

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zefektivnění výroby hřídele
The Effectiveness of the Shaft Production

Student:

Jan Šváb

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Ing. Vladimír Vrba CSc.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Šváb**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Zefektivnění výroby hřídele
The Effectiveness of the Shaft Production

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Problematika obrábění přesných rotačních součástí.
3. Návrh nového postupu výroby.
4. Diskuze experimentálních výsledků.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II, 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-TU Ostrava, 2007. 126 s. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [3] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

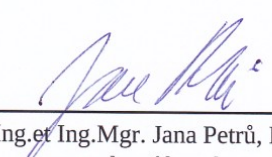
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013




Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry


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

Místopřísežné prohlášení studenta

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

V Ostravě
20.5.2013

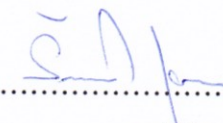
.....
podpis studenta

Prohlášení studenta

Prohlašuji že,

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

V Ostravě: 20.5.2013.....


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jan Šváb

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Lidická 11

789 01 Zábřeh na Moravě

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŠVÁB,JAN. *Zefektivnění výroby hřídele*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2013, 45 s.
Vedoucí práce: Doc. Ing. Vladimír VRBA, Csc.

Tato bakalářská práce se zabývá zefektivněním výroby hřídele a to nahrazením současné technologie doposud používané při výrobě, technologií novou s CNC automatem. Hlavním důvodem pro řešení výše uvedeného tématu je navýšení počtu vyráběných kusů, snížení výrobních časů a s tím související snížení výrobních nákladů. V úvodu je nejprve představena společnost – Skrat kovo s.r.o. Následuje popis stávající výrobní technologie, která je realizována na více strojních zařízeních, doplněný technologickým postupem a volba nového vhodného CNC stroje. V závěrečné části práce je provedeno porovnání a zhodnocení použitých technologií.

ANOTATION OF THESIS

ŠVÁB,JAN. *The Effectiveness of the Shaft Production*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2013, 45 p. Thesis head: Doc. Ing. Vladimír VRBA, Csc.

This bachelor thesis deals with the optimization of shaft production by replacing currently used production technology with new CNC automatized technology. This was solved with the aim of production increase and unit time decrease which would lead to the production costs reduction. The company Skrat kovo s.r.o. is introduced at the beginning. Then the current manufacturing technology realized by multiple machine equipment is described appended with technological process and with the choice of suitable CNC machine. The comparison and evaluation of used technologies is in the final part of this thesis.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	- 7 -
1. Úvod	- 9 -
2. Obecná charakteristika daného problému	- 10 -
2.1 Představení společnosti	- 10 -
2.2 Organizační struktura společnosti	- 12 -
2.3 Sortiment výrobků společnosti Skrat kovo s.r.o.	- 13 -
2.4 Volba součásti	- 13 -
3. Problematika obrábění přesných rotačních součástí	- 14 -
3.1 Rotační tvarové součásti	- 14 -
3.2 Hřídele a jejich rozdělení	- 14 -
3.3 Přesnost pracovního stroje a jeho vliv na obrábění	- 15 -
3.3.1 Přesnost pracovních strojů geometrická	- 16 -
3.3.2 Polohování funkčních částí NC strojů	- 17 -
3.3.3 Pracovní přesnost obráběcích strojů	- 17 -
3.4 Nástroje a jejich vliv na přesnost výroby	- 18 -
3.5 Drsnosti povrchu a stupeň přesnosti rozměru	- 19 -
3.5.1 Parametry struktury povrchu	- 19 -
3.5.2 Přesnosti	- 21 -
4. Návrh nového postupu výroby	- 22 -
4.1 Charakteristika použitého materiálu	- 22 -
4.1.1 Značení materiálu součásti	- 22 -
4.1.2 Chemické složení	- 22 -
4.1.3 Mechanické vlastnosti	- 22 -
4.2 Model součásti	- 22 -
4.3 Výrobní zařízení současné technologie výroby	- 23 -
4.3.1 Hrotový soustruh SUI 50 TOS Trenčín	- 23 -

4.3.2 Konzolová frézka FA 3A U.....	- 24 -
4.3.3 Bruska na hřídele 2UD750	- 25 -
4.4 Technologický postup stávající výroby	- 26 -
4.5 Nástroje použité při současné technologii výroby	- 29 -
4.6 Návrh nové technologii výroby součásti.....	- 29 -
4.6.1 Volba CNC stroje.....	- 30 -
4.6.1.1 Technické parametry stroje.....	- 31 -
4.6.2 Technologický postup výroby nové technologie	- 32 -
5. Diskuze experimentálních výsledků.....	- 33 -
6. Technicko-ekonomické zhodnocení	- 35 -
6.1 Stanovení výrobních časů s nákladů na jeden kus součásti	- 35 -
6.1.1 Stávající technologie	- 35 -
6.1.2 Technologie s CNC	- 36 -
6.2 Porovnání obou technologií	- 37 -
6.2.1 Výrobní časy.....	- 37 -
6.2.2 Výrobní náklady	- 38 -
6.3 Návrh investice	- 38 -
7. Závěr	- 41 -
Seznam použité literatury	- 43 -
Seznam obrázků tabulek a grafů.....	- 45 -
Seznam příloh:	- 45 -

Seznam použitých zkratk a symbolů

Značka	Popis	Jednotka
CAM	Systém počítačové podpory výroby (Computer Aided Manufacturing)	[-]
CAD	Počítačová podpora procesu konstruování (Computer Aided Design)	[-]
CVD	Chemical Vapour Deposition	[-]
C_{KMX}	Pořizovací cena stroje	[Kč]
CNC	Číslicové řízení počítačem (Computerized Numerical Control)	[-]
F_a	Síla axiální	[N]
F_r	Síla radiální	[N]
HSC	Vysoko rychlostní obrábění (High speed cutting)	[-]
HW	Hardware	[-]
IT	Toleranční stupeň	[-]
M_o	Ohybový moment	[N·m]
N_{CNC}	Náklady výroby na CNC automatu	[Kč]
NC	Numerical Control	[-]
N_{KV}	Náklady výroby na konvenčních strojích	[Kč]
N_{SH}	Hodinová sazba stroje	[Kč]
N_U	Úspora výrobních nákladů	[Kč]
PVD	Physical Vapour Deposition	[-]
R_a	Průměrná aritmetická úchylka povrchu	[μm]
R_c	Průměrná hodnota výšek profilu	[μm]
R_p	Výška nejvyššího výstupku profilu	[μm]
R_t	Součet výšky nejvyššího výstupku a hloubky nejnižší prohlubně	[μm]
R_v	Hloubka nejnižší prohlubně	[μm]
R_z	Největší výška profilu	[μm]
SW	Software	[-]
T_s	Doba návratnosti investice	[rok]
n_v	Počet vyrobených kusů za rok	[ks]
p	Tlak	[MPa]

Značka	Popis	Jednotka
s.r.o	Společnost s ručením omezeným	[-]
t_b	Čas práce brusky 2UD750	[s]
t_{CNC}	Čas práce CNC stroje	[s]
t_f	Čas práce frézky FA3A TOS	[s]
t_{KV}	Celkový čas práce na konvenčních strojích	[s]
$t_{ř}$	Čas práce rámové pásové pily	[s]
t_s	Čas práce soustruhu SUI 50 TOS	[s]
t_U	Úspora výrobních časů	[s]
u_r	Finanční úspora za jeden rok	[Kč]

1. Úvod

Strojírenský průmysl patří do odvětví s velmi dlouhou a bohatou tradicí v České republice. V době mezi světovými válkami bylo tehdejší Československo jednou z deseti nejvýznamnějších strojírenských zemí na světě. [1]

Současná složitá doba, vysoká konkurence a tlak ze strany zákazníků, kladou neustále vyšší nároky na výrobce z pohledu kvality, produktivity a hospodárnosti výroby. V oblasti kusové a malosériové výroby je obzvláště důležité umět včas reagovat na poptávku trhu, tedy na změnu druhu výrobků. Možností jak tohoto dosáhnout, je nahrazení konvenčních výrobních strojů číslicově řízenými stroji. Ty umožňují vyrábět tvarově složité součásti, které byly do té doby na běžných strojích jen obtížně, nebo zcela nevyrobitelné. Déle je také dosahováno opakovatelné přesnosti a navýšení produktivity práce.

V předložené bakalářské práci je řešeno porovnání výroby hřídele za pomoci dvou technologií. Jedná se o výrobu na konvenčních strojích a výrobu na CNC soustruhu. Srovnání je zaměřeno na snížení výrobních časů a nákladů.

2. Obecná charakteristika daného problému

Bakalářská práce je zpracována ve firmě **Skrat kovo s.r.o.**, kde veškerá současná výroba dané součásti je realizována za pomoci konvenčních výrobních strojů, tedy řezáním, soustružením, frézováním, a následným dokončením na brusce na hřídele. Tento postup výroby je však příliš zdlouhavý, vyžaduje zvýšený počet pracovníků, skládá se z mnoha jednotlivých operací, což je ekonomicky nákladné.

Převedením tohoto způsobu výroby na CNC stroj bude mít za následek urychlení procesu výroby, kdy na obsluhu stroje bude zapotřebí jen jeden zkušený a vyškolený pracovník, což výrobu dané součásti výrazně zlevní, zrychlí a také bude dosaženo opakované vysoké přesnosti výroby.

2.1 Představení společnosti



Společnost **Skrat kovo s.r.o.**, nacházející se v Zábřehu na Moravě, je poměrně mladá, ryze česká společnost, zabývající se kusovou a malosériovou výrobou v oblasti třískového obrábění. Vznik této společnosti se traduje do počátku roku 2007, kdy započala výroba v malých pronajatých prostorech na starších typech strojů jen se dvěma zaměstnanci. Od této doby dochází k neustálému rozvoji.

