



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH EFEKTIVNÍCH ZMĚN
TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU PRO VÝROBU
ZVOLENÉ SOUČÁSTI**

PROPOSAL OF EFFECTIVE CHANGES IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS
FOR THE PRODUCTION OF SELECTED COMPONENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martina Kalová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Slaný, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Studentka: **Martina Kalová**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Martin Slaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

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

Návrh efektivních změn technologického postupu pro výrobu zvolené součásti

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Analýza současného stavu výrobního procesu
2. Navržení vhodných změn v technologickém postupu a možnosti přesunutí výroby na CNC obráběcí centrum
3. Návrh nástrojového vybavení pro efektivní obrábění zvolené součásti
4. Zhodnocení návrhu, zformulování doporučení a implementace do výroby

Cíle bakalářské práce:

Téma práce si klade za cíl zhodnotit současný stav výroby specifické součásti vyráběné ve firmě Frentech Aerospace, s.r.o. a to zejména z hlediska technologického postupu, použitého strojního a nástrojového vybavení. V rámci práce bude dále vypracován návrh možného zefektivnění výrobního procesu a následně budou navržené změny implementovány do výroby.

Seznam literatury:

CIHLÁŘOVÁ, P., HILL, M. and PÍŠKA, M. Fundamentals of CNC Machining. [online]. Dostupné na World Wide Web : <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/ust/obrCNC/Fundamentals%20of%20CNC%20Machining.pdf>.

KOCMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

ŠTULPA, M. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

KOCMAN, K. Speciální technologie obrábění. 3. vyd. Brno: VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, 2004. 230 s. ISBN 80-214-2562-8.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá zhodnocením současného stavu výroby součástky typu čep a zhodnocení výrobních možností firmy se zaměřením na návrh změn, vedoucí k převedení výroby na nové strojní vybavení. V práci je blíže uveden typ použití součástky a předpokládané zátěžné síly působící v sestavě, zjednodušená pevnostní analýza zaměřená na identifikaci kritických míst a stručné hodnocení jejich významnosti. Další část práce se zaměřuje na zhodnocení navrhovaných změn porovnávaných se současným typem výroby.

Klíčová slova

obrábění, CNC obráběcí centrum, výrobní postup, nástroje, čep

ABSTRACT

The bachelor's work proposes modification of pivot pin manufacture technique for new machine in order to increase production efficiency. Main chapter contains description of the part function and dimension and stress analyses followed by the particular technological procedure. Evaluation in form of comparison between original and new technological procedure is presented in the conclusion.

Key words

Machining, CNC machining center, technological procedure, tools, pivot

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KALOVÁ, M. *Návrh efektivních změn technologického postupu pro výrobu zvolené součásti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 52 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Slaný, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **NÁVRH EFEKTIVNÍCH ZMĚN TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU PRO VÝROBU ZVOLENÉ SOUČÁSTI** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Martina Kalová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu Ing. Martinu Slanému Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování této bakalářské práce.

Dále děkuji Ing. Martinu Závodníkovi a Ing. Josefu Pavlišovi za jejich ochotu a poskytnutí potřebných informací.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 Čepové spojení	10
1.1 Charakteristika	10
1.2 Druhy čepů	10
1.3 Zajištění čepů	12
1.4 Pevnostní výpočet čepů.....	13
1.4.1 Kontrola na smyk	13
1.4.2 Kontrola na otláčení	13
1.4.3 Kontrola na ohyb	13
1.5 Zásady při navrhování čepů:	14
1.6 Obecné zásady při výrobě čepů:.....	14
1.6.1 Obrábění kvalitního povrchu.....	14
2 Rozbor dané součástky	15
2.1 Tvarová charakteristika součásti	15
2.2 Funkce součásti	15
2.2.1 Zatížení čepu	16
2.3 Materiál	21
2.3.1 Chemické složení	22
2.3.2 Tepelné zpracování pro materiál	22
2.3.3. Rozbor polotovaru.....	22
2.3.4 Zásady při obrábění korozivzdorných ocelí	22
2.4 Hodnocení technologičnosti.....	22
2.4.1 Ukazatelé technologičnosti	22
3 Dosavadní způsob výroby	24
3.1 Současně používané stroje	24
3.1.1 Pásová pila FORTE SBA 361/S.....	24
3.1.2 CNC SQT 10M.....	25
3.1.3 CNC soustruh ALPH 330 S	26
3.1.4 Konvenční soustruh SV18RA	27

3.2	Použité nástroje.....	28
3.3	Technologický postup	29
3.4	Návodky	30
4	Navrhované změny.....	31
4.1	Návrh polotovaru.....	31
4.2	Mazak QTN 200MY	32
4.3	Nástroje.....	33
4.4	Nový technologický postup	34
4.5	Návodky.....	35
5	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	36
5.1.	Celkové zhodnocení stávající technologie	36
5.2.	Celkové zhodnocení stávající technologie	39
5.2	Porovnání obou variant	41
	ZÁVĚR.....	42
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	43
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	45
	SEZNAM PŘÍLOH	48

ÚVOD

Firma Frentech Aerospace s.r.o. se dlouhodobě zabývá výrobou strojních součástí pro letecký průmysl. Díky rychlému rozvoji společnosti byl nedávno inovován strojový park za účelem zvýšení kvality a efektivity produkce. Tento krok vedl k nutnosti upravit technologii výroby součástí novým výrobním zařízením a právě návrhem nového technologického postupu strojní součásti se zabývá tato bakalářská práce.

Zadaná součást je čep převodovky, pro jehož výrobu je v současnosti zapotřebí tří strojů zajišťujících různé výrobní operace. Díl je nejdříve obroben na CNC obráběcím centru, jehož stav umožňuje pouze hrubování a opracování méně přesných ploch. Druhé CNC centrum sice zajišťuje opracování přesné, ale jeho funkce je omezena pouze na vnější plochy. Vnitřní plochy, které se na součásti rovněž nacházejí, jsou obráběny na konvenčním soustruhu. Všechny stroje jsou navíc zastaralé, nepřesné a pomalé, což činí produkci neefektivní a neekonomickou. Cílem této práce je navrhnout technologický postup pro nově zakoupené zařízení, které díky moderní technologii umožňuje integraci všech výrobních operací do jednoho pracoviště.

Pro zajištění dostatku informací o součásti je řešerše práce zaměřena na čepy obecně. Následuje analýza konkrétního zadaného čepu, na jejímž základě je přistoupeno k návrhu vlastního technologického postupu.

1 ČEPOVÉ SPOJENÍ

1.1 Charakteristika

Čepy se používají k rozebíratelnému spojení součástek, které přenášejí radiální síly. Spojení čepem umožňuje vzájemný pohyb spojených součástí. Protože je uložení hybné, musí být čep pojištěn proti axiálnímu pohybu.

Čepy jsou normalizované nebo nenormalizované. U normalizovaných najdeme jejich tvar, materiál a jejich jakostní a rozměrové parametry v normách. [1,2,3].

Štíhlostní poměr čepů je $1 < \lambda \leq 3$. Určuje se podle vztahu (1.1):

$$\lambda = L/D \quad (1.1)$$

kde: L délka rotační součásti [mm]
 D průměr rotační součásti [mm]
 λ štíhlostní poměr [-]

Výhody:

- snadná výroba
- jednoduchá montáž i demontáž
- nízké výrobní náklady
- snadná výroba

Nevýhody:

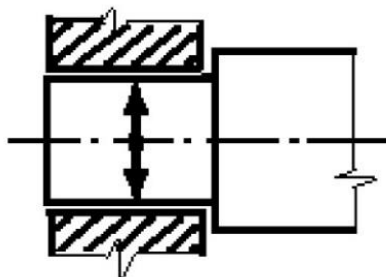
- přenos síly pouze v radiálním směru
- v axiálním směru nutno zajišťovat proti posuvu
- nutnost mazání spoje

1.2 Druhy čepů

- Hladké
 - o Bez děr
 - o S dírami pro závlačku
 - o S drážkami pro pojistný kroužek
- S hlavou
 - o Bez děr
 - o S dírami pro závlačku
 - o S drážkami pro pojistný kroužek
- Duté
 - o Hladké
 - o Pružné
- Speciální

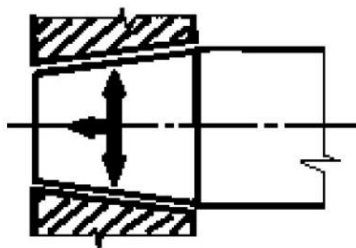
Zatěžování čepů[15]:

a)Válcové čepy (obr.1.1) přenáší pouze radiální zatížení. Případné zatížení působící v axiálním směru musí být zachyceno axiálním ložiskem.



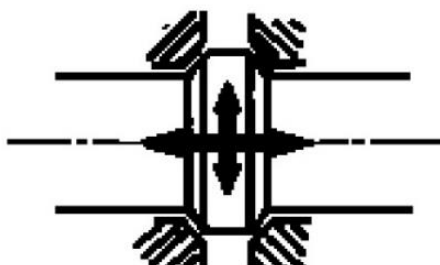
Obr.1.1 Směr zatížení válcového čepu.

b)Kružkové čepy (obr.1.2) jsou zatíženy jak v radiálním tak v axiálním směru, protože kuželový čep je schopen přenášet silové zatížení v obou směrech.



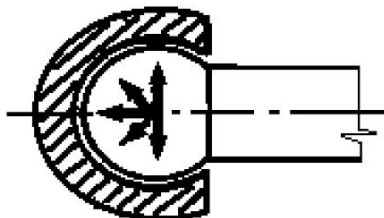
Obr.1.2 Směr zatížení kuželového čepu.

c)Prstencové čepy (obr. 1.3) slouží pro přenos axiálního zatížení. Jsou-li plochy prstencového čepu zkoseny, je čep schopen přenášet i určité radiální zatížení. Umisťují se uprostřed hřídele.



