



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

VOLBA A OPTIMALIZACE ŘEZNÝCH PODMÍNEK PRO PROGRESIVNÍ VÝROBNÍ TECHNOLOGII ZALOMENÉHO HŘÍDELE

DATA SELECTION AND OPTIMISATION OF CUTTING CONDITIONS FOR
PROGRESSIVE PRODUCTION TECHNOLOGY OF THE CRANK SHAFT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. VÍT SONBERGER

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV PÍŠKA, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Vít Sonberger

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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 diplomové práce:

Volba a optimalizace řezných podmínek pro progresivní výrobní technologii zalomeného hřídele

v anglickém jazyce:

Data selection and optimisation of cutting conditions for progressive production technology of the crank shaft

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Volba a optimalizace řezných podmínek pro progresivní výrobní technologii, zvláště při aplikaci CNC strojů a obráběcích center.

Cíle diplomové práce:

Úvod

Teoretický rozbor stávající výrobní technologie

Optimalizace řezných podmínek pro vybrané progresivní výrobní technologie - CNC stroje a obráběcí centra

Experimentální verifikace

Závěry

Seznam odborné literatury:

SIVAKUMAR, K. SARAVANAN, R. NOORUL HAQ, A. Cost-tolerance modelling and optimisation of machining tolerance design through intelligent techniques In: International Journal of Machining and Machinability of Materials Volume 3, Number 1-2 / 2008, pp. 162 – 189.

William J. Zdeblick, R.E. De Vor a John F. Kahles A Comprehensive Machining Cost Model and Optimization Technique. CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 30, Issue 1, 1981, Pages 405-408

TLUSTY, J. Manufacturing Process and Equipment. 1st edition. Prentice Hall, 1999. 928 s. ISBN 10-0201498650.

FIALA, Petr. Modelování a analýza produkčních systémů. Praha: Professional Publishing, 2002. ISBN 80-86419-19-3.

GALLOWAY, S., F. ROWBOTHAM a M. AZHASHEMI. Operační management v praxi. Praha: ASPI, a.s., 2007. ISBN 978-80-7357-281-5.

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 19.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na návrh technologického postupu výroby skládaného zalomeného hřídele. Spočívá ve volbě nástrojů, volbě a optimalizaci řezných podmínek a návrhu technologických postupů pro výrobu jednotlivých součástí a následně sestavy. V sestavě jsou dále vypočítány potřebné parametry pro nalisování komponent. Zvolené řezné podmínky jsou experimentálně verifikovány.

Klíčová slova

Zalomený hřídel, obráběcí nástroje, řezné podmínky, technologický postup, nalisování čepu, experimentální verifikace

ABSTRACT

This thesis is focused on proposal of production process of assembled crankshaft. It consists of choice of tools, data selection and optimisation for manufacture of individual components and for the assembly. In the assembly are also calculated important parameters for pressing components. Selected cutting conditions are experimentally verified.

Keywords

Crankshaft, cutting tools, data selection, production process, pressing the pin, experimental verification

BLIOGRAFICKÁ CITACE

SONBERGER, Vít. *Volba a optimalizace řezných podmínek pro progresivní výrobní technologii zalomeného hřídele*. Brno 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 75 s. 11 příloh. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Volba a optimalizace řezných podmínek pro progresivní výrobní technologii zalomeného hřídele vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

26. 5. 2014

Datum

Bc. Vít Sonberger

PODĚKOVÁNÍ

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

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 ZALOMENÝ HŘÍDEL	10
1.1 Konstrukční zpracování	10
1.2 Spojení skládaných hřídelí	11
1.2.1 Lisované spojení	11
1.2.2 Šroubové spojení.....	12
1.2.3 Svařování skládaných zalomených hřídelí	12
1.3 Způsoby výroby	13
1.3.1 Odlévané	13
1.3.2 Kované	13
1.3.3 Obráběné.....	14
2 ZVOLENÝ ZPŮSOB VÝROBY	15
2.1 Rameno s delším čepem.....	15
2.1.1 Volba velikosti polotovaru.....	16
2.1.2 Volba nástrojů.....	17
2.1.3 Volba řezných podmínek	31
2.1.4 Technologický postup.....	33
2.2 Rameno s kratším čepem	37
2.2.1 Volba velikosti polotovaru.....	37
2.2.2 Volba nástrojů.....	38
2.2.3 Volba řezných podmínek	38
2.2.4 Technologický postup.....	40
2.3 Ojniční čep	43
2.3.1 Volba velikosti polotovaru.....	43
2.3.2 Volba nástrojů.....	44
2.3.3 Volba řezných podmínek	47
2.3.4 Technologický postup.....	48
3 SESTAVA	51
3.1 Nalisování ojničního čepu.....	52
3.1.1 Určení teploty ohřevu náboje.....	52

3.1.2	Pevnostní kontrola spoje	53
3.2	Nalisování kolíků	55
3.2.1	Určení lisovací síly	55
3.2.2	Pevnostní kontrola spoje	57
3.2.3	Volba nástrojů pro vystružení děr pro kolíky	58
3.3	Technologický postup	61
4	TŘÍSKA PŘI SOUSTRUŽENÍ	62
4.1	Tvar třísky při soustružení součástí zalomeného hřídele	62
4.1.1	Rameno s delším čepem	62
4.1.2	Rameno s kratším čepem	64
4.1.3	Ojniční čep	65
5	DISKUZE	67
5.1	Návrhy pokračování řešení	67
	ZÁVĚR	68
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	69
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	73
	SEZNAM PŘÍLOH.....	75

ÚVOD

Existuje několik způsobů výroby zalomeného hřídele a je třeba zvolit ten, který je za daných okolností nejvhodnější. Při volbě způsobu výroby je třeba zohlednit zejména počet výrobků ve výrobní dávce, podmínky, ve kterých bude výrobek používán a s tím spojené požadavky na přesnost výroby. Dále záleží na strojním vybavení firmy, ve které se má hřídel vyrábět, případně je třeba zvážit, vyplatí-li se nechat hřídel vyrobit v kooperaci, či pořídit potřebné vybavení.

Pro zvolený postup se jednotlivé jeho části optimalizují v závislosti na počtu kusů výrobků. Zejména při hromadné výrobě je výhodné promyslet podrobně jednotlivé operace a dopracovat se k co neproduktivnějšímu způsobu výroby. Při malosériové a kusové výrobě optimalizace spočívá ve volbě vhodných nástrojů, rezných podmínek, případně návrhu různých přípravků usnadňujících a tím i urychlujících výrobu.

Tato práce je zaměřena na technologický postup výroby osmi kusů zalomeného hřídele, který byl původně navrhnout jako jedna samostatná součást. S ohledem na vybavení firmy bylo třeba hřídel navrhnout skládaný, přičemž jednotlivé díly jsou vyrobeny třískovým obráběním a následně je sestaven zalomený hřídel požadovaného tvaru a rozměrů. Hřídel pracuje při nízkých otáčkách (14 min^{-1}), není tedy třeba se obávat případných vibrací způsobených nepřesnostmi, které mohou při výrobě vzniknout. V práci jsou navrženy technologické postupy a podmínky pro výrobu jednotlivých dílů a následně pro jejich sestavení. V části experimentální verifikace je pak kontrolován tvar třísky vzniklé při soustružení jednotlivých dílů.

1 ZALOMENÝ HŘÍDEL

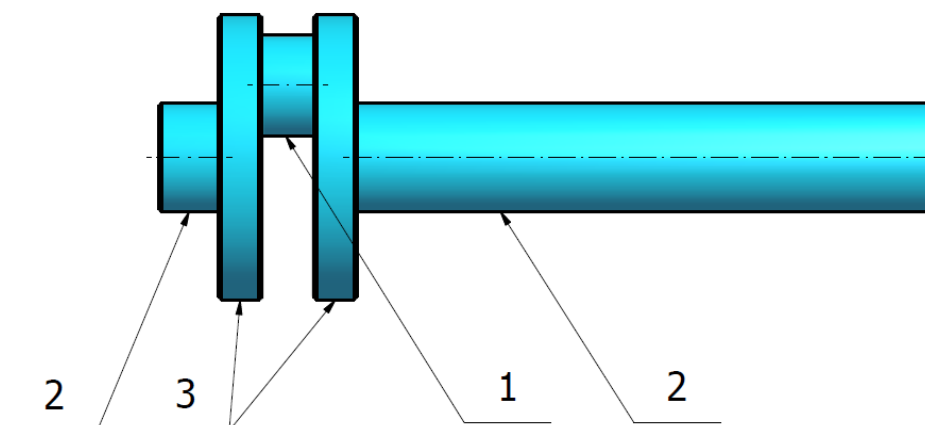
1.1 Konstrukční zpracování

Zalomený hřídel (viz. obr. 1) je tvořen těmito třemi základními částmi:

Ojniční čep – Přijímá, případně předává energii ojnici. U skládaných zalomených hřídelí bývá někdy dutý, z důvodu zmenšení nevyvážených rotujících hmot a zvýšení únavové pevnosti [1].

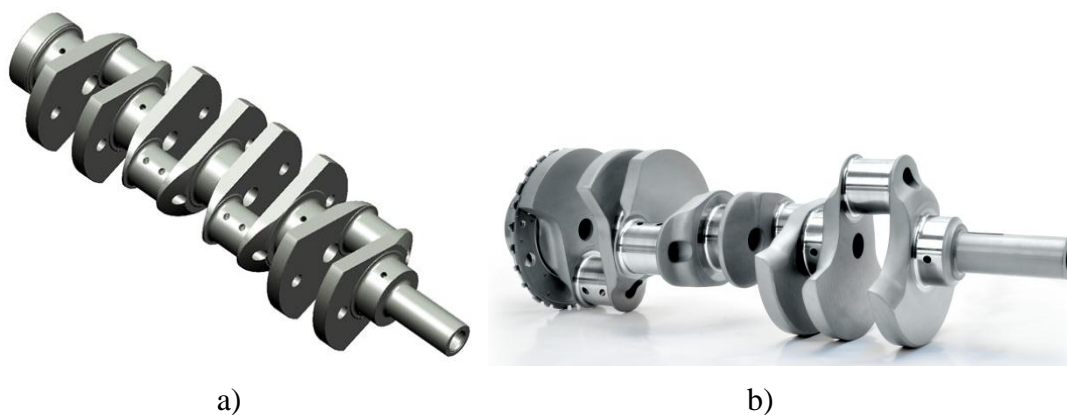
Hlavní čep – Je uložen v hlavních ložiskách. Připojen k rotační části zařízení.

Ramena zalomeného hřídele – Propojují hlavní a ojniční čep. Částečně vyvažuje síly vzniklé při rotaci, čímž se snižuje namáhání hřídele a ložisek. Vyvážení je důležité zejména u rychloběžných strojů [1].



Obr. 1 Schéma zalomeného hřídele. 1 - ojniční čep, 2 - hlavní čep, 3 - ramena.

Existují zalomené hřídele jednoduché a vícenásobně zalomené. V případě vícenásobně zalomených hřídelí může být zalomení provedeno v jedné rovině (viz obr. 2.a), nebo více rovinách (viz obr. 2.b), přičemž druhý typ se používá ve vidlicových motorech [6].



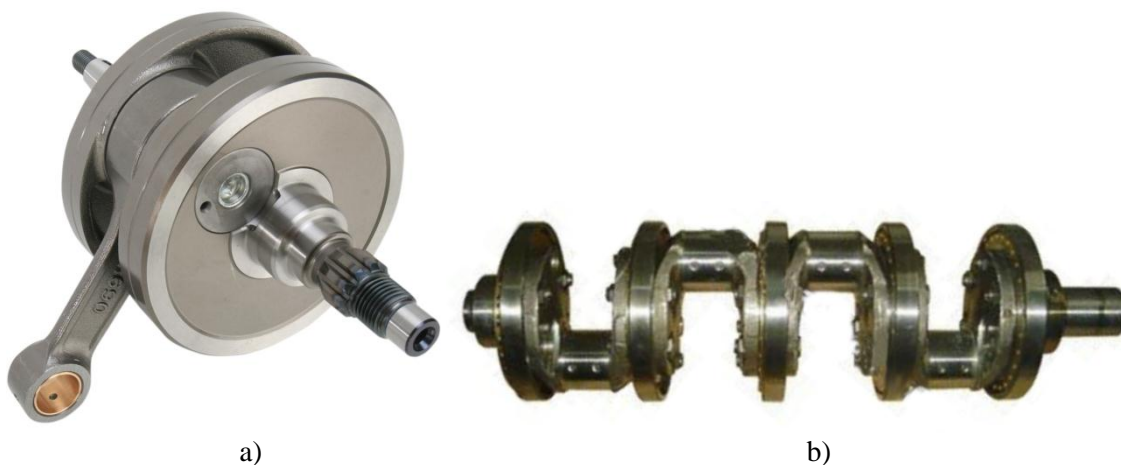
Obr. 2 Zalomení hřídele: a) v jedné rovině [2], b) ve více rovinách [3].

Většina zalomených hřídelí, zejména vícenásobně zalomené, je vyrobena z jednoho kusu materiálu. Nejčastěji kované, nebo lité.

V určitých zařízeních se ale používají skládané zalomené hřídele, které jsou sestavené z několika dílů. Jedná se zejména o jednoválcové motory (viz obr. 3.a), ale i víceválcové (viz obr. 3.b).

Skládaný hřídel jednoválcového motoru může být sestaven ze dvou, nebo tří dílů. Dvoudílný hřídel se skládá z části obsahující hlavní čep, jedno rameno a ojnicí čep, druhá část je hlavní čep a rameno. V třídílném zalomeném hřídeli je ojnicí čep jako samostatný díl [8].

Příkladem víceválcového skládaného hřídele jsou klikové hřídele motorů Tatra (viz obr. 3.b). Zde se využívá možnosti poskládat klikovou hřídel pro konkrétní počet válců. Takto poskládaný hřídel postrádá hlavní čepy, je tedy poměrně krátký, což lze s výhodou použít ve vidlicových motorech [1].



Obr. 3 Skládané hřídele: a) jednoválcového motoru [19], b) víceválcového motoru [20].

1.2 Spojení skládaných hřídelí

Jednotlivé části skládaných zalomených hřídelí mohou být spojeny rozebíratelně i nerozebíratelně. Výhodou spojení dílů hřídele rozebíratelným spojem je možnost výměny opotřebovaných částí [7]. Spoj může být proveden nalisováním, pomocí šroubů, případně zajištěn svářením nebo různými tvarovými prvky [9]. V každém případě je nutné zajistit, aby hřídel nebyl deformovaný a díly nebyly pootočený, v opačném případě by docházelo k nadměrnému zatěžování čepů a ložisek.

1.2.1 Lisované spojení

Lisovaný spoj neboli lisované uložení s přesahem spočívá v nalisování čepu do díry s menším průměrem než čep. Mezi stykovými plochami vzniká tlak a adhezní síly. Spoj umožňuje přenášet rázové i střídavé krouticí momenty s velkými obvodovými silami. U menších a středních přesahů je možné nalisování provést dostatečně silným lisem za studena. Spojení s velkým přesahem se provádí ohřátím vnější části, podchlazením vnitřní části, případně kombinací obojího [11].

Zahřátí vnější části spojů se v případě složitých a na čisto obrobených součástí provádí v oleji, v solné lázni, nebo v plynové či elektrické peci. Tvarově jednoduché součásti a díly, které se po spojení opracovávají, mohou být ohřívány plamenem. Kalené a zušlechtnuté součásti se nesmí ohřívát na popouštěcí teplotu [11].

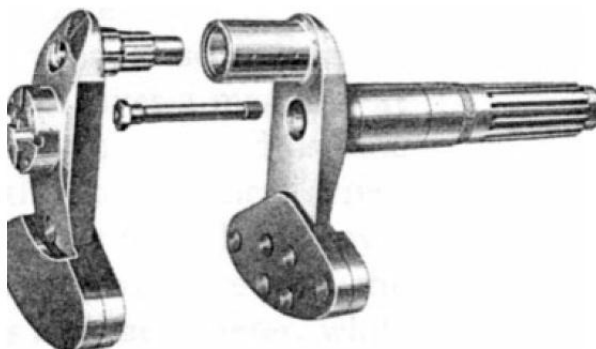
Podchlazení vnitřní části je možné provést v pevném oxidu uhličitém (tzv. suchý led), v kapalném dusíku, nebo v kapalném vzduchu. Používá se tehdy, když vnější součást není možné ohřát, případně u kombinace zahřátí a podchlazení u uložení s velkým přesahem, nebo pokud vnější součást nelze ohřát na dostatečnou teplotu [11].

1.2.2 Šroubové spojení

Konstrukční zpracování šroubového spojení částí zalomených hřídelí je možno provést několika způsoby.

Na obr. 3.b je klikový hřídel šestiválcového motoru Tatra, který je složen z několika segmentů pomocí lícovaných šroubů [1].

Jiný způsob šroubového spojení je zobrazen na obr. 4. Zde je spojení menšího dvoudílného zalomeného hřídele provedeno jedním šroubem procházejícím skrz ojniční čep. Správné natočení dílů vůči sobě je zabezpečeno drážkami. Pro eliminaci torzních vibrací jsou použity krátké čepy s velkým průměrem [12].



Obr. 4 Zalomený hřídel spojený dlouhým šroubem.

1.2.3 Svařování skládaných zalomených hřídelí

Používá se k zamezení vzájemného natáčení lisovaných hřídelí. Kromě natáčení mají někdy ramena zalomeného hřídele tendenci pohybovat se proti sobě v axiálním směru.

Svařování je poměrně běžný způsob, jak zabránit pohybu jednotlivých částí, musí se ale předejít některým rizikům. Je-li do zalomeného hřídele přivedeno příliš mnoho tepla, může dojít k narušení struktury materiálu, což vede ke snížení únavové pevnosti materiálu a tím životnosti hřídele. Vlivem tepla se také mohou součásti deformovat. Hřídel by měl být svařen hned po sestavení, jinak může dojít k vzájemnému pohybu částí a bude svařen nepřesně.

Svařování se provádí na vnější straně ramen, skrze něž prochází ojniční čep. Svar nebývá kolem celého čepu, ale provede se několik bodových svarů, či přerušovaný svar (viz obr. 5).

I v případě, že je svar proveden dokonale, je zde nevýhoda, že musí být při nutnosti rozebrání zalomeného hřídele odbroušen [9].



Obr. 5 Svařovaný zalomený hřídle [10].

