



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

VÝROBA ROTAČNÍ SOUČÁSTI NA CNC STROJI

PRODUCTION OF ROTATIONAL PARTS ON A CNC MACHINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ZBYNĚK HORT

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MILAN KALIVODA

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/13

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Zbyněk Hort

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Výroba rotační součásti na CNC stroji

v anglickém jazyce:

Production of rotational parts on a CNC machine

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Rozbor rotační součásti.
2. Charakteristika CNC stroje.
3. Technologický postup.
4. Řídicí NC program.
5. Ověření NC programu, výroba funkčního vzorku.
6. Zhodnocení navržené technologie.
7. Diskuze, závěr.

Cíle bakalářské práce:

Návrh technologie pro CNC stroj. Výběr nástrojů z katalogů firem. Ověření NC programu a následná výroba vzorového kusu.

Seznam odborné literatury:

1. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
2. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2005. 272 s. ISBN 80-214-3068-0.
3. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
4. Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.
5. LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

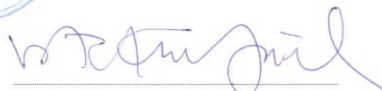
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 22.11.2012




prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu


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

ABSTRAKT

Hlavním tématem bakalářské práce je návrh výroby rotační součásti (hřídele). Práce obsahuje volbu polotovaru, technologický postup, návodky, návrh a popis strojů a nástrojů. Součástí práce je i výrobní výkres hřídele. Dále se zde nachází NC program, dle kterého byl vyroben funkční vzorek. V závěru práce se nachází ekonomické zhodnocení. Bakalářská práce splňuje všechny požadavky potřebné pro výrobu hřídele na CNC strojích.

Klíčová slova

Hřídel, obrábění, CNC, technologický postup, výroba

ABSTRACT

The main theme of this thesis is a design of rotary part (shaft) production. The study contains the choice of semi-finished product, technological procedure, manufacturing instructions, design and description of machines and tools. It also includes a production drawing of a shaft and NC program by which a functional sample was produced. The economic evaluation is at the end of the thesis. The thesis meets all requirements needed for shaft production using CNC machines.

Key words

Shaft, cutting, CNC, technological procedure, production

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HORT, Zbyněk. *Výroba rotační součásti na CNC stroji*. Brno 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 74 s. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výroba rotační součásti na CNC stroji vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Zbyněk Hort

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji Ing. Milanu Kalivodovi z VUT v Brně za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Rád bych poděkoval Ing. Milanu Bloudíčkovi ze SPŠ Třebíč za poskytnutí konzultací, umožnění výroby hřídele na školních strojích.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI.....	10
1.1 Charakteristika vyráběné součásti	10
1.1.1 Materiál součásti	10
1.2 Funkčnost součásti	11
1.3 Technologičnost konstrukce součásti	12
1.3.1 Hodnocení technologičnosti	12
1.3.2 Hlavní ukazatelé technologičnosti	12
2 POLOTOVAR A JEHO VOLBA.....	15
2.1 Návrh polotovaru	15
2.2 Rozměry polotovaru	15
2.2.1 Využití délky tyče 3000 mm.....	16
2.2.2 Využití tyče délky 6000 mm.....	17
2.2.3 Zhodnocení a výběr délky tyče.....	18
3 NÁVRH TECHNICKY A EKONOMICKY VHODNÝCH VÝROBNÍCH ZAŘÍZENÍ.....	19
3.1 Dělení polotovaru – řezání.....	19
3.1.1 Řezání	19
3.1.2 Volba stroje.....	19
3.2 Soustružení kontury hřídele - soustružení	20
3.2.1 Soustružení.....	20
3.2.2 Volba stroje.....	20
3.3 Frézování drážky – frézování	20
3.3.1 Frézování	20
3.3.2 Volba stroje.....	21
3.4 Broušení	21
3.4.1 Broušení	21
3.4.2 Volba stroje.....	21
4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP	22
4.1 Nástrojový list.....	22
4.2 Výrobní postup	24

4.3	Návodky	25
5	VÝROBA FUNKČNÍHO VZORKU	27
5.1	Výrobní podmínky SPŠ Třebíč	27
5.1.1	Pásová pila	27
5.1.2	CNC soustruh	27
5.1.3	CNC frézka	28
5.1.4	Vyhodnocení	29
5.2	Optimální součást pro SPŠ Třebíč	29
5.3	Zhodnocení výroby	29
6	CNC PROGRAM	30
6.1	Sinumerik 840D turn - soustružení	30
6.1.1	Doporučená skladba programu sinumerik 840D turn – soustružení [23]	30
6.1.2	Seznam nejdůležitějších příkazů, funkcí a cyklů sinumerik 840D turn - soustružení	31
6.2	Sinumerik 840D mill - frézování	32
6.2.1	Doporučená skladba programu sinumerik 840D mill – frézování [23]	32
6.2.2	Seznam nejdůležitějších příkazů, funkcí a cyklů sinumerik 840D mill - frézování	33
7	EKONOMICKÝ PŘEHLED	34
7.1	Kapacitní propočet strojů pro soustružení	34
7.2	Kapacitní propočet strojů pro frézování	35
7.3	Kapacitní propočet strojů pro broušení	36
7.4	Výpočet výrobních dělníků	36
7.5	Potřebný počet nástrojů	37
7.6	Výpočet spotřeby materiálu	37
8	DISKUZE	39
8.1	Výroba na SPŠ Třebíč	39
	ZÁVĚR	40
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	41
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	43
	SEZNAM PŘÍLOH	46

ÚVOD

Hlavním tématem této bakalářské práce je návrh technologie výroby a samotná výroba rotační součásti - hřídele.

Hřídel patří v dnešní době k jedné z nejpoužívanější strojní součástí. Jejím hlavním úkolem je přenášet otáčivý pohyb a krouticí moment ve strojích anebo z hnacího stroje (motoru) na stroj pracovní. Hřídel se ukládá v ložiskách, které je podpírají, zachycují síly působící v převodech, tíhu hřídele a tíhu všech ostatních součástí, které jsou k hřídeli připojeny a které se s ním otáčejí kolem osy. [1]

Dnes již výroba těchto součástí dospěla téměř k dokonalosti a to především díky moderním CNC strojům a díky kvalitním materiálům, které velmi urychlily a zpřesnily velkosériovou výrobu oproti nekonvenčním strojům. CNC umožňují denně po celém světě vyrobit nespočetné množství hřídelí. [2]

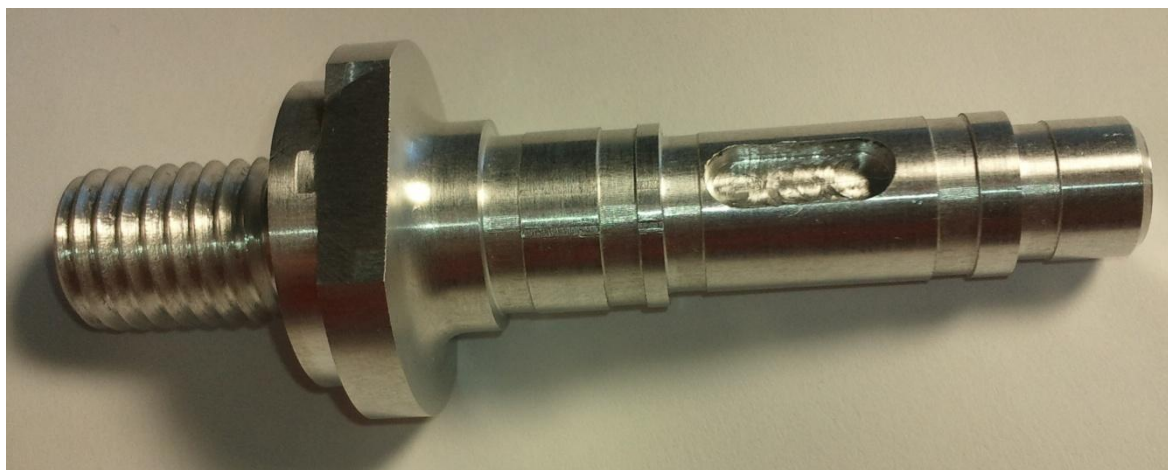
Cílem bakalářské práce je navržení optimální výrobní varianty pro rotační součást menších rozměrů, která by se mohla vyrábět v sériové výrobě 25 000 kusů za rok.

V první části bakalářská práce je popsán technologický rozbor součásti, dle výrobního výkresu a funkčnosti hřídele. Dále je na základě rozměrů hřídele zvolen optimální polotovar.

V druhé části se práce zabývá optimální variantou výroby, jsou zvoleny stroje a nástroje vhodné pro sériovou výrobu součástí menších rozměrů. Dále je v práci obsažen technologický postup a výrobní program, díky kterému byla hřídel za spolupráce SPŠ Třebíč vyrobena.

Třetí část se věnuje ekonomickému přehledu výroby.

V závěru bakalářské práce je zhodnocení navržené technologie.



Obr. 1.1 Funkční vzorek

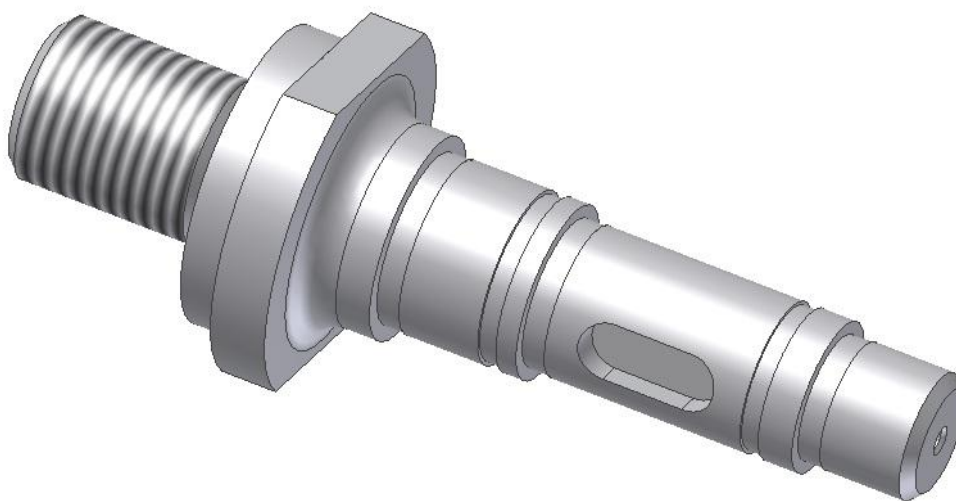
1 ROZBOR SOUČÁSTI

Tato kapitola se bude zabývat popisem, konstrukcí, funkčností a technologičností součásti. Na základě těchto informací se v následujících kapitolách budou navrhovat výrobní stroje, vypracovávat výrobní postup a psát výrobní program, dle kterého se součást vyrobí. Za rok se zhotoví 25 000 ks.

1.1 Charakteristika vyráběné součásti

Vyráběná součást je stupňovaná hřídel o celkové délce 80 mm a největším průměru 31 mm. Hřídel je vyobrazena na níže přiložené ilustraci 1.1, kde je k vidění její model, vyhotoven v programu Autodesk Inventor Professional 2011. Výrobní výkres se nachází v příloze č. 1 a byl zhotoven v programu AutoCAD 2011.

Největší průměr hřídele je již dříve zmíněných $\varnothing 31$ mm. Na hřídeli se nachází celkem 7 válcových ploch s různými průměry. Tři z nich jsou z konstrukčního důvodu broušeny, zbylé čtyři jsou pouze obrobeny. Dále se na hřídeli nachází dva středící důlky, dvě drážky pro pojistné kroužky, tři normalizované zápichy, jedna drážka pro těsné pero a na konci hřídele je umístěný normalizovaný závit. Posledním tvarováním součásti jsou dvě rovinné plošky na největším průměru. Hřídel je zhotovena z materiálu 12 050.



Obr. 1.2 Model součásti

1.1.1 Materiál součásti

Součást bude vyrobena z materiálu 12 050, jehož vlastnosti jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 1.1 a v Tab. 1.2 jsou uvedeny různé normy oceli 12 050.

Tab. 1.1 Vlastnosti materiálu [3]

Materiál	12 050
Pevnost v tahu	min. 530 MPa
Maz kluzu min.	305 MPa
Tvrдость HB	max. 225
Třída odpadu	002

Materiál 12 050 je konstrukční ocel nelegovaná k zušlechťování, povrchovému kalení a pro velké výkovky. Uklidněná ocel vhodná na hřídele těžních strojů, turbokompresorů, karuselů apod., na větší ozubená kola, šneky, ozubené věnce, rotory šroubových kompresorů, ojnice, pístnice, vřetena, plunžry lisů, písty kompresorů, čepy, šrouby, stavěcí rouby, dopravní válečky, vodící čepy, lamely spojek, lůžka, páky, zarážky, kolíky, různé spojovací součásti, posuvací vidlice, držáky, unášeče satelitů, vahadla, západky, kované svorníky tlakových nádob, upínací a stavebnicové části nástrojů, vrtací tyče, frézovací trny. Svařitelnost obtížná. [4]

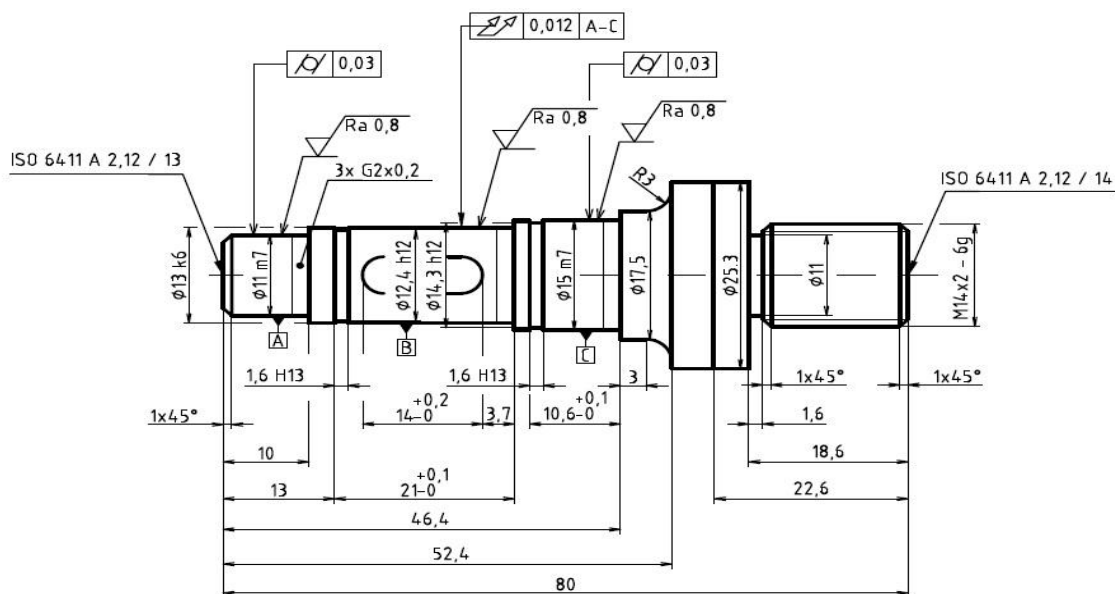
Tab. 1.2 Normy oceli [5]

Norma	Označení
ČSN	12 050
Německo DIN	C45
Francie AFNOR	CC45
Velká Británie BS	080M46
Itálie UNI	C45
Švédsko SS	1650
Španělsko UNE	F.114
USA SEA	1045
Japonsko JIS	S45C

1.2 Funkčnost součástí

Detailně popsány budou jednotlivé funkční plochy na hřídeli, které je možné zhlédnout na detailu výrobního výkresu ilustrace č. 1.2.