Díky vysoké kvalitě výroby a především neustálému zájmu ze strany stávajících, a také nových zákazníků o služby společnosti, se do této doby využívané výrobní prostory brzy ukázaly jako nedostatečné. Již o rok později, tedy v roce 2008, bylo nutné vyřešit problém s těmito nedostačujícími prostory. Jako řešení těchto obtíží se ukázalo přesunutím výroby do větších prostor, kde výroba probíhá dodnes. Tyto jsou však také jen pronajaté.

Na počátku roku 2013 zde pracuje 10 stálých zaměstnanců a roční produkce je cca 10 mil. Kč. Vzhledem k vysokému nájmu za využívané prostory a snaze ušetřit, zakoupila firma pozemek a v současné době jsou již vypracovaný plány na výstavbu nových, vlastních výrobních prostor, které budou přesně vyhovovat potřebám. Realizace tohoto projektu je však prozatím pozastavena. [2]



Obr. 1: Výrobní prostory společnosti Skrat kovo s.r.o.

Kontakt:

Sídlo firmy:

Skrat kovo s.r.o.

U Sázavy 7, 789 01 Zábřeh na Moravě

Provozovna:

Skrat kovo s.r.o.

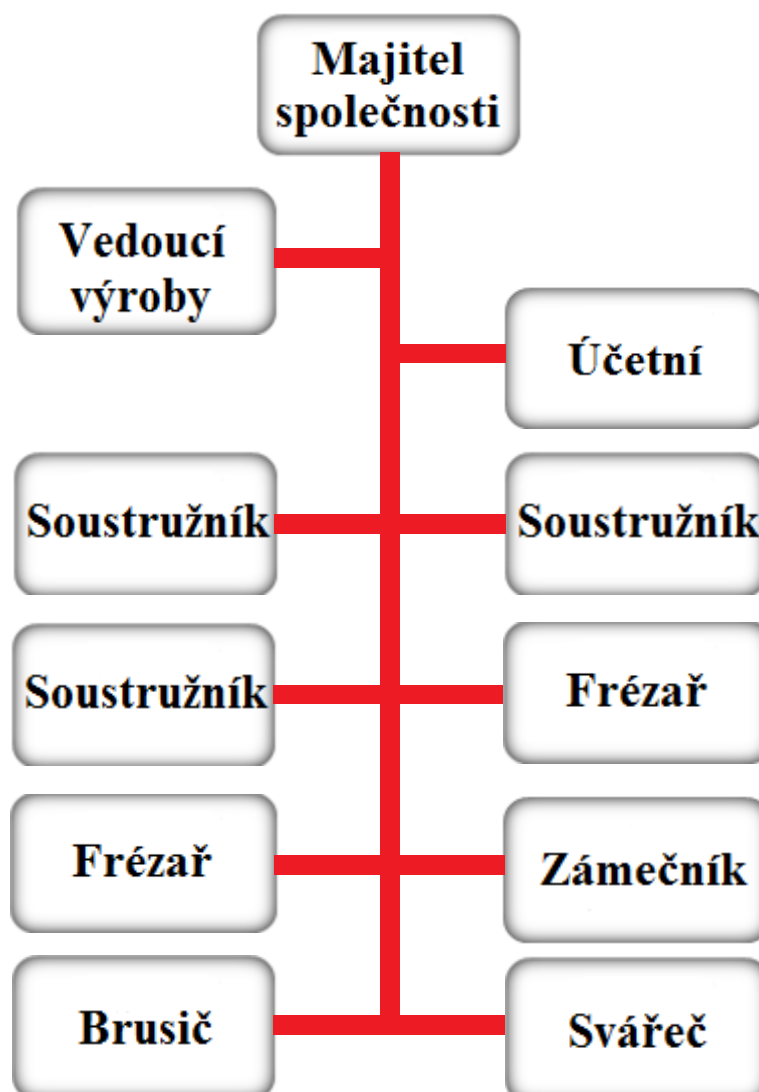
Dvorská 21, 789 01 Zábřeh na Moravě

Skrat kovo s.r.o.
Strojírenská výroba - Kooperace

2.2 Organizační struktura společnosti

V čele společnosti **Skrat kovo s.r.o.** stojí její majitel a současně také jednatel pan Jan Horký ml. Organizaci výroby zajišťuje a za plnění výrobního plánu odpovídá pan Jan Horký st., jež pracuje na pozici vedoucího výroby. Samotný proces výroby je v současné době zajišťován za pomoci 9 pracovníků, jak je znázorněno na schématu organizační struktury spolu s popisem jednotlivých pracovních postů.

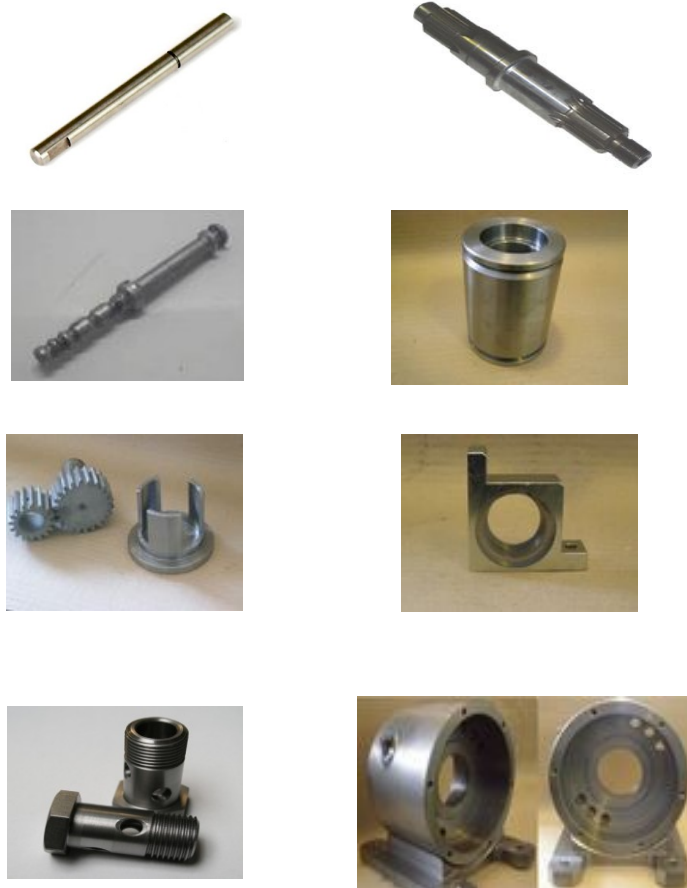
V období léta je počet zaměstnanců rozšířen o brigádníky z řad studentů a pracujících důchodců. [2]



Obr. 2: Schéma organizační struktury

2.3 Sortiment výrobků společnosti Skrat kovo s.r.o.

Sortiment výrobků, jimiž se ve společnosti zabývají, je velice rozmanitý. Výroba se totiž zaměřuje převážně na kusovou a malosériovou výrobou. [2]



Obr 3: Sortiment výrobků

2.4 Volba součásti

Zvolení představitele výroby pro vypracování bakalářské práce vzešla z výrobního sortimentu společnosti. Zvolen byl hřídel elektromotoru, který tvoří v současné době spolu s podobnými součástmi velký podíl na celkovém objemu výroby. Výkres součásti je uveden v příloze této bakalářské práce (číslo výkresu 22_52_2012).

3. Problematika obrábění přesných rotačních součástí

Tvarové rotační součásti mají velmi významné postavení ve všech oblastech strojírenského průmyslu. Mají veliký vliv pro přesnou a správnou funkci strojů a strojních zařízení, v nichž jsou zabudované.

3.1 Rotační tvarové součásti

V současné době zastupují rotační součásti až 70% z celkového objemu všech součástí používaných ve strojírenství. Tyto součásti se podle funkce a tvaru rozdělují:

- hřídele
- kotouče
- čepy a pouzdra

3.2 Hřídele a jejich rozdělení

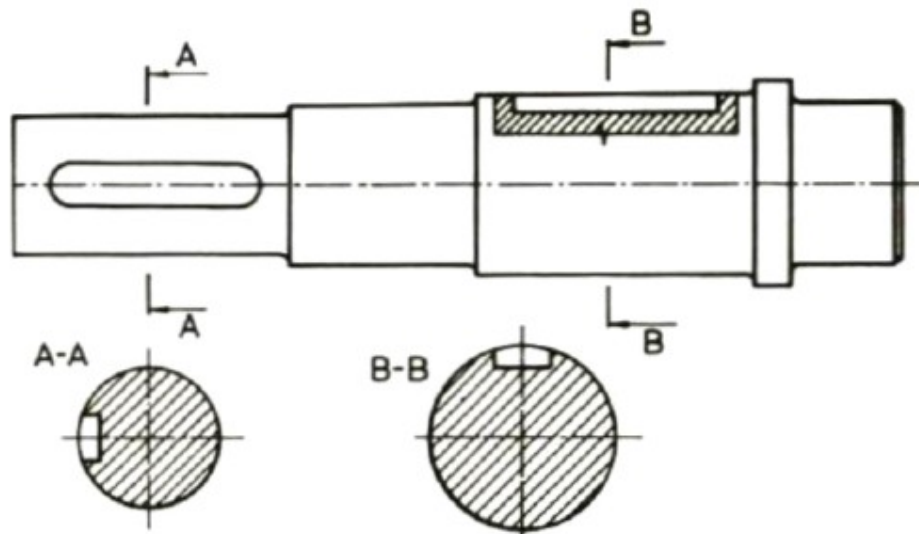
Hřídele jsou strojní součásti válcového tvaru, které slouží k přenosu otáčivého pohybu a kroučícího momentu. Současně s tím také zachycují síly ve směru radiálním F_r , ve směru axiálním F_a , tlak p a ohybový moment M_o , které na ně působí od různých kol, které jsou připevněných na jejich koncích.