Obr.1.3 Směr zatížení prstencového čepu.

d) Kulové čepy (obr.1.4) mohou přenášet zatížení v libovolném směru. Dovolují i určité naklonění osy hřídele. Používají se tam, kde se během provozu mění směr.

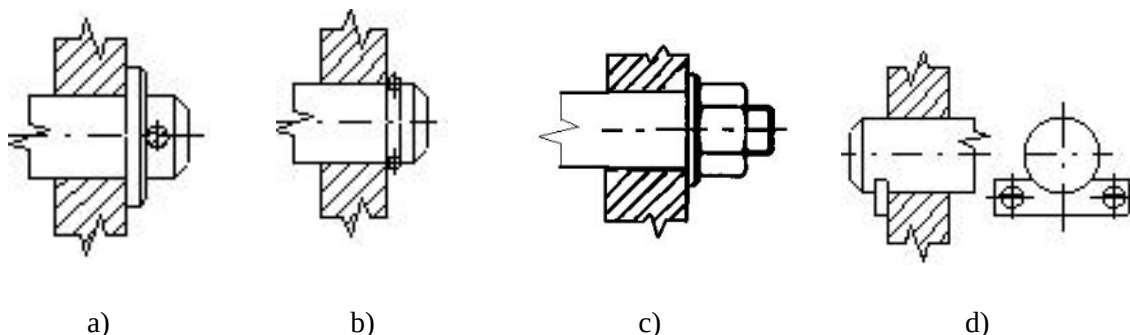


Obr. 1.4. Směr zatížení kulového čepu.

1.3 Zajištění čepů

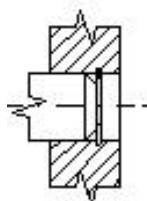
Zabraňujeme proti axiálnímu posunutí, a to normalizovanými druhy součástí[16,3].

Čepy s hlavou se proti osovému posunutí zajišťují přímo na volném konci vhodnou pojistkou, například závlačkou, nebo pružnými podložkou vnější, a také maticí. Nepřímo se mohou zajišťovat například příložkou se šroubem (obr. 1.3)



Obr.1.3. Zajištění volného konce čepu: pojištění závlačkou dle ČSN EN ISO 1234 (02 1781), b) pojištění pružnou podložkou ČSN 02 1741, c) maticí s podložkou ČSN EN ISO 4032 (201401) ČSN 42 3721, d) příložka se šroubem ČSN 42 3721.

Čepy bez hlavy se zajišťují na obou koncích, například závlačkami, pružnými pojistnými vnitřními kroužky (Obr.1.4), dle DIN 471 (ČSN 02 2930) , nebo nepřímo dvěma vnitřními pojistnými kroužky.



Obr. 1. 4 Pojištění vnitřním kroužkem.

1.4 Pevnostní výpočet čepů

Čepy jsou uloženy s vůlí, proto je kontrolujeme na smyk (střih) a otláčení současně. Obecným předpokladem je, že reakce mezi čepem a spojovanými částmi jsou na každé části rozloženy rovnoměrně podél kontaktu. Dále je kontrolujeme na ohyb.

1.4.1 Kontrola na smyk

Kontrola se projevuje mezi čepem a ložiskem jak v radiálním tak axiálním směru. Při větším zatížení, než je dovolené může dojít k ustřížení materiálu[4].

Kontrola na smyk (1.2):

$$\tau_s = \frac{F}{S} \leq \tau_{ds} \quad (1.2)$$

kde:	F	zatěžující síla [N]
	S	střížná plocha čepu [mm ²]
	τ_s	smykové napětí materiálu [MPa]
	τ_{ds}	dovolené smykové napětí [MPa]

1.4.2 Kontrola na otláčení

Tato kontrola se týká tlaku mezi čepem a ložiskem, tím může vzniknout deformace otláčení. Skutečný tlak vyjádřený velikostí zatěžující síly na plochu podélného průřezu čepu musí být menší, než tlak dovolený.

Kontrola na otláčení (1.3):

$$p = \frac{F}{S} \leq p_d \quad (1.3)$$

kde:	F	zatěžující síla [N]
	p	tlak [MPa]
	p_d	dovolený tlak [MPa]
	S	obsah plochy [mm ²]

1.4.3 Kontrola na ohyb

Ohybové momenty čepu se mají vypočítat z předpokladu, že spojované části jsou prostě odepřeny. Pro zjednodušení výpočtu předpokládáme, že reakce mezi čepem a spojovanými částmi jsou na každé části rozloženy rovnoměrně podél kontaktu.

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{o\,DOV} \quad (1.4)$$

kde:	W_o	modul průřezu v ohybu, pro tyč dán vztahem $W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$
	M_o	zatěžující ohybový moment $M_o = \frac{F \cdot l}{2}$

1.5 Zásady při navrhování čepů:

Hlavním funkčním prvkem čepu napříč všemi uvedenými druhy je jeho průměr. Na základě známého zatížení a způsobu použití je prvé řadě nutné určit hlavní rozměry v kombinaci s vhodnou materiálovou variantou. Při definici rozměrů je nezbytné zvolit správnou toleranci funkčních částí s důrazem na přesné uložení, protože díry pro čepy jsou vždy lícovány. Rovněž je vhodné určit vhodnou úpravu povrchu, která by měla být především otěruvzdorná. Tohoto efektu lze dosáhnout například cementováním a kalením.

1.6 Obecné zásady při výrobě čepů:

Volba řezných podmínek závisí na požadované jakosti povrchu, materiálu výrobku, materiálu nástroje i jeho požadované životnosti. Technologickou základnou pro soustružení bývá zpravidla vnější válcový povrch a čelo součásti. Pro upnutí obrobku používáme nejčastěji kleštinu nebo rychloupínací sklíčidlo.

1.6.1 Obrábění kvalitního povrchu

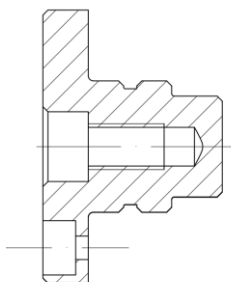
Z důvodu funkčních vlastností povrchu, jakostních podmínek a požadavků na povrch, je potřeba dokončujících operací. Lze jimi dosáhnout tolerance IT3 – IT5 a hlavně jakosti povrchu Ra 0,2 μm .

Hlavním rozdílem oproti soustružení je řezná rychlost, která je vyšší oproti posuvu ten je menší oproti normálnímu soustružení. CNC soustruhy nemají problém dosáhnout těchto požadavků, jejich použití má ekonomicky výhodné[14].

2 ROZBOR DANÉ SOUČÁSTKY

2.1 Tvarová charakteristika součásti

Uvažovaná součástka je typu čep s hlavou, jednostranně osazený s drážkou pro pojistný kroužek. Největší průměr (54 mm) součásti má hlava. Celková délka je 35,5 mm. Samotná součást se skládá z hlavy a dříku. Dřík má 3 různé průměry a to 26 mm, 23 mm a 20 mm. V Hlavně čepu je vyrobeno 5 otvorů s průměrem 5,2 mm se zahloubením pro válcovou hlavu šroubu. Tyto díry jsou vytvořeny na roztečné kružnici v průměru 40 mm v kruhovém poli z roztečí 72°. V ose součásti je díra s vnitřním závitem M8 do hloubky 30 mm. Všechny hrany jsou zkoseny 1 x45 °(Obr.2.1).



Obr. 2.1 Řez součásti typu čep s hlavou.

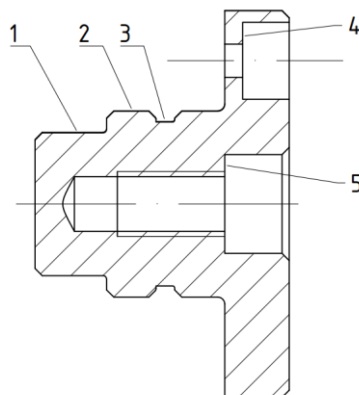
2.2 Funkce součásti

Čep, viz obrázek 2.2.1 slouží pro letmé uložení kuželového ozubeného kola ve stěně převodovky blíže nespecifikované konfigurace. Součást je uložena s malou vůlí v toleranci H7/g6 a těsněna O kroužkem umístěným ve středu válcové části průměr 26 mm uložené v převodovce. Na koncovou válcovou plochu průměru 20 mm je nasunuto kuželové ozubené kolo s třecím ložiskem. Čep je do převodovky upevněn pomocí pěti šroubů s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem přes kruhovou přírubu průměru 54 mm. Zahloubená slepá díra se závitem M8 v ose dílce slouží jednak pro odlehčení, a jednak pro vytažení ze skříně převodovky za pomoci demontážního přípravku.



Obr.2.2.1 Detail čepu.

Funkční plochy čepu jsou na obr. 2.2.2.

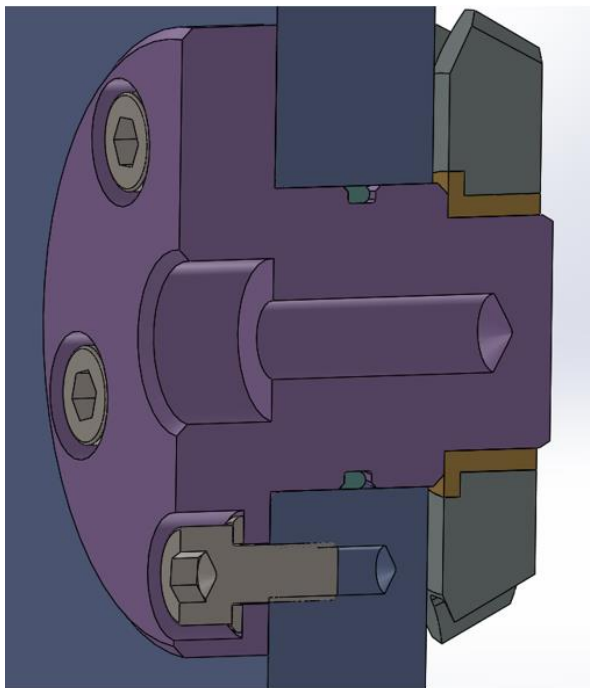


Obr.2.2.2 Funkční plochy čepu.