Jelikož jsou čela součástí nefunkční, tak zde mohou zůstat zachovány středící důlky. Válcová plocha na prvním konci hřídele Ø11m7 a střední aritmetické úchylce Ra 0,8 slouží pro uložení kluzného ložiska. Další z válcových ploch Ø15 m7 a hodnotě Ra 0,8 slouží pro uložení normalizovaného jednořadého kuličkového ložiska 6002. Poslední funkční válcová plocha Ø12,4 h12 a Ra 0,8 slouží pro uložení ozubeného kola, na této ploše se nachází také drážka pro těsné pero, které zajišťuje nepootočení kola. Drážka pro pero má normalizované rozměry 5x5 mm a délku 12 mm. Ostatní průměry jsou nefunkční a jsou tolerovány dle ISO 2768-mH. Další z funkčních rozměrů jsou drážky 1,6 H13, do kterých budou vloženy pojistné kroužky pro zajištění valivého ložiska a ozubeného kola. Zápichy G2x0,2 slouží pro lepší broušení válcové plochy a pro lepší dosednutí již zmíněných konstrukčních součástí, se kterými může být hřídel spojena do sestavy. Poslední funkční částí hřídele je její druhý konec hřídele, na kterém se nachází normalizovaný závit M14x2 – 6g o délce 17mm. Dvě rovnoběžné rovinné plochy, kterými je sražen Ø31, jsou také nefunkční a jsou tolerovány podle normy ISO 2768-mH. Tyto plošky mohou sloužit například pro utahovací klíč.



Obr. 1.3 Detail výkresu součásti

1.3 Technologičnost konstrukce součásti

Součást je tvořena z několika rozdílných soustružených průměrů, zápichů, jedné frézované drážky, dvou ofrézovaných ploch a závitu.

Z technologického hlediska se jedná o poměrně jednoduchou součást, ale objevují se zde zvýšené požadavky na přesnost výroby, což samotnou výrobu činí složitější a především dražší.

Na konstrukci hřídele se nenachází žádné extrémně složité ani velmi přesné výrobní prvky. Obrobitelnosti předepsaného materiálu je 13b¹ a není tedy při výrobě nutné využití speciálních nekonvenčních technologií.

Z výkresu součásti je patrné, že pro výrobu bude potřeba použít obráběcí způsob soustružení na zhotovení rotačních ploch a závitu. Další z výrobních procesů bude znovu obrábění tentokrát, ne soustružení, ale frézování. Tento způsob se použije na výrobu drážky pro pero a pro obrobení dvou rovnoběžných rovinných ploch. Oba obráběcí procesy budou nejspíše prováděny na CNC (computer numeric control) strojích. Rozměry s přesností IT 6, IT 7 a hodnotě Ra 0,8, budou broušeny na univerzální hrotové brusce. Ostatní hodnoty Ra 3,2 a Ra 6,4 vzniknou při obrábění. Bližší fakta spjatá s volbou strojů jsou rozebrána níže v kapitole Návrh technicky a ekonomicky vhodných výrobních zařízení.

1.3.1 Hodnocení technologičnosti

Pod pojmem „technologičnost konstrukce“, je možno rozumět souhrn vlastností konstrukce, které zabezpečují při optimálním plnění pracovních úkolů stroje a při technologické konstrukci detailů z hlediska spotřeby materiálu nejchopodárnější a časově co nejméně náročnou výrobu. [6]

1.3.2 Hlavní ukazatelé technologičnosti

Posuzování technologičnosti konstrukce je různé. Jeden ze směrů je posuzování různých ukazatelů. Každý z ukazatelů v sobě zahrnuje jiný posuzovaný prvek (přesnosti rozměrů,

drsnosti,...). Výpočtové vztahy, uvedeny níže, souvisí s posuzováním technologičnosti a jsou převzaté z literatury 6. Všechny ukazatelé technologičnosti budou vyobrazeny v tabulce Tab. 1.3.

Ukazatel jakosti povrchu [6]

$$U_h = \frac{\sum_{i=1}^h H_i \cdot n_i}{n} \quad [\mu m] \quad (1.1)$$

Kde:

H_i - jakost povrchu [μm]

n_i - četnost výskytu dané jakosti povrchu

n - četnost výskytu všech uvažovaných středních aritmetických hodnot drsnosti

$$U_h = \frac{6,3 \cdot 1 + 3,2 \cdot 25 + 0,8 \cdot 3}{29} = 3,05 \quad \mu m$$

Ukazatel průměrné přesnosti [6]

$$U_p = \frac{\sum_{i=1}^h P_i \cdot n_i}{n} \quad [\text{stupeň IT}] \quad (1.2)$$

Kde:

P_i - IT číslo dané operace ($H5 = 5$)

n_i - četnost výskytu určité tolerance

n - četnost výskytu všech uvažovaných tolerancí

$$U_p = \frac{6 \cdot 1 + 7,2 + 9 \cdot 1 + 12 \cdot 2 + 13,2}{8} = 9,75$$

Tyto ukazatele udávají průměrnou drsnost povrchu a přesnost rozměrů. Pro vyráběnou součást vyšla drsnost 2,62 a přesnost 8,25. Toto hodnoty zahrnují i broušené plochy. Hodnota 2,62 se pohybuje mezi hodnotami 1,6 - 3,2. Těchto hodnot se běžně dosahuje při soustružení. Kdybychom uvažovali, že celá součást má drsnost povrchu 2,62, mohli bychom zvolit způsob výroby soustružení, což je z hlediska obrábění produktivní a dostupná technologie. Tento fakt nám poukazuje na dobrou technologičnost vyráběné součásti a vhodnost volby způsobu výroby. Podobně je to s ukazatelem přesnosti.

Ukazatel využití materiálu [6]

$$U_m = \frac{G_1}{G_2} \quad [-] \quad (1.3)$$

Kde:

G_1 - hmotnost výrobku [kg]

G_2 - hmotnost polotovaru [kg]

Hmotnost hotové součásti byla zjištěna v programu Autodesk Inventor Professional 2010

$G_1 = 0,123$ kg

Objem polotovaru Ø35x85 [6]

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot 10^6} \cdot l \quad [dm^3] \quad (1.4)$$

Kde:

D - průměr polotovaru [mm]

l - délka polotovaru [mm]

$$V = \frac{\pi \cdot 35^2}{4 \cdot 10^6} \cdot 85 = 0,081 \text{ } dm^3$$

Hmotnost polotovaru [6]

$$m = \rho \cdot V \quad [kg] \quad (1.5)$$

Kde:

V - objem [dm³] ρ - hustota polotovaru [$kg \cdot dm^{-3}$] (pro ocelový materiál $\rho = 7,8 \text{ } kg \cdot dm^{-3}$)

$$m = 7,8 \cdot 0,081 = 0,632 \text{ } kg$$

Dle vztahu 1.3 spočítán ukazatel využití materiálu:

$$U_m = \frac{0,123}{0,632} = 0,19$$

Tab. 1.3 Vyhodnocení technologičnosti

Ukazatel	Hodnota
Ukazatel jakosti povrchu	3,05 μm
Ukazatel průměrné přesnosti	9,75
Ukazatel využití materiálu	0,19
Objem polotovaru Ø35x85	0,081 dm ³
Hmotnost polotovaru	0,632 kg
Hmotnost výrobku	0,123 kg

2 POLOTOVAR A JEHO VOLBA

Hodnocení technologičnosti konstrukce napoví, jaký polotovar je pro danou součást nejvhodnější. Nejčastěji se ubírá směrem minimálních nákladů. [6] Volba polotovaru bude provedena pro zadaný počet 25 000 vyrobených součástí ročně.

2.1 Návrh polotovaru

Pro hřídelové součásti se nejčastěji používá jako polotovar přířez z tyče válcované za tepla. Při velkém procentu odpadu se doporučuje jako polotovar zvolit volně kovaný nebo zápuskový výkovek. Tyče tažené za studena se používají v případech, kdy velká část povrchu nebude opracována, proto se tento drahý polotovar ekonomicky vyplatí. [6]

Polotovar pro hřídel bude tyč kruhová válcovaná za tepla dle normy ČSN EN 10060. Materiál polotovaru bude 12 050. Detailní rozbor materiálu již byl proveden dříve v kapitole 1.1.1 Materiál součásti.

2.2 Rozměry polotovaru

Pro polotovary z tyčí válcovaných za tepla se přídavek na průměr určí z empirického vzorce: [6]

$$p = 0,05d + 2 \quad [mm] \quad (2.1)$$

Kde:

d - největší průměr součásti [mm]

$$p = 0,05d + 2 = 0,05 \cdot 31 + 2 = 3,55mm$$

Z toho nám vychází průměr polotovaru d_p [6]

$$d_p = p + d \quad [mm] \quad (2.2)$$

Kde:

p - přídavek na průměr [mm]

d - největší průměr součásti [mm]

$$d_p = p + d = 3,55 + 31 = 34,55mm$$

Přídavek p_p na délku se určuje 2 - 4 mm. [6] Pro zadanou součást bude zvolen přídavek na délku $p_p = 2$ mm. Celková délka l_p [6] tedy bude

$$l_p = l + p_p \quad [mm] \quad (2.3)$$

Kde:

l - délka součásti [mm]

$$l_p = l + 2 = 80 + 2 = 82mm$$

U dodavatele hutních materiálů lze objednat téměř jakýkoli průměr i délku tyče. Jelikož každý nestandardní rozměr je vyráběn speciálně, je samozřejmě i dražší než normalizovaná tyč o větším než potřebném rozměru. Z tohoto důvodu bude vybrána tyč dle normy ČSN EN 10062. Tato norma určuje standardní průměry a délky kruhových tyčí. Z vypočítaného průměru d_p určíme nejbližší vyšší normalizovaný průměr tyče, se kterým se bude dále pracovat. Také se určí normalizovaná délka tyče $L_1 = 3\,000$ mm a nebo

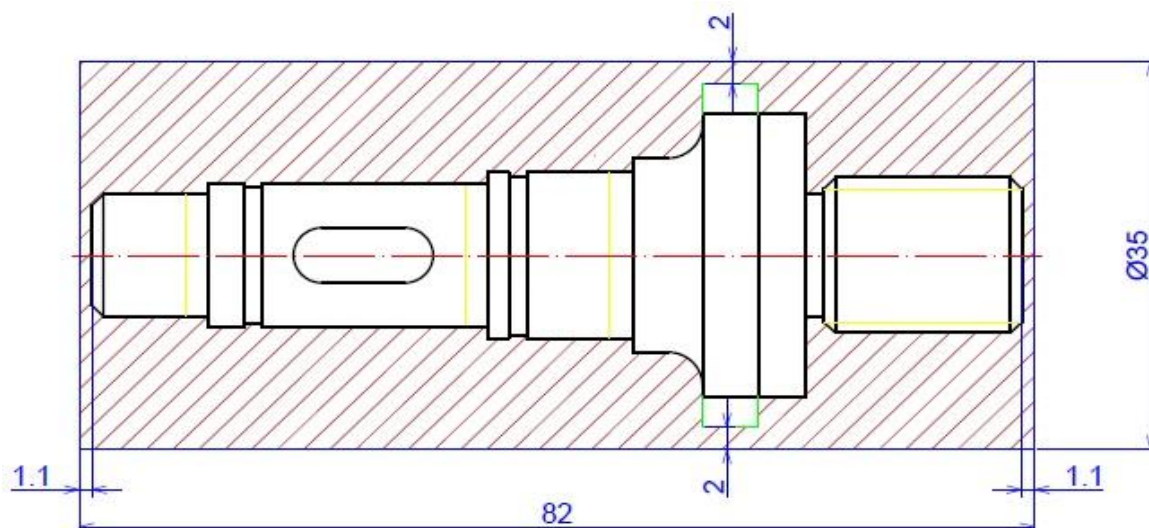
$L_2=6\,000\text{ mm}$ [3], ve které budou dodávány tyče pro výrobu. Na základě vypočítaného koeficientu využití materiálu bude zvolena délka tyče, viz níže.

Nejbližší normalizovaný průměr k průměru polotovaru $d_p=34,55\text{ mm}$ je průměr 35 mm .

Výchozí polotovar pro výrobu součásti bude:

Ø35-82 ČSN EN 10060 polotovar je možné spatřit na obrázku 2.1

Způsob dělení: pásová pila, tloušťka listu $0,9\text{ mm}$.



Obr. 2.1 Náčrt výrobku a polotovaru

2.2.1 Využití délky tyče 3 000 mm

Délka hotové součásti je 80 mm . Na zarovnání čela bude volen přírůstek 1 mm , tedy celkem 2 mm na celou délku polotovaru. S ohledem na způsob a přesnost dělení jsou tyto přírůstky dostatečné. Délka polotovaru je 82 mm . Při řezání polotovaru dochází k prořezu pily, přibližný prořez zvolené pily $0,9\text{ mm}$. Prořez závisí na šířce pásu a kolmosti řezu pily. Prořez se připočítává k délce polotovaru. Vzorce v kapitolách jsou převzaty z literatury [6].

$$l_{rel} = l_{pol} + \check{s}_{proř} \quad [mm] \quad (2.4)$$

Kde:

l_{pol} - délka polotovaru [mm]

$\check{s}_{proř}$ - šířka prořezu [mm]

$$l_{rel} = 82 + 0,9 = 82,9 \text{ mm}$$

Počet kusů přířezů z jedné tyče [6]

$$n_j = \frac{l_{tyce}}{l_{rel}} = \quad [ks] \quad (2.5)$$

l_{tyce} - délka tyče [mm]

l_{rel} - délka polotovaru i s prořezem [mm]

$$n_j = \frac{3000}{82,9} = 36,1 = 36 \text{ ks}$$

Objem jedné tyče dlouhé 3 000 m

Dle vztahu 1.4

$$V = \frac{\pi \cdot 35^2}{4 \cdot 10^6} \cdot 3000 = 2,89 \text{ dm}^3$$

Hmotnost tyče

Dle vztahu 1.5

$$m_{\text{tyče}} = 7,8 \cdot 2,89 = 22,54 \text{ kg}$$

Využití materiálu [6]

$$\eta = \frac{n_j \cdot G_1}{m_{\text{tyče}}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.6)$$

Kde:

n_j - počet kusů přířezů z jedné tyče [ks]

G_1 - hmotnost hotové součásti[kg]

$m_{\text{tyče}}$ - hmotnost tyče[kg]

Využití materiálu z jedné třímetrové tyče

$$\eta = \frac{36 \cdot 0,123}{22,54} \cdot 100 = 19.64\%$$

2.2.2 Využití tyče délky 6 000 mm**Počet kusů přířezů z jedné tyče**

Dle vztahu 2.1

$$n = \frac{6000}{82} = 73,17 = 73 \text{ ks}$$

Objem jedné tyče

Dle vztahu 1.4

$$V = \frac{\pi \cdot 35^2}{4 \cdot 10^6} \cdot 6000 = 5,77 \text{ dm}^3$$

Hmotnost tyče

Dle vztahu 1.4

$$m_{\text{tyče}} = 7,8 \cdot 5,77 = 45,006 \text{ kg}$$

Využití materiálu z jedné tyče

Dle vztahu 2.3

$$\eta = \frac{73 \cdot 0,123}{45,006} \cdot 100 = 20\%$$

2.2.3 Zhodnocení a výběr délky tyče

Ve strojírenství bývá při obrábění stupeň využití materiálu η v rozmezí 0,4, až 0,8. [3] Vypočítaná hodnota využití materiálu tedy nevyhovuje normě, která je obvyklá ve strojírenství. Z tohoto důvodu by bylo vhodné prokonzultovat tento fakt s konstruktérem, zda by nebylo možno zvolit vhodnější konstrukci hřídele a jestliže ne, jako výchozí by byl použit například výkovek, který by procento nevyužitého materiálu snížil. Při volbě vhodného výkovku je důležité najít vhodného dodavatele. Při volbě kandidáta, zabývajícího se kovááním, by se obeslalo pár firem s žádostí o výkovek. Kovárna by zpracovala studii, ze které by vyplynula cena jednoho výkovku. Z tohoto faktu by se posoudilo, zda je vhodné jako výchozí polotovary pro výrobu hřídele volit výkovek anebo zůstat u polotovaru s tyčí, které jsou k dostání v normalizovaných délkách.

Další řešení pokračuje rozhodnutím volby mezi třímetrovou tyčí, která má využití materiálu 19,65% a nebo šestimetrová tyč s využitím materiálu 20%. Vzhledem k trochu lepšímu využití a tedy i k nastavení lepších ekonomických podmínek bude volena tyč o délce 6 metrů. Hodnoty vypočtené při volbě polotovaru jsou uvedeny v tabulce Tab. 2.1.