Hřídele je možné rozdělit podle několika pohledů

- nosné - nepohyblivé
 - otočné
- hybné - přímé - hladké
 - tvarové
 - duté
 - ohebné
 - lomené (klikové)
 - drážkové

[3]

Téměř většina používaných hřídelí jsou vyráběné jako tvarové. To tedy znamená, že na své délce mají různé průměry s funkčními plochami (pro ložiska, těsnění) a další konstrukční prvky (drážky pro pera a klíny, drážky pro pojistné kroužky apod.). Tyto každé jednotlivé části vyžadují, aby byly vyrobeny s určitou rozměrovou a geometrickou přesností, a předepsanou strukturou povrchu. Přesnost jaké má být dosaženo, musí být stanoveno ve výrobní dokumentaci dané součásti, z čehož se poté vychází při volbě metody výroby.



Obr 4: Odstupňovaná (tvarová) hřídel

Výsledná přesnost rozměrů a kvalita obrobených ploch hřídele je závislá na mnoha faktorech řezného procesu, které ji ovlivňují. Mezi tyto faktory lze zařadit přesnost pracovního stroje, zvolené řezné podmínky, řezný nástroj, řeznou geometrii nástroje a řezné prostředí atd. Některé požadované přesnosti např. na uložení ložiska však není možné dosáhnout metodami obrábění, jako jsou soustružení nebo frézování, proto je nutné do technologického postupu zařadit ještě další dokončovací operace (např. broušení, lapování, honování atd.).

3.3 Přesnost pracovního stroje a jeho vliv na obrábění

Z pohledu obrobeného materiálu je hlavním a důležitým parametrem pro dosažení vysoké přesnosti při obrábění jen velmi malý úběr materiálu, zatímco z pohledu obrobených ploch má na přesnosti v procesu obrábění velmi důležité postavení obráběcí

stroj, na němž je operace prováděna. Přesnost stroje je vyjádřena v podobě jeho ukazatelů, které jsou vztaženy na pracovní přesnosti a také na přesnosti geometrické. U CNC strojů k tomuto navíc přibývá i přesnost v ustavování pracovních částí do polohy. Velmi důležitá je celková tuhost soustavy S-N-O-P (stroj-nástroj-obrobek-přípravek).

Stroj je při obrábění zatížen:

- řeznými silami
- tíhovými silami
- setrvačnými silami
- hnacím momentem
- odporem

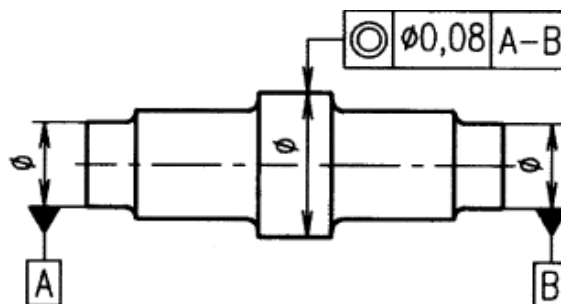
[4]

3.3.1 Přesnost pracovních strojů geometrická

Jednou z důležitých vlastností každého obráběcího stroje je právě tento druh přesnosti. Geometrická přesnost strojního zařízení je určena mezními úchylkami tvaru a polohy daných pracovních prvků (suporty, lože, stůl, pinola atd.). Do mezních úchylek lze zařadit – úchylka rovinnosti, přímosti, rovnoběžnosti, kolmosti, kruhovitosti vodících prvků, úchylky odměřovacích částí. Údaje o stavu pracovního stroje (tedy, zda je stroj dostatečně přesný) se vyhodnocují na základě obrobku vyrobeného na tomto stroji a na jeho dosažených výrobních přesnostech.

[4]

Požadovaná geometrická přesnost součásti je ve výrobní dokumentaci určena tolerancí, která předepisuje povolené odchylky skutečných tvarů ploch od tvarů teoreticky přesných. Tyto se předepisují za předpokladu, že je to potřebné z pohledu požadavků na funkční části.



Obr 5: Příklad značení tolerance tvaru a polohy

[5]

tolerance tvaru	tolerance přímosti	-
	tolerance rovinnosti	
	tolerance kruhovitosti	
	tolerance válcovitosti	
	tolerance profilu podélného řezu	=
tolerance polohy	tolerance rovnoběžnosti	//
	tolerance kolmosti	
	tolerance sklonu	
	tolerance souososti	
	tolerance souměrnosti	
	tolerance jmenovité polohy prvku	
	tolerance různoběžnosti os	x
souhrnné tolerance tvaru a polohy	tolerance obvodového házení tolerance čelního házení tolerance házení v daném směru	
	tolerance úplného obvodového házení tolerance úplného čelního házení	
	tolerance tvaru daného profilu tolerance tvaru dané plochy	

Obr 6: Geometrické tolerance a jejich značení

[7,8]

3.3.2 Polohování funkčních částí NC strojů

Opravdová pozice jednotlivých funkčních (pracovních) částí těchto strojů může být z důvodu mnoha možných chyb odlišná od polohy, která je zadána řídicím programem. Velikost přesnosti s jakou orgány najíždějí do jednotlivých poloh, se určí pro navolenou pracovní polohu a to u jednostranného ale i oboustranného polohování a následně je toto realizováno pro celý pracovní rozsah. Zjištění odchylek poloh u NC strojů vyžaduje použití přesných a snadno ovladatelných přístrojů s automatickým zpracováním hodnot.

[4]

3.3.3 Pracovní přesnost obráběcích strojů

Stanovení hodnoty přesnosti s jakou stroj pracuje, se provádí za pomoci obrobků jaké je možné obrobit a na přesnosti jaká byla dosažena. Takto dosažená přesnost je ale spojená se systémem technologických podmínek spojené s obrobkem, nástroji, zkušeností pracovníka a v neposlední řadě pracovním prostředím. Obrobené plochy se následně

překontrolují a na základě výsledků se stanovují odchylky od požadovaných tvarů, dosažené povrchové drsnosti, rozměrů atd. Tyto parametry se převážně určí z jednoho obrobku a poté jsou porovnány s mezními hodnotami pro daný případ. Rozměry zkušebních obrobků jsou přesně stanoveny v normách nebo přijímacích podmínkách stroje. [4]

3.4 Nástroje a jejich vliv na přesnost výroby

Požadavky kladené na nástrojový materiál:

- tvrdost nástrojového materiálu musí být větší, než je tvrdost obráběného materiálu
- stálost nástroje i za vysokých teplot
- odolnost nástroje vůči otěru, houževnatost, velkou tepelnou vodivost a pevnost v ohybu

Nově vyvíjené stroje a pokrokové technologie a stále se zvyšující tvrdost materiálů, kladou na řezné nástroje stále vyšší požadavky na výkon a především jeho životnost. Tyto požadavky závisí převážně na zvoleném materiálu nástroje.

Pro zvýšení výkonu, jakosti obrobků a především životnosti nástrojů jsou v současné době téměř veškeré opatřeny na funkčních částech povrchovou úpravou, která tvoří otěruvzdornou a tvrdou vrstvu a také snižuje tření mezi nástrojem a obrobkem. Tato úprava se provádí jako konečná operace při výrobě nástroje. Pro povlakování se používají dvě základní metody, metodou PVD a CVD.

Na přesnost obrábění má také zásadní vliv teplota řezání a tepelná deformace nástroje, díky které dochází k poškození řezné části nástroje. Tento nežádoucí vliv je možné částečně eliminovat přívodem řezné kapaliny do místa řezu.

Pro zajištění maximálně možné přesnosti obrábění je také důležité, aby řezný nástroj byl správně nabroušen a tak nebylo umožněno vzniku zbytečných nepřesností v nesprávné geometrii z důvodu nesprávného naostření nástroje. Přesné nastavení řezných ploch je možné provést na různých přístrojích. Společnost Ranishaw např. uvedla na trh přístroj, který umožňuje kontrolu během pracovního procesu.

[5]



Obr 7 :Přístroj TRS1 pro monitorování stavu řezného nástroje při obrábění (Renishaw)

Rozměrové a geometrické parametry obrobených ploch se kontrolují na pomoci nejrůznějších měřidel (přístroje na měření drsnosti povrchu, mikrometry, parametry atd.) a poté se vyhodnocují. Takto získané hodnoty jsou ukazateli jakosti opracované plochy. Počet vzorků potřebných pro správné vyhodnocení se pohybuje v rozmezí 10 až 20 kusů.

[6]

3.5 Drsnosti povrchu a stupeň přesnosti rozměru

Výsledná struktura povrchu obrobku a stupeň přesnosti rozměru, je závislí na zvolené metodě obrábění. Jak je vidět z tabulky níže nejméně příznivých hodnot drsnosti je dosaženo při hrubovacích operacích, je to tedy tam, kdy není kladen požadavek na jakost povrchu, ale na množství odebraného materiálu. Naopak nejlepších hodnot dosahují operace dokončovací, kdy je odebíráno z materiálu jen velmi malá vrstva.

[7]

Způsob obrábění	Drsnost povrchu Ra (μm)
Hrubování	> 6,3
Obrábění na čisto	1,6 – 6.3
Jemné obrábění	1,6 – 6.3
Dokončovací obrábění	< 0,2

Tab 1: Tabulka drsností povrchů

3.5.1 Parametry struktury povrchu

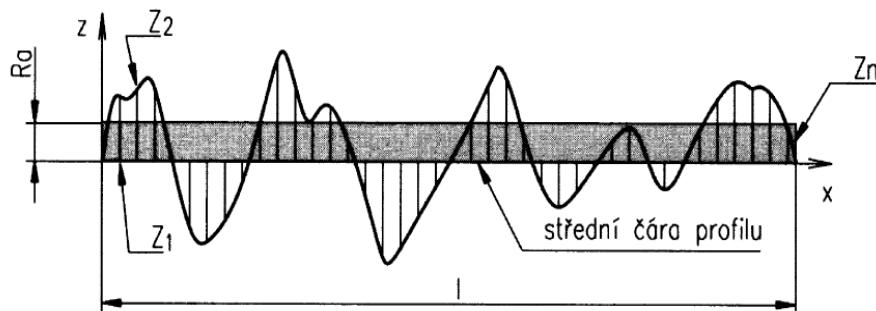
Povrch obrobeného materiálu je charakterizován různými parametry, které ho popisují:

- R_z – největší výška profilu
- R_a - střední aritmetická úchylka profilu
- R_p – výška nejvyššího výstupku profilu
- R_v – hloubka nejnižší prohlubně
- R_c – průměrná hodnota výšek profilu
- R_t – součet výšky nejvyššího výstupku a hloubky nejnižší prohlubně

Střední aritmetickou úchylku R_a - patří mezi nejpoužívanější hodnoty, které vypovídají o stavu obrobeneho povrchu. Střední aritmetická úchylka se stanoví jako aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic z v rozsahu měřené délky l . Tento parametr má ale nízkou vypovídající schopnost o povrchu obrobku, jelikož nebere v potaz maximální výstupky a minimální hloubky profilu.