1. Funkční plocha pro ozubené kolo s třecím ložiskem.
2. Zahloubení pro pojistný kroužek.
3. Dosedací plocha pro uložení převodovky.
4. Osazení pro hlavu šroubu s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem.
5. Zahloubení pro demontážní přípravek.

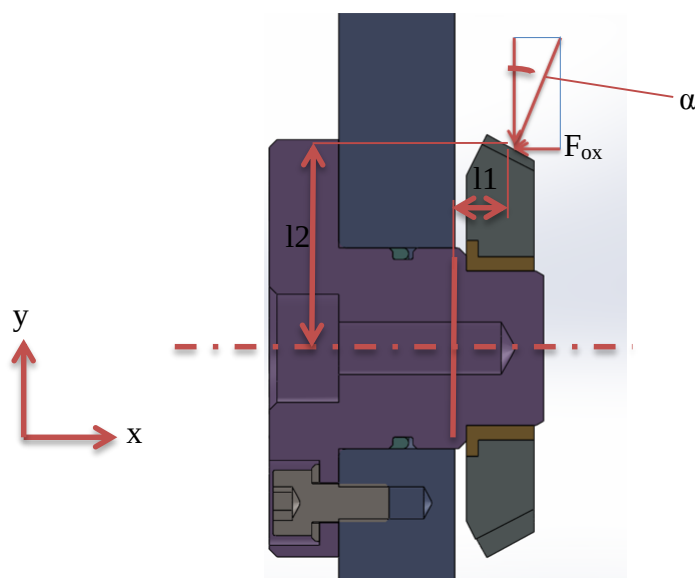
2.2.1 Zatížení čepu

Poloha čepu v sestavě je uvedena na obr. 2.2.3.



Obr. 2.2.3 Způsob využití čepu.

Součást je namáhána silou vznikající v ozubení přenášenou přes tělo kuželového ozubeného kola. Stykové plochy čepu a kola jsou zatíženy v radiálním i axiálním směru viz obr. 2.2.4.



Obr. 2.2.4 Zatížení čepu a identifikace kritického průřezu.

Síla v ozubení F_0 působící pod úhlem α je rozdělena do složek F_{0x} a F_{0y} . Čep je vetknut do stěny skříně a jeho volný konec se nachází těsně za ní. Jediný kritický průřez je identifikován v místě mezi stěnou a ozubeným kolem, viz obr. 2.2.5. Předpokládané namáhání je kombinace smyku a ohybu. Analýza napětí v tomto místě je uvedena níže. Součást je dále namáhána na otlačení jak válcové části $\varnothing 20$, tak mezikruží styku čela čepu a stěny ozubeného kola, viz výpočet níže.

Znamé parametry zatížení:

$$F_0 = 17 \text{ kN}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$F_{0x} = 8,5 \text{ kN}$$

$$F_{0y} = 14,72 \text{ kN}$$

Kontrola na otláčení v příčném směru (2.1):

Radiální síla F_{oy} zatěžuje válcovou plochu čepu na průmětu do normálové roviny ke směru osy y. Výpočet je uveden zde: Podmínka pro dovolené napětí na otláčení[4,3]:

$$p = \frac{F_{oy}}{S} \leq p_D \quad (2.1)$$

kde: p tlak [MPa]
 S průřez plochy [mm²]
 F_{oy} zatěžující síla v ose y [N]

$$p = \frac{14\,720}{200} = \underline{73,6 \text{ MPa} \leq 880 \text{ MPa}}$$

Průřez čepu (2.2):

$$S = d_{\zeta} \cdot x_1 \quad (2.2)$$

kde: d_{ζ} průměr čepu [mm]
 x_1 délka zatěžovaného průměru [mm]

$$S = 20 \cdot 10 = \underline{200 \text{ mm}^2}$$

Dovolený tlak (2.3):

$$p_d = 0,8 \cdot R_m \quad (2.3)$$

kde: R_m mez pevnosti v tahu [MPa]
 p_d dovolený tlak součásti [MPa]

$$p_d = 0,8 \cdot 1100 = \underline{880 \text{ MPa}}$$

Kontrola na otláčení v podélném směru (2.4):

Namáhání čelního mezikruží čepu na stykové ploše s ozubeným kolem je uvedeno zde:

Podmínka pro dovolené napětí na otláčení:

$$p = \frac{F_{ox}}{S} \leq p_D \quad (2.4)$$

kde: p tlak [MPa]
 S průřez plochy [mm²]
 F_{ox} zatěžující síla v ose x [N]

$$p = \frac{8500}{28} = \underline{303 \text{ MPa} \leq 880 \text{ MPa}}$$

Průřez čepu (2.5):

$$S = \frac{\pi \cdot (D_{\xi} - d_{\xi})^2}{4} \quad (2.5)$$

kde: D_{ξ} velký průměr čepu [mm]

d_{ξ} malý průměr čepu [mm]

$$S = \frac{\pi \cdot (26 - 20)^2}{4} = \underline{28 \text{ mm}^2}$$

Dovolený tlak (2.6):

$$p_d = 0,8 \cdot R_m \quad (2.6)$$

kde: R_m mez pevnosti v tahu [MPa]

p_d dovolený tlak součásti [MPa]

$$p_d = 0,8 \cdot 1100 = \underline{880 \text{ MPa}}$$

Kontrola na střih (2.7):

Čep je v kritickém průřezu zatěžován na střih radiální složkou F_{oy} .

Podmínka pro dovolené napětí smyku:

$$\tau_s = \frac{F_{oy}}{S} \leq \tau_{sD} \quad (2.7)$$

kde: τ_s smykové napětí materiálu [MPa]

S průřez plochy [mm³]

F_{oy} zatěžující síla v ose y [N]

$$p = \frac{8500}{28} = \underline{303 \text{ MPa}} \leq \underline{720 \text{ MPa}}$$

Průřez čepu (2.8):

$$S = \frac{\pi \cdot (d_{\xi} - d_d)^2}{4} \quad (2.8)$$

kde: d_{ξ} průměr čepu [mm]

d_d průměr díry v čepu [mm]

$$S = \frac{\pi \cdot (20 - 6,8)^2}{4} = \underline{137 \text{ mm}^2}$$

Dovolené napětí (2.9):

$$\tau_{sD} = 0,8 \cdot R_{p0,2} \quad (2.9)$$

kde: $R_{p0,2}$ mez kluzu v tahu [MPa]

τ_{sD} dovolené smykové napětí [MPa]

$$p_d = 0,8 \cdot 900 = \underline{720 \text{ MPa}}$$

Kontrola na ohyb (2.10):

Zatížení ohybem vzniká od obou složek síly F_o . Složka F_{oy} vytváří ohybový moment v kritickém průřezu na rameni $a=5\text{mm}$ a složka F_{ox} na rameni $b=30\text{mm}$. Součet těchto momentů definuje zatížení v průřezu tvaru mezikružší.

$$6_o = \frac{W_o}{M_o} \leq 6_{oD} \quad (2.10)$$

kde: 6_o ohybový moment [MPa]
 W_o modul průřezu v ohybu [mm^3]
 M_o ohybový moment [Nm]

$$6_o = \frac{212500}{775} = \underline{274 \text{ MPa}} \leq 720 \text{ MPa}$$

Modul průřezu (2.11):

$$W_o = \frac{\pi \cdot (d_{\xi}^4 - d_d^4)}{32 \cdot d_{\xi}} \quad (2.11)$$

kde: d_{ξ} průměr čepu [mm]
 d_d průměr díry čepu [mm]

$$W_o = \frac{\pi \cdot (20^4 - 6,8^4)}{32 \cdot d_{\xi}} = \underline{775 \text{ mm}^3}$$

Ohybový moment (2.12):

$$M_o = M_{ox} - M_{oy} \quad (2.12)$$

kde: M_{ox} moment od síly F_{ox} [MPa] $\rightarrow M_{ox} = 11 \cdot F_{ox} = 30 \cdot 8500 = \underline{255 \text{ Nmm}}$
 M_{oy} moment od síly F_{oy} [MPa] $\rightarrow M_{oy} = 12 \cdot F_{oy} = 5 \cdot 14720 = \underline{42,5 \text{ Nmm}}$

$$M_o = 255 - 42,5 = \underline{212,5 \text{ Nmm}}$$

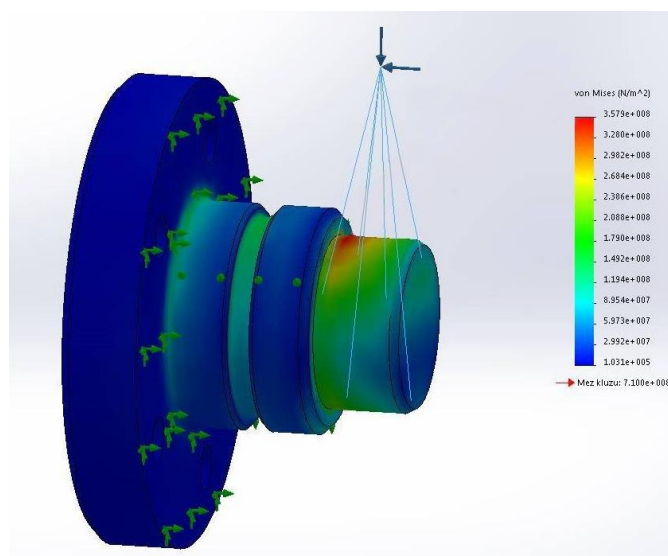
Redukované napětí HMH (2.13)[4,5]:

$$\sigma_{red} = \sqrt{6_o^2 + (\alpha \cdot \tau)^2} \quad (2.13)$$

kde: σ_{red} redukované napět [MPa]
 6_o ohybové napětí [MPa]
 τ smykové napětí [MPa]
 α pro oceli $\sqrt{3}$

$$\sigma_{red} = \sqrt{274^2 + (\sqrt{3} \cdot 107,4)^2} = \underline{331 \text{ MPa}}$$

Pro kontrolu analytického výpočtu byla provedena zjednodušená MKP analýza zatížení součásti v programu SolidWorks 2016. Okrajové podmínky byly nastaveny pro čelní plochu příruby (omezení ve všech směrech) a na válcových plochách uložených ve stěně skříně (omezení pouze v radiálním směru). Zatížení bylo definováno dle obrázku 2.2.7. Tento výpočet provedl Ing. Tomáš Ripel.



