VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

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

OBRÁBĚNÍ HŘÍDELÍ Z TĚŽKOOBROBITELNÝCH MATERIÁLŮ NA CNC SOUSTRUHU

MACHINING OF A SHAFT HARD-TO-MACHINE PART WITH A CNC LATHE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE Petr HALOUZKA
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE prof. Ing. Miroslav PÍŠKA, Csc.
SUPERVISOR

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Halouzka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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:

Obrábění hřídelí z těžkoobrobitelných materiálů na CNC soustruhu

v anglickém jazyce:

Machining of a shaft hard-to-machine part with a CNC lathe

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Obrábění hřídelí z těžkoobrobitelných materiálů na CNC soustruhu, kompenzace průhybů, opotřebení a teplotních dilatací.

Cíle bakalářské práce:

Úvod
1. Teoretický rozbor problémů obrábění těžkoobrobitelných materiálů
2. Navržené varianty řešení pro hřídelovité součásti
3. Experimentální ověření
4. Diskuze výsledků
5. Závěry

Seznam odborné literatury:

The Annals of "Dunarea de Jos" University Galati: Technologies in Machine Buildings. Ministry of Education, Research and Innovation - Romania, 2009.
ARCHENTI, Andreas a Antonio MAFFEI. Proceedings of the International Conference on Advanced Manufacturing Engineering and Technologies NEWTECH 2013, Stockholm, Sweden 27-30 October 2013: Volume 2. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology, 2013. ISBN 9789175018935.
ARCHENTI, Andreas a Antonio MAFFEI. Proceedings of the International Conference on Advanced Manufacturing Engineering and Technologies NEWTECH 2013, Stockholm, Sweden 27-30 October 2013: Volume 1. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology, 2013. ISBN 9789175018928.
BARÁNEK, Ivan. Rezné materiály pre rýchlostné, tvrdé a suché obrábanie. Trenčín: TnUAD, 2004. ISBN 8080750130.
BARÁNEK, Ivan a Jozef ŠANDORA. Výroba vybraných súčiastok špeciálnej techniky. Trenčín: TnUAD, 2004. ISBN 8080750173.
BERGLUND, Anders. Characterization of Factors Interacting in CGI Machining: Machinability - Material Microstructure - Material Physical Properties. Stockholm, 2008. ISBN 9789174151589. Licentiate Thesis. KTH Royal Institute of Technology.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 19.11.2014

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
L.S.
DĚKANÁT

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na CNC soustružení těžkoobrobitelných materiálu, konkrétně austenitické korozivzdorné oceli. V teoretické části práce jsou charakterizovány jednotlivé skupiny korozivzdorné oceli a popsána jejich obrobitelnost. V praktické části práce je návrh výroby hřídele. Poslední část práce obsahuje fotodokumentaci výroby, technickou dokumentaci a CNC programy obráběné součásti.

Klíčová slova

Těžkoobrobitelné materiály, korozivzdorná ocel, hřídel, soustružení, SPN 12 CNC A

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on a CNC turning of hard-to-machine materials, concretely austenitic stainless steel. In the theoretical part of thesis, are characterized groups stainless steel and described of their machinability. In the practical part of thesis is concept of manufacturing of shaft. The Final part of thesis contains photographic documentation, technical documentation and CNC programs of machined component.

Key words

Hard-to-machine materials, stainless steel, shaft, drilling, SPN 12 CNC A

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HALOUZKA, P. *Obrábění hřídelí z těžkoobrobitelných materiálů na CNC soustruhu.* Brno 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 52 s. 3 přílohy. Vedoucí práce. prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Obrábění hřídelí z těžkoobrobitelných materiálů na CNC soustruhu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

28.5.2015

Datum

Petr Halouzka

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto prof. Ing. Miroslavu PÍŠKOVI, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Dále tímto děkuji panu Milanu RUSIŇÁKOVI za rady a ochotu při výrobě zadané hřídele.

V poslední řadě bych rád poděkoval svojí rodině za podporu při studiu.

OBSAH

ABSTRAKT 4
PROHLÁŠENÍ 5
PODĚKOVÁNÍ 6
OBSAH 7
ÚVOD 9
1 ROZBOR PROBLÉMU OBRÁBĚNÍ TĚŽKOOBROBITELNÝCH MATERIÁLŮ 10
1.1 Obrobitelnost materiálů 10
1.1.1 Zařazení strojírenských materiálů 10
1.1.2 Třídy obrobitelnosti 11
1.2 Těžkoobrobitelné materiály 12
1.2.1 Obrobitelnost těžkoobrobitelných materiálů 12
1.2.2 Korozivzdorné oceli 12
1.2.3 Rozdělení korozivzdorných ocelí 13
1.2.4 Obrobitelnost korozivzdorných ocelí 17
1.3 Opotřebení břitu nástroje 18
1.4 Tepelná bilance řezného procesu 20
2 NÁVRH VARIANTY ŘEŠENÍ HŘÍDELOVITÉ SOUČÁSTI 21
2.1 Použitý materiál 22
2.2 Výkres navržené součásti 23
2.3 Volba strojů 23
2.3.1 Pásová pila BOMAR STG 220G 23
2.3.2 Soustružnický poloautomat SPN 12 CNC 24
2.3.3 Soustruh hrotový SV 18 RD 26
2.3.4 Konzolová frézka FV25 CNC A 26
2.4 Volba nástrojů 27
2.4.1 Volba nástrojů pro soustružnický poloautomat SPN 12 CNC 27
2.4.2 Volba nástrojů pro hrotový soustruh SV 18 RD 30
3.4.2 Volba nástrojů pro konzolovou frézku FV 25 CNC A 32
2.5 Nástrojový list 33
2.6 Upnutí obrobku 34
2.7 Technologický postup 35
2.8 Zpracování CNC technologie 35
2.8.1 Přehled použitých příkazu v programu 35
2.9 Kontrolní výpočty 36

2.9.1 Jednotkový strojní čas 36
2.9.2 Řezná síla 37
2.9.3 Řezný výkon 38
2.9.4 Průhyb hřídele při hrubování 39
3 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ 44
4 DISKUZE VÝSLEDKŮ 46
5 ZÁVĚRY 47
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 48
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 50
SEZNAM PŘÍLOH 52

ÚVOD

Bakalářská práce je zaměřena na soustružení těžkoobrobitelných materiálu na CNC soustruhu. V teoretické části je popsán problém obrábění těžkoobrobitelných materiálu, rozdělení korozivzdorných ocelí do jednotlivých skupin, rozbor obrobitelnosti, opotřebení břitu nástroje a tepelná bilance řezného procesu.

Mezi těžkoobrobitelné materiály se řadí korozivzdorné oceli, nikl, titan, kobalt a jejich slitiny. Tyto materiály mají dobré mechanické, chemické a fyzikální vlastnosti.

Korozivzdorná ocel je odolná proti mnoha agresivním médiím, tuto vlastnost zajišťují legující prvky. Legujícím prvkem obsaženým v oceli je především chrom (Cr) s minimálním obsahem 10,5 %. Korozivzdornost ocelí se dále zvyšuje obsahem niklu (Ni), manganu (Mn) a molybdenu (Mo). Nízká tepelná vodivost a zpevňování za studena negativně ovlivňuje obrobitelnost korozivzdorných ocelí. U korozivzdorných ocelí platí, čím vyšší je podíl legujících prvků, tím je náročnější jejich obrábění. Z korozivzdorných ocelí jsou nejžádanější austenitické oceli pro svoji vysokou odolnost proti korozi.

V praktické části práce je řešena výroba hřídele pro stávající podmínky dílny ÚST FSI VUT v Brně. Tvar součásti je navržen s ohledem na pracovní prostor a dostupnost nástrojů pro poloautomatický soustruh SPN 12 CNC A s řídicím systémem Sinumerik 810D. Seznámení s tímto systémem a tvorba jednotlivých programů pro výrobu hřídele je součástí bakalářské práce.

Úkolem praktické části práce je seznámení s tvarem a materiálem polotovaru, seznámení s jednotlivými stroji a nástroji potřebnými k výrobě navržené hřídele. Dalším úkolem je vytvoření technologického postupu, zpracováni CNC technologie a kontrolní výpočty.

Poslední části práce je experimentální ověření výroby navržené hřídele, které je doplněno o fotodokumentaci.

Obr. 1 Součást z korozivzdorné oceli.

1 ROZBOR PROBLÉMU OBRÁBĚNÍ TĚŽKOOBROBITELNÝCH MATERIÁLŮ

Zde budou popsány problémy obrábění těžkoobrobitelných materiálu, pojmy obrobitelnosti materiálu a vyjmenovány faktory, které přímo souvisí s obrobitelností.

1.1 Obrobitelnost materiálů

Z hlediska technologie obrábění je obrobitelnost základní charakteristikou materiálu. Můžeme ji definovat jako míru schopnosti daného materiálu být zpracováván některou z metod obrábění. Je hlavním faktorem, který ovlivňuje výběr řezných podmínek pro funkci nástroje při všech metodách obrábění[1].

Obrobitelnost materiálu závisí na několika faktorech, z nichž nejdůležitější jsou:

- způsob výroby obráběného materiálu;
- použité tepelné zpracování obráběného materiálu;
- mikrostruktura a chemické složení obráběného materiálu;
- použitá metoda obrábění (frézování, soustružení, vrtání, broušení, atd.);
- zvolené řezné podmínky (řezná rychlost, šířka záběru ostří, posuv na zub, atd.);
- řezné prostředí (suché prostředí, mokré prostředí – procesní pasty, kapaliny, plyny);
- geometrie řezného nástroje (úhly polohy ostří, úhly čela a hřbetu);
- druh a vlastnosti nástrojového materiálu[1].

Pro daný sledovaný materiál se obrobitelnost určuje porovnáním s jiným materiálem, který je obráběn stejným nástrojem za stejných pracovních podmínek.

Srovnávacím znakem pak může být:

- teplota řezání;
- způsob utváření a tvar třísky;
- velikost sil (posuvová, pasivní, řezná);
- integrita povrchu obrobené plochy (drsnost, zbytková napětí, struktura);
- velikost řezné rychlosti při zvolené trvanlivosti v_{cT}[1].

1.1.1 Zařazení strojírenských materiálů

Pro určení obrobitelnosti jsou technické konstrukční materiály zařazeny do devíti skupin, označených písmeny malé abecedy:

a – litiny;

b – oceli;

c – těžké neželezné kovy (měď a slitiny mědi);

d – lehké neželezné kovy (hliník a slitiny hliníku);

e – plastické hmoty;

f – přírodní nerostné hmoty;

g – vrstvené hmoty;

h – pryže;

v – tvrzené litiny pro výrobu válců[2].

Pro každou skupinu materiálu je vždy vybrán jeden konkrétní materiál sloužící jako etalon obrobitelnosti, ke kterému se vztahuje relativní obrobitelnost všech ostatních materiálu v dané skupině (např. pro skupinu ocelí je etalonovým materiálem ušlechtilá uhlíková ocel 12 020.1 podle ČSN 41 1250). Materiály každé skupiny jsou rozděleny do tříd a to podle indexu obrobitelnosti, daného vztahem (1.2)[2].

$$i_o = \frac{v_{c15}}{\mathrm{v}_{c15\ etalonu}}\ [-] \tag{1.1}$$

kde: v_{c15} [m.min^{-1}] – řezná rychlost při trvanlivosti T=15 minut pro sledovaný materiál,

$v_{c15etalonu}$ [m.min^{-1}] – řezná rychlost při trvanlivosti T=15 minut pro etalonový materiál[2].

1.1.2 Třídy obrobitelnosti

Třídy jsou označovány číslem, umístěným před písmeno určující skupinu konstrukčních materiálů (např. 11a, 14b, 10d, atd.). V jednotlivých třídách je dáno geometrickou řadou s kvocientem $q=10^{1/10}=1{,}26$ odstupňování střední hodnoty indexu obrobitelnosti (třída etalonového materiálu má hodnotu q=1), to znamená, že hodnota řezné rychlosti $\mathbf{v_{cT}}$ je v dané třídě 1,26krát vyšší, než hodnota $\mathbf{v_{cT}}$ v třídě předchozí. Materiály v třídách s nižším číslem, než má třída etalonového materiálu, mají horší obrobitelnost jako etalonový materiál a naopak materiály s vyšším číslem mají lepší obrobitelnost[3,2].

Pro materiály skupin a ÷ d je dělení tříd obrobitelnosti spolu s hodnotami indexu obrobitelnosti (střední hodnota, rozsah hodnot, vyjádření hodnotou kvocientu geometrické řady) uvedeno v tab. 1.1[2].

Tab. 1.1 Třídy obrobitelnosti[2].