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z_i| = \frac{|z_1| + |z_2| + |z_3| + \dots + |z_n|}{n} \quad (3,1)$$

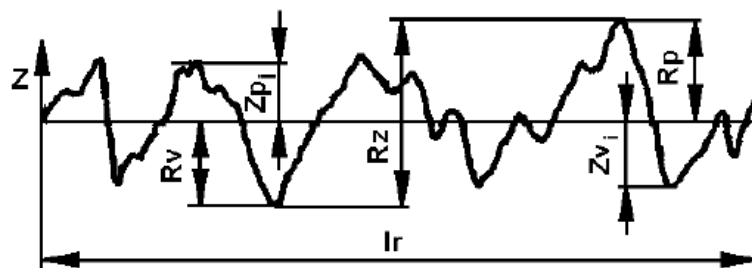
$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |z(x)| dx \quad (3,2)$$



Obr 8: Průměrná aritmetická úchylka povrchu R_a

Největší výšku profilu R_z – jedná se o součet největší prohlubně R_v posuzovaného profilu a největšího výstupku R_p .

$$R_z = R_v + R_p \quad (3,3)$$



Obr 9: Největší výška profilu R_z

3.5.2 Přesnosti

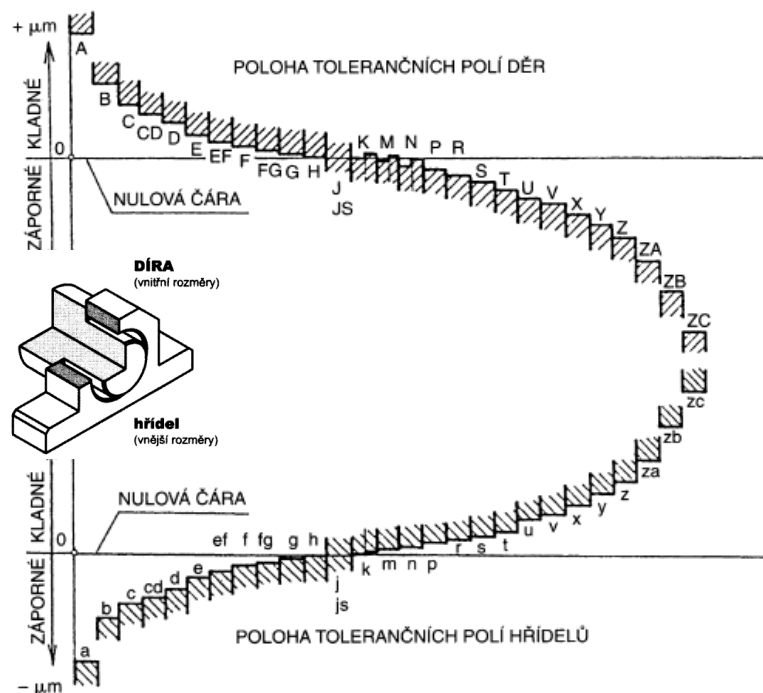
Největší požadavky na tvarovou a geometrickou přesnost je kladena na funkční části hřídelí určených pro ložiska. Těchto vysokých přesností je však možné dosáhnout jen broušením.

Způsob obrábění	Přesnost rozměru IT
Hrubování	≥ 12
Obrábění na čisto	9 - 11
Jemné obrábění	5 - 8
Dokončovací obrábění	< 5

Tab 2: Tabulka přesností metod obrábění

Aby bylo vyhověno veškerým požadavkům na výrobní přesnosti, je zavedena soustava 20 stupňů přesnosti s označením IT 01, IT 0,, IT 18. Připojením velkého písmene pro díru a malého písmene pro hřídel je vytvořena toleranční značka (např G7, h9 apod.). Pokud se toleranční značka přidělí k příslušné hodnotě průměru, určí se tak číselně mezní úchylka. Velikost úchylek pro jednotlivé značky a průměry jsou stanoveny v lícovacích tabulkách.

[7,8]



Obr 10: Schéma základních úchylek

4. Návrh nového postupu výroby

Doposud používaný postup výroby součásti je realizován za pomoci tří výrobních strojů. Jedná se o universální hrotový soustruh SUI 50, konzolovou frézku FA 3A U a brusku na hřídele 2 UD 750. Po dokončení výroby je provedena výstupní kontrola, kde je každý kus podroben důkladné prohlídce a přeměření rozměrů. Následně se vyplní protokol o shodě výrobku spolu s požadavky zákazníka.

4.1 Charakteristika použitého materiálu

Materiál použitý pro součást je ocel 11 600. Jedná se o neušlechtilou konstrukční ocel obvyklé kvality se zvýšeným obsahem uhlíku. Ocel určená pro strojní součásti kované nebo lisované, které jsou vystavené velkému tlaku, statickému a dynamickému namáhání (hřídele, ozubená kola, šrouby a matice, objímky, klíny, čepy, vřetena lisů, pastorky, tělesa fréz apod.), u kterých není vyžadovaná svařitelnost. Obrobitelnost dobrá. [9]

4.1.1 Značení materiálu součásti

označení dle ČSN	označení dle DIN	Norma EN (DIN,SEW)	označení EN 10027-1	Označení W.Nr.
11 600	St 60-2	10025	E335	1.0060

4.1.2 Chemické složení

C	Mn	Si	P	S	N
---	---	---	0,055	0,055	0,014

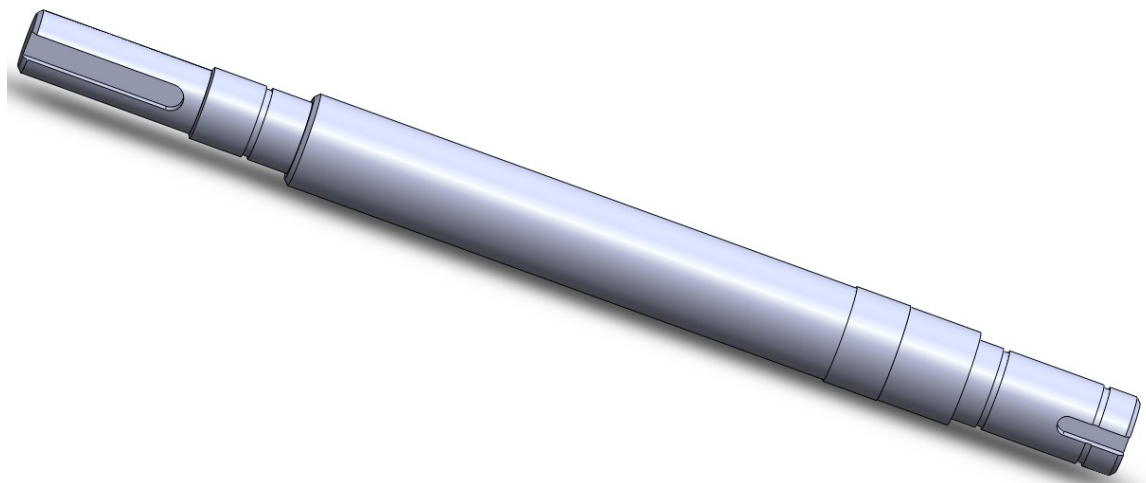
4.1.3 Mechanické vlastnosti

R_m [MPa]	$R_{e\ min}$ [MPa]	tvrdost HB	A5 min [%]
590 až 705	295	max. 205	14

[8,10,11]

4.2 Model součásti

Na základě výrobního výkresu byl vytvořený 3D model v programu SOLIDWorks 2012



Obr 11: Model hřídele

4.3 Výrobní zařízení současné technologie výroby

4.3.1 Hrotový soustruh SUI 50 TOS Trenčín

Hrotový soustruh SUI 50 je stroj, který je určený pro obrábění rotačních součástí hřídelového a přírubového tvaru. Umožňuje také obrábění složitých tvarů a řezání závitů v širokém rozsahu. Možnost využití bohatého příslušenství umožňuje dále zvýšit využitelnost stroje. Vhodný je zejména pro kusovou a malosériovou výrobu.



Obr 12: Hrotový soustruh SUI 50

Základní technické údaje stroje:

Rozměry stroje d x š x v	2 580 x 1 280 x 1 450 mm
Hmotnost stroje	2 820 kg
Výkon hlavního elektromotoru	7,5 kW
Vzdálenost mezi hroty	1 500 mm
Oběžný průměr nad ložem	500 mm
Oběžný průměr nad suportem	320 mm
Rozsah otáček vřetene	14 – 2 240 ot./min ⁻¹
Rychloposuv	13 500 mm.min ⁻¹

[12]

4.3.2 Konzolová frézka FA 3A U

Frézka je určena pro přesné a výkonné frézování menších až středních součástí s maximální hmotností 250 kg. Na tomto typu stroje je možné opracovávat jeden, ale i více součástí najednou. Při doplnění o zvláštní příslušenství je frézka schopna opracovávat i kruhové součásti. Možnost jeho použití je široká, vhodný je pro kusové, malosériové, a dokonce i pro sériovou výrobu.



