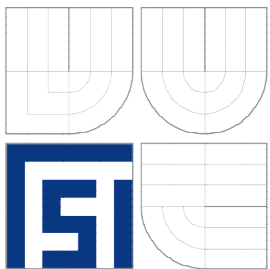




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI

PRODUCTION TECHNOLOGY OF PARTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL HAVLÁT

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL OSIČKA, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavel Havlát

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

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

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

Technologie výroby součástí

v anglickém jazyce:

Production technology of parts

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh technologie výroby součástí hřídelového charakteru v podmínkách strojního parku ÚST.

Cíle bakalářské práce:

Úvod.

Teorie strojního obrábění.

Rozbor technologičnosti součástky.

Návrh technologického postupu.

Návrh NC programu.

Odzkoušení NC programu

Rozbor strojního času.

Diskuze.

Zavěr.



Seznam odborné literatury:

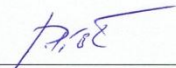
- AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 1. vydání Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- SVOBODA, Emil. Technologie a programování CNC strojů. 1. vyd. H. Brod: FRAGMENT, 1998. 278 s.
- FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vydání Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- ŠTULPA, Miroslav. CNC obráběcí stroje. 2. dotisk 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2008. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

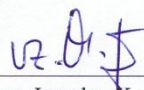
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Karel Osička, Ph.D.

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

V Brně, dne 20.11.2014




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


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

ABSTRAKT

Práce se zabývá technologií výroby součásti typu hřídel. V první části práce je popsána problematika strojního obrábění (historie a vývoj strojního obrábění, vznik třísky, řezná síla a teplo vznikající při obrábění). Další část práce je zaměřena na volbu strojů a nástrojů, popis technologického postupu výroby součásti a návrh NC programu s následným odzkoušením v prostorách strojního parku ÚST. Poslední část se věnuje rozboru strojního času pro jednotlivé operace.

Klíčová slova

strojní obrábění, soustružení, vyměnitelná břitová destička, strojní čas, NC program.

ABSTRACT

Work deals with production technology of part shaft type. In the first par of the thesis it's described problems of machining (history and development of machining, the emergence of splinter, cutting force and the heat generated during machining). The next part focuses on the choice of machines and tools, descriprion of the technological process production of part and proposal of NC program followed by testing at machinery park IMT. The final part focuses on analysis of machine time for each operations.

Keywords

machining, turning, indexable cutting insert, machine time, NC program.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAVLÁT, P. Technologie výroby součásti. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 70 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Osička, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Technologie výroby součástí** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

28. květen 2015

Datum

Pavel Havlát

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Karelů Osíčkoví, Ph.D za odborné vedení a cenné rady při vypracování bakalářské práce.

Děkuji také vedoucímu dílen, panu Milanu Rusíňákoví za umožnění realizace a pomoci při výrobě součástí na strojích ÚST.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	8
1 TEORIE STROJNÍHO OBRÁBĚNÍ.....	9
1.1 Historie obrábění.....	9
1.2 Technologie obrábění.....	10
1.2.1 Mechanismus tvorby třísky.....	11
1.2.2 Řezná síla.....	13
1.2.3 Teplo vzniklé při obrábění.....	16
2 TECHNOLOGIČNOST SOUČÁSTI.....	19
2.1 Tvar součásti.....	19
2.2 Volba vhodného materiálu.....	19
2.3 Obráběné plochy.....	20
2.4. Ekologičnost výroby.....	20
3 TECHNOLOGICKÝ POSTUP.....	21
3.1 Volba strojů.....	21
3.2 Volba nástrojů.....	24
3.3 Volba řezných podmínek pro soustružení.....	25
3.3 Operační návodky.....	28
3.4 Kontrola středního průměru závitu třídrátkovou metodou.....	33
4 NC PROGRAM.....	37
4.1 Struktura programu.....	37
4.2 Nejpoužívanější funkce G a M.....	38
4.3 Návrh NC programu.....	39
5 VÝPOČET STROJNÍHO ČASU.....	43
5.1 Jednotkový strojní čas.....	43
5.2 Výpočet strojního času výroby zadané součásti.....	44
6 DISKUSE.....	51
ZÁVĚR.....	52
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	53
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	55
SEZNAM PŘÍLOH.....	58

ÚVOD

V první části bakalářské práce je popsána problematika strojního obrábění s převážným zaměřením na teorii soustružení. Technologie soustružení patří mezi nejrozšířenější způsoby obrábění, a proto je v této práci věnováno pár slov i historii soustružení, ve které pozorujeme nejvýznamnější vývoj v období průmyslové revoluce. Pro výrobu zadané součásti je v největší míře zastoupeno soustružení poté frézování, vrtání a broušení.

V další části se bakalářská práce zaměřuje na rozbor technologičnosti konstrukce, tedy na vlastnosti obrobku technicko-ekonomického charakteru vázané na náročnost výroby součásti, jeho spolehlivosti, funkce a životnosti. Je zde věnována pozornost především tvaru součásti, volbě vhodného materiálu, jakosti povrchu a ekologičnosti výroby. Dále je vypracován technologický postup výroby s ohledem na možnosti strojů a nástrojů technického praku Ústavu strojírenské technologie Fakulty strojního inženýrství.

V poslední části této práce je proveden návrh NC programu pro řídicí systém Sinumerik 810D a jeho následné odzkoušení na soustruhu (MAS) SPN 12 CNC. Dále pak proveden rozbor strojních časů jednotlivých obráběcích operací a jejich porovnání s hodnotami naměřenými na použitých strojích.

Cílem této práce je návrh technologického postupu výroby součásti, návrh řídicího NC programu a jeho následné odzkoušení na strojním zařízení Ústavu strojírenské technologie Fakulty strojního inženýrství a provedení rozboru strojního času.

1 TEORIE STROJNÍHO OBRÁBĚNÍ

Obrábění je technologický proces, kterým lze vytvářet povrch obrobku požadovaného tvaru, rozměrů a jakosti. Odebírání částic materiálu je prováděno mechanickými, elektrickými a chemickými účinky, nebo jejich kombinací [1].

1.1 Historie obrábění

Do 18. století bylo dřevo nejpoužívanějším materiálem, protože nebyl doposud vynalezen takový mechanický pohon, který by zajistil dostatečnou efektivitu obrábění. Nejpodstatnější vývoj v oblasti obrábění se datuje k průmyslové revoluci odehrávající se v 18. a 19. století (vynalezení parního stroje a později elektromotoru). Další pokrok je zaznamenáván především v oblasti materiálů, kdy v průběhu 19. století se začínají používat legované a nelegované uhlíkové oceli. Prvním takovýmto materiálem byla tak zvaná „Mushetova ocel“, která byla kalena a obsahovala wolfram. S použitím tohoto materiálu bylo možné dosahovat řezné rychlosti okolo $10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ [2].

Na začátku 20. století se začíná používat **rychlořezná ocel (HSS)**, která vznikla především pokrokem v metalurgii a inovativním tepelným zpracováním ocelí. Největší předností nástrojů z HSS byla možnost použití nástrojů při teplotách dosahujících až 600°C . Pokusy v metalurgii se začaly vyvíjet materiály s větším obsahem legujících prvků (především wolframu a chromu), což mělo za následek zvýšení kalící teploty a zvýšení podílu tvrdých a tepelně odolných karbidů [2].

Další významnou éru zaznamenáváme ve 30. létech, kdy se začíná objevovat **slinutý karbid (SK)**. Slinutý karbid obsahuje okolo 90 % tvrdých karbidů a kovové pojivo. Nástroje ze slinutých karbidů jsou vyráběny práškovou metalurgií – slisováním s následným spečením kovového pojiva. Nejpoužívanějšími slinutými karbidy jsou WC-Co a slinuté karbidy s jinými druhy karbidů, jako například karbidy tantalu, niobu a titanu (TaC, NbC, TiC). V této době ovšem nebyly dostatečně výkonné a tuhé stroje a proto bylo nutné zaměřit vývoj právě do této oblasti. Obráběcí nástroje s destičkami ze slinutých karbidů se začaly používat koncem 40. a v průběhu 50. let. Tyto nástroje byly poměrně drahé a tak další inovací v průběhu 50. let byly vyměnitelné břitové destičky (VBD), které byly upínány mechanicky a umožňovaly snadnou výměnu a šlo je také snadněji brousit (v přípravku). V roce 1969 byla poprvé povlakována VBD karbidem titanu (TiC) metodou CVD (Chemical Vapour Deposition). Nástroje s povlakovanými VBD mohly pracovat s řeznou rychlostí až o 50% vyšší, nebo trvanlivostí dvojnásobnou než nástroje s VBD bez povlakování. V 70. letech postupně zlepšované povlakované VBD zvýšily řezné rychlosti až na $200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ i více a posuv na $700 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ [2].

V 70. letech se také začaly vyrábět povlakované VBD s prvními **utvařeči třísek**. Tvary utvařečů třísek byly nejprve jednoduché, později vlnité a složité. Utvařeč třísek zlepšuje odvod třísek z místa řezu a také láme třísku na menší, snadněji odpadávající kousky.

S růstem využití NC strojů se utvařeče třísek začaly vyrábět ve velké škále, protože každý soustružnický nůž musel plnit velmi rozdílné úkoly. Lamače třísek našly uplatnění ve velkém rozsahu použití [2].

1.2 Technologie obrábění

Technologický proces obrábění slouží pro vytvoření povrchu obrobku určitého tvaru, rozměrů a jakosti. Tento proces je realizován soustavou obrábění, jak uvádí literatura [1], která se skládá z:

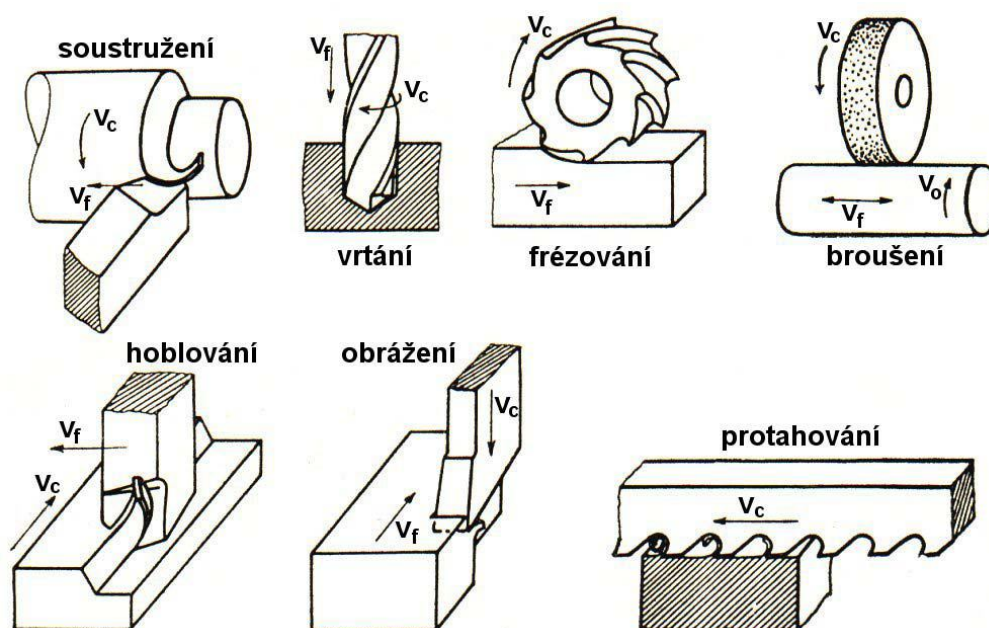
- obráběcí stroj (S),
- řezný nástroj (N),
- obrobek (O),
- přídavek (P).

Přídavek – část materiálu obrobku, kterou je třeba odstranit obráběním.

Odebíraná vrstva – část přídavku, odřezávaná z obrobku ve formě třísky.

Tříska – odříznutá a deformovaná vrstva materiálu obrobku.

Mezi nejpoužívanější metody obrábění v technické praxi zahrnujeme soustružení, vrtání, frézování, broušení, hoblování, obrážení, protahování aj. Každá z těchto metod má odlišnou soustavu obrábění (stroj, nástroj, obrobek a přídavek) a každá z metod má své přednosti i nevýhody. Vhodnou kombinací metod obrábění lze dosáhnout požadovaného tvaru, rozměrů a jakosti obrobku a je možné vyrobit téměř libovolný tvar součásti. Základní metody obrábění jsou znázorněny na obr. 1.1.



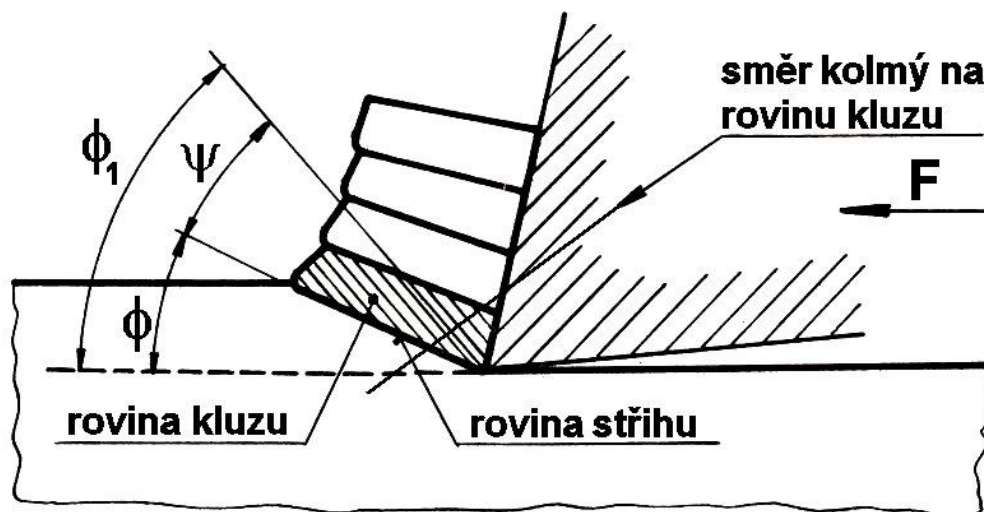
Obr. 1.1 Hlavní pohyb (v_c) a posuvový pohyb (v_f) u vybraných metod obrábění [1].

Hlavní pohyb je definován jako vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem, který realizuje obráběcí stroj. Jeho směr je definován jako směr okamžitého hlavního pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku. Řezná rychlost (v_c) je vyjádřena okamžitou rychlostí hlavního pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku ve směru hlavního pohybu [1].

Posuvový pohyb je realizovaný obráběcím strojem a představuje další relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Posuvový pohyb společně s hlavním pohybem umožňuje oddělování třísky materiálu. Posuvový pohyb může být postupný nebo plynulý (např. u protahování posuvový pohyb není vůbec realizován). Jeho směr je určen směrem okamžitého posuvového pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku. Posuvová rychlost (v_f) je určena jako okamžitá rychlost posuvového pohybu v uvažovaném bodě ostří vzhledem k obrobku. U přerušovaného posuvu není jeho rychlost definována (hoblování, obrážení) [1].

1.2.1 Mechanismus tvorby třísky

Proces obrábění lze chápat jako specifické silové působení nástroje ve tvaru klínu na obráběný materiál. Při vnikání řezného nástroje do materiálu obrobku je břit vtlačován silou F do obrobku, na břitu nástroje pak dochází ke koncentraci napětí, které má za následek vznik pružných a plastických deformací obráběného materiálu (viz obr. 1.2). Smykové napětí v rovině stříhu narůstá do té míry, až dojde k plastické deformaci materiálu před břitem nástroje [1, 3].