Tab. 2.1 Hodnoty polotovaru

Ukazatel	Hodnota
Přídavek na průměr p	3,55 mm
Průměr polotovaru d_p	35 mm
Přídavek na délku p_p	2 mm
Celková délka polotovaru l_p	82 mm
Hmotnost polotovaru	0,632 kg
Počet kusů přířezů z jedné tyče 3 000mm	36 ks
Objem jedné tyče dlouhé 3 000 m	2,89 dm ³
Hmotnost tyče 3 000mm	22,54 kg
Využití materiálu z jedné třímetrové tyče	19,64 %
Počet kusů přířezů z jedné tyče 6 000mm	72 ks
Objem jedné tyče dlouhé 6 000 m	5,77 dm ³
Hmotnost tyče 6 000mm	45,00 kg
Využití materiálu z jedné šestimetrové tyče	20 %

3 NÁVRH TECHNICKY A EKONOMICKY VHODNÝCH VÝROBNÍCH ZAŘÍZENÍ

Výrobní zařízení je voleno po zhodnocení součásti z hlediska technologičnosti a posouzením množství vyrobených kusů. Tyto informace jsou detailně rozebrány v kapitole 2. Vyráběná součást je malých rozměrů, z tohoto důvodu jsou zvoleny stroje s menšími výkony a s možností malého pracovního prostoru. Počet vyrobených kusů je stanoven na 25 000 za rok. Jedná se tedy o středně sériovou výrobu a jsou zvoleny univerzální stroje, na kterých se po skončení výrobní série zadané hřídele budou moci vyrábět podobné součásti. V této kapitole je popsán princip jednotlivých pracovních operací z teoretického hlediska a poté bude navržen optimální stroj pro část popisované výroby.

3.1 Dělení polotovaru – řezání

3.1.1 Řezání

Řezání je jeden z nejpoužívanějších způsobů dělení tyčového materiálu. Používají se rámové, kotoučové, a pásové pily.

Řezání pilou je operace, při které se úběr materiálu děje břitý nástroje. Odebíraný materiál odchází ve tvaru třísek. Tato definice platí obecně pro všechny způsoby obrábění řeznými nástroji. Princip řezání spočívá ve vnikání břitů nástroje (pily) do materiálu obrobku, kdy nástroj koná přímočarý vratný, plynulý přímočarý nebo otáčivý pohyb a obrobek koná přímočarý posuvný pohyb (přísuv). Hloubka řezu je u řezání podstatně větší než u frézování.

Jako nástroje pro řezání se používají:

- Pilové listy – Ocelové pásy opatřené na jedné straně zuby. Vyrábí se z rychlořezných ocelí, v délkách 300 až 700 mm. Šířka listů je podle délek 25 až 50 mm, tloušťka 1,25 až 2,5 mm.
- Pilové kotouče – Jsou to ocelové kotouče se zuby na obvodě. Vyrábí se jako celistvé, segmentové nebo s břitovými destičkami.
- Pilové pásy – Jsou dlouhé ocelové pásy opatřené na jedné straně zuby. Šířka pásu je 4 až 32 mm, tloušťka 0.65 až 1,1 mm. Od výrobce jsou dodávány svařené anebo nesvařené, ve standardní délce 25 až 100 metrů.

Stroje pro řezání:

- Rámová pila – Pilový list se upíná do rámu pily, který je veden v rameni pily a vykonává přímočarý vratný pohyb pomocí klikového mechanismu.
- Kotoučová pila – Pilový kotouč je upnut na vřetni a koná otáčivý pohyb. Posuv materiálu do řezu je většinou realizován hydraulickým mechanismem.
- Pásová pila – Pásové pily mají dva kotouče, jeden hnací, druhý hnaný, přes něj je napnut nekonečný pilový pás. [7]

3.1.2 Volba stroje

Navrhnutý stroj pro dělení polotovaru je pásová pila 220x250 A-NC-R. Toto zařízení je numericky řízené s automatickým podáváním materiálu. Jedná se o velmi produktivní

výrobní zařízení vhodné pro sériovou výrobu, které bude pro navrhovanou výrobu zcela dostačovat. [8] Podrobné technické údaje o stroji jsou uvedeny v příloze číslo 2.

3.2 Soustružení kontury hřídele - soustružení

3.2.1 Soustružení

Soustružení je obrábění rotačních ploch, zpravidla jednobřítým nástrojem. Hlavním pohybem při soustružení je otáčivý pohyb obrobku. Nástroj koná vedlejší pohyb, tj. podélný posuv, rovnoběžný s osou otáčení obrobku a příčný posuv, kolmý k ose obrobku. Výsledkem podélného posuvu je válcová plocha, výsledkem příčného posuvu je čelní rovinná plocha. Koná-li nástroj oba posuvy současně, vzniká obecná rotační plocha. Kromě posuvu koná nástroj ještě přísv. Tímto pohybem se nastavuje hloubka řezu. Pomocí přídavných zařízení lze na soustruhu vrtat, řezat závity apod. Jako nástroj pro soustružení se používá soustružnický nůž, který je upnut v nožové hlavě. Obrobek je upnut buď mezi hroty, do kleštin, do sklíčidla. Stroj pro soustružení se nazývá soustruh, dělíme jej na hrotové, čelní, svislé, revolverové, poloautomatické, automatické a číslicově řízené (CNC). [7]

3.2.2 Volba stroje

Pro soustružení vnější kontury bylo navrženo použití CNC univerzálního hrotového soustruhu SBL 500 CNC. Tento soustruh je numericky řízen. Řídicí systém je SINUMERIK 840 D. Lze na něm obrábět součásti do průměru 630 mm, maximální délka obráběné součásti je 845 mm. Jedná se o univerzální stroj, který lze díky řídicímu systému pružně přizpůsobovat výrobním požadavkům. Jeho celkový příkon je 52 kW. Je vhodný jak pro kusovou tak i sériovou výrobu. Zejména je vhodný pro obrábění přírubových součástek upnutých letmo a pro hřídelové součástky podepřené koníkem. [9] To je přímo případ obráběné součásti. Podrobné technické údaje o stroji jsou uvedeny v příloze číslo 3.

3.3 Frézování drážky – frézování

3.3.1 Frézování

Frézování je obrábění rovinných nebo tvarových ploch, vnitřních nebo vnějších, vícebřítým nástrojem. Frézují se obvykle rovinné plochy nebo tvarové přímkové nebo zborcené plochy. Kopírovací anebo NC frézky umožňují frézovat obecné tvarové plochy. Nástroj – fréza – je obvykle vícebřítý. Z hlediska chvění je výhodné, je-li v záběru s obrobkem více břitů současně. Při frézování koná nástroj hlavní řezný pohyb (otáčivý) a obrobek koná pohyb posuvný obvykle přímočarý, někdy otáčivý nebo obecný pohyb po prostorové křivce. Rozeznáváme dva základní způsoby frézování: frézování obvodem válcové frézy a čelem čelní frézy. Podle smyslu otáčení frézy vůči směru posuvu dělíme frézování na nesousledné a sousledné.

Nástroj pro frézování se nazývá fréza, dělíme ji:

- Podle umístění břitu – válcové, čelní, kotoučové, kuželové, tvarové
- Podle tvaru zubu – s frézovanými zuby, s podsoustruženými zuby
- Podle průběhu ostří frézy – s přímými zuby, se zuby do šroubovice
- Podle upínání – stopkové, nástrčné
- Podle konstrukce – celistvé, s vyměnitelnými břitovými destičkami

Stroj se nazývá frézka, ty se rozdělují na konzolové, rovinné a speciální. [7]

3.3.2 Volba stroje

Pro výrobu drážky pro pero a pro sražení dvou rovnoběžných rovinných ploch byla jako vhodná varianta vybrána univerzální CNC frézka F150 TC. Jedná se o velmi kvalitní obráběcí centrum dostatečným příkonem motoru včetně 12 kW. Stroj je vybaven dostatečným rozsahem otáček, je tedy možno volit moderní nástroje ze slinutých karbidů i klasické nástroje z rychlořezné oceli. Upínací plocha stolu 900 x 410 mm. Největší výhodou stroje je možnost použít 4. a 5. osu. [10] Podrobné technické údaje o stroji jsou uvedeny v příloze číslo 4.

3.4 Broušení

3.4.1 Broušení

Broušení je dokončovací metoda obrábění rovinných, válcových nebo tvarových vnějších a vnitřních ploch nástrojem, jehož břity jsou tvořeny zrnny tvrdých materiálů, navzájem spojených vhodným pojivem.

Pro broušení je charakteristické, že je současně v záběru velké množství zrn (břitů), které odebírají třísky velmi malých průřezů různých velikostí. Broušení je v současné době používáno zejména na dokončování obráběných ploch s vysokou přesností a vysokou jakostí obrobeného povrchu.

Nástroje pro broušení jsou brousící kotouče, segmenty, kameny a pásy, obsahující zrna brusiva ve vhodném pojivu.

Stroj pro broušení se nazývá bruska. Brusky se dělí na: hrotové, bezhroté, na díry, rovinné, nástrojařské, pásové, speciální. [7]

3.4.2 Volba stroje

Broušené plochy budou zhotovovány na hrotové brusce s šikmým přísuvem EJ 11 JUNKER. Na této brusce lze brousit polotovary do průměru 80 mm a do délky 150 mm. [11] Podrobné technické údaje o stroji jsou uvedeny v příloze číslo 5.

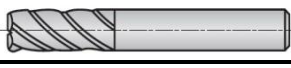
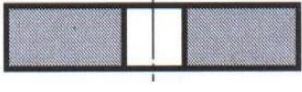
4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Technologický postup součásti se skládá z řady operací, které po sobě následují v určitém logickém pořadí. Z takto seřazených operací byl vyhotoven výrobní postup rotační součásti, hřídele. Tento postup se zaměřuje na konkrétní vyráběnou součást, která byla popsána v předešlých kapitolách. Jedná se o základ pro uspořádání a zorganizování výroby. Výrobní postup je uveden v tabulce Tab. 4.2. S výrobním postupem jsou svázány výrobní návodky, ve kterých jsou určeny a rozepsány strojní časy. Strojní časy byly spočítány dle vztahů pro výpočet strojních časů [12, 13]. Z těchto pak lze určit přibližný čas potřebný pro výrobu celé součásti. Samotný součet strojních časů je také technologický a ekonomický ukazatel. Dále je zde uveden nástrojový list, ve kterém jsou znázorněny jednotlivé nástroje, je zde uvedeno jejich označení. Návodky, strojní časy, celkové shrnutí i postup byl zpracováván pro celkovou výrobu součásti.

4.1 Nástrojový list

V nástrojovém listu jsou označeny a udány nástroje. Tyto nástroje jsou potřebné pro výrobu součásti. Nástroje byly voleny z katalogů firmy pramet tools [14, 15, 16] dále z katalogu nářadí firmy hoffmann-group [17], z e-shopu firmy pilous [18] a z katalogu M&V. [19] Nástrojový list je uveden v tabulce Tab. 4.1.

Tab. 4.1 Nástrojový list

VUT BRNO FSI ÚST		NÁSTROJOVÝ LIST		Datum: 18.4. 2013	
Vyhotožil: Zbyněk Hort		Stroj:		Číslo výkresu: 38	Č. listu: 1
Pozice nástroje :	Znázornění:	Název držáku: Název nástroje:	Výrobce:	Materiál :	
1.		PILOVÝ PÁS: PILOUS AGR 200 2490X20X0,9 M42 8/12Z	PILOUS		
2.		SOUSTRUŽNICKÝ NŮŽ VNĚJŠÍ: DWLNR/L 2020 K 08	PRAMET TOOLS		
		VBD: WNMG 080408E-M	PRAMET TOOLS	9230	
3.		STŘEDÍCÍ VRTÁK A5 ISO 12 10000	GARANT	RO	
4.		SOUSTR.NŮŽ ZAPICHOVACÍ: SER/L 2020 K 16	PRAMET TOOLS		
		VBD: TN 16ER160ZZ	PRAMET TOOLS	8030	
5.		SOUSTR.NŮŽ ZAPICHOVACÍ: SER/L 2020 K 16	PRAMET TOOLS		
		VBD: TN 16ER200M	PRAMET TOOLS	8030	
6.		STOPKOVÁ FRÉZA: 16A2R024A16- SAD11E-C	PRAMET TOOLS		
		VBD: ADMX 11T308SR-M	PRAMET TOOLS	8230	
7.		UNIVERZÁLNÍ FRÉZA DLOUHÁ: 05E3S60-19A05 SUMA		AlCrN	
8.		BRUSNÝ KOTOUČ PLOCHÝ: ISO 411 71 100X10X20	TYROLIT	Al ₂ O ₃	

4.2 Výrobní postup

Tab. 4.2 Výrobní postup

VUT BRNO FSI ÚST		VÝROBNÍ POSTUP		Název celku: Bakalářská práce	Název součásti: Hřídel	Číslo výkresu součásti: 38
Datum: 17. 4. 2013		Vyhotovil: Zbyněk Hort		Kontroloval:	Polotovár: Ø35x82 ČSN 42 5510	
Číslo op. pořadové:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Dílna:	Popis práce v operaci:	Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:		Číslo listu: 1
Orientační:	Třídící číslo:					
01/13	PÁSOVÁ PILA 290x290 X-CNC-1500-F PEGAS	SKLAD	ŘEZAT MATERIÁL NA DÉLKU 82 mm	PILOVÝ PÁS 2490x20x0,9		RO
02/13	OTK	KONTROL. MÍSTO	KONTROLOVAT DÉLKU POLOTOVARU 82 mm ČETNOST 20 %	POSUVNÉ MĚŘÍTKO MITUTOYO ISO 412655		
03/13	UNIVERZÁLNÍ HROTOVÝ SOUSTRUH TRENS SBL 500 CNC	OBROBNA	UPNOUT POLOTOVAR DO SKLÍČIDLA ZA LIBOVOLNOU STRANU DORAZIT NA ČELO	POSUVNÉ MĚŘÍTKO MITUTOYO ISO 412655		
			ZAROVNAT ČELO	NŮŽ VNĚJŠÍ PRAMET DWLNR/L 2020 K 08 VBD WNMG 080408E-M		9230
			NAVRTAT STŘEDÍČÍ DŮLEK	STŘEDÍČÍ VRTAK GARANT A5 ISO 12 10000		RO
			OTOČIT, UPNOUT DO SKLÍČIDLA A DORAZIT NA ČELO	POSUVNÉ MĚŘÍTKO MITUTOYO ISO 412655		
			ZAROVNAT ČELO NA DÉLKU 80 mm	NŮŽ VNĚJŠÍ PRAMET DWLNR/L 2020 K 08 VBD WNMG 080408E-M		9230
			NAVRTAT STŘEDÍČÍ DŮLEK	STŘEDÍČÍ VRTAK GARANTA5 ISO 12 10000		RO
04/13	OTK	KONTROL. MÍSTO	KONTROLOVAT DÉLKU POLOTOVARU 80 mm ČETNOST 20 %	POSUVNÉ MĚŘÍTKO MITUTOYO ISO 412655		
05/13	UNIVERZÁLNÍ HROTOVÝ SOUSTRUH TRENS SBL 500 CNC	OBROBNA	OPŘÍT O STŘEDÍČÍ PODPĚRNÝ HROT			
			SOUSTRUŽIT Ø35 NA Ø31 HOTOVĚ DO DÉLKY 58 mm OD BROBENÉHO ČELA	NŮŽ VNĚJŠÍ PRAMET DWLNR/L 2020 K 08 VBD WNMG 080408E-M		9230
			SOUSTRUŽIT Ø31 NA Ø17,5 HOTOVĚ DO DÉLKY 52,4 mm OD BROBENÉHO ČELA VČETNĚ RÁDIUSU R3 V DÉLCE 49,4 OD OBROBENÉHO ČELA	NŮŽ VNĚJŠÍ PRAMET DWLNR/L 2020 K 08 VBD WNMG 080408E-M		9230
			SOUSTRUŽIT Ø17,5 NA Ø15,3 DO DÉLKY 46,4 mm OD OBROBENÉHO ČELA	NŮŽ VNĚJŠÍ PRAMET DWLNR/L 2020 K 08 VBD WNMG 080408E-M		9230