Obr 13: Frézka FA 3A U

Základní technické údaje stroje:

Rozměry stroje d x š x v	1 375 x 2 715 mm
Hmotnost stroje	1 900 kg
Výkon hlavního elektromotoru	4,2 kW
Upínací rozměr stolu d x š	1 250 x 250 mm
Podélný posuv (X)	14-900 mm
Svislý posuv (Z)	4-250 mm
Příčný posuv (Y)	14-900 mm
Rozsah otáček vřetene	45 – 2 000 ot./min ⁻¹
Rychloposuv podélný a příčný	2 800 mm.min ⁻¹
Rychloposuv svislý	800 mm.min ⁻¹

[13]

4.3.3 Bruska na hřídele 2UD750

Tento stroj se používá pro přesné broušení jak kuželových ploch a tak ploch válcových. Je možné jej uplatnit v sériové výrobě a také ve výrobě kusové.

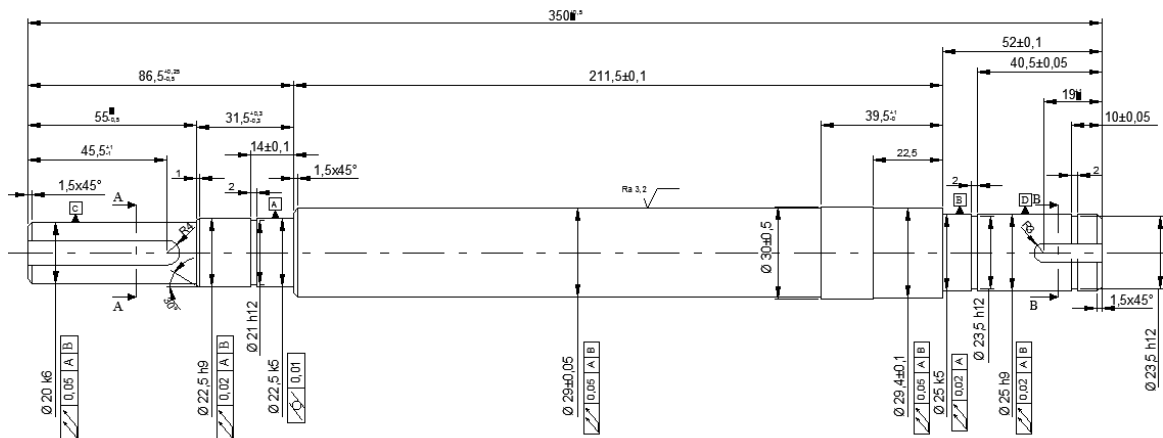


Obr 15: Bruska na hřídele

Základní technické údaje stroje:

Rozměry stroje při vzdálenosti hrotů 1500 mm	6220x2370 mm
Oběžný průměr	250 mm
vzdálenost hrotů	1500 mm
Největší hmotnost obrobku	300 kg
Brusný kotouč: průměr x šířka x díra	600x80x305 mm
Oběžný průměr v otevřené opěrci	110 mm
Natočení brousícího vřeteníku	$\pm 45^\circ$
Elektromotor brousícího vřeteníku	19 kW
Celkový příkon elektromotorů	22 kVA
Hmotnost stroje při vzdálenosti hrotů 1500	5550 kg

[14]

4.4 Technologický postup stávající výroby

Součást: Hřídel elektromotoru		Číslo výkresu: 25_352_2012		
Materiál: E335		Polotovar: Ø 32 x 355 mm	Hmotnos [kg]: hrubá: 2,240 kg čistá: 1,634 kg	
Číslo oper.	Stroj Pracoviště	Popis operace	Nástroj, měřidlo	Poznámka (v _c , f, a _p)
1	Rámová pásová pila PILOUS AGR 130 TK	Řezat tyč Ø 32 na délku l = 355±0,5mm	Digitální posuvné měřidlo (0- 400) mm	v _c = 75m/min
2	Mezioperační kontrola	Kontrola rozměru	Digitální posuvné měřidlo (0- 400) mm	-----

Číslo oper.	Stroj Pracoviště	Popis operace	Nástroj, měřidlo	Poznámka (v_c, f, a_p)
3.1	Hrotový soustruh SUI 50 TOS Trenčín	Upnout do sklíčidla Zarovnat čelo	Nástroj: Soustružnický nůž VBD: DCMT 070202E-UM Držák: PDNNR/L 2020 K11	$v_c = 130\text{m/min}$ $f = 0,18\text{mm/ot}$ $a_p = 1,5\text{ mm}$
3.2		Navrtat na střed	Středící vrták 60° Tvar A ČSN 22 1110 $\varnothing 1,6\text{ mm}$	$v_c = 150\text{m/min}$
3.3		Otočit materiál	-----	-----
3.4	Hrotový soustruh SUI 50 TOS Trenčín Hrotový soustruh SUI 50 TOS Trenčín	Upnout do sklíčidla Zarovnat čelo na délku $l = 350\text{ mm}^{+0,5}_{-0}\text{ mm}$	Nástroj: Soustružnický nůž VBD: DCMT 070202E-UM Držák: PDNNR/L 2020 K11 Digitální posuvné měřidlo (0- 400) mm	$v_c = 130\text{m/min}$ $f = 0,18\text{mm/ot}$ $a_p = 1,5\text{ mm}$
3.5		Navrtat na střed	Středící vrták 60° Tvar A ČSN 22 1110 $\varnothing 1,6\text{ mm}$	$v_c = 150\text{m/min}$
4	Mezioperační kontrola	Kontrola rozměru	Digitální posuvné měřidlo (0- 400) mm	-----
5.1	Hrotový soustruh SUI 50 TOS Trenčín	Upnout do sklíčidla Podepřít hrotem koníku	-----	-----
5.2		Hrubovat $\varnothing 27$ do délky $l = 51,5\text{ mm}$	Nástroj: Soustružnický nůž VBD: CNMG 120412-R Držák: PCNLR/L 2020 K 12	$v_c = 45\text{m/min}$ $f = 0,3\text{mm/ot}$ $a_p = 2,5\text{ mm}$
5.3		Soustružit na čisto $\varnothing 30$ $\pm 0,5\text{ mm}$ na délku $l = 39,5\text{mm}^{+1}_{-0}\text{ mm}$	Nástroj: Soustružnický nůž VBD: TNMG 2204408-M Držák: PTFNR 2525NR	$v_c = 130\text{m/min}$ $f = 0,18\text{mm/ot}$ $a_p = 1,5\text{ mm}$
5.4		Soustružit na čisto $\varnothing 29,4$ mm na délku $l = 22,5\text{mm}$		
5.5		Soustružit $\varnothing 25\text{mm}$ + přídavek 0,3 mm na broušení – délku $l = 52\text{mm} \pm 0,1\text{ mm}$		
5.6		Soustružit zápch $l = 2$ mm na $\varnothing 23,5\text{ h}12$ ve vzdálenosti 40,5mm $\pm 0,05\text{ mm}$	Soustružnický nůž upichovací z HSS z rychlořezné oceli – upravený na $a = 2\text{ mm}$	
5.7		Soustružit zápch $l = 2$ mm na $\varnothing 23,5\text{ h}12$ ve vzdálenosti 8mm $\pm 0,05$ mm		
5.8		Srazit hranu $1,5 \times 45^\circ$	Nástroj: Soustružnický nůž VBD: TNMG 2204408-M Držák: PTFNR 2525NR	
5.9	Otočit materiál	-----	-----	
5.10	Hrotový soustruh SUI 50 TOS Trenčín	Hrubovat $\varnothing 24$ do délky $l = 86\text{ mm}$	Nástroj: Soustružnický nůž VBD: CNMG 120412-R Držák: PCNLR/L 2020 K 12	
5.11		Hrubovat $\varnothing 21$ do délky $l = 54\text{ mm}$		
5.12		Soustružit $\varnothing (29 \pm 0,05)$ mm na délku $l = 211,5$ $\pm 0,1\text{ mm}$	Nástroj: Soustružnický nůž VBD: DCMT 070202E-UM Držák: PDNNR/L 2020 K11	$v_c = 130\text{m/min}$ $f = 0,18\text{mm/ot}$ $a_p = 1,5\text{ mm}$