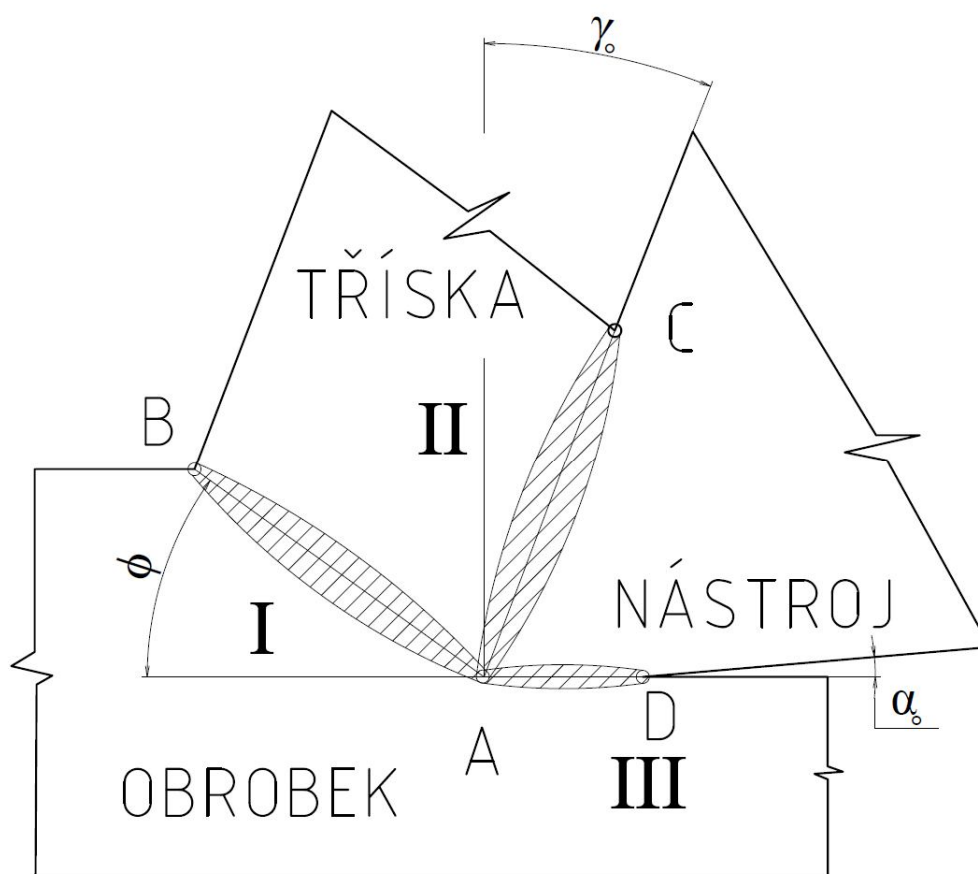


Obr. 1.2 Vznik třísky [1].

Ve směru kolmém ke klzným rovinám dochází k posunu a pětování vrstev materiálu do té doby, než je dosaženo maximálního plastického tětvoření. Při dalším pohybu nástroje roste napětí v materiálu až na hodnotu vyšší než je stříhová pevnost obráběného materiálu a dojde k odstřížení segmentu třísky v rovině stříhu pod úhlem ϕ [1].

Oblast materiálu, ve které dochází účinkem řezného nástroje k plastické deformaci, nazýváme kořenem třísky. V kořenu třísky rozeznáváme tři základní oblasti plastické deformace, jak uvádí literatura [3] (viz obr. 1.3):

- Oblast *primární plastické deformace materiálu I* (nachází se v rovině maximálních smykových napětí vymezené rovinou $\overline{AB}$ a skloněnou pod úhlem ϕ).
- Oblast *sekundární plastické deformace materiálu II* (zahrnuje tření třísky po čele nástroje mezi body $\overline{AC}$).
- Oblast *terciální plastické deformace materiálu III* (je vymezena body $\overline{AD}$ zahrnuje tření nástroje o obrobený povrch materiálu a má vliv na výslednou kvalitu obrobeného povrchu).

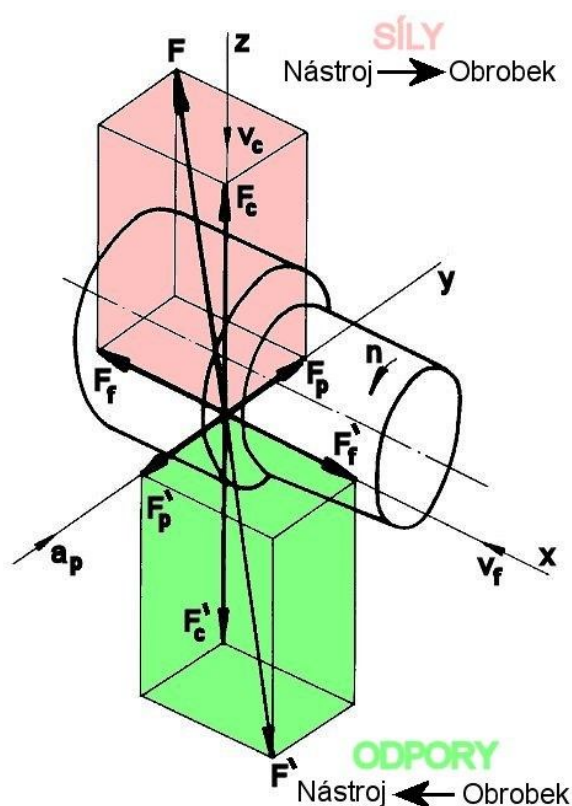


Obr. 1.3 Oblasti plastických deformací v kořenu třísky [3].

Obecně pak platí, že čím je vyšší úhel střížné roviny ϕ , tím je tříska štíhlejší a proces energeticky výhodnější. Dochází také k nižšímu zatížení a ovlivnění povrchových a podpovrchových vrstev obrobku [3].

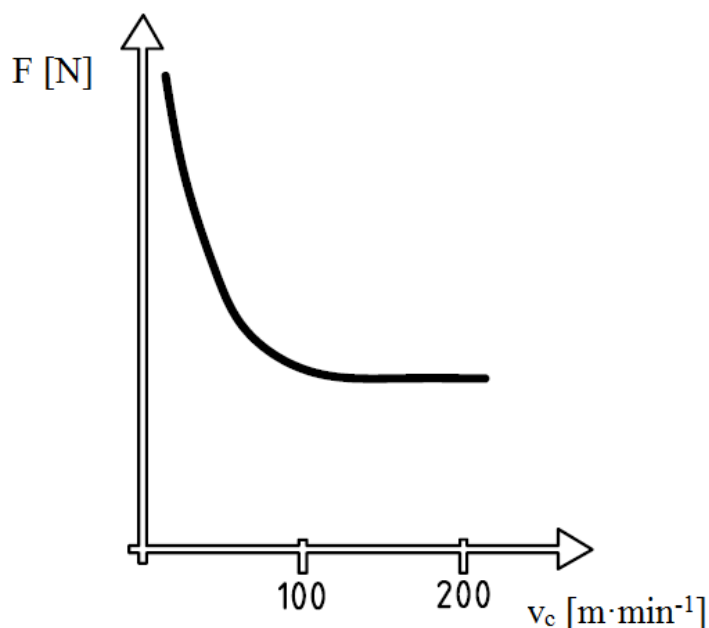
1.2.2 Řezná síla

Při obrábění kovů je nutné vynaložit značnou sílu potřebnou pro oddělení třísky od obrobku. Tato síla je přenášena z místa řezu do obrobku a přes nástroj do obráběcího stroje. Řezné síly lze měřit dynamometrem přímo na stroji, nebo teoreticky vypočítat. Hlavní části řezné síly představují síly vznikající při odřezávání třísky a síly potřebné pro její přetvoření. Tyto síly jsou z největší části tlakové, ale v menší míře i smykové. Nejvyšší hodnoty řezné síly jsou přímo na ostří břitu a jejich velikost se zmenšuje s různou intenzitou podél čela nástroje. Složky výsledné řezné síly F se uvádí v [N]. Mezi složky řezné síly patří tangenciální a radiální síla (F_c), pasivní síla (F_p) a síla posuvu (F_f). Výsledná řezná síla F a její jednotlivé složky při soustružení jsou znázorněny na obr. 1.4 [2, 3].



Obr. 1.4 Složky řezné síly [4].

Proto je důležité volit vhodnou geometrii břitu, která má podstatný vliv na velikost řezné síly. Značný vliv na velikost řezné síly má druh a stav (především tepelné zpracování) obrobku. U většiny materiálů dochází ke snížení řezné síly zvýšením řezné rychlosti (viz obr. 1.5) [2, 3].



Obr. 1.5 Výslednice řezné síly / řezná rychlost (obr. dle [2]).

Velikost řezné síly je ovlivňována [3]:

- fyzikálními vlastnostmi materiálu obrobku (zejména tvrdost nebo pevnost),
- velikost průřezu třísky (zejména tloušťka třísky),
- geometrie nástroje, případně další deformační podmínky,
- řezné prostředí apod.

Vlivem působení řezných sil může docházet k vibracím, popřípadě vychýlení obrobku nebo nástroje. Tato náchylnost k vibracím, nebo vychýlení může vzniknout variantami v procesu obrábění, jakož i rozdíly v tloušťkách přídavek na obrábění, stavem obrobku a také vlivem konstrukce břitu nástroje [2].

Řezná síla působící ve směru obrábění, potřebná k oddělení třísky určitého průřezu se nazývá měrná řezná síla. Tato veličina se používá pro výpočet potřebného výkonu obráběcího stroje, krouticího momentu působícího na vřetenu stroje a úzce souvisí s měrnou energií. Velikost měrné řezné síly lze vypočítat dle vztahu 1.1 [2, 3]:

$$k_c = \frac{F_c}{A_d} \text{ [MPa]} \quad (1.1)$$

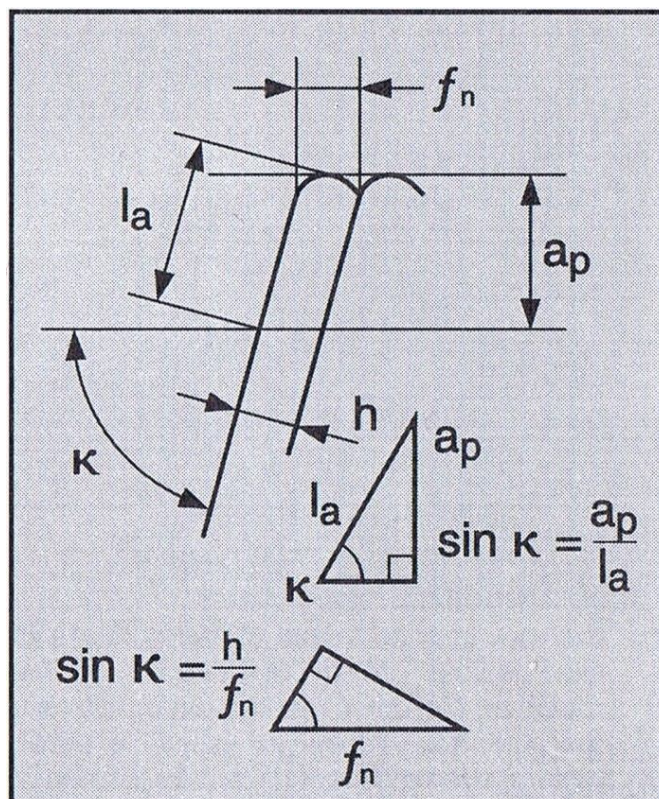
kde: F_c – řezná síla působící ve směru obrábění [N],

A_d – jmenovitý průřez třísky [mm²].

Pokud uvažujeme s poloměrem špičky nástroje, je výpočet průřezu třísky A_d poměrně složitý, proto se v praxi používá pro výpočet zjednodušení (poloměr špičky nástroje se zanedbává). Průřez třísky A_d je pak možno vypočíst přibližně - dle vztahu 1.2 a 1.3. Veličiny záběru ostří jsou patrné z obr. 1.6.

$$A_d = f_n \cdot a_p \text{ [mm}^2\text{]} \quad (1.2)$$

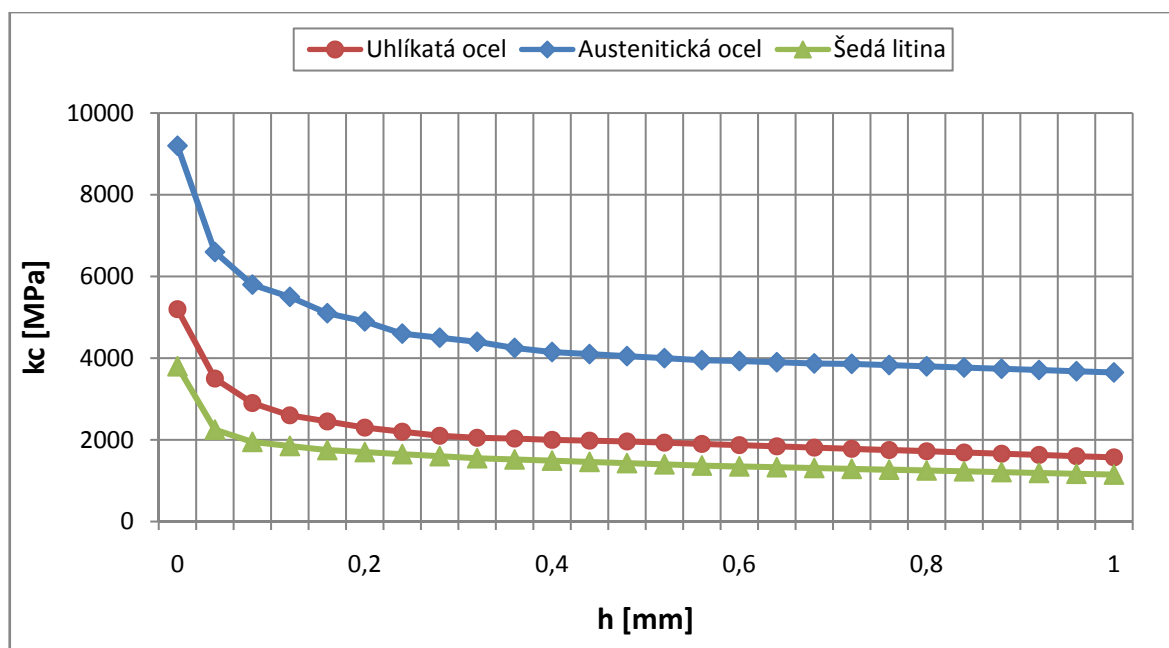
$$A_d = h \cdot l_a \text{ [mm}^2\text{]} \quad (1.3)$$



Obr. 1.6 Veličiny záběru ostří [2].

Měrná řezná síla je ovlivňována tloušťkou vrstvy odebíraného materiálu (h), posuvem (f), řeznou rychlostí (v_c) a dalšími faktory. Zvětšením h klesá velikost k_c , tedy čím je průřez třísky menší, tím je větší měrná řezná síla a tím i příkon (viz obr. 1.7). Řezná rychlost ovlivňuje velikost měrné řezné síly tím, že [2,3]:

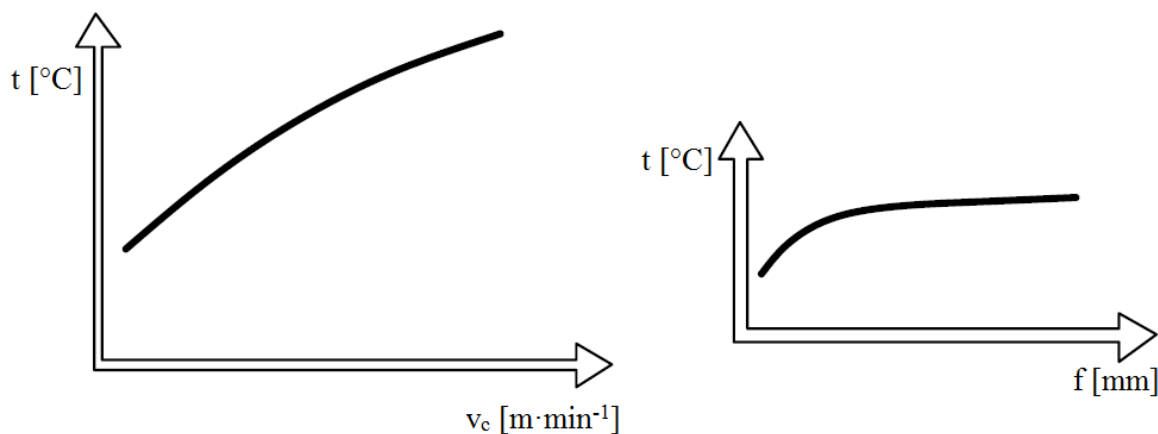
- ovlivňuje velikost oblasti a intenzity primární deformace,
- má značný vliv na teplotu deformovaného materiálu,
- určuje rychlost zatěžování materiálu obrobku,
- ovlivňuje velikost součinitele tření na čele i na hřbetě a vznik a velikost nárůstku.