Index obrobitelnosti i_o			**Materiál**			
Vyjádřeno kvocientem	**Střed**	**Rozsah**	**Litiny**	**Oceli**	**Slitiny**	
					mědi	**hliníku**
$1{,}26^{-13}$	0,050	0,045÷0,054		1b		
$1{,}26^{-12}$	0,065	0,055÷0,069		2b		
$1{,}26^{-11}$	0,080	0,070÷0,089		3b		
$1{,}26^{-10}$	0,10	0,09÷0,11	1a	4b		
$1{,}26^{-9}$	0,13	0,12÷0,14	2a	5b	2c	
$1{,}26^{-8}$	0,16	0,15÷0,17	3a	6b	3c	
$1{,}26^{-7}$	0,20	0,18÷0,22	4a	7b	4c	
$1{,}26^{-6}$	0,25	0,23÷0,28	5a	8b	5c	4d
$1{,}26^{-5}$	0,32	0,29÷0,35	6a	9b	6c	5d
$1{,}26^{-4}$	0,40	0,36÷0,44	7a	10b	7c	6d
$1{,}26^{-3}$	0,50	0,45÷0,56	8a	11b	8c	7d
$1{,}26^{-2}$	0,63	0,57÷0,71	9a	12b	9c	8d

$1{,}26^{-1}$	0,80	0,72÷0,89	10a	13b	10c	9d
$1{,}26^{0}$	**1,00**	**0,90÷1,12**	**11a**	**14b**	**11c**	**10d**
$1{,}26^{1}$	1,26	1,13÷1,41	12a	15b	12c	11d
$1{,}26^{2}$	1,59	1,42÷1,78	13a	16b	13c	12d
$1{,}26^{3}$	2,00	1,79÷2,24	14a	17b	14c	13d
$1{,}26^{4}$	2,50	2,25÷2,82		18b	15c	14d
$1{,}26^{5}$	3,15	2,83÷3,55		19b		15d
$1{,}26^{6}$	4,00	3,56÷4,47		20b		16d

1.2 Těžkoobrobitelné materiály

Mezi těžkoobrobitelné materiály řadí výrobci nástrojů a dodavatelé technologií hlavně korozivzdorné oceli, nikl, titan, kobalt a jejich slitiny. Tyto materiály mají dobré mechanické, chemické a fyzikální vlastnosti, které jsou používány v leteckém, potravinářském nebo v rozvíjejícím se medicínském průmyslu (viz. obr. 1.1)[1].

Obr. 1.1 Na míru vyrobená kloubní náhrada z titanové slitiny[4].

1.2.1 Obrobitelnost těžkoobrobitelných materiálů

Při obrábění těžkoobrobitelných materiálů dochází v důsledku vysokých napětí k velkým deformacím v oblasti primární plastické deformace, i v oblasti kontaktu třísky s čelem řezného nástroje, s tím souvisí vznik velkého množství tepelné energie. Zvýšení intenzity opotřebení nástroje a snížení jeho trvanlivosti je v důsledku vysokého mechanického zatížení břitu nástroje společně s tvrdými částicemi ve struktuře obráběného materiálu. Na rozměrovou a tvarovou přesnost obrobku, drsnost povrchu obrobených ploch i na hospodárnost výroby má vliv výběr vhodného typu nástroje a nástrojového materiálu[1].

1.2.2 Korozivzdorné oceli

Korozivzdorná ocel je legovaná ocel s nízkým obsahem uhlíku (C) a s obsahem legujících prvků 12 až 30 % chrómu (Cr), až 30% niklu (Ni) a do 24 % manganu (Mn). Při překročení obsahu chrómu 12 % narůstá u ocelí skokem odolnost proti mnoha agresivním médiím, a proto je chrom rozhodujícím prvkem pro dosažení odolnosti ocelí k celkové korozi. Odolnost proti korozi se zvyšuje stejně jako odolnost proti oxidaci, podle

zvyšujícího se obsahu chrómu. Při dostatečně vysokém obsahu uhlíku je možno korozivzdorné oceli kalit stejně jako uhlíkovou ocel, tím se zvyšuje její pevnost[5,6].

1.2.3 Rozdělení korozivzdorných ocelí

Korozivzdorné oceli rozdělujeme podle struktury do několika základních skupin:

- feritické;
- martenzitické (kalitelné);
- austenitické s některými přechodovými skupinami;
- duplexní (dvoufázové);
- precipitačně vytvrditelné[5].

Podle chemického složení se korozivzdorné oceli dále děli na chromové, chromniklové a chrómmanganové, které mohou obsahovat ještě další prvky jako molybden (Mo), křemík (Si), měď (Cu), Titan (Ti), niob (Nb), dusík (N) apod[6].

Chrom jako hlavní legující prvek vytváří ferit a nemění feritickou strukturu. Nikl (Ni) je další důležitý legující prvek, který ovlivňuje mechanické vlastnosti, strukturu materiálu, podporuje kalitelnost a má stabilizační účinky. Je-li podíl niklu dostatečně vysoký, má korozivzdorná ocel austenitickou strukturu, to vyvolává změny mechanických vlastností (větší rozsah použitelnosti, houževnatost, vysokou tepelnou odolnost, svařitelnost, odolnost proti korozi atd.). Molybden má na strukturu oceli stejný účinek jako chrom a zvyšuje odolnost proti korozi a pevnost[5].

Na materiál obrobku se nejčastěji používají tyto korozivzdorné oceli:

- feritická ocel, 16 – 30 % Cr, Ni, Mo, maximálně 0,2 % C;
- martenzitická ocel (kalitelná), 12 – 18 % Cr, 2 – 4 % Ni, 0,1 – 0,8 % C;
- austenitická ocel, 12 – 30 % Cr, 7 – 25 % Ni;
- austenitická ocel (s velkým obsahem manganu a menším obsahem niklu);
- martenziticky vytvrditelné oceli, (vysoká pevnost, kalitelná), 9 – 25 % Ni s různými přísadami Cr, Mo a Ti;
- korozivzdorná ocel Duplex, feriticko-austenitická, 22 – 25 % Cr, 4 – 7 % Ni, Mo, N a málo uhlíku[5].

Feritické korozivzdorné oceli

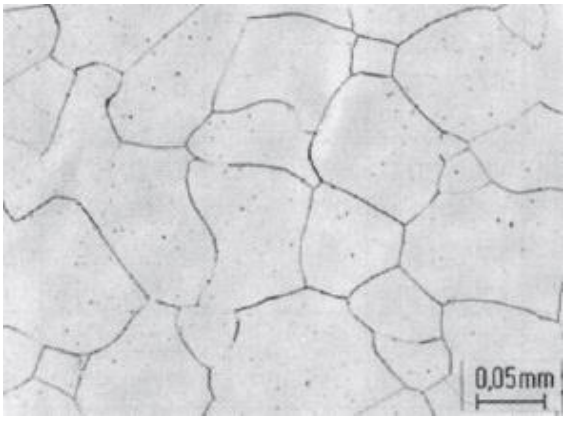
Feritické oceli obsahují 13 – 30 % chrómu a obsah uhlíku bývá obvykle pod 0,1 %. Tyto oceli nejsou kalitelné a jejich pevnost je vyšší než u nelegované uhlíkaté oceli. Použití těchto ocelí je zajímavé vzhledem k jejich odolnosti proti koroznímu praskání[7].

Feritické korozivzdorné oceli můžeme rozdělit do čtyř skupin:

- 13% chromové feritické oceli obsahují chrom v rozmezí 11,5 – 13,5 % a obsah uhlíku se pohybuje pod 0,08 %. Díky feritotvornému prvku např. hliníku, titanu nebo niobu se potlačí mertenzitická přeměna. Oceli mají dobrou korozní odolnost v atmosféře, v přírodní vodě a vodní páře. Nejsou vhodné pro silně znečištěné průmyslové vody a mořskou vodu. Využití je v chemickém průmyslu na zařízení

například sedla ventilů, potrubí čerpadel a výměníkové trubky v zařízeních na zpracování ropy. Nejvyšší korozní odolnost těchto ocelí je dosahována při kvalitním povrchu[7].

- 17% chromové feritické oceli obsahující chróm v rozmezí 16 – 18 % mohou být legované molybdenem a stabilizované titanem, obsah uhlíku je pod 0,08 %. Tyto oceli jsou korozně odolné proti atmosférické korozi, říční a mořské vodě, zředěným organickým kyselinám a roztokům solí. Také dobře odolávají znečištěné průmyslové atmosféře a průmyslovým vodám. Za tepla odolávají alkalickým prostředím, jako jsou benzín, studený olej, chladicí kapalina bez chloridů a prací prostředky. Použití nacházejí v automobilovém průmyslu, vzduchotechnice, architektuře, v potravinářském průmyslu pro zpracování mléka, při výrobě piva apod. Při legování molybdenem je jejich odolnost proti rovnoměrné korozi srovnatelná s austenitickými korozivzdornými ocelemi. Při vyšším obsahu uhlíku, po ohřevu nad teplotu 900 °C dochází k částečné austenitické přeměně a struktura po tepelném zpracování je smíšená. Tyto oceli jsou poloferitické[7].
- 25% chromové oceli obsahují 20 – 30 % chrómu a obsah uhlíku se pohybuje u různých typů podle použití mezi 0,002 – 0,2 %. Oceli této skupiny díky vysokému obsahu chrómu patří ke korozně nejodolnějším ze všech feritických ocelí, ale zároveň vysoký obsahu chrómu je příčinou křehnutí za teplot nad 900 °C. Zásadní význam mají tyto 25% chromové oceli s obsahem uhlíku 0,1 – 0,2 % jako žáruvzdorné pro použití za vysokých teplot[6,8].
- Superferity jsou oceli s čistě feritickou strukturou s obsahem chrómu 25 – 29 %. Součet obsahu uhlíku (C) a dusíku (N) se pohybuje v rozmezí 0,015 – 0,025 % a obvykle jsou ještě stabilizovány titanem nebo niobem. Tyto oceli mají dobrou svařitelnost, tvařitelnost, vyšší pevnostní hodnoty, dobrou tažnost a vrubovou houževnatost. Významná je zlepšená odolnost proti rovnoměrné a mezikrystalové korozi, štěrbinové korozi, bodové korozi a vysoká odolnost proti koroznímu praskání za napětí. Díky těmto vlastnostem se superferity uplatňují tam, kde selhávají běžné korozivzdorné oceli a bylo by nutné použít vysokoniklové slitiny nebo slitiny na bázi niklu. Používají se na výměníkové trubky, kde ocel přichází do styku s vodami o vysokém obsahu chloridů, dále se používají v prostředí oxidačních kyselin a organických kyselin[6,8].



Obr. 1.2 Feritická struktura[9].

Martenzitické korozivzdorné oceli

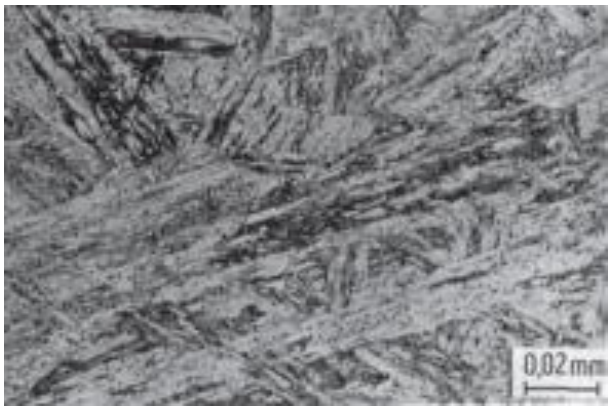
Tyto oceli jsou při vysokých teplotách plně austenitické, pokud se rychle ochladí (zakalí) získají martenizitickou strukturu. Obsah uhlíku u martenzitických ocelí se pohybuje v rozmezí 0,2 – 1,0 % při obsahu chrómu 13 – 18 %. Tvrdost povrchu těchto ocelí je větší, čím vyšší je obsahu uhlíku viz tab. 1.2[9].

Tab. 1. 2 – Vliv obsahu uhlíku na tvrdost martenzitických korozivzdorných ocelí, kalených a popouštěných[9].

Obsah C v hmotnostních %	Tvrdost HRC
0,10	40
0,15	46
0,20	50
0,25	53
0,40	56
0,70	58
1,00	60

Oceli bez niklu obsahují 0,15 – 0,45 % uhlíku a 13 % chrómu, hlavní použití nacházejí v přírodních podmínkách, jako je atmosféra, voda, pára a v dalších mírně agresivních prostředích. Oceli s vyšším obsahem uhlíku 0,3 – 0,4 % se používají pro součásti s vyššími nároky na otěruvzdornost, na nože a chirurgické nástroje, kde je potřeba vysoké tvrdosti. U niklových martenzitických ocelí je uhlík nahrazován niklem, při zachování schopnosti zakalení. Odolnost proti korozi se může zvýšit dolegování molybdenem[7].

Podle tvaru výrobku se martenzitické oceli dodávají už v žíhaném nebo zušlechtěném stavu. Výrobky, které jsou žíhané na měkko, mohou být zušlechtěny až po případném tvarování za tepla nebo za studena. Kalení a následné popouštění se provádí při teplotách 650 – 750 °C, popouštěním se snižuje pevnost a zvyšuje tažnost. Pro lepší odolnost proti korozi se doporučuje dodržovat zadané teploty tepelného zpracování, také je vhodná úprava povrchu, která se dosahuje následným mořením nebo jemným broušením a leštěním[7,9].



Obr. 1.3 Martenzitická struktura[9].

Austenitické korozivzdorné oceli

Tyto oceli tvoří nejžádanější skupinu z korozivzdorných ocelí díky vysoké odolnosti proti korozi. U výše uvedených korozivzdorných ocelí, byl chrom jediným legujícím prvkem, který se objevoval v oceli ve vyšším obsazení. Kdežto u austenitických korozivzdorných ocelí jsou obsahy legujících prvků, kterými jsou mangan, molybden, nikl, křemík poměrně vysoké. Stejně jak u feritických, tak i u austenitických ocelí je pro získání dobrých technologických vlastností nezbytná jemnozrnná sktruktura. Jako konečné tepelné zpracování se provádí rozpouštěcí žíhání při teplotách mezi 1000 – 1150 °C s následným ochlazením ve vodě nebo na vzduchu. Přísady niklu, molybdenu a dusíku ve vhodně vyváženém obsahu austenitotvorných a feritotvorných prvků umožňuje udržet austenitickou strukturu i za normálních a záporných teplot. Zvýšením obsahu chrómu a niklu a legováním molydbedenem, mědí a křemíkem se zvyšuje celková korozní odolnost austenitických ocelí[7,6,5].