Číslo oper.	Stroj Pracoviště	Popis operace	Nástroj, měřidlo	Poznámka (v_c , f , a_p)
5.13	Hrotový soustruh SUI 50 TOS Trenčín	Soustružit $\varnothing 22,5\text{mm} +$ přídavek 0,3 mm na broušení – délku $l = 86,5\text{mm}^{+0,25}_{-0,5}$ mm	Nástroj: Soustružnický nůž VBD: DCMT 070202E-UM Držák: PDNNR/L 2020 K11	$v_c = 130\text{m/min}$ $f = 0,18\text{mm/ot}$ $a_p = 1,5$ mm
5.14		Soustružit $\varnothing 20 +$ přídavek 0,3 mm na broušení – délku $l = 55\text{mm}^{+0}_{-0,54}$ mm		
5.15		Soustružit zápich $l=2$ mm na $\varnothing 21$ h12 ve vzdálenosti $l=14\text{mm}$ $\pm 0,1$ mm	Soustružnický nůž upichovací z HSS z rychlořezné oceli – upravený na $a = 2\text{mm}$	$v_c = 130\text{m/min}$ $f = 0,18\text{mm/ot}$ $a_p = 1,5$ mm
5.16		Srazit hranu $1,5 \times 45^\circ$	Nástroj: Soustružnický nůž VBD: DCMT 070202E-UM Držák: PDNNR/L 2020 K11	
5.17		Srazit hranu $1 \times 30^\circ$ ve vzdálenosti $55\text{mm}^{+0}_{-0,54}$ mm		
6	Mezioperační kontrola	Kontrola rozměru	Digitální posuvné měřidlo (0-400mm) Mikrometr (25-50 mm)	-----
7.1	Nástrojařská frézka FA3A TOS Olomouc	Upnout Frézovat drážku 8N9 na $\varnothing 16\text{mm}^{+0}_{-0,2}$ mm v délce $l = 45,5 \text{ mm} \pm 1$ mm	Stopková fréza na drážky per 12 mm ČSN 22 2192 HSS 2192 Dutinový mikrometr(0-100)	$v_c = 22$ m/min $f_z = 0,25$ mm $a_p = 2$ mm
7.2		Upnout Frézovat drážku 6N9 na $\varnothing 22\text{mm}^{+0}_{-0,2}$ mm v délce $l = 19 \text{ mm}^{+1}_0$ mm	Stopková fréza na drážky per 8 mm ČSN 22 2192 HSS 2192 Dutinový mikrometr(0-100)	
8	Mezioperační kontrola	Kontrola rozměru	Digitální posuvné měřidlo (0-400mm) Mikrometr (25-50 mm)	-----
9.1	Bruska na hřídele 2UD750	Upnout Brousit na $\varnothing 20\text{k}6$ $l = 55 \text{ mm} \pm 1$ mm	Kontrolní nástroj: Pasametr (0-25 mm)	$v_c = 50$ m/s $f = 10$ m/min $a_p = 0,04$ mm
9.2		Upnout Brousit na $\varnothing 22,5$ h9 $l = 17 \text{ mm} \pm 0,2$ mm		
9.3		Upnout Brousit na $\varnothing 22,5$ k5 $l = 14 \text{ mm} \pm 0,1$ mm		
9.4		Upnout Brousit na $\varnothing 28,9$ h6 $l = 22,5$ mm	Kontrolní nástroj: Mikrometr (25-50 mm)	
9.5		Upnout Brousit na $\varnothing 29,4$ h6 $l = 22,5$ mm	Kontrolní nástroj: Mikrometr (25-50 mm)	
9.6		Upnout Brousit na $\varnothing 25$ k5 na délce $l = 9,5$ mm	Kontrolní nástroj: Pasametr (25-50 mm)	
9.7		Upnout Brousit na $\varnothing 25$ h9 $l = 40,5 \text{ mm} \pm 0,1$ mm	Kontrolní nástroj: Mikrometr (50-75 mm)	

Číslo oper.	Stroj Pracoviště	Popis operace	Nástroj, měřidlo	Poznámka (v_c , f , a_p)
10		Odjehlit drážky	C 101 \varnothing 3,2 mm	-----
11	Zámečnická dílna Oddělení technické kontroly Expedice	Výstupní kontrola rozměrů	Digitální posuvné měřidlo (0-400mm) Mikrometr (25-50 mm) Mikrometr (50-75 mm) Pasometr (25-50 mm) Dutinový mikrometr (0-100) Svinovací metr (0-3000 mm)	
12		Konzervovat, zabalit do voskového papíru a uložit k expedici	Konzervační olej: Ekolube Antikor UNI	

4.5 Nástroje použité při současné technologii výroby

Výrobní operace	Výrobce	Nástroj; VBD	Držák; způsob upínání
Vnější hrubování	Pramet Tools s.r.o.	CNMG 120412-R	PCNLR/L 2020 K 12
Dokončovací soustružení	Pramet Tools s.r.o.	DCMT 070202E-UM	PDNNR/L 2020 K11
Soustružení zápichu	Pramet Tools s.r.o.	Soustružnický nůž upichovací z HSS z rychlořezné oceli – upravený na $a = 2\text{mm}$	
Navrtání středícího důlku	Stimzet a.s. Vsetín	Středící vrták $\varnothing 60$ tvar A	Vrtací sklíčidlo samosvorné BISON (typ 5134-10-B12)
Frézování	ZPS-Frézovací nástroje a.s.	Stopková fréza 8 mm pro drážky per HSS 2192	Kleštinový upínač
Frézování	ZPS-Frézovací nástroje a.s.	Stopková fréza 6 mm pro drážky per HSS 2192	Kleštinový upínač

4.6 Návrh nové technologie výroby součásti

Při návrhu a tvorbě nové technologie bylo bráno na zřetel převážně zjednodušení a urychlení výroby a to hlavně zkrácením výrobních strojních časů.

4.6.1 Volba CNC stroje

Jako vhodný stroj na výrobu této součásti byl zvolen dlouhonočný automatický soustruh Manurhin K'MX 632 DUO. Tento CNC stroj je určen pro vysoko produktivní obrábění materiálu převážně kruhového průměru a to do \varnothing 32 mm a délky součásti na jeden zdvih maximálně 400 mm. Protože je vřeteno navrtáno \varnothing 37 mm, není nutné konce polotovaru opracovat na menší průměr. Standardně je tento stroj osazen dvěma elektromotory o maximálních 10 000 ot/min. Programování je umožněno za pomoci operačního systému od firmy FANUC. Tvarově jednoduché, ale i složité součásti je umožněno obrábět za pomoci šesti lineárních řízených os (X1, Y1, X2, Y2, Z1, Z2) a dvou rotačních os (C1, C2).

[15]



Obr 21: Manurhin K'MX 632 DUO

4.6.1.1 Technické parametry stroje

Maximální průměr tyče – hlavní vřeteno	Ø 32 mm
Maximální délka obrábění na jeden zdvih	400 mm
Vrtání hlavního vřetena	Ø 37 mm
Výkon A.C motoru (100/40%) hlavního vřetena	3,7/5,5 kW
Maximální otáčky	10 000 ot/min
Směr otáčení vřetena	vlevo i vpravo
Zdvih hlavního vřeteníku	410 mm
Rychloposuv	30 m/min
Počet nástrojových desek	2
Zdvih nástrojové desky-horizontální	45 mm
Rychloposuv	30 m/min
Zdvih nástrojové desky-vertikální	180 mm
Rychloposuv	30 m/min
Počet nástrojů	(2 x 5) : 10
Rozměr nástroje pro externí obrábění	16 x 16 mm
Zdvih sekundárního vřeteníku	260 mm
Rychloposuv	30 m/min
Maximální průměr tyče-sekundárního vřeteníku	Ø 32 mm
Maximální délka dílce sekundárního vřetena pro přední odebírání	150 mm
Maximální délka dílce pro vyhození dílce dopředu	170 mm
Vrtání sekundárního vřetena	Ø 37 mm
Tlak vzduchu	0,6 MPa
Objem nádrže	300 l
Průtok	100 l/min
Tlak čerpadla chlazení nástrojů	0,7 MPa
Napětí	3 x 400 V – 50 Hz
Příkon	32 kVA
Průměr vodiče	16 mm ²

ROZMĚRY STROJE 3 000 x 1 370 x 2 200 mm

HMOTNOST STROJE 4 350 kg

4.6.2 Technologický postup výroby nové technologie

Součást: Hřídel elektromotoru		Číslo výkresu: 25_352_2012				
Materiál: E335		Polotovar: Ø 32 x 355 mm	Hmotnos [kg]: hrubá: 2,240 kg čistá: 1,634 kg			
Číslo oper.	Stroj Pracoviště	Popis operace	Nástroj, měřidlo	Poznámka (v_c , f , a_p)		
1.1	Manurhin K'MX 632 DUO	Upnutí do sklíčidla	Stopková fréza na drážky per 6 mm ČSN 22 2192 HSS 2192	-----		
1.2		Soustružit čelo		$v_c = 160$ m/min		
1.3		Frézovat drážku 6 N9 (hrubování)		$v_c = 35$ m/min		
1.4		Frézovat drážku 6 N9 (dokončení)		$v_c = 80$ m/min		
1.5		Soustružit Ø 22.5 h9; Ø 22.5 k6 + přídavek na broušení		$v_c = 160$ m/min		
1.6		Soustružit zápich Ø 21h12 + hrany		Stopková fréza na drážky per 8 mm ČSN 22 2192 HSS 2192	$v_c = 140$ m/min	
1.7		Soustružit Ø 28,9 h6 + přídavek na broušení		Stopková fréza na drážky per 8 mm ČSN 22 2192 HSS 2192	$v_c = 190$ m/min	
1.8		Soustružit Ø 29; Ø29.4				
1.9		Přechycení do sekundárního sklíčidla		Nástroj: Soustružnický nůž VBD: CNMG 120412-R Držák: PCNLR/L 2020 K 12	-----	
1.10		Soustružit Ø 25 k5 + přídavek na broušení- zpětně		Nástroj: Soustružnický nůž VBD: DCMT 070202E-UM Držák: PDNNR/L 2020 K11	$v_c = 180$ m/min	
1.11		Soustružit Ø 25 h9			$v_c = 190$ m/min	
1.12		Soustružit 2x zápich Ø 23,5 h 12+hrany		Soustružnický nůž upichovací z HSS z rychlořezné oceli – upravený na $a = 2$ mm	$v_c = 140$ m/min	
1.13		Předpichnutí + hrana				
1.14		Frézovat drážku 8 N9 (hrubování)			$v_c = 40$ m/min	
1.15		Frézovat drážku 8 N9 (dokončení)			$v_c = 80$ m/min	
1.16		Úpich			$v_c = 140$ m/min	
1.19		Vyhození dílce			-----	
1.20		Konec programu+posunutí tyče			-----	
2		Kontrola		Kontrola rozměrů		-----

5. Diskuze experimentálních výsledků

Firmou Skrat kovo s.r.o. po mne bylo požadováno, abych provedl návrh na zefektivnění výroby daného typu hřídele. Před tím, než jsem se začal zabývat řešením tohoto konkrétního úkolu, byly s vedoucím výroby panem Janem Horkým st. konzultovány případné možnosti, jak dospět k požadovaným úsporám. Jednou s diskutovaných možností, jak daného dosáhnout bylo zvýšení produktivity a tedy zkrácení výrobních časů za pomoci volby jiného typu řezného nástroje, respektive jiného typu vyměnitelných břitových destiček společně se změnou řezných podmínek. Jako další, navržená možnost pro řešení daného problému bylo přesunout výrobu konkrétního výrobku na CNC automat.