Obr. 1.7 Závislost měrné řezné síly na tloušťce třísky [3].

1.2.3 Teplo vzniklé při obrábění

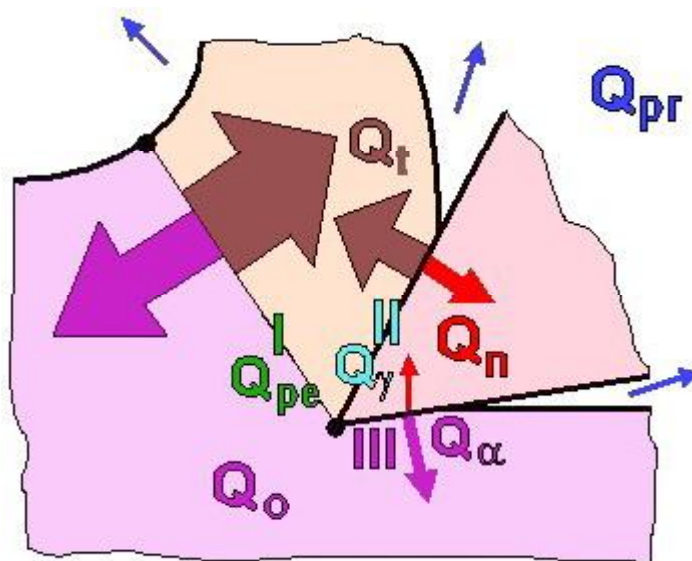
Mechanická energie vynaložená na tvorbu třísky se z největší části (95÷98 %) přeměňuje na tepelnou energii. Zbylá energie je transformována do formy elastické energie deformovaných třísek a do zbytkového napětí v malé vrstvě na povrchu obrobku. Tepelná energie v místě řezu má významný dopad na výkon nástroje, ale i na kvalitu obrobku. Extrémně vysoké teploty na břitě nástroje výrazně snižují trvanlivost břitu a omezují tak používání vyšších řezných rychlostí. Největší vliv na množství vznikajícího tepla při obrábění má řezná rychlost, méně pak posuv (viz obr. 1.8). Je tedy třeba vhodně volit materiál nástroje s ohledem na teplotu řezného procesu (např. SK díky své vysoké tvrdosti za tepla může snášet dvojnásobně vyšší teploty ve srovnání s HSS) [2,3].



Obr. 1.8 Závislost teploty na řezné rychlosti / posuvu (obr. dle [2]).

Vznik a odvod tepla je možné popsat tzv. tepelnou bilancí řezného procesu, jak uvádí literatura [1]: „Tepla při obrábění (obr. 1.9) vzniká v oblasti primární plastické deformace **I** (Q_{pe} - v důsledku plastických a elastických deformací), v oblasti sekundární plastické deformace **II** (Q_{γ} - v důsledku tření mezi čelem nástroje a třískou) a v oblasti **III** (Q_{α} - v důsledku tření hlavního hřbetu nástroje o přechodovou plochu na obrobku). Vzniklé teplo je odváděno třískou (Q_t), nástrojem (Q_n), obrobkem (Q_o) a řezným prostředím (Q_{pr}) - obr. 1.7. Na základě předpokladu, že vzniklé a odvedené teplo musí být v rovnováze, lze vytvořit rovnici tepelné bilance řezného procesu v následujícím tvaru:“

$$Q_{pe} + Q_{\gamma} + Q_{\alpha} = Q_t + Q_n + Q_{\alpha} + Q_{pr} [J] \quad (1.4) [1]$$



Obr. 1.9 Vznik a odvod tepla při obrábění [1].

Poměr odvodu tepla nástrojem, obrobkem, resp. procesní kapalinou a třískou není konstantní, ale mění se v závislosti na řezné rychlosti a druhu obráběcí technologie. Při klasickém soustružení ocelí je největší část tepla odváděna třískou a tento podíl s rostoucí řeznou rychlostí vzrůstá (při soustružení s VBD z řezné keramiky odvádí tříska až 95 % vznikajícího tepla). Opačně je tomu u broušení ocelí, kde největší podíl tepla je odváděn obrobkem (70-90 %), při vrtání s použitím procesní kapaliny pak okolo 50-70 %. Pro měření celkového množství tepla vzniklého při obrábění používáme kalorimetry, termočlánky, termokamery nebo měřením fázových přeměn vyvolaných teplotou v tříске a nástroji [1, 3].

Při vyšších řezných rychlostech je největší část tepla odváděna třískou, což chrání nástroj a obrobek před příliš vysokými teplotami. Při zvětšování pracovního úhlu nastavení hlavního ostří (κ_{re}) se zmenšuje délka břitu v záběru a proto tepelné zatížení nástroje narůstá. Při zmenšování úhlu čela (γ) narůstá úhel řezu (δ), roste intenzita plastické deformace a to má za následek zvýšení vznikajícího tepla. Při zmenšování úhlu hřbetu (α) roste práce tření na hřbetě nástroje a tím opět narůstá množství vzniklého tepla. V praxi je tedy nutné volit vhodné nástrojové úhly pro konkrétní způsob obrábění. Často se při obrábění používá

chlazení procesní kapalinou, která odvádí vzniklé teplo z místa řezu a tím snižuje teplotu řezání. Snížení teploty řezání má příznivý vliv na trvanlivost nástroje a jakost povrchové vrstvy obrobené plochy (nižší zbytkové napětí) [1, 3].

Chlazení a mazání při obrábění má významnou úlohu v procesu obrábění, jak uvádí literatura [3]: „Vhodným řezným prostředím lze obvykle zvýšit hospodárny úběr o 50 až 200 % v porovnání s prací za sucha, prodloužit trvanlivost a životnost řezných nástrojů, zvýšit kvalitu obrobené plochy. Řezné prostředí vytváří nejčastěji kapaliny, procesní pasty, olejová mlha nebo plyn. Tato média jsou vyrobena a užívána tak, aby měla chladicí, mazací a čisticí účinek. Prostředí v zóně řezání má významný vliv na kvantitativní, kvalitativní a ekonomické parametry řezného procesu. V praxi existuje řada operací, které se provádí za sucha, bez přívodu řezné kapaliny. Je tomu například při soustružení, kdy se používají nástroje s povlakovanými slinutými karbidy nebo řeznou keramikou. Také při obrábění litiny se nemusí chladit – materiál obsahuje grafit, pracující jako pevné mazivo. Pro některé operace, jako je protahování, lapování, řezání závitů, vrtání hlubokých děr, výroba ozubení odvalovacím způsobem, je naopak významným požadavkem mazání.“

2 TECHNOLOGIČNOST SOUČÁSTI

Technologičnost konstrukce součásti je charakterizována výčtem vlastností technicko-ekonomického charakteru, které mají zajistit optimální podmínky z hlediska funkce, spolehlivosti a životnosti. Technologičnost konstrukce musí také respektovat hledisko efektivnosti výroby a je vždy ovlivněna konkrétními podmínkami výrobního procesu [5].

2.1 Tvar součásti

Tvar uvažované součásti je uveden na výrobním výkrese v příloze číslo 1. Z funkčního hlediska je tvar několikanásobně odstupňovaný a opatřený z obou stran zkosením. Na obou koncích je závit M20x1,5-6g a sražení hran 1,5x45°. Součást obsahuje dvě plochy, které je nutno přesně obrobit ($\phi 26k6$ a $\phi 36f8$). Tyto plochy mají také předepsanou nižší střední aritmetickou úchylku profilu ($Ra 0,4$ a $Ra 0,8$). Dokončovací obráběcí operací těchto ploch bude broušení nakulato, kde je možno dosáhnout požadovaných drsností. Je zde nutné vytvořit zápich G2,5x0,3 aby bylo možno součást brousit až k čelu a vytvořit tak požadovanou jakost povrchu po celé délce $\phi 26k6$. Posledním prvkem je otvor $\phi 3H14$, který má pravděpodobně funkci zajištění pomocí závlačky, nebo kolíku. Při výrobě otvoru je nutné dbát zvýšené opatrnosti, protože se jedná o vrtání do hloubky rovnou téměř sedminásobku průměru díry (poměr hloubky k průměru je roven sedmy, tedy 7D). Je nutno volit speciální vrtáky z houževnatého materiálu, které jsou určeny pro vrtání takto dlouhých děr, nebo použít vodící pouzdra, nebo jinak zajistit bezproblémový průběh vrtání.

2.2 Volba vhodného materiálu

Volba vhodného materiálu byla značně omezena možnostmi strojního praku Ústavu strojírenské technologie Fakulty strojního inženýrství. Materiálem pro výrobu zadané součásti byla zvolena ocel 11SMn30+C (1.0715) dle EN 10277-3 dodávaná firmou Feron, a.s. Polotovarem pro výrobu součásti je kruhová tyč $\phi 40$ mm tažená za studena o délce 220 mm, kterou firma Feron, a.s. dodává s mezní úchylkou h9. Specifické vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tab. 2.1 [6].

Tab. 2.1 Vlastnosti zvoleného materiálu [7].

Chemické složení [hm. %]				
C	Si	Mn	P	S
max 0,14	max 0,05	0,90-1,30	max 0,11	0,27-0,33
Mechanické vlastnosti		Tepelné zpracování		
Mez kluzu R_{eH} [MPa] min	375	cementace	880-950 °C	
Mez pevnosti R_m [MPa]	460-710	kalení na jádro	880-920 °C ochlazovat ve vodě	
Tažnost A [%] min	8	popouštění	150-200 °C min 1 h na teplotě	

Svařitelnost použitého materiálu je díky vysokému obsahu fosforu a síry pouze podmíněná. Použití materiálu dle literatury [7]: „Vysokovýkonná automatová ocel může být použita i pro cementaci na součásti v automobilovém průmyslu, stavbě přístrojů apod.“ Tento materiál má číslo W.Nr. 1.0715 označován evropskou normou jako EN10277-3, který se svými vlastnostmi nejvíce blíží (pro normu ČSN) materiálu ČSN 41 1109 [7].

Pro zvýšení mechanických vlastností by bylo možné provést tepelné zpracování, např. cementování s následným kalením. Materiál ČSN 11109 řadíme do třídy odpadu 003 a do třídy obrobitelnosti 15b, což je skupina materiálů se snadnou obrobitelností [7].

Při kompletaci celku by měl být volen co nejmenší počet druhů materiálů, protože rozdílné materiály mají také rozlišné fyzikální, chemické a mechanické vlastnosti.

2.3 Obráběné plochy

U obráběných součástí je vhodný minimální počet malých obráběných ploch. Tyto plochy výrazným způsobem ovlivňují strojní čas a tím i celkové náklady na výrobu jednoho kusu. Zadaná součást má převážně delší plochy k obrábění vzhledem k celkové délce součásti.

Obráběné plochy jsou snadno přístupné pro obrábění, pouze u obrábění $\phi 36f8$ je nutné použít podepření koníkem a zamezit tak nepříznivému házení a vzniku kuželového tvaru při obrábění.

Předepsaná přesnost a drsnost nemá být vyšší než nezbytně nutná pro správnou funkci výroby. Přesněji vyrobené plochy lze dosáhnout za delších strojních časů, tedy menších posuvů a hloubek třísky. Je tedy neekonomické vyrábět lepší jakosti povrchu, než je nezbytně nutné a tím zvyšovat prodejní cenu součásti.

2.4. Ekologičnost výroby

Při výrobě součásti byla použita procesní kapalina CIMSTAR 597 od firmy CIMCOOL. Jedná se o koncentrát řezné kapaliny pro obrábění, který se dále ředí s vodou. Použitý roztok obsahoval 5 % tohoto koncentrátu. Koncentrát CIMSTAR 597 dodávaný ve 25l balení je uveden v příloze číslo 2.

S těmito kapalinami je nutno zacházet tak, aby nezatěžovaly životní prostředí. Při sériové a hromadné výrobě, kde je objem těchto kapalin značný, je vhodné použít ochranné prvky jako odsavače olejových mlhovin, centrifugy pro čištění ocelových třísek, separátory příměsí olejů atd.

3 TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Technologický postup je technologická část výrobního postupu, která obsahuje nutný sled technologie pro uvažované změny na pracovním předmětu. Spolu s pracovním postupem (určující činnosti pracovníka) tak tvoří výrobní postup, který dává kompletní přehled o účelném pořadí a počtu jednotlivých operací vykonávaných na pracovním předmětu v časové posloupnosti [5].

Technologický postup pro zhotovení požadovaného tvaru výrobku bude následující:

- dělení materiálu pásovou pilou,
- zarovnání čela, hrubovací a dokončovací soustružení jedné strany,
- zarovnání čela, hrubovací a dokončovací soustružení druhé strany,
- mezioperační kontrola,
- vrtání otvoru $\phi 3H14$,
- frézování ploch $26_{-0,2}^0$,
- soustružení závitu M20x1,5-6g,
- broušení ploch s předepsanou hodnotou Ra,
- závěrečná kontrola obrobku.

3.1 Volba strojů

Dělení materiálu bylo realizováno na pásové pile STG 220G od firmy BOMAR v prostorách dílen Fakulty strojního inženýrství v Brně. Tato pásová pila je vhodná pro kusovou a hromadnou výrobu. Litinová konstrukce a vedení pilového pásu ze slinutého karbidu zajišťuje dlouholetou životnost stroje i nástroje. Pásová pila STG 220G je uvedena v příloze číslo 3. Technické parametry pásové pily STG 220G jsou uvedeny v tab. 3.1 [8].

Tab. 3.1 Technické parametry pásové pily STG 220G od firmy BOMAR [8].

Řezný rozsah [mm]	90°	$\phi 220$	300 x 150
	45°	$\phi 200$	200 x 120
	60°	$\phi 120$	120 x 120
Řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	28 ÷ 56		
Natočení ramene [°]	90 ÷ 60		
Rozměry [mm]	1360 x 1200 x 900		
Výkon [kW]	0,65/0,9		
Otáčky [min^{-1}]	1360/2750		
Napětí [V]	3 x 380		
Pilový pás [mm]	2710 x 25 x 0,9		
Hmotnost [kg]	220		

Operace soustružení byly prováděny na poloautomatickém soustruhu SPN12 CNC od firmy Kovosvit n.p., Sezimovo Ústí s řídicím systémem Sinumerik 810D a obsluhovacím panelem OP 031. Poloautomatický soustruh SPN 12 CNC je zobrazen v příloze číslo 4.