Základní austenitická korozivzdorná ocel obsahuje 18 % chrómu a 9 % niklu při obsahu uhlíku okolo 0,08 %. Nikl je možno nahradit manganem v rozmezí 9 – 19 %, v kombinaci s přísadou dusíku až 0,5 %. Úpravou základního složení ocelí, jak do obsahu základních a doprovodných prvku tak i přisazovaných slitinových prvků, lze dosáhnout vylepšení některých vlastností:

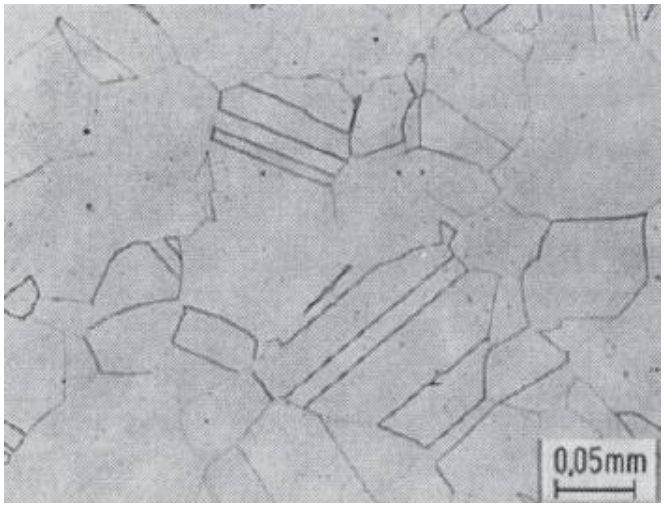
- celkové korozní odolnosti (chróm, molybden, měď, křemík, nikl);
- odolnosti proti mezikrystalové korozi (titan, niob);
- mechanických vlastností (dusík);
- obrobitelnosti (síra, selen, fosfor, olovo, měď);
- odolnosti proti koroznímu praskání (omezení obsahu fosforu, arzenu);
- odolnosti proti praskavosti svarů (mangan);
- pevnosti při tečení (molybden, titan, niob, bór);
- žáruvzdornosti (chróm, hliník, křemík, nikl)[6].

Austenitické korozivzdorné oceli se dále rozdělují podle obsahu základních slitinových prvků na:

Chromniklové oceli: obsahují 12 – 25 % chrómu, 8 – 38 % niklu a 0,01 – 0,15 % uhlíku. Mohou být dále legované dusíkem, molybdenem, mědí a křemíkem. Pro zvýšení jejich mechanických vlastností a korozní odolnosti se stabilizují titanem nebo niobem. Chromniklové oceli jsou nejrozšířenější austenitické korozivzdorné oceli pro všeobecné použití v chemickém průmyslu[10,6].

Chromniklmolybdenové oceli: obsahují 0,03 – 0,07 % uhlíku, legováním molybdenem se výrazně zvyšuje odolnost proti bodové a štěrbinové korozi, čím je vyšší obsah Mo, tím je tato odolnost vyšší. Chromniklmolybdenové oceli se používají tam, kde oceli bez molybdenu mají nevyhovující korozní odolnost[10].

Chrommanganové oceli: obsahují 10 – 18 % chrómu, 14 – 25 % manganu a 0,02 – 0,08 % uhlíku. Stejně jako chromniklové oceli mohou být dále legované dusíkem, molybdenem, mědí a stabilizované titanem a niobem. Vývoj chromanganových ocelí směřuje ke zvýšení obsahu chrómu a manganu za současného zvyšování dusíku. Tím se zajistí stabilita austenitu s kombinací vysoké pevnosti[10,6].



Obr. 1.4 Austenitická struktura[9].

1.2.4 Obrobitelnost korozivzdorných ocelí

Obrobitelnost korozivzdorné oceli je ovlivňována jejím chemickým složením a u některých druhů oceli závisí na použitém tepelném zpracování. Nízká tepelná vodivost korozivzdorných ocelí a vysoký součinitel tření mezi třískou a korozivzdornou ocelí má negativní vliv na proces obrábění. Během obrábění dochází k velkému ohřevu v blízkosti řezu. Vznikající teplo nemůže snadno přejít do obrobku kvůli právě již zmíněné nízké tepelné vodivosti korozivzdorných oceli, díky tomu se teplo hromadí v blízkosti nástroje. Špička nástroje se zahřívá na vysoké teploty a to snižuje jeho životnost[6].

Důležitý je vhodný výběr nástroje, nejlépe ze slinutých karbidů popřípadě z výkonné rychlořezné oceli, který musí být dokonale ostrý. Obrábět by se nemělo do úplného otupení nástroje, protože klouzající břit způsobí zpevnění povrchu oceli, čímž ztíží další obrábění. I při obrábění ostrým břitem můžeme zpevnit povrch ocelí tím, že nástroj neřeže dostatečně hluboko a není posouván do řezu[6,5].

Dobrou obrobitelnost mají feritické oceli, pokud neobsahují více jak 20 % chrómu. Feritické oceli obsahující 25 – 30 % chrómu mají snahu znečistit nástroj a je nutné tyto oceli obrábět při nižších rychlostech se silnými úběry. Jelikož chrómové feritické oceli mají sklon k lepení třísek, je dobré tyto oceli obrábět ve stavu žíhané na měkko a tažené zastudena. V tomto stavu sice trpí trvanlivost břitu, ale na druhé straně se zlepšuje kvalita obrobené plochy[6,5].

Martenzitické oceli obráběné ve vyžíhaném stavu se chovají podle obsahu uhlíku. Nejlepší obrobitelnost mají nízkouhlíkové oceli a oceli obsahující 13 % chrómu. S rostoucím obsahem chrómu a uhlíku se zhoršuje obrobitelnost martenzitických ocelí. Z důvodu přítomnosti karbidů chrómu, které se projevují zvláště u ocelí s obsahem uhlíku vyšší jak 0,5 %, dochází k otěru povrchu nástroje. Proto je vhodné použití nástrojů z karbidů nebo slitin kobaltu[6,5].

Za těžkoobrobitelné oceli řadíme především austenitické oceli. Obrobitelnost těchto ocelí je negativně ovlivňována jejich velkým sklonem ke zpevňování za studena, nízkou tepelnou vodivostí a dobrou houževnatostí. Již nepatrná deformace vyvolává značné

zpevnění, které ovlivňuje vrstvy před nástrojem. Při následujícím úběru materiálu brání zpevněná vrstva vnikání nástroje do obrobku. To vede k používání malých rychlostí obrábění a dostatečné hloubky řezu. Řezná část nástroje se musí dostat pod zpevněnou vrstvu vytvořenou předchozím úběrem nástroje[6,5].

Korozivzdorné oceli můžeme rozdělit do dvou základních skupin, které jsou popsané v tab. 1.3. V první skupině jsou to automatové oceli, které obsahují z pravidla 0,15÷0,35 % síry. Síra ve spojení s manganem tvoří sulfid manganu, jehož pozitivní účinek je v důsledku lámavosti materiálu na drobné třísky, v hladkém povrchu a v menším opotřebení nástrojů. Avšak u automatových ocelí je snížená odolnost proti korozi. Oceli druhé skupiny obsahují 0,015÷0,030% S. Díky nastavené velikosti, počtu a rozložení sulfidů v příčném průřezu materiálu v porovnání se standartními oceli s výrazně nižším obsahem síry dosahuje vyšší řezné rychlosti a delší trvanlivosti nástroje[9].

Tab. 1. 3 – Rozdělení korozivzdorných ocelí na skupiny podle obrobitelnosti[9].

Druh oceli		**Obsah síry v [%]**
Zkratka	**Materiál**	
Automatové oceli		
X14CrNoS17 X6CrMoS17 X8CrNiS18-9	1.4104 1.4105 1.4305	0,15÷0,35
Standartní oceli se zlepšenou obrobitelností		
X5CrNi18-10 X2CrNi19-11 X2CrNi18-9	1.4301 1.4306 1.4307	0,15÷0,030

1.3 Opotřebení břitu nástroje

Při obrábění dochází v důsledku řezného procesu ke kontaktu nástroje s obrobkem (na hlavním a vedlejším hřbetě a špičce nástroje) a ke kontaktu nástroje s odcházející třískou (na čele nástroje), což musí nutně vést k opotřebení nástroje. Podmínky práce řezného nástroje se zásadně liší od podmínek práce strojních součástí (viz tab. 1.4)[2].

Tab. 1. 4 – Pracovní podmínky řezného nástroje [2].

Pracovní podmínky	**Strojní součást**	**Břit nástroje**
Měrný tlak [MPa]	10^2	$10^3 \div 10^4$
Teplota na funkčním povrchu [°C]	60 ÷ 100	300 ÷ 1200
Rychlost ohřevu [°C.s^{-1}]		$10^6 \div 10^9$
Deformační rychlost [s^{-1}]		$10^3 \div 10^6$
Doba kontaktu mezi nástrojem a třískou [s]		10^{-3}
Otěr [mm] (při dráze $10^3 \div 10^4$ m)	$10^{-3} \div 10^{-4}$	$10^{-2} \div 10^{-1}$

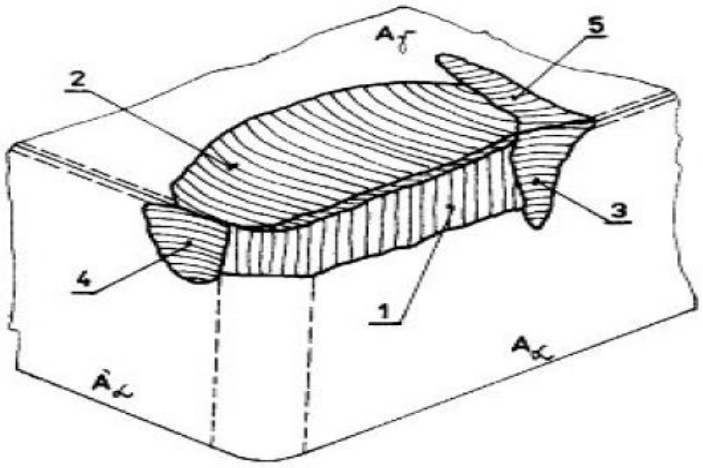
Proces opotřebení nástroje je velmi složitý děj, který je ovlivňován mnoha faktory:

- fyzikální vlastnosti obráběného materiálu a nástrojového materiálu;
- mechanické vlastnosti obráběného materiálu a nástrojového materiálu;
- druh obráběcí operace;
- geometrie nástroje;
- pracovní podmínky;
- řezné prostředí[2].

Při procesu opotřebení nástroje působí mnoho odlišných fyzikálně-chemických jevů (mechanizmů opotřebení). K základním mechanizmům opotřebení patří:

- **abraze** – brusný otěr vyvolaný vlivem tvrdých mikročástic obráběného materiálu i mikročástic uvolněných z nástroje;
- **adheze** – vznik a následné okamžité porušování mikrosvarových spojů na dotýkajících se vrcholcích nerovností třísky a čela nástroje, v důsledku vysokých teplot a tlaků, chemické příbuznosti materiálů a kovově čistých styčných povrchů;
- **difúze** – migrace atomů z obráběného materiálu do nástrojového materiálu a naopak, čímž se vytvářejí nežádoucí chemické sloučeniny ve struktuře nástroje;
- **oxidace** – vznik chemických sloučenin na povrchu nástroje vyvolané přítomnosti kyslíku v okolním prostředí;
- **plastická deformace** – důsledek vysokého tepelného a mechanického zatížení, kumulovaného v čase,který se může projevit ve formě tzv. lavinového opotřebení;
- **křehký lom** – důsledek vysokého mechanického zatížení (např. přerušovaný řez, vměstky a nehomogenita v obráběném materiálu[2].

Vzhled břitu nástroje ze slinutého karbidu, se všemi formami opotřebení je na obr. 1.5. Jednotlivé formy opotřebení jsou označeny následovně: 1 – fazetka opotřebení na hřbetě, 2 – výmol na čele, 3 – primární hřbetní rýha, 4 – sekundární (oxidační) hřbetní rýha, 5 – rýha na čele[2].



Obr. 1.5 Formy opotřebení břitu nástroje z SK.

1.4 Tepelná bilance řezného procesu

V průběhu obráběcího procesu se téměř veškerá práce řezání přemění v teplo. Teplo řezného procesu Q_e, vzniklé při odebírání určitého množství materiálu, je zhruba rovné práci řezného procesu E_e.

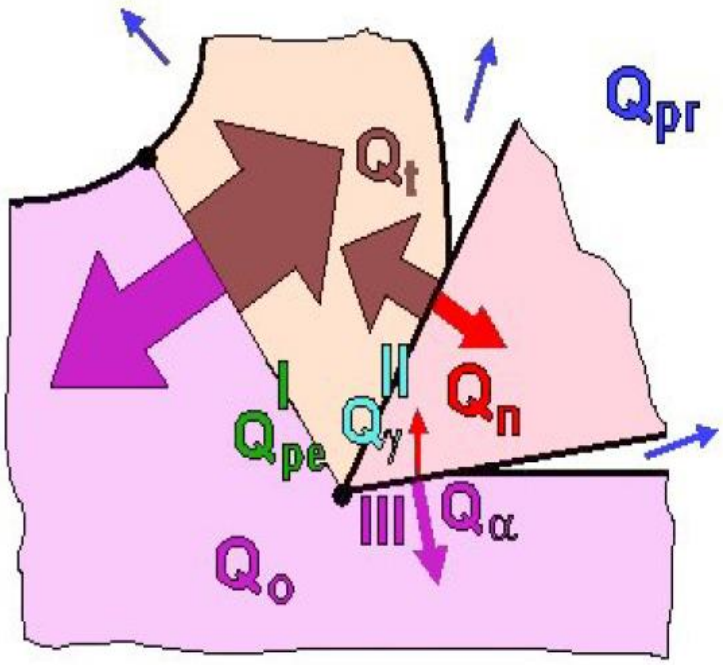
Řezný proces je výrazně ovlivňován vzniklým teplem, protože:

- negativně působí na řezné vlastnosti nástroje;
- ovlivňuje mechanické vlastností obráběného materiálu;
- ovlivňuje pěchování a zpevňování obráběného materiálu;
- ovlivňuje podmínky tření na čele i hřbetě nástroje[2].