Toto nakonec bylo vedením společnosti vybráno jako vhodná možnost. V blízké budoucnosti se pořízení vhodného stroje a jeho zařazení do strojového parku podniku plánuje, jelikož objem výroby se neustále zvyšuje a kvůli vysoké konkurenci je neustále vyvíjen tlak ze strany zákazníka na konečnou cenu výrobku.

Jedním z hlavních kritérií při volbě nového CNC stroje, které jsem musel bezpodmínečně zohlednit bylo, aby tento mohl být využit i pro další již v současné době konvenčním způsobem zpracovávané výrobky. Jednalo se tedy o podmínku maximálního průměru a délky opracování. Jako první úkol před samotným výběr vhodných strojů bylo prohlédnout si výrobu a veškerý sortiment výrobků, jež se v současné době vyrábí a blízké minulosti vyráběli. To pro mne bylo nutné, abych si udělal přesnou představu o rozměrových parametrech výrobků. Na základě zjištěných výsledků následoval výběr CNC obráběcího stroje.

Jako vhodný byl vybrán stroj od firmy Tajmac-zps a.s. Zlín-Malenovice, který rozměrové požadavky na obrábění průměru i délky splňuje. I když jsou pořizovací náklady vyšší, bylo pro něj nakonec po konzultaci s vedením firmy rozhodnuto, jelikož se stroj vyznačuje vysokou přesností, kvalitou a spolehlivostí a majitele zajímala doba návratnosti investice. Pro stanovení časové studie výroby hřídele na zvoleném stroji jsem požádal o spolupráci výrobce stroje. Po telefonní konzultaci s panem bc. Jindřichem Kolářem z obchodního oddělení divize Manurhin, bylo nakonec upuštěno od původního plánu realizovat práci na stroji K'MX 532 Trend a na místo toho byl zvolen nový a výkonnější typ stroje K'MX 632 Duo.

Hodinové sazby práce strojů

Hodinová sazba zvolené stroje byla majitelem firmy Skrat kovo s.r.o. stanovena na základě pořizovacích nákladů.

Stroj	[Kč]
SUI 50 TOS	480
FA3A TOS	480
MANURHIN K'MX 632 Duo	720

Tab 3: Hodinové sazby strojů

Předběžné pořizovací náklady stroje Manurhin K'MX 632 Duo

Cena stroje	3 625 000 Kč
Vybavení na daný dílec	125 000 Kč
Celková cena	3 750 000 Kč

Tab 4: Náklady na stroj

6. Technicko-ekonomické zhodnocení

Samotný princip technicko-ekonomického zhodnocení spočívá v porovnání čistých výrobních časů konkrétního typu hřídele, konaného za pomoci různých výrobních strojů, které jsou v současné době ve vybavení firmy s časovou studií výroby hřídele na zvoleném CNC automatu.

6.1 Stanovení výrobních časů s nákladů na jeden kus součásti

6.1.1 Stávající technologie

Výrobní čas

Měření výrobních časů stávající technologie bylo provedeno za pomoci stopek v plném provozu výrobních prostor společnosti, zatím co zjištěný čistý výrobní čas obrábění hřídele technologií CNC je stanoven z kalkulačního listu zaslaného výrobcem CNC stroje firmou TAJMAC – ZPS, a.s. Zlín, Malenovice.

Název operace	Číslo operace dle technologického postupu	Strojní čas [s]
Řezání	č. 1	63,54
Zarovnání čel	č. 3.1, 3.4	19,75
Navrtání	č. 3.2, 3.5	13,44
Hrubování	č. 5.1, 5.9, 5.10	128,9
Soustružení na čisto	č. 5.2, 5.3, 5.4, 5.11, 5.12, 5.13	167,42
Soustružení zápichů	č. 5.5, 5.6, 5.14	12,86
Frézování drážek	č. 7.1, 7.2,	42,46
Broušení	č. 9, 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5, 9.6	1 337,2

Tab 5: Výrobní časy stávající technologie

Celkový výrobní čas:

- Čas práce na AGR 130 TK $t_{\check{r}} = 63,54$ s
- Čas práce na SUI 50 TOS $t_s = 352,52$ s
- Čas práce na FA 3A TOS $t_f = 42,46$ s
- Čas práce na BH 25A/1 500 $t_h = 1\,337,2$ s

Čistý čas práce bez operace broušení

$$t_{KV} = t_s + t_f + t_{\check{r}} \quad (6.1)$$

$$t_{KV} = 332,52 + 42,46 + 63,54$$

$$\underline{\underline{t_{KV} = 438,52 \text{ s} \quad \rightarrow \quad 7 \text{ min } 18,52 \text{ s}}}$$

kde:

t_{KV} - čas práce na konvenčních strojích

Výrobní náklady

$$N_{KV} = t_{KV} \cdot \frac{N_{SH}}{60} \quad (6.2)$$

$$N_{KV} = 7,31 \cdot \frac{480}{60}$$

$$\underline{\underline{N_{KV} = 58,48 \text{ Kč}}}$$

kde:

N_{KV} - náklady na jeden kus vyrobené součásti na konvenčních strojích

N_{SH} - hodinová sazba stroje

6.1.2 Technologie s CNC**Výrobní čas**

Celkový výrobní čas byl stanoven dle kalkulačního listu časové studie společnosti TAJMAC – ZPS pro stroj **Manurhin K'MX 632 DUO**.

$$t_{CNC} = 199,6 \text{ s}$$

Výrobní náklady

$$N_{CNC} = t_{CNC} \cdot \frac{N_{SH}}{60} \quad (6.3)$$

$$N_{CNC} = 3,33 \cdot \frac{720}{60}$$

$$\underline{N_{CNC} = 39,92 \text{ Kč}}$$

kde:

N_{CNC} - náklady na jeden kus vyrobené součásti na CNC stroji

t_{CNC} - čas práce cyklu CNC stroje

6.2 Porovnání obou technologií

Výrobní operace broušení není do celkového času úspory započítávána, jelikož se tato opakuje u obou výrobních postupů.

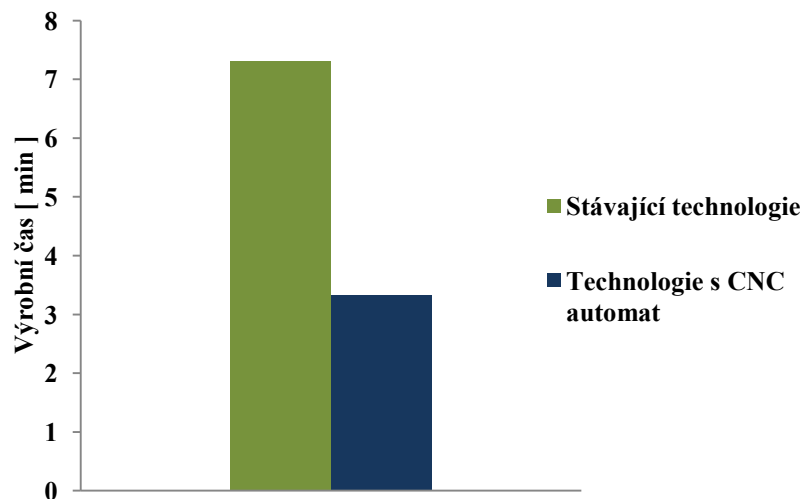
6.2.1 Výrobní časy

Celkový uspořené čas pro výrobu jednoho kusu hřídele je určen rozdílem výrobních technologií.

$$t_U = t_{KV} - t_{CNC} \quad (6.4)$$

$$t_U = 438,87 - 199,6$$

$$\underline{t_U = 239,27 \text{ s} \rightarrow \underline{3 \text{ min } 59,16 \text{ s}}}$$



Graf 1: Porovnání výrobních časů obou technologií

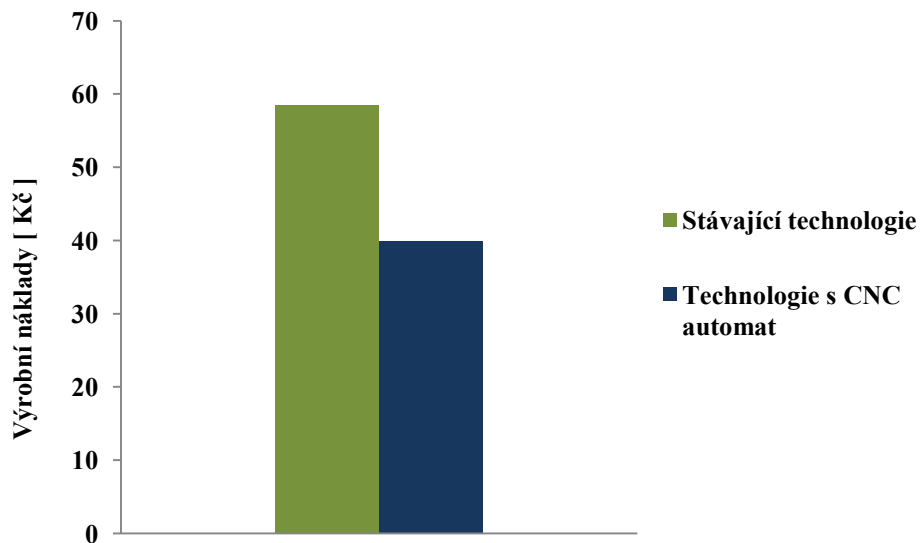
6.2.2 Výrobní náklady

Celkové uspořené náklady pro výrobu jednoho kusu hřídele je určen rozdílem nákladů výrobních technologií.

$$N_U = N_{KV} - N_{CNC} \quad (6.5)$$

$$N_U = 58,48 - 39,92$$

$$\underline{N_U = 18,56 \text{ Kč}}$$



Graf 2: Porovnání výrobních nákladů obou technologií

6.3 Návratnost investice

Postup při stanovení návratnosti investice do stroje byl takový, že se nejdříve výpočtem určilo, kolik kusů je možné vyrobit současným způsobem výroby, a kolik na stroji K'MX 632 DUO za jeden rok.

