁSTROJŮ		Stroj: Tornado T2M	Č.výkresu: 0240506024
Op.	Úkon	Nástroj	
5	2	vrták 3D.320.R.06 3206 s VBD XOMT 060304EN HCX1125	
5	3;4	nůž vnější DWLNL 2020 K06 s VBD WNMG 060408EN HCX1125	
5	5;6	nůž vnitřní A20Q PWLNL06 s VBD WNMG 060408EN HCX1125	
10	2	vrták 3D.320.R.06 3206 s VBD XOMT 060304EN HCX1125	
10	3;4;5	nůž vnější DWLNL 2020 K06 s VBD WNMG 060408EN HCX1125	
10	6;7	nůž vnitřní A20Q PWLNL06 s VBD WNMG 060408EN HCX1125	
15	2	nůž vnější PDJNL 2020 K15 s VBD DNMG 150604EN HCX1125	
20	2	nůž vnější DWLNL 2020 K06 s VBD WNMG 060408EN HCX1125	
20	3	nůž vnější PDJNL 2020 K15 s VBD DNMG 150604EN HCX1125	
20	4;5	nůž vnitřní A32S-SDQCR11 s VBD DCMT 11T304EN HCX1125	
25	2	nůž vnější DWLNL 2020 K06 s VBD WNMG 060408EN HCX1125	
25	3	nůž vnitřní A32S-SDQCR11 s VBD DCMT 11T304EN HCX1125	

Příloha č. 6

%

O2000(ZOELLER 0240506024 – OPERACE 5)

G21

G10 P0 Z-295

G92 S2500

M01

(VRTAK PLATK. D32)

G0 G40 G95 X250 Z250 T0300 G97 S1400 M03

X0 Z5 T0303 M8

G1 Z-80 F0.1

G0 Z10

X250 Z250 T0300 M09

M05

M01

(NUZ TRIGON R0.8)

G0 G40 G95 X250 Z250 T0100 G96 S200 M04

X96 Z0 T0101 M8

G1 X30 F0.25

Z0.5

G0 X86.6

G1 Z-80

Z-84 X92

G0 X250 Z250 T0100 M09

M01

(NUZ TRG. PR.32 DO OTVORU R0.8)

G0 G40 G95 G97 X250 Z250 T0500 G96 S220 M04

X36 Z5 T0505 M8

G1 Z-80 F0.25

X32

G0 Z5

X40

G1 Z-80

X36

G0 Z5

X44

G1 Z-80

X40

G0 Z5

X48

G1 Z-26.8

A255 X42

G0 Z5

X52

G1 Z-26.8

A255 X42

G0 Z5

X57.7 Z0.1

G1X55.4 Z-1

Z-26.8
A255 X45.4
Z-80
X42 Z-84
G0 Z10
X250 Z250 T0500 M09
M05
M01
M30
%

%
O2001(ZOELLER 0240506024 – OPERACE 10)
G21
G10 P0 Z-294.2
G92 S2500
M01

(VRTAK PLATK. D32)
G0 G40 G95 X250 Z250 T0300 G97 S1400 M03
G0 X0 Z5 T0303 M8
G1 Z-80 F0.1
G0 Z10
G0 X250 Z250 T0300 M09
M05
M01

(NUZ TRG.R0.8)
G0 G40 G95 X250 Z250 T0100 G96 S200 M04
X96 Z0 T0101 M8
G1 X30 F0.25
Z0.5
G0 X86.6
G1 Z-80 F0.25
X89
G0 Z2
X82
G1 Z-11.4
X83 Z-10.5
G0 Z2
X78
G1 Z-10.3
X79 Z-9.5
G0 Z2
X74
G1 Z-9.15
X75 Z-8.5
G0 Z2
X70.6
G1 Z-8.1

X88 Z-13.8
G0 X250 Z250 T0100 M09
M01

(NUZ TRG. PR.32 DO OTVORU R0.8)
G0 G40 G95 X250 Z250 T0500 G96 S220 M04
X36 Z5 T0505 M8
G1 Z-80 F0.25
X32
G0 Z5
X40
G1 Z-80
X36
G0 Z5
X44
G1 Z-80
X40
G0 Z5
X48
G1 Z-35.1
A255 X42
G0 Z5
X52
G1 Z-35.1
A255 X42
G0 Z5
X57.7 Z0.1
G1 X55.4 Z-1
Z-35.1
A255 X45.4
Z-80
X42 Z-84
G0 Z10
X250 Z250 T0500 M09
M05
M01
M30
%

%
O2002(ZOELLER 0240506024 – OPERACE 15)
G21
G10 P0 Z-350
G92 S2500
M01

(NUZ NACISTO VNEJSI)
G0 G40 G95 X200 Z200 T0700 G96 S250 M04
X87 Z1 T0707 M8

G1 Z0.1 X85.95 F0.12
Z-146 X85.93
X88
G0 X200 Z200 T0700 M09
M05
M01
M30
%

%
O2003(ZOELLER 0240506024 – OPERACE 20)
G21
G10 P0 Z-292.2
G92 S2500
M01

(NUZ NACISTO VNEJSI)
G0 G40 G95 X250 Z250 T0700 G96 S250 M04
X72 Z0 T0707 M8
G1 X54 F0.12
Z0.5
G0 X68.6
G1 Z0.1
Z-0.7 X69.96
Z-8
A120 X88
G0 X250 Z250 T0700 M09
M05
M01

(NUZ NACISTO VNITRNI)
G0 G40 G95 X250 Z250 T0900 G96 S200 M03
X58.3 Z3 T0909 M8
G1 Z0.1 F0.15
X55.9 Z-1.1
Z-35
A255 X46.012
Z-132 X46 F0.1
X42 F0.3
G0 Z10
X250 Z250 T0900 M09
M05
M01
M30
%

%

O2004(ZOELLER 0240506024 – OPERACE 25)

G21

G10 P0 Z-292

G92 S2500

M01

(NUZ NACISTO VNEJSI)

G0 G40 G95 X250 Z250 T0700 G96 S250 M04

X87 Z-0.9 T0707 M8

G1 X85.5 Z0 F0.12

X54

Z1

G0 X250 Z250 T0700 M09

M05

M01

(NUZ NACISTO VNITRNI)

G0 G40 G95 X250 Z250 T0900 G96 S200 M03

X58.3 Z3 T0909 M8

G1 Z0.1 F0.15

X55.9 Z-1.1

Z-26.7

A255 X44

G0 Z10

X250 Z250 T0900 M09

M05

M01

M30

%