VUT BRNO FSI ÚST	VÝROBNÍ POSTUP		Název celku: Bakalářská práce	Název součásti: Hřídel	Číslo výkresu součásti: 38
Datum: 17. 4. 2013	Vyhotovil: Zbyněk Hort	Kontroloval:	Polotovary: Ø35x82 ČSN 42 5510		Číslo listu: 2
Číslo op. pořadové:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště	Dílna:	Popis práce v operaci:	Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:	Materiál nástroje
Orientační:	Třídící číslo:				
			SOUSTRUŽIT Ø15,3 NA Ø13,3 DO DÉLKY 34 mm OD OBROBENÉHO ČELA	NŮŽ VNĚJŠÍ PRAMET DWLNR/L 2020 K 08 VBD WNMG 080408E-M	9230
			SOUSTRUŽIT Ø13,3 NA Ø11,3 DO DÉLKY 10 mm OD OBROBENÉHO ČELA VČETNĚ SRAŽENÍ 1x45°	NŮŽ VNĚJŠÍ PRAMET DWLNR/L 2020 K 08 VBD WNMG 080408E-M	9230
			SOSTRUŽIT ZÁPICH G2x0,2 NA Ø15,3 V DÉLCE 44,8 mm NA HOTOVO	NŮŽ ZAPICHOVACÍ PRAMET SER/L 2020 K 16 VBD TN 16ER160ZZ	8030
			SOUSTRUŽIT DRÁŽKU 1,6 H13 NA Ø15,3 V DÉLCE 35,8 mm NA OTOVO	NŮŽ ZAPICHOVACÍ PRAMET SER/L 2020 K 16 VBD TN 16ER160ZZ	8030
			SOSTRUŽIT ZÁPICH G2x0,2 NA Ø13,3 V DÉLCE 32 mm NA HOTOVO	NŮŽ ZAPICHOVACÍ PRAMET SER/L 2020 K 16 VBD TN 16ER160ZZ	8030
			SOUSTRUŽIT DRÁŽKU 1,6 H13 NA Ø13,3 V DÉLCE 13 mm NA HOTOVO	NŮŽ ZAPICHOVACÍ PRAMET SER/L 2020 K 16 VBD TN 16ER160ZZ	8030
			SOSTRUŽIT ZÁPICH G2x0,2 NA Ø11,3 V DÉLCE 8,4 mm NA HOTOVO	NŮŽ ZAPICHOVACÍ PRAMET SER/L 2020 K 16 VBD TN 16ER160ZZ	8030
06/13	UNIVERZÁLNÍ HROTOVÝ SOUSTRUH TRENS SBL 500 CNC	OBROBNA	OTOČIT A UPNOUT ZA OBROBENÝ PRŮMĚR Ø15,3 mm		
			OPŘÍT O STŘEDÍCI PODPĚRNÝ HROT		
			SOUSTRUŽIT HOTOVĚ NEOBROBENÝ PRŮMĚR Ø35mm NA Ø25,5 mm DO DÉLKY 22,6 mm	NŮŽ VNĚJŠÍ PRAMET DWLNR/L 2020 K 08 VBD WNMG 080408E-M	9230
07/13	CNC frézka F150 TC	OBROBNA	SOUSTRUŽIT Ø25,5 NA Ø15 mm DO DÉLKY 18,6 mm	NŮŽ VNĚJŠÍ PRAMET DWLNR/L 2020 K 08 VBD WNMG 080408E-M	9230
			UPNOUT DO SKLÍČIDLA ČTVRTÉ OSY ZA OBROBENÝ PRŮMĚR Ø15mm	POSUVNÉ MĚŘITKO MITUTOYO ISO 412655 STOPKOVÁ FRÉZA: 16A2R024A16-SAD11E-C VBD: ADMX 11T308SR-M UNIVERZÁLNÍ FRÉZA DLOUHÁ: 05E3S60-19A05 SUMA	
			FRÉZOVAT DRÁŽKU PRO PERO HOTOVĚ NA ROZMĚR 14 mm,		
			FRÉZOVAT SRAŽENÍ NA PRŮMĚRU Ø31 V DÉLCE 4 mm OD SKLÍČIDLA NA ROZMĚR 28,5 mm		
			OTOČIT ČTVRTOU OSU O 180° A FRÉZOVAT HOTOVĚ SRAŽENÍ NA Ø31 V DÉLCE 4 mm OD SKLÍČIDLA NA ROZMĚR 25,5 mm		

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List 26
---------	------------------	---------

VUT BRNO FSI ÚST		VÝROBNÍ POSTUP		Název celku: Bakalářská práce	Název součásti: Hřídel	Číslo výkresu součásti: 38
Datum: 17. 4. 2013		Vyhotovil: Zbyněk Hort		Kontroloval:	Polotovár: Ø35x82 ČSN 42 5510	
Číslo op. Pořadové:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Dílna:	Popis práce v operaci:	Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:	Material nástroje:	
Orientační:	Třídící číslo:					
08/13	UNIVERZÁLNÍ HROTOVÝ SOUSTRUH TRENS SBL 500 CNC	OBROBNA	UPNOUT DO SKLÍČIDLA ZA OBROBENÝ PRŮMĚR Ø15,3 A SOUSTRUŽIT NA Ø14 mm VČETNĚ SRAŽENÍ 1x45° NA Ø14 mm	NŮŽ VNĚJŠÍ PRAMET DWLNR/L 2020 K 08 VBD WNMG 080408E-M	9230	
			SOUSTRUŽIT DRAŽKU 1,6 mm V DÉLCE 17 mm OD OBROBENÉHO ČELA VČETNĚ SRAŽENÍ 1x45° NA Ø14 mm V DÉLCE 17 mm OD OBROBENÉHO ČELA	NŮŽ ZAPICHOVACÍ PRAMET SER/L 2020 K 16 VBD TN 16ER160ZZ	8030	
			SOUSTRUŽIT ZÁVIT M14x2-6g NA PRŮMĚRU Ø14mm V DÉLCE 17 mm OD OBROBENÉHO ČELA	SOUSTR.NŮŽ ZÁVITOVÝ: SER/L 2020 K 16 VBD: TN 16ER200M	8030	
09/13	OTK	KONTROL. MÍSTO	KONTROLOVAT PŘÍDAVKY NA BROUŠENÍ ČETNOST 10%	POSUVNÉ MĚŘÍTKO MITUTOYO ISO 412655		
10/13	BRUSKA UNIVERZÁLNÍ HROTOVÁ JUNKER EJ 11	OBROBNA	UPNOUT MEZI HROTY A BROUSIT BROUSIT Ø15,3 NA Ø15m7 V DÉLCE 12,2 mm NA DRSNOST Ra 0,8. DÁLE BROUSIT Ø13,3 NA Ø13 K6 V DÉLCE 24 mm NA DRSNOST Ra 0,8. PO TĚ BROUSIT Ø11,3 NA Ø11m7 V DÉLCE 10mm NA DRSNOST Ra 0,8.	BRUSNÝ KOTOUČ PLOCHÝ: ISO 411 71 100X10X20	Al ₂ O ₃	
11/13	OTK 09863	KONTROL. MÍSTO	KONTROLOVAT BROUŠENÉ ROZMĚRY - ROZMĚR, DRSNOST	DIGITÁLNÍ TRMENOVÝ MIKROMETR MICROMAR 50-75; 75-100 ISO 42 1304 PŘÍSTROJ NA MĚŘENÍ DRSNOSTI MITUTOYO SJ411		
12/13	09626	OBROBNA	ČISTIT, KONZERVOVAT, BALIT			
13/13	09913	BALENÍ	SKLÁDAT DO BEDEN PO 30 KS PŘEDAT NA EXPEDICI			

4.3 Návodky

Návodky slouží pro podrobnější popsání jednotlivých operací z výrobního postupu. Jsou v nich určeny údaje potřebné k výrobě součásti. Návodky jsou zpracovány pro soustružnické operace. Je v nich určená pozice nástroje. Podle této pozice můžeme dohledat potřebný nástroj v nástrojovém listu. Stejně označení má i označení pozice ve stroji. To je důležitá informace potřebná pro správné seřízení a nastavení stroje. Dále je zde náčrtek součásti v rozpracovaném stavu odpovídající dané operaci a jsou znázorněny odebírané třísky. Níže jsou udány řezné podmínky, šířka záběru hlavního ostří pro jednotlivé třísky a hlavně spočítány strojní časy. Použité vzorce byly převzaty z uvedeného zdroje [12, 13]. Návodky jsou obsaženy v příloze 9. Vyhodnocení návodků bylo uvedeno v tabulce Tab. 4.3.

Vztahy pro výpočty řezných podmínek [12, 13]

$$n = \frac{10^3 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \quad [\text{min}^{-1}] \quad (4.1)$$

Kde:

v_c - řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

D - obráběný průměr [mm]

n - otáčky obrobku [min^{-1}]

Vztahy pro výpočty výrobních časů [12, 13]

Soustružení válcových ploch a vrtání při konstantních otáčkách (konstantní řezné rychlosti)

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \quad [\text{min}] \quad (4.2)$$

Kde:

t_{AS} - čas jednotkový strojní [min]

L - celková délka automatického chodu stroje [mm]

l_n - délka náběhu [mm]

l_p - délka přeběhu [mm]

f - posuv nástroje [mm]

Čelní soustružení při konstantních otáčkách [12, 13]

$$t_{ASn} = \frac{D + 2l_n + 2l_p}{2 \cdot n \cdot f} \quad [\text{min}] \quad (4.3)$$

Kde:

D - obráběný průměr [mm]

l_n - délka náběhu [mm]

l_p - délka přeběhu [mm]

n - otáčky obrobku [min^{-1}]

f - posuv nástroje [mm]

Čelní soustružení při konstantních otáčkách pro soustružení mezikružích [12, 13]

$$t_{ASn} = \frac{(D + 2l_n) - (d - 2l_p)}{2 \cdot n \cdot f} \quad [\text{min}] \quad (4.4)$$

Kde:

- D - velký obráběný průměr [mm]
- d - malý obráběný průměr [mm]
- l_n - délka náběhu [mm]
- l_p - délka přeběhu [mm]
- n - otáčky obrobku [min^{-1}]
- f - posuv nástroje [mm]

Čelní soustružení při konstantní řezné rychlosti [12, 13]

$$t_{ASv} = \frac{\pi \cdot (D + 2l_n + 2l_p)^2}{4 \cdot 10^3 \cdot f \cdot v_c} \quad [\text{min}] \quad (4.5)$$

Kde:

- D - obráběný průměr [mm]
- l_n - délka náběhu [mm]
- l_p - délka přeběhu [mm]
- n - otáčky obrobku [min^{-1}]
- f - posuv nástroje [mm]

Čelní soustružení při konstantní řezné rychlosti pro soustružení mezikruží [12, 13]

$$t_{ASv} = \frac{\pi \cdot [(D + 2l_n)^2 - (d - 2l_p)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot f \cdot v_c} \quad [\text{min}] \quad (4.6)$$

Kde:

- D - velký obráběný průměr [mm]
- d - malý obráběný průměr [mm]
- l_n - délka náběhu [mm]
- l_p - délka přeběhu [mm]
- n - otáčky obrobku [min^{-1}]
- f - posuv nástroje [mm]

Tab. 4.3 Vyhodnocení návodků

Ukazatel	Hodnota
Celkový strojní čas	7,3251 min
Celková obráběná délka	840,8 mm
Průměrná řezná rychlost	94 m/min
Průměrné otáčky obrobku	1590 min^{-1}
Průměrný posuv nástroje	0,77 mm

5 VÝROBA FUNKČNÍHO VZORKU

Tato kapitola se zabývá vlastní výrobou součásti, která byla provedena na SPŠ Třebíč, ke které má autor práce vztah jako absolvent této školy.

5.1 Výrobní podmínky SPŠ Třebíč

Na SPŠ Třebíč se nachází CNC soustruh, CNC frézka a pásová pila. Podrobně jsou tyto stroje popsány v následujících kapitolách.

5.1.1 Pásová pila

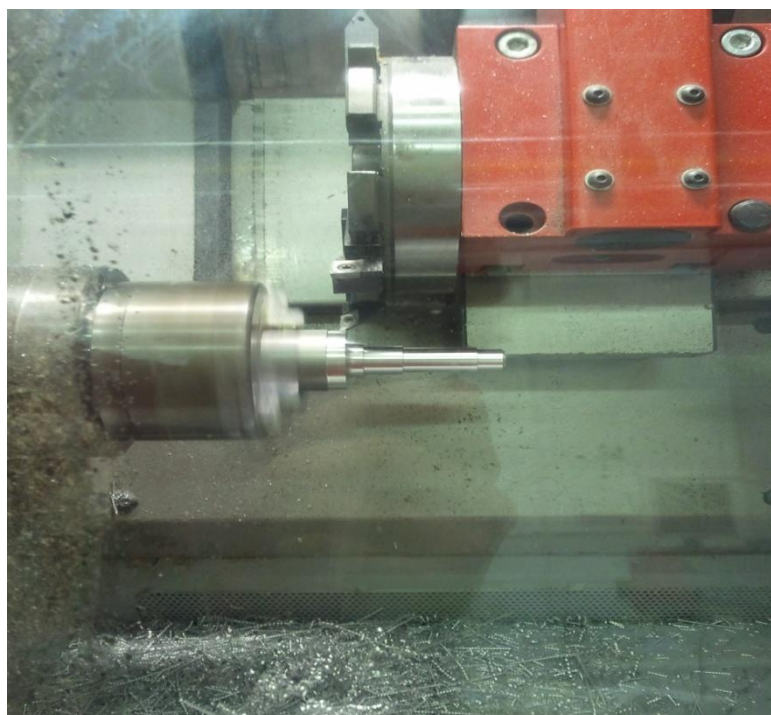
SPŠ Třebíč vlastní pásovou pilu Proma PPK-90U. Toto zařízení není počítačově řízeno a nemá automatický podavač materiálu. Musí jej ovládat dělník. Technické parametry jsou uvedeny v příloze 7. [20] Na obrázku 5.1 probíhá dělení materiálu.



Obr. 5.1 Dělení materiálu

5.1.2 CNC soustruh

Pro soustružení používá střední průmyslová škola Třebíč CNC soustruh EMCO concept turn 105. Jedná se o CNC stroj vhodný spíše ke školním účelům. Výhodou tohoto CNC je možnost rychle přepnout mezi ovládacími systémy. Do průmyslové výroby je tento stroj kvůli nízkému výkonu nevhodný. Technické parametry stroje jsou uvedeny v příloze 8. [21] Na obrázku 5.2 probíhá soustružení součásti.



Obr. 5.2 Soustružení součásti

5.1.3 CNC frézka

Frézování na SPŠ Třebíč probíhá na CNC frézce EMCO koncept mill 55. Tento stroj je vhodný pro školní dílny. Do průmyslu se nehodí, protože je málo výkonný. Technické údaje jsou uvedeny v příloze 9. [22] Na obrázku 5.3 probíhá frézování součásti na SPŠ Třebíč.



Obr. 5.3 Frézování součásti

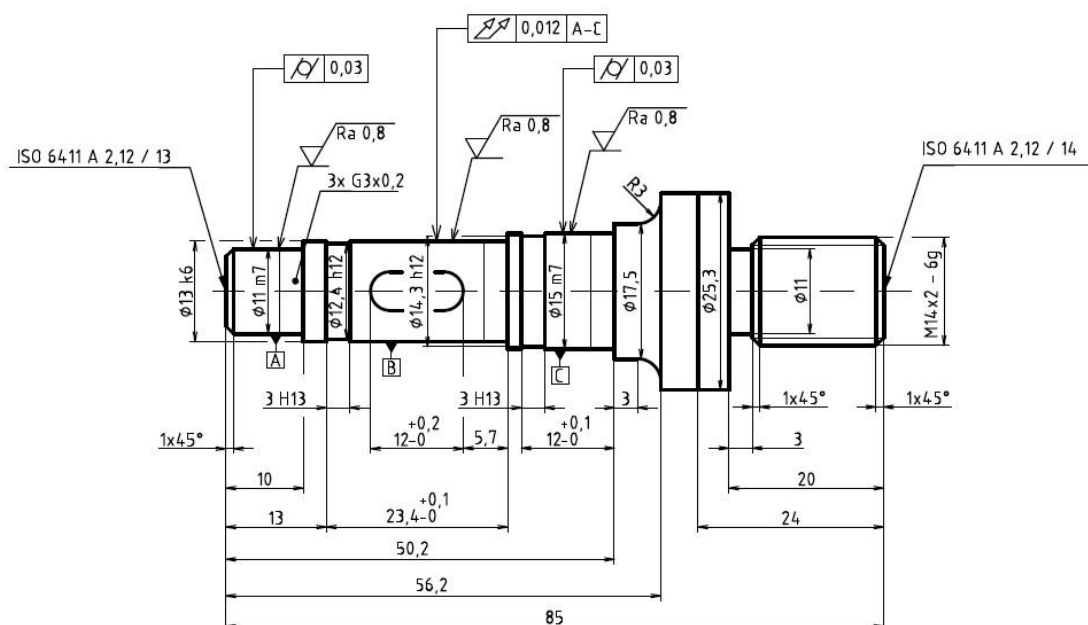
5.1.4 Vyhodnocení

Stroje, které vlastní SPŠ Třebíč jsou nevhodné pro sériovou výrobu zadané součásti z materiálu 12 050. CNC soustruh i frézka sice mají dostačující pracovní prostor, ve kterém by se hřídel dala vyrobit. Ale výkonově jsou oba CNC stroje nedostačující. Z tohoto důvodu byla zadaná součást konstrukčně i technologicky upravena.