Obr. 2.2.7 MKP analýza čepu.

2.3 Materiál

Čep je navržen z oceli X4CrNiMo 16-5-1 (1.4418). Jedná se o martenzitickou korozivzdornou ocel. Ocel je označována podle značení EN 10088.

Je to ušlechtilá, konstrukční, slitinová ocel, která je vysoce legovaná korozivzdorná. Součet obsahu legovaných prvků je vyšší než 10%. K pro nás přijatelnějšímu rozpoznání, jsou oceli značeny procenty uhlíku a legujících prvků

Vývoj této oceli směřuje k zlepšení houževnatosti a zvýšení meze kluzu, což vzniká při přidání legujících prvků jako molybden, měď a křemík. Ke zvýšení pevnosti používáme nikl. Nejdůležitější je korozivzdorný účinek, který je zajišťován tím, že obsah legur niklu, chromu a molybdenu je vyšší než obsah železa.

Tyto oceli jsou nejčastěji používány pro součásti v elektrických a energetických zařízeních, dále v potravinářském, farmaceutickém nebo chemickém průmyslu. Dá se použít i na chirurgické nástroje[12, 13,14].

Tři skupiny :

- Martenzitickou, která je vhodná pro méně agresivní prostředí. Obsah uhlíku je 0,15- 1%. Má vyšší tvrdost, a Vzniká po kalení.
- Poloferitická, taktéž pro méně agresivní prostředí. Obsah uhlíku 0,1%.
- Feritická, je žárupevná a má dobrou odolnost proti opálu. Její obsah uhlíku je menší než 0,1%.

2.3.1 Chemické složení

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
[%]	0,06	0,7	1,5	0,04	0,025	15-17	4,0 -6,0	0,8-1,5	0,02

2.3.2 Tepelné zpracování pro materiál

Materiál je zušlechťován. Nejprve probíhá kalení za 1100 – 1130 ° C s chlazením do oleje, následuje žhání ta 380°C a chlazení na vzduchu. Za těchto podmínek vzniká tvrdost podle Brinela 255 HB, smluvní mez kluzu je podle materiálového listu $R_{p0,2} \geq 900$ MPa, mez pevnosti $R_m = 1100 - 1250$ Mpa a prodloužení je $A = 14$ % [13].

2.3.3. Rozbor polotovaru

Za polotovar je zvolen tyčový válcovaný materiál o průměru 90 mm a délce 38 mm. Tyto polotovary jsou děleny z tyče o délce 1 100mm.

2.3.4 Zásady při obrábění korozivzdorných ocelí

Při obrábění martenzitické vysokolegované korozivzdorné oceli, lze použít nástroje z rychlořezné oceli a cermetu slinutých karbidů, nejčastěji skupiny P. Tato ocel má vysoký obsah legujících prvků, a proto je vhodné opatřit povlaky. Slinuté karbidy poflakujeme PVD, ty musí mít vysokou odolnost proti otěru a hlavně chemickou stálost za vysokých teplot. Pro korozivzdorné oceli je vyráběna speciální řada nástrojů.

Se zvýšením množstvím uhlíku dochází k nárůstu pevnostních podmínek a zvyšuje se množství karbidu chromu, který má nepříznivý vliv na opotřebení [6,8,14].

2.4 Hodnocení technologičnosti

Je to souhrn vlastností konstrukce, které zabezpečují při optimálním plnění pracovních úkolů stroje a při technologické konstrukci detailů z hlediska spotřeby materiálu nejehospodárnější a časově co nejméně náročnou výrobu [6,7].

Posuzování provádíme z hlediska:

- Dodržení tvaru a geometrie
- Dodržení výrobních úchylek rozměrů a jakosti povrchu
- Zvýšení produktivity práce a efektivnosti

2.4.1 Ukazatelé technologičnosti

Ukazatel jakosti povrchu (2.14):

$$U_h = \frac{\sum_{i=1}^h H_i \cdot n_i}{n} \quad (2.14)$$

kde: H_i jakost povrchu [Ra]
 n_i četnost výskytu dané jakosti povrchu
 n četnost výskytu všech uvažovaných drsností

$$U_h = \frac{0,8 \cdot 1 + 1,5 \cdot 18}{19} = \underline{1,56 \mu m}$$

Ukazatel průměrné přesnosti (2.15):

$$U_p = \frac{\sum_{i=1}^h P_i \cdot n_i}{n} \quad (2.15)$$

kde: P_i IT číslo dané operace (H5=5)
 n_i četnost výskytu určité tolerance
 n četnost výskytu všech uvažovaných tolerancí,

$$U_p = \frac{13 \cdot 1 + 6 \cdot 3 + 9 \cdot 1}{15} = \underline{8}$$

Ukazatel využití materiálu (2.16):

$$U_m = \frac{G_1}{G_2} \quad (2.16)$$

kde: G_1 hmotnost výrobku [kg]
 G_2 hmotnost polotovaru [kg]

$$U_m = \frac{0,026}{0,242} = \underline{0,11}$$

Ukazatelé technologičnosti:		
Průměrná aritmetická úchylka profilu:	1,56	μm
Průměrné přesnosti:	8	[-]
Využití materiálu:	0,11	[-]

Tab.2.4 Ukazatelé technologičnosti.

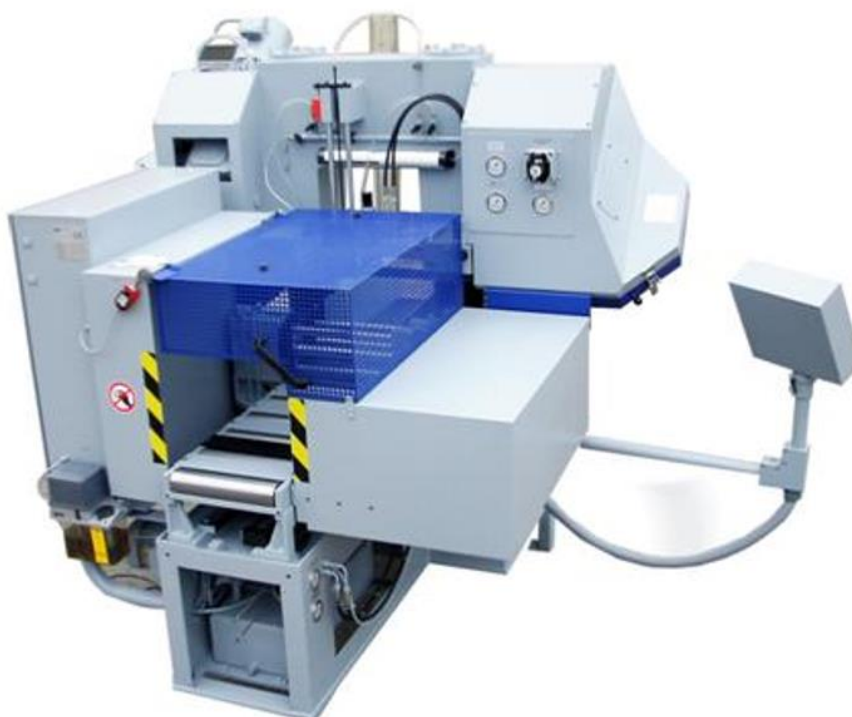
Z tohoto výpočtu vyplývá, že hmota součásti je tvoří 11% z polotovaru. Enormní odpad je neekonomický.

3 DOSAVADNÍ ZPŮSOB VÝROBY

3.1 Současně používané stroje

3.1.1 Pásová pila FORTE SBA 361/S

Dělení materiálu se provádí na pásové pile typu SBA 361/s od firmy FORTE. Tento stroje je plně automatický a řezná rychlost dosahuje až do 110m/min. Výkon stroje dosahuje 6,9kW a rozměry jsou (d x š x v) 1780 x 2225 x 2220 mm. Další parametry jsou uvedeny v tab. 3.1.1. a na obr. 3.1.1 je vidět samotný stroj[17].



Obr. 3.1.1 Pásová pila FORTE 361/s.

Tab. 3.1.1 Technické parametry FORTE 361/s

FORTE SBA 361/S	
Největší průměr tyče:	800 mm
Rychlost pásu:	až 110 mm . min ⁻¹
Rozměry pilového pásu:	4870 x 41 x 1,3 mm
Největší posuv:	600 mm
Váha stroje:	2500 kg
Motor:	6,9 kW

3.1.2 CNC SQT 10M

Firma pro obrábění doposud používala CNC soustruh, SQT 10M, viz obr 3.1.2. Tento stroj využívá revolverovou hlavu s dvanácti pozicemi pro nástroje. Tento model je vybaven dopravníkem třísek z pracovního prostoru do kontejneru. Soustruh je vybaven řídicím systémem Mazatrol. Nevýhodou je nízký výkon, a to 7,5kW. Funkční parametry jsou v tab. 3.1.2[9].