1.3 Způsoby výroby

Existují tři základní způsoby výroby zalomených hřídlel, případně jejich částí:

1.3.1 Odlévané

Vzhledem k menší pevnosti litiny je tento způsob vhodný zejména pro hřídle s menším zatížením. Jsou odlévány z tvárné litiny, či ocelolitiny do pískových forem. Pro plochou zalomenou hřídle se používá dvoudílná forma, hřídle zalomená v příčných rovinách potřebuje pro odlití složitější formu složenou z více dílů. Většinou následuje tepelné zpracování hlavních a ojnicích čepů pro dosažení lepší odolnosti proti opotřebení [4].

Výhodou jsou malé přídavky na opracování materiálu, dobrá obrobiteľnosť, veľká ohybová tuhosť a schopnosť materiálu tlumit prenášané vibrácie [1]. Díky kuličkovému grafitu ve struktuře litiny je povrch hřídlel samomazný. Při sériové výrobě se jedná o poměrně efektivní způsob výroby.

Nevýhoda je menší tuhosť odlévaných zalomených hřídlel ve srovnání s kovanými [13].

1.3.2 Kované

Jedná se o robustnější hřídle než odlévané, vzhledem k tomu že se používají pro větší zatížení. Používaný materiál je legovaná ocel, obsahující všechny potřebné legující prvky. Na rozdíl od odlévání je možné použít kovy, které nejsou při roztavení tekuté. Provádí se na hydraulickém lisu, pomocí sady kovacíh zápustek. Jakmile jsou zápustky stlačeny, kov je velmi silně zhutněn, což má za následek zhuštění struktury zrn. Vzhledem k tomu, že je celý materiál vtlačen do tvaru zápustek, struktura zrn kopíruje tvar hřídle. Materiál je houževnatější a lépe uspořádaný než při odlévání [4]. Hmotnost kovaných hřídlel ve srovnání s litými při stejném objemu je přibližně o 10 % větší, což je způsobeno větší hustotou oceli proti litině [13].

Výroba kovaných zalomených hřídlel je velmi nákladná, příčinou je především vysoká cena zápustek [4].

Po kování se hřídle tepelně upravuje podobně jako po odlévání. V současné době se používá proces nazývaný indukční kalení. Ve srovnání s kalením plamenem se jedná o mnohem rychlejší a čistší způsob. Cívka je umístěna kolem čepu. Proud procházející

cívkou způsobí ohřátí materiálu. Jakmile se dosáhne požadované teploty, je přivedena chladicí kapalina a čep se rychle ochladí. Materiál je zpevněn v předem stanovené hloubce, jako při kalení plamenem. Při indukčním kalení není nebezpečí přehřátí, nebo spálení povrchu [4].

1.3.3 Obráběné

Zalomené hřídele obráběné z jednoho kusu materiálu se v současnosti vyrábí na soustružnicko-frézovacích centrech, kdy se nejprve soustruží obrysy, které jsou symetrické podle osy hlavního čepu, následně se při pomalém otáčení kolem osy hlavního čepu frézují ojnicí čepy a tvarové prvky ramen [5]. Polotovar je kulatina z vysoce kvalitní oceli, obsahující legující prvky, potřebné pro požadované vlastnosti. Tyto hřídele jsou ve srovnání s ostatními velmi drahé. Hlavním důvodem je doba, kterou trvá jejich obrábění a také skutečnost, že se odstraní přibližně 70% materiálu ve formě třísek.

Tímto způsobem jsou hřídele vyrobeny s velkou přesností. Polotovar je možné rentgenovat a provádět během obrábění různé zkoušky. Tím se zajistí, že výsledná hřídel bude mít dokonalý tvar, neobsahuje žádné nepravidelné zóny nebo dutiny. Obrábění je nejlépe ovladatelný proces ze všech, lze předcházet vnitřnímu pnutí a defektům během obrábění až ke konečnému opracování. Čepy obráběných hřídelí se obvykle vytvrzují pomocí procesu vytvrzovací nitridace povrchu po opracování na požadované tolerance. Čepy se zahřejí v atmosféře plynného amoniaku, dusík obsažený v plynu se vstřebá do oceli. Legující prvky blízko povrchu tvoří nitridy a vytvoří tak tvrdou vrstvu na povrchu čepu. Po nitridování se povrch materiálu jemně přebrousí [4].

2 ZVOLENÝ ZPŮSOB VÝROBY

Zalomený hřídel je zhotoven skládaný ze tří dílů. Jednotlivé díly se vyrábí třískovým obráběním a jsou slisovány do sestavy. Ojniční čep je samostatný díl a lisuje se do ramen s hlavními čepy. Pro zajištění správného natočení ramen vůči sobě při lisování je na zalisované části ojničního čepu frézována ploška. Ojniční čep je zajištěn kolíky nalisovanými skrz zalisovanou část ojničního čepu a rameno.

Výrobní dávka je 8 kusů zalomeného hřídele, technická dokumentace je v příloze.

Při výrobě zalomeného hřídele jsou použita tato zařízení:

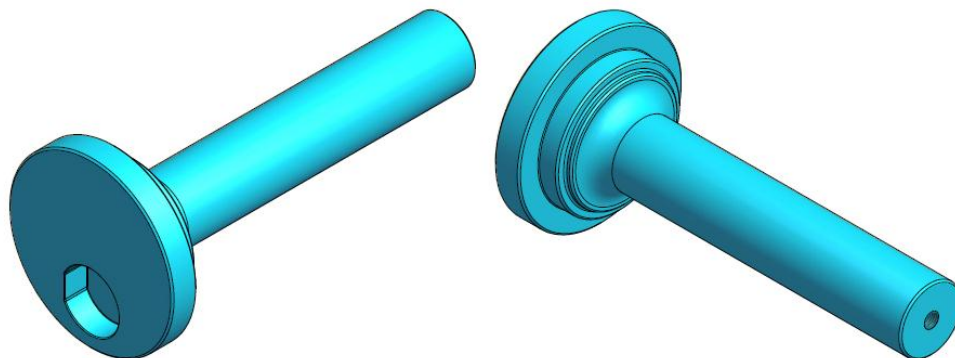
- CNC soustruh TCH 500 PRIME / 80 - 2500,
- vertikální obráběcí centrum MCFV 1260,
- pásová pila TMJ PP 301,
- bruska hrotová BUT-63,
- horizontální vyvrtávačka H63
- elektrohydraulický lis WZWP-100EVx4.

Technické informace o zařízeních jsou v přílohách.

2.1 Rameno s delším čepem

Č. v. BP-00-01 – viz přílohy.

Model součásti viz obr. 6.



Obr. 6 Rameno s delším čepem.

Rotační plochy včetně otvoru se závitem jsou zhotoveny na CNC soustruhu TCH 500 PRIME. Přídavek na dokončení 1,3 mm je zvolen dle grafu pro přídavky na obrábění [15]. Plocha $\varnothing 75 \text{ h6 mm}$ se po kompletaci sestavy brousí na hrotové brusce BUT-63. Dle tabulky přídavků pro broušení [14], je na broušení ponechán přídavek na průměr 0,4 mm a povrch obroben na drsnost $R_a 3,2 \mu\text{m}$.

Zahloubení pro nalisování ojničního čepu se frézuje na obráběcím centru MCFV 1260. Přídavek na dokončování 0,7 mm byl volen dle tabulky přídavků pro frézování [15].

2.1.1 Volba velikosti polotovaru

Přídavek na průměr [14]

$$Z_{\varnothing} = \frac{5 \cdot d}{100} + 2 = \frac{5 \cdot 198}{100} + 2 = 11,9 \text{ mm} \quad (1)$$

kde: Z_{\varnothing} [mm] - přídavek na průměr,
 d [mm] - průměr hotového obrobku.

Volba průměru polotovaru

$$D_p = d + Z_{\varnothing} = 198 + 11,9 = 209,9 \text{ mm} \quad (2)$$

kde: D_p [mm] - průměr polotovaru,
 d [mm] - průměr hotového obrobku,
 Z_{\varnothing} [mm] - přídavek na průměr.

Volím $D_p = 210$ mm.

Přídavek na zarovnání čela

$$X_l = tg\alpha_p \cdot D_p = tg1^\circ \cdot 210 = 3,666 \text{ mm} \quad (3)$$

kde: X_l [mm] - přídavek na zarovnání čela.
 α_p [°] - přímost řezu pásové pily,
 D_p [mm] - průměr polotovaru.

Volba délky polotovaru

$$L_p = l + 2 \cdot X_l = 429 + 2 \cdot 3,666 = 436,332 \text{ mm} \quad (4)$$

kde: L_p [mm] - délka polotovaru,
 l [mm] - délka výrobku,
 X_l [mm] - přídavek na zarovnání čela.

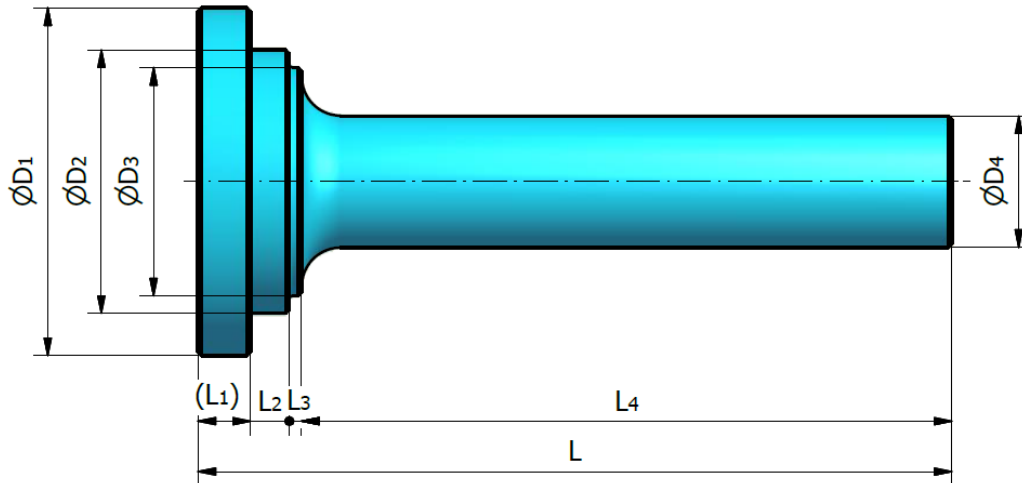
Volím $L_p = 437$ mm.

Rozměry polotovaru: $\varnothing 210 - 437$

Materiál: 14 220 (kruhová ocel válcovaná za tepla ČSN 42 5510-1)

2.1.2 Volba nástrojů

Výpočet štíhlosti hřídele [17]



Obr. 7 Osazení hřídele.

Střední průměr

$$D_s = \frac{D_1 \cdot L_1 + D_2 \cdot L_2 + D_3 \cdot L_3 + D_4 \cdot L_4}{L} = \frac{198 \cdot 30 + 150 \cdot 22 + 130 \cdot 7 + 75 \cdot 370}{429} = 88,34 \text{ mm} \quad (5)$$

- kde: D_s [mm] - střední průměr,
 $D_{1...4}$ [mm] - průměry osazených částí obrobku,
 $L_{1...4}$ [mm] - délky úseků daných průměrů,
 L [mm] - délka obrobku.

Redukovaná štíhlost

$$\lambda_{red} = \frac{L}{D_s} = \frac{429}{88,34} = 4,85 [-] \quad (6)$$

- kde: λ_{red} [-] - redukovaná štíhlost,
 L [mm] - délka obrobku,
 D_s [mm] - střední průměr.

S ohledem na graf dle diagramu experimentálně stanovených hodnot a_{pmax} [17] je volena destička pro hloubku řezu $a_p \sim 5$ mm při posuvu $f \sim 0,5$ mm. Graf je určen pro soustružení nástrojem s vyměnitelnou břitovou destičkou s úlem $\kappa_r \sim 90^\circ$ a poloměrem špičky $r_\epsilon = 0,8$ mm [17].

Břítová destička - soustružení nahrubo

Stupeň štíhlosti hřídele, vypočítaný ve vztahu (6) je poměrně nízký, proto je možné použít destičku s větším poloměrem špičky než 0,8 mm, přičemž při obrábění na $\varnothing 75$ mm se zvolí menší hloubka řezu, aby se předešlo vzniku vibrací. Větší poloměr špičky zabezpečuje lepší odolnost destičky proti deformaci. Umožňuje větší hodnoty posuvu, zároveň je ale zapotřebí větší tuhost soustavy stroj – nástroj – obrobek [17].

Součást se bude hrubovat jedním řezným nástrojem. To znamená, že jsou zapotřebí dva směry posuvu, pro soustružení válcové a čelní plochy. Jedná se o poměrně stabilní výrobek, proto se použije destička s negativní geometrií.

Hrubování je nejrozsáhlejší soustružnická operace na této součásti, proto jsou zde porovnány čtyři řezné destičky od dvou různých výrobců. Výpočet byl proveden na příkladu soustružení válcové plochy z průměru 210 mm na 75 mm, při největší hloubce řezu udávané výrobcem, střední hodnotu posuvu a řeznou rychlostí určenou dle katalogu výrobce.

Pro porovnání jsou vybrány dvě destičky z katalogu CoroKey, od firmy Sandvik [16] (viz tab. 1), a dvě z katalogu Soustružení, firmy Pramet [17] (viz tab. 2). Jedná se o destičky typu C, s úhlem špičky 80° , umožňující úhel nastavení břitu 95° v obou směrech obrábění. Destičky typu C jsou k dispozici v oboustranném provedení (CNMG) a jednostranném (CNMM).

Tab. 1 Parametry destiček Sandvik [16].

Destička	Hloubka řezu	Posuv na otáčku	Řezná rychlost
	a_p [mm]	f_n [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
CNMG 12 04 12 – PR – GC4325	7	0,5	270
CNMM 12 04 12 – PR – GC4325	7,5	0,5	250

Tab. 2 Parametry destiček Pramet [17].

Destička	Hloubka řezu	Posuv na otáčku	Řezná rychlost
	a_p [mm]	f_n [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
CNMG 12 04 12E – RM – T9315	7	0,5	250
CNMM 12 04 12E – OR – T9315	8	0,5	250

Výpočet ekonomie destiček [18]

Výpočet byl proveden v programu MS Excel, zde jsou uvedeny výpočtové vztahy.

Vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.

Náklady na jeden řezný břit

$$C_T = \frac{C_1}{N} \quad (7)$$

kde: C_T [Kč] - náklady na řezný břit,
 C_1 [Kč] - náklady na destičku,
 N [-] - počet břitů.

Strojní čas pro jeden díl

$$t_{AS} = \frac{l \cdot i}{n \cdot f} \quad (8)$$

kde: t_{AS} [min] - strojní čas pro jeden díl,
 l [mm] - délka obráběného úseku,
 i [-] - počet úběrů,
 n [min^{-1}] - otáčky vřetena,
 f [mm] - posuv nástroje na otáčku.

Počet břitů, potřebný pro výrobu dávky

$$N_C = \frac{B \cdot t_{AS}}{T} \quad (9)$$

kde: N_C [-] - počet břitů, potřebný pro výrobu dávky,
 B [-] - počet dílů v dávce,
 t_{AS} [min] - strojní čas pro jeden díl,
 T [min] - trvanlivost ostří.

Náklady na nástroje na jeden díl

$$C_{TC} = \frac{N_C \cdot C_T}{B} \quad (10)$$

kde: C_{TC} [Kč] - náklady na nástroje na jeden díl,
 N_C [-] - počet břitů, potřebný pro výrobu dávky,
 C_T [Kč] - náklady na jeden břit,
 B [-] - počet dílů v dávce.

Strojní náklady na jeden díl

$$C_{MC} = E_z \cdot t_{AS} \quad (11)$$

kde: C_{MC} [Kč] - strojní náklady na jeden díl,
 E_z [Kč·min⁻¹] - náklady na výrobní zdroje,
 t_{AS} [min] - strojní čas pro jeden díl.

Celkové náklady na dávku

$$C_B = (C_{TC} + C_{MC}) \cdot B \quad (12)$$

kde: C_B [Kč] - celkové náklady na dávku,
 C_{TC} [Kč] - náklady na nástroje na jeden díl,
 C_{MC} [Kč] - strojní náklady na jeden díl,
 B [-] - počet dílů v dávce.

Ve výpočtu byly použity tyto hodnoty pro ekonomii stroje:

náklady výrobních zdrojů za minutu $E_z = 8,3 \text{ Kč} \cdot \text{min}^{-1}$,

velikost dávky $B = 8 \text{ ks}$,

základní trvanlivost ostří: $T = 15 \text{ min}$.

Tab. 3 Porovnání ekonomie obrábění.

Destička	C_1 [Kč]	C_T [Kč]	N [-]	t_{AS} [min]	i [-]	N_C [-]	C_{TC} [Kč]	C_{MC} [Kč]	C_B [Kč]
CNMG 12 04 12 - PR	305	76,3	4	19,55	10	11	104,8	162,9	2141,9
CNMM 12 04 12 - PR	305	152,5	2	19,00	9	11	209,7	158,3	2944,1
CNMG 12 04 12E - RM	265	66,3	4	21,11	10	12	99,4	175,9	2202,4
CNMM 12 04 12E - OR	265	132,5	2	19,00	9	11	182,2	158,3	2724,2

Popis k tabulce:

C_1 [Kč] - náklady na destičku,
 C_T [Kč] - náklady na řezný břit,
 N [-] - počet břitů,
 t_{AS} [min] - strojní čas pro jeden díl,
 N [-] - počet břitů,
 i [-] - počet úběrů,

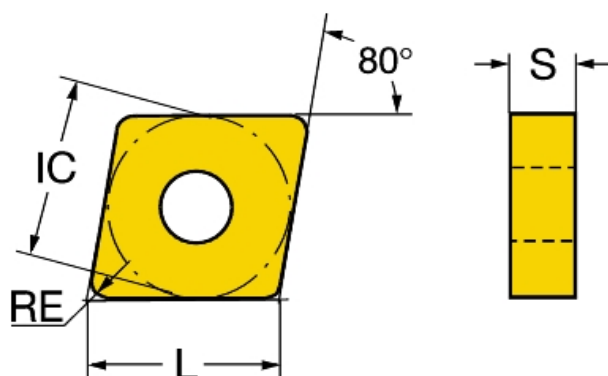
- N_C [-] - počet břitů, potřebný pro výrobu dávky,
 C_{TC} [Kč] - náklady na nástroje na jeden díl,
 C_{MC} [Kč] - strojní náklady na jeden díl,
 C_B [Kč] - celkové náklady na dávku.

Zvolená destička

Na základě předchozího porovnání destiček byla jako nejvhodnější zvolena oboustranná destička CNMG 12 04 12 – PR z katalogu CoroKey od firmy Sandvik. Schéma destičky viz obr. 8, rozměry destičky a doporučené řezné podmínky viz tab. 4 a 5.