5.2 Optimální součást pro SPŠ Třebíč

Součást vhodná pro výrobu na strojích patřících SPŠ musí být od zadané hřídele konstrukčně i technologicky upravena. Detail výrobního výkresu součásti je možné spatřit na ilustraci 5.1. Na obrázku výkresu si můžeme všimnout toho, že hřídel se prodloužila o 5 mm. Tento fakt je z důvodu zvětšení všech zápchů na hřídeli na rozměr 3 mm. Toto prodloužení je důsledek omezeného použití upichovacího nástroje. Škola vlastní pouze upichovací nůž široký 3 mm a na originální součásti jsou zápichy o šířce 1,6 mm a 2 mm. Výrobní výkres upravené hřídele se nachází v příloze 10.

Další problém je materiál součásti. Na školních CNC strojích nelze obrábět materiál 12 050. Kvůli nedostatečným výkonům stroje a opět omezené volbě nástrojů. Z tohoto důvodu byl zvolen materiál funkčního vzorku dural.



Obr. 5.1 detail výrobního výkresu upravené součásti

5.3 Zhodnocení výroby

Výroba vzorkového kusu hřídele proběhla podle již dříve zmíněného technologického postupu uvedeného v kapitole 4.2. Při výrobním procesu byly použity stroje uvedené v předchozí kapitole. Důležitým faktem je to, že nedošlo k žádnému většímu problému a součást byla na SPŠ Třebíč vyrobena.

6 CNC PROGRAM

Výrobní CNC program součásti byl zhotoven pomocí softwaru emco Win NC verze sinumerik 840D mill a sinumerik 840D turn. Výrobní CNC program je uveden v příloze 11. V tabulce Tab. 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 jsou uvedeny nejčastěji používané programovací příkazy. Tyto tabulky byly vypracovány v kapitolách níže.

6.1 Sinumerik 840D turn - soustružení

6.1.1 Doporučená skladba programu sinumerik 840D turn – soustružení [23]

1. ; středník definuje poznámku, začátek programu. V prvním řádku za středníkem by mělo být uvedeno – programátor, datum, rozměry polotovaru, poloha nulového bodu a výchozí poloha výchozího bodu, který je současně také bodem výměny nástrojů
2. G54 (G55, G56, G57) - posunutí souřadného systému z nuly stroje do zvoleného bodu, nejčastěji na dosedací plochu sklíčidla
3. TRANS Zčíslo - posunutí souřadného systému z bodu definovaného v předchozím řádku do nulového bodu na pravém čele obrobku, číslo rovnající se délce polotovaru mínus přídavek na zarovnání čela
4. G90 - definice absolutního programování, tzn. souřadný systém os X-Z je pevný a veškeré souřadnice pohybu nástroje během obrábění jsou vztaženy k němu. Místo tohoto může být někdy definováno G91 – přírůstkové programování, tzn., že souřadný systém os X-Z se posouvá do toho místa, kam předtím dojel a následně souřadnice pohybu nástroje jsou vztaženy k němu
5. G95 F0.1 - definice způsobu zadávání posuvu nástroje = posuv v mm za otáčku [mm/ot]
6. DIAMON nebo DIAMOF - průměrová nebo poloměrová X-souřadnice
7. T1 D1 - výměna nástroje podle umístění nástrojů v pozici v revolverové hlavě
8. M6 - je to vlastní funkce výměny nástroje, u soustružení není nezbytně nutná, může se vynechat
9. M4 S2000 - spuštění otáček vřetene s obrobkem, kde M4 jsou levotočivé otáčky a S2000 jejich počet 2000 za minutu, M3 je označení pro pravotočivé otáčky
10. G0 Xčíslo1 Zčíslo2 - znamená příjezd nástroje rychloposuvem k obrobku, kde číslo 1 je průměrová souřadnice X a číslo 2 je vzdálenost od nulového bodu v ose Z, tato funkce se používá k přemísťování nástroje na delší vzdálenost, např. návrat před čelo obrobku po odebrání třísky materiálu nebo k návratu do výchozího bodu na výměnu nástroje
11. G1 Xčíslo1 Zčíslo2 F0.1 - znamená pracovní pohyb nástroje po přímce posuvem 0.1 mm/ot., označuje se jako lineární interpolace a používá se k nastavení hloubky třísky, poté k jejímu odřezání a nakonec ke krátkému odjezdu nože od obrobku před návratem rychloposuvem před čelo obrobku
12. G2 Xčíslo1 Zčíslo2 CRčíslo3 F0.1 - znamená pracovní pohyb nástroje po kružnici ve směru chodu hodinových ručiček posuvem 0.1 mm/ot., označuje se jako kruhová interpolace a používá se k obrábění zaoblení o poloměru CR, kde číslo3 je velikost rádiusu
13. CYCLEčíslo4 (.....) – obráběcí cykly

14. G0 Xčíslo1 Zčíslo2 - odjezd od obrobku do výchozího bodu rychloposuvem

15. M30 - konec hlavního programu

6.1.2 Seznam nejdůležitějších příkazů, funkcí a cyklů sinumerik 840D turn - soustružení

Tab. 6.1 Nejdůležitější funkce sinumerik 840D turn – soustružení [24]

Označení funkce	Význam funkce
G0	rychloposuv
G1	pracovní posuv po přímce
G2	kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G3	kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
G17	interpolační rovina pro funkce G2, G3
G18	interpolační rovina pro funkce G2, G3
G40	vypnutí korekce nástroje
G41, G42	zapnout korekci nástroje vlevo/vpravo
G54 – G57	nastavení posunutí nulového bodu
G71	programování v mm
G90	absolutní programování
G91	přírůstkové programování
G94	posuv v mm/min
G95	posuv v mm/ot
G96	konstantní řezná rychlost
M0	programový stop
M2	konec programu
M3	otáčky vřetena ve směru hodinových ručiček
M4	otáčky vřetena proti směru hodinových ručiček
M5	vypnutí otáček vřetena
M17	konec podprogramu
M30	konec programu
TRANS Z	posunutí nulového bodu na vhodné místo obrobku
DIAMOF	programování v poloměrech
DIAMON	průměrové programování

Tab. 6.2 Přehled cyklů sinumerik 840D turn – soustružení [24]

Označení funkce	Význam funkce
CYCLE 81	Vrtací cyklus bez výplachu
CYCLE 82	Vrtání, čelní zahloubení – bez výplachu
CYCLE 83	Hluboké vrtání – s výplachem
CYCLE93	Zapichovací cyklus
CYCLE94	Cyklus odlehčovacího zápichu
CYCLE 95	Hrubovací a dokončovací cyklus
CYCLE97	Cyklus řezání závitu

6.2 Sinumerik 840D mill - frézování

6.2.1 Doporučená skladba programu sinumerik 840D mill – frézování [23]

1. ; středník definuje poznámku, začátek programu. V prvním řádku za středníkem by mělo být uvedeno – programátor, datum, rozměry polotovaru, poloha nulového bodu a výchozí poloha výchozího bodu, který je současně také bodem výměny nástrojů
2. G55 (G54, G56, G57) - posunutí souřadného systému z nuly stroje do bodu na pevné čelisti svěráku, nejčastěji levý spodní zadní
3. TRANS Xčíslo1 Yčíslo2 Zčíslo3 - posunutí souřadného systému z bodu definovaného v předchozím řádku do nulového bodu nejčastěji uprostřed horní zarovnané plichy obrobku, číslo1 = polovina šířky polotovaru v ose X, číslo2 = - polovina hloubky polotovaru v ose Y, číslo3 = výška polotovaru minus přídavek na zarovnání horní plochy polotovaru
4. G90 - definice absolutního programování, tzn souřadný systém os X-Y-Z je pevný a veškeré souřadnice pohybu osy frézy během obrábění jsou vztaženy k němu. Místo tohoto může být někdy definováno G91 – přírůstkové programování, tzn. Že souřadný systém os X-Y-Z se posouvá do toho místa, kam předtím osa frézy došla a následně souřadnice pohybu osy frézy jsou vztaženy k němu
5. G94 – definice způsobu zadávání posuvu nástroje = posuv v mm za minutu {mm/min}
6. T2 D1 M6 - výměna nástroje podle umístění nástrojů v pozicích v zásobníku stroje
7. M4 S2000 - spuštění otáček vřetene s obrobkem, kde M4 jsou levotočivé otáčky a S2000 jejich počet 2000 za minutu, M3 je označení pro pravotočivé otáčky
8. G0 Xčíslo1 Yčíslo2 Zčíslo3 - znamená příjezd osy frézy rychloposuvem k obrobku, kde číslo 1 je souřadnice X a číslo 2 je souřadnice Y a číslo3 je souřadnice Z od nulového bodu obrobku, tato funkce se používá k přemísťování nástroje na delší vzdálenost,
9. G1 Xčíslo1 Yčíslo2 Zčíslo3 F300 - znamená pracovní pohyb nástroje po přímce posuvem 300 mm/min., označuje se jako lineární interpolace a používá se k nastavení hloubky třísky, poté k jejímu odřezání a nakonec ke krátkému odjezdu frézy od obrobku
10. G2 (G3) Xčíslo1 Yčíslo2 Zčíslo3 CRčíslo4 F300 - znamená pracovní pohyb osy frézy po kružnici ve směru chodu hodinových ručiček posuvem 300mm/min., označuje se jako kruhová interpolace a používá se k obrábění kružnic o poloměru CR, kde číslo4 je velikost radiusu
11. CYCLEčíslo4 (.....) – obráběcí cykly
12. G0 Z120 - odjezd rychloposuvem nad obrobek, většinou potom nastane výměna nástroje
13. M30 - konec hlavního programu

6.2.2 Seznam nejdůležitějších příkazů, funkcí a cyklů sinumerik 840D mill - frézování

Tab. 6.3 Nejdůležitější funkce sinumerik 840D mill – frézování [23]

Označení funkce	Význam funkce
G0	rychloposuv
G1	pracovní posuv po přímce
G2	kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G3	kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
G17	interpolační rovina pro funkce G2, G3
G18	interpolační rovina pro funkce G2, G3
G40	vypnutí korekce nástroje
G41, G42	zapnout korekci nástroje vlevo/vpravo
G54 – G57	nastavení posunutí nulového bodu
G71	programování v mm
G90	absolutní programování
G91	přírůstkové programování
G94	posuv v mm/min
G95	posuv v mm/ot
G96	konstantní řezná rychlost
M0	programový stop
M2	konec programu
M3	otáčky vřetena ve směru hodinových ručiček
M4	otáčky vřetena proti směru hodinových ručiček
M5	vypnutí otáček vřetena
M17	konec podprogramu
M30	konec programu
TRANS Z	posunutí nulového bodu na vhodné místo obrobku

Tab. 6.4 Přehled cyklů sinumerik 840D turn – soustružení [23]

Označení funkce	Význam funkce
CYCLE 81	Vrtací cyklus bez výplachu
CYCLE 82	Vrtání, čelní zahloubení – bez výplachu
CYCLE 83	Hluboké vrtání – s výplachem
CYCLE 71	Frézování horní plochy
CYCLE 72	Frézování obecné tvarové plochy
HOLES 1	Otvory v řadě
HOLES 2	Otvory na kružnici
POCKET 1	Frézování pravoúhlé kapsy – vybrání
POCKET 2	Frézování kruhové kapsy
SLOT 1	Radiální drážky na kružnici
SLOT 2	Kruhové drážky

7 EKONOMICKÝ PŘEHLED

Celkový strojní čas, potřebný pro výrobu součásti, je vypočten na 7,33 min. Tento čas je dán součtem všech strojních časů, jak je uvedeno v tabulce 7.1. Zde je započítán pouze strojní čas, ne rychlochloposuvy, výměny nástrojů, nájezdy a odjezdy, výměny a otáčení kusů a manipulace s materiálem. Tyto časy pro hrubou představu jsou počítány jako 70% strojních časů. To je zhruba 5,1 min. Celkově je potřeba 12,43 min na výrobu jedné součásti.

Tabulka č. 7.1 Součet strojních časů z návodek

Typ obrábění - operace	Obráběná délka[mm]	Strojní čas [min]
Soustružení – 03/13, 05/13, 06/13, 08/13	688,1	6,249
Frézování – 07/13	107	1,07
Broušení – 10/13	45,4	0,006
Celkem	840,8	7,3251

7.1 Kapacitní propočet strojů pro soustružení

Pro ekonomický přehled a zhodnocení výroby musíme znát počet strojů, zkontrolovat, zda jsme vůbec schopni za rok vyrobít stanovený počet kusů. Tím provedeme správnost a vhodnost volby strojů. Počet strojů kontrolujeme výpočtem využití strojů. Dále je důležité znát počet potřebných dělníků a počet nástrojů. Tyto kapacitní propočty byly vypočteny dle empirických vzorců, které jsou uvedené v použitých zdrojích. [24]

$$P_{th} = \frac{tk \cdot N}{60 \cdot E_s \cdot S_s \cdot k_{pns}} \quad (7.1)$$

Kde:

tk - čas potřebný pro provedení dané operace na daném stroji (obsahuje jednotkový, dávkový i směnový čas) [min]

N - počet kusů vyráběných za rok [ks]

E_s - průměrný čas za rok při jedné směně, kdy použité strojní zařízení v chodu [hod]
pro rok 2013 to je 1794,24

S_s - počet strojních pracovišť v plánovaném provozu

k_{pns} - koeficient překračování norem je 1,2

$$P_{th} = \frac{6,249 \cdot 25000}{60 \cdot 1794,24 \cdot 2 \cdot 1,2} = 0,604$$

Zaokrouhлено na celé stroje je potřeba 1 stroj, $P_{sk} = 1$.

Celková hrubá spotřeba času pro soustružení na výrobu celé roční série [24]

$$t = N \cdot t_{asc} \quad [\text{min}] \quad (7.2)$$

Kde:

 N - počet kusů vyráběných za rok [ks] t_{asc} - čas potřebný na výrobu jedné součásti [min]

$$t = 25000 \cdot 6,249 = 156225 \quad \text{min}$$

Celkový čas, který je k dispozici za rok [24]

$$t = n_d \cdot n_{strojů} \cdot S \cdot h_d \cdot 60 \quad [\text{min}] \quad (7.3)$$

Kde:

 n_d - počet pracovních dní v konkrétním roce (pro rok 2013 je to 252 dní) $n_{strojů}$ - počet strojů začleněných do výrobního procesu S - počet směn (3 směna za den) h_d - počet hodin v jedné směně (7,5 hodiny)

$$t = 252 \cdot 1 \cdot 7,5 \cdot 2 \cdot 60 = 202500 \quad \text{min}$$

Využití stroje [24]

$$\eta = \frac{P_{th}}{P_{sk}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (7.4)$$

Kde:

 P_{th} - teoretický počet stroje P_{sk} - skutečný počet stroje

$$\eta = \frac{0,604}{1} \cdot 100 = 60,4 \%$$

Těmito výpočty můžeme zkontrolovat, zda je zvolen správný počet strojů a směn. Čas potřebný k výrobě celé roční série součástí musí být menší, než je čas, který je k dispozici za rok. Pokud tomu tak není, můžeme manipulovat s počtem směn za den v rozsahu 1-3 a počtem strojů. Podle hrubého výpočtu byl zvolen jeden stroj, který pracuje ve dvousměnném provozu. Tento stroj podle výpočtu bude stačit.

7.2 Kapacitní propočet strojů pro frézování

Dle vztahu 7.1:

$$P_{th} = \frac{1,07 \cdot 25000}{60 \cdot 1794,24 \cdot 1 \cdot 1,2} = 0,207$$

Zaokrouhleno na celé stroje je potřeba 1 stroj, $P_{sk} = 1$ **Celková hrubá spotřeba času pro frézování na výrobu celé roční série**

Dle vztahu 7.2:

$$t = 25000 \cdot 1,07 = 26750 \text{ min}$$

Využití stroje

Dle vztahu 7.4:

$$\eta = \frac{0,207}{1} \cdot 100 = 20,7 \%$$

Využití frézky u výroby součástí vychází pouhých 20,7 %, operaci frézování je možné omezit na ½ směny.