Teplo vzniká v oblasti primární plastické deformace I (Q_{pe} – v důsledku plastických a elastických deformací), v oblasti sekundární plastické deformace II (Q_γ – v důsledku tření mezi čelem nástroje a třískou) a v oblasti III (Q_α – v důsledku tření hlavního hřbetu nástroje o přechodovou plochu obrobku)[2].

Vzniklé teplo je odváděno třískou (Q_t), nástrojem (Q_n), obrobkem (Q_o) a řezným prostředím (Q_{pr}) viz obr. 1.6. Na základě, že vzniklé a odvedené teplo musí být v rovnováze, lze vytvořit rovnici tepelné bilance řezného procesu[2].

$$Q_{pe} + Q_\gamma + Q_\alpha = Q_t + Q_n + Q_\alpha + Q_{pr} \text{ [J]} \tag{2.1}$$



Obr. 1.6 – Vznik a odvod tepla při procesu řezání[2].

2 NÁVRH VARIANTY ŘEŠENÍ HŘÍDELOVITÉ SOUČÁSTÍ

Tvar hřídelovité součástí byl navržen a zvolen s ohledem na možnost výroby školního pracoviště. Součást slouží pouze jako příklad pro návrh technologického postupu, tvorby NC programu a dalších úkonu na školním soustružnickém poloautomatu SPN 12 CNC. Dále byly při výrobě hřídele použity stroje se zřetelem na jejich obsazenost na školním pracovišti.

Hřídel o celkové délce 198 mm a největším Ø 40 mm je vyobrazena na modelu (obr.2.1), který byl zhotoven v programu Autodesk Inventor Professional 2014 – STUDENTSKÁ VERZE.

Na hřídeli se nachází vnější metrický závit, výběh pro vnější metrický závit, tři zápichy, dvě drážky pro těsné péro, vnitřní metrický závit, dva středící důlky a zkosené hrany.

Obr. 2.1 – Model součásti.

2.1 Použitý materiál

Pro výrobu hřídele byl zvolen materiál ČSN 41 7240. Jedná se o korozivzdornou austenitickou, nestabilizovanou ocel, která je označována 18/10 (podle chemického složení Cr/Ni).

Polotovary se dodávají jako tyče, bezešvé trubky, plechy a tlusté plechy. Ocel má dobrou obrobitelnost, tvárnost a hlubokotažnost[11].

Tab. 2.1 – Chemické složení korozivzdorné oceli ČSN 41 7240[11].

C [hm %]	Mn [hm %]	Si [hm %]	Cr [hm %]	Ni [hm %]	P [hm %]	S [hm %]
max. 0,07	max. 2,0	max. 1,0	17,00÷20,00	9,0÷11,5	max. 0,045	max. 0,030

Použití:

Ocel je vhodná pro prostředí oxidační povahy pro silné anorganické kyseliny. Lze ji použit v prostředí, kde je koroze zanedbatelná, ale vyžaduje se vysoká čistota produktu (potravinářský, chemický a farmaceutický průmysl). Dále se využívá pro stavbu chemických zařízení, včetně tlakových nádob[12].

Tab. 2.2 – Mechanické vlastnosti korozivzdorné oceli ČSN 41 7240 při teplotě 20 °C[11].

Rozměry tyče Ø d [mm]	< 60	60÷100	100÷150
Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	186		
Mez pevnosti R_m [MPa]	490÷686		
Tažnost A_5 [%] min.	50	45	40
Vrubová houževnatost KCU 3 [J.cm^{-2}] min.	podél 196	podél 137 napříč 98	podél 98 napříč 68

Odolnost proti degradačním procesům:

- odolnost proti plošné korozi – odolává kyselině dusičné, slabým roztokům organických kyselin. Leštěním povrchu oceli lze zvýšit odolnost proti korozi;
- odolnost proti mezikrystalové korozi – ve srovnání s ocelí 17 241 tato ocel odolává mezikrystalové korozi lépe. Při aplikaci svaru v silném korozním prostředí, nutno přežíhat celou součást s následujícím ochlazením na vzduchu[11].

Tab. 2.3 – Technologické údaje korozivzdorné oceli[11].

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ	
rozpouštěcí žíhání	žíhání ke snížení pnutí
1 020-1 080 °C	850-950 °C
ochlazovat podle tloušťky na vzduchu nebo ve vodě	ochlazovat na vzduchu
TVAŘITELNOST	
1 150-850 °C	ochlazovat na vzduchu
SVAŘITELNOST	
zaručená	doporučené přídavné materiály – elektroda VÚS-A3F
OBROBITELNOST	
soustružení, hoblování – 9b	frézování, vrtání – 9b
TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY	
Zkouška hloubením podle Erichsena na 1mm plechu 13	

2.2 Výkres navržené součásti

Výkres součástí (příloha 1) byl navržen s ohledem na dostupnost, použitelnost nástrojů a velikost pracovního prostoru soustružnického poloautomatu SPN 12 CNC. Výkres byl zhotoven v programu Autodesk Inventor 2014 – STUDENTSKÁ VERZE.

2.3 Volba strojů

Pro výrobu hřídele byly s ohledem na dostupnost strojového parku školního pracoviště vybrány tyto stroje:

- pásová pila BOMAR STG 220G;
- soustružnický poloautomat SPN 12 CNC;
- soustruh hrotový SV 18 RD;
- konzolová frézka FV 25 CNC A.

2.3.1 Pásová pila BOMAR STG 220G

Tato pila je vhodná jak pro kusovou tak pro hromadnou výrobu. Litinová konstrukce a vedení pilového pásu ze slinutého karbidu zaručuje dlouholetou životnost stroje i nástroje.

Pila je vybavena chladicím zařízením a automatickým spínačem. Rychlost posuvu řezu je řízena pomocí hydraulického válce[13].

Tab. 2.4 – Technické parametry pásové pily BOMAR STG 220G[13].

Řezná rychlost	[m.min^{-1}]	28 ÷ 56
Natočení ramene	[°]	60 ÷ 90
Rozměry	[mm]	1360 x 1 200 x 900
Výkon	[kW]	0,65/0,9
Otáčky	[min^{-1}]	1 360/2 750
Pilový pás	[mm]	2 710 x 29 x 0,9
Hmotnost	[kg]	220
Napětí	[V]	3 x 380

2.3.2 Soustružnický poloautomat SPN 12 CNC

Soustružnický poloautomat (obr. 2.2) je strojem Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně, který slouží jako učební pomůcka pro programování v řídicím systému Sinumerik 810D. Soustruh od firmy Kovosvit byl zmodernizován firmou S.O.S. Difak spol. s.r.o. se sídlem v Želeči u Tábora. Z původního stroje se zachovala pouze kostra, řídicí systém Dapos S-3G byl nahrazen modernějším řídicím systémem, byly vyměněny veškeré kapaliny i pohony stroje a nově byla zapojena elektroinstalace[14].

Soustruh je vybaven dvěma suporty, horní suport má čtyřpolohovou nástrojovou hlavu řízenou systémem Sinumerik 810D a dolní suport je řízen mechanicky pomocí narážek. K dispozici jsou řezné nástroje od firmy Pramet Tools s.r.o, Šumperk, které mají vyměnitelné břitové destičky (VBD) ze slinutých karbidů (SK)[14].

Obr. 2.2 – Soustruh SPN 12 CNC.

Tab. 2.5 – Technické parametry soustružnického poloautomatu SPN12 CNC[14].

Pracovní prostor	max. soustružená délka	[mm]	500
	max. soustružený průměr	[mm]	120
	max. oběžný průměr nad ložem	[mm]	280
	max. hmotnost obrobku	[kg]	44,5
Vřeteník	rozsah otáček vřetene	[min^{-1}]	0 ÷ 3500
	výkon motoru	[kW]	9/11
Horní suport	rozsah posuvů	[$m.min^{-1}$]	0 ÷ 10
	rychloposuv	[$m.min^{-1}$]	10
Koník	přítlačná síla hrotu	[kN]	3 ÷ 12

2.3.3 Soustruh hrotový SV 18 RD

Stroj je vybaven otočnou nožovou hlavou pro upínání nástrojů a plynulým regulátorem otáček.

Tab. 2.6 – Technické parametry hrotového soustruhu SV 18 RD[15].

Max. soustružená délka	[mm]	1000
Max. oběžný průměr nad ložem	[mm]	380
Max. oběžný průměr nad suportem	[mm]	215
Rozsah otáček vřetene	[min-^{1}]	30 ÷ 2800
Rozsah podélných posuvů	[mm/ot]	0,02 ÷ 2,8
Rozsah příčných posuvů	[mm/ot]	0,01 ÷ 1,4
Výkon hlavního motoru	[kw]	10
Rozměry	[mm]	950 x 2720 x 120
Hmotnost	[kg]	1 950

2.3.4 Konzolová frézka FV25 CNC A

Podélný a příčný pohyb (osa X, Y) vykonává pracovní stůl a svislý pohyb (osa Z) vykonává vřeteno. Stroj je řízen systémem Heidenhain iTNC 530. Pohony frézky jsou řízeny krokovými motory s kuličkovými šrouby[16].

Tab. 2.6 – Technické parametry konzolové frézky FV25 CNC A[16].

Pracovní prostor (rozjezd)	podélný – osa X	[mm]	760
	příčný – osa Y	[mm]	355
	svislý – osa Z	[mm]	152
	svislé přestavení konzoly	[mm]	420
	posuvy plynule	[mm.min^{-1}]	2,5 ÷ 3000
	rychloposuv	[mm.min^{-1}]	9000
Vřeteno	upínací kužel	ISO40	
	vzdálenost osy vřetene od stojanu	[mm]	373
Horní suport	počet stupňů	2	

	rozsah otáček (plynule)	[min^{-1}]	50 ÷ 6000
	výkon hlavního motoru	[kW]	5,5
Upínací stůl	rozměr pracovní plochy	[mm]	350 x 1300

2.4 Volba nástrojů

2.4.1 Volba nástrojů pro soustružnický poloautomat SPN 12 CNC

Hrubovací nůž:

Pro hrubování kontury byl vybrán levý stranový uběrací nuž (obr. 2.7). Při hrubování se odebírá co nejvíce materiálu za co nejkratší čas.

Obr. 2.7 – Levý uběrací nuž[17].

VBD – **DNMG 15 06 08 EM**

Držák nástroje – **PDJNL 2525 M 15**

Parametry nástroje:

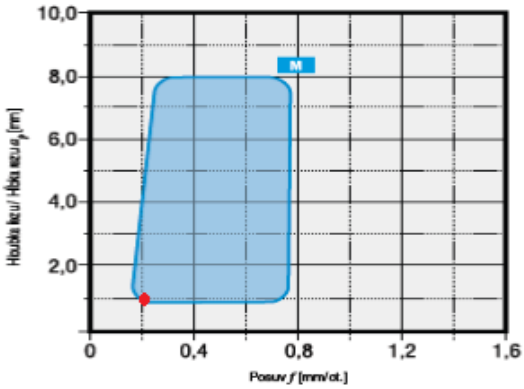
- úhel nastavení hlavního ostří – $\kappa_r = 93°$
- úhel nastavení vedlejšího ostří - $\kappa_r' = 32°$
- poloměr zaoblení špičky nástroje - $r_\varepsilon = 0{,}8$ mm

Doporučené použití břitové destičky:

Břitová destička je tvořena oboustranným utvářečem. Nástroj je vhodné použít pro polohrubovací a lehčí hrubovací soustružení ocelí, korozivzdorných ocelí a také litiny[16].

Tab. 2.7 – Zvolené řezné podmínky.

řezná rychlost - v_c	[m.min^{-1}]	110
posuv - f	[mm]	0,2
šířka záběru - a_p	[mm]	0,8



Obr. 2.8 – Doporučené řezné podmínky VBD[17].

Dokončovací nůž:

K soustružení načisto byl vybrán levý stranový uběrací nuž (obr. 2.9).

VBD – **VCMT 160408-FM**

Držák nástroje – **SVXCL 2525 M 16-M-A**

Parametry nástroje:

- úhel nastavení hlavního ostří – $\kappa_r = 98°$
- poloměr zaoblení špičky nástroje - $r_\varepsilon = 0{,}8$ mm

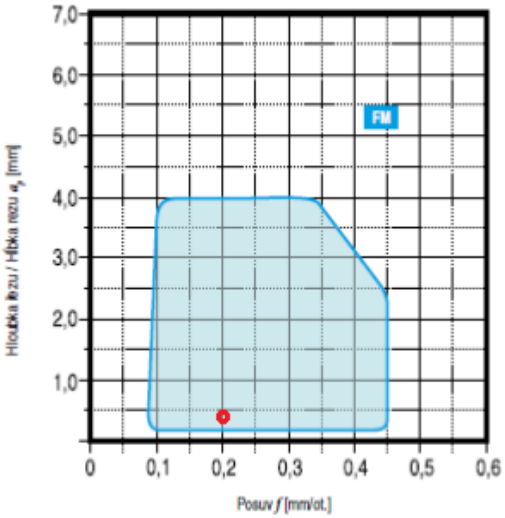
Obr. 2.9 – Levý uběrací nuž[17].