Obr. 3.1.2 CNC soustruh SQT 10M.

Tab. 3.1.2 Technické parametry SQT 10M

CNC SQT 10M	
Maximální průměr součásti:	435 mm
maximální hmotnost součásti:	25 kg
Maximální otáčky:	5000 ot . min ⁻¹
Rozměr stroje:	2475 x 1465 x 1892 mm
Výkon stroje:	7,5 kW
Hmotnost stroje:	3500 kg
Počet nástrojů v hlavě:	12 hlav
Maximální otáčky hnaného nástroje:	3000 ot . min ⁻¹
Rychlost posuvu- osy X,Z	30 m . min ⁻¹

3.1.3 CNC soustruh ALPH 330 S

Vřeteno cnc soustruhu, viz obr 3.1.3, má výkon 7,5 kW. Má 4 režimy činnosti, včetně manuálního a poloautomatického. Parametry jsou udány v tab. 3.1.3[18].



Obr. 3.1.3 CNC ALPH 330S

Tab. 3.1.3 Technické parametry CNC ALPH 330 s

CNC ALPH 330 S	
maximální délka součástky:	1010 mm
Maximální průměr součástky	310 mm
Výkon stroje:	7,5 kW
Rozměr stroje:	2030 x 1220 x 1520 mm
Hmotnost stroje:	1,1 t
Maximální rychlost otáčení hl. vřetene:	3500 m . min ⁻¹
Maximální otvor vřetene:	40 mm

3.1.4 Konvenční soustruh SV18RA

Je to stroj pro univerzální použití v malosériové výrobě, pro všechny typy materiálů. Na obrázku 3.1.4 je vzhled stroje a v tab. 3.1.4 jsou technické parametry[19].



Obr. 3.1.4 SV18RA soustruh.

tab. 3.1.4 Technické parametry soustruhu SV18RA

Konvenční soustruh SV18RA	
vzdálenost hrotů:	750 mm
výkon stroje:	7,5 kW
otáčky vřetene:	280 ot . min ⁻¹
rozměr stroje:	2520 x 950 mm
maximální hmotnost obrobku	300 kg
váha stroje:	1730 kg

3.2 Použité nástroje

Nástrojový list

Č.N.	NÁHLED	NÁZEV		VÝROBCE	OZNAČENÍ	MATERIÁL
T1		Pilový pás		evotec	34x1,1	
T2		HRUBOVACÍ VNĚJŠÍ	VBD	ISCAR	MWLN R 2020 K8	
				ISCAR	WNMG080408. SM	T6030
T3		HLADÍCÍ VNĚJŠÍ	VBD	SECO	SDJCR 2020 K11	
				SECO	DCMT11T302-F1	CP500
T4		ZAPICHOVACÍ VNĚJŠÍ	VBD	SANDVIK	RF151.23 2020 20M1	
				SANDVIK	N151.2.200.5E 235	
T4		ZAPICHOVACÍ VNĚJŠÍ	VBD	ISCAR	GHGR 20-2	
				ISCAR	GIP 1.78.0.18	IC908
T5		NAVRTÁVÁK MONOLIT	TITEX		D12	
T6		VRTÁK MONOLIT	TITEX		A3385	TFL
T7		VRTÁK MONILIT	MAY		D10	
T8		HRUBOVACÍ VNITŘNÍ	VBD	ISCAR	S0610H SWUBR-06	
				ISCAR	WBMT060102L	IC3028
T9		DOKONČOVACÍ VNITŘNÍ	VBD	ISCAR	S0710H SWUBR-06	
				ISCAR	WBMT060102L	IC3028
T10		VRTÁK MONOLIT	TITEX		A6485	TFT
T11		FRÉZA MONOLIT	WNT		52 848 110	
T12		VRTÁK MONILIT	TITEX		A3385	TFL
T13		ZÁVITNÍK VNITŘNÍ	TITEX		E2021382 M8LH	THL

3.3 Technologický postup

č. op.	Název stroje	Popis operace	Pracoviště	Str. čas
10		ŘEZAT NA L=38 mm	P01	10
15	CNC SQT10 M	MEZI OPERAČNĚ BALIT JEDNOTLIVĚ DO BLISTRU DÍLY BEZ ŠKRÁBANCŮ SOUSTRUŽIT HOTOVĚ , VRTAT, ZAHLOUBIT, PR. 20g6 na 20,3-0,1, 26g6 na 26,3-0,1, závit nědělat	S06	120
20	CNC Alpha 330 s	MEZI OPERAČNĚ BALIT JEDNOTLIVĚ DO BLISTRU DÍLY BEZ ŠKRÁBANCŮ SOUSTRUŽIT HOTOVĚ, PR.20g6 a 26g6	S01	30
25	kon. Soustr. SV18RA	MEZI OPERAČNĚ BALIT JEDNOTLIVĚ DO BLISTRU DÍLY BEZ ŠKRÁBANCŮ ŘEZAT ZÁVIT M8-6H	S10	20
30	ZÁMEČNÍK	MEZI OPERAČNĚ BALIT JEDNOTLIVĚ DO BLISTRU DÍLY BEZ ŠKRÁBANCŮ CELKOVĚ ODJEHLIT	Z01	15
70	KONEČNÁ KONTROLA	POVRCHOVÁ ÚPRAVA BUDE PROVEDENA V DALŠÍ FÁZI 100% KONTROLOVAT A PROTOKOLOVAT	k04	0,06
80	SKLAD	ROZMĚRY PŘESNĚJŠÍ NEŽ 0,05 U VŠECH DÍLŮ	DDS	

3.4 Návodky

Návodky slouží k podrobnějšímu popsání jednotlivých operací. Jsou v nich informace potřebné k výrobě součásti. V níže uvedeném textu jsou nákresy součásti v rozpracovaném stavu odpovídající dané operaci. Nalezneme zde i dané nástroje, a řezné rychlosti, šířky záběru hlavního ostří pro jednotlivé třísky a hlavně propočítány strojní časy. Návodky viz příloha č.2 [10,11,3].

Pro výpočet byly použity tyto vztahy:

Výpočet otáček (3.1):

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

kde: v_c řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]
 D průměr [mm]
 n otáčky [min^{-1}]

Výpočet jednotkového strojního času (3.2):

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} [\text{min}] \quad (3.2)$$

kde: L dráha nástroje ve směru posuvového pohybu [mm]
 f posuv na otáčku [mm]
 n otáčky [min^{-1}]
 t_{AS} strojní čas [min]

4 NAVRHOVANÉ ZMĚNY

Vzhledem k tomu, že stroj už nedosahuje požadované tolerance IT, firma se rozhodla ke koupi nového. Je od těžké firmy, a to Mazak QTN 200 MY. Nový stroj má o 17,5 kW vyšší výkon oproti dosavadnímu.

4.1 Návrh polotovaru

Z ekonomického hlediska zvolený materiál, který firma používá pro výrobu této součásti, je velmi nevýhodný. Z výše uvedených propočtů, jsme zjistili, že využití polotovaru, je 11%. Tato hodnota je nejenom velmi neefektivní z ekonomického hlediska, ale i z hlediska strojních časů a trvanlivosti nástroje.

Abychom mohli z polotovaru vyrobit součást předepsaných geometrických tvarů a rozměrů v předepsané výrobní toleranci a jakosti obráběné plochy, musíme zvolit polotovar s dostatečnými přídávky na obrábění[20].

Vztah pro výpočet průměru polotovaru (4.1):

$$D_p = d_{max} + p_d \quad (4.1)$$

kde: D_p průměr polotovaru [mm]
 d_{max} maximální průměr na hotové součásti [mm]
 d_p přídavek na průměr [mm]

$$D_p = 54 + 4,7 = \underline{58,7\text{mm}}$$

Přídavek na průměr (4.2):

$$d_p = \frac{5 \cdot d_{max}}{100} + 2 \quad (4.2)$$

kde: d_{max} maximální průměr na hotové součásti [mm]
 d_p přídavek na průměr [mm]

$$d_p = \frac{5 \cdot 54}{100} + 2 = \underline{4,7\text{mm}}$$

Vztah pro výpočet délky polotovaru (4.3):

$$L_p = l + p_L \quad (4.3)$$

kde: L_p délka polotovaru [mm]
 p_L přídavek na délku, p_L volíme $1 \div 5$ mm
 l délka součásti [mm]

$$L_p = 35,5 + 2,5 = \underline{38 \text{ mm}}$$

Na základě zhodnocení vypočtené hodnoty průměru polotovar a povrchových vad vstupního materiálu bylo přistoupeno k nákupu tyčí o průměru 56,4mm. Tento rozměr koresponduje s průměrem nakupovaných tyčí od firmy Safran, která je hlavním dodavatelem výrobce. Tato firma dodává tyče v palcových rozměrech.

4.2 Mazak QTN 200MY

Toto soustružnické centrum s nejvyspělejší technologií a velmi vysokým výkonem. S Matrix Nexus 2 CNC programováním se vyznačuje jako dialogové programování s doplněním o kontrolu a simulaci programování EIA-ISO ve standardní výbavě. Stroj pro plně automatizovanou výrobu může být vybaven podavačem. Výkon motoru je 25 kW. Další parametry jsou v tab. 4.1 vzhled je na obr 4.1.

Tab. 4.1 Parametry stroje.