7.3 Kapacitní propočet strojů pro broušení

Dle vztahu 7.1:

$$P_{th} = \frac{0,006 \cdot 25000}{60 \cdot 1794,24 \cdot 1 \cdot 1,2} = 0,001$$

Zaokrouhleno na celé stroje je potřeba 1 stroj, $P_{sk} = 1$

Celková hrubá spotřeba času pro frézování na výrobu celé roční série

Dle vztahu 7.2:

$$t = 25000 \cdot 0,006 = 150 \text{ min}$$

Využití stroje

Dle vztahu 7.4:

$$\eta = \frac{0,001}{1} \cdot 100 = 0,1 \%$$

Využití brusky při výrobě je prakticky nulové, je to dáno tím, že strojní čas nutný na broušení je podstatně menší než čas potřebný pro frézování. Broušení je ale nedílnou součástí výroby zadané hřídele. Proto je bruska potřeba.

7.4 Výpočet výrobních dělníků [24]

$$D_{vst} = \frac{tk \cdot N}{60 \cdot E_s \cdot k_{pns}} \quad (7.5)$$

Kde:

tk - čas potřebný pro provedení dané operace na daném stroji (obsahuje jednotkový, dávkový i směnový čas) [min]

N - počet kusů vyráběných za rok [ks]

E_s - průměrný čas za rok při jedné směně, kdy použité strojní zařízení v chodu [hod]
(pro rok 2013 to je 1794,24 hodin)

S_s - počet strojních pracovišť v plánovaném provozu

k_{pns} - koeficient překračování norem je 1,2

Soustružení

$$D_{vst} = \frac{6,249 \cdot 25000}{60 \cdot 1794,24 \cdot 1,2} = 1,3$$

Zaokrouhleno na celé $D_{vst} = 2$. Jsou zapotřebí 2 výrobní dělníci. V tomto výpočtu není uvažována nemocnost a dovolená pracovníku. Tento výpočet nevyjadřuje evidenční stav dělníků.

Frézování

$$D_{vst} = \frac{1,07 \cdot 25000}{60 \cdot 1794,24 \cdot 1,2} = 0,3$$

Zaokrouhleno na celé $D_{vst} = 1$. Je zapotřebí jeden dělník.

Broušení

$$D_{vst} = \frac{0,006 \cdot 25000}{60 \cdot 1794,24 \cdot 1,2} = 0,001$$

Pro broušení je potřeba také jeden dělník, i když výsledek výpočtu vyšel velmi malý. Možné řešení je, že dělník, který bude frézovat, bude i brousit, protože koeficient u frézování vyšel také o hodně menší než 1.

7.5 Potřebný počet nástrojů

Pro všechny výrobní operace je nutno nakoupit podle nástrojového listu příslušné nožové držáky a celistvé nástroje a to každý po dvou kusech. Jeden držák bude upnut ve stroji a jeden bude náhradní, kdyby došlo ke kolizi nebo zničení držáku. Nástroje a jejich označení s požadovaným množstvím jsou uvedeny v tabulce 7.1.

Tab. 7.1 Přehled soustružnických nožů

Soustružnický nůž	Počet kusů
SOUSTRUŽNICKÝ NŮŽ VNĚJŠÍ: DWLNR/L 2020 K 08	2
STŘEDÍCÍ VRTÁK A5 ISO 12 10000	2
SOUSTR.NŮŽ ZAPICHOVACÍ: SER/L 2020 K 16	4
STOPKOVÁ FRÉZA: 16A2R024A16-SAD11E-C	2
UNIVERZÁLNÍ FRÉZA DLOUHÁ: 05E3S60-19A05 SUMA	2
BRUSNÝ KOTOUČ PLOCHÝ: ISO 411 71 100X10X20	2

7.6 Výpočet spotřeby materiálu

Celkový počet potřebných tyčí o délce 6000 mm [24]

$$n_t = \frac{N}{n} \quad [ks] \quad (7.6)$$

Kde:

N - celkový počet kusů vyrobených za rok

n - počet kusů vyrobených z jedné tyče

$$n_t = \frac{25000}{73} = 342,5 = 342 \text{ ks}$$

Celková hmotnost potřebného materiálu [24]

$$m_c = n_t \cdot m_{tyce} \quad [kg] \quad (7.7)$$

Kde:

 n_t - celkový počet tyčí m_{tyce} - hmotnost jedné tyče dlouhé 6000 mm [kg]

$$m_c = 342.45 = 15390 \text{ kg}$$

Celkové využití nakoupeného materiálu [24]

$$\eta = \frac{G_1 \cdot N}{m_c} \cdot 100 \quad [\%] \quad (7.8)$$

Kde:

 m_c - celková hmotnost potřebného materiálu G_1 - hmotnost jedné součásti N - celkový počet kusů vyrobených za rok

$$\eta = \frac{0,123 \cdot 25000}{15390} \cdot 100 = 20 \%$$

Z těchto výpočtů byl zjištěn, že celkový počet tyčí o délce 6 000 mm, které budou potřeba na výrobu 25 000 součástí je 342 ks. tyto tyče celkem váží 15 390 kg. Konečné využití materiálu činí 20 % z celkové hmotnosti všech tyčí. Nevyužitý materiál a odpad tvoří 80 % z celkové hmotnosti, tedy hmotnost hotových výrobků vyprodukovaných za rok je 3 078 kg a hmotnost odpadu je 12 312kg.

8 DISKUZE

Bakalářská práce je zaměřena na řešení návrhu výroby a samotnou výrobu rotační součásti – hřídele. V dnešní době je nejen v České republice, ale i po celém světě spousta malých strojírenských firem, které se již řadu let věnují výrobě hřídelí. Proto není vůbec snadné začít podnikat v této sféře, i když jsou hřídele jedny z nejpoužívanějších součástí. Kapitál, který by musel být vložen do koupě nového strojního a nástrojového parku je v řádech milionů. Každý začínající podnikatel by tento fakt měl brát v potaz. Možným řešením je požádání o dotace z fondu EU v programu podpory malých a středních podniků. V případě uznání žádosti by mohlo být zakoupeno několik potřebných strojů.

Tato bakalářská práce je z technologického hlediska vhodná pro začátek sériové výroby řešené hřídele.

Materiál 12 050, ze kterého je hřídel vyráběna, se hodí pro sériovou výrobu vzhledem k jeho vlastnostem. Tento fakt je shrnut v první kapitole práce. Polotovar, vhodný pro sériovou výrobu, je šestimetrová tyč o průměru 35 mm. Využití materiálu je pouhých 20 %. Z tohoto důvodu by mohl být jako polotovar zvolen výkovek, ale protože šestimetrová tyč o průměru 35 mm je volně prodejný polotovar, je proto i zvolena jako výchozí materiál pro výrobu.

Díky dnešní moderní době je na trhu obrovský počet výrobců nejrůznějších typů obráběcích strojů i nástrojů, které vyhovují i těm nejnáročnějším operacím. Vzhledem k tomu, že řešená hřídel je menších rozměrů, byly v práci zvoleny stroje vhodné pro sériovou výrobu hřídelí menších rozměrů, které mají menší pracovní prostor a výkon strojů je také nižší.

Technologický postup výroby hřídele, dle kterého by se dala hřídel vyrábět a nástrojový list potřebných nástrojů pro výrobu, je uveden ve čtvrté kapitole práce. Vlastní výroba by nebyla složitá. Navržená výroba jedné hřídele trvá cca 12 minut a to na čtyřech strojích za použití osmi nástrojů.

Podle této bakalářské práce není problém začít sériovou výrobu hřídele. Součástí práce je i CNC program, díky kterému je možné naprogramovat výrobní stroje.

8.1 Výroba na SPŠ Třebíč

Výroba na SPŠ probíhala dle technologického postupu a CNC programu, který je obsažen v bakalářské práci. Největší problém při výrobě nastal v omezené možnosti použití strojů a nástrojů. Na SPŠ Třebíč jsou pouze CNC stroje a nástroje vhodné pro výuku ve školních dílnách, avšak nedostačující pro sériovou výrobu. Z tohoto důvodu musela být vyráběná součást upravena, jak z materiálového, tak i z rozměrového hlediska.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout vhodnou technologii výroby pro hřídel menších rozměrů, která se bude vyrábět v sérii 25 000 kusů za rok.

První část práce byla zaměřena na popis vyráběné hřídele z hlediska technologičnosti, konstrukce a materiálu. Dále byl v práci vypočten optimální polotovar, který je dodáván jako tyč, dlouhá šest metrů o průměru 35 mm. Materiál polotovaru je stejný jako materiál součásti, tedy 12 050.

Ve druhé a třetí fázi byla navržena optimální varianta výroby, zvoleny nástroje, stroje potřebné pro výrobu. Popsán technologický postup, dle kterého je hřídel možné vyrábět.

Čtvrtá fáze byla věnována popisu samostatné výroby funkčního vzorku, který byl vyhotoven za spolupráce SPŠ Třebíč. Byl řešen problém, který nastal z důvodu nedostatečného strojového a nástrojového parku, který škola vlastní. I přes to byla hřídel vyrobena v přizpůsobené variantě. Náhradním materiálem hřídele místo oceli 12 050 byl zvolen dural. Celková délka součásti byla změněna z 80 mm na 85 mm.

Pátá část se věnuje ekonomickému zhodnocení výroby.

V závěru bakalářské práce je diskuze, ve které jsou shrnuty podrobně všechny kapitoly a ve které je celkové zhodnocení práce.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SVOBODA, P. BRANDEJS, J. DVOŘÁČEK, J. PROKEŠ, F. *Základy konstruování*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 214 s. ISBN 978-80-7204-633-1.
2. 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.
3. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 2. vyd. Úvaly: Albra, 2005, 906 s. ISBN 80-7361-011-6.
4. Materiálové normy. *Ferona a.s.* [online]. © 2004–2013 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://www.ferona.cz/cze/katalog/mat_normy.php
5. Normy materiálu. *Octopustools* [online]. 2007 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://octopustools.com/normy_materialu.php
6. KOČMAN, Karel a Jiří PERNIKÁŘ. *Ročníkový projekt II – obrábění* [online]. 2002. Dostupné z: http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/RocnikovyProjekt_II-obrabeni.pdf
7. ŘASA, J – GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3 – 1. díl. Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. Praha: Scientia, 2000. ISBN 80-7183-207-3.
8. Pásová pila na kov. *Pegas-gonda* [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://www.pegas-gonda.cz/cz/pily/pasova-pila-na-kov-pegas-220x250-a-nc-r_7.htm
9. Univerzální hrotový soustruh. *Katalog obráběcích a tvářecích strojů* [online]. 2002-2004 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/vyuka/katalog/kat/ssbl500_1.html
10. Dílenské sety strojů. *Boukal - obchodní firma* [online]. 2010-2013 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://shop.boukal.cz/kovoobrabeci-stroje/cnc-frezka-opti-f150-tc-zdarma-pistovy-kompresor-airstar-503-50/>
11. Hrotová bruska s šikmým přísuvem. *Katalog obráběcích a tvářecích strojů* [online]. 2002-2004 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/vyuka/katalog/kat/sej11_1.html
12. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 1. část* [online]. Studijní opo-ry pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, 138 s. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
13. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 2. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004, 94 s. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
14. Pramet Tools, s.r.o.: *Soustružení* [online]. PrametTools, s.r.o., Šumperk, ČR. [vid. 2012]. Dostupné z: <http://www.pramet.cz/download.php?id=80>
15. Pramet Tools, s.r.o.: *Monolitní frézy* [online]. PrametTools, s.r.o., Šumperk, ČR. [vid. 2012]. Dostupné z: www.pramet.com/download.php?id=91
16. Pramet Tools, s.r.o.: *Frézování* [online]. PrametTools, s.r.o., Šumperk, ČR. [vid. 2012]. Dostupné z: www.pramet.com/download.php?id=438

17. HOFFMANN GmbH: Hlavní katalog [online]. Hoffmann GmbH, Munich, Germany. [vid. 1. 8. 2012]. Dostupné z: <http://www.hoffmann-group.com/cz/produkty/katalog-naradi.html>
18. Pilové pásy. *Pilous - pily* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.pilous-pily.cz/eshop/pilous-arg-200-pilovy-pas-2490x20x09-m42-812z>
19. Brusný kotouč plochý. *Pilous - pily* [online]. Katalog M&V. © 2004–2013 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://katalog.mav.cz/detail.php?id=11095>
20. Pila pásová Proma. *EPROTON internetový obchod* [online]. © 2004–2013 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://www.epron.cz/Pila-pasova-Proma-PPK-90U/81231.html?gclid=CJzY_-WeorcCFUtY3godAmoA9w
21. CONCEPT TURN 105. *EMCO group* [online]. © EMCO group 2012 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.emco-world.com/en/products/industrial-training/machines/turning/cat/20/d/2/p/1000028%2C20/pr/concept-turn-105.html>
22. CONCEPT MILL 55. *EMCO group* [online]. © EMCO group 2012 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.emco-world.com/en/products/industrial-training/machines/milling/cat/26/d/2/p/1000006%2C26/pr/concept-mill-55.html>
23. BLOUDÍČEK, Milan. *Manuál pro výuku ovládání a programování školních CNC strojů EMCO Concept 105Turn a 55Mill s řídicím systémem SIEMENS 840D*. Střední průmyslová škola Třebíč, 2002.
24. ŠTULPA, M. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
25. HLAVENKA, B. *Projektování výrobních systémů Technologické projekty I*. 3 vydání BrnoPC-DIR Real s.r.o. 1999 197s ISBN 80-214-1472-3.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
AlCrN	[-]	Alcrona
Al ₂ O ₃	[-]	Oxid hlinitý
BS	[-]	Britská národní norma
CNC	[-]	Computer Numeric Control
ČSN	[-]	Česká státní norma
DIN	[-]	Německá národní norma
HB	[-]	Tvrdost dle Brinela
ISO	[-]	Mezinárodní organizace pro normalizaci
JIS	[-]	Japonská národní norma
NC	[-]	Numeric kontrol
OTK	[-]	Oddělení technické kontroly
RO	[-]	Rychlořezná ocel
SEA	[-]	Americká národní norma
SS	[-]	Švédská národní norma
UNE	[-]	Španělská národní norma
UNI	[-]	Italská národní norma
UNE	[-]	Španělská národní norma

Symbol	Jednotka	Popis
D	[mm]	Průměr polotovaru
Dvst	[-]	Počet výrobních dělníků
E _s	[hod]	Průměrný čas za rok při jedné směně
G ₁	[kg]	Hmotnost výrobku
G ₂	[kg]	Hmotnost polotovaru
H _i	[μm]	Jakost povrchu
IT	[μm]	Základní tolerance
L	[mm]	Délka polotovaru
N	[ks]	Počet kusů vyráběných za rok

N_j	[ks]	Počet kusů přířezů z jedné tyče
P_i	[-]	IT číslo dané ioperace
P_{sk}	[-]	Skutečný počet stroje
P_{th}	[-]	Teoretický počet stroje
R_a	[μm]	Střední aritmetická hodnota drsnosti
R_q	[μm]	Střední kvadratická hodnota drsnosti
S	[-]	Počet směn za den
S_s	[-]	Počet strojních pracovišť v plánovaném provozu
U_k	[μm]	Ukazatel jakosti povrchu
U_m	[-]	Ukazatel využití materiálu
U_p	[stupeň IT]	Ukazatel průměrné přesnosti
V	[dm^3]	Objem polotovaru
ρ	[$\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$]	Hustota polotovaru
d	[mm]	Největší průměr součásti
d_p	[mm]	Průměr polotovaru
f	[mm]	Posuv nástroje
h_d	[hod]	Počet hodin v jedné směně
k_{pns}	[-]	Koeficient překračování norem
l	[mm]	Délka součásti
l_n	[mm]	Délka náběhu
l_p	[mm]	Celková délka součásti
l_{pol}	[mm]	Délka polotovaru
l_{rel}	[mm]	Reálná délka
$l_{tyče}$	[mm]	Délka tyče
m	[kg]	Hmotnost polotovaru
m_c	[kg]	Celková hmotnost potřebného materiálu
$m_{tyče}$	[kg]	Hmotnost jedné tyče
n	[-]	Otáčky obrobku
n_d	[dny]	Počet pracovních dní v konkrétním roce

n_i	[-]	Četnost výskytu dané jakosti povrchu
$n_{\text{strojů}}$	[-]	Počet strojů začleněných do výrobního procesu
n_t	[-]	Celkový počet tyčí
p	[mm]	Přídavek na průměr
p_p	[mm]	Přídavek na délku
$\check{s}_{\text{proř}}$	[mm]	Šířka prořezu
t_{AS}	[min]	Čas jednotkový strojní
t_{asc}	[min]	Čas potřebný na výrobu jedné součásti
tk	[min]	Čas potřebný pro provedení dané operace na daném stroji
v_c	[m.min ⁻¹]	Řezná rychlost
η	[%]	Využití materiálu

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výrobní výkres hřídele
Příloha 2	Technické parametry pásové pily Pegas 220x250 A-NC-R
Příloha 3	Technické parametry soustruhu SBL 500 CNC
Příloha 4	Technické parametry CNC frézky F150 TC
Příloha 5	Technické parametry hrotové brusky JUNKER EJ 11
Příloha 6	Návodky
Příloha 7	Technické parametry pásové pily Proma PPK-90U
Příloha 8	Technické parametry CNC soustruhu CONCEPT turn 105
Příloha 9	Technické parametry CNC frézky CONCEPT mill 55
Příloha 10	Výrobní výkres upravené hřídele
Příloha 11	CNC program

PŘÍLOHA 1

Výrobní výkres hřídele

PŘÍLOHA 2 - 1/2

Technické parametry pásové pily Pegas 220x250 A-NC-R

220x250 A-NC-R



Vysoce produktivní automatická, hydraulicky ovládaná pásová pila s vícenásobným podáváním materiálu. Délka podání je zadána manuálně pomocí koncového dorazu podavače. Počet kusů je zadáván z ovládacího panelu. Pila umožňuje volbu mezi automatickým a poloautomatickým režimem, kdy jsou veškeré pohyby ovládané nezávisle. Nalézá uplatnění v sériové výrobě a vzhledem ke své robustní konstrukci umožňuje dělení široké škály jakosti materiálů včetně nerez a nástrojových ocelí, neželezných a lehkých kovů a to jak profilů tak plných polotovarů.