Stroj umožňuje plynulou změnu otáček a synchronizaci posuvových pohonů. Souvislé řízení dráhy nástroje je realizováno ve dvou osách X a Z řídicím systémem Sinumerik 810D. Pohyby suportu jsou realizovány kuličkovými šrouby. Jsou zde dva suporty, horní suport má čtyřpolohovou nástrojovou hlavu a je plně řízen řídicím systémem, dolní je řízen mechanicky s využitím narážek. Řídicí NC program lze z externího počítače přenést do stroje pomocí diskety, pevného disku nebo připojením kabele k počítači. Parametry soustruhu SPN 12 CNC jsou uvedeny v tab. 3.2 [9].

Tab. 3.2 Parametry stroje SPN12 CNC [9].

Obrobek	
Maximální hmotnost obrobku	44,5 kg
Maximální soustružená délka	500 mm
Maximální soustružený průměr	120 (140) mm
Maximální oběžný průměr nad ložem	280 mm
Vřeteník	
Rozsah otáček vřetene	$0 \div 3500 \text{ min}^{-1}$
Vrtání vřetene	48 mm
Kužel ve vřetenu	Morse 6
Přední konec vřetene	ČSN 20 1011
Výkon motoru	9/11 kW
Horní suport	
Rozsah posuvů	$0 \div 10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Rychloposuv v podélném i příčném směru	$10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Maximální průřez třísky (při $v_c = 70 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a materiálu obrobku $R_m = 600 \text{ MPa}$)	4 mm^2
Maximální příčný zdvih	70 mm
Maximální podélný zdvih	55 mm
Koník	
Průměr pinoly	100 mm
Zdvih pinoly	125 mm
Přítlačná síla hrotu	$3000 \div 12000 \text{ N}$
Kužel pro hrot	Morse 4

Operace frézování a soustružení byly prováděny na vertikální konzolové frézce se souvislým řízením FV25 CNC A vybavenou řídicím programem Heidenhain iTNC 530. Vertikální konzolová frézka FV25 CNC A je zobrazena v příloze číslo 5.

Pohyb ve svislém směru vykonává pinola s vřetenem. Tuhý vřeteník a pohon vřetena řemenovým převodem zaručuje klidný provoz při maximálních otáčkách. Dobře dimenzovaný pohon a široký rozsah pracovních otáček vřetene umožňuje efektivní obrábění všech druhů kovů, od nástrojařských ocelí až po slitiny lehkých kovů. Technické parametry jsou uvedeny v tabulce 3.3 [10].

Tab. 3.3 Technické parametry stroje FV25 CNC A [11]

Pracovní rozsah			
Pojezdy	podélný osa X	mm	760
	příčný osa Y	mm	355
	svislý osa Z	mm	152
Max. zatížení stolu		kg	200
Pracovní stůl			
Upínací plocha		mm	300 x 1300
Pracovní posuv	osa X	mm·min ⁻¹	2,53
	osa Y	mm·min ⁻¹	2,53
	osa Z	mm·min ⁻¹	2,53
Rychloposuv	osa X	mm·min ⁻¹	9 000
	osa Y	mm·min ⁻¹	9 000
	osa Z	mm·min ⁻¹	9 000
Vřeteno			
Kuželová dutina		ISO	40
Rozsah otáček		min ⁻¹	506 000
Výkon hlavního motoru		kW	5,5
Stroj			
Celkový příkon		kVA	7,5
Rozměry	Délka	mm	2 385
	Šířka	mm	2 750
	Výška	mm	2 030
Hmotnost		kg	1 500

Operace broušení byly prováděny na hrotové brusce BU 16 od firmy TOS Hostivař, která je znázorněna v příloze číslo 6. Technické parametry stroje jsou uvedeny v tab. 3.4.

Tab. 3.4 Technické parametry stroje BU 16 [12].

Max. průměr broušení	mm	160
Max. délka broušení	mm	320
Oběžný průměr	mm	160
Vzdálenost mezi hroty	mm	320
Max. hmotnost obrobku	kg	10
Výkon hlavního elektromotoru	kW	5,4
Rozměry délka x šířka	mm	820 x 1200
Hmotnost stroje	kg	1550

3.2 Volba nástrojů

Při volbě nástrojů je nutno zohledňovat především vhodnost použití nástroje pro danou operaci, materiál nástroje, dostupnost, cenu nástroje a jeho trvanlivost. Protože výroba zadané součásti je realizovaná v prostředí strojního parku ÚST, je volba nástrojů omezena. Značení použitých nástrojů dle výrobce Pramet Tools, s.r.o. je uveden v příloze číslo 7. Použité nástroje při výrobě jsou znázorněny v tab. 3.5, 3.6 a 3.7.

Tab. 3.5 Nástrojový list 1/3 [13].

VUT FSI ÚST BRNO		NÁSTROJOVÝ LIST		DATUM VYDÁNÍ:	2. 5. 2015
Vyhotovil:		Stroj:		Číslo výkresu součásti:	Číslo listu:
Pavel Havlát		SPN 12 CNC		BP_HAVLÁT_2015	1.
Pozice nástroje	Znázornění	Název nástroje Název držáku	Výrobce	Označení výrobce	Materiál
T1		VBD hrubovací	PRAMET	CNMG 120408E-M 6630	SK
		Soustružnický držák	PRAMET	PCLNL 2525 M12	*
T2		VBD dokončovací	PRAMET	DNMG 150608E-M 6630	SK
		Soustružnický držák	PRAMET	PDJNL 2525 M15	*
T3		VBD pro výrobu závitů	PRAMET	TN 16EL 200M T8030	SK
		Soustružnický držák	PRAMET	SEL 2525 M16	*

* Držáky jsou zhotoveny z běžných konstrukčních ocelí třídy 11.

Tab. 3.6 Nástrojový list 2/3 [14].

VUT FSI ÚST BRNO		NÁSTROJOVÝ LIST		DATUM VYDÁNÍ:	2. 5. 2015
Vyhotožil:		Stroj:		Číslo výkresu součásti:	Číslo listu:
Pavel Havlát		SPN 12 CNC		BP_HAVLÁT_2015	2.
Pozice nástroje	Znázornění	Název nástroje	Výrobce	Označení výrobce	Materiál
T4		Válcová čelní fréza	ZPS	120518.160	HSS Co8
T5		Vrták	ZPS	C10012.030	SK (K30)

Tab. 3.7 Nástrojový list 3/3 [15].

VUT FSI ÚST BRNO		NÁSTROJOVÝ LIST		DATUM VYDÁNÍ:	2. 5. 2015
Vyhotožil:		Stroj:		Číslo výkresu součásti:	Číslo listu:
Pavel Havlát		BU 16		BP_HAVLÁT_2015	3.
Pozice nástroje	Znázornění	Název nástroje	Výrobce	Označení výrobce	Materiál
T6		Brousicí kotouč	TYRO-LIT	T1 300x30x76,2 87A36J7AV40 45701	Umělý korund

3.3 Volba řezných podmínek pro soustružení

Volba řezných podmínek pro operace soustružení je rozdělena do dvou částí, ve kterých je nutno dbát na rozlišná kritéria. Pro hrubovací operace jsou řezné podmínky voleny dle velikosti limitní řezné síly, kterou dokáže výkon pohonu zvoleného stroje realizovat (dle vztahu 3.5). Tyto podmínky jsou pak voleny s přihlédnutím na doporučení výrobce nástrojů, především na doporučené oblasti řezných podmínek použití VBD. Pro dokončovací operace soustružení je možno uvažovat obrobení požadovaných funkčních ploch na hotovo, tedy dosáhnout požadovaných tolerancí a středních aritmetických úchylek profilu Ra přímo soustružnickými operacemi. Kontrolní výpočty dosahovaných hodnot Ra jsou provedeny dle vztahu 3.8 a vztahu 3.9.

Hrubování:

Pro hrubování jsou zvoleny hodnoty:

- posuv na otáčku $f = 0,4$ [mm],
- konstantní řezná rychlost $v_c = 180$ [m·min⁻¹].

Pro zvolené hodnoty posuvu na otáčku a řezné rychlosti lze vyjádřit pomocí vztahu 3.1 a vztahu 3.2 maximální přípustnou šířku záběru ostří a_p . Vyjádřená maximální přípustná šířka záběru ostří a_p je uvedena ve vztahu 3.5.

$$F_c = C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} [N] \quad (3.1) [3]$$

$$P_{ef} = \frac{v_c \cdot F_c}{6 \cdot 10^2} [kW] \quad (3.2) [1]$$

kde: F_c – řezná síla [N],
 C_{F_c} – materiálová konstanta [-],
 a_p – šířka záběru ostří [mm],
 x_{F_c} – exponent vlivu a_p [-],
 f – posuv na otáčku [mm],
 y_{F_c} – exponent vlivu f [-],
 P_{ef} – efektivní výkon na vřetení [kW],
 v_c – řezná rychlost [m·min⁻¹].

Pokud ze vztahu 3.2 vyjádříme řeznou sílu F_c a položíme ji rovnu F_c ze vztahu 3.1, pak maximální přípustná šířka záběru ostří a_p je:

$$F_c = \frac{P_{ef} \cdot 6 \cdot 10^4}{v_c} [N] \quad (3.3)$$

$$C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} = \frac{P_{ef} \cdot 6 \cdot 10^4}{v_c} \quad (3.4)$$

$$a_p = \left(\frac{P_{ef} \cdot 6 \cdot 10^4}{C_{F_c} \cdot f^{y_{F_c}} \cdot v_c} \right)^{\frac{1}{x_{F_c}}} = \left(\frac{9 \cdot 6 \cdot 10^4}{1858,3 \cdot 0,4^{0,78} \cdot 180} \right)^{\frac{1}{1}} = 3,299 \text{ mm} \quad (3.5)$$

Kde hodnota C_{Fc} je určena dle vztahu 3.6:

$$C_{Fc} = 176 \cdot (R_m)^{0,359} = 176 \cdot 710^{0,359} = 1858,3 [-] \quad (3.6) [16]$$

kde: C_{Fc} – materiálová konstanta [-],
 R_m – mez pevnosti v tahu [MPa].

Pro hrubování byla zvolena a nastavena na stroji hodnota $a_p = 3$ mm.

Dokončování:

Pro plochy obrobku $\phi 36f8$ ($R_a = 0,4\mu m$) a $\phi 26k6$ ($R_a = 0,8\mu m$) jsou provedeny kontrolní výpočty pro dosažení požadovaných středních aritmetických úchylek profilu R_a . Limitní posuv na otáčku daný maximální přípustnou strukturou povrchu R_a se vypočte dle vztahu 3.7.

$$f_{lim} = \sqrt{\frac{Ra}{0,26} \cdot 8 \cdot R_\epsilon} [mm] \quad (3.7) [17]$$

kde: f_{lim} – limitní posuv na otáčku [mm],
 R_a – střední aritmetická úchylka profilu [mm],
 R_ϵ – poloměr zaoblení špičky nástroje [mm].

Pro plochu $\phi 36f8$ ($R_a = 0,4\mu m$) je limitní posuv na otáčku dán vztahem 3.8:

$$f_{lim} = \sqrt{\frac{Ra}{0,26} \cdot 8 \cdot R_\epsilon} = \sqrt{\frac{0,0004}{0,26} \cdot 8 \cdot 0,8} = 0,099 [mm] \quad (3.8)$$

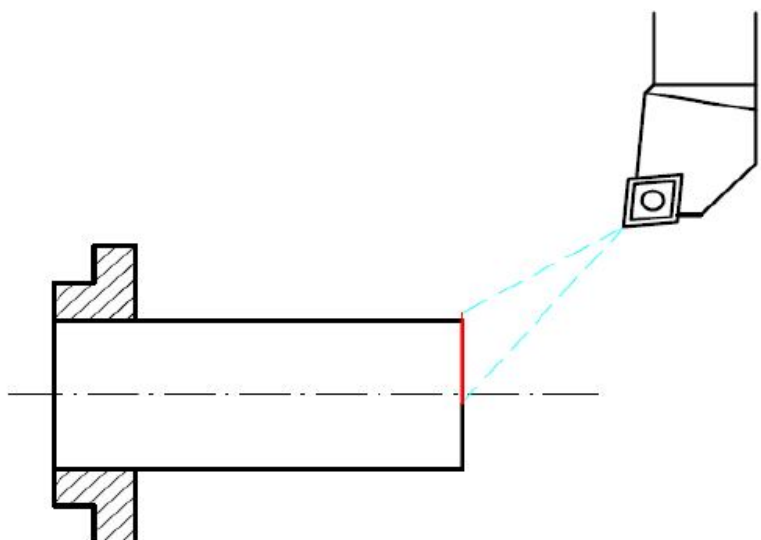
Pro plochu $\phi 26k8$ ($R_a = 0,8\mu m$) je limitní posuv na otáčku dán vztahem 3.9:

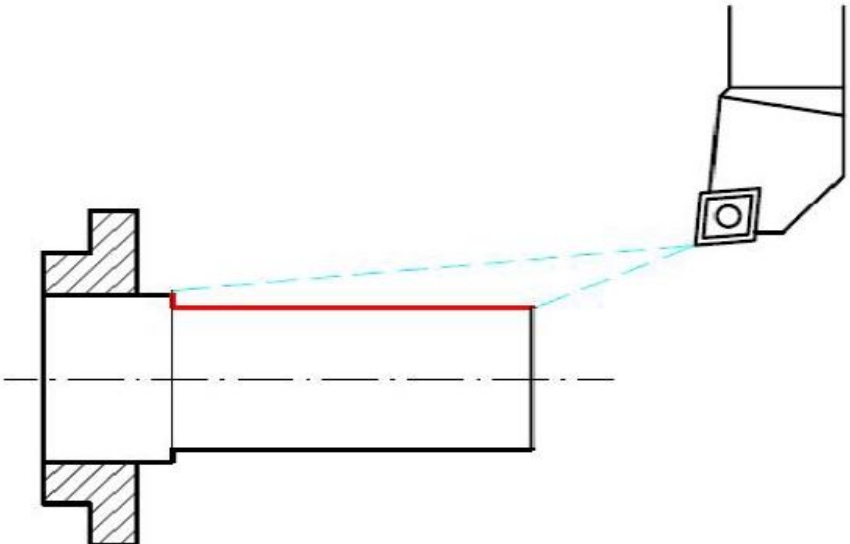
$$f_{lim} = \sqrt{\frac{Ra}{0,26} \cdot 8 \cdot R_\epsilon} = \sqrt{\frac{0,0008}{0,26} \cdot 8 \cdot 0,8} = 0,140 [mm] \quad (3.9)$$

Vzhledem k doporučenému rozsahu výrobcem VBD, kdy posuv na otáčku má být v rozsahu $0,15 \div 0,48$ [mm] a požadovaným tolerancím (pro $\phi 36f8$ je velikost tolerance $39 \mu\text{m}$, pro $\phi 26k8$ je velikost tolerance $34 \mu\text{m}$) budou obě tyto plochy dokončeny broušením. Příklad pro broušení plochy $\phi 36f8$ je $0,37$ mm, pro plochu $\phi 26k8$ pak $0,32$ mm [13, 19].