Doporučené použití břitové destičky:

Břitová destička je v hodná pro dokončovací a polohrubovací soustružení[16].

Tab. 2.8 – Zvolené řezné podmínky.

řezná rychlost – v_c	[m.min^{-1}]	120
posuv - f	[mm]	0,2
šířka záběru - a_p	[mm]	0,4



Obr. 2.10 – Doporučené řezné podmínky VBD[17].

Upichovací nůž:

Pro soustružení zápichu a výběhu pro metrický závit byl vybrán upichovací nůž (obr 2.11)

VBD – **LFUX 03 08 02 TN**

Držák nástroje – **XLCFL 2520 K 03**

Parametry nástroje:

- úhel nastavení hlavního ostří – $\kappa_r = 0°$
- úhel nastavení vedlejšího ostří - $\kappa_r' = 2°$
- poloměr zaoblení špičky nástroje - $r_\varepsilon = 0{,}2$ mm
- šířka hlavního břitu nástroje – b = 3 mm

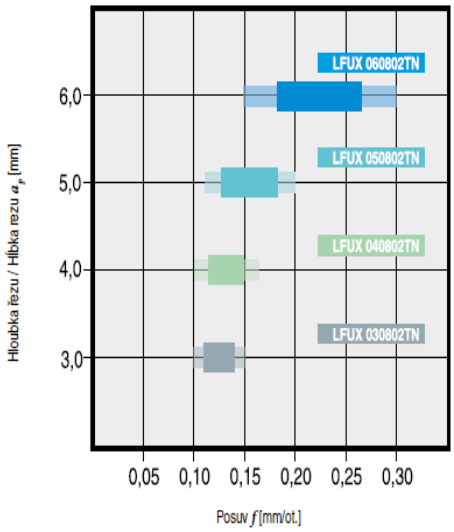
Obr. 2.11 – Upichovací nůž[17].

Doporučené použití břitové destičky:

Vhodné pro obrábění běžných i ušlechtilých ocelí a ocelolitiny. Při proměnlivé hloubce řezu se obrábí nižšími a středními řeznými rychlostmi[16].

Tab. 2.9 – Zvolené řezné podmínky.

řezná rychlost - v_c	[m.min^{-1}]	55
posuv - f	[mm]	0,08



Obr. 2.12 – Doporučené řezné podmínky VBD[17].

Závitový nůž:

Pro soustružení metrického závitu M25 se stoupáním 2 byl vybrán závitový nůž levý (obr 2.13)

VBD – **TN 16 EL 200M**

Držák nástroje – **SEL 2525 M 16**

Parametry nástroje:

- poloměr zaoblení špičky nástroje - r_ε = 0,4 mm

Obr. 2.13 – Závitový nůž levý[17].

Doporučené použití břitové destičky:

Pro jemné, dokončovací a polohrubovací soustružení běžných, žárupevných a žáruvzdorných ocelí[15].

Tab. 2.10 – Zvolené řezné podmínky.

otáčky - n	min^{-1}	400

2.4.2 Volba nástrojů pro hrotový soustruh SV 18 RD

Dokončovací nůž:

Pro zarovnání čel na požadovanou délku byl vybrán stranový nůž levý (obr. 2.14)

VBD – **SNMA 120408**

Držák nástroje – **PSSNL 25 25 M 12**

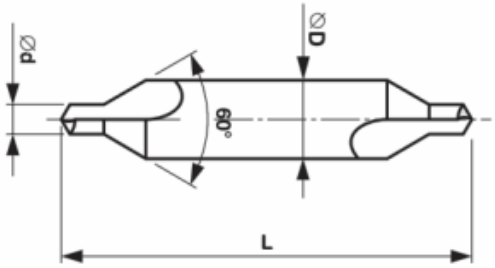
Parametry nástroje:

- úhel nastavení hlavního ostří – κ_r = 93°
- úhel nastavení vedlejšího ostří - κ_r' = 32°
- poloměr zaoblení špičky nástroje - r_ε = 0,8 mm

Obr. 2.14 – Levý uběrací nuž[17].

Středicí vrták:

Pro vyvrtání středících důlku na čela hřídele, které slouží pro ustavení opěrných hrotu na soustružnickém poloautomatu, byl vybrán středící vrták Ø 2,5 mm ČSN 22 1110 (obr. 2.15).



Obr. 2.15 – Středící vrták ČSN 22 1110[18].

Tab. 2.11 – Rozměry středícího vrtáku

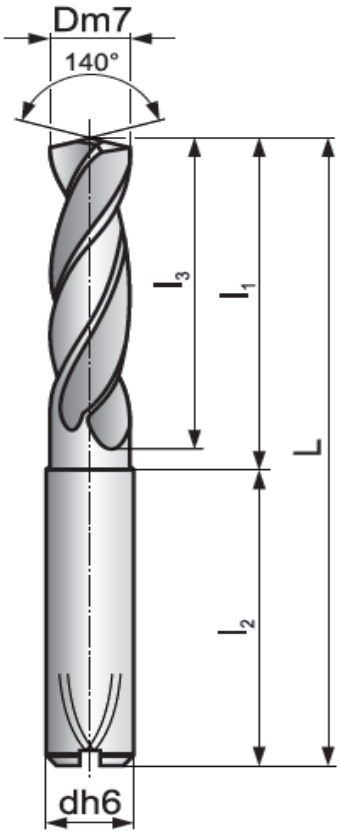
Ød	[mm]	2,50
D	[mm]	6,30
L	[mm]	45,0

Vrták:

Pro výrobu vnitřního metrického závitu Ø 8 mm je nutné vyvrtat nejprve díru malého Ø metrického závitu. Proto byl vybrán vrták Ø 6,8 mm ČSN 22 1121 (obr. 2.16).

Tab. 2.12 – Rozměry vrtáku

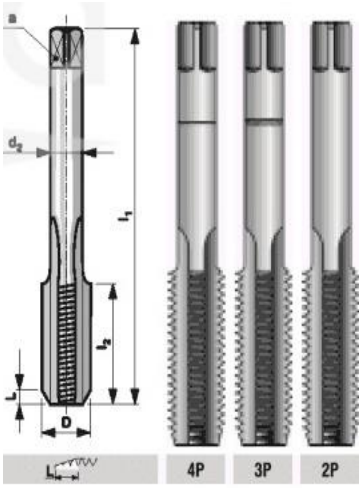
Dm7	[mm]	6,8
dh6	[mm]	8
L	[mm]	79
l_1	[mm]	43
l_2	[mm]	36
l_3	[mm]	34



Obr. 2.16 – Vrták ČSN 22 1121[19].

Závitová sada:

Pro výrobu vnitřního metrického závitu Ø 8 mm byla vybrána strojní závitová sada M8x1,25 ČSN 22 3010 (obr. 2.17).



Obr. 2.17 – Závitová sada M8[20].

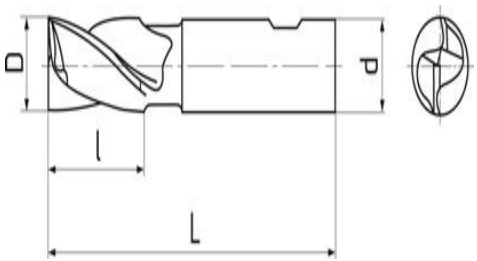
Tab. 2.13 – Rozměry závitníku

d_2	[mm]	6
D	[mm]	8
L	[mm]	2
l_1	[mm]	18
l_2	[mm]	63

3.4.2 Volba nástrojů pro konzolovou frézku FV 25 CNC A

Fréza:

K výrobě drážek pro péro 8P9 byla vybrána dvouzubá drážkovací fréza Ø 8 mm ČSN 22 2192 (obr. 2.18).



Obr. 2.18 – Drážkovací fréza[21].

Tab. 2.14 – Rozměry frézy

D	[mm]	8
d	[mm]	10
l	[mm]	19
L	[mm]	88

2.5 Nástrojový list

Pro přehled a pro pozice nástrojů v revolverové hlavě soustružnického poloautomatu SPN 12 CNC byl vytvořen nástrojový list.

Tab. 2.15 – Nástrojový list pro soustružnický poloautomat SPN 12 CNC

VUT FSI ÚST BRNO	**NÁSTROJOVÝ LIST**	Datum vydání:	20.5.2015
Vyhotovil:	Stroj:	Číslo výkresu součásti:	Číslo listu:
PETR HALOUZKA	Soustružnický poloautomat SPN 12 CNC	01-PH-2015	**1.**

Pozice nástroje	Znázornění	Popis nástroje	Výrobce	Označení výrobce	Materiál
T1		Hrubovací nůž vnější	Pramet	PDJNL 25 25 M15	
		VBD	Pramet	DNMG 15 06 08 EM	6630
T2		Dokončovací nuž vnější	Pramet	SVXCL 2525 M	
		VBD	Pramet	VCMT 160408-FM	9325
T3		Zapichovací nůž	Pramet	XLCFL 2520 K 03	
		VBD	Pramet	LFUX 03 08 02 TN	8330
T4		Závitový nůž vnější	Pramet	SEL 2525 M 16	
		VBD	Pramet	TN 16 EL 200M	8330

2.6 Upnutí obrobku

Nejlepší způsob upnutí na soustružnickém poloautomatu SPN 12 CNC byl zvolen jako upnutí mezi hroty s čelním unášením (obr. 2.19). Pomocí hydraulické kapaliny je zajištěna přítlačná síla koníku, která byla zvolena 6 kN (obr. 2.20). Obrobek bylo nutné vyrobit na dvě upnutí, protože školní dílna nevlastní vhodné pravé soustružnické nože.

Obr. 2.19 - Upnutí obrobku mezi hroty s čelním unášením.

Obr. 2.20 – Tlak v hydraulice.

2.7 Technologický postup

Pro výrobu hřídele je navržen technologický postup (příloha č. 2), který se skládá z řady na sebe navazujících operací. Tyto operace jsou základ pro uspořádání a zorganizování výroby.

2.8 Zpracování CNC technologie

Programování i výroba hřídele byla provedena přímo na stroji za pomocí programu Sinumerik 810D. Program byl před výrobou ověřený pomocí 2D simulace, která umožnila zobrazovat skutečnou polohu nástroje vůči obrobku. Nutností před vlastní výrobou součásti, bylo nastavení délkových korekcí jednotlivých nástrojů a nastavení nulového bodu obrobku.

K výrobě hřídele byli zapotřebí dva programy, které obrobily hřídel z pravé a levé strany (příloha 3).

2.8.1 Přehled použitých příkazu v programu

Příkazy, které byly použity při výrobě hřídele, jsou popsány v tab. 2.20.

Tab. 2.16 – Seznam použitých příkazů.

Příkaz	Popis
G71	zadávání drah v mm
G90	absolutní programování
G54	1. nastavitelné posunutí nulového bodu
T1 H1 D1	výměna nástroje, korekce nástroje
LIMS=2000	omezení otáček
CYCLE 95	cyklus odběru třísky
CYCLE 97	cyklus řezání závitu
S120	otáčky vřetene
M4	start vřetena proti směru hod. ručiček
M8	zapnutí chlazení
M41	převodový stupeň 1 (nižší řada otáček)
M30	konec programu

2.9 Kontrolní výpočty

2.9.1 Jednotkový strojní čas

- Pro stanovení strojního času se musí nejprve vypočítat otáčky obrobku ze vztahu 2.1[2].

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} [min^{-1}] \tag{2.1}$$

kde: n [min^{-1}] - otáčky obrobku,
v_c [m.min^{-1}] - řezná rychlost,
D [mm] - průměr obrobku.

- Jednotkový strojní čas stanovuje dobu opracování obrobku. Pro soustružení válcové plochy při konstantní řezné rychlosti v_c se jednotkový strojní čas vypočte ze vztahu 2.2[2].

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f} [min] \tag{2.2}$$

kde: t_{AS} [min] - jednotkový strojní čas,
L [mm] - celková obráběná délka,
i [-] - počet záběrů,
n [min^{-1}] - otáčky obrobku,
f [mm] - posuv na otáčku.

- Celková obráběná délka se vypočte ze vztahu 2.3[2].

$$L = l + l_n + l_p \text{ [mm]} \tag{2.3}$$

kde: l [mm] - délka soustružené plochy,
l_n [mm] - délka náběhu,
l_p [mm] - délka přeběhu.

Vzorový výpočet pro stanovení jednotkového strojního času v operaci 3/3 (hrubování Ø40 na délce 102 mm):

- otáčky obrobku:

$$n = \frac{1000 \cdot 110}{\pi \cdot 40} = 875{,}4\ [min^{-1}] \tag{2.1}$$

- celková obráběná délka:

$$L = 102 + 2 + 0 = 104\ [mm] \tag{2.3}$$

- jednotkový strojní čas

$$t_{AS} = \frac{102 \cdot 1}{875{,}4 \cdot 0{,}2} = 0{,}58\ [min] \tag{2.2}$$

2.9.2 Řezná síla

- Řezná síla F_c vychází z definice měrné řezné síly k_c. Měrná řezná síla je definována jako poměr řezné síly F_c a plochy jmenovitého průřezu třísky A_D[22].

$$k_c = \frac{F_c}{A_D} \Rightarrow F_c = k_c \cdot a_p \cdot f\ [N] \tag{2.4}$$

$$F_c = 2300 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}2 = 368\ [N] \tag{2.4}$$

kde: k_c [MPa] - měrná řezná síla – pro ocel ČSN 41 7240 je 2300 MPa,
F_c [N] - řezná síla ve směru hlavního řezného pohybu,
A_D [mm^2] - průřez třísky ($A_D = a_p \cdot f$),
a_p [mm] - šířka záběru ostří,
f [mm] - posuv na otáčku obrobku.