Pila je určena pro dělení materiálů v kolmých i úhlových řezech, úhlové řezy plynule nastavitelné od 0 do +60 stupňů vpravo. (v automatickém cyklu). Změna úhlu pomocí rychloupínací páky.

Nalézá uplatnění v sériové výrobě a vzhledem ke své robustní konstrukci umožňuje dělení široké škály jakosti materiálů včetně nerez a nástrojových ocelí, neželezných a lehkých kovů a to jak profilů tak plných polotovarů.

Konstrukce: Pila je konstrukčně řešena tak, aby odpovídala extrémnímu namáhání ve výrobních podmínkách.

- Rameno pily je navrženo tak, aby byla zajištěna potřebná síla a přesnost řezání. Rameno skloněno o 25°, což zvyšuje životnost pásu. Rameno uloženo v předepnutých a seřiditelných ložiskách.
- Pracovní polohy ramene ovládaný vačkou a mikrosplínací horní a dolní polohy ramene. Po dosažení dolní koncové polohy se rameno automaticky vrátí do zadane horní polohy.
- Svěrák je vyroben z litiny a čelisti zajišťují bezpečné upnutí materiálu. Hydraulicky ovládaný krátkozdišový svěrák uložen v seřiditelné rybinové drážce. Nastavení čelisti je manuální pomocí kolečka, trapézového šroubu.
- Podávací svěrák se pohybuje pomocí hydraulického válce po dvou broušených tyčích v teflonových pouzdrech. Podavač posunuje řezaný materiál do hlavního svěráku vždy o délku, kterou obsluha manuálně nastaví pomocí koncového dorazu podavače. Doraz umožňuje nastavit přesnou úroveň výkonu pro opakované řezání v poloautomatickém cyklu. Upnutí materiálu v podávacím svěráku je indikováno mikrosplínáčem.
- Vedení pásu v karbidových deskách. Automatická regulace napětí pilového pásu. Mechanické napínání pilového pásu
- Pohon prostřednictvím šnekové převodovky s trvalou olejovou náplní. Třífázový motor s dvojitým vinutím, 2 řezné rychlosti. Tepelná ochrana motoru.
- Chladicí systém na emulzi s rozvodem kapaliny do vodiček pilového pásu.
- Robustní podstavec se zásobníkem na třísky.
- Mikrosplínáč napětí pilového pásu a otevření krytu kladek.
- Ovládání 24 V
- Ovládací panel, který je ergonomicky umístěn na konzole, je vybaven bezpečnostním tlačítkem pro zastavení pily a dalšími dvěma pro její zpuštění. Dále je zde umístěn regulátor posuvu ramene do řezu a další tlačítka možných posuvů pily, které jsou potřebné pro ovládání nástroje „SAW MICRO“.
- Stroj vybaven hydraulickou centrálou, která ovládá veškeré funkce automatické pily. Tlačí rameno do řezu, zdvihání ramene, otevírání a zavírání hlavního i podávacího svěráku, posuv podavače.

Základní výbava stroje: pilový pás, sada nářadí, stavitelný doraz, návod k obsluze.

Ovládání: Pila automaticky upne materiál v hlavního svěráku a podavač se posune do určené polohy. Rameno se pohybuje do řezu, po uříznutí materiálu vyjede do horní polohy. Podavač se posune o konstantní přidanou délku a čelist podavače upne materiál. Hlavní svěrák se uvolní, podavač posune materiál na nulovou pozici. Hlavní svěrák upne, svěrák podavače se uvolní a celý cyklus se opakuje. Obsluha pouze zakládá polotovar a odebírá nařezaný materiál. Během řezání je možné upravovat řeznou rychlost ramene.

Rezné parametry

D [mm]	220	160	90	x	x	x
D [mm]	120*	85*	55*	x	x	x
a x b [mm]	230x190	160x90	90x90	230x120	230x100	120x40 (200x100)
a x b [mm]	230x190	140x190	80x160	230x120	230x100	120x40 (200x100)

*doporučené hodnoty, + HP = rozměr omezený horním přítiskem

Nejmenší odřezek	mm	3
Nejmenší dělitelný průměr	mm	5
Nejmenší zbytek při jednom řezu	mm	30
Nejmenší zbytek v automatickém řezu	mm	250
Jednorázový posun materiálu Min	mm	3
Jednorázový posun materiálu max	mm	500
Vícenásobný posuv	mm	999999

PŘÍLOHA 2 - 2/2

Technické parametry pásové pili Pegas 220x250 A-NC-R

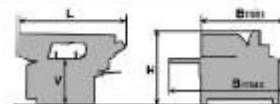
220x250 A-NC-R

PEGAS GONDA

Výkonnostní parametry		
Pohon pilového pásu	kW	1,1/0,75
Pohon hydraulického agregátu	kW	0,045
Čerpadlo chladič emulze	kW	0,75
Elektromotor pohonu šnek vynašeče třísek	kW	0,12
Celkový příkon	kW	2,7
Rezná rychlost – plynule nastavitelná	m/min	30/65
Rozměr pilového pásu	mm	2450x27x0,9
Elektrické zapojení		3x400V, 50 Hz

Pracovní pohyby		
Posuv ramene do řezu	hydraulicky	
Posuv materiálu	hydraulicky	
Upínání materiálu	hydraulicky	
Napínání pásu	manuálně	
Čistění pilového pásu	pasivní čistící kartáč	
Chlazení	Výkon [l/min]	Obsah nádrže [l]
	5,0	8,0

Rozměry						
Délka	Šířka		Výška		Výška sloupu	Hmotnost
[L]	[Bmin]	[Bmax]	[Hmin]	[Hmax]	[V]	(kg)
1970	1590	2110	1570	1750	925	550



PŘÍLOHA 3 - 1/3

Technické parametry soustruhu SBL 500 CNC

Univerzální hrotový soustruh SBL 500 CNC



výrobce: TRENS, a.s.

Súvoz 1

Trenčín

911 32

Slovenská republika

Hlavní technické údaje:

Dostupné na: www.trens.sk

http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/vyuka/katalog/kat/ssbl500_1.html

Pracovní rozsah:

Oběžný průměr nad ložem	mm	630
Oběžný průměr nad suportem	mm	405
Vzdálenost mezi hroty	mm	845
Max. hmotnost obrobku		-
v hrotech/v opěrce	kg	420
Vřeteno		
Vrtání	mm	92
Rozsah otáček	min-1	3 000/4 200
Výkon hlavního motoru	kW	26,0/30,8
Suport		
Pracovní posuv		
podélný	mm.ot-1	1–10 000
příčný	mm.ot-1	1–10 000
Rychloposuv		
podélný	mm	24 000
příčný	Gew./1”	18 000
Stoupání řezaných závitů	mm.ot-1	0,01–99,99
Stroj		
Celkový příkon	kVA	52,0
Rozměry		
délka	mm	3 650

PŘÍLOHA 3 - 2/3

Technické parametry soustruhu SBL 500 CNC

šířka	mm	1 700
výška	mm	1 900
Hmotnost	kg	5 250

Popis a použití stroje udávaný výrobcem:

SBL je CNC soustruh se šikmým ložem, určený pro obrábění přírubových součástky upnutých letmo, zejména pro hřídelové součástky podepřené koníkem. V provedení nástrojové hlavy s poháněnými nástroji umožňuje i mimoosové obrábění. Základ stroje tvoří stojan trojúhelníkového průřezu. Vodící plochy a valivé vedení jsou plně zakryté posuvnými a teleskopickými kryty. Vřeteník tuhé konstrukce bez převodových stupňů. Křížový suport se pohybuje v osách X, Z pomocí kuličkových šroubů. Obrobek je upnut v hydraulicky ovládaném sklíčidle. Koník má hydraulicky vysouvanou hrotovou objímku. Stroj je vybaven mazáním, chlazením a osvětlením. Sběr třísek je zajištěn vanou a dopravníkem třísek. Koncepte stroje odpovídá požadavkům a předpisům EU. Řídicí systém SINUMERIK 810 D resp. FAGOR 8055 TC umožňuje plnohodnotné řízení stroje. Kompaktní panel řídicího systému TFT je vybaven barevným displejem. Program obrábění součástky lze tvořit z panelu řídicího systému s plnou podporou 2D grafiky s možností programování pomocí cyklů a DIN, paralelně s prací stroje podle jiného programu.

Normální příslušenství:

- Návod k obsluze
- Programovací manuál podle druhu řídicího systému
- Protokol přesnosti
- Prohlášení o shodě výrobku
- Dodací list s rozpisem normálního a zvláštního příslušenství (jak bylo objednáno)
- Lis mazací TYP 03125
- Přenášení stroje

Zvláštní příslušenství:

- Redukční vložka do vřetena Metr. 100/Morse 5
- Redukční vložka do vřetena Metr. 100/Morse 6
- Hrot otočný Morse 5
- Vidlice pro vyražení otočného hrotu z koníka
- Hrot pevný Morse 5
- Kotevní materiál pro stroj s T. D. 750
- Šroub M24x400 STN 02 1391
- Podložka 25 STN 02 1702.02
- Matice M24 STN 02 1401.22
- Nástrojové držáky „DIPLOMATIC“
- Nástrojové držáky „SAUTER“
- Lana pro přenášení stroje s T. D. 750

PŘÍLOHA 3 - 3/3

Technické parametry soustruhu SBL 500 CNC

Jiné provedení stroje:

- Dopravník třísek vpravo (nebo vlevo)
- Průchozí hydraulické upínání KOMTAS Ø 68 /RÖHM Ø 75
- Měřicí sonda pro měření nástrojů
- C osa se snímačem na vřetení
- Maximální soustružená délka v sklíčidle a koníku 1 500 mm
- Zvětšené vrtání vřetena Ø 105
- Y osa – zdvih ± 50 mm
- Lineární odměřování v ose X

PŘÍLOHA 4 - 1/2

Technické parametry CNC frézky F150 TC



Hlavní technické údaje:

Dostupné z: <http://shop.boukal.cz/kovoobrabeci-stroje/cnc-frezka-opti-f150-tc-zdarma-pistovy-kompresor-airstar-503-50>

Univerzální CNC Frézka F150 TC

CNC frézka - špičkové obráběcí centrum Optimum vyznačující se výkonem, rychlostí, přesností a vysokou spolehlivostí. Frézka je vybavená řídicím systémem SINUMERIK 828

- Tuhá konstrukce, rám stroje je vyroben z kvalitní litiny
- Lineární vedení ve všech osách pro vysokou rychlost posuvů
- Automatická výměna nástrojů – zásobník nástrojů na 16 pozic
- Vysoká spolehlivost
- Kvalitní litinový rám stroje
- Precizní křížový stůl
- Předepnuté kuličkové šrouby ve všech osách 32xP8xC3
- Servomotory ve všech osách
- MPG ruční ovladač
- Dopravník třísek
- Ofukovací pistole
- Komunikační rozhraní USB a RJ45
- Systém chlazení s kapacitou 210 l
- Výměník tepla elektrorozvaděče
- Laserové měření
- Oplach pracovního prostoru
- Řídicí systém SINUMERIK 828 D
- 2 roky záruka SIEMENS

Volitelné příslušenství (pouze při objednávce stroje):

4. /5. osa - 5. osa vybavená pohony SIEMENS, 3 čelistové sklíčidlo, jednoduchá instalace

PŘÍLOHA 4 - 2/2

Technické parametry CNC frézky F150 TC

4.osa - 4. osa vybavená pohonem SIEMENS, 3 čelistové sklíčidlo, Aretace, jednoduchá instalace

Chlazení středem nástroje - tlak 70 bar

Celkový příkon [W]: 25 000

Příkon motoru vřetene [W]: 12 000

Napájecí napětí [V] / [Hz]: 400 / 50

Maximální průměr:

nožové hlavy [mm]: 63

válcové frézy [mm]: 32

Plynulá změna otáček: ano

Kužel vřetene: ISO 40

Elektronické rozlišení [mm]: $\pm 0,005$

Otáčky vřetene [U.min-1]: $10 \div 10\,000$

Velikost pracovního stolu / velikost T-drážky [mm]: $900 \times 410 / 16$

Max. zatížení stolu [kg]: 350

Rozsah posuvu:

osy Z [mm]: 460

osy Y [mm]: 430

osy X [mm]: 760

Pracovní posuv [mm.min-1]: 10 000

Rychloposuv [mm.min-1]: 24 000

Opakovatelná přesnost [mm]: 0,005

Krouticí moment motoru:

osy Z [Nm]: 11

osy Y [Nm]: 6

osy X [Nm]: 6

Krouticí moment vřetene [Nm]: 57

Kapacita zásobníku nástrojů [ks]: 16

Doba výměny nástroje [s]: 3,5

Příkon motoru chladicího čerpadla [W]: 130

Nádrž na chladicí kapalinu [dm³]: 210

Řídicí systém: SIEMENS

Hlavní rozměry stroje [mm]: $2\,420 \times 2\,050 \times 3\,000$

Hmotnost [kg]: 3 020

PŘÍLOHA 5 - 1/4

Technické parametry hrotové brusky JUNKER EJ 11

Hrotová bruska JUNKER EJ 11



HLAVNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE

Oběžný Ø	mm	80
Vzdálenost mezi hroty	mm	150
Brousicí délka	mm	150
Obvodová rychlost kotouče	m/s	50
Max. průměr brousícího kotouče	mm	400
Min. průměr brousícího kotouče	mm	280
Šířka brousícího kotouče	mm	50
Upínací průměr	mm	127
Min. přísuv	mm	0,0001
Rychlost stolu	m.min-1	7,5
Zdvih pinoly koníka	mm	30
Zdvih posuvu stolu	mm	320
Max. hmotnost obrobku v hrotech	kg	5,0
Výkon hlavního elektromotoru	kW	5,5
Celkový příkon stroje	kVA	30,0
Rozměry stroje		
Délka	mm	1 400
Šířka	mm	2 850
Výška	mm	2 000
Hmotnost stroje	kg	5 000

HLAVNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE

		N	R
Ø pracovního vřetena	mm	130	140
Rozsah otáček pracovního vřetena	min-1	10 □ 2 500	10 □ 3 000
Výsun pracovního vřetena (W)	mm	800	560

PŘÍLOHA 5 2/4

Technické parametry hrotové brusky JUNKER EJ 11

Výkon pohonu vřetena	kW	37,0
Příčné přestavení stolu (X)	mm	2 000, 2 500, 3 000, 3 500
Svislé přestavení vřeteníku (Y)	mm	1 600, 2 000, 2 500
Podélné přestavení stojanu (Z)	mm	1 000, 1 250, 1 600
Upínací plocha stolu	mm	1 600 x 1 800, 1 800 x 2 240
Maximální hmotnost obrobku	kg	12 000
Rozsah pracovních posuvů (osy X, Y, Z, W)	mm.min-1	11 □ 6 000
Rozsah pracovních posuvů (osa B)	min-1	0,003 □ 1,5
Rychloposuv (osy X, Y, Z, W)	mm.min-1	110 000
Rychloposuv (osa B)	min-1	2,0
Celkový příkon stroje	kVA	86,0
Rozměry stroje		
Délka	mm	7 300
Šířka	mm	6 350
Výška	mm	4 550
Hmotnost stroje	kg	24 500
WHN 130 Q □ stroj s automatickou výměnou nástrojů		
Maximální počet nástrojů v zásobníku		60
Maximální Ø nástroje při plně obsazeném zásobníku	mm	125 □ 150
Maximální Ø nástroje při volných sousedních místech	mm	300
Maximální délka nástroje	mm	500
Maximální hmotnost nástroje	kg	25
WHN 130 MC □ obráběcí centrum s automatickou výměnou technologických palet		
Počet palet v systému		2
Upínací plocha palety	mm	1 600 x 1 600, 1 600 x 1 800
Maximální hmotnost obrobků	kg	8 000

UŽITÍ STROJE

Nová produkční hrotová bruska pro vnější broušení určená pro přesné obrábění malých součástí □ šikmým zápichem byla vyvinuta na základě nejnovějších zkušeností v broušení. Praktické zkušenosti v broušení do kulata, nové konstrukční metody a nejmodernější CNC technologie byly zcela uzpůsobeny potřebám brusiče.