QTN 200 MY	
Maximální průměr součásti:	380 mm
maximální hmotnost součásti:	25 kg
Maximální otáčky:	6000 ot . min ⁻¹
Výkon stroje:	26 kW
Počet nástrojů v hlavě:	12 hlav
Maximální otáčky hnaného nástroje:	3000 ot . min ⁻¹
Rychlost posuvu- osy X,Z	30 m/min



Obr. 4.1. CNC QTN 200MY

4.3 Nástroje

Nástroje byli vybrány ve spolupráci s firmou: Dělali se zátěžové testy, ve kterých vyšli dle poměru výkon cena nejlépe tyto nástroje.

Tab.4.2. Nástrojový list.

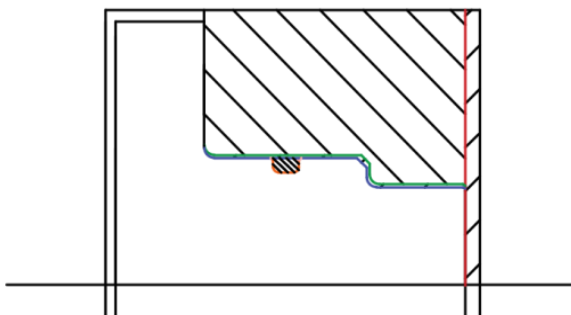
Nástrojový list						
Č. N.	NÁHLED	NÁZEV		VÝROBCE	OZNAČENÍ	MATERIÁL
T1		Pilový pás		evotec	34x1,1	
T2		HRUBOVACÍ	VNĚJŠÍ	ISCAR	MWLN R 2525 K8	
			VBD	ISCAR	WNMG 080408-TF	IC507
T3		HLADÍCÍ	VNĚJŠÍ	ISCAR	SDHCR 1616K-11S	
			VBD	ISCAR	DCGT 111T304 AS	IC520
T4		ZAPICHOVACÍ	VNĚJŠÍ	KENAMET AL	A4SMR2525 M0217	
			VBD	KENAMET AL	A4G0200M02P 02 GUP	KCU10
T4		VRTÁK	MONOLIT	TITEX	DIN 6535 HA 6,8	HSS-E , TiN
T5		DOKONČOVACÍ	VNITŘNÍ	ISCAR	A08J STFPR 09X	
			VBD	ISCAR	TPGX 090202-L	IC9008
T6		VRTÁK	ZÁVITNÍK	EMUGE	3B-VA M8 371	HSS-E
T7		VRTÁK	MONOLIT	ISCAR	SCD 052-020-060 AP3	IC908
T8		VRTÁK	ZAHLUBOVACÍ	STIMZET	C046050F000S	HSS

4.4 Nový technologický postup

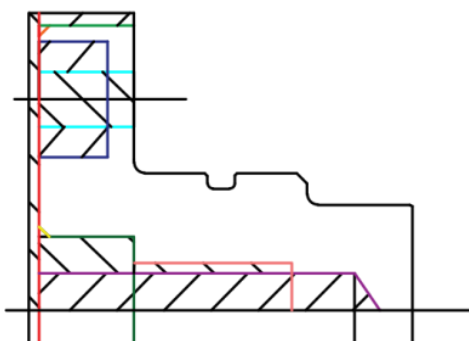
Tab. 4.3 Technologický postup.

		VÝROBNÍ POSTUP		Název součásti:	ČEP	
Číslo op. Pořadové:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Dílna:	Popis práce v operaci:			Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:
Orientační:	Třídící číslo:					
01.	Pásová pila Forte SBA 361/S	OBROBNA	Dělit materiál na L=38 mm			1.
03.	CNC QTN 200 MY	OBROBNA	Upnout obrobek za $\varnothing 56,4$ Zarovnat čelo Hrubovat $\varnothing 26$ s přídavkem 0,3 Hrubovat $\varnothing 20$ s přídavkem 0,3 Soustružit $\varnothing 26$ g6 x 35,6 mm Soustružit $\varnothing 20$ g6 x 10 mm Srazit hrany 1 x 30° Srazit hrany 1 x 45 ° Zápich 2,6 mm x 7 mm R 0,3 Srazit hrany 2 x 0,5 / 45 °			T2. T3. T3. T3. T3. T4. T3.
04.	CNC QTN 200 MY	OBROBNA	upnout obrobek za $\varnothing 20$ Soustružit na $\varnothing 54$ mm Zarovnat čelo na 9 mm Srazit hrany 1 x 45 ° Vrtat $\varnothing 6,8$ mm Zahloubit hrany $\varnothing 14$ x 9 mm Srazit hrany 1 x 45 ° Řezat závit M8 x 24 mm vrtat $\varnothing 5,2$ mm 5x Zahloubit hrany $\varnothing 11$ x 6,5 mm			T2. T3. T5. T7. T3. T3. T8. T6. T7.
05.	zámečník	Z01	Celkově odjehlit ručně			
06.	konečná kontrola	K04	100% Kontrola kontrolovat rozměry přesněji tolerované rozměry než 0,05 – četnost 100%			
07.	Ruční dílna	K03	Balit do blistra			
08.	sklad	DDS	Uskladnění výrobku			

4.5 Návodky



Č.O.	NÁZEV OPERACE		V_c	n	f	a_p	t_{AS}	Č.N.
1.	ZAROVNÁNÍ ČELA		120	677	0,15	1	0,14	T2
2.	HRUBOVAT KONTURU		120	927	0,15	3	0,91	T2
3.	DOKONČIT KONTURU		140	825	0,1	0,15	0,3	T3
4.	ZÁPICH		60	734	0,04	0,03	0,39	T4
5.	SRAZIT HRANY 0,5X 45		120	1469	0,1	0,05	0,078	T3



Č.O.	NÁZEV OPERACE		V_c	n	f	a_p	t_{AS}	Č.N.
1.	ZAROVNÁNÍ ČELO		120	677	0,15	1	0,14	T2
2.	SOUSTRUŽIT NAČISTO 54		120	691	0,15	0,6	0,2	T2
3.	SRAZIT HRANU 1X45		120	707	0,15	1	0,09	T3
4.	VRTAT PRŮMĚR 6,8		50	2340	0,3	3,4	0,042	T4
5.	ZAHLOUBIT PRŮMĚR 14X 9		100	2273	0,15	7	0,03	T5
6.	SRAZIT HRANU 1X45		100	2273	0,15	1	0,003	T3
7.	ŘEZAT ZÁVIT M8		60	2387	0,1	4	0,06	T6
8.	VRTAT PRŮMĚR 5,2		40	2400	0,18	2,6	0,1	T7
9.	ZAHLOUBIT PRŮMĚR 11X6,9		40	1157	0,1	5,5	0,3	T8

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole byly zhodnoceny pouze důležité faktory k porovnání variant technologického procesu. Další faktory, jako například odpis stroje, náklady spjaté s uskladněním atd jsou stále stejné, proto nejsou do srovnání zahrnuty. Dále zde nebudou uvedeny časy a náklady spojené s dělením materiálu, tento postup je nepozměněn taktéž ruční pracoviště, které se zabývá celkovým odjehlením výrobku.

V této kapitole budou uvažovány časy na výměru nástroje, které byly naměřeny přímo na pracovišti. Ceny za nástroje jsou uvedeny bez DPH. Vyhodnocení bude provedeno na sérii 100 kusů. Výměnné břitové destičky mají trvanlivost 15 minut. Těla nožů jsou taktéž rozpočtena na výrobu 100 kusů, i když by vydržela i další série.

Při hodnocení spotřeby elektrické energie počítáme s tím, že cena za 1kWh je 2 Kč, při plném výkonu stroje. Hodinová mzda jednoho pracovníka je 100 Kč.

Doplňkové časy jsou uvedeny v tabulce 5.1:

OPERACE	ČAS [min]	
	CNC obr. centrum	KONVENČNÍ
UPNUTÍ POLOTOVARU	0,1	0,5
OTOČENÍ OBROBKU	0,3	0,3
VYJMUTÍ VÝROBKU	0,1	0,5

5.1. Celkové zhodnocení stávající technologie

Celkový strojní čas (5.1)[10]:

$$t_{as} = (t_{as1} + t_{as2} + t_{as3}) \cdot 100 \quad (5.1)$$

kde: t_{as1} strojní čas na stroji SQT 10M [min]

t_{as2} strojní čas na stroji CNC ALPH 300 S [min]

t_{as3} strojní čas na stroji SV18RA [min]

$$t_{as} = (10,074 + 0,3 + 0,1) \cdot 100 = \underline{1047,4 \text{ min}}$$

Celkový čas doplňkový viz tab. 5.2:

Tab. 5.2 přeměnu obrobku

	1.operace	2.operace	3.operace
	CNC	CNC	Konvenční
upnutí	0,1	0,1	0,5
otočení	0,3	x	x
vyjmutí	0,1	0,1	0,5
celkem	0,5	0,2	1

Celkový čas na sérii určený k přeměně nástrojů je 170 minut.