- Pasivní síla při soustružení středně tvrdých ocelí se vypočte ze vztahu 2.5[22].

$$F_p = (0{,}4 \div 0{,}5) \cdot F_c\ [N] \tag{2.5}$$

$$F_p = (0{,}4) \cdot 368 = 147{,}2\ [N \tag{2.5}$$

kde: F_c [N] - řezná síla ve směru hlavního řezného pohybu,
F_p [N] - pasivní síla ve směru přísuvu.

- Posuvová síla při soustružení středně tvrdých ocelí se vypočte ze vztahu 2.6[22].

$$F_f = (0{,}2 \div 0{,}3) \cdot F_c \; [N] \tag{2.6}$$

$$F_f = (0{,}25) \cdot 368 = 92 \; [N] \tag{2.6}$$

kde: F_c [N] - řezná síla ve směru hlavního řezného pohybu,

F_f [N] - posuvová síla.

- Celková řezná síla se vypočte ze vztahu 2.7[22].

$$\mathrm{F} = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} \; [N] \tag{2.7}$$

$$\mathrm{F} = \sqrt{368^2 + 147{,}2^2 + 92^2} = 406{,}88 \; [N] \tag{2.7}$$

kde: F [N] - celková řezná síla,

F_c [N] - řezná síla ve směru hlavního řezného pohybu,

F_p [N] - pasivní síla ve směru přísuvu,

F_f [N] - posuvová síla.

2.9.3 Řezný výkon

- Řezný výkon P_c je určen součinem řezné síly F_c a řezné rychlosti v_c, působících v hlavním bodě ostří v daném čase[2].

Řezný výkon byl vypočítán při hrubování kdy šířka záběru ostří je největší.

$$\mathrm{P}_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60} \; [W] \tag{2.8}$$

$$\mathrm{P}_c = \frac{368 \cdot 110}{60} = 674{,}7 [W] \tag{2.8}$$

kde: P_c [W] - řezný výkon,

F_c [N] - řezná síla ve směru hlavního řezného pohybu,

v_c [m.min^{-1}] - řezná rychlost při hrubování.

- Výkon hnacího elektromotoru[22].

U obráběcích strojů je mechanická účinnost η_m = 0,75 ÷ 0,85. Pro soustružnický poloautomat SPN 12 CNC byla zvolena mechanická účinnost η_m = 0,75.

$$P_m = \frac{P_c}{\eta_m}\ [W] \tag{2.9}$$

$$P_m = \frac{674{,}7}{0{,}75} = 899{,}6[W] \tag{2.9}$$

kde: P_m [W] - výkon hnacího elektromotoru,

P_c [W] - řezný výkon,

η_m [-] - mechanická účinnost stroje.

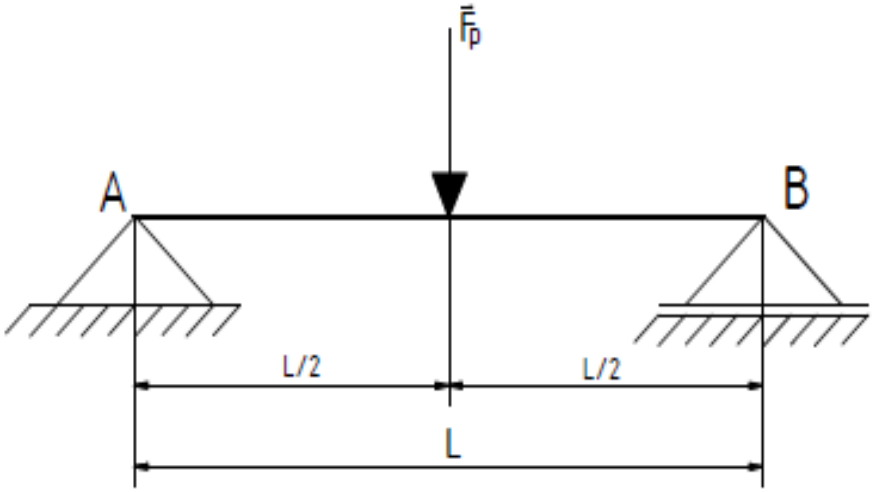
Soustružnický poloautomat SPN 12 CNC má výkon elektromotoru 11 kW (viz. tab. 2.5), jelikož vypočtený potřebný výkon elektromotoru P_m = 0,89 kW je menší než hodnota udaná výrobcem, součást lze za zvolených řezných podmínek vyrobit bez vyšších nároků na zátěž elektromotoru.

2.9.4 Průhyb hřídele při hrubování

Abychom mohli zhodnotit, zda lze danou hřídelovitou součást obrábět za zadaných řezných podmínek bez podpory, bylo nutné vypočítat průhyb hřídele.

Průhyb hřídele byl vypočten v polovině délky a při hrubování kdy je šířka záběru ostří a_p největší.

Pro uchycení hřídele bylo zvoleno upnutí mezi hroty s čelním unášením (obr.2.21).

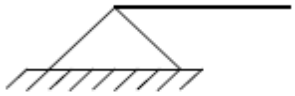
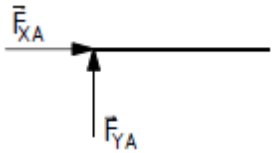
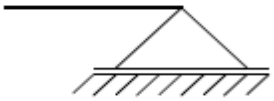
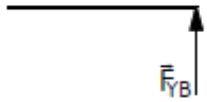


Obr. 2.21 – Upnutí mezi hroty s čelním unášením.

Vazby součásti:

- Čelní unášeč = rotační vazba
- Koník = obecná vazba

Tab. 2.17 – Vazby na obráběné součásti.

Vazby	Schéma vazby	Uvolnění
Rotační vazba		
Podpora		

<u>Výpočet průhybu:</u>

Průhyb hřídele byl vypočten pomocí mohrovy metody. Jelikož úloha byla zjednodušená na zatížení pouze pasivní složku řezné síly F_p, která působí kolmo na osu hřídele, stačí zjistit průhyb právě v tomto místě.

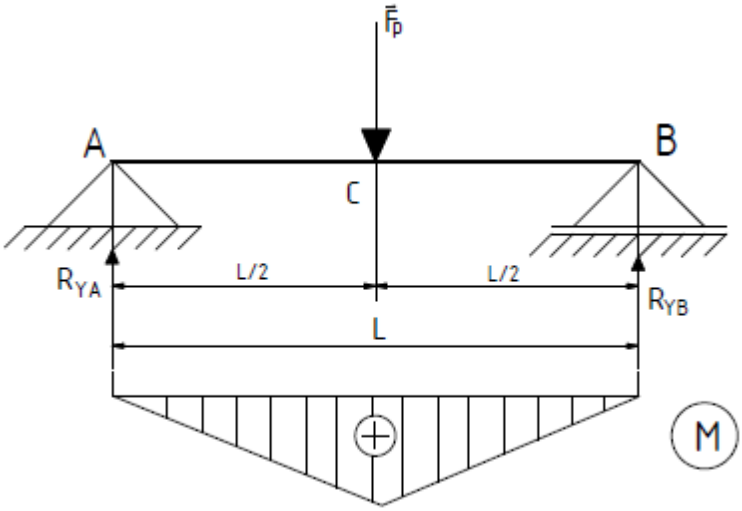
- Výpočet reakcí R_{YA}, R_{YB} a ohybového momentu M_c z obr. 2.18.

$$R_{YA} = R_{YB} = \frac{F_p}{2}\ [N] \tag{2.10}$$

kde: R_{YA} [N] - reakce v bodě A,
R_{YB} [N] - reakce v bodě B,
F_p [N] - pasivní síla ve směru přísuvu.

$$M_C = R_{YA} \cdot \frac{L}{2} = \frac{F_p \cdot L}{4}\ [Nm] \tag{2.11}$$

kde: M_c [Nm] - ohybový moment v bodě C,
L [mm] - délka hřídele,
F_p [N] - pasivní síla ve směru přísuvu.



Obr. 2.18 – Průběh ohybových momentu řešeného hřídele

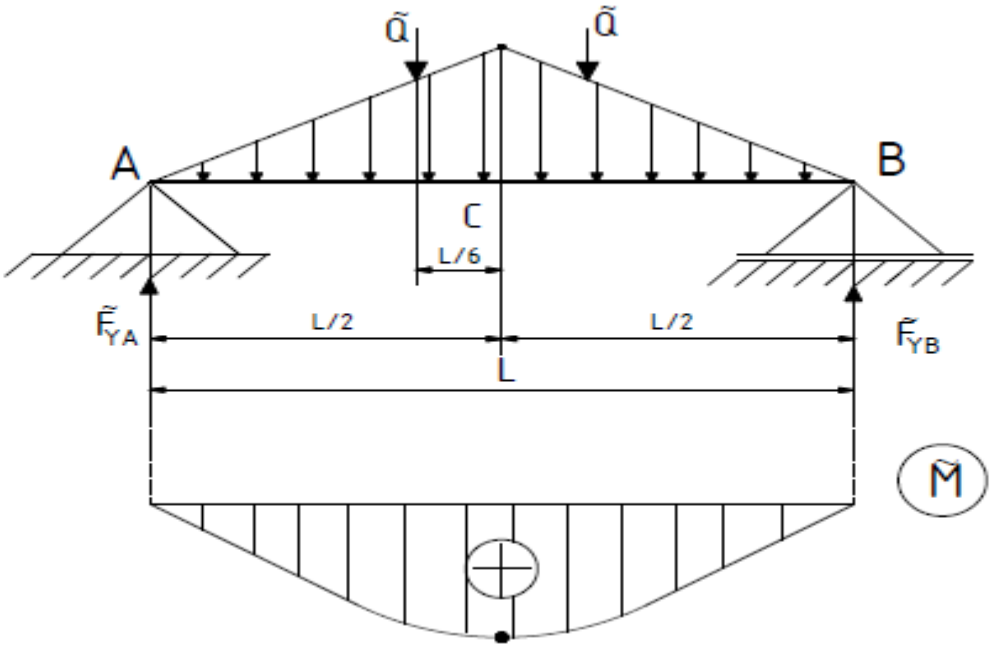
- Výpočet reakce $R^{\sim}_{YA}$ a ohybového momentu $M^{\sim}_{C}$ na fiktivní hřídeli z obr. 2.19.

$$R^{\sim}_{YA} = Q^{\sim} = \frac{1}{2} \cdot M_c \cdot \frac{L}{2} = \frac{F_p \cdot L^2}{16} [Nm^2] \tag{2.12}$$

kde: $R^{\sim}_{YA}$ [Nm^2] - reakce v bodě A na fiktivní hřídeli,
F_p [N] - pasivní síla ve směru přísuvu,
L [mm] - délka hřídele,
M_c [Nm] - ohybový moment v bodě C na fiktivní hřídeli,
$Q^{\sim}$ [Nm^2] - kladné fiktivní zatížení.

$$M^{\sim}_{C} = R^{\sim}_{YA} \cdot \frac{L}{2} - Q^{\sim} \cdot \frac{L}{6} = \frac{F_p \cdot L^3}{48} [Nm^3] \tag{2.13}$$

kde: $R^{\sim}_{YA}$ [Nm^2] - reakce v bodě A na fiktivní hřídeli,
F_p [N] - pasivní síla ve směru přísuvu,
L [mm] - délka hřídele,
$M^{\sim}_{c}$ [Nm^3] - ohybový moment v bodě C na fiktivní hřídeli,
$Q^{\sim}$ [Nm^2] - kladné fiktivní zatížení.



Obr. 2.19 – Průběh ohybových momentu na fiktivní hřídeli.