Materiál

Třída materiálu je GC4325, určená pro soustružení oceli. Jádrem tvoří substrát ze slinutých karbidů, s vlastnostmi s ohledem na bezpečnost a spolehlivost při univerzálním použití. Následují tři povlakové vrstvy. Základní povlaková vrstva jemnozrnného MT-TiCN, dále povlak z oxidu hlinitého - InveloTM a vrstva TiN, pro indikaci velikosti opotřebení [27]



Obr. 8 Břitová destička CNMG - PR [29].

Parametry [29]:

typ operace	hrubování,
orientace	negativní,
počet břitů	4,
počet stran	2,
třída materiálu	4325,
úhel špičky	80 °,
základní trvanlivost:	15 min.

Tab. 4 Rozměry destičky [29].

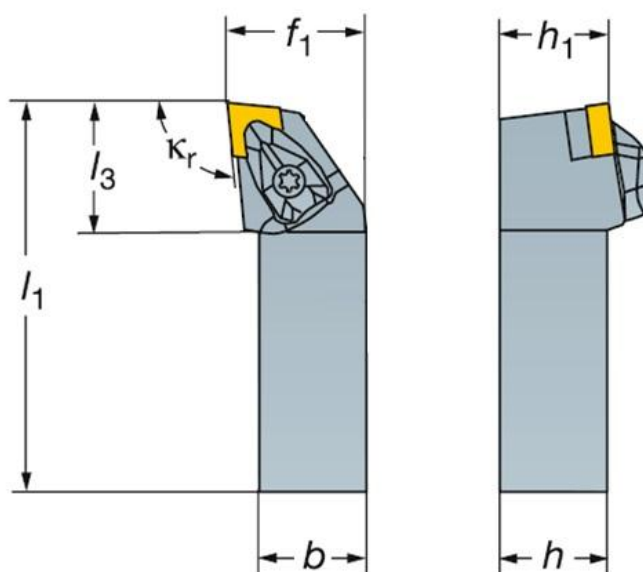
Označení	L [mm]	S [mm]	IC [mm]	RE [mm]
CNMG 12 04 12 - PR	12,9	4,76	12,7	1,2

Tab. 5 Doporučené řezné podmínky [16].

a_p [mm]	f_n [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
1-7	0,25-0,7	270

Držák nástroje

Pro zvolenou destičku byl vybrán levostranný držák DCLNL 2525M12 z katalogu Corokey. Jedná se o držák typu T-MAX P s pevnou upínkou, pro negativní VBD. Schéma držáku viz obr. 9, rozměry viz tab. 6.



Obr. 9 Schéma držáku DCLNL (pravostranné provedení) [16].

Tab. 6 Rozměry držáku destičky [16].

Označení	h [mm]	h ₁ [mm]	b [mm]	l ₁ [mm]	l ₃ [mm]	f ₁ [mm]
DCLNL 2525M12	25	25	25	150	32	32

Břítová destička - dokončování

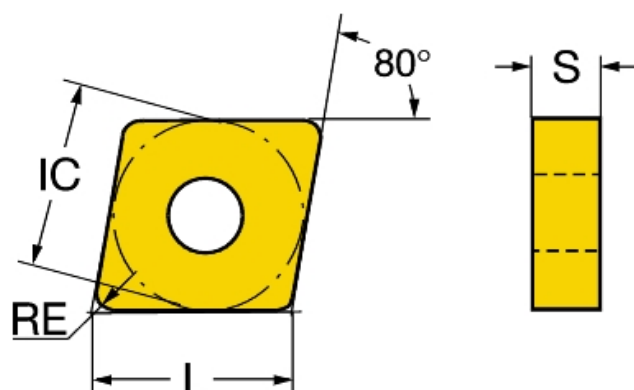
Pro soustružení na čisto je použita oboustranná destička CNMG 12 04 08 – PF z katalogu CoroKey od firmy Sandvik. Schéma destičky viz obr. 10, rozměry destičky a doporučené řezné podmínky viz tab. 7 a 8.

Materiál

Třída materiálu je GC4315, určená pro soustružení oceli. Jádrem tvoří substrát ze slinutých karbidů, odolný vysokým teplotám vznikajících při velkých řezných rychlostech a dlouhých časech řezu. Následují tři povlakové vrstvy stejně jako u destičky na hrubování. Základní povlaková vrstva jemnozrného MT-TiCN, dále povlak z oxidu hlinitého - InveloTM a vrstva TiN, pro zjištění velikosti opotřebení [27].

Parametry [30]:

typ operace	dokončování,
orientace	negativní,
počet břitů	4,
počet stran	2,
třída materiálu	4315,
úhel špičky	80 °,
základní trvanlivost:	15 min.



Obr. 10 Břitová destička CNMG – PF [30].

Tab. 7 Rozměry destičky [30].

Označení	L [mm]	S [mm]	IC [mm]	RE [mm]
CNMG 12 04 08 – PF	12,9	4,76	12,7	0,8

Tab. 8 Doporučené řezné podmínky [16].

a_p [mm]	f_n [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
0,3-1,5	0,1 – 0,4	360

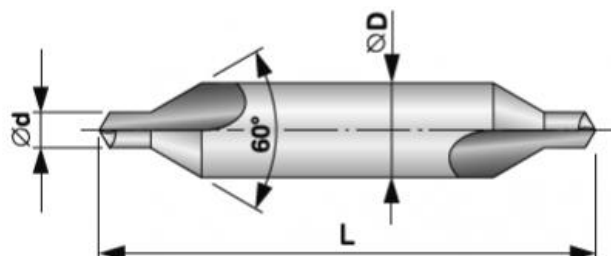
Pro tuto destičku byl vybrán levostranný držák DCLNL 2525M12, který je stejný jako pro hrubovací destičku. Držák je popsán výše.

Středící vrták ČSN 22110

Pro výrobu středících důlků se použije standardní středící vrták 60°, tvar A, dle ČSN 22110. Schéma vrtáku viz obr. 11, rozměry destičky a doporučené řezné podmínky viz tab. 9 a 10.

Parametry [25]:

typ	A,
úhel	60 °,
materiál	HSS – rychlořezná ocel.



Obr. 11 Schéma středícího vrtáku ČSN 221110 [25].

Tab. 9 Rozměry středícího vrtáku [25].

Označení	d [mm]	D [mm]	L [mm]
A100500V000S	5	12,5	63

Tab. 10 Doporučené řezné podmínky [15].

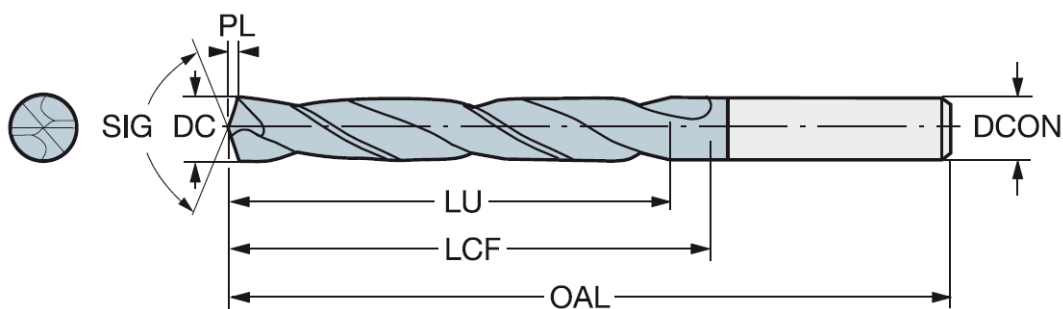
f_n [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
0,07	26

Vrták CoroDrill® 460 – XM

Pro vrtání díry pro závit se použije monolitní karbidový vrták CoroDrill® 460 – XM s vnějším přívodem řezné kapaliny, typ 460.1-1750-053A0-XM. Vrták byl vybrán z katalogu Výroba děr, firmy Sandvik. Průměr vrtáku byl zvolen dle tabulky pro volbu velikosti předvrtané díry pro řezací závitník [24]. Schematický obrázek viz obr. 12, rozměry vrtáku a doporučené řezné podmínky viz tab. 11 a 12.

Parametry [24]:

přívod řezné kapaliny	vnější,
norma	DIN 6537K,
úhel hrotu	140 °,
tolerance nástroje	m7,
tolerance díry	H9,
stopka	DIN 6535 HA,
materiálová třída	GC34.



Obr. 12 Schéma vrtáku CoroDrill® 460 – XM [24].

Tab. 11 Rozměry vrtáku [24].

Označení	DC [mm]	DCON [mm]	LU [mm]	OAL [mm]	LCF [mm]	PL [mm]	SIG [°]
460.1-1750-053A0-XM	17,5	18	51	123	73	3,18	140°

Tab. 12 Doporučené řezné podmínky[24].

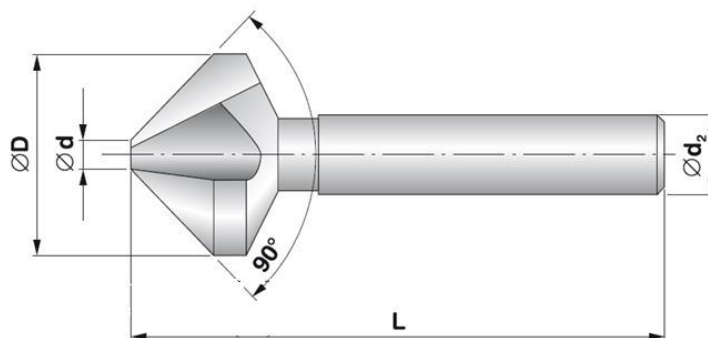
f_n [mm] (minimální – počáteční – maximální)	v_c [m·min ⁻¹] (minimální – počáteční – maximální)
0,256 - 0,320 - 0,384	60,4 - 76 - 96

Záhlubník ČSN 22 1625.2

Sražení hrany otvoru pro náběh závitníku se provede pomocí třízubého kuželového závitníku 90 ° s válcovou stopkou, dle ČSN 22 1625.2. Schéma záhlubníku viz obr. 13, rozměry a doporučené řezné podmínky jsou v tab. 13 a 14

Parametry [26]:

norma	ČSN 22 1625.2,
počet zubů	3 [-],
úhel hrotu	90 °,
materiál	HSS – rychlořezná ocel.



Obr. 13 Záhlubník ČSN 22 1625.2 [26].

Tab. 13 Rozměry záhlubníku [26].

Označení	D [mm]	d ₂ [mm]	d [mm]	L [mm]
C259250F000S	25	10	3,8	67

Tab. 14 Doporučené řezné podmínky [15]

f _n [mm]	v _c [m·min ⁻¹]
0,4	33

Řezací závitník CoroTap™ 300

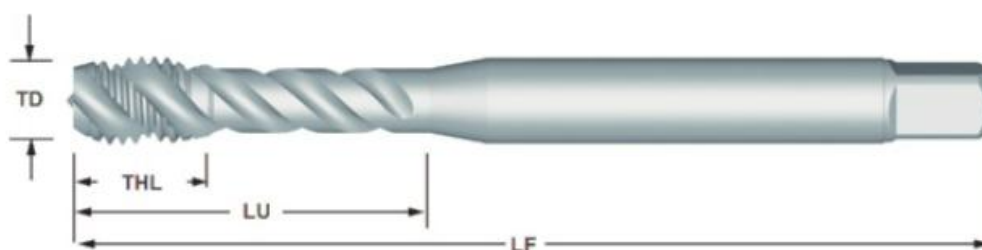
Závit M20 je vyroben pomocí řezacího závitníku CoroTap™ 300, se zesílenou stopkou, určeným pro neprůchozí díry. Označení T300-XM101DA-M20. Závitník byl vybrán z katalogu Výroba děr, firmy Sandvik. Schéma závitníku viz obr. 14, rozměry a doporučené řezné podmínky jsou v tab. 15 a 16.

Materiál

Třída materiálu závitníku je B145 - rychlořezná ocel s přísadou kobaltu, který je doporučován výrobcem pro závitníky větších rozměrů. Povrch upravený parní oxidací, odolný proti vytváření nárůstku na břitu [24].

Parametry [24]:

typ profilu závitu	M,
stoupání závitu	2,5,
řezný kužel:	C (pro slepé díry),
poměr činné délky vůči průměru	2,5,
třída přesnosti závitu	6H,
počet drážek	4,
základní standardní skupina	DIN 376,
materiál	B145.



Obr. 14 Schéma závitníku [24].

Tab. 15 Rozměry závitníku [24].

Označení	TD [mm]	LF [mm]	LU [mm]	THL [mm]
T300-XM101DA-M20	20	140	95	25

Tab. 16 Doporučené řezné podmínky [24].

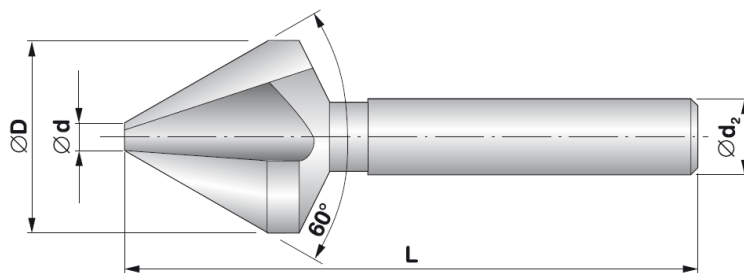
f_n [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
2,5	14

Záhlubník ČSN 22 1623

Sražení hrany otvoru se závitem pro upínací hrot se provede pomocí třízubého kuželového závitníku 60 ° s válcovou stopkou, dle ČSN 22 1623. Materiál záhlubníku je rychlořezná ocel, povrch TiN. Schéma záhlubníku viz obr. 15, rozměry a řezné podmínky jsou v tab. 17 a 18.

Parametry [28]:

norma	ČSN 22 1623,
počet zubů	3 [-],
úhel hrotu	60°,
materiál	HSS – rychlořezná ocel.



Obr. 15 Záhlubník ČSN 22 1623 [28].

Tab. 17 Rozměry záhlubníku [28].

Označení	D [mm]	d ₂ [mm]	d [mm]	L [mm]
C236250F000S	25	10	6,3	71

Tab. 18 Doporučené řezné podmínky [15].

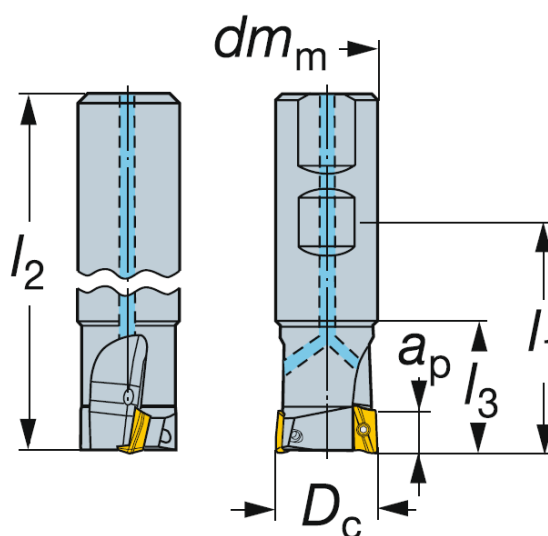
f_n [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
0,45	33

Fréza CoroMill® 390

Pro hrubování drážky pro ojnicí čep se použije fréza do rohu CoroMill® 390, pro střední obrábění, od firmy Sandvik. Označení frézy R390-020A20-11M. Schéma frézy viz obr. 16, rozměry a doporučené řezné podmínky viz tab. 19 a 20.

Parametry [16]:

velikost VBD	11 mm,
max. hloubka řezu	10 mm,
počet VBD	3 [-],
max. rychlost otáčení	34600 min ⁻¹ .



Obr. 16 Schéma frézy CoroMill® 390 [16].

Tab. 19 Rozměry frézy [16].

Označení	D_c [mm]	D_{m_m} [mm]	l_1 [mm]	L_2 [mm]	l_3 [mm]
490-032 C3-08M	20	20	-	110	25

Tab. 20 Doporučené řezné podmínky [16].

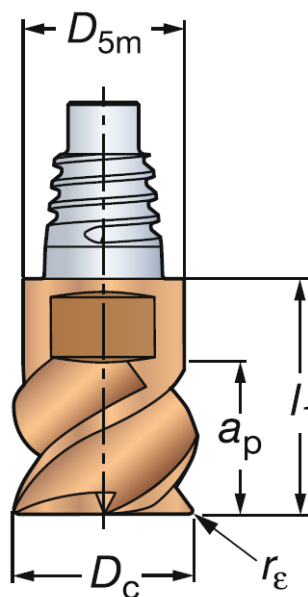
a_p [mm]	v_c [m·min ⁻¹]	f_z [mm]
10	270	0,12

Fréza se zaoblenými rohy CoroMill® 316

Pro dokončení drážky pro ojnicí čep se použije monolitní fréza se zaoblenými rohy CoroMill® 316 pro střední obrábění od firmy Sandvik. Označení frézy 316-10SM350-10005P. Fréza je upevněna držáku s válcovou stopkou pro výměnné řezné hlavy, označení E10-A10-SS-075. Schéma frézy viz obr. 16, rozměry a doporučené řezné podmínky viz tab. 21, 22 a 23.

Parametry [16]:

max. hloubka řezu	5,5 mm,
úhel stoupání šroubovice	50°,
velikost spojky	E10,
počet ostří	3 [-].



Obr. 17 Schéma frézy CoroMill® 316 [16].

Tab. 21 Rozměry frézy [16].

Označení	D_c [mm]	D_{5m} [mm]	l_1 [mm]	r_ϵ [mm]
490-032 C3-08M	10	9,7	12,4	0,5

Tab. 22 Doporučené řezné podmínky - hrubování [16].

a_p [mm]	a_e [mm]	v_c [m·min ⁻¹]	f_z [mm]
5,5	10	165	0,045

Tab. 23 Doporučené řezné podmínky – dokončování [16].

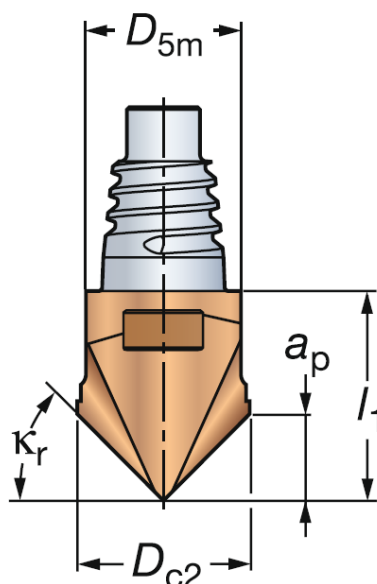
a_p [mm]	a_e [mm]	v_c [m·min ⁻¹]	f_z [mm]
5,5	3	245	0,070

Fréza na srážení hran CoroMill® 316

Pro srážení hrany drážky pro ojnicí čep se použije monolitní fréza na srážení hran CoroMill® 316 od firmy Sandvik. Označení frézy 316-12CM600-12045G. Fréza je upevněna v držáku s válcovou stopkou pro výměnné řezné hlavy, označení E12-A12-SS-100. Schéma frézy viz obr. 18, rozměry a doporučené řezné podmínky viz tab. 24 a 25.