Spotřeba elektrické energie (5.2):

$$E_e = P_s \cdot E_s \quad (5.2)$$

kde: P_s příkon stroje [kW]
 E_s strojní čas [hod]
 E_e spotřeba elektrické energie na 100 ks [kWh]

$$E_{e1} = 21 \cdot 16,79 = \underline{353} \text{ kWh}$$

$$E_{e2} = 21 \cdot 0,5 = \underline{10,5} \text{ kWh}$$

$$E_{e3} = 21 \cdot 0,16 = \underline{3,36} \text{ kWh}$$

$$\text{Celkem : } E_e = E_{e1} + E_{e2} + E_{e3} = \underline{366,5 \text{ kWh}}$$

Spotřeba elektrické energie v korunách (5.3):

$$C_e = P_t \cdot E_e \quad (5.3)$$

kde: C_e spotřeba elektrické energie [Kč]
 P_t cena energie na 1 kWh [Kč]
 E_e spotřeba elektrické energie [kWh]

$$C_{e1} = 2 \cdot 353 = 706 \text{ Kč}$$

$$C_{e2} = 2 \cdot 10,5 = 21 \text{ Kč}$$

$$C_{e3} = 2 \cdot 3,36 = 6,72 \text{ Kč}$$

$$\text{Celkem: } C_e = C_{e1} + C_{e2} + C_{e3} = \underline{738,44 \text{ Kč}}$$

Náklady na materiál (5.4) :

$$N_m = n_{st} \cdot P_s \quad (5.4)$$

kde: N_m celková cena materiálu na sérii [Kč]
 P_s celková délka tyče potřebná na sérii [m]
 n_{st} cena materiálu o průměru 90 a délce 1m [Kč]

$$N_m = 900 \cdot 3,8 = \underline{3\,420 \text{ Kč}}$$

Cena za nástroje:

Ceny jsou uvedeny v Kč bez DPH, a v maloobchodních cenách.

Název	Cena za kus	Počet ks na sérii	Cena na sérii
Tělo nože: MWLNR 2020 K8	1 596 Kč	1	1 596 Kč
Destička: WNMG080408. SM	208 Kč	20,3	4 222 Kč
Tělo nože: SDJCR 2020 K11	1 830 Kč	1	1 830 Kč
Destička: DCMT11T302-F1	221 Kč	2,6	575 Kč
Tělo nože: RF151.23 2020 20M1	2 065 Kč	1	2 065 Kč
Destička: N151.2.200.5E 235	150 Kč	0,13	20 Kč
Tělo nože: GHGR 20-2	2 100 Kč	1	2 100 Kč
Destička: GIP 1.78.0.18	350 Kč	1,3	455 Kč
Navrtávák: D12	318 Kč	1,8	177 Kč
Vrták: A3385	520 Kč	0,67	348 Kč
Vrták: D10	832 Kč	1,3	640 Kč
Tělo nože: S0610H SWUBR-06	1 300 Kč	1	1 300 Kč
Destička: WBMT060102L	100 Kč	0,03	3 333 Kč
Tělo nože: S0710H SWUBR-06	1 500 Kč	1	1 500 Kč
Destička: WBMT060102L	100 Kč	0,06	1 667 Kč
Fréza: 52 848 110	2 500 Kč	0,6	1 500 Kč
Vrták: A6485	850 Kč	4,3	198 Kč
Vrták: A3385	1 200 Kč	3,13	3 756 Kč
Závitník: E2021382 H8 LH	300 Kč	0,67	448 Kč

Cena za nakoupení nástrojů na sérii je 27 089 Kč

Mzda strojního pracovníka (5.5):

$$N_{mez} = t_{AS\ cel} \cdot H_{md} \quad (5.5)$$

kde: t_{cel} celkový čas [hod]
 H_{md} hodinová mzda pracovníka [Kč]
 N_{mez} hodinová mzda celkem [Kč]

$$N_{mez} = 20,3 \cdot 100 = \underline{2\,028\text{Kč}}$$

5.2. Celkové zhodnocení stávající technologie

V celkovém zhodnocení nového technologického postupu. Výpočty byly provedeny na sérii 100 Ks.

Celkový strojní čas (5.6) :

$$t_{as} = (t_{as1} + t_{as2}) \cdot 100 \quad (5.6)$$

kde: t_{as2} strojní čas na stroji QTN 200MY 1.poloha [min]

t_{as2} strojní čas na stroji QTN 200MY 2.poloha [min]

$$t_{as} = (1,818 + 0,95) \cdot 100 = \underline{276,8 \text{ min}}$$

Celkový čas doplňkový viz tab. 5.3:

tab 5.3. Čas přeměny obrobku

	1.operace
	CNC
upnutí	0,1
otočení	0,3
vyjmutí	0,1
celkem	0,5

Celkový čas na sérii určený k přeměně obrobků je 50 minut.

Spotřeba elektrické energie (5.7):

$$E_e = P_s \cdot E_s \quad (5.7)$$

kde: P_s příkon stroje [kW]

E_s strojní čas [hod]

E_e spotřeba elektrické energie na 100 ks [kWh]

$$E_e = 41,6 \cdot 4,62 = \underline{192 \text{ kWh}}$$

Spotřeba elektrické energie v korunách (5.8):

$$C_e = P_t \cdot E_e \quad (5.8)$$

kde: C_e spotřeba elektrické energie [kč]

P_t cena energie na 1 kWh [kč]

E_e spotřeba elektrické energie [kWh]

$$C_e = 192 \cdot 2 = \underline{384 \text{ Kč}}$$

Náklady na materiál (5.9) :

$$N_m = n_{st} \cdot P_s \quad (5.9)$$

kde: N_m celková cena materiálu na sérii [Kč]

P_s celková délka tyče potřebná na sérii [m]

n_{st} cena materiálu o průměru 56,4 a délce 1m [Kč]

$$N_m = 395 \cdot 3,8 = \underline{1501 \text{ Kč}}$$

Cena za nástroje:

Ceny jsou uvedeny v Kč bez DPH, a v maloobchodních cenách.

Název	Cena za kus	počet ks na sérii	cena na sérii
Tělo nože: MWLNR 2525 K8	1 780 Kč	1	1 780 Kč
Destička: WNMG080408. SM	210 Kč	7	1 470 Kč
Tělo nože: SDHCR 1616K-11S	1 950 Kč	1	1 950 Kč
Destička: DCGT 111T304 AS	246 Kč	3,14	772 Kč
Tělo nože: A4SMR2525 M0217	1 900 Kč	1	1 900 Kč
Destička: A4G0200M02P02 GUP	250 Kč	2,6	650 Kč
Vrták: Din 6535 Ha 6,8	2 200 Kč	0,28	616 Kč
Tělo nože: A08J STFPR 09X	1 750 Kč	1	1 750 Kč
Destička: TPGX 090202-L	205 Kč	0,2	41 Kč
Závitník : 3B –VA M83 71	232 Kč	0,4	93 Kč
Záhlubník: C046050F00S	366 Kč	2	732 Kč
Vrták: SCD 052-020-060 AP3	531 Kč	0,6	319 Kč

Cena za nakoupení 1 ks od všech nástrojů: 12 073 Kč

Mzda strojního pracovníka (5.10):

$$N_{mez} = t_{cel} \cdot H_{md} \quad (5.10)$$

kde: t_{cel} celkový čas [hod]
 H_{md} hodinová mzda pracovníka [Kč]
 N_{mez} hodinová mzda celkem [Kč]

$$N_{mez} = 4,7 \cdot 100 = \underline{470 \text{ Kč}}$$

5.2 Porovnání obou variant

V této kapitole je souhrn všech dosavadních racionalizací porovnán s původní technologií firmy. Všechny výsledky jsou zakomponovány v přehledné tabulce č. 5.2. Na levé straně jsou hodnoty z dosavadní výroby. V prostředním sloupci jsou hodnoty navrhovaného technologického postupy výroby a v posledním sloupci je porovnání obou variant.

Tab.5.2 Cenové srovnání.

	Dosavadní		Racionalizace		Zhodnocení	
Cena válcové tyče:	3 420	Kč	1 501	Kč	1 919 Kč	ÚSPORA
Náklady na energii:	738,4	Kč	384	Kč	354,40 Kč	ÚSPORA
Cena nástrojů:	27 089	Kč	12 073	Kč	15 016 Kč	ÚSPORA
Mzda pracovníka:	2 028	Kč	470	Kč	1 558 Kč	ÚSPORA

Celkový čas na výrobu jednoho kusu byl 10, 47 minut, nyní se snížil o 7,71 minut tj. 736%. Také čas strávený výměnou hotového výrobku, otočením polotovaru a vyjmutím obrobku, se zkrátí ze 170 minut na 50 minut. Úsporou bude i ve spotřebované energii, která z 366,5 kWh klesne na 192 kWh, to je o 173,5 kWh (48%) méně. Využití materiálu z 11% se zvýší na 27%.

ZÁVĚR

Práce se zabývá zvýšením efektivity výroby součásti typu čep na základě požadavku externího zadavatele, firmy Frentech Aerospace s.r.o. z důvodů přizpůsobení výrobní technologie novému strojovému vybavení.

Rešerše v úvodní části shrnuje obecné poznatky o čepích, jejich charakteristických vlastnostech a způsobu použití. Následuje rozbor vlastního výrobku skládající se z popisu funkce, definice zatížení, tvarové charakteristiky a v neposlední řadě specifikace vlastností použitého materiálu. Dále je identifikována kritických průřez zatížení, pro který je uvedena napěťová analýza podpořená MKP výpočtem.

V hlavní části práce je zmapován dosavadní výrobní postup a jsou navrženy změny technologického procesu založené především na integraci tří původních pracovišť na nově zakoupené CNC obráběcí centrum. Důraz je kladen na tvorbu nového technologického postupu, zpracování návodek. Návrh nového výrobního procesu je poté v kapitole 5 zkonfrontován s původním a to prostřednictvím porovnání relevantních hodnotících parametrů jako je čas či náklady.