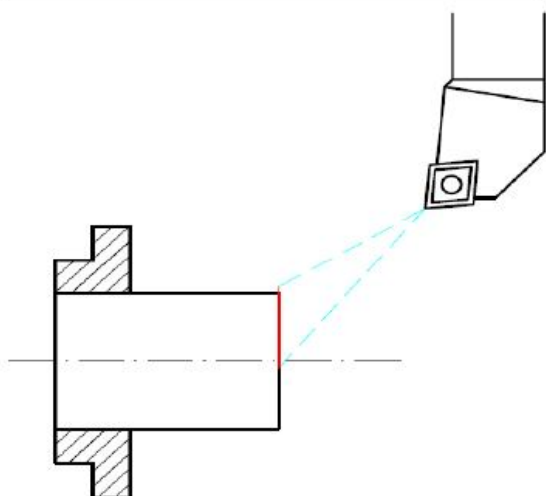
3.3 Operační návodky

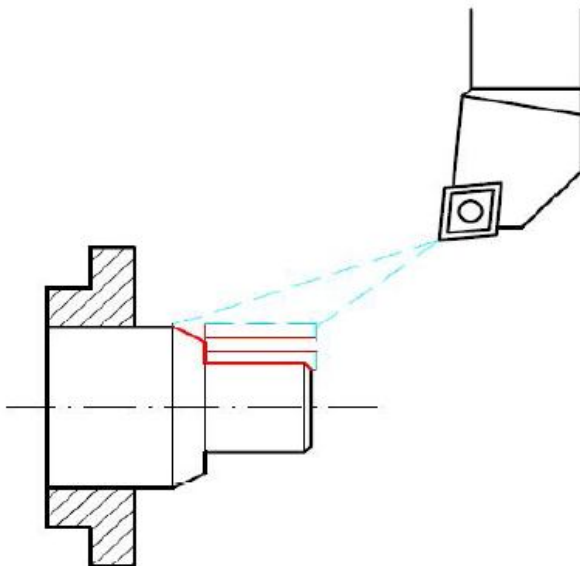
Operační návodky dávají informace o použitém nástroji, řezných podmínkách, úběrech třísky a strojních časech pro jednotlivé operace. Dávají vizuální představu o průběhu obrábění, rozložení třísek pro obrobení přídavku a pohybech nástroje. V této práci jsou řešeny pouze operační návodky soustružení, které představuje stěžejní technologii strojního obrábění pro výrobu dané součásti. Operační návodky jsou znázorněny na obr. 3.1 až 3.5.

číslo návodky:	1.	Název operace: Zarovnání čela	pořadí operace:	1/1		
pozice nástroje:	T1		datum vytvoření:	29.4.2015		
						
číslo záběru:	V_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{As} [min]
1.	180	1400=konst.	0,2	1	22	0,079
celkem:					22	0,079

číslo návodky:	2.	Název operace: Hrubování	pořadí operace:	2/2		
pozice nástroje:	T1		datum vytvoření:	29.4.2015		
						
číslo záběru:	V_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{As} [min]
1.	180=konst.	1700	0,4	3	79	0,116
celkem:					79	0,116

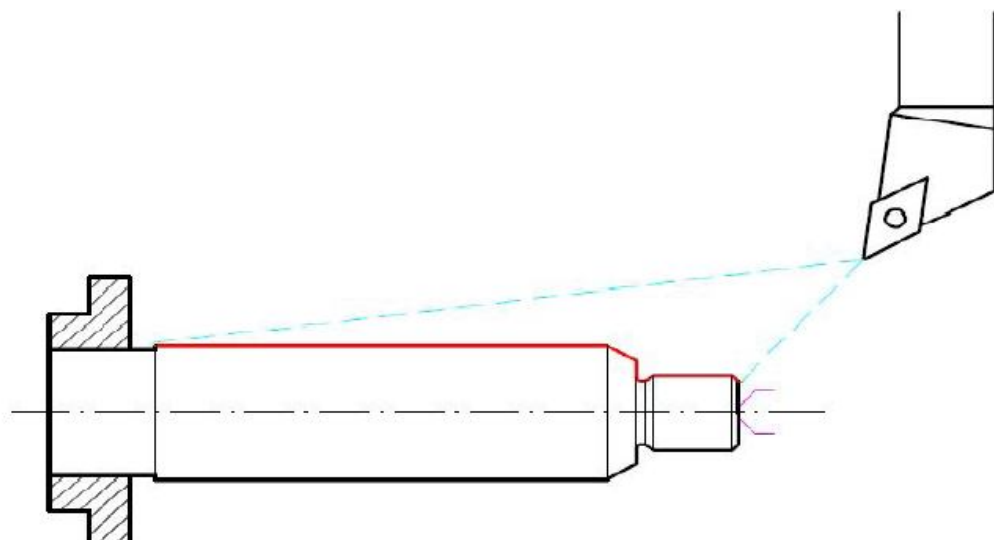
Obr. 3.1 Operační návodky 1. a 2.

číslo návodky:	3.	Název operace:	Zarovnání čela			pořadí operace:	3/3	
pozice nástroje:	T1						datum vytvoření:	29.4.2015
								
číslo záběru:	V_c	n	f	a_p	L	t_{As}		
	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	$[mm]$	$[min]$		
1.	180	1400=konst.	0,2	1,5	22	0,079		
celkem:					22	0,079		

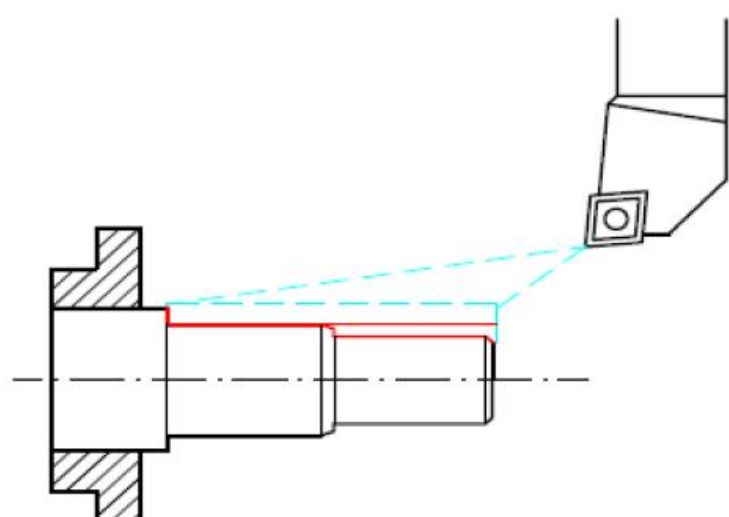
číslo návodky:	4.	Název operace:	Hrubování		pořadí operace:	4/4	
pozice nástroje:	T1					datum vytvoření:	29.4.2015
							
číslo záběru:	V_c	n	f	a_p	L	t_{As}	
	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	$[mm]$	$[min]$	
1.	180=konst.	1700	0,4	3	29	0,043	
2.	180=konst.	2050	0,4	3	29	0,035	
3.	180=konst.	2600	0,4	3	40	0,038	
celkem:					98	0,116	

Obr. 3.2 Operační návodky 3. a 4.

číslo návodky:	5.	Název operace:	pořadí operace:	5/5
pozice nástroje:	T2	Dokončování	datum vytvoření:	29.4.2015

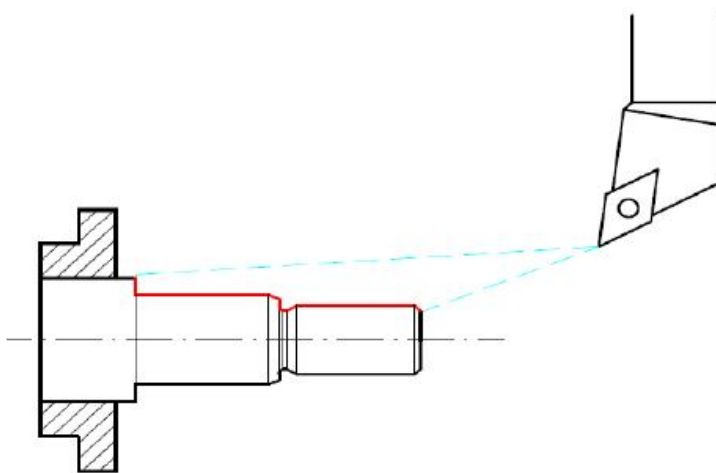


číslo záběru:	V_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{As} [min]
1.	220=konst.	3500	0,2	1	32,5	0,046
2.	220=konst.	1950	0,2	2	121,5	0,312
celkem:					154	0,358

číslo návodky:	6.	Název operace:	Hrubování		pořadí operace:	6/6	
pozice nástroje:	T1					datum vytvoření:	29.4.2015
							
číslo záběru:	V_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{As} [min]	
1.	180=konst.	2050	0,4	3	80	0,098	
2.	180=konst.	2600	0,4	3	44,5	0,043	
celkem:					124,5	0,140	

Obr. 3.3 Operační návodky 5. a 6.

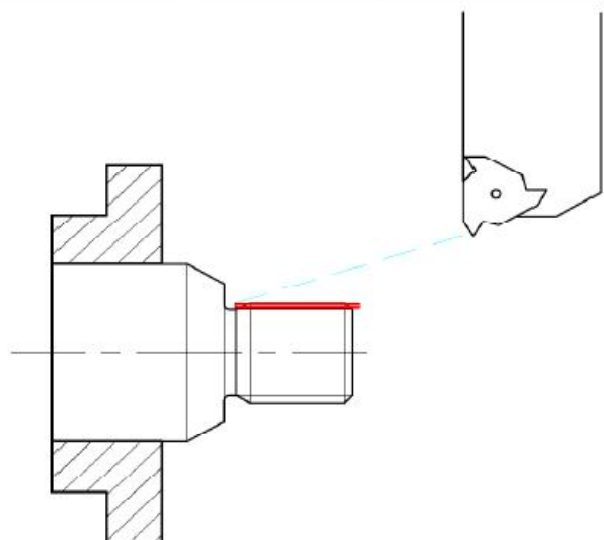
číslo návodky:	7.	Název operace:	pořadí operace: 7/7			
pozice nástroje:	T2	Dokončování	datum vytvoření: 29.4.2015			



číslo záběru:	V_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L [mm]	t_{As} [min]
1.	220=konst.	2700	0,2	1	86,5	0,160
celkem:					86,5	0,160

číslo návodky:	8.	Název operace:	pořadí operace:	8/8
pozice nástroje:	T3	Závítování M20x2 - 6g	datum vytvoření:	29.4.2015

Obr. 3.4 Operační návodka 7 a 8.

číslo návodky:	9.	Název operace:	Závitování M20x2 - 6g			pořadí operace:	9/9	
pozice nástroje:	T3						datum vytvoření:	29.4.2015
								
číslo záběru:	V_c	n	f	a_p	L	t_{as}		
	[m·min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]		
1.	50	800	1,5	0,14	24	0,020		
2.		800	1,5	0,14	24	0,020		
3.		800	1,5	0,14	24	0,020		
4.		800	1,5	0,14	24	0,020		
5.		800	1,5	0,14	24	0,020		
6.		800	1,5	0,14	24	0,020		
7.		800	1,5	0,08	24	0,020		
8.		800	1,5	0	24	0,020		
9.		800	1,5	0	24	0,020		
celkem:					216	0,180		

Obr. 3.5 Operační návodka 9.

3.4 Kontrola středního průměru závitů třídrátkovou metodou

Kontrola středního průměru závitů M20x1,5-6g (viz příloha číslo 8) byla realizována pomocí zařízení uvedeného v tab. 3.8.

Tab. 3.8 Použité zařízení pro kontrolu závitů.

Název měřidla	Značka	Rozsah	Rozlišitelnost	Použití v praxi
Analogový třmenový mikrometr	SOMET	0 – 25 mm	0,01 mm	měření vnějších rozměrů
Sada měřicích drátků	SOMET			pomůcka pro měření závitů
Držák měřicích drátků				pomůcka pro měření závitů

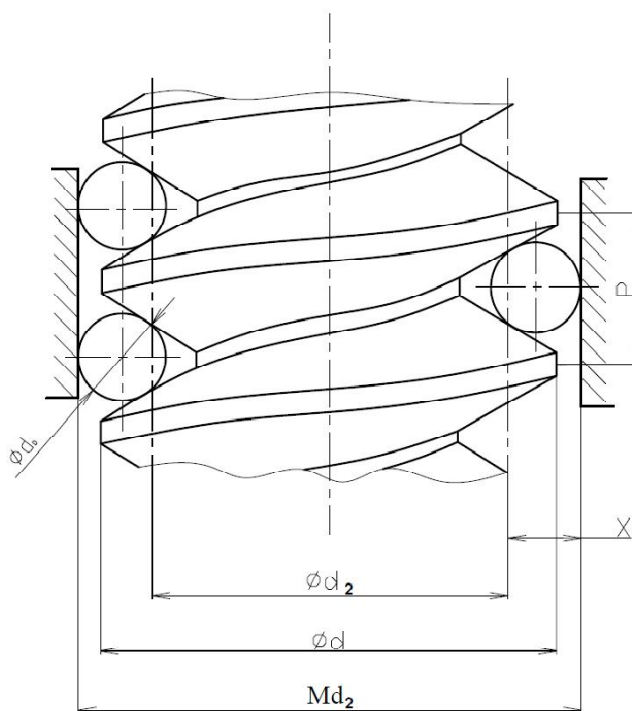
Podmínky měření:

- Teplota: $t = 21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- Tlak: $p = 101\text{ kPa}$,
- Vlhkost: $\phi_{\text{vzduchu}} = 40\text{ }\%$.

Parametry kontrolovaného závitu:

- vnější, pravotočivý metrický závit,
- vrcholový úhel 60° ,
- velký průměr závitu 20 mm , stoupání $1,5\text{ mm}$.

Schéma kontroly středního průměru závitů třídrátkovou metodou s vyznačením potřebných parametrů je uveden na obr. 3.6.



3.6 Schéma třídrátkové metody.

Výsledky měření jsou uvedeny v tab. 7.9.

Tab. 7.9 Výsledky měření.

Číslo měření		1	2	3	$\overline{Md_2}$
Míra přes drátky $Md_2\text{ [mm]}$	krátká strana	20,34	20,32	20,34	20,33
	delší strana	20,35	20,32	20,34	20,34

Výpočet středního průměru závitů:

Pro rozměr přes drátky Md_2 platí:

$$Md_2 = d_2 + 3 \cdot d_D - 0,866 \cdot P \quad (3.10)$$

$$Md_2 = d + 3 \cdot d_D - 1,5155 \cdot P \quad (3.11)$$

$$Md_2 = d_2 + 2X \quad (3.12)$$

kde: Md_2 – rozměr přes drátky [mm],
 d_2 – střední průměr závitu [mm],
 d_D – průměr měřicího drátku [mm] (pro stoupání $P = 1,5$ je $d_D = 0,895$ mm),
 P – stoupání závitu [mm].
 $2X$ – tabulková hodnota daná geometrií závitu [mm] (pro stoupání $P = 1,5$ mm je $2X = 1,386$ mm) [18].

Krátká strana obrobku se závitem M20x1,5-6g:

Střední průměr závitu d_2 :

$$Md_2 = d_2 + 2X \rightarrow d_2 = Md_2 - 2X = 20,33 - 1,386 = 18,944 \text{ mm} \quad (3.12)$$

Směrodatná odchylka aritmetického průměru:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n_{op} \cdot (n_{op} - 1)} \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} = \sqrt{\frac{0,01^2 + 0,01^2 + 0,01^2}{3 \cdot (3 - 1)}} = \quad (3.13)$$

$$= 0,007 \text{ mm}$$

$$S_{\bar{x}} = u_a \rightarrow u_c = u_a \cdot k_s = 0,007 \cdot 2,3 = 0,016 \text{ mm} \quad (3.14)$$

kde: $S_{\bar{x}}$ - směrodatná odchylka aritmetického průměru [mm],
 n_{op} – počet opakování měření [-],
 $\bar{x}$ – střední aritmetická hodnota měření ($\overline{Md_2}$) [mm],
 x_i – i-tá hodnota středního aritmetického průměru [mm],
 u_a – standardní nejistota typu A [mm],
 u_c – celková nejistota měření [mm],
 k_s – koeficient zohledňující počet měření (pro 3 měření $k_s = 2,3$) [-].