- Průhyb uprostřed hřídele.

$$w_c = \frac{M_C^{\sim}}{E \cdot I} = \frac{F_p \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} [mm] \tag{2.14}$$

kde: w_c [mm] - průhyb hřídele v bodě C

$M^{\sim}_C$ [Nm^3] - ohybový moment v bodě C,

E [Mpa] - modul pružnosti v tahu (aust. oceli E = $1{,}99.10^5$ Mpa)

I [mm^4] - moment setrvačnosti

- Moment setrvačnosti pro kruhový průřez.

$$I = \frac{\pi \cdot D^4}{64} [mm^4] \tag{2.15}$$

kde: I [mm^4] - moment setrvačnosti,

D [mm] - průměr hřídele.

$$I = \frac{\pi \cdot 32^4}{64} = 51\,471{,}85\ [mm^4] \tag{2.15}$$

- **Výsledný průhyb.**

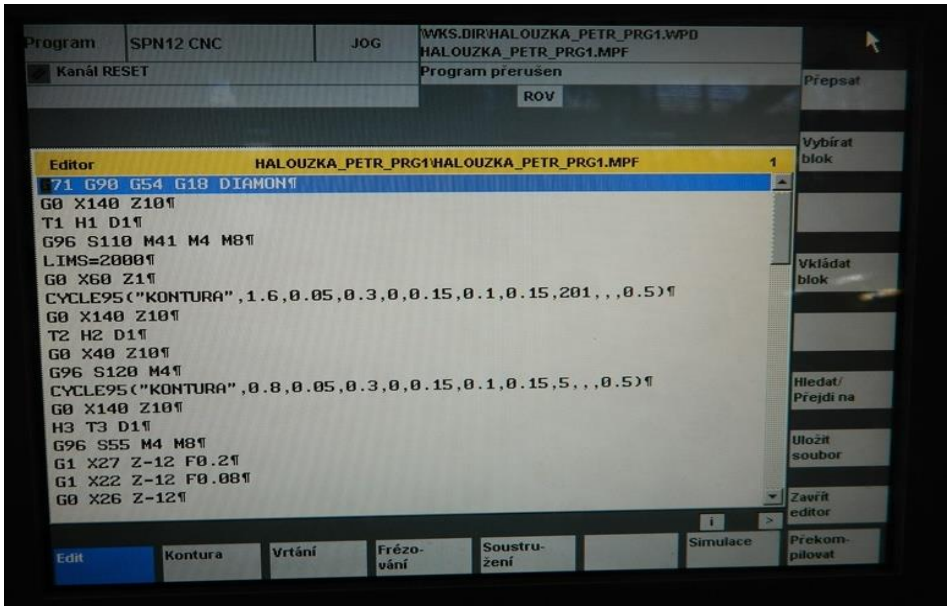
$$w_c = \frac{147{,}2 \cdot 198^3}{1{,}99 \cdot 10^5 \cdot 51\,471{,}85} = 0{,}00232[mm] \tag{2.14}$$

Průhyb uprostřed hřídele je poměrně malý, a proto není nutné použití podpěrných prvků.

3 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ

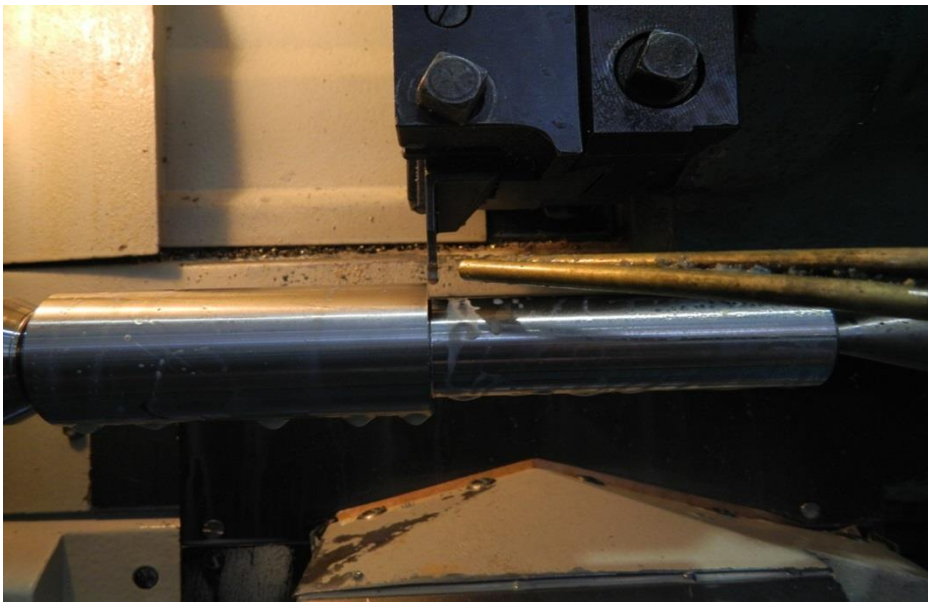
Experimentální ověření předkládá samotnou výrobu navržené součásti na soustružnickém poloautomatu SPN 12 CNC. Experimentální ověření je doplněno o fotodokumentaci jednotlivých složek výrobního procesu.

- Ověření programování pro výrobu levé strany hřídele je na obr. 3.1.



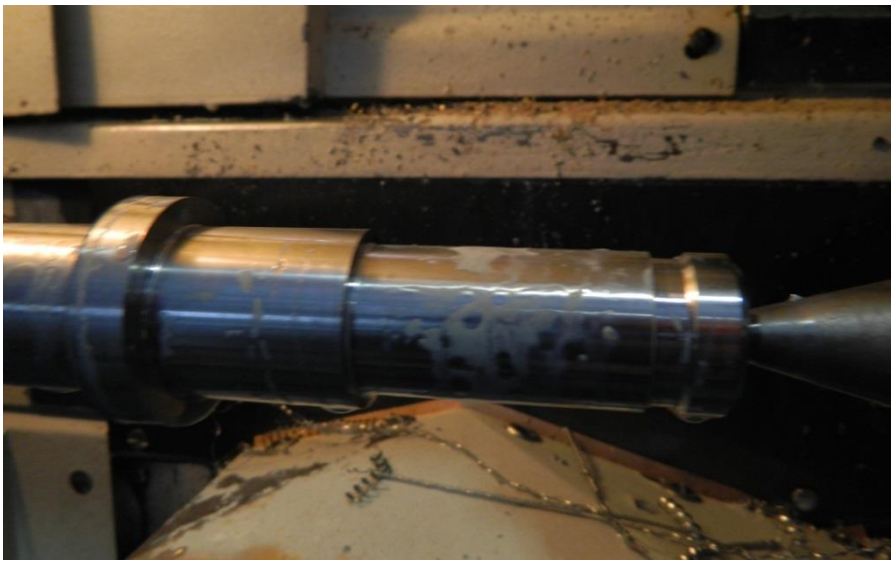
Obr. 3.1 – Výrobní program pro levou stranu hřídele.

- Ověření výroby levé strany hřídele je na obr. 3.2. Jelikož se jednalo o prototypový kus, najíždělo se do záběru zpomaleně a po jednotlivých krocích.



Obr. 3.2 – Výroba levé strany hřídele.

- Ověření výroby pravé strany hřídele je na obr. 3.3.



Obr. 3.1 – Výroba pravé strany hřídele.

4 DISKUZE VÝSLEDKŮ

V rámci praktické části práce byla hřídel z austenitické oceli ČSN 41 7240 vyrobena na soustružnickém poloautomatu SPN 12 CNC. Pro tuto výrobu byly vypočteny: jednotlivé složky řezné sily, celková řezná síla, řezný výkon a průhyb hřídele.

Řezná síla ve směru hlavního řezného pohybu byla následně použita při výpočtu řezného výkonu a pasivní řezná síla ve směru přísuvu byla následně použita při výpočtu průhybu hřídele.

Potřebný výkon hnacího elektromotoru pro provedení hrubovací operace za zvolených řezných podmínek (řezná rychlost, posuv a šířka záběru ostří) byl vypočten P_m = 0,89 kW. Vypočítaný potřebný výkon hnacího elektromotoru je menší než výkon soustružnického poloautomatu SPN 12 CNC udaný výrobcem. Díky tomuto faktu mohli být zvoleny poměrně vyšší řezné podmínky, ale s ohledem na trvanlivost nástroje se tak neprovedlo.

Průhyb hřídele byl vypočten v polovině délky a při hrubovací operaci, kdy šířka záběru ostří a_p je největší a tím je i největší pasivní síla ve směru přísuvu F_p. Výsledný průhyb hřídele byl w_c = 2,32 μm. Jelikož průhyb je poměrně malý, není nutné použití podpěrných prvků. Na velikost pasivní síly má velký vliv úhel čela. Se snižujícím se úhlem čela roste pasivní síla, a proto je dobré použít nástroje s kladným úhlem čela.

Vlivem průhybu hřídele při obrábění je více materiálu odebíráno při hrotech než ve středu a tím bude mít hřídel mírně soudkovitý tvar.

5 ZÁVĚRY

Cílem bakalářské práce byl teoretický rozbor problému obrábění těžkoobrobitelných materiálů, konkrétně korozivzdorné oceli. Dalším cílem byl návrh výroby hřídelovité součásti z austenitické korozivzdorné oceli ČSN 41 7240, se zpracováním CNC technologie a samotnou výrobou hřídelovité součásti na soustružnickém poloautomatu SPN 12 CNC, hrotovém soustruhu SV 18 RD a konzolové frézce FV25 CNC A.

Díky teoretickým poznatkům k obrábění korozivzdorných ocelí, byli k nástrojům, stanoveny řezné parametry, které se pohybovali u spodní hranice doporučené výrobci nástrojů. Pří soustružení na poloautomatickém soustruhu SPN 12 CNC, byly použity stejné nástroje jak pro hrubováni tak i dokončování z důvodu osazení jen čtyř nástrojů v revolverové hlavě. Dokončování probíhalo s menší šířkou záběru ostří, nižším posuvem a vyšší řeznou rychlostí než při hrubování. Výrobní program, který byl sestaven přímo na stroji, se skládá ze dvou částí, z programu pro pravou a levou stranu součásti. Před samotnou výrobou součásti byl program ověřen pomocí 2D simulace, která umožnila zobrazovat, skutečnou polohu nástroje vůči obrobku. Výroba součásti proběhla bez problému a navržené řezné parametry se jevily jako vhodné.

V poslední části bakalářské práce byly provedeny kontrolní výpočty. Ze složek celkové řezné síly se následně stanovil potřebný výkon hnacího elektromotoru a průhyb hřídele při obrábění. Z výsledku vyplívá že, celková řezná síla je poměrně malá a to díky zvolené mále šířce záběru ostří a nízké posuvové rychlosti. Z výpočtu dále vyplívá, že průhyb hřídele v polovině její délky je poměrně malý.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. PÍŠKA, M. *Speciální technologie obrábění.* 1.vyd.Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2009, 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. HUMÁR, A. *Technologie I – Technologie obrábění – 1. část.* Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno: VUT–FSI, Ústav strojírenské technologie. 2003, 138 s. [cit. 2015–03–30]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
3. FOREJT, M a PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje.* 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelstvíi CERM s.r.o., 2006. ISBN 80-214-2374-9.
4. ZEMAN,P.Technologie obrábění. *Seminář SpOS a VCSVTT: Obráběcí stroje a technologie na EMO Milano 2009.* [pdf].
5. 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.
6. ČÍHAL, V. *Korozivzdorné oceli a slitiny*. 1.vyd. Praha: Academia AV, 1999. 434s. ISBN 80-200-0671-0
7. MM průmyslové spektrum. *Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály*. [online]. 2003 roč. 2003, č. 4 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy.html
8. MM průmyslové spektrum. *Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály.* [online]. 2003 roč. 2003, č. 5 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy-2.html
9. Korozivzdorné oceli – vlastnosti. *Vlastnosti korozivzdorných ocelí.* [online]. Vydání 2002. Lucembursko: Euro Inox, 2002, 28 s, ISBN 2-89997-082-2. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.euro-inox.org/pdf/map/StainlessSteelProperties_CZ.pdf
10. MM průmyslové spektrum. *Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály.* [online]. 2003 roč. 2003, č. 6 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy-2-2.html
11. ČSN 41 7240
12. Ferona. *Sortimentní katalog: Materiálové normy.* [online]. Ferona, a.s., 2014. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.ferona.cz/cze/katalog/mat_normy.php
13. KUBLA, Dalibor. *Technologické aspekty řezání válcovaných materiálů* [online]. Brno, 2012 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52386. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
14. PÍŠKA, M. POLZER, A. *Popis poloautomatického soustruhu SPN12 CNC s řídícím systémem 810 D.* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://cadcam.fme.vutbr.cz/sinutrain/SPN12CNC_Sinumerik810D.pdf
15. TDZ Partners, s.r.o. *Soustruh hrotový SV 18 RD* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.tdzpartners.com/index.php?company=pouzite_stroje&id_nomen=0100000000000314

16. BENDA, Tomáš. *Programování CNC frézky FV25 CNC A / HEIDENHAIN iTNC 530* [online]. Brno, 2009 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=15873. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
17. PRAMET, *Katalog soustružení 2014* [online]. Pramet Tools, s.r.o. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.dormerpramet.com/downloads/turning-2014-cz-sk.pdf
18. M&V, spol. s.r.o. *Divize STIMZET* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.stimzet.cz/data/csn221110_cz.html
19. PRAMET, *Katalog obrábění děr 2014* [online]. Pramet Tools, s.r.o. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.dormerpramet.com/downloads/hole-making-2014-cz-sk-screen-covers-bookmark.pdf
20. ARKOV, spol. s.r.o. *Ruční nářadí* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://zbozi.arkov.cz/i/154486-zavitnik-no-m8-sada-223010-bucovice-110080-zavitnik-strojni-sada-3ks-narex.html
21. ZPS. *Frézovací nástroje* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.zps-fn.cz/produkty/detail/frezy-pro-drazky-per-(drazkovaci-frezy)-dlouhe,-2-zuby,-nesoumerne,-typ-n,-kod-221418,-prumer-8-mm/
22. VOSTŘEL, Jan. *CNC soustružení tvarových součástí z korozivzdorné oceli* [online]. Brno, 2010 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28725. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CNC	[-]	Počítačem číslicově řízený (computer numerical control)
HRC	[-]	zkouška tvrdosti podle Rockwella
SK	[-]	slinutý karbid
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička

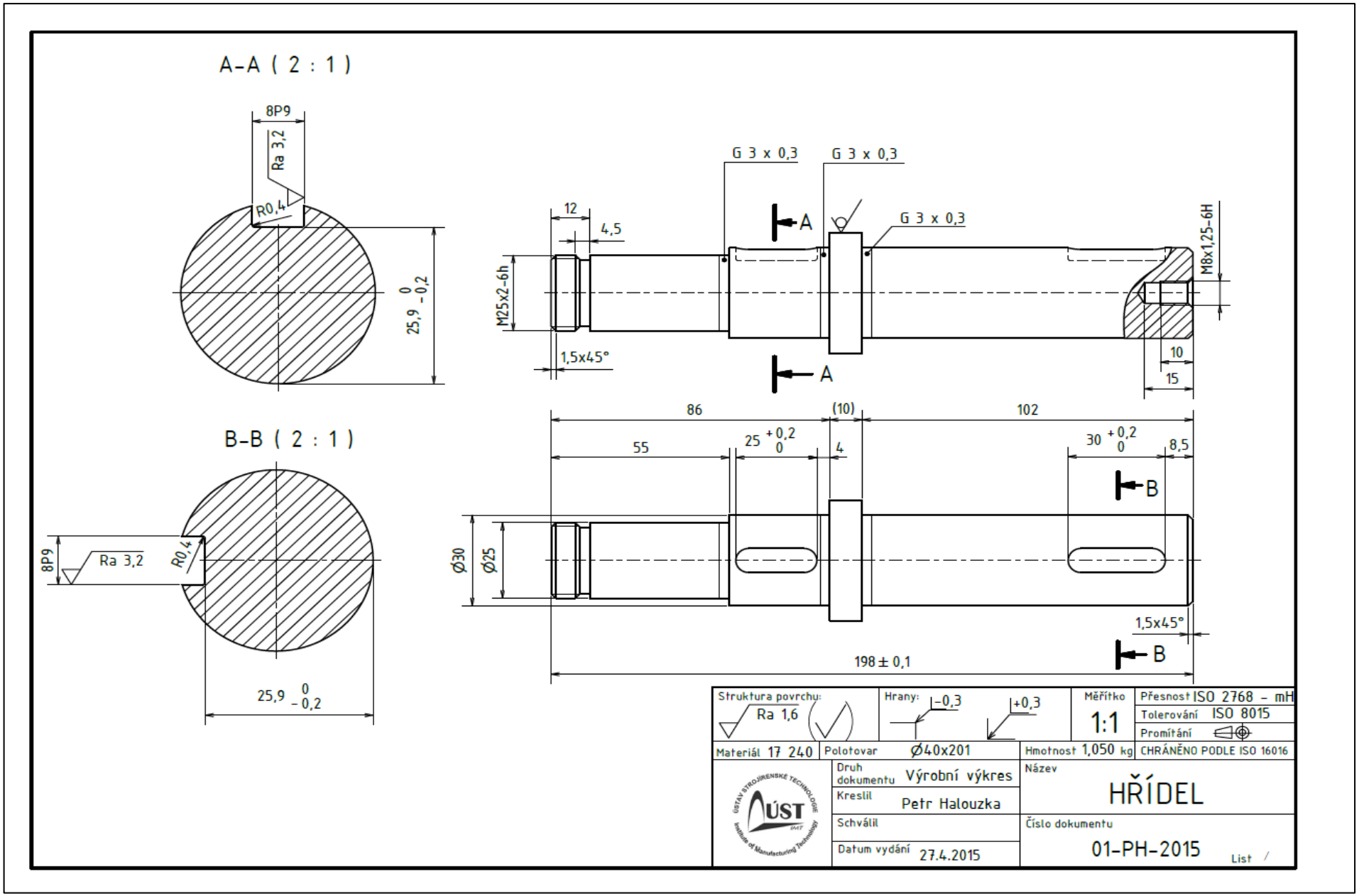
Symbol	Jednotka	Popis
A_5	[%]	tažnost materiálu
A_D	[mm^2]	průřez třísky
D	[mm]	Průměr obrobku
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
E_e	[J]	práce řezného procesu
F	[N]	celková řezná síla
F_c	[N]	řezná síla ve směru hlavního řezného pohybu
F_f	[N]	pasivní síla ve směru přísuvu
F_p	[N]	posuvová síla
I	[mm^4]	moment setrvačnosti
KCU 3	[$J.cm^{-2}$]	vrubová houževnatost
L	[mm]	celková obráběná délka
$\tilde{M}_C$	[Nm]	ohybový moment v bodě C na fiktivní hřídeli
M_c	[Nm]	ohybový moment v bodě C
P_c	[W]	řezný výkon
P_m	[W]	výkon hnacího elektromotoru

$Q^{\sim}$	[Nm^2]	kladné fiktivní zatížení
Q_e	[J]	teplo řezného procesu
$R^{\sim}_{YA}$	[Nm^2]	reakce v bodě A na fiktivní hřídeli
R_m	[MPa]	mez pevnosti
$R_{p0,2}$	[MPa]	mez kluzu
R_{YA}	[N]	reakce v bodě A
R_{YB}	[N]	reakce v bodě B
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
f	[mm]	posuv na otáčku obrobku
i	[-]	počet záběrů
i_o	[-]	index obrobitelnosti
k_c	[MPa]	měrná řezná síla
l	[mm]	délka soustružené plochy
l_n	[mm]	délka náběhu
l_p	[mm]	délka přeběhu
n	[min^{-1}]	otáčky obrobku
t_{AS}	[min]	jednotkový strojní čas
v_c	[$m.min^{-1}$]	řezná rychlost
w_c	[mm]	průhyb hřídele v bodě C
η_m	[-]	mechanická účinnost stroje

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výrobní výkres součásti
Příloha 2 Technologický postup
Příloha 3 NC program pravé strany
Příloha 4 NC program levé strany

PŘÍLOHA 1


A-A (2 : 1)
8P9
Ra 3,2
R0,4
25,9 0 -0,2
B-B (2 : 1)
8P9
Ra 3,2
R0,4
25,9 0 -0,2
G 3 x 0,3
G 3 x 0,3
G 3 x 0,3
12
4,5
A
A
M25x2-6h
1,5x45°
M8x1,25-6H
10
15
86
(10)
102
55
25 +0,2 0
4
30 +0,2 0
8,5
B
B
Ø30
Ø25
1,5x45°
198 ± 0,1
Struktura povrchu:
Ra 1,6
Hrany:
-0,3
+0,3
Měřítko
1:1
Přesnost ISO 2768 - mH
Tolerování ISO 8015
Promítání
Materiál 17 240
Polotovar Ø40x201
Hmotnost 1,050 kg
CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016
ÚST
Druh dokumentu Výrobní výkres
Kreslil Petr Halouzka
Schválil
Datum vydání 27.4.2015
Název
HŘÍDEL
Číslo dokumentu
01-PH-2015
List /

PŘÍLOHA 2 (1 / 4)

Technologický postup

	Technologický postup	Název skupiny:	Název součástky: Hřídel	Číslo součástky:	Vydání postupu: **1**
Datum: 27.4.2015	Vyhotovil: Petr Halouzka	Rozměry polotovaru: Ø 40 x 201	Materiál: 17 240	Hmotnost:	Č. listu: 1

Č. oper.	Název stroje a třídící číslo:	Dílna:	Popis práce:	Výrobní pomůcky:	Poznám:
0/0	Pásová pila BOMAR STG 220 G 05963	Přípravna	Řezat Ø 40 ČSN 41 7240 na délku L = 201 ± 0,5	Pilový pás 2710 x 25 x 0,9 Ocelové měřítko (0÷500) ČSN 25 1125 Posuvné měřítko (0÷500) ČSN 25 1231	
1/1	Soustruh SV18 RD 04125	Obrobna	Zarovnat čela na délku L = 198 ± 0,1	Uběrací nůž PSSNL 25 25 M 12	
			Navrtat středící důlky A 2,5 ČSN 01 4915	Středící vrták ČSN 22 1110 Ø2,5 tvar A	
2/2	Kontrola 09863	OTK	Kontrolovat délku L = 198 ± 0,1	Posuvné měřítko (0÷500) ČSN 25 1231	

	Technologický postup	Název skupiny:	Název součástky: Hřídel	Číslo součástky:	Vydání postupu: **1**
Datum: 27.4.2015	Vyhotovil: Petr Halouzka	Rozměry polotovaru: Ø 40 x 201	Materiál: 17 240	Hmotnost:	Č. listu: 2

Č. oper.	Název stroje a třídící číslo:	Dílna:	Popis práce:	Výrobní pomůcky:	Poznám:
3/3	Poloautomatický soustruh SPN 12 CNC 34441	Obrobna	Upnout mezi hroty s čelním unášením	Čelní unášeč NUH 25	
			Soustružit Ø30 L=102 s přídavkem na dokončení	T1	
			Soustružit obrys kontury na čisto	T2	
			Soustružit zápich G 3 x 0,3 v délce 102	T3	
4/4	Poloautomatický soustruh SPN 12 CNC 34441	Obrobna	Otočit a upnout mezi hroty s čelním unášením	Čelní unášeč NUH 25	
			Soustružit Ø25 L=55 s přídavkem na dokončení Soustružit Ø25 L=86 s přídavkem na dokončení	T1	
			Soustružit obrys kontury na čisto	T2	

	Technologický postup	Název skupiny:	Název součástky: Hřídel	Číslo součástky:	Vydání postupu: **1**
Datum: 27.4.2015	Vyhotovil: Petr Halouzka	Rozměry polotovaru: Ø 40 x 201	Materiál: 17 240	Hmotnost:	Č. listu: 3

Č. oper.	Název stroje a třídící číslo:	Dílna:	Popis práce:	Výrobní pomůcky:	Poznám:
4/4	Poloautomatický soustruh SPN 12 CNC 34441	Obrobna	Soustružit zápich G 3 x 0,3 v délce 55 Soustružit zápich G3 x 0,3 v délce 86 Soustružit výběh pro závit v délce 7,5	T3	
			Soustružit závit M25 x 2	T4	
5/5	OTK 09863	OTK	Kontrola závitu M25 x 2 Kontrola Ø30 L=102 , Ø25 L=55, Ø30 L=86 Kontrola zápichů G3 x 0,3	Závitové měrky ČSN 25 4620 Posuvné měřítko (0÷150) ČSN 25 1238	
6/6	Soustruh SV18 RD 04125	Obrobna	Upnout do sklíčidla za obrobený Ø30 a dorazit na čelo Ø40 Vrtat díru Ø6,8 do hloubky 18 Vrtat závit M8 do hloubky 10	Vrtací tříčelisťové sklíčidlo Vrták ČSN 22 1121 Ø6,8 Závitová sada ČSN 22 3010	

	Technologický postup	Název skupiny:	Název součástky: Hřídel	Číslo součástky:	Vydání postupu: **1**
Datum: 27.4.2015	Vyhotovil: Petr Halouzka	Rozměry polotovaru: Ø 40 x 201	Materiál: 17 240	Hmotnost:	Č. listu: 4

Č. oper.	Název stroje a třídící číslo:	Dílna:	Popis práce:	Výrobní pomůcky:	Poznám:
7/7	Konzolová frézka FV 25 CNC A 35212	Obrobna	Očistit dosedací plochy, upnout hřídel Frézovat drážky pro pero 8P9	Svěrák mechanický Drážkovací fréza ČSN 22 2192 Ø8 Posuvné měřítko (0÷150) ČSN 25 1238	
8/8	Kontrola 09863	OTK	Celkové kontrolovat dle výkresu	Posuvné měřítko (0÷150) ČSN 25 1238 Závitové měrky ČSN 25 4620	

PŘÍLOHA 3

NC program 1

```
;PRAVA STRANA
G71 G90 G54 G18 DIAMON
G0 X140 Z10
;HRUBOVANI
T1 H1 D1
G96 S110 M41 M4 M8
LIMS=2000
G0 X60 Z1
CYCLE 95 ("KONTURA" ,1.6,0.1,0.3,0,0.15,0.1,0.15,1,,,0.5)
G0 X140 Z10
;DOKONCOVANI
T2 H2 D1
G0 X40 Z10
G96 S120 M4
CYCLE 95 ("KONTURA" , 0.8,0.1,0.3,0,0.15,0.1,0.15,5,,,0.5)
G0 X140 Z10
;ZAPICH
T3 H3 D1
G96 S55 M4 M8
G0 X41 Z-102
G1 X29.2 Z-102 F0.08
G0 X41 Z-102
G0 X140 Z10
M30
```

PŘÍLOHA 4 (1 / 2)

NC program 2

```
;LEVA STRANA
G71 G90 G54 G18 DIAMON
G0 X140 Z10
;HRUBOVANI
T1 H1 D1
G96 S110 M41 M4 M8
LIMS=2000
G0 X60 Z1
CYCLE95 ("KONTURA" ,1.6,0.05,0.3,0,0.15,0.1,0.15,201,,,0.5)
G0 X140 Z10
;DOKONCOVANI
T2 H2 D1
G0 X40 Z10
G96 S120 M4
CYCLE95 ("KONTURA" ,0.8,0.05,0.3,0,0.15,0.1,0.15,15…0.5)
G0 X140 Z10
;ZAPICH
T3 H3 D1
G96 S55 M4 M8
G0 X27 Z-12
G1 X22 Z-12 F0,08
G0 X26 Z-12
G0 X26 Z-10.5
G1 X22 Z-10.5
G0 X26 Z-10.5
G0 X26 Z-9
G1 X25 Z-9
G1 X22 Z-10.5
G1 X26 Z-10.5
G0 X31 Z-55
G1 X24.2 Z-55
```

PŘÍLOHA 4 (2 / 2)

NC program 2

```
G0 X41 Z-55
G0 X41 Z-86
G1 X29.2 Z-86
G0 X41 Z-86
G0 X140 Z10
;ZAVIT
T4 H4 D1
G0 X26 Z-9
G97 S400 M4
G1 X25 F0.2
CYCLE97 (2,,-9,1,25,25,1,1,1.227,0.05,28,0,12,5,3,0,1)
G0 X140 Z10
M30
```