Výsledek zhodnocení je uveden v tabulce 5.2. kde je vyčíslena konečná úspora získaná předloženým řešením.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KALÁB, Květoslav. Části a mechanismy strojů pro bakaláře. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1290-8.[2] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. Strojírenská technologie 1. 4., rev. vyd. Praha: Scientia, 2007. ISBN 978-80-86960-26-5.
- [2] VIGNER, M., ZELENKA, A., KRÁL, M. Metodika projektování výrobních procesů, 1. vyd. Praha: SNTL 1984. 592 s. Typ.č. L13-C3-IV-41/28784
- [3] LEINVEBER, J. – VÁVRA, P.: Strojnické tabulky. 3. doplněné vydání. Praha: Albra, 2006. ISBN 80- 7361-033-7.
- [4] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. Překlad Martin Hartl. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [5] KUNC, Antonín, Václav MAYER a Jan WANNER. Mechanika. Překlad Anton Daniel. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1955. Edícia strojárскеj literatúry (SVTL).
- [6] KOČMAN, K., PROKOP, J., Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: CERM, 2004. 270 s., ISBN 80-214-3068-0.
- [7] KOČMAN, K., PERNIKÁŘ, J. Ročníkový projekt II - obrábění. [online]. [5.3. 2016]. Studijní opory pro kombinovanou formu bakalářského studia v oboru 23-07-7 Strojírenská technologie. ÚST, FSI-VUT v Brně, 2002, 27 s. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/RocnikovyProjekt_II-obrabeni.pdf>
- [8] HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Odborné publikace. Odborné publikace. Praha: MM publishing s.r.o., 2008. 235 s. ISBN: 978-80-254-2250- 2. [2] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert.
- [9] Operating manual MAZAK SQT 10.,UK:Yamazaki MAZAK Corp., 1999. Číslo publikace: H352SG0010E.
- [10] AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění – Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. Z. Modern metal Cutting – A Practicak Handbook. ISBN 91- 972299-4-6.
- [11] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. Strojírenská technologie 1. 4., rev. vyd. Praha: Scientia, 2007. ISBN 978-80-86960-26-5.
- [12] Ocel 1.4418. [online] 2016 [cit. 20.5.2016]. Dostupné z World Wide web: <http://www.stahlportal.com/eng/stock-program/stainless-steel/14418/stainless-steel-14418-from-stock-stahlhandel-groeditz.html?gclid=Cj0KEQjw4J-6BRD3h_KIoqijwvkBEiQAfcPiBR7xScPUJyKbL5kznJHjE9SsP9177PYAQ1VLDbo3MfQaAmfn8P8HAQ>
- [13] Materiálový list společnosti Safran sagem,; č. 3300484505 R12 00, indice :01.
- [14] Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály [online]2015 [cit. 15.3. 2016]. Dostupné z <http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy.html>

- [15] HŘÍDELOVÉ ČEPY, INVESTICE DO ZDROJE VZDĚLÁNÍ, Ing. Iveta Koncičná, dostupné z metodického portálu www.Rvp.cz, ISS 1802-4785. [12.3.2016][online]VZD
http://www.sossoukyjov.cz/data/file/Strojnictvi/VY_32_INOVACE_5c/VY_32_I_NOVACE_5c13.pdf
- [16] KLETEČKA, Jaroslav a Petr FOŘT. Technické kreslení. Brno: Computer Press a.s., 2007. ISBN 978-80-251-1887-0.11
- [17] Technické parametry, Fortesargetech.da, 2016 [online], [cit. 30.4. 2016], Dostupné z < <http://www.fortesaegetech.de/sba361.html>>
- [18] HARRISON ALPHA -33S , Technické parametry [online] , [cit. 10.4. 2016], Dostupné z < <http://www.toolspecialties.com/?products=harrison-alpha-330-s>>
- [19] Hrotový soustruh SV18Ra, tumlikovo.cz, [cit. 5.3.2016], Dostupné z < <http://www.tumlikovo.cz/hrotovy-soustruh-sv18-ra/>>
- [20] HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. Strojírenská technologie 2. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-244-8.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
R_a	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
F	[N]	Zatěžující síla
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
S	[mm ³]	plocha průřezu
τ_S	[MPa]	smykové napětí materiálu
τ_{sD}	[MPa]	dovolené smykové napětí materiálu
ρ	[MPa]	tlak
ρ_D	[MPa]	dovolený tlak
σ_o	[MPa]	ohybový moment
σ_{oD}	[MPa]	dovolený ohybový moment
M_o	[Nmm]	maximální ohybový moment
W_o	[mm ³]	modul průřezu v ohybu
IT	[-]	tolerance
R_m	[MPa]	mez pevnosti
A	[%]	tažnost
R_p	[MPa]	smluvní mez kluzu
HB	[-]	tvrdost podle Brinela
U_h	[μm]	ukazatel jakosti povrchu
U_p	[-]	ukazatel průměrné přesnosti
U_m	[-]	ukazatel využití materiálu
D_p	[mm]	průměr polotovaru
d_p	[mm]	přídavek průměru polotovaru
d_{max}	[mm]	maximální poloměr výrobku

L_p	[mm]	délka polotovaru
l	[mm]	délka výrobku
pl	[mm]	přídavek na délku výrobku
N_{mez}	[Kč]	hodinová mzda celkem
H_{md}	[Kč]	hodinová mzda pracovníka
n_{st}	[Kč]	cena za polotovar
P_s	[Kč]	cena polotovaru
N_m	[m]	délka polotovaru
C_e	[Kč]	spotřeba elektrické energie
P_t	[Kč]	cena energie na 1 kWh
E_e	[kWh]	spotřeba elektrické energie
E_s	[hod]	strojní čas

Zkratka	Jednotka	Popis
SK	[-]	slinutý karbid
HRA	[-]	tvrdost dle Rockwella
PVD	[-]	Physical Vapour Deposition
CVD	[-]	Chemical Vapor Deposition
C	[-]	uhlík
Si	[-]	křemík
Mn	[-]	mangan
P	[-]	fosfor
S	[-]	síra

Cr	[-]	chrom
Ni	[-]	nikl
Mo	[-]	molybden
N	[-]	Newton
MPa	[-]	megapascal
mm	[-]	milimetr
kg	[-]	kilogram
kW	[-]	kilowat
μm		mikrometr

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 VÝROBNÍ VÝRES

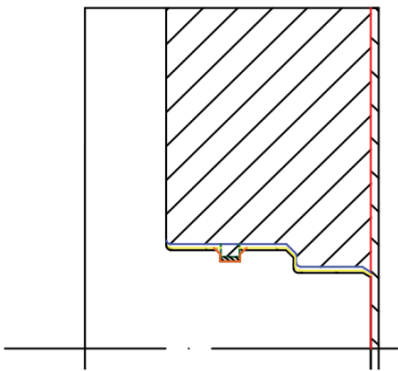
Příloha 2 NÁVODKY FIRMA FRENTech AEROSPACE

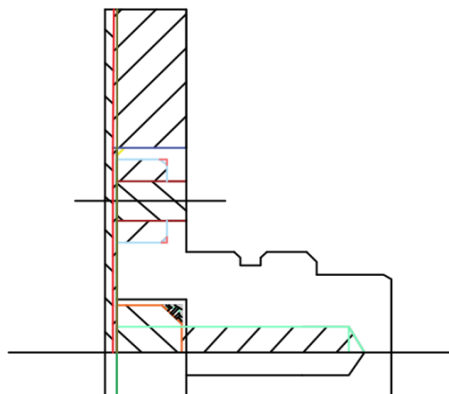
Verbalizzato il 03/06/2014 per M. ROCHES



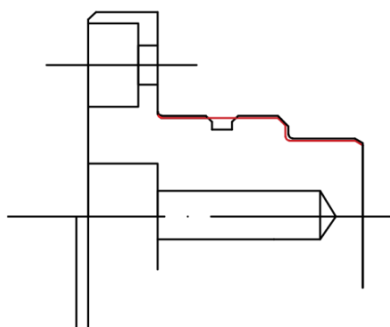
PŘÍLOHA 2

Návodky

									
		VC	n	f	ap	L	Tas	č.n.	
1.	ZAROVNAT ČELO	85	300	0,15	1	1	0,36	T2	
2.	HRUBOVAT KONTURU	85	966	0,25	2	18,835	5,1	T2	
3.	HRUBOVAT ZÁPICH	60	682	0,4	1	2,6	0,02	T4	
4.	DOKONČIT KONTURU	120	1469	0,25	0,06	18,835	0,05	T3	
5.	DOKONČIT ZÁPICH	60	734	0,04	0,03	2,6	0,2	T6	



č.o.	název operace	VC	n	F	ap	L	tas	č.n.
1.	ZAROVNAT ČELO	85	300	0,15	1	0,15	0,12	T2
2.	DOKONČIT PRŮMĚR 54	85	375	0,25	1,5	10	2,56	T2
3.	ZAROVNAT ČELO	120	707	0,15	0,5	1	0,09	T3
4.	SRAZIT HRANU 1X45	120	707	0,06	0,5	1	0,02	T3
5.	VRTAT PRŮMĚR 12.5	35	891	0,06	5.1	10,2	0,28	T5
6.	VRTAT PRŮMĚR 6.8		1638	0,04	15,5	31	0,47	T12
7.	HRUBOVAT ZAHLOUBENÍ 14	80	1818	0,1	0,5	1	0,005	T8
8.	DOKONČIT ZAHLOUBENÍ 14	80	1818	0,06	0,1	1	0,009	T9
9.	SROVNAT ČELO	20	2100	0,06	10	1	0,1	T7
10.	VRTAT PRŮMĚR 5,2	30	1836	0,04	5,2	1	0,65	T10
11.	ZAHLOUBIT 11	20	979	0,1	3,25	2	0,1	T11
12.	DOHONČIT ZAHLOUBENÍ 11	20	979	0,05	5,5	2,6	0,2	T7
13.	SROVNAT ČELO	120	707	0,06	1	1	0,02	T3



Č.O.	NÁZEV OPERACE	VC	n	F	ap	l	tas	č.n
1.	DOKONČIT KONTURU	120	1469	0,05	0,3	16,5	0,22	T3



Č.O.	NÁZEV OPERACE		VC	n	F	ap	l	tas	č.n
1.	ŘEZAT ZÁVIT		47	2200	0,13	3,4	30	0,1	T13