Parametry [16]:

max. hloubka řezu	4,5 mm,
úhel zkosení	45 °,
velikost spojky	E12,
počet ostří	6 [-].



Obr. 18 Schéma frézy na srážení hran CoroMill® 316 [16].

Tab. 24 Rozměry frézy [16].

Označení	D_{C2} [mm]	D_{5m} [mm]	l_1 [mm]	κ_r [°]
316-12CM600-12045G	12	9,7	12,4	45°

Tab. 25 Doporučené řezné podmínky [16].

a_p [mm]	v_c [m·min ⁻¹]	f_z [mm]
4,5	200	0,060

2.1.3 Volba řezných podmínek

Řezné podmínky jsou voleny dle katalogu výrobce, přičemž pro soustružení jsou řezné rychlosti upraveny tak, aby strojní čas nebyl delší, než trvanlivost destičky, která je 15 min. K tomuto účelu slouží tabulka z katalogu výrobce (viz tab. 26).

Následně je spočítána perioda výměny nástroje. Pro dokončování je vypočítán limitní posuv omezený maximálně přípustnou drsností povrchu.

Tab. 26 Korekční součinitel pro změnu trvanlivosti ostří [16].

Trvanlivost ostří T [min]	10	15	20	25	30	45	60
Korekční součinitel k_v [-]	1,11	1,0	0,93	0,88	0,84	0,75	0,70

Přepočet řezné rychlosti hrubování

Řezná rychlost je upravena dle tab. 26, pro trvanlivost ostří 30 min.

$$v_c = v_c' \cdot k_v = 270 \cdot 0,84 = 226,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \quad (13)$$

kde: v_c [m.min⁻¹] - výsledná řezná rychlost,
 v_c' [m.min⁻¹] - řezná rychlost dle katalogu výrobce,
 k_v [-] - korekční součinitel.

Perioda výměny nástroje při hrubování

$$T_k = \frac{T_v}{\sum_{i=1}^k t_{aSi}} = \frac{30}{26,95} = 1,113 \Rightarrow 1 \text{ ks} \quad (14)$$

kde: T_k [ks] - perioda výměny nástroje,
 T_v [min] - výsledná trvanlivost ostří,
 t_{aSi} [min] - strojní čas pro jednotlivé úseky.

Po obrobení jednoho obrobku je nutné vyměnit ostří za naostřené.

Strojní časy jsou počítány v programu MS Excel dle vzorce (15) a jsou uvedeny v technologickém postupu.

$$t_{AS} = \frac{l \cdot i}{n \cdot f} [\text{min}] \quad (15)$$

kde: t_{AS} [min] - strojní čas,
 l [mm] - délka obráběného úseku,
 i [-] - počet úběrů,
 n [min⁻¹] - otáčky vřetena,
 f [mm] - posuv na otáčku.

Otáčky vřetena jsou počítány rovněž v MS Excel, podle vzorce (16).

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D} [\text{min}^{-1}] \quad (16)$$

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

Přepočet řezné rychlosti dokončování

Řezná rychlost udávaná výrobcem destičky je upravena podle tab. 26 na trvanlivost 25 min.

$$v_c = v_c' \cdot k_v = 360 \cdot 0,88 = 316,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \quad (17)$$

kde: v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] - výsledná řezná rychlost,
 v_c' [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] - řezná rychlost dle katalogu výrobce,
 k_v [-] - korekční součinitel.

Omezení posuvu maximálně přípustnou drsností povrchu

- Rotační plocha $\varnothing 75 \text{ h}6 \text{ mm}$ se pro následné broušení připraví na $R_a 3,2 \text{ } \mu\text{m}$ [14].

$$f_n \leq \left(\frac{R_a \cdot r_\varepsilon}{32,5} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{3,2 \cdot 0,8}{32,5} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,281 \text{ mm} \quad (18)$$

- Celková drsnost povrchu je předepsána $R_a 6,3 \text{ } \mu\text{m}$.

$$f_n \leq \left(\frac{R_a \cdot r_\varepsilon}{32,5} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{6,3 \cdot 0,8}{32,5} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,394 \text{ mm} \quad (19)$$

kde: f_n [mm] - posuv na otáčku,
 R_a [μm] - střední aritmetická drsnost povrchu,
 r_ε [mm] - poloměr zaoblení břítu.

Perioda výměny nástroje při dokončování

$$T_k = \frac{T_v}{\sum_{i=1}^k t_{aSi}} = \frac{25}{5,63} = 4,440 \Rightarrow 4 \text{ ks} \quad (20)$$

kde: T_k [ks] - perioda výměny nástroje,
 T_v [min] - výsledná trvanlivost ostří,
 t_{aSi} [min] - strojní čas pro jednotlivé úseky.

Po obrobení čtyř obrobků je třeba vyměnit ostří za naostřené.

2.1.4 Technologický postup

TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Název celku: ZALOMENÝ HŘÍDEL	Název součástky: RAMENO S DELŠÍM ČEPEM		Číslo výkresu: BP-00-01	Vydání postupu: 25.04.2015		
Dne: 25.04.2015	Vyhotovil: Vít Sonberger	Rozměr: Ø 210–437 ČSN 42 5510-1		Materiál: 14 220	Hmotnost: 23,2 kg	List / listů: 1/4		
Č. op.	Středisko Název stroje	Popis práce Řezné podmínky				Výrobní pomůcky:		
01	Pásová pila TMJ PP 301	Řezat polotovar Ø210 na délku 437 ± 0,7 mm.				Posuvné měřítko 500 ČSN 25 1233		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
								2
02	CNC soustruh TCH 500	Upnout do tříčelistového skličidla za Ø210 mm. Zarovnat čelo na délku 433 mm s přídavkem 0,6 mm na dokončení.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 12 - PR		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		225	0,5	3	341			0,62
03	CNC soustruh TCH 500	Soustružit čelo na čisto na délku 433 mm.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 04 - PF		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		317	0,25	0,6	480			0,87
04	CNC soustruh TCH 500	Navrtat středící důlek typ A.				Středící vrták: ČSN 221110		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		26	0,07	-	650			0,35
05	CNC soustruh TCH 500	Soustružit na Ø198 h11 mm s přídavkem na dokončení 1,3 mm v délce 70 mm.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 12 - PR		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		225	0,5	3	341			0,82

TECHNOLOGICKÝ POSTUP			Název celku: ZALOMENÝ HŘÍDEL		Název součástky: RAMENO S DELŠÍM ČEPEM		Číslo výkresu: BP-00-01	Vydání postupu: 25.04.2015
Dne: 25.04.2015	Vyhotovil: Vit Sonberger	Rozměr: Ø 210-437 ČSN 42 5510-1			Materiál: 14 220		Hmotnost: 23,2 kg	List / listů: 2/4
Č. op.	Středisko Název stroje	Popis práce Řezné podmínky					Výrobní pomůcky:	
06	CNC soustruh TCH 500	Soustružit na čisto Ø198 h11 mm v délce 70 mm.					Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 04 - PF	
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]	t_{AS} [min.ks ⁻¹]		
		317	0,25	0,65	510	0,55		
07	CNC soustruh TCH 500	Obrobek otočit a upnout do tříčelisťového sklíčidla za Ø198 mm. Zarovnat čelo na délku 429 ± 0,1 mm s přídavkem na dokončení 0,6 mm.					Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 12 - PR	
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]	t_{AS} [min.ks ⁻¹]		
		225	0,5	3	362	0,55		
08	CNC soustruh TCH 500	Zarovnat čelo na čisto na délku 429 ± 0,1 mm.					Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 04 - PF	
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]	t_{AS} [min.ks ⁻¹]		
		317	0,25	0,6	480	0,87		
09	CNC soustruh TCH 500	Navrtat středící důlek typ A.					Středící vrták: ČSN 221110	
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]	t_{AS} [min.ks ⁻¹]		
		26	0,07	-	650	0,35		
10	CNC soustruh TCH 500	Vrtat otvor Ø17,5 mm do hloubky 40 mm v ose rotace.					Vrták: 460.1-1750-053A0-M	
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]	t_{AS} [min.ks ⁻¹]		
		80	0,3	-	1455	0,1		

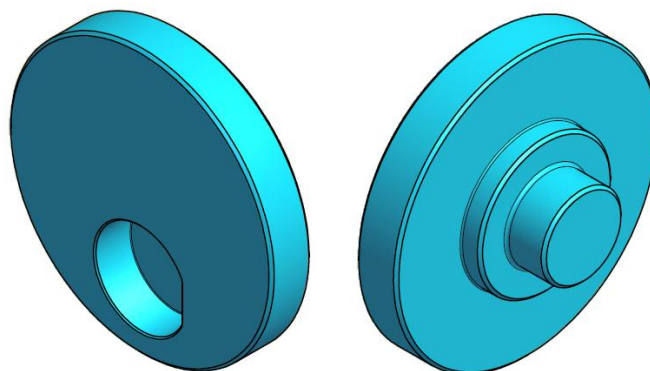
TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Název celku: ZALOMENÝ HŘÍDEL	Název součástky: RAMENO S DELŠÍM ČEPEM		Číslo výkresu: BP-00-01	Vydání postupu: 25.04.2015		
Dne: 25.04.2015	Vyhotovil: Vít Sonberger	Rozměr: Ø 210–437 ČSN 42 5510-1		Materiál: 14 220	Hmotnost: 23,2 kg	List / listů: 3/4		
Č. op.	Středisko Název stroje	Popis práce Řezné podmínky				Výrobní pomůcky:		
11	CNC soustruh TCH 500	Srazit hranu otvoru 2,5x45°.				Záhlubník: C259250F000S		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		33	0,4	-	630			0,03
12	CNC soustruh TCH 500	Do otvoru řezat závit M20 do hloubky 30 mm.				Závitník: T300-XM101DA-M20		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		14	2,5	-	223			0,05
13	CNC soustruh TCH 500	Srazit hranu otvoru 2x30° pro upínací hrot.				Záhlubník: C236250F000S		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		33	0,45	-	500			0,03
14	CNC soustruh TCH 500	Obrobek podepřít otočným upínacím hrotem. Soustružit na Ø150 h11 mm v délce 399 mm s přídavkem na dokončení 1,3 mm.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 12 - PR		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		225	0,5	5	341			14,04
15	CNC soustruh TCH 500	Soustružit na Ø130 h11 mm v délce 377 mm s přídavkem na dokončení 1,3 mm.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 12 - PR		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		225	0,5	5	341			4,42
16	CNC soustruh TCH 500	Soustružit na Ø75 h6 mm v délce 370 mm s přídavkem na dokončení 1,3 mm.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 12 - PR		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		225	0,5	3,5	341			6,51

TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Název celku: ZALOMENÝ HRÍDEL	Název součástky: RAMENO S DELŠÍM ČEPEM		Číslo výkresu: BP-00-01	Vydání postupu: 25.04.2015		
Dne: 25.04.2015	Vyhotovil: Vít Sonberger	Rozměr: Ø 210-437 ČSN 42 5510-1		Materiál: 14 220	Hmotnost: 23,2 kg	List / listů: 4/4		
Č. op.	Středisko Název stroje	Popis práce Řezné podmínky				Výrobní pomůcky:		
17	CNC soustruh TCH 500	Soustružit na čisto Ø150 h11 mm v délce 399 mm, Ø130 h11 mm v délce 377 mm, Ø75 h6 v délce 370 mm s přídavkem na broušení 0,4 mm na Ø75 h6.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 04 - PF		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		317	0,2	0,65	673			3,33
18	Obráběcí centrum MCFV 1260	Frézovat nahrubo zahloubení s přídavkem 5 mm.				Fréza: R390-020A20-11M		
		v_c [m.min ⁻¹]	v_f [mm.min ⁻¹]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		270	1550	5	4297			1,5
19	Obráběcí centrum MCFV 1260	Frézovat nahrubo zahloubení s přídavkem na dokončení 0,7 mm.				Fréza: 316-10SM350-10005P Držák: E10-10-SS-075		
		v_c [m.min ⁻¹]	v_f [mm.min ⁻¹]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		165	710	5	5252			1,6
20	Obráběcí centrum MCFV 1260	Frézovat načisto zahloubení.				Fréza: 316-10SM350-10005P Držák: E10-10-SS-075		
		v_c [m.min ⁻¹]	v_f [mm.min ⁻¹]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		245	1640	3	7799			1,2
21	Obráběcí centrum MCFV 1260	Srazit hranu 0,5x45°.				Fréza na srážení hran: 316-12CM600-12045G Držák: E12-A12-SS-100		
		v_c [m.min ⁻¹]	v_f [mm.min ⁻¹]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		200	2291	0,5	6366			0,1

2.2 Rameno s kratším čepem

Č. v. DP-00-02 – viz přílohy.

Model součásti viz obr. 19.



Obr. 19 Rameno s kratším čepem.

Rotační plochy jsou zhotoveny na CNC soustruhu TCH 500 PRIME. Příklad na dokončení 1,3 mm je zvolen dle grafu pro přídavek na obrábění [15]. Plocha $\varnothing 60 \text{ k}6 \text{ mm}$ se po kompletaci sestavy brousí na hrotové brusce BUT-63. Dle tabulky přídavek pro broušení [14], je na broušení ponechán přídavek na průměr 0,35 mm a povrch obroben na drsnost $R_a 3,2 \mu\text{m}$.

Zahloubení pro nalisování ojnicního čepu se frézuje na obráběcím centru MCFV 1260. Příklad na dokončování 0,7 mm byl zvolen dle tabulky přídavek pro frézování [15].

2.2.1 Volba velikosti polotovaru

Příklad na průměr [14]

$$Z_{\varnothing} = \frac{5 \cdot d}{100} + 2 = \frac{5 \cdot 198}{100} + 2 = 11,9 \text{ mm} \quad (21)$$

kde: Z_{\varnothing} [mm] - přídavek na průměr,
 d [mm] - průměr hotového obrobku.

Volba průměru polotovaru

$$D_p = d + Z_{\varnothing} = 198 + 11,9 = 209,9 \text{ mm} \quad (22)$$

kde: D_p [mm] - průměr polotovaru,
 d [mm] - průměr hotového obrobku,
 Z_{\varnothing} [mm] - přídavek na průměr.

Volím $D_p = 210 \text{ mm}$

Přídavek na zarovnání čela

$$X_l = tg\alpha_p \cdot D_p = tg1^\circ \cdot 210 = 3,666 \text{ mm} \quad (23)$$

kde: X_l [mm] - přídavek na zarovnání čela,
 α_p [°] - přímost řezu pásové pily,
 D_p [mm] - průměr polotovaru.

Volba délky polotovaru

$$L_p = l + 2 \cdot X_l = 72 + 2 \cdot 3,666 = 79,332 \text{ mm} \quad (24)$$

kde: L_p [mm] - délka polotovaru,
 l [mm] - délka výrobku,
 X_l [mm] - přídavek na zarovnání čela.

Volím $L_p = 80 \text{ mm}$

Rozměry polotovaru: $\varnothing 210 - 80$

Materiál: 14 220.3 (kruhová ocel válcovaná za tepla ČSN 42 5510-1)

2.2.2 Volba nástrojů

Vzhledem k tvarové i rozměrové podobnosti se součástí 1 (č. v. DP-00-01) budou při výrobě této součásti použity tytéž nástroje. Nástroje jsou popsány v kapitole 0. Zde se pouze upraví řezné podmínky.

2.2.3 Volba řezných podmínek

Řezné podmínky jsou voleny dle doporučení katalogu výrobce a jsou uvedeny v technologickém postupu. Řezné rychlosti při soustružení jsou upraveny pro vhodnější trvanlivost a následně je spočítána perioda výměny nástroje. Pro dokončování je dále vypočítán limitní posuv omezený maximálně přípustnou drsností povrchu.

Přepočet řezné rychlosti hrubování

Řezná rychlost je upravena dle tab. 26 pro trvanlivost 20 min.

$$v_c = v'_c \cdot k_v = 270 \cdot 0,93 = 251,1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \quad (25)$$

kde: v_c [m.min⁻¹] - výsledná řezná rychlost,
 v'_c [m.min⁻¹] - řezná rychlost dle katalogu výrobce,
 k_v [-] - korekční součinitel.

Perioda výměny nástroje při hrubování

$$T_k = \frac{T_v}{\sum_{i=1}^k t_{as_i}} = \frac{20}{4,5} = 4,444 \Rightarrow 4 \text{ ks} \quad (26)$$

kde: T_k [ks] - perioda výměny nástroje,
 T_v [min] - výsledná trvanlivost ostří,
 t_{ASi} [min] - strojní čas pro jednotlivé úseky.

Po obrobení čtyř obrobků je třeba vyměnit ostří za naostřené.

Strojní časy byly počítány v programu MS Excel dle vzorce (15) a jsou uvedeny v technologickém postupu.

Přepočet řezné rychlosti dokončování

Řezná rychlost byla upravena dle tab. 26, pro trvanlivost 25 min.

$$v_c = v'_c \cdot k_v = 360 \cdot 0,88 = 316,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \quad (27)$$

kde: v_c [m.min⁻¹] - výsledná řezná rychlost,
 v'_c [m.min⁻¹] - řezná rychlost dle katalogu výrobce,
 k_v [-] - korekční součinitel.

Omezení posuvu maximálně přípustnou drsností povrchu

- Rotační plocha $\varnothing 60 \text{ k}6 \text{ mm}$ se pro následné broušení připraví na $R_a 3,2 \mu\text{m}$ [14].

$$f_n \leq \left(\frac{R_a \cdot r_\varepsilon}{32,5} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{3,2 \cdot 0,8}{32,5} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,281 \text{ mm} \quad (28)$$

- Celková drsnost povrchu je předepsána $R_a 6,3 \mu\text{m}$.

$$f_n \leq \left(\frac{R_a \cdot r_\varepsilon}{32,5} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{6,3 \cdot 0,8}{32,5} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,394 \text{ mm} \quad (29)$$

kde: f_n [mm] - posuv na otáčku
 R_a [μm] - střední aritmetická drsnost povrchu
 r_ε [mm] - poloměr zaoblení břitu

Perioda výměny nástroje při dokončování

$$T_k = \frac{T_v}{\sum_{i=1}^k t_{ASi}} = \frac{25}{3,11} = 8,039 \Rightarrow 8 \text{ ks} \quad (30)$$

kde: T_k [ks] - perioda výměny nástroje,
 T_v [min] - výsledná trvanlivost ostří,
 t_{ASi} [min] - strojní čas pro jednotlivé úseky.