Hospodárná a flexibilní koncepce stroje splňuje veškeré požadavky uživatele na jakékoliv technologické zadání v oblasti broušení, a□ se jedná o kusovou nebo sériovou výrobu.

K přednostem stroje patří:

Nový atraktivní design.

PŘÍLOHA 5 - 3/4

Technické parametry hrotové brusky JUNKER EJ 11

Kompaktní uspořádání stroje s minimálním požadavkem na plochu.
Tříbodový vyrovnávací systém integrován ve stojanu stroje.
Vysoce výkonné vysokofrekvenční brousicí vřeteno s integrovaným dynamickým vyvažovacím systémem, valivě uložené
Patentovaný 3bodový upínací systém zaručující přesnou a rychlou výměnu brousícího kotouče
Nejmodernější CNC řídicí systém typu Fanuc 210i popř. Siemens Sinumerik 840 D/volitelné
Digitální servopohony s absolutním odměřováním na všech osách
Jednotný ovládací panel při použití řídicích systémů Fanuc popř. Siemens

Druhy broušení:

Automatické

Ruční

Programy broušení:

Podélné broušení

Broušení zápichem

Broušení čel

Broušení tvarů

Programování:

Pomocí připraveným menu

Paralelní programování

DIN/ISO

Programy orovnávací:

Ruční, automatické

Kompenzace úbytku kotouče

Kompenzace úbytku diamantu

NORMÁLNÍ PŘÍSLUŠENSTVÍ

Brousicí kotouč Ø 400 x 40 x 127 mm

Hrot z tvrdokovu MK5 pro pracovní vřeteno

Hrot z tvrdokovu MK3 pro pinolu koníka

Sada nářadí pro obsluhu stroje

Sada klíčů k řídicímu systému

Klíč k elektroskříni

Sada dokumentace ke stroji

ZVLÁŠTNÍ PŘÍSLUŠENSTVÍ

Automatické vyvážení brousícího kotouče

Orovnávací systémy

Upínací systémy

Měřicí zařízení

Zakládací systémy

PŘÍLOHA 5 - 4/4

Technické parametry hrotové brusky JUNKER EJ 11

Chladicí/ čistící periferie

JINÉ PROVEDENÍ STROJE

Jiné barevné provedení stroje

Elektrická výzbroj pro jiné hodnoty než 400 V, 50 Hz

Provedení pro stížené klimatické podmínky

Palcové provedení stroje

Zahřívací cyklus stroje (bez obrobku)

NÁVODKY

Číslo návodky: 1.	Název operace:	Pořadí operace: 03/13
Pozice nástroje: 2, 3	SOUSTRUŽENÍ	Datum: 20. 4. 2013

Úsek	č. záběru:	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	l [mm]	t_{AS} [min]
soustružení	1	195	1770	0,3	1	21,5	0,044
vrtání	2	35	320	0,07	5	7	0,316
soustružení	3	195	1770	0,3	1	21,5	0,044
vrtání	4	35	320	0,07	5	7	0,316
	celkem:					57	0,72

NÁVODKY

Technical drawing of a mechanical assembly in cross-section. The drawing shows a shaft with a key and a housing. The shaft has a diameter of 15 mm. The housing has an inner diameter of 25.5 mm and an outer diameter of 31 mm. The key has a width of 18.6 mm and a height of 22.6 mm. The assembly is labeled with numbers 1 through 6.

Úsek	č. záběru:	v_c	n	f	a_p	l	t_{As}
		[m.min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]
soustružení	1	195	1770	0,3	2	23,8	0,043
soustružení	2	172	1770	0,3	1,3	24,6	0,043
soustružení	3	157	1770	0,3	1,375	24,6	0,043
soustružení	4	139	1770	0,3	2	20,6	0,038
soustružení	5	120	1770	0,3	2	20,6	0,038
soustružení	6	95	1770	0,3	1,25	20,6	0,038
	celkem:					134,8	0,243

NÁVODKY

Číslo návodky: 4.	Název operace:	Pořadí operace: 07/13.
Pozice nástroje: 6, 7	Frézování	Datum: 20. 4. 2013

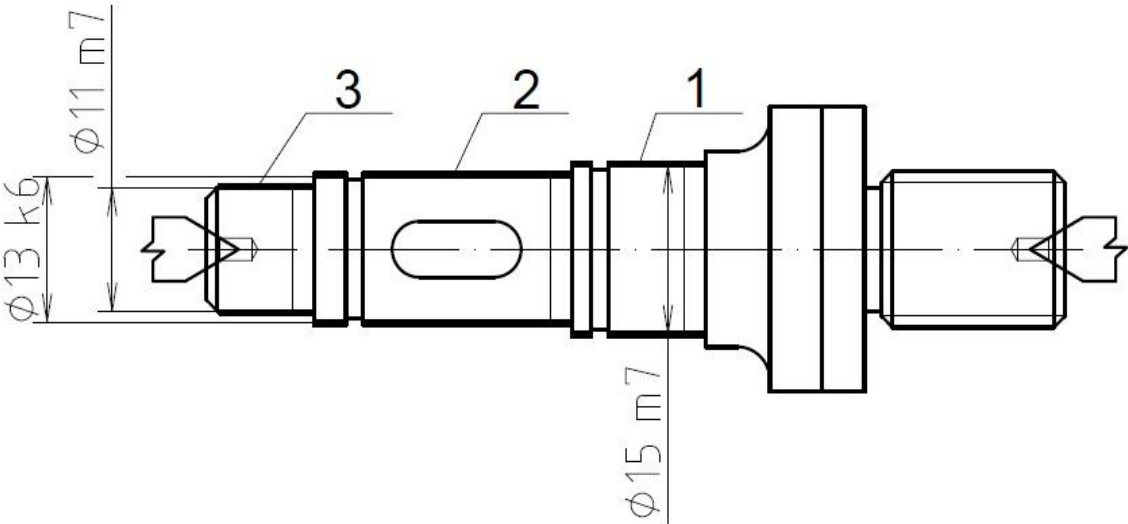
Úsek	č. záběru:	v_c	n	f	a_p	l	t_{AS}
		[m.min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]
frézování	1	75	1000	0.1	1	12	0,12
frézování	2	75	1000	0.1	1,4	12	0,12
frézování	3	75	1000	0.1	1,25	20	0,2
frézování	4	75	1000	0.1	1	28	0,28
frézování	5	75	1000	0.1	1	35	0,35
	celkem:					107	1,07

NÁVODKY

Číslo návodky: 1.	Název operace:	Pořadí operace: 08/13
Pozice nástroje: 2, 4, 5	SOUSTRUŽENÍ	Datum: 20. 4. 2013

PŘÍLOHA 6 - 6/6

NÁVODKY

Číslo návodky: 1.		Název operace:		Pořadí operace: 10/13			
Pozice nástroje: 8		BROUŠENÍ		Datum: 20. 4. 2013			
							
Úsek	č. záběru:	v_c	n	f	a_p	l	t_{As}
		[m.s ⁻¹]	[min ⁻¹]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]
broušení	1	18	3500	6	0.3	12,4	0,005
broušení	2	18	3500	6	0.3	24	0,001
broušení	3	18	3500	6	0.3	9	0,0001
	celkem:					45,40	0,0061

PŘÍLOHA 7

Technické parametry pásové pily Proma PPK-90U



Typ produktu: Pila pásová

Hmotnost 37 kg

Max. řezaný materiál (š x v) při 45° 38x38 mm

Max. řezaný materiál (š x v) při 90° 85x85 mm

Max. řezaný Průměr (90°)90,(45°)40 mm

Napětí 230 V

Příkon 400 W

Rozměr pásu 1300x13x0,6 mm

Řezání pod úhlem 90°,45°

Řezná rychlost 20-29-50 m/min.

Uvedené hodnoty platí při řezání dutého materiálu, doporučené hodnoty pro plné materiály jsou o 1/3 nižší.

Rozměry výrobku:

Hmotnost (kg): 35.000

Výška (cm): 47.00

Šířka (cm): 75.00

Hloubka (cm): 31.00

Rozměry balení:

Hmotnost (kg): 40.000

Výška (cm): 47.00

Šířka (cm): 31.00

Hloubka (cm): 75.00

PŘÍLOHA 8

Technické parametry CNC soustruhu CONCEPT turn 105



Pracovní plocha

Posuv v ose X / Y / Z: 55 / - / 172 mm
Průměr tyče: 18 mm
Max. průměr na otočení: 75 mm
Max. délka součásti s koníkem: 121 mm
Oběžný průměr nad ložem: 180 mm
Nástroj průřez vnějšího obrábění: 12 x 12 mm
Nástroj průřez pro vnitřní obrábění: Ø 16
Rychlý pohyb rychlost v ose X / Y / Z: 5 m / min
Práce ve směru X / Y / Z: 0-5 m / min
Posuvová síla v ose X / Y / Z: 2000 N

Hlavní vřeteno

Max. rychlost: 4000 rpm
Hlava vřetena: EMCO
Max. hnací výkon: 1,9 kW
Max. kroutící moment: 14 Nm

Koník

Quill zdvih: 120 mm

Nástrojová hlava

Počet nástrojů: 8

Obecné údaje

Rozměry (DxŠxV): 1135 x 1100 x 1030 mm
Hmotnost stroje: 350 kg

PŘÍLOHA 9

Technické parametry CNC frézky CONCEPT mill 55



Pracovní plocha

Posuv v ose X / Y / Z: 190/140/260 mm

Vzdálenost vřetena: 77 - 337 mm

Počet os: 3. (4. osa volitelně)

Rychlý pohyb rychlost v ose X / Y / Z: 2 m / min

Práce ve směru X / Y / Z: 0-2 m / min

Posuvová síla v ose X / Y / Z: 800/800/1000 N

Tabulka

Upínací plocha: 420 x 125 mm

Max. zatížení stolu: 10 kg

Frézovací vřeteno

Držák nástrojů: EMCO podobné SK30

Počet nástrojů: 8

Max. rychlost: 3500 rpm

Max. hnací výkon: 0,75 kW

Max. točivý moment: 3,7 Nm

Obecné údaje

Rozměry (DxŠxV): 980 x 960 x 1000 mm

Hmotnost stroje: 220 kg

PŘÍLOHA 10

Výrobní výkres upravené hřídele

PŘÍLOHA 11 – 1/4

CNC program

```
;SOUSTRUZIT STRANU B HORT 9.4.2013 POLOTOVAR DURAL 32X85
G54
TRANS Z85
G90 DIAMON G95 F0.1
T2 D1
M6
M4 S2000
G0 Z1
X35
G1 X32
CYCLE95("PODS",1,0,0,0.1,0.2,0.001,0.1,9,1,5,0)
G0 X60
Z10
T3 D1
M6
M4 S1500
G0 Z-10
G1 X14 F0.2
G1 X10.6 Z-10 F0.05
G1 X15 Z-10 F0.5
G1 X14 Z-16
G1 X12.4 Z-16 F0.05
G1 X16 Z-16 F0.5
G1 X16 Z-36.4
G1 X12.6 Z-36.4 F0.05
G1 X17 Z-36.4 F0.5
G1 X17 Z-41.2
G1 X14.3 Z-41.2 F0.05
G1 X19 Z-41.2 F0.5
G1 X19 Z-50.2
G1 X14.6 Z-50.2 F0.05
G1 X16 Z-50.2 F0.5
G0 X60
Z10
M30

;PODPROGRAM SOUSTRUZENI STRANY B NA HOTOVO BEZ ZAPICHU
G1 X9 Z0
G1 X11 Z-1
G1 X11 Z-10
G1 X13 Z-10
G1 X13 Z-36.4
G1 X15 Z-36.4
G1 X15 Z-50.2
G1 X17.5 Z-50.2
```

PŘÍLOHA 11 – 2/4

CNC program

```
G1 X17.5 Z-53.2
G2 X23.5 Z-56.2 CR=3
G1 X31 Z-56.2
G1 X31 Z-63
G1 X33
M17
;SOUSTRUZIT STRANU A BEZ ZAVITU,HORT 3.4.2013, POLOTOVAR DURAL 32X85
G57
TRANS Z34.8
G90 G95 F0.1 DIAMON
T2 D1
M4 S2000
G0 Z1
X33
CYCLE95("PODSA",1,0,0,0.1,0.2,0.001,0.1,9,1,5,0)
G0 X60
Z10
T3 D1
M4 S1000
G0 Z-20
G1 X32
G1 X11 Z-20 F0.05
G1 X17 Z-20 F0.5
G1 X17 Z-18.5
G1 X15 Z-18.5 F0.05
G1 X12 Z-20 F0.05
G1 X11
G1 X20 Z-20 F0.5
G0 X60
Z10
M30

;PODPROGRAM KE STRANE A POLOTOVAR DURAL 32X85
G1 X10 Z0
G1 X12 Z0
G1 X15 Z-1.5
G1 X15 Z-20
G1 X25.5 Z-20
G1 X25.5 Z-24
G1 X33
M17
```

PŘÍLOHA 11 – 3/4

CNC program

;POLOTOVAR 32X85, SOUSTRUZIT STRANU A NA HOTOVO (ZAVIT)

G57

TRANS Z34.8

G90 G95 F0.1

T2 D1

M4 S2000

G0 Z1

X17

G1 X14 Z1

G1 X14 Z-18

G0 X60

Z10

T4 D1

M4 S200

G0 X26

Z-17.2

G1 X14

CYCLE97(2,0,-17,0,14,14,0.2,5,1.3,0.1,0,0,30,3,3,1,0)

G0 X60

Z10

M30

;DRAZKA PRO PERO, UPNUTI DO SKLICIDLA CTVRTA OSA, UPNOUT ZA 16 S
DORAZEM DO CELISTI

G57

TRANS X-78.8 Y0 Z0

T6 D1

M3 S2000

G0 A0

G0 X24.7 Y0 Z10

POCKET1(8,6.5,0.2,3.6,0,14,5,2.5,24.7,,0,20,50,0.5,3,0,1,0,0,0)

G0 Z80

M30

PŘÍLOHA 11 – 4/4

CNC program

;DVE PLOCHY, UPNUTI DO SKLICIDLA CTVRTA OSA, UPNOUT ZA 14 S
DORAZEM DO CELISTI

G57

G90 G94 F200

TRANS X-78.8 Y0 Z0

T4 D1

M3 S2000

G0 A0

G0 X54 Y24 Z17

G1 Z14.5

G1 Y-24 F300

G1 Z13.5

G1 Y24

G1 Z12.75

G1 Y-24

G1 Z17

G0 A180

G1 Z14.5

G1 Y24

G1 Z13.5

G1 Y-24

G1 Z12.75

G1 Y24

G1 Z17

G0 Z80

M30