Dále bylo určeno, jaké množství součástí je zapotřebí vyrobit, aby došlo k zaplacení stroje. Z již zjištěné finanční úspory na jeden kus hřídele bylo nakonec stanoveno, doba návratnosti investice.

1 den = 15 hod. - dvousměnný provoz

1 rok = 252 pracovní dny (počet pracovních dní je stanoven podle roku 2013)

1. Počet kusů za jeden rok stávající technologie

$$n_v = \left(\left(\frac{3\,600}{t_{KV}} \right) \cdot h_d \right) \cdot d \quad (6.6)$$

$$n_v = \left(\left(\frac{3\,600}{438.87} \right) \cdot 15 \right) \cdot 252 = 31\,006,9 \rightarrow 31\,006 \quad [\text{ks}]$$

kde:

d – počet pracovních dní za jeden rok

t_{KV} - celkový čas práce na konvenčních strojích

h_d - počet hodin za jeden pracovní den

2. Počet kusu za jeden rok CNC technologie

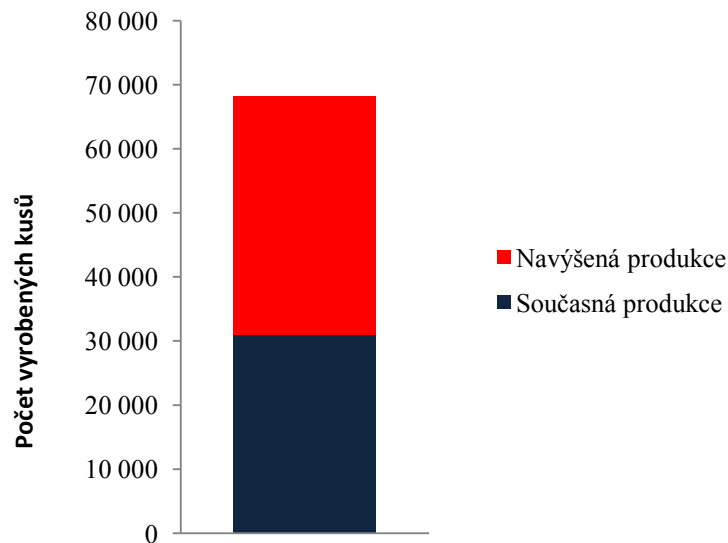
$$n_v = \left(\left(\frac{3\,600}{t_{CNC}} \right) \cdot h_d \right) \cdot d \quad (6.7)$$

$$n_v = \left(\left(\frac{3\,600}{199.6} \right) \cdot 15 \right) \cdot 252 = 68\,176,353 \rightarrow 68\,176 \quad [\text{ks}]$$

kde:

t_{CNC} - celkový čas práce na CNC stroji

Za rok je možné díky navržené technologii vyrobit o 37 170 ks více, to je navýšení produkce o 119,9 %.



Graf 3: Produkce

3. Počet kusu potřebných k zaplacení stroje

$$A = \frac{C_{K'MX}}{N_U} \quad (6.8)$$

$$A = \frac{3\,750\,000}{18,56} = 202\,047,41$$

$$\underline{A = 202\,048} \quad [\text{ks}]$$

kde:

A - počet kusů na zaplacení stroje

$C_{K'MX}$ - pořizovací cena stroje

N_U - úspora nákladů na jeden kus

4. Návratnost investice

$$N_I = \frac{A}{n_v} \quad (6.9)$$

$$N_I = \frac{202\,048}{68\,176} = 2,96 \text{ roků}$$

kde:

N_I - návratnost investice

Návratnost investice do stroje činí 2 let 11 měsíců a 17 dní

Jak je výše početně určeno náklady spojené s pořízením stroje Manurhin K'MX 632 Dou se společnosti Skrat kovo s.r.o. vrátí za 2 let a 11 měsíců. Tato doba návratnosti je však platí, jen když na stroji bude vyráběna tato součástka, ve dvousměnném provozu a to po celou stanovenou dobu.

7. Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabýval zefektivněním výroby rotační součásti a to konkrétně hřídelí elektromotoru ve společnosti Skrat kovo s.r.o.

Nejprve je v úvodní části práce představena společnost a její organizační struktura. Následuje popis stávající technologie výroby, která je realizována za pomoci konvenčních strojů, jež jsou ve standardním vybavení firmy Skrat kovo s.r.o., pásová pila, universální hrotový soustruh, konzolová frézka a bruska. Popis technologie je také doplněn technologickým postupem výroby součásti. Dále je navržena nová technologie výroby s volbou vhodného CNC stroje.

V další části následuje technicko-ekonomické zhodnocení. Bylo provedeno měření a výpočty, aby se zjistila náročnost na výrobu jednoho kusu součásti a následně jejich rozdílem, finanční a časová úspora. Při výpočtech a hodnocení obou technologií bylo zjištěno, že došlo k výraznému uspoření čistého strojního času výroby na jeden kus výrobku při použití technologie se zvoleným CNC automatem a to o 54,59 % a také k úspoře výrobních nákladů o 31,74 %. Poté bylo dalším výpočet určeno, že za pomoci CNC stroje je možné vyrobit z původních 31 006 ks o 37 170 ks za rok více, což je nárůst o 119,9%.

Zcela nakonec byla stanovena ekonomická návratnost investice, která činí 2 roky a 11 měsíců. Celková doba návratnosti se však může lišit a to v tom v případě, jestliže do výroby budou zařazeny výrobky s nižší pracností.

Výsledky měření a výpočtů tedy prokázali, že použitím CNC stroje při výrobě hřídele dojde k zefektivnění, čímž byly splněny všechny podmínky stanovené společností Skrat kovo s.r.o.

I když návratnost investice necelé 3 roky je podle majitele společnosti přijatelná, jsou pořízení náklady přece jen vysoké a zakoupení tohoto konkrétního stroje bude ještě zváženo.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat majiteli firmy SKRAT KOVO s.r.o. panu Janu Horkému ml. za umožnění vytvoření této práce ve své firmě a panu Janu Horkému st. za cenné odborné rady a poskytnuté informace.

Dále děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc za odborné vedení, připomínky, pomoc při tvorbě práce.

Seznam použité literatury

- [1] Strojírenství v České republice [online]. 2009. [cit.2013-04-13]. Dostupný z < <http://www.czech.cz/cz/Podnikani/Firmy-v-CR/Strojirenstvi> >
- [2] SKRAT KOVO s.r.o. [online] 2013 [cit.2013-02-10]. Dostupný z < www.skratkovo.cz/index.php?action=home&id=42 >
- [3] KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře – Části pohonů strojů* Ostrava: Skripta VŠB-TU, Editační středisko VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2008. 146 s. ISBN 978-80-248-1860-3.
- [4] KOČMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění* Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [5] Měření a seřízení řezných nástrojů [online] 2013 [cit.2013-04-01]. Dostupný z < <http://www.mmspektrum.com/clanek/rezne-nastroje-soucasnosti-2.html> >
- [6] Řezné nástroje současnosti [online] 2013 [cit.2013-04-01]. Dostupný z < <http://www.mmspektrum.com/clanek/mereni-a-serizovani-reznych-nastroju.html> >
- [7] KLETEČKA, J; FOŘT, P. *Technické kreslení* Brno: Vydavatelství a nakladatelství Cp Books, a.s., Brno 2005. 252 s. ISBN 80-251-0498-2
- [8] LEINVEBER Jan, VÁVRA Pavel. *Strojnické tabulky*. Albra – Pedagogické nakladatelství. Úvaly 2003. 869 s. ISBN 80-86490-74-2
- [9] FEROMAT s.r.o. - Jakosti ocelí [online]. 2010 [cit.2013-02-12]. Dostupné z < http://www.feromat.cz/jakosti_oceli >
- [10] Značení ocelí DIN – EN – ČSN [online]. 2012 [cit.2013-02-12]. Dostupné z < <http://www.salzgitter.cz/index.php?page=33> >
- [11] Bolzano Bohdan – přehled chemického složení [online]. 1998 - 2004 [cit.2013-02-12]. Dostupné z < <http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/EN10025/chemsloz/> >

- [12] Návod k obsluze univerzálního hrotového soustruhu SUI 50 TOS Trenčín
- [13] Návod k obsluze konzolové frézky FA 3A U
- [14] Návod k obsluze brusky na hřídele BH 25A/ 1500
- [15] Tajmac-zps a.s. – Dlouhotočný CNC automat K'MX 632 DUO. [online] 2012. [cit. 2013-01-31]. Dostupné z <<http://www.tajmac-zps.cz/en/KMX-632-DUO>>

Seznam obrázků tabulek a grafů

Obr. 1: Výrobní prostory společnosti Skrat kovo s.r.o.	11
Obr. 2: Schéma organizační struktury	12
Obr 3: Sortiment výrobků	13
Obr 4: Odstupňovaná (tvarová) hřídel	15
Obr 5: Příklad značení tolerancí	16
Obr 6: Geometrických tolerancí	17
Obr 7: Přístroj TRS1 pro monitorování stavu řezného nástroje při obrábění (Renishaw)	17
Obr 8: Průměrná aritmetická úchylka povrchu Ra	19
Obr 9: Největší výška profilu Rz	19
Obr 10: Schéma základních úchylek	20
Obr 11: Model hřídele	21
Obr 12: Hrotový soustruh SUI 50	22
Obr 13: Frézka FA 3A U	23
Obr 14: Bruska na hřídele	24
Obr 15: Manurhin K`MX 632 DUO	29
Tab 1: Tabulka přesností rozměrů a drsností povrchů	17
Tab 2: Tabulka tolerančních přesností	20
Tab 3: Hodinové sazby strojů	34
Tab 4: Náklady na stroj	34
Tab 5: Výrobní časy stávající technologie	35
Graf 1: Porovnání výrobních časů obou technologií	37
Graf 2: Porovnání výrobních nákladů obou technologií	38
Graf 3: Produkce	39

Seznam příloh:

Příloha č. 1 – Výrobní výkres hřídele