Po obrobení osmi obrobků je třeba vyměnit ostří za naostřené.

2.2.4 Technologický postup

TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Název celku: ZALOMENÝ HŘÍDEL	Název součástky: RAMENO S KRATŠÍM ČEPEM		Číslo výkresu: BP-00-02	Vydání postupu: 25.04.15	
Dne: 25.04.2015	Vyhotovil: Vít Sonberger	Rozměr: Ø 210–80 ČSN 42 5510-1		Materiál: 14 220	Hmotnost: 8 kg	List / listů 1/3	
Č. op.	Středisko Název stroje	Popis práce Řezné podmínky				Výrobní pomůcky:	
01	Pásová pila TMJ PP 301	Řezat polotovary Ø210 na délku 80± 0,7 mm.				Posuvné měřítko 150 ČSN 25 1230	
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]		
02	CNC soustruh TCH 500	Upnout do tříčelistového sklíčidla za Ø210 mm. Zarovnat čelo na délku 76 mm s přídatkem na dokončení 1,3 mm.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 12 - PR	
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]		
03	CNC soustruh TCH 500	Soustružit čelo na čisto na délku 76 mm.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 04 - PF	
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]		
04	CNC soustruh TCH 500	Navrtat středící důlek typ A.				Středící vrták: ČSN 221110	
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]		
05	CNC soustruh TCH 500	Soustružit na Ø198 h11 mm s přídatkem na dokončení 1,3 mm v délce 40 mm.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 12 - PR	
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]		
06	CNC soustruh TCH 500	Soustružit na čisto Ø198 h11 mm v délce 40 mm.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 04 - PF	
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]		

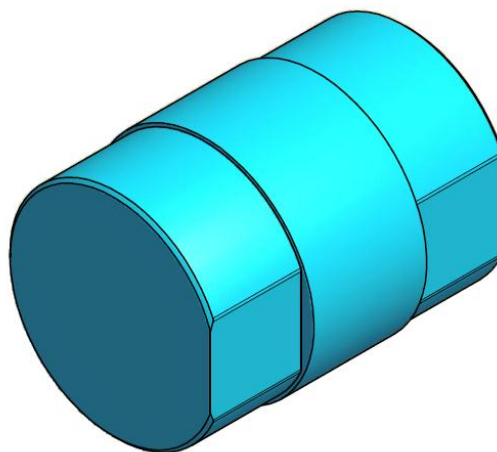
TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Název celku: ZALOMENÝ HRÍDEL	Název součástky: RAMENO S KRATŠÍM ČEPEM		Číslo výkresu: BP-00-02	Vydání postupu: 25.04.15		
Dne: 25.04.2015	Vyhotovil: Vít Sonberger	Rozměr: Ø 210–80 ČSN 42 5510-1		Materiál: 14 220	Hmotnost: 8 kg	List / listů: 2/3		
Č. op.	Středisko Název stroje	Popis práce Řezné podmínky				Výrobní pomůcky:		
07	CNC soustruh TCH 500	Obrobek otočit a upnout do tříčelisťového sklíčidla za Ø198 mm. Zarovnat čelo na délku 72 mm s přídavkem na dokončení 1,3 mm.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 12 - PR		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		250	0,5	3	402			0,49
08	CNC soustruh TCH 500	Zarovnat čelo na čisto na délku 72 mm				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 04 - PF		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		317	0,25	0,65	480			0,87
09	CNC soustruh TCH 500	Navrtat středící důlek typ A.				Středící vrták: ČSN 221110		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		26	0,07	-	650			0,35
10	CNC soustruh TCH 500	Soustružit na Ø100 h11 mm v délce 42 ^{+0,1} _{0,0} mm s přídavkem na dokončení 1,3 mm.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 12 - PR		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		250	0,5	5	379			2,44
11	CNC soustruh TCH 500	Soustružit na Ø60 k6 mm v délce 28 ^{0,0} _{0,2} mm s přídavkem na dokončení 1,3 mm.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 12 - PR		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		250	0,5	5	379			0,59
12	CNC soustruh TCH 500	Soustružit na čisto Ø100 h11 mm v délce 42 ^{+0,1} _{0,0} mm, Ø60 k6 mm v délce 28 ^{0,0} _{0,2} mm, s přídavkem na broušení 0,35 mm na Ø60 k6 mm.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 04 - PF		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		317	0,2	0,6	673			1,05

TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Název celku: ZALOMENÝ HRÍDEL	Název součástky: RAMENO S KRATŠÍM ČEPEM		Číslo výkresu: BP-00-02	Vydání postupu: 25.04.15		
Dne: 25.04.2015	Vyhotovil: Vít Sonberger	Rozměr: Ø 210–80 ČSN 42 5510-1		Materiál: 14 220	Hmotnost: 8 kg	List / listů: 3/3		
Č. op.	Středisko Název stroje	Popis práce Řezné podmínky			Výrobní pomůcky:			
13	Obráběcí centrum MCFV 1260	Frézovat nahrubo zahloubení s přídávkem 5 mm.			Fréza: R390-020A20-11M			
		v_c [m.min ⁻¹]	v_f [mm.min ⁻¹]	a_p [mm]			n [min ⁻¹]	t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		270	1550	5			4297	1,5
14	Obráběcí centrum MCFV 1260	Frézovat nahrubo zahloubení s přídávkem na dokončení 0,7 mm.			Fréza: 316-10SM350-10005P Držák: E10-10-SS-075			
		v_c [m.min ⁻¹]	v_f [mm.min ⁻¹]	a_p [mm]			n [min ⁻¹]	t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		165	710	5			5252	1,6
15	Obráběcí centrum MCFV 1260	Frézovat načisto zahloubení.			Fréza: 316-10SM350-10005P Držák: E10-10-SS-075			
		v_c [m.min ⁻¹]	v_f [mm.min ⁻¹]	a_p [mm]			n [min ⁻¹]	t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		245	1640	3			7799	1,2
16	Obráběcí centrum MCFV 1260	Srazit hranu 0,5x45°.			Fréza na srážení hran: 316-12CM600-12045G Držák: E12-A12-SS-100			
		v_c [m.min ⁻¹]	v_f [mm.min ⁻¹]	a_p [mm]			n [min ⁻¹]	t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		200	2291	0,5			6366	0,1

2.3 Ojniční čep

Č. v. DP-00-03 – viz přílohy.

Model součásti viz obr. 20.



Obr. 20 Ojniční čep.

Rotační plochy jsou zhotoveny na CNC soustruhu TCH 500 PRIME. Přídavek na dokončení 1 mm je zvolen dle grafu pro přídavky na obrábění [15]. Plochy $\varnothing 70 \text{ h}7 \text{ mm}$ a $\varnothing 68 \text{ r}6 \text{ mm}$ se po soustružení brousí na hrotové brusce BUT-63. Dle tabulky přídavků pro broušení [14], je na broušení ponechán přídavek na průměr 0,35 mm a povrch obroben na drsnost $R_a 3,2 \mu\text{m}$.

Následně jsou na obráběcím centru MCFV 1260 frézovány plochy $65_{-0,05}^{+0,00} \text{ mm}$. Přídavek na dokončování 0,6 mm byl volen dle tabulky přídavků pro frézování [15].

2.3.1 Volba velikosti polotovaru

Přídavek na průměr [14]

$$Z_{\varnothing} = \frac{5 \cdot d}{100} + 2 = \frac{5 \cdot 70}{100} + 2 = 5,5 \text{ mm} \quad (31)$$

kde: Z_{\varnothing} [mm] - přídavek na průměr,
 d [mm] - průměr hotového obrobku.

Volba průměru polotovaru

$$D_p = d + Z_{\varnothing} = 70 + 5,5 = 75,5 \text{ mm} \quad (32)$$

kde: D_p [mm] - průměr polotovaru,
 d [mm] - průměr hotového obrobku,
 Z_{\varnothing} [mm] - přídavek na průměr.

Volím $D_p = 75 \text{ mm}$

Přídavek na zarovnání čela

$$X_l = tg\alpha_p \cdot D_p = tg1^\circ \cdot 75 = 1,309 \text{ mm} \quad (33)$$

kde: X_l [mm] - přídavek na zarovnání čela,
 α_p [°] - přímost řezu pásové pily,
 D_p [mm] - průměr polotovaru.

Volba délky polotovaru

$$L_p = l + 2 \cdot X_l = 90 + 2 \cdot 1,309 = 92,618 \text{ mm} \quad (34)$$

kde: L_p [mm] - délka polotovaru,
 l [mm] - délka výrobku,
 X_l [mm] - přídavek na zarovnání čela.

Volím $L_p = 93 \text{ mm}$

Rozměry polotovaru: $\varnothing 75 - 93$

Materiál: 14 220.3 (kruhová ocel válcovaná za tepla ČSN 42 5510-1)

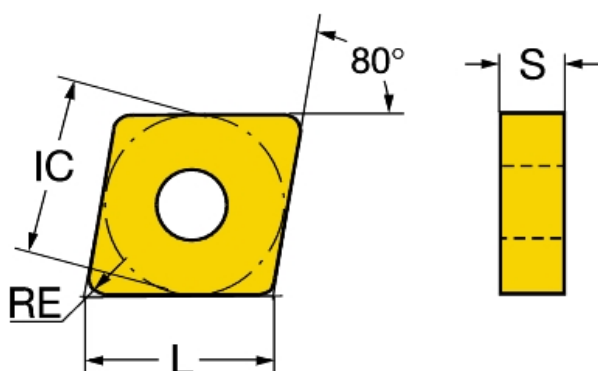
2.3.2 Volba nástrojů**Břitová destička**

Na této součásti jsou poměrně malé úběry materiálu, proto je pro hrubovací i dokončovací operace použita destička pro střední obrábění. Z katalogu CoroKey firmy Sandvik byla vybrána destička CNMG 09 03 08-PM. Schéma destičky viz obr. 21, rozměry destičky a doporučené řezné podmínky viz tab. 27 a 28.

Třída materiálu je GC4325. Materiál je popsán v kapitole 0.

Parametry [31]:

typ operace	střední obrábění,
orientace	negativní,
počet břitů	4,
počet stran	2,
třída materiálu	4325,
úhel špičky	80 °,
základní trvanlivost:	15 min.



Obr. 21 Břítová destička CNMG – PM [30].

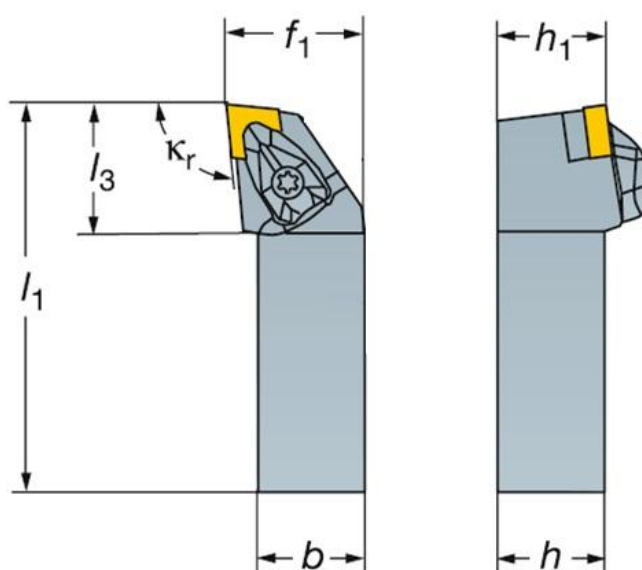
Tab. 27 Rozměry destičky [30].

Označení	L [mm]	S [mm]	IC [mm]	RE [mm]
CNMG 09 04 08 – PM	9,7	3,18	9,5	0,8

Tab. 28 Doporučené řezné podmínky [16].

a_p [mm]	f_n [mm ¹]	v_c [m·min ⁻¹]
0,5 - 4	0,15 – 0,5	315

Pro tuto destičku byl vybrán levostranný držák DCLNL 1616H09 (schéma viz obr. 22) z katalogu Corokey. Jedná se o držák typu T-MAX P s pevnou upínkou, pro negativní VBD. Rozměry držáku jsou uvedeny v tab. 29.



Obr. 22 Schéma držáku DCLNL (pravostranné provedení) [16].

Tab. 29 Rozměry držáku destičky [16].

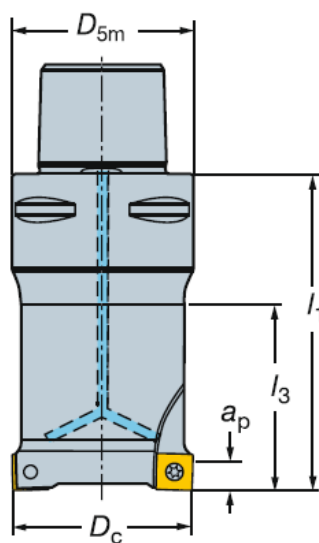
Označení	h [mm]	h ₁ [mm]	b [mm]	l ₁ [mm]	l ₃ [mm]	f ₁ [mm]
DCLNL 1616H09	16	16	16	100	24,8	20

Fréza do rohu CoroMill® 490

Plochy na obrobku budou zhotoveny pomocí čelní frézy do rohu CoroMill® 490, určené pro obecné frézování, typ 490-032 C3-08M. Fréza byla vybrána z katalogu Corokey firmy Sandvik. Schéma frézy viz obr. 23, rozměry a doporučené řezné podmínky viz tab. 30 a 31.

Parametry [16]:

velikost VBD	8 mm,
max. hloubka řezu	5,5 mm,
počet VBD	4 [-],
max. rychlost otáčení	33900 min ⁻¹ .



Obr. 23 Schéma frézy CoroMill® 490 [16].

Tab. 30 Rozměry frézy [16].

Označení	D _C [mm]	D _{5m} [mm]	l ₁ [mm]	l ₃ [mm]
490-032 C3-08M	32	32	80	60

Tab. 31 Doporučené řezné podmínky [16].

a _p [mm]	v _c [m·min ⁻¹]	f _z [mm]
5,5	250	0,15

2.3.3 Volba řezných podmínek

Řezné podmínky jsou voleny dle doporučení katalogu výrobce a jsou uvedeny v technologickém postupu. Řeznou rychlost udávanou výrobcem zde nebylo třeba upravovat, strojní čas hrubování a dokončování všech osmi kusů je kratší, než trvanlivost destičky 15 min.

Pro dokončování je vypočítán limitní posuv omezený maximálně přípustnou drsností povrchu.

Dále je spočítána perioda výměny nástroje.

Omezení posuvu maximálně přípustnou drsností povrchu

- Rotační plochy $\varnothing 68$ r6 mm a $\varnothing 70$ h8 mm se pro následné broušení připraví na R_a 3,2 μm [14].

$$f_n \leq \left(\frac{R_a \cdot r_\varepsilon}{32,5} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{3,2 \cdot 0,8}{32,5} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,281 \text{ mm} \quad (35)$$

- Celková drsnost povrchu je předepsána R_a 6,3 μm .

$$f_n \leq \left(\frac{R_a \cdot r_\varepsilon}{32,5} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{6,3 \cdot 0,8}{32,5} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,394 \text{ mm} \quad (36)$$

kde: f_n [mm] - posuv na otáčku,
 R_a [μm] - střední aritmetická drsnost povrchu,
 r_ε [mm] - poloměr zaoblení břitu.

Perioda výměny nástroje

$$T_k = \frac{T}{\sum_{i=1}^k t_{aSi}} = \frac{15}{1,01} = 14,851 \Rightarrow 14 \text{ ks} \quad (37)$$

kde: T_k [ks] - perioda výměny nástroje,
 T [min] - trvanlivost ostří,
 t_{aSi} [min] - strojní čas pro jednotlivé úseky (počítán dle vzorce (15)).

Po obrobení čtrnácti obrobků je třeba vyměnit ostří za naostřené.