Výsledný zápis hodnoty středního průměru závitu d_2 :

$$d_2 = (\overline{Md_2} - 2X) \pm u_c = (20,33 - 1,386) \pm 0,016 \text{ mm} \quad (3.15)$$

Delší strana obrobku se závitem M20x1,5-6g:

Střední průměr závitu d_2 :

$$Md_2 = d_2 + 2X \rightarrow d_2 = Md_2 - 2X = 20,34 - 1,386 = 18,945 \text{ mm} \quad (3.12)$$

Směrodatná odchylka aritmetického průměru:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} = \sqrt{\frac{0,01^2 + 0,02^2 + 0,00^2}{3 \cdot (3-1)}} = 0,009 \text{ mm} \quad (3.13)$$

$$S_{\bar{x}} = u_a \rightarrow u_c = u_a \cdot k_s = 0,009 \cdot 2,3 = 0,021 \text{ mm} \quad (3.14)$$

kde: $S_{\bar{x}}$ - směrodatná odchylka aritmetického průměru [mm],
 n - počet opakování měření [-],
 $\bar{x}$ - střední aritmetická hodnota měření ($\overline{Md_2}$) [mm],
 x_i - i -tá hodnota středního aritmetického průměru [mm],
 u_a - standardní nejistota typu A [mm],
 u_c - celková nejistota měření [mm],
 k_s - koeficient zohledňující počet měření (pro 3 měření $k_s = 2,3$) [-].

Výsledný zápis hodnoty středního průměru závitu d_2 :

$$d_2 = (\overline{Md_2} - 2X) \pm u_c = (20,34 - 1,386) \pm 0,021 \text{ mm} \quad (3.15)$$

Horní mezní rozměr (HMR) a dolní mezní rozměr (DMR) středního průměru závitu d_2 pro uložení g tolerančního stupně 6 je uveden v tab. 7.10.

Tab. 7.10 HMR a DMR středního průměru závitu (d_2) M20x1,5-6g [19].

jmenovitý rozměr [mm]	horní úchylka [μm]	dolní úchylka [μm]	tolerance [μm]	HMR [mm]	DMR [mm]
19,026	-32	-164	132	18,994	18,862

Naměřené a vypočtené střední průměry závitu d_2 leží i se svými celkovými nejistoty měření u_c v dané toleranci 6g.

4 NC PROGRAM

Použití počítačů a příslušných softwarů ve strojírenství je v dnešní době velmi rozšířené a ve výrobních systémech se s výhodou využívá v oblastech, kde je nutné časté opakování činnosti, její rychlé provedení nebo v oblastech škodlivých pro fyzickou obsluhu [20].

4.1 Struktura programu

Struktura programu, jak uvádí literatura [20] je definována jako: „Na začátku programu je před prvním řádkem (blokem) uveden znak %, za znakem je uvedeno číslo programu – to platí pro většinu řídicích systémů. Před tímto znakem lze uvádět informace, které stroj nepracovává. Např. poznámky, jako je název součásti atd. Poznámky lze uvést i za znakem v programu, ale je nutné je dát do závorky. Jsou řídicí systémy, které tento znak nepožadují, potřebné poznámky se obvykle uvádějí v programu např. funkcí G.“ Složení v programu (v bloku) definuje tab. 4.1.

Tab. 4.1 Složení programu (v bloku) [20].

Příklad				Název	Poznámka
N 40 G 00 X 100 Z-50				Blok (věta)	Doporučené pořadí adres jednotlivých slov ve větě je: N G (M) X Y Z F S T D, nemusí se dodržovat, záleží na daném řídicím systému. Doporučuje se dodržovat pro větší přehlednost a kontrolu.
N 40	G 00	X 100	Z-50	Příkaz (slovo)	
N	G	X	Z	Adresa	
40		00		Významová část	
100		50		Rozměrová část	

Nejpoužívanější adresy při programování jsou uvedeny v tab. 4.2.

Tab. 4.2 Význam nejpoužívanějších adres [20].

Písmeno	Význam	Poznámka
X Y Z	Základní osy souřadného systému – pohyby v osách.	Některá z uvedených písmen abecedy jsou pro výrobce řídicích systémů závazná, některá doporučená.
A B C	Rotace kolem základních os.	
I J K	Parametry interpolace nebo stoupání závitů ve směru os.	
P Q R	Pohyb paralelně podél základních os.	
R	Některé systémy používají R jako parametr v podprogramech.	
U V W	Druhý pohyb paralelně se základními osami.	Neobsazená písmena abecedy jsou volná, výrobci je obsazují dle specifik svých řídicích systémů, podle možností daných stroji, pro které jsou především určena.
T	Nástroj.	
D	Paměť korekce nástrojů.	
G	Přípravná (geometrická) funkce.	
M	Pomocná (přídavná, strojní) funkce.	
N	Číslo bloku (věty).	
F	Posuv.	
S	Otáčky vřetene. Konstantní řezná rychlost.	
L	Volání podprogramu.	

4.2 Nejpoužívanější funkce G a M

Použití nejdůležitějších funkcí při programování - G, M dle ČSN ISO 6983 (pouze výběr těch nejpoužívanějších s komentářem) je uvedeno v tab. 4.3.

Tab. 4.3 Nejpoužívanější funkce G a M [20].

Označení funkce	Název funkce		Použití
G00	Lineární interpolace	Rychloposuvy	Programuje se v souřadnicích os, uvádí se cílový bod v souřadnicích, případně další adresy.
G01		Pracovní posuvy	
G02	Kruhová interpolace (zhotovení rádiusů)	Ve směru hod. ručiček	
G03		Proti směru hod. ručiček	
Označení funkce	Název funkce		Použití
G17	Pracovní rovina	X-Y	Určení roviny, ve které se provádí pracovní posuvy a rychloposuvy (použití u frézek).
G18		Z-X	
G19		Y-Z	
G33	Řezání závitu		Určuje se proměnlivá hloubka třísky a počet hlazení bez přídavku.
G40	Zrušení korekcí		Vypnutí matematického aparátu výpočtu ekvidistanty.
G41	Zapnutí korekce rádiusů	Výpočet dráhy nástroje, (její ekvidistanty)	Ekvidistanta, nástroj vlevo od kontury.
G42			Ekvidistanta, nástroj vpravo od kontury.
G45, G46, G47	Nájezdy nástrojem		Realizují se po přímce, rádiusu, obrobku – pokud se požaduje plynulý přechod nástroje do řezu nebo z řezu.
G54-59	Posuny nulového bodu		Posuny absolutně i přírůstkově, na začátku i v průběhu programu.
G90	Absolutní		Programování – popis drah nástroje v souřadnicové soustavě.
G91	Přírůstkové		Programování – popis dráhy nástroje, o kolik se posune v osách.
G92 (G50)	Omezení otáček (dle řídicího systému)		Stanoví velikost otáček, které neohrozí bezpečná chod stroje – to v závislosti na konkrétním stroji, obrobku – použití spolu s G96.
G96	Konstantní řezná rychlost		Je zadaná řezná rychlost – mění se otáčky vřetene se změnou průměru, na kterém je špička nástroje. (Užití při soustružení).
M03	Otáčky vřetene	Ve směru hodinových ručiček (při pohledu do vřetene stroje, nikoli ze strany obsluhy).	
M04		Proti směru hodinových ručiček (při pohledu do vřetene stroje, nikoli ze strany obsluhy).	
M05	Zastavení vřetene		

M06	Výměna nástroje	Do této funkce se doplňují délkové korekce.
M07-08	Zapnutí čerpadla	Chlazení, mazání obrobku při obrábění (možnost více čerpadel).
M09	Vypnutí čerpadla	Chlazení, mazání obrobku při obrábění (možnost více čerpadel).
M17	Konec podprogramu	Vrací do hlavního programu – (hlavní programy mohou používat podprogramy, v těchto je odvolání, které vyvolá podprogram).
M30	Konec hlavního programu	Návrat na začátek hlavního programu.

4.3 Návrh NC programu

Návrh NC programu pro obrábění kontury obrobku na hrubo a na čisto je zobrazen v tab. 4.4. Návrh NC programu pro obrábění závitů je zobrazen v tab. 4.5. Simulace drah nástroje pro operace soustružení provedená v řídicím programu soustruhu Sinumerik 810D je uvedena v příloze číslo 8.

Tab. 4.4 Návrh NC programu pro obrábění kontury [13, 19, 20].

N	G	M	X	Z	Ostatní symboly	Popis činnosti
005	90, 54		0	80		Absolutní programování, posun nulového bodu obrobku.
010	92		100	20		Bod výměny nástroje.
015		6	2,150	1,657	T1	Výměna nástroje.
015		4, 8			S1400	Otáčky vřetene, nástroj za osou. Zapnutí chlazení.
020	0		42	0		Příjezd k obrobku rychloposuvem.
025	1		-2	0	F0,2	Zarovnání čela
030	0		100	20		Odjezd rychloposuvem do bodu výměny nástroje.
035	0		34	1		Příjezd k obrobku rychloposuvem.
040	1		34	-74	F0,4	Hrubování $\phi 34$ do $l = 74$.
045	1		42	-74	F0,4	Hrubování – odjezd od obrobku.
050	0		100	20		Odjezd rychloposuvem do bodu výměny nástroje.
055	54		0	40		Posun nulového bodu obrobku
060	0		42	0		Příjezd k obrobku rychloposuvem.
065	1		-2	0		Zarovnání čela
070	0		34	1		Příjezd k obrobku rychloposuvem.
075	96, 1		34	-24	F0,4 S180	Hrubování $\phi 34$ do $l = 24$, $KRR = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.
080	1		42	-24	F0,4	Hrubování – odjezd od obrobku.

085	0		42	1		Příjezd k obrobku rychloposuvem.
090	0		28	1		Příjezd k obrobku rychloposuvem.
095	1		28	-24	F0,4	Hrubování $\phi 28$ do $l = 24$.
100	1		36	-24	F0,4	Hrubování – odjezd od obrobku.
105	0		36	1		Příjezd k obrobku rychloposuvem.
110	0		19	1		Příjezd k obrobku rychloposuvem.
115	1		19	0	F0,4	Příjezd k obrobku pracovním posuvem.
120	1		22	-1,5	F0,4	Hrubování zkosení $1,5 \times 45^\circ$.
125	1		22	-24	F0,4	Hrubování $\phi 22$ do $l = 24$.
130	1		31,92	-24	F0,4	Hrubování z $\phi 22$ na $\phi 31,92$.
135	1		40	-31	F0,4	Hrubování zkosení $7 \times 30^\circ$.
140	1, 94		42	-31	F0,4	Hrubování – odjezd od obrobku, zrušení KŘR.
145	0		100	20		Odjezd rychloposuvem do bodu výměny nástroje.
150	54		0	150		Posun nulového bodu obrobku.
155		6	2,610	16,460	T2	Výměna nástroje.
160		4, 8			S3500	Otáčky vřetene, nástroj za osou. Zapnutí chlazení.
165	0		42	1		Příjezd k obrobku rychloposuvem.
170	0		17	1		Příjezd k obrobku rychloposuvem.
175	1, 96		17	0	F0,2 S220	Příjezd k obrobku pracovním posuvem, KŘR = $220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.
180	1		20	-1,5	F0,2	Soustružení na čisto zkosení $1,5 \times 45^\circ$.
185	1		20	-20,5	F0,2	Soustružení na čisto $\phi 20$ do $l = 20,5$.
190	1		17	-22	F0,2	Soustružení na čisto výběhu pro závit M20x1,5-6g.
195	1		17	-24	F0,2	Soustružení na čisto výběhu pro závit M20x1,5-6g.
200	2		19	-25	F0,2; R1	Soustružení na čisto výběhu pro závit M20x1,5-6g.
205	1		27,92	-25	F0,2	Soustružení na čisto z $\phi 19$ na $\phi 27,92$.
210	1		36	-32	F0,2	Soustružení na čisto zkosení $7 \times 30^\circ$.
215	1		36	-145,5	F0,2	Soustružení na čisto $\phi 36$ do $l = 145,5$.
220	1, 94		38	-145,5	F0,2	Soustružení na čisto – odjezd od obrobku, zrušení KŘR.
225	0		100	20		Odjezd rychloposuvem do bodu výměny nástroje.
230		6			T1	Výměna nástroje.
235	54		0	80		Posun nulového bodu obrobku.
240		4, 8			S1700	Otáčky vřetene, nástroj za osou. Zapnutí chlazení.
245	0		28	1		Příjezd k obrobku rychloposuvem.
250	1, 96		28	-74	F0,4 S180	Hrubování $\phi 28$ do $l = 74$. KŘR = $180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

255	1		38	-74	F0,4	Hrubování – odjezd od obrobku.
260	0		38	1		Příjezd k obrobku rychloposuvem.
265	0		19	1		Příjezd k obrobku rychloposuvem.
270	1		19	0	F0,4	Příjezd k obrobku pracovním posuvem.
275	1		22	-1,5	F0,4	Hrubování zkosení 1,5x45°.
280	1		22	-36	F0,4	Hrubování $\phi 22$ do $l = 36$.
285	1		25,8	-36	F0,4	Hrubování z $\phi 22$ na $\phi 25,8$.
290	1, 94		28	-39	F0,4	Hrubování – odjezd od obrobku, zrušení KŘR.
295	0		100	20		Odjezd rychloposuvem do bodu výměny nástroje.
300		6	2,610	16,460	T2	Výměna nástroje.
305		4, 8			S3500	Otáčky vřetene, nástroj za osou. Zapnutí chlazení.
310	0		17	1		Příjezd k obrobku rychloposuvem.
315	1, 96		17	0	F0,2 S220	Příjezd k obrobku pracovním posuvem, KŘR = $220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.
320	1		20	-1,5	F0,2	Soustružení na čisto zkosení 1,5x45°.
325	1		20	-32,5	F0,2	Soustružení na čisto $\phi 20$ do $l = 32,5$.
330	1		17	-34	F0,2	Soustružení na čisto výběhu pro závit M20x1,5-6g.
335	1		17	-36	F0,2	Soustružení na čisto výběhu pro závit M20x1,5-6g.
340	2		18	-37	F0,2; R1	Soustružení na čisto výběhu pro závit M20x1,5-6g.
345	1		23,82	-37	F0,2	Soustružení na čisto z $\phi 18$ na $\phi 23,82$.
350	1		26	-40	F0,2	Soustružení na čisto zkosení 3x20°.
355	1		26	-75	F0,2	Soustružení na čisto $\phi 26$ do $l = 75$.
360	1, 94		38	-75	F0,2	Soustružení na čisto – odjezd od obrobku, zrušení KŘR.
365	0		100	20		Odjezd rychloposuvem do bodu výměny nástroje.
370		6			T1	Výměna nástroje.
375		30				Konec programu.

Tab. 4.5 Návrh NC programu pro závitování [9, 13, 19, 20].