2.3.4 Technologický postup

TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Název celku: ZALOMENÝ HŘÍDEL	Název součástky: OJNICNÍ ČEP			Číslo výkresu: BP-00-03	Vydání postupu: 25.04.2015
Dne: 25.04.2015	Vyhotovil: Vít Sonberger	Rozměr: Ø 75–93 ČSN 42 5510-1			Materiál: 14 220	Hmotnost: 2,6 kg	List / listů: 1/3
Č. op.	Středisko Název stroje	Popis práce Řezné podmínky					Výrobní pomůcky:
01	Pásová pila TMJ PP 301	Řezat polotovár Ø73 mm na délku 93±0,7 mm.					Posuvné měřítko 150 ČSN 25 1230
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]	t_{AS} [min.ks ⁻¹]	
02	CNC soustruh TCH 500	Upnout do tříčelistového sklíčidla za Ø73 mm. Zarovnat čelo na délku 91,5 mm s přídatkem na dokončení 0,5 mm.					Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 12 - PR
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]	t_{AS} [min.ks ⁻¹]	
03	CNC soustruh TCH 500	Zarovnat čelo na čisto na délku 91,5 mm.					Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 04 - PF
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]	t_{AS} [min.ks ⁻¹]	
04	CNC soustruh TCH 500	Navrtat středící důlek typ A.					Středící vrták: ČSN 221110
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]	t_{AS} [min.ks ⁻¹]	
05	CNC soustruh TCH 500	Soustružit na Ø70 h8 mm v délce 70 mm s přídatkem na dokončení 1 mm.					Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 12 - PR
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]	t_{AS} [min.ks ⁻¹]	
06	CNC soustruh TCH 500	Soustružit na Ø68 r6 mm v délce 27 mm s přídatkem na dokončení 1 mm.					Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 12 - PR
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]	t_{AS} [min.ks ⁻¹]	

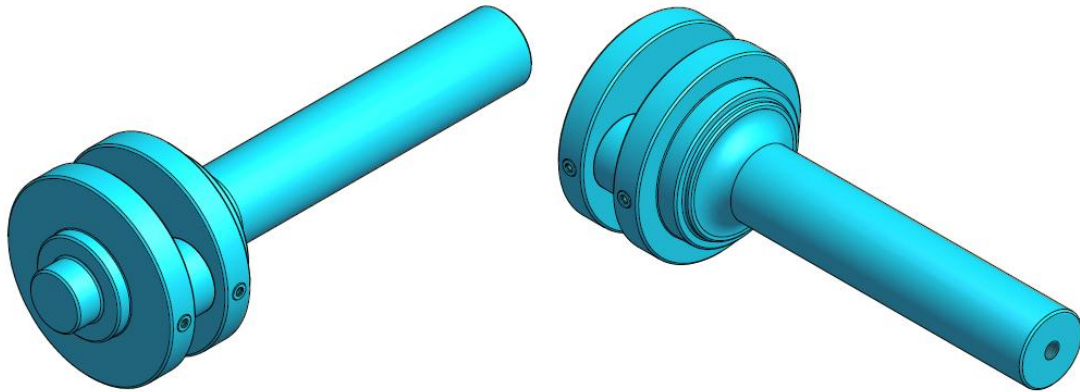
TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Název celku: ZALOMENÝ HRÍDEL	Název součástky: OJNICNÍ ČEP		Číslo výkresu: BP-00-03	Vydání postupu: 25.04.2015		
Dne: 25.04.2015	Vyhotovil: Vít Sonberger	Rozměr: Ø 75-93 ČSN 42 5510-1		Materiál: 14 220	Hmotnost: 2,6 kg	List / listů: 2/3		
Č. op.	Středisko Název stroje	Popis práce Řezné podmínky				Výrobní pomůcky:		
07	CNC soustruh TCH 500	Soustružit na čisto Ø70 h8 mm v délce 70 mm a Ø68 r6 mm v délce 27 mm s přídavkem na broušení 0,35 mm.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 04 - PF		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		315	0,25	0,5	1374			0,11
08	CNC soustruh TCH 500	Obrobek otočit a upnout do tříčelist'ového sklíčidla za Ø73 mm. Zarovnat čelo na délku 90 mm s přídavkem na dokončení 0,5 mm.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 12 - PR		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		315	0,35	1	1374			0,08
09	CNC soustruh TCH 500	Zarovnat čelo na čisto na délku 90 mm.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 04 - PF		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		315	0,25	0,5	1374			0,11
10	CNC soustruh TCH 500	Navrtat středící důlek typ A.				Středící vrták: ČSN 221110		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		26	0,07	-	650			0,35
11	CNC soustruh TCH 500	Soustružit Ø68 r6 mm v délce 29 mm s přídavkem na dokončení 1 mm.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 12 - PR		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		315	0,35	0,5	1374			0,15
12	CNC soustruh TCH 500	Soustružit na čisto Ø68 r6 mm v délce 29 mm s přídavkem na broušení 0,35 mm.				Nůž: DCLNL 2525M12 VBD: CNMG 12 04 04 - PF		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		315	0,25	0,5	1374			0,11

TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Název celku: ZALOMENÝ HRÍDEL	Název součástky: OJNICNÍ ČEP		Číslo výkresu: BP-00-03	Vydání postupu: 25.04.2015		
Dne: 25.04.2015	Vyhotovil: Vít Sonberger	Rozměr: Ø 75-93 ČSN 42 5510-1		Materiál: 14 220	Hmotnost: 2,6 kg	List / listů: 3/3		
Č. op.	Středisko Název stroje	Popis práce Řezné podmínky			Výrobní pomůcky:			
13	Bruska hrotová BUT 63/3000	Brousit Ø70 h8 mm, 2 x Ø68 r6 mm. Brousit zaoblení R5			Brusný kotouč: 300x30x127 6A80-O8- V2AX			
		v_c [m.s ⁻¹]	v_w [m.min ⁻¹]	f_a [mm]				
		30	10	9				
14	Obráběcí centrum MCFV 1260	Frézovat plochy 65 ^{0,00} _{-0,05} mm s přídavkem na dokončení 0,6 mm.			Fréza do rohu: 490-032C3-08M			
		v_c [m.min ⁻¹]	v_f [mm.min ⁻¹]	a_p [mm]			n [min ⁻¹]	t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		250	1493	3			2487	0,06
15	Obráběcí centrum MCFV 1260	Frézovat na čisto plochy 65 ^{0,00} _{-0,05} mm.			Fréza do rohu: 490-032C3-08M			
		v_c [m.min ⁻¹]	v_f [mm.min ⁻¹]	a_p [mm]			n [min ⁻¹]	t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		290	1154	0,6			2885	0,08

3 SESTAVA

Č. v. DP-00 – viz přílohy.

Model sestaveného zalomeného hřídele viz obr. 24.



Obr. 24 Sestava.

Zalomený hřídel se sestaví nalisováním ojničního čepu do ramen, a následně se zajistí kolíky nalisovanými skrz rameno a ojniční čep. Pro ustavení dílů vůči sobě je na ojničním čepu frézována ploška.

Nalisování ojničního čepu je provedeno s ohřátím vnější části, kdy se nejprve na spočítanou teplotu ohřeje rameno s delším čepem a do zvětšeného otvoru se zasune ojniční čep. Po vychladnutí a se ohřeje rameno s kratším čepem a spojí se se zbytkem sestavy.

Kolíky jsou lisovány za normální teploty do vystružených otvorů.

Hlavní čepy $\varnothing 75$ h6 mm a $\varnothing 60$ k6 mm jsou broušeny na předepsané tolerance a drsnost povrchu R_a 1,6 μm na hrotové brusce BUT-63. Po sestavení a broušení se zalomený hřídel chemicky nikluje, vrstva 5-10 μm . Hlavní čepy je proto třeba brousit na dolní rozměr tolerančního pole.

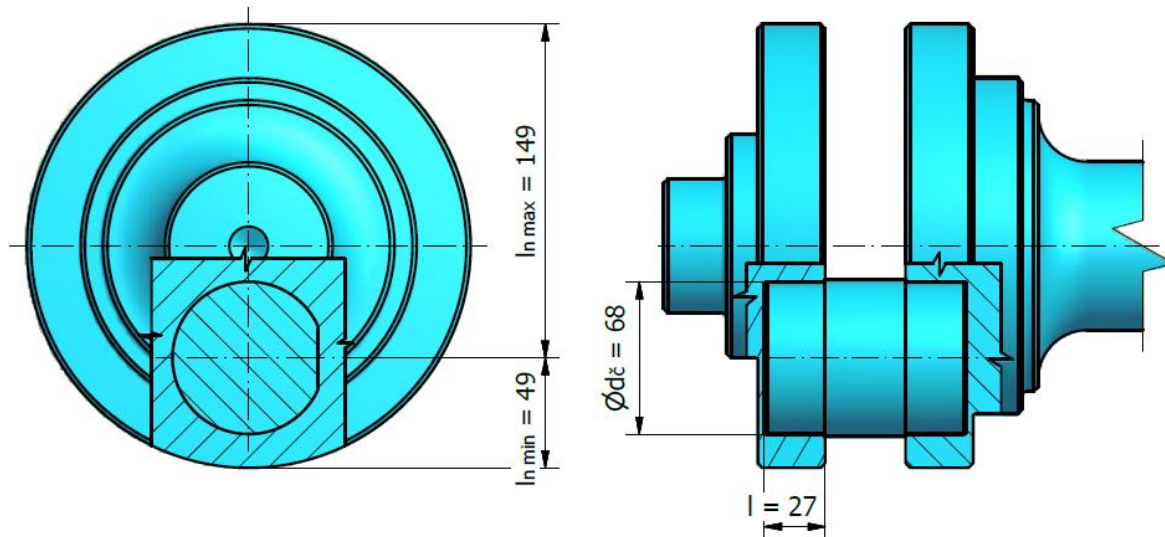
Určení rozměrů pro broušení:

$\varnothing 60$ k6: $\varnothing 60^{+0,021}_{+0,002}$ mm - brousit na $\varnothing 60,002$ mm,

$\varnothing 75$ h6: $\varnothing 75^{+0}_{-0,015}$ mm - brousit na $\varnothing 74,985$ mm.

3.1 Nalisování ojničního čepu

Ojniční čep je lisován do ramen zalomeného hřídele s uložením H7/r6. Vzhledem k průměru čepu je spoj proveden ohřátím náboje na teplotu potřebnou k roztažení otvoru o maximální přesah Δd_{\max} a montážní vůli v_{mm} . Schéma spoje s rozměry viz obr. 25.



Obr. 25 Rozměry lisovaného spoje.

3.1.1 Určení teploty ohřevu náboje [35]

Maximální přesah uložení

- Tolerance náboje: H7

Horní úchylka $ES = +30 \mu\text{m}$

Dolní úchylka $EI = 0 \mu\text{m}$

- Tolerance čepu: r6

Horní úchylka $es = +60 \mu\text{m}$

Dolní úchylka $ei = +41 \mu\text{m}$

$$\Delta d_{\max} = es - EI = 60 - 0 = 60 \mu\text{m} \quad (38)$$

kde: Δd_{\max} [μm] - maximální přesah,
 es [μm] - horní úchylka čepu,
 EI [μm] - dolní úchylka náboje.

Montážní vůle

$$v_{mm} = (0,006 \div 0,012) \cdot \sqrt{d_{max}} = 0,008 \cdot \sqrt{65,06} = 0,065 \text{ mm} \quad (39)$$

kde: v_{mm} [mm] - montážní vůle,
 d_{max} [mm] - maximální průměr čepu.

Potřebná teplota ohřevu náboje

$$t_n = t_{\xi} + \frac{\Delta d_{max} + v_{mm}}{\alpha_n \cdot d_{\xi}} = 20 + \frac{0,060 + 0,073}{11 \cdot 10^{-6} \cdot 65} = 194,165 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (40)$$

kde: t_n [°C] - teplota ohřevu náboje,
 t_{ξ} [°C] - teplota čepu,
 Δd_{max} [mm] - maximální přesah,
 v_{mm} [mm] - montážní vůle,
 α_n [°C⁻¹] - součinitel tepelné roztažnosti,
 d_{ξ} [mm] - jmenovitý průměr čepu.

Součinitel tepelné roztažnosti α_n určen dle příslušné tabulky [15], $\alpha_n = 11 \cdot 10^{-6} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

3.1.2 Pevnostní kontrola spoje [35]**Rozměrová konstanta náboje**

$$C_n = \frac{d_n^2 + d_{\xi}^2}{d_n^2 - d_{\xi}^2} = \frac{198^2 + 65^2}{198^2 - 65^2} = 1,242 \text{ [-]} \quad (41)$$

kde: C_n [-] - rozměrová konstanta náboje,
 d_n [mm] - ekvivalentní vnější průměr náboje,
 d_{ξ} [mm] - průměr čepu.

- **Stanovení ekvivalentní vnějšího průměru náboje**

Jelikož čep není lisován v ose náboje, je tento rozměr stanoven jako střední hodnota nejvzdálenější a nejkratší vzdálenosti od krajního vlákna.

$$d_n = \frac{2 \cdot (l_{n \max} + l_{n \min})}{2} = \frac{2 \cdot (149 + 49)}{2} = 198 \text{ mm} \quad (42)$$

kde: d_n [mm] - ekvivalentní vnějšího průměru náboje,
 $l_{n \max}$ [mm] - maximální vzdálenost osy čepu od krajního vlákna,
 $l_{n \min}$ [mm] - minimální vzdálenost osy čepu od krajního vlákna.

Maximální tlak ve spoji

$$p_{max} = \frac{\Delta d_{max} \cdot E}{d_{\xi} \cdot (C_n + 1)} = \frac{0,060 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{65 \cdot (1,242 + 1)} = 86,478 \text{ MPa} \quad (43)$$

- kde: p_{max} [MPa] - maximální tlak ve spoji,
 Δd_{max} [mm] - maximální přesah,
 E [MPa] - modul pružnosti v tahu,
 d_{ξ} [mm] - průměr čepu,
 C_n [-] - rozměrová konstanta náboje.

Modul pružnosti v tahu E pro taženou ocel určen dle [15]. $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa.

Kontrola tlaku ve spoji

$$p_{max} \leq \frac{\sigma_D}{(C_n + 1)} \quad (44)$$

$$p_{max} \leq \frac{295}{(1,242 + 1)}$$

$$p_{max} \leq 131,604 \text{ MPa}$$

- kde: p_{max} [MPa] - maximální tlak ve spoji,
 σ_D [MPa] - dovolené napětí ve spoji,
 C_n [-] - rozměrová konstanta náboje.

Maximální tlak vyhovuje.

- **Stanovení dovoleného napětí ve spoji**

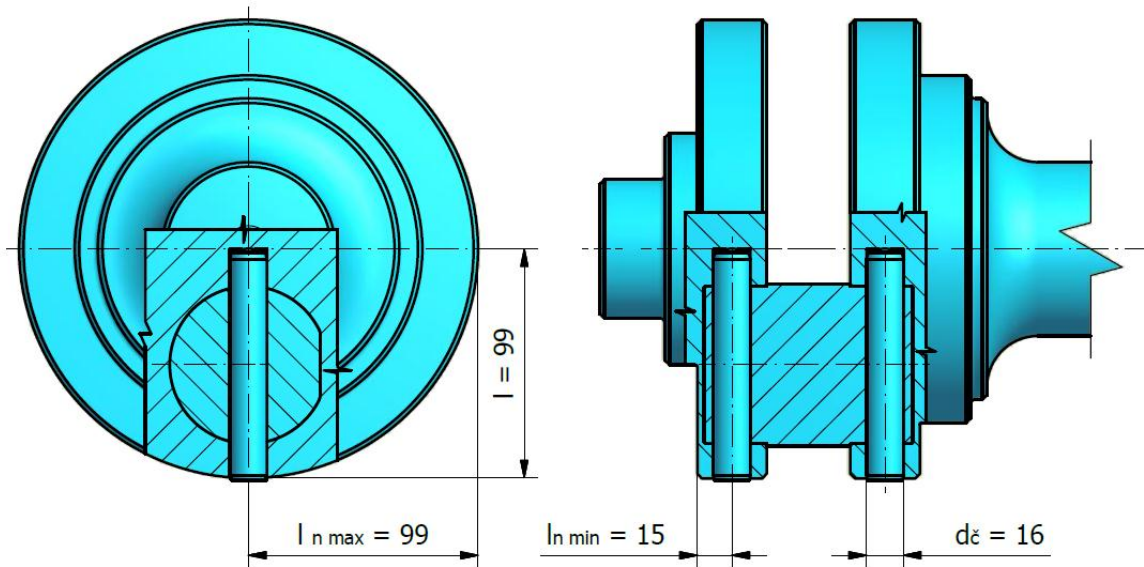
$$\sigma_D = \frac{R_{e \min}}{k_e} = \frac{590}{2} = 295 \text{ MPa} \quad (45)$$

- kde: σ_D [MPa] - dovolené napětí ve spoji
 $R_{e \min}$ [MPa] - mez kluzu,
 k_e [-] - součinitel bezpečnosti.

Mez kluzu $R_{e \min}$ pro mat. 14 220 určena dle [15]. $R_{e \min} = 590$ MPa.

3.2 Nalisování kolíků

Pro zajištění ojnicích čepů jsou skrz rameno a ojnicí čepy nalisovány kolíky ISO 8735, rozměr 16x100-A. Pro kolíky je vystružena díra $\varnothing 16$ H7. Tolerance kolíků je m6. Kolíky jsou lisovány na hydraulickém lisu za normální teploty. Schéma spoje s rozměry viz obr. 26.



Obr. 26 Rozměry lisovaného spoje.

3.2.1 Určení lisovací síly [35]

Maximální přesah uložení

- Tolerance náboje: H7

$$\text{Horní úchylka } ES = +18 \mu\text{m}$$

$$\text{Dolní úchylka } EI = 0 \mu\text{m}$$

- Tolerance čepu: m6

$$\text{Horní úchylka } es = +18 \mu\text{m}$$

$$\text{Dolní úchylka } ei = +7 \mu\text{m}$$

$$\Delta d_{max} = es - EI = 18 - 0 = 18 \mu\text{m} \quad (46)$$

kde: Δd_{max} [μm] - maximální přesah,
 es [μm] - horní úchylka čepu,
 EI [μm] - dolní úchylka náboje.

Rozměrová konstanta náboje

$$C_n = \frac{d_n^2 + d_\zeta^2}{d_n^2 - d_\zeta^2} = \frac{114^2 + 16^2}{114^2 - 16^2} = 1,040 [-] \quad (47)$$

kde: C_n [-] - rozměrová konstanta náboje,
 d_n [mm] - ekvivalentní vnější průměr náboje,
 d_ζ [mm] - průměr čepu.

- **Stanovení ekvivalentní vnějšího průměru náboje**

$$d_n = \frac{2 \cdot (l_{n \max} + l_{n \min})}{2} = \frac{2 \cdot (99 + 15)}{2} = 114 \text{ mm} \quad (48)$$

kde: d_n [mm] - ekvivalentní vnějšího průměru náboje,
 $l_{n \max}$ [mm] - maximální vzdálenost osy kolíku od krajního vlákna,
 $l_{n \min}$ [mm] - minimální vzdálenost osy kolíku od krajního vlákna.

Maximální lisovací síla

$$F_{\max} = \Delta d_{\max} \cdot f \cdot l \cdot E \cdot \left(1 - \frac{d_\zeta}{d_n}\right) \cdot \frac{\pi}{2} \quad (49)$$

$$F_{\max} = 0,018 \cdot 0,12 \cdot 99 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{16}{114}\right) \cdot \frac{\pi}{2} = 60\,638,625 \text{ N}$$

kde: F_{\max} [N] - maximální lisovací síla,
 Δd_{\max} [mm] - maximální přesah,
 f [-] - součinitel smykového tření,
 l [mm] - délka spoje,
 E [MPa] - modul pružnosti v tahu,
 d_ζ [mm] - průměr čepu.
 d_n [mm] - ekvivalentní vnější průměr náboje.

Součinitel tření f určen dle [15], pro materiál ocel – ocel, mazáno $f = (0,1 - 0,12)$ [-].

Modul pružnosti v tahu E pro taženou ocel určen dle [15]. $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa.

3.2.2 Pevnostní kontrola spoje [35]

Maximální tlak ve spoji

$$p_{max} = \frac{\Delta d_{max} \cdot E}{d_{\check{c}} \cdot (C_n + 1)} = \frac{0,018 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{16 \cdot (1,040 + 1)} = 115,798 \text{ MPa} \quad (50)$$

- kde: p_{max} [MPa] - maximální tlak ve spoji,
 Δd_{max} [mm] - maximální přesah,
 E [MPa] - modul pružnosti v tahu,
 $d_{\check{c}}$ [mm] - průměr kolíku,
 C_n [-] - rozměrová konstanta náboje.

Modul pružnosti v tahu E pro taženou ocel určen dle [15]. $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa

Kontrola tlaku ve spoji

$$p_{max} \leq \frac{\sigma_D}{(C_n + 1)}$$

$$p_{max} \leq \frac{295}{(1,040 + 1)} \quad (51)$$

$$p_{max} \leq 144,594 \text{ MPa}$$

- kde: p_{max} [MPa] - maximální tlak ve spoji,
 σ_D [MPa] - dovolené napětí ve spoji,
 C_n [-] - rozměrová konstanta náboje.

Maximální tlak vyhovuje.

- Stanovení dovoleného napětí ve spoji

$$\sigma_D = \frac{R_{e \min}}{k_e} = \frac{590}{2} = 295 \text{ MPa} \quad (52)$$

- kde: $R_{e \min}$ [MPa] - mez kluzu,
 k_e [-] - součinitel bezpečnosti.

Mez kluzu $R_{e \min}$ pro mat. 14 220 určen dle [15]. $R_{e \min} = 590$ MPa.

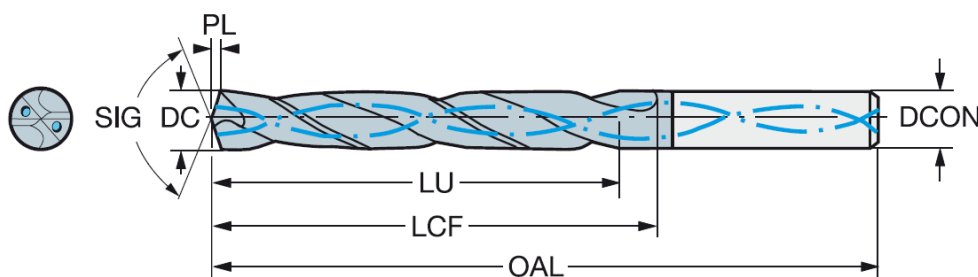
3.2.3 Volba nástrojů pro vystružení děr pro kolíky

Vrták CoroDrill® 460 – XM

K vrtání děr se použije monolitní karbidový vrták CoroDrill® 460 – XM s vnitřním přívodem řezné kapaliny, typ 460.1-1510-113A1-XM.. Vrták byl vybrán z katalogu Výroba děr, firmy Sandvik. Průměr vrtáku byl zvolen dle tabulky pro volbu velikosti předvrtané díry pro průměry vystružovaných děr [15]. Schéma vrtáku viz obr. 27, rozměry vrtáku a doporučené řezné podmínky viz tab. 32 a 33.

Parametry [24]:

přívod řezné kapaliny	vnitřní,
standardní skupina	Coromant,
úhel hrotu	140 °,
tolerance nástroje	m7,
tolerance díry	H9,
stopka	DIN 6535 HA,
materiálová třída	GC34.



Obr. 27 Schéma vrtáku CoroDrill® 460 – XM [24].

Tab. 32 Rozměry vrtáku [24].

Označení	DC [mm]	DCON [mm]	LU [mm]	OAL [mm]	LCF [mm]	PL [mm]	SIG [°]
460.1-1750-053A0-XM	15,10	16	149	226	172	2,47	140°

Tab. 33 Doporučené řezné podmínky[24].

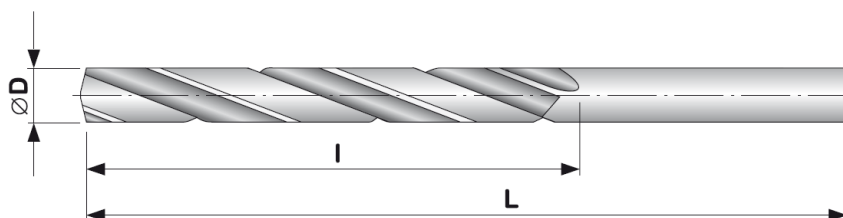
f_n [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
(minimální – počáteční – maximální)	(minimální – počáteční – maximální)
0,256 - 0,320 - 0,384	88 - 110 - 132

Výhrubník ČSN 22 1480

Na vyhrubování děr $\varnothing 16$ H7 mm se použije šroubovitý tříbřitý výhrubník ČSN 22 1480 s válcovou stopkou. Průměr výhrubníku byl zvolen dle tabulky přídavek na vyhrubování a vystružování děr [15]. Schematický obrázek viz obr. 28, rozměry výhrubníku a doporučené řezné podmínky viz tab. 34 a 35.

Parametry [32]:

norma	ČSN 22 1480,
tolerance díry	H11
stopka	DIN 6535 HA,
materiál	HSS – rychlořezná ocel,
počet břitů	3.



Obr. 28 Schéma výhrubníku ČSN 22 1480 [32].

Tab. 34 Rozměry výhrubníku [32].

Označení	D [mm]	L [mm]	l [mm]
B801575F000S	15,75	178	120

Tab. 35 Doporučené řezné podmínky [15].

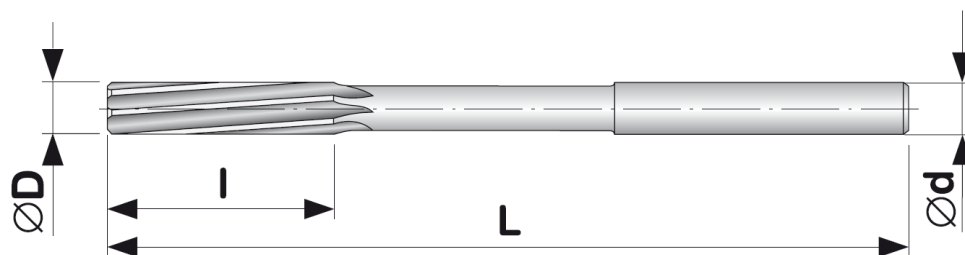
f_n [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
0,4	33

Výstružník ČSN 22 1430

Na vystružení děr $\varnothing 16$ H7 mm se použije strojní výstružník ČSN 22 1430 se zesílenou válcovou stopkou. Schematický obrázek viz obr. 29, rozměry výstružníku a doporučené řezné podmínky viz tab. 36 a 37.

Parametry [33]:

norma	ČSN 22 1430,
tolerance díry	H7
stopka	DIN 6535 HA,
materiál	HSS – rychlořezná ocel,
počet břitů	8.



Obr. 29 Schéma výstružníku ČSN22 1480 [33].

Tab. 36 Rozměry výstružníku [33].

Označení	D [mm]	L [mm]	l [mm]	d [mm]
B301607F400S	16	170	52	12,5

Tab. 37 Doporučené řezné podmínky [15].

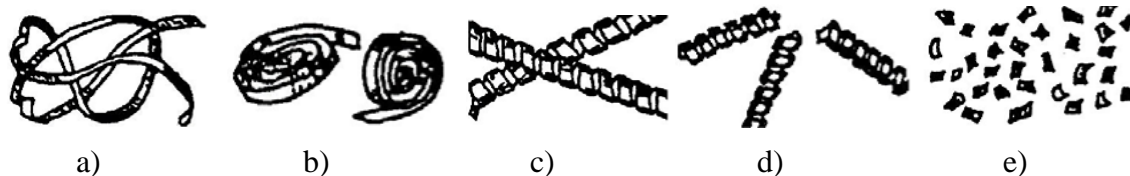
f_n [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
0,15	6

3.3 Technologický postup

TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Název celku: ZALOMENÝ HŘÍDEL	Název součástky: SESTAVA		Číslo výkresu: BP-00	Vydání postupu: 25.04.2015		
Dne: 25.04.2015	Vyhotovil: Vít Sonberger	Rozměr:		Materiál:	Hmotnost: 33,8 kg	List / listů: 1/1		
Č. op.	Středisko Název stroje	Popis práce Řezné podmínky				Výrobní pomůcky:		
01	Elektrická pec	Nalisovat ojnicí čep do ramen. Teplota ohřátí náboje: 195 °C						
02	Horizontální vyvrtávačka H90	Vrtat 2 x otvor \varnothing 15,1 mm v hloubce $99^{+0,1}_{+0}$ mm.				Vrták: 460.1-1750-053A0-XM		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		115	0,3	-	2440			0,15
03	Horizontální vyvrtávačka H90	Vyhrubovat 2 x otvor \varnothing 15,75 mm v hloubce $99^{+0,1}_{+0}$ mm.				Výhrubník: B801575F000S		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		33	0,4	-	630			0,4
04	Horizontální vyvrtávačka H90	Vystružit 2 x otvor \varnothing 16 H7 mm v hloubce $99^{+0,1}_{+0}$ mm.				Výstružník: B301607F400S		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_n [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]			t_{AS} [min.ks ⁻¹]
		6	0,15	-	160			5,2
05	Hydraulický lis	Nalisovat 2 x kolíky ISO 8735 - 16x100-A. Lisovací síla: 60,7 kN. Stykové plochy namazat řepkovým olejem.						
06	Hrotová bruska BUT-64	Brousit \varnothing 60 k6 na \varnothing 60,002 mm, \varnothing 75 h6 na \varnothing 74,985 mm.				Brusný kotouč: 300x30x127 6A80-O8- V2AX		
		v_c [m.s ⁻¹]	v_w [m.min ⁻¹]	f_a [mm]				
		30	10	9				
07		Chemicky niklovat 5-10 μ m.						

4 TŘÍSKA PŘI SOUSTRUŽENÍ

Správný tvar a velikost třísky je důležitý z důvodů, jako jsou: dobrá manipulovatelnost při odvodu třísky ze stroje, snaha o co nejmenší objem třísky, efektivní využití nástroje a kvalita obrobeneho povrchu [35]. Základní tvary třísek jsou znázorněny na obr. 30.



Obr. 30 tvary třísek:

a) stuhová, b) spirálová, c) šroubovitá dlouhá, d) šroubovitá krátká, e) elementární [35].

Dlouhá plynulá tříska má tendenci se namotávat na nástroj, což zvyšuje riziko jeho poškození a nebezpečí poranění obsluhy. Naopak drobná tříska, vznikající při obrábění křehkých materiálů, způsobuje vznik mikrotrhlin na řezné hraně. To vede k poškození břitu nástroje a drsnému povrchu obrobku.

Při obrábění oceli je snaha dosáhnout dělené spirálové, nebo šroubovitě krátké třísky.

Na tvar třísky mají vliv tyto faktory:

- vlastnosti obráběného materiálu,
- geometrie nástroje,
- materiál nástroje,
- řezné podmínky [35].

4.1 Tvar třísky při soustružení součástí zalomeného hřídele

Zde jsou popsány třísky vzniklé při soustružení jednotlivých součástí zvolenými břitovými destičkami za předepsaných řezných podmínek.

4.1.1 Rameno s delším čepem

Č. v. BP-00-01 – viz přílohy.

Zhotovená součást – viz obr. 31.



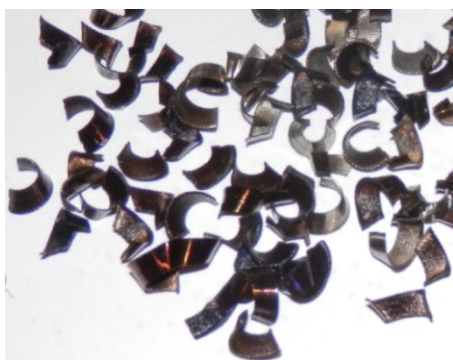
Obr. 31 Rameno s delším čepem.

Hrubování

Tvar třísky: spirálová krátká – viz obr. 32.

Řezné podmínky:

materiál součásti	14 220,
břítová destička	CNMG 12 04 12 - PR,
materiál destičky	GC4325,
řezná rychlost v_c [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	225 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$,
posuv na otáčku f_n [mm]	0,5 mm,
hloubka řezu a_p [mm]	3 mm, 3,5 mm, 5 mm.



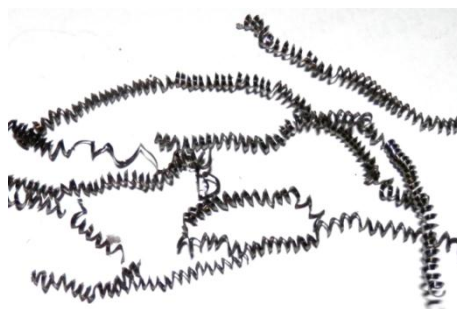
Obr. 32 Třísky při hrubování ramena s delším čepem.

Dokončování

Tvar třísky: šroubovitá, proměnlivá délka – viz obr. 33.

Řezné podmínky:

materiál součásti	14 220,
břítová destička	CNMG 12 04 08 - PF,
materiál destičky	GC4315,
řezná rychlost v_c [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	317 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$,
posuv na otáčku f_n [mm]	0,25 mm,
hloubka řezu a_p [mm]	0,65 mm.

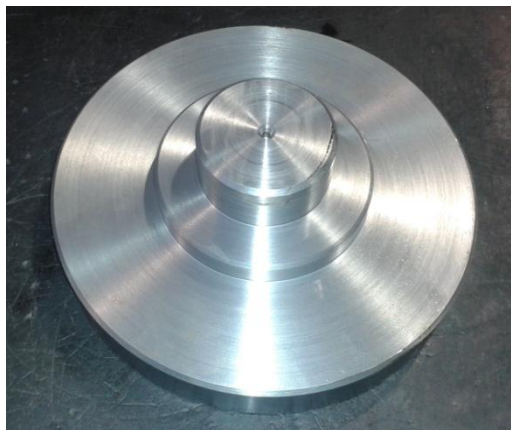


Obr. 33 Třísky při dokončování ramena s delším čepem.

4.1.2 Rameno s kratším čepem

Č. v. BP-00-02 – viz přílohy.

Zhotovená součást – viz obr. 34.



Obr. 34 Rameno s kratším čepem.

Hrubování

Tvar třísky: spirálová krátká – viz obr. 35.

Řezné podmínky:

materiál součásti	14 220,
břítová destička	CNMG 12 04 12 - PR,
materiál destičky	GC4325,
řezná rychlost v_c [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	250 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$,
posuv na otáčku f_n [mm]	0,5 mm,
hloubka řezu a_p [mm]	3 mm, 3,5 mm, 5 mm.



Obr. 35 Třísky při hrubování ramena s kratším čepem.

Dokončování

Tvar třísky: šroubovitá, proměnlivá délka – viz obr. 36.

Řezné podmínky:

materiál součásti	14 220,
břitová destička	CNMG 12 04 08 - PF,
materiál destičky	GC4315,
řezná rychlost v_c [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	317 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$,
posuv na otáčku f_n [mm]	0,25 mm,
hloubka řezu a_p [mm]	0,65 mm.



Obr. 36 Tříska při dokončování ramena s kratším čepem.

4.1.3 Ojniční čep

Č. v. BP-00-03 – viz přílohy.

Zhotovená součást – viz obr.37.



Obr. 37 Ojniční čep.

Hrubování

Tvar třísky: při menších hodnotách hloubky řezu dlouhá spirálová, se zvětšující se hloubkou řezu spirálová krátká – viz obr. 38.

Řezné podmínky:

materiál součásti	14 220,
břitová destička	CNMG 09 04 08 – PM,
materiál destičky	GC4325,
řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	315 m.min ⁻¹ ,
posuv na otáčku f_n [mm]	0,35 mm,
hloubka řezu a_p [mm]	0,5 mm, 1,5 mm, 2,5 mm.



Obr. 38 Třísky při hrubování ojničního čepu.

Dokončování

Tvar třísky: spirálová dlouhá až stuhová – viz obr. 39.

Řezné podmínky:

materiál součásti	14 220,
břitová destička	CNMG 09 04 08 – PM,
materiál destičky	GC4325,
řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	315 m.min ⁻¹ ,
posuv na otáčku f_n [mm]	0,25 mm,
hloubka řezu a_p [mm]	0,5 mm.



Obr. 39 Třísky při dokončování ojničního čepu.

5 DISKUZE

Zalomený hřídel byl navržen skládaný z těchto tří dílů: rameno s delším hlavním čepem, rameno s kratším čepem, ojnicí čep. Jednotlivé díly jsou vyrobeny třískovým obráběním zejména na CNC soustruhu TCH 500 PRIME a obráběcím centru MCFV 1260.

Rameno s delším čepem a rameno s kratším čepem jsou tvarově a rozměrově podobné součásti, proto byly pro jejich výrobu voleny stejné řezné destičky. Pro hrubovací operace destička CNMG 12 04 12 – PR, pro dokončování CNMG 12 04 08 – PF. Pro hrubování i dokončování ojnicího čepu byla volena destička CNMG 09 04 08 – PM, pro střední obrábění. Řezné podmínky byly voleny a optimalizovány podle katalogu výrobce destiček.

Při soustružení součástí byla provedena experimentální verifikace, spočívající v kontrole tvaru a velikosti třísky. Při hrubování ramen s delším a kratším čepem se tvořila tříska spirálová v krátkých segmentech. Při dokončování se tvořila tříska šroubovitá v proměnlivých délkách. Při hrubování i dokončování ojnicího čepu se tříska lámala v delších segmentech než u předchozích dvou součástí, v závislosti na hloubce řezu.

Komponenty byly lisovány do sestavy. Ojnicí čep byl nalisován při ohřevu protikusů, zajištěn nalisovanými kolíky.

Po kompletaci sestavy byly hlavní čepy zalomeného hřídele broušeny. Zalomený hřídel byl chemicky niklován.

5.1 Návrhy pokračování řešení

Při případné další výrobě navrhuji optimalizaci řezných podmínek při výrobě ojnicího čepu, kde se tříska ve srovnání s ostatními dvěma součástmi hůře lámala a měla méně vhodný tvar.

V případě, že by se zalomený hřídel vyráběl pravidelně a ve větších dávkách, dalo by se uvažovat o pořízení soustružnicko-frézovacího centra, které by bylo možné využít i k výrobě jiných tvarově složitých součástí. Zde je také možnost nechat hřídel zhotovit v kooperaci jako odlitek či výkovek a obrobít funkční plochy.

ZÁVĚR

V této práci byl navržen technologický postup výroby zalomeného hřídele dle přiložené technické dokumentace.

Byl proveden teoretický rozbor možných konstrukčních řešení a způsobů výroby zalomeného hřídele.

U jednotlivých součástí byl určen rozměr polotovaru, zvoleny nástroje a řezné podmínky a navržen technologický postup výroby. U soustružnických operací byla optimalizována řezná rychlost, vypočten limitní posuv na otáčku a perioda výměny nástroje.

Pro sestavení byla vypočítána teplota ohřevu náboje pro nalisování ojnicního čepu a lisovací síla pro nalisování kolíků. V lisovaných spojích byl zkontrolován maximální tlak.