N	G	M	X	Z	Ostatní symboly	Popis činnosti
005	90, 54		0	80		Absolutní programování, posun nulového bodu obrobku.
010	92		100	20		Bod výměny nástroje.
015		6	2,796	9,997	T3	Výměna nástroje
020		4, 8			S318	Otáčky vřetene, nástroj za osou. Zapnutí chlazení.
025	0		20,1	1		Příjezd k obrobku rychloposuvem.
030	CYCLE97 (1,5, 20, 0, -32.5, 20, 20, 1, 2.5, 1.227, 0, +30, 0, 7, 2, 1, 1)				Stoupání závitu = 1,5, velikost závitu M20, počáteční bod závitu v ose Z = 0, koncový bod závitu v ose Z = -32.5, průměr závitu v počátečním bodě = 20, průměr závitu v koncovém bodě = 20, dráha vstupu = 1, dráha výstupu = 2.5, hloubka závitu = 1.227, přídavek na dokončení 0, úhel přísluvu 30 ("+" boční přísluv po jednom boku), přemístění počátečního bodu pro první chod závitu = 0, počet hrubovacích záběrů = 7, počet průchodů bez záběru = 9, určení způsobu opracování závitu = 1 (vnější závit s konstantním přísluvem), počet chodů závitu = 1.	
035	0		100	20		Odjezd rychloposuvem do bodu výměny nástroje.
040	54		0	40		Posun nulového bodu obrobku.
045	0		20,1	1		Příjezd k obrobku rychloposuvem.
050	CYCLE97 (1,5, 20, 0, -20.5, 20, 20, 1, 2.5, 1.227, 0, +30, 0, 7, 2, 1, 1)				Stoupání závitu = 1,5, velikost závitu M20, počáteční bod závitu v ose Z = 0, koncový bod závitu v ose Z = -20.5, průměr závitu v počátečním bodě = 20, průměr závitu v koncovém bodě = 20, dráha vstupu = 1, dráha výstupu = 2.5, hloubka závitu = 1.227, přídavek na dokončení 0, úhel přísluvu 30 ("+" boční přísluv po jednom boku), přemístění počátečního bodu pro první chod závitu = 0, počet hrubovacích záběrů = 7, počet průchodů bez záběru = 9, určení způsobu opracování závitu = 1 (vnější závit s konstantním přísluvem), počet chodů závitu = 1.	
055	0		100	20		Odjezd rychloposuvem do bodu výměny nástroje.
060	M30					Konec programu.

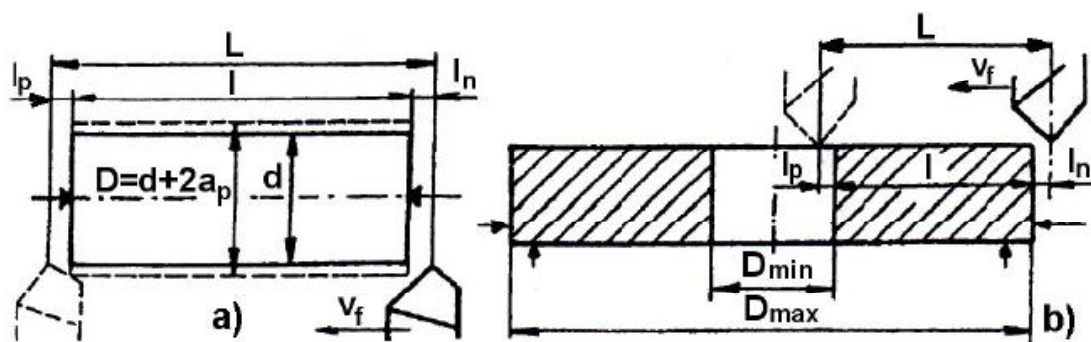
5 VÝPOČET STROJNÍHO ČASU

Strojní čas je doba potřebná pro obrobení třísky určité délky za stanovených řezných podmínek. Řezné podmínky se volí tak, aby byl strojní čas co nejmenší, ale je nutno dbát na omezení výrobním strojem a nástrojem. Mezi omezení stroje se řadí např. otáčky (jejich maximální hodnota je dána technickými parametry stroje) a výkon, který je dán pohonem stroje. Omezení nástroje je dáno nejčastěji výrobcem, který určí rozsah řezných podmínek, ve kterých by se proces obrábění měl realizovat. Při překročení tohoto rozsahu hrozí poškození nástroje, naopak při volbě nižších hodnot je výroba neefektivní a ekonomicky nevýhodná.

Řezné podmínky se mohou volit na předem stanovenou (požadovanou) trvanlivostí nástroje (v praxi se tato hodnota pohybuje okolo 5 až 15 minut), nebo na maximální výrobnost stroje. Tato balance je určována především poměrem ceny nástroje a stroje, kdy cena stroje je většinou významně vyšší. V praxi se potom volí podmínky celého výrobního procesu dle celkových nákladů, které mají být co nejnižší. Jednotlivé složky výrobních nákladů jsou náklady na stroj, na nástroj a náklady vedlejší.

5.1 Jednotkový strojní čas

Při stanovení jednotkového strojního času soustružení obráběcích procesů se vychází z poměrů délky dráhy nástroje a posuvové rychlosti. Uvažované parametry pro výpočet strojního času při soustružení podélném a čelním jsou znázorněny na obr. 5.1.



Obr. 5.1 Jednotkový strojní čas a) podélné soustružení, b) čelní soustružení [1].

Jednotkový strojní čas pro podélné soustružení válcové plochy se vypočte dle vzorce 5.1.

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} \text{ [min]} \quad (5.1) [1]$$

kde: L – dráha nástroje [mm],
 n – otáčky obrobku [min^{-1}],
 f – posuv na otáčku [mm].

Dráha nástroje ve směru posuvu L je celková dráha nástroje pracovním posuvem a je složena z jednotlivých složek:

$$L = l_n + l + l_p \text{ [mm]} \quad (5.2) [1]$$

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

Při soustružení čelní plochy je nutno uvažovat s metodou obrábění při konstantních otáčkách obrobku (strojní čas t_{ASn}), nebo obrábění při konstantní řezné rychlosti (strojní čas t_{ASv}). Strojní čas t_{ASn} se vypočte dle vztahu 5.1, dráha nástroje L pro obrábění při konstantní řezné rychlosti se vypočítá podle vztahu:

$$L = \frac{[(D_{\max} + 2 \cdot l_n) - (D_{\min} - 2 \cdot l_p)]}{2} \text{ [mm]} \quad (5.3) [1]$$

kde: $D_{\max}$ – maximální průměr obráběné plochy [mm],
 $D_{\min}$ – nejmenší průměr obráběné plochy [mm],
 l_n – délka náběhu [mm],
 l_p – délka přeběhu [mm].

Strojní čas t_{ASv} se určí dle vztahu:

$$t_{ASv} = \frac{\pi \cdot [(D_{\max} + 2 \cdot l_n)^2 - (D_{\min} - 2 \cdot l_p)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot v_c \cdot f} \text{ [min]} \quad (5.4) [1]$$

kde: $D_{\max}$ – maximální průměr obráběné plochy [mm],
 $D_{\min}$ – nejmenší průměr obráběné plochy [mm],
 l_n – délka náběhu [mm],
 l_p – délka přeběhu [mm],
 v_c – řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],
 f – posuv na otáčku [mm].

5.2 Výpočet strojního času výroby zadané součásti

Výpočet strojního času výroby zadané součásti je proveden podle posloupnosti jednotlivých operací uvedených v operačních návodkách, které jsou rovněž svázané s návrhem NC programu v části 4.

U všech operací soustružení byly voleny následující hodnoty:

- délka náběhu $l_n = 1 \text{ mm}$,
- délka přeběhu $l_p = 1 \text{ mm}$,
- otáčky pro zarovnání čela nástrojem T1 $n = 1400 \text{ min}^{-1}$,
- konstantní řezná rychlost pro hrubovací operace (nástroj T1) $v_c = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,
- konstantní řezná rychlost pro dokončovací operace (nástroj T2) $v_c = 220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Výpočet strojního času pro operační návodku číslo 1:

Celková dráha nástroje realizovaná v operační návodce číslo 1:

$$L = l_n + l + l_p = 1 + 20 + 1 = 22 \text{ mm} \quad (5.5)$$

Strojní čas pro operační návodku číslo 1:

$$t_{AS1} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{22}{1400 \cdot 0,2} = 0,0786 \text{ min} \quad (5.6)$$

Výpočet strojního času pro operační návodku číslo 2:

Celkové dráhy nástroje realizované v operační návodce číslo 2:

$$L_1 = l_n + l + l_p = 1 + 74 + 0 = 75 \text{ mm} \quad (5.7)$$

$$L_2 = \frac{[(40 + 2) - (34 - 0)]}{2} = 4 \text{ mm} \quad (5.8)$$

Strojní časy pro operační návodku číslo 2:

$$t_{AS1} = \frac{L_1}{n \cdot f} = \frac{75}{1600 \cdot 0,4} = 0,1172 \text{ min} \quad (5.9)$$

$$t_{ASv2} = \frac{\pi \cdot [(42)^2 - (34)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot 180 \cdot 0,4} = 0,0066 \text{ min} \quad (5.10)$$

Celkový strojní čas pro operační návodku číslo 2:

$$t_{AS} = \sum t_{ASi} = 0,1172 + 0,0066 = 0,1238 \text{ min} \quad (5.11)$$

Výpočet strojního času pro operační návodku číslo 3:

Celková dráha nástroje realizovaná v operační návodce číslo 3:

$$L = l_n + l + l_p = 1 + 20 + 1 = 22 \text{ mm} \quad (5.12)$$

Strojní čas pro operační návodku číslo 3:

$$t_{AS1} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{22}{1400 \cdot 0,2} = 0,0786 \text{ min} \quad (5.13)$$

Výpočet strojního času pro operační návodku číslo 4:

Celkové dráhy nástroje realizované v operační návodce číslo 4:

$$L_1 = l_n + l + l_p = 1 + 24 + 0 = 25 \text{ mm} \quad (5.14)$$

$$L_2 = \frac{[(40 + 2) - (34 - 0)]}{2} = 4 \text{ mm} \quad (5.15)$$

$$L_3 = l_n + l + l_p = 1 + 24 + 0 = 25 \text{ mm} \quad (5.16)$$

$$L_4 = \frac{[(34 + 2) - (28 - 0)]}{2} = 4 \text{ mm} \quad (5.17)$$

$$L_5 = l_n + l + l_p = 1 + 24,5 + 0 = 25,5 \text{ mm} \quad (5.18)$$

$$L_6 = \frac{[(31,92 + 0) - (22 - 0)]}{2} = 4,96 \text{ mm} \quad (5.19)$$

$$L_7 = l_n + l + l_p = 0 + 8 + 0 = 8 \text{ mm} \quad (5.20)$$

$$L_8 = \frac{[(40 + 2) - (40 - 0)]}{2} = 1 \text{ mm} \quad (5.21)$$

Strojní časy pro operační návodku číslo 4:

$$t_{AS1} = \frac{L_1}{n \cdot f} = \frac{25}{1700 \cdot 0,4} = 0,0368 \text{ min} \quad (5.22)$$

$$t_{ASv2} = \frac{\pi \cdot [(42)^2 - (34)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot 180 \cdot 0,4} = 0,0066 \text{ min} \quad (5.23)$$

$$t_{AS3} = \frac{L_3}{n \cdot f} = \frac{25}{2050 \cdot 0,4} = 0,0305 \text{ min} \quad (5.24)$$

$$t_{ASv4} = \frac{\pi \cdot [(36)^2 - (28)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot 180 \cdot 0,4} = 0,0056 \text{ min} \quad (5.25)$$

$$t_{AS5} = \frac{L_5}{n \cdot f} = \frac{25,5}{2600 \cdot 0,4} = 0,0245 \text{ min} \quad (5.26)$$

$$t_{ASv6} = \frac{\pi \cdot [(31,92)^2 - (22)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot 180 \cdot 0,4} = 0,0058 \text{ min} \quad (5.27)$$

$$t_{AS7} = \frac{L_7}{n \cdot f} = \frac{8}{1600 \cdot 0,4} = 0,0125 \text{ min} \quad (5.28)$$

$$t_{ASv8} = \frac{\pi \cdot [(42)^2 - (40)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot 180 \cdot 0,4} = 0,0018 \text{ min} \quad (5.29)$$

Celkový strojní čas pro operační návodku číslo 4:

$$t_{AS} = \sum t_{ASi} = 0,0368 + 0,0066 + 0,0305 + 0,0056 + 0,0245 + \quad (5.30)$$

$$+ 0,0058 + 0,0125 + 0,0018 = 0,1241 \text{ min}$$

Výpočet strojního času pro operační návodku číslo 5:

Celkové dráhy nástroje realizované v operační návodce číslo 5:

$$L_1 = l_n + l + l_p = 1 + 26,5 + 0 = 27,5 \text{ mm} \quad (5.31)$$

$$L_2 = \frac{[(27,92 + 0) - (18 - 0)]}{2} = 4,96 \text{ mm} \quad (5.32)$$

$$L_3 = l_n + l + l_p = 0 + 8 + 0 = 8 \text{ mm} \quad (5.33)$$

$$L_4 = l_n + l + l_p = 0 + 111,5 + 1 = 112,5 \text{ mm} \quad (5.34)$$

$$L_5 = \frac{[(40 + 2) - (36 - 0)]}{2} = 3 \text{ mm} \quad (5.35)$$

Strojní časy pro operační návodku číslo 5:

$$t_{AS1} = \frac{L_1}{n \cdot f} = \frac{27,5}{3500 \cdot 0,2} = 0,0393 \text{ min} \quad (5.36)$$

$$t_{ASv2} = \frac{\pi \cdot [(27,92)^2 - (18)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot 220 \cdot 0,2} = 0,0081 \text{ min} \quad (5.37)$$

$$t_{AS3} = \frac{L_3}{n \cdot f} = \frac{8}{2200 \cdot 0,2} = 0,0182 \text{ min} \quad (5.38)$$

$$t_{AS4} = \frac{L_3}{n \cdot f} = \frac{112,5}{1950 \cdot 0,2} = 0,2885 \text{ min} \quad (5.39)$$

$$t_{ASv5} = \frac{\pi \cdot [(42)^2 - (36)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot 220 \cdot 0,2} = 0,0084 \text{ min} \quad (5.40)$$

Celkový strojní čas pro operační návodku číslo 5:

$$t_{AS} = \sum t_{ASi} = 0,0393 + 0,0081 + 0,0182 + 0,2885 + 0,0084 = 0,3625 \text{ min} \quad (5.41)$$

Výpočet strojního času pro operační návodku číslo 6:

Celkové dráhy nástroje realizované v operační návodce číslo 6:

$$L_1 = l_n + l + l_p = 1 + 74 + 0 = 75 \text{ mm} \quad (5.42)$$

$$L_2 = \frac{[(36 + 2) - (28 - 0)]}{2} = 5 \text{ mm} \quad (5.43)$$

$$L_3 = l_n + l + l_p = 1 + 36,5 + 0 = 37,5 \text{ mm} \quad (5.44)$$

$$L_4 = \frac{[(25,82) - (22 - 0)]}{2} = 1,91 \text{ mm} \quad (5.45)$$

$$L_5 = l_n + l + l_p = 0 + 3,2 + 0 = 3,2 \text{ mm} \quad (5.46)$$

$$L_6 = \frac{[(28 + 2) - (28 - 0)]}{2} = 1 \text{ mm} \quad (5.47)$$

Strojní časy pro operační návodku číslo 6:

$$t_{AS1} = \frac{L_1}{n \cdot f} = \frac{75}{2050 \cdot 0,4} = 0,0915 \text{ min} \quad (5.48)$$

$$t_{ASv2} = \frac{\pi \cdot [(38)^2 - (28)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot 180 \cdot 0,4} = 0,0072 \text{ min} \quad (5.49)$$

$$t_{AS3} = \frac{L_3}{n \cdot f} = \frac{37,5}{2600 \cdot 0,4} = 0,0361 \text{ min} \quad (5.50)$$

$$t_{ASv4} = \frac{\pi \cdot [(25,82)^2 - (22)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot 180 \cdot 0,4} = 0,0020 \text{ min} \quad (5.51)$$

$$t_{AS5} = \frac{L_1}{n \cdot f} = \frac{3,2}{2100 \cdot 0,4} = 0,0038 \text{ min} \quad (5.52)$$

$$t_{ASv6} = \frac{\pi \cdot [(30)^2 - (28)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot 180 \cdot 0,4} = 0,0013 \text{ min} \quad (5.53)$$

Celkový strojní čas pro operační návodku číslo 6:

$$t_{AS} = \sum t_{ASi} = 0,0915 + 0,0072 + 0,0361 + 0,0020 + 0,0038 + \\ + 0,0013 = 0,1419 \text{ min} \quad (5.54)$$

Výpočet strojního času pro operační návodku číslo 7:

Celkové dráhy nástroje realizované v operační návodce číslo 7:

$$L_1 = l_n + l + l_p = 1 + 38,5 + 0 = 39,5 \text{ mm} \quad (5.55)$$

$$L_2 = \frac{[(23,82 + 0) - (19 - 0)]}{2} = 2,41 \text{ mm} \quad (5.56)$$

$$L_3 = l_n + l + l_p = 0 + 38,2 + 0 = 38,2 \text{ mm} \quad (5.57)$$

$$L_4 = \frac{[(36 + 2) - (26 - 0)]}{2} = 6 \text{ mm} \quad (5.58)$$

Strojní časy pro operační návodku číslo 7:

$$t_{AS1} = \frac{L_1}{n \cdot f} = \frac{39,5}{3500 \cdot 0,2} = 0,0564 \text{ min} \quad (5.59)$$

$$t_{ASv2} = \frac{\pi \cdot [(23,82)^2 - (19)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot 220 \cdot 0,2} = 0,0038 \text{ min} \quad (5.60)$$

$$t_{AS3} = \frac{L_3}{n \cdot f} = \frac{38,2}{2700 \cdot 0,2} = 0,0707 \text{ min} \quad (5.61)$$

$$t_{ASv4} = \frac{\pi \cdot [(38)^2 - (26)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot 220 \cdot 0,2} = 0,0137 \text{ min} \quad (5.62)$$

Celkový strojní čas pro operační návodku číslo 7:

$$t_{AS} = \sum t_{ASi} = 0,0564 + 0,0038 + 0,0707 + 0,0137 = 0,1446 \text{ min} \quad (5.63)$$

Výpočet strojního času pro operační návodku číslo 8:

Celkové dráhy nástroje realizované v operační návodce číslo 8:

$$L_1 = l_n + l + l_p = 1 + 32,5 + 2,5 = 36 \text{ mm} \quad (5.64)$$

Strojní časy pro operační návodku číslo 8:

$$t_{AS1-7} = \frac{L_1 \cdot i}{n \cdot f} = \frac{36 \cdot 9}{800 \cdot 1,5} = 0,2700 \text{ min} \quad (5.65)$$

Výpočet strojního času pro operační návodku číslo 9:

Celkové dráhy nástroje realizované v operační návodce číslo 9:

$$L_1 = l_n + l + l_p = 1 + 20,5 + 2,5 = 24 \text{ mm} \quad (5.66)$$

Strojní časy pro operační návodku číslo 9:

$$t_{AS1-7} = \frac{L_1 \cdot i}{n \cdot f} = \frac{24 \cdot 9}{800 \cdot 1,5} = 0,1800 \text{ min} \quad (5.67)$$

Celkový strojní čas pro výrobu zadané součásti:

Celkový strojní čas pro výrobu zadané součásti je roven součtu všech celkových strojních časů pro operační návodky 1 až 9, tedy:

$$t_{ASc} = \sum t_{ASi} = 0,0786 + 0,1238 + 0,0786 + 0,1241 + 0,3625 + \\ + 0,1419 + 0,1446 + 0,2700 + 0,1800 = 1,5041 \text{ min} \quad (5.68)$$

6 DISKUSE

Volba strojů a nástrojů pro výrobu zadané součásti je omezena možnostmi strojního parku ÚST. Zvolené stroje a nástroje jsou vyhovující pro uvažovanou kusovou výrobu a bylo by možno na nich realizovat případnou malosériovou výrobu.

V této práci jsou zpracovány operace soustružení, frézování a vrtání pro výrobu zadané součásti. Pro operace broušení byla zvolena hrotová bruska BU 16, na které je možno broušením na kulato dosáhnout požadované jakosti povrchu, především požadovaných středních aritmetických úchylek profilu $Ra = 0,4 \mu m$ a $Ra 0,8 \mu m$.

Pro zvýšení efektivity a snížení strojních časů hrubovacích operací by bylo možné použít např. soustružnicko-zapichovací nože od firmy ISCAR (viz příloha číslo 10). Tyto nože jsou určené k zapichování, upichování a soustružení. VBD s touto geometrií je schopna soustružit v obou směrech osy Z a tím se výrazně krátí vedlejší časy, především přejezdy nástroje rychloposuvem.

Pro dosažení požadované jakosti povrchu bez broušení je možno použít soustružnický nůž s VBD s hladicí (stahovací) geometrií břitu. Hladicí geometrie VBD je označována jako WG (Wiper Geometry). Pomocí těchto nástrojů lze dosáhnout za stejných řezných podmínek až dvojnásobně lepší kvality povrchu, než u standardních destiček. Hladicí destičky jsou určeny pro dokončovací soustružnické operace, kdy v některých případech za použití VBD s WG geometrií je možno vyloučit operace broušení. Tyto destičky dodává např. firma ISCAR s označením příponou –WF a –WG. Vybrané hladicí destičky od firmy ISCAR jsou uvedeny v příloze číslo 11.

Pro kontrolu středního průměru závitu byla zvolena třídrátkové metoda. Tato metoda je univerzální a lze s ní kontrolovat závity různých průměrů a stoupání při správné volbě měřících drátků. Při kusové výrobě je tato metoda výhodná především pro její univerzálnost měření různých velikostí závitů. Při sériové výrobě je vhodnější použít závitové kalibry, které zaručují rychlou a snadnou kontrolu závitu. Nevýhodou závitových kalibrů je ovšem nutnost jeho použití pouze na jednu velikost závitu s daným stoupáním a tolerancí.

Strojní časy uvedené v operačních návodkách jsou vypočteny pouze zjednodušeně. Tvarové prvky jako zkosení, rádius nebo malá změna průměru obrobku (např. výběh pro závit) jsou zde chápány jako rovinné plochy a není zde při výpočtu dodrženo kritéria konstantní řezné rychlosti. Zpřesněný výpočet strojního času je uveden v páté části této práce, kde je strojní čas vypočten dle jednotlivých pohybů nástroje (kruhové a lineární interpolace).

ZÁVĚR

Při návrhu technologie výroby součásti je důležité zohlednit mnoho technologických, technicko-ekonomických a ekologických nároků a požadavků. Tyto aspekty jsou především ovlivňovány velikostí výrobní série, technologií konstrukce výrobku, výrobními tolerancemi a v neposlední řadě také dostupnými výrobními prostředky. Při zvolené kusové výrobě se tyto kritéria zužují na univerzálnost výrobních strojů a zařízení, jejich možností adaptability pro konkrétní potřeby výroby. Realizací výroby součásti na strojích technického parku Ústavu strojírenské technologie Fakulty strojního inženýrství a návrhem technologie výroby součásti bylo dosaženo těchto výsledků:

- Byly navrženy stroje, nástroje a řezné podmínky pro výrobu součásti.
- Byl navržen řídicí NC program pro poloautomatický soustruh SPN 12 CNC v pracovním prostředí řídicího systému Sinumerik 810D s následným odzkoušením pomocí simulace.
- Součást byla vyrobena dle výrobního výkresu na strojích technického parku ÚST zvolenými nástroji za použití procesní kapaliny CIMSTAR 597.
- Byla provedena kontrola závitů M20x1,5-6g třídrátkovou metodou s následným vyhodnocením a propočtem celkové nejistoty měření u_c .
- Proveden rozbor strojního času, který byl vyhodnocen na 1,5 minuty. Časové vytížení hrubovacího soustružnického nože je vypočteno na 0,55 minuty, dokončovacího soustružnického nože 0,50 minuty a závitového nože 0,45 minuty.

Kusová výroba představuje výrobu velkého počtu různých druhů výrobků v malém množství nebo v jednotlivých kusech, kde není zaručena opakovatelnost výroby. Typickými představiteli kusové výroby jsou složité výrobky těžkého strojírenství nebo výroba náhradních dílů. Při výrobě jsou voleny stroje, nástroje, měřidla a pomůcky takové, aby zajišťovaly co možná nejjednodušší způsob dosažení požadovaného tvaru součásti, mnohdy bez přihlížení na ekonomické aspekty. Díky univerzálnosti výrobních strojů a velkému počtu různých druhů výrobků jsou kladeny velké požadavky na kvalifikaci pracovníků.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HUMÁR, Anton. *Technologie I - Technologie obrábění - I. část*. [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie. 2003 [vid. 7. dubna 2015]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
2. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění – Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. Vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
3. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. Vydání Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 270s. ISBN 80-214-1996-2.
4. HUMÁR, A. *Technologie obrábění*. (přednáška) Brno. FSI VUT BRNO, 12. březen 2014.
5. ZEMČÍK, Oskar *Technologické procesy – část obrábění*. [online]. Učební texty kombinovaného bakalářského studia. Brno VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie. [vid. 29. dubna 2015]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TechnProcesy.pdf>
6. *Sortimentní katalog*. FERONA, a.s. [online] [vid. 9. květen 2015]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=25490>
7. ČSN 41 1109. *Hutnictví – materiálové listy ocelí*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1975.
8. KUBLA, Dalibor. *Technologické aspekty řezání válcovaných materiálů*. Brno 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 64 s., příloh 9. Vedoucí práce Doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.
9. PÍŠKA, Miroslav – POLZER, Aleš *Popis poloautomatického soustruhu SPN12 CNC s řídicím systémem Sinumerik 810D*.
10. *Univerzální a produkční konzolové frézky*. TOS OLOMOUC [online] [vid. 9. květen 2015] Dostupné z: <http://www.tos-olomouc.cz/oc-cz/vyrobní-program/numericky-rizene-konzolove-frezky/vertikalni-konzolova-frezka-se-souvislym-rizenim-fv-30-cnc/technicke-parametry.html>
11. *Katalog strojů pro technologické předměty*. FSI VUT Brno – Odbor technologie obrábění [online] [vid. 9. květen 2015] Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/vyuka/katalog/kat/sfv25cnca_1.html
12. *Hrotová bruska BU 16*. FERMAT [online] [vid. 9. květen 2015] Dostupné z: <http://www.fermatmachinery.com/pouzite-stroje/bruska/hrotova/bu-16-cs-142064/>
13. *ECatalog*. PRAMET TOOLS s.r.o. [online] [vid. 9. květen 2015] Dostupné z: <http://ecat.pramet.com/default.aspx>
14. *Katalog výrobního sortimentu*. ZPS-FRÉZOVACÍ NÁSTROJE a.s. [online] [vid 9. května 2015] Dostupné z: <http://www.zps-fn.cz/>
15. *Kotouče ploché TYROLIT*. TECHCENTRUM [online] [vid 9. května 2015] Dostupné z: <http://www.prodejbrusiva.cz/kotouc-t1-300x30x762-87a36j7av40-45701-tyrolit>

16. VILÉM, J. *Optimalizace procesů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ, 2012. 25 s. Vedoucí RNDr. Pavel Popela, Ph.D.
17. TOLLRIAN, Z. *Technologie opracování středících nákrůžků a patek elektromotoru v systému řízení výroby*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 66 s., 8 s. příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Josef Sedlák, Ph.D.
18. SMOLEK, J. *Kontrola a měření strojních součástí a jejich polotovarů*. SPŠ a VOŠ BRNO, SOKOLSKÁ 1. [online] [vid 22. května 2015] Dostupné z: http://web.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_23-01.pdf
19. LEINVEBER, Jan. – VÁVRA, Pavel *Strojnické tabulky* 4. vyd. Úvaly, 2008. 913 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
20. ŠTULPA, Miroslav. *CNC obráběcí stroje*. 2. dotisk 1. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2008. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
21. *iscar electronic catalog*. ISCAR [online] [vid 22. květen 2015] Dostupné z: <http://www.iscar.com/eCatalog/Index.aspx?rst=1>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CVD	[-]	chemical vapour deposition (chemické metody nanášení povlaku)
ČSN	[-]	Česká technická norma (dříve Československá státní norma)
DMR	[mm]	dolní mezní rozměr
EN	[-]	European Standard (Evropská norma)
HMR	[mm]	horní mezní rozměr
HSS	[-]	high speed steel (rychlořezná ocel)
KŘR	[-]	konstantní řezná rychlost
NC	[-]	numeric control (číslicové řízení)
SK	[-]	slinuté karbidy
ÚST	[-]	Ústav strojírenské technologie
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
W.Nr	[-]	Werkstoff Number (číslo materiálu)

Symbol	Jednotka	Popis
2X	[mm]	tabulková hodnota daná geometrií závitu
A_d	[mm ²]	jmenovitý průřez třísky
C_{Fe}	[-]	materiálová konstanta
D_{max}	[mm]	maximální průměr obráběné plochy
D_{min}	[mm]	nejmenší průměr obráběné plochy
F	[N]	celková řezná síla
F_c	[N]	řezná síla
F_f	[N]	posuvová síla
F_p	[N]	pasivní síla
L	[mm]	dráha nástroje
M_{d2}	[mm]	rozměr přes drátky
$\overline{Md_2}$	[mm]	střední aritmetická hodnota rozměrů přes drátky
P	[mm]	stoupání závitu
P_{ef}	[kW]	efektivní výkon na vřetení
Q_n	[J]	teplo odváděné nástrojem

Q_o	[J]	teplo odváděné obrobkem
Q_{pe}	[J]	teplo vzniklé v důsledku plastických a elastických deformací
Q_{pr}	[J]	teplo odváděné řezným prostředím
Q_t	[J]	teplo odváděné třískou
Q_α	[J]	teplo vzniklé v důsledku tření hlavního hřbetu nástroje o přechodovou plochu na obrobku
Q_γ	[J]	teplo vzniklé v důsledku tření mezi čelem nástroje a třískou
R_a	[μm]	střední aritmetická úchylka profilu
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
R_ϵ	[mm]	poloměr zaoblení špičky nástroje
$S_{\bar{x}}$	[mm]	směrodatná odchylka aritmetického průměru
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
d_2	[mm]	střední průměr závitu
d_D	[mm]	průměr měřicího drátku
f	[mm]	posuv na otáčku
f_{lim}	[mm]	limitní posuv na otáčku
h	[mm]	tloušťka vrstvy odebíraného materiálu
k_c	[MPa]	měrná řezná síla
k_s	[-]	koeficient zohledňující počet měření
l	[mm]	délka soustružené plochy
l_n	[mm]	délka náběhu
l_p	[mm]	délka přeběhu
n	[min^{-1}]	otáčky
n_{op}	[-]	počet opakování měření
p	[kPa]	atmosferický tlak
t	[°C]	teplota
t_{AS}	[min]	jednotkový strojní čas
t_{ASn}	[min]	strojní čas při konstantních otáčkách
t_{ASv}	[min]	strojní čas při konstantní řezné rychlosti
u_a	[mm]	standardní nejistota typu A
u_c	[mm]	celková nejistota měření

v_c	$[m \cdot min^{-1}]$	řezná rychlost
v_f	$[m \cdot min^{-1}]$	posuvová rychlost
$\bar{x}$	$[mm]$	střední aritmetická hodnota měření
x_{Fc}	$[-]$	exponent vlivu a_p
x_i	$[mm]$	i-tá hodnota středního aritmetického průměru
y_{Fc}	$[-]$	exponent vlivu f
α	$[^\circ]$	úhel hřbetu
α_o	$[^\circ]$	nástrojový ortogonální úhel hřbetu
γ	$[^\circ]$	úhel čela
γ_o	$[^\circ]$	nástrojový ortogonální úhel čela
κ_{re}	$[^\circ]$	pracovní úhel nastavení hlavního ostří
ϕ	$[^\circ]$	úhel stříhu
ϕ_1	$[^\circ]$	úhel kluzu
$\phi_{vzduchu}$	$[\%]$	relativní (poměrná) vlhkost vzduchu
ψ	$[^\circ]$	doplňkový úhel nastavení hlavního ostří

SEZNAM PŘÍLOH