Při soustružení jednotlivých dílů byla provedena experimentální verifikace.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] RAUSCHER, J.: *Spalovací motory*. 2005. Studijní opory FSI VUT Brno
- [2] LS7 with a flat plane crank? *Corvette forum* [online]. 2001 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.corvetteforum.com/forums/c6-z06-discussion/2826709-ls7-with-a-flat-plane-crank-8.html>
- [3] F430. *Ferrari.com* [online]. 2014 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://auto.ferrari.com/en_EN/sports-cars-models/past-models/f430/
- [4] Crankshaft types and differences. *Club GTI* [online]. 2010 [cit. 2015-02-11]. Dostupné z: <http://www.clubgti.com/showthread.php?206029-Crankshaft-types-and-differences>
- [5] Pivotal rolls. *RET-Monitor* [online]. 2010 [cit. 2015-02-18]. Dostupné z: <http://www.ret-monitor.com/articles/wp-content/uploads/pdf/crankshafts.pdf>
- [6] Crossplane crankshaft. *Yamaha Part* [online]. 2009 [cit. 2015-02-19]. Dostupné z: <http://www.yamahapart.com/page/crossplanecrankshaft>
- [7] Two-Stroke Engine Bottom End Inspection. *Knovel* [online databáze]. 2010 [cit. 2015-02-27]. Dostupné z: https://content.knovel.com/content/pdf/5978/53888_11.pdf?ekey=f24_2Bg8MI mbooo-rlNw_RJO_v7yYY8CdOofX535qtMsE#page=8&search=TWO-PIECE CRANKSHAFT&toolbar=1&navpanes=0&zoom=100&pagemode=none
- [8] Split crankshafts. *HighPower Media* [online]. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <https://www.highpowermedia.com/RET-Monitor/3013/split-crankshafts>
- [9] Welding of assembler crankshafts. *HighPower Media* [online]. 2013 [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <https://www.highpowermedia.com/RET-Monitor/3774/welding-of-assembled-crankshafts>
- [10] Bottom End. *Streetfighter Performance* [online]. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://streetfighterperformance.com/xb12-turbo/engine/bottom-end>
- [11] FRISHHERZ, SKOP a KNOUREK. *Technologie zpracování kovů 1: Základní poznatky*. Praha: SNTL, 2004. ISBN 80-902655-5-3.
- [12] THE EARLY YEARS. *Knovel* [online databáze]. 2010 [cit. 2015-03-02]. Dostupné z: https://content.knovel.com/content/pdf/3906/67118_02.pdf?ekey=f2IdxNhR1DX uO-a5WBKJzy603mc-yMKVOxxFm0hXX1Tjk#page=21&search=crankshaft split pin&toolbar=1&navpanes=0&zoom=100&pagemode=none
- [13] Crankshafts. *Knovel* [online databáze]. 2004 [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: <http://app.knovel.com/web/view/pdf/show.v/rcid:kpICEHBCS1/cid:kt0086H051/u>

rl_slug:lost-foam-process-full/root_slug:internal-combustion-engine-3/viewerType:pdf/

- [14] KOCMAN, Karel. *Speciální technologie: obrábění*. 3. přeprac. v dopl. vyd., V Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 227 s. ISBN 80-214-2562-8.
- [15] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008, xiv, 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [16] SANDVIK. *CoroKey* [online]. 2010 [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/catalogues/cs-cz/CoroKey_2010.pdf
- [17] PRAMET. *Katalog Soustružení 2014* [online]. 2014 [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/download.php?id=629>
- [18] SANDVIK COROMANT. *Produktivní obrábění kovů*. Švédsko: Technické vydavatelství, CMSE, 1998.
- [19] Hot Rods Crankshaft Assembly. *Canada's motorcycle* [online]. 2015 [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: <http://www.canadasmotorcycle.ca/hot-rods-crankshaft-assembly-4012.html>
- [20] Tatra Crankshaft for TATRA V8. *Alibaba* [online]. 2009 [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: http://www.alibaba.com/product-detail/Tatra-Crankshaft-for-TATRA-V8-163_535907795/showimage.html
- [21] Katalog. *Svaz strojírenské technologie - SST* [online]. [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://www.sst.cz/katalog/product/id/59>
- [22] Vertikální obráběcí centrum MCFV 1260. *TAJMAC ZPS, a.s.* [online]. 2012 [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://www.tajmac-zps.cz/cs/MCFV-1260>
- [23] Pilous TMJ PP 301. *Pilous* [online]. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://www.pilous-pily.cz/eshop/pilous-tmj-pp-301>
- [24] SANDVIK. *Výroba dř* [online]. 2014 [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://sandvik.ecbook.se/SE/cs/Holemaking/>
- [25] ČSN 221110 - DIN 333A: Vrták středící 60°- tvar A. *Duvako* [online]. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: http://www.duvako.sk/index.php?route=product/product&product_id=135
- [26] Záhlubník ČSN22 1625.2 třízubý 90° D5.0. *MT Nástroje* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.mt-nastroje.cz/i-zavitniky/eshop/28-1->

Zahlubniky-a-stupnovite-vrtaky/759-3-Kuzel-90-HSS/5/4531-Zahlubnik-CSN22-1625-2-trizuby-90-D5-0

- [27] SANDVIK. *Nové obráběcí nástroje a řešení* [online]. 2014 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/brochures/cs-cz/c-2900-148.pdf>
- [28] Záhlubník ČSN22 1623 třízubý 60° D6,3 TiN. *MT Nástroje* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.mt-nastroje.cz/i-zavitniky/eshop/28-1-Zahlubniky-a-stupnovite-vrtaky/136-3-Kuzel-60-HSS/5/12808-Zahlubnik-CSN22-1623-trizuby-60-D6-3-TiN>
- [29] Insert CNMG 12 04 12-PR 4325 for T-max P. *Sandvik* [online]. [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=CNMG%2012%2004%2012-PR%204325&m=6265922>
- [30] Insert CNMG 12 04 08-PF 4315 for T-max P. *Sandvik* [online]. [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=CNMG%2012%2004%2008-PF%204325&m=6433955>
- [31] Insert CNMG 09 03 08-PM 4325 for T-max P. *Sandvik* [online]. [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=CNMG%2009%2003%2008-PM%204325&m=6265881>
- [32] Výhrubník ČSN22 1480 válcová stopka D9,8. *MT Nástroje* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.mt-nastroje.cz/i-zavitniky/eshop/0/3/5/12309-Vyhrubnik-CSN22-1480-valcova-stopka-D9-8>
- [33] Výstružník ČSN22 1430 strojní HSS D2,2 H7. *MT Nástroje* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.mt-nastroje.cz/i-zavitniky/eshop/39-1-Vyhrubniky-a-vystruzniky/732-2-Vystruzniky/5/12633-Vystruznik-CSN22-1430-strojni-HSS-D2-2-H7>
- [34] DEJL, Zdeněk. *Konstrukce strojů a zařízení I: spojovací části strojů : návrh, výpočet, konstrukce*. Ostrava: Montanex, 2000, 225 s. ISBN 80-7225-018-3.
- [35] SKRIPTA z TECHNOLOGIE II - 1. díl [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_1dil.pdf
- [36] Hrotová bruska TOS BUT-63 - 3000. *Použité stroje a zařízení - Exapro* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.exapro.cz/hrotova-bruska-tos-but-63-3000-p30627129/#!prettyPhoto>

- [37] Bruska hrotová BUT 63/3000. *TZD - Použité stroje* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.tdzpartners.com/index.php?company=pouzite_stroje&skupina_nomenklatur=07&id_nomen=0100000000001017&img=BUT%2063-3000%20-%20140018/1.jpg
- [38] Vodorovná vyvrtávačka H63. 2013. *Hyperinzerce* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://stroje.hyperinzerce.cz/horizontalni-vyvrtavacky/inzerat/8040748-vodorovna-vyvrtavacka-h-63-a-vyborny-stav-nabidka-pelhrimov/#.VUpF8b1pqJb>
- [39] Vodorovná vyvrtávačka H63. *TZD - Použité stroje* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: http://www.tdzpartners.com/index.php?company=pouzite_stroje&skupina_nomenklatur=03&id_nomen=0100000000000720&img=H%2063%20-%20130082/3.JPG
- [40] Dílenský lis elektrohydraulický WZWP-100EVx4. *Imatech* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.imatech.cz/dilenske-lisy/139-elektricky-hydraulicky-lis-wzwp-100ev-.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
a_p	[mm]	hloubka řezu
B	[-]	počet dílů v dávce
C_1	[Kč]	náklady na destičku
C_B	[Kč]	celkové náklady na dávku
C_{MC}	[Kč]	strojní náklady na jeden díl
C_n	[-]	rozměrová konstanta náboje
C_T	[Kč]	náklady na jeden břit
C_{TC}	[Kč]	náklady na nástroje na jeden díl
D	[mm]	obráběný průměr
d	[mm]	průměr hotového obrobku
$D_{1...4}$	[mm]	průměry osazených částí obrobku
d_ζ	[mm]	průměr čepu
Δd_{max}	[mm]	maximální přesah
d_{max}	[mm]	maximální průměr čepu
d_n	[mm]	ekvivalentní vnější průměr náboje
D_p	[mm]	průměr polotovaru
D_s	[mm]	střední průměr
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
E_z	[Kč·min ⁻¹]	náklady na výrobní zdroje
EI	[μm]	dolní úchylka náboje
es	[μm]	horní úchylka čepu
ES	[μm]	horní úchylka náboje
es	[μm]	horní úchylka hřídele
F_{max}	[N]	maximální lisovací síla
f_n	[mm]	posuv na otáčku
f_z	[mm]	posuv na zub
i	[-]	počet úběrů
k_e	[-]	součinitel bezpečnosti
k_v	[-]	korekční součinitel
l	[mm]	délka obráběného úseku
L	[mm]	délka obrobku
$L_{1...4}$	[mm]	délky úseků daných průměrů

$l_{n \max}$	[mm]	maximální vzdálenost osy čepu od krajního vlákna
$l_{n \min}$	[mm]	minimální vzdálenost osy čepu od krajního vlákna
L_p	[mm]	délka polotovaru
n	$[\text{min}^{-1}]$	otáčky vřetena
N	[-]	počet břitů
N_C	[-]	počet břitů, potřebný pro výrobu dávky
p_{\max}	[MPa]	maximální tlak ve spoji
R_a	$[\mu\text{m}]$	střední aritmetická drsnost povrchu
r_e	[mm]	poloměr zaoblení břitu
$R_{e \min}$	[MPa]	mez kluzu
s_D	[MPa]	dovolené napětí ve spoji
T	[min]	trvanlivost ostří
t_{AS}	[min]	strojní čas
t_{ASi}	[min]	strojní čas pro jednotlivé úseky
t_ξ	$[\text{°C}]$	teplota čepu
T_k	[-]	perioda výměny nástroje
t_n	$[\text{°C}]$	teplota ohřevu náboje
T_v	[min]	výsledná trvanlivost ostří
v_c	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	řezná rychlost
v_{mm}	[mm]	montážní vůle
X_l	[mm]	přídavek na zarovnání čela
Z_\varnothing	[mm]	přídavek na průměr
α_n	$[\text{°C}^{-1}]$	součinitel tepelné roztažnosti
α_p	$[\text{°}]$	přímost řezu pásové pily
λ	[-]	redukovaná štíhlost

SEZNAM PŘÍLOH

Použitá zařízení:

Příloha 1	CNC soustruh TCH 500 PRIME / 80 - 2500
Příloha 2	Vertikální obráběcí centrum MCFV 1260
Příloha 3	Pásová pila TMJ PP 301
Příloha 4	Hrotová bruska BUT-63
Příloha 5	Horizontální vyvrtávačka H63
Příloha 6	Dílenský lis elektrohydraulický WZWP-100EVx4
Příloha 7	Sestavený zalomený hřídel

Výkresová dokumentace:

DP-00	Zalomený hřídel
DP-00-01	Rameno s delším čepem
DP-00-02	Rameno s kratším čepem
DP-00-03	Ojniční čep

PŘÍLOHA 1

CNC soustruh TCH 500 PRIME / 80 – 2500 – viz obr I.

Soustruh je od firmy TAJMAC-ZPS, a.s.



Obr. I. Soustruh TCH 500 PRIME / 80 – 2500 [21].

Hlavní technická data [21]:

Pracovní rozsah

Oběžný průměr nad ložem	635 mm
Max. průměr soustružení	615 mm
Max. délka soustružení	2500 mm

Hlavní vřeteno

Max. průměr tyče	80 mm
Výkon hlavního motoru	42 kW
Max. otáčky vřetena	3200 min ⁻¹
Velikost sklíčidla	250 / 315 mm

Nástrojová hlava

Počet poloh nástrojové hlavy	12 ks
------------------------------	-------

PŘÍLOHA 2

Vertikální obráběcí centrum MCFV 1260 – viz obr. II.

Obráběcí centrum taktěž od firmy TAJMAC-ZPS, a.s.



Obr. II Vertikální obráběcí centrum MCFV 1260 [22].

Hlavní technická data [22]:

Pojezdy:

Max. pracovní posuv	15 m.min ⁻¹
Rychloposuv	40 m.min ⁻¹
Zrychlení	5 m.s ⁻²

Stůl:

Pracovní plocha	1450 x 590 mm
Počet T-Drážek x šířka x rozteč	5 x 18 x 125 mm
Max. zatížení	1350 kg

Vřeteno

Upínací kužel	ISO 50
Maximální otáčky	8000 min ⁻¹
Maximální výkon trvalý/přetížení	17/25 kW
Krouticí moment trvalý/přetížení	143/210 Nm
Typ převodu:	Řemenový

Zásobník nástrojů

Počet míst v zásobníku	24 ks
Čas výměny nástroje	4,5 s
Max. průměr nástroje	
- Plně obsazený zásobník	110 mm
- Bez sousedních nástrojů	180 mm
Max délka nástroje	300 mm

PŘÍLOHA 3

Pásová pila TMJ PP 301 – viz obr. III.

Pásová pila od firmy Pilous-pásové pily, s r.o.



Obr. 40 Pásová pila TMJ PP 301[23].

Hlavní technická data [23]:

Úhel řezu	0 - 60°
Max. průměr řezané kulatiny při 0°	305 mm
Výkon motoru	1,5 kW
Řezná rychlost	16 -73 m.min ⁻¹

PŘÍLOHA 4

Hrotová bruska BUT-63 – viz obr. IV.

Hrotová bruska od firmy TOS.



Obr. IV Bruska hrotová BUT-63[36].

Hlavní technická data [37]:

Max. průměr broušení	630 mm
Max. délka broušení	3000 mm
Max. hmotnost obrobku	2000 kg
Otáčky hlavního vřetene	9 - 156 ot.min ⁻¹
Výkon hlavního elektromotoru	22 kW

PŘÍLOHA 5

Horizontální vyvrtávačka H63 – viz obr. V.

Horizontální vyvrtávačka od firmy TOS.



Obr. V Horizontální vyvrtávačka H63[38].

Hlavní technická data [39]:

Pracovní průměr vřetene	63 mm
Otáčky hlavního vřetene	1400 min ⁻¹
Rozměry stolu	900 x 710 mm
Pojezd osy X	600 mm
Pojezd osy Y	710 mm
Kužel vřetene	Morse 4
Výkon hlavního elektromotoru	5,5 kW

PŘÍLOHA 6

Dílenský lis elektrohydraulický WZWP-100EVx4 – viz obr. VI.

Elektrohydraulický lis od firmy Imatech.



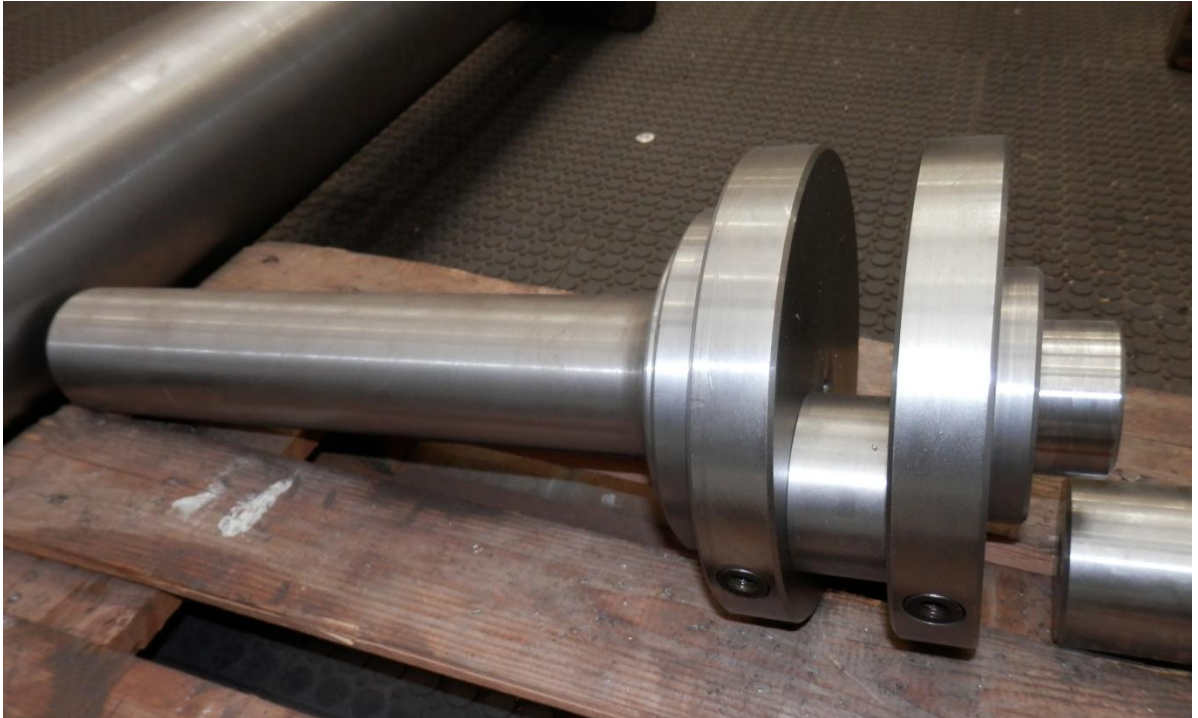
Obr. VI elektrohydraulický lis [40].

Hlavní technická data [40]:

nastavitelná tlaková síla	150 - 1000 kN
průměr pístu	150 mm
pístový hub	235 mm
průměr tyče pístu	85 mm
průměr čepu pístu	70 mm
rozměr pracovního stolku	v 7 krocích po 165 mm
rozměry stolu (šířka x hloubka)	1050 x 430 mm

PŘÍLOHA 7

Sestavený zalomený hřídel - viz obr. VII.



Obr. VII sestavený zalomený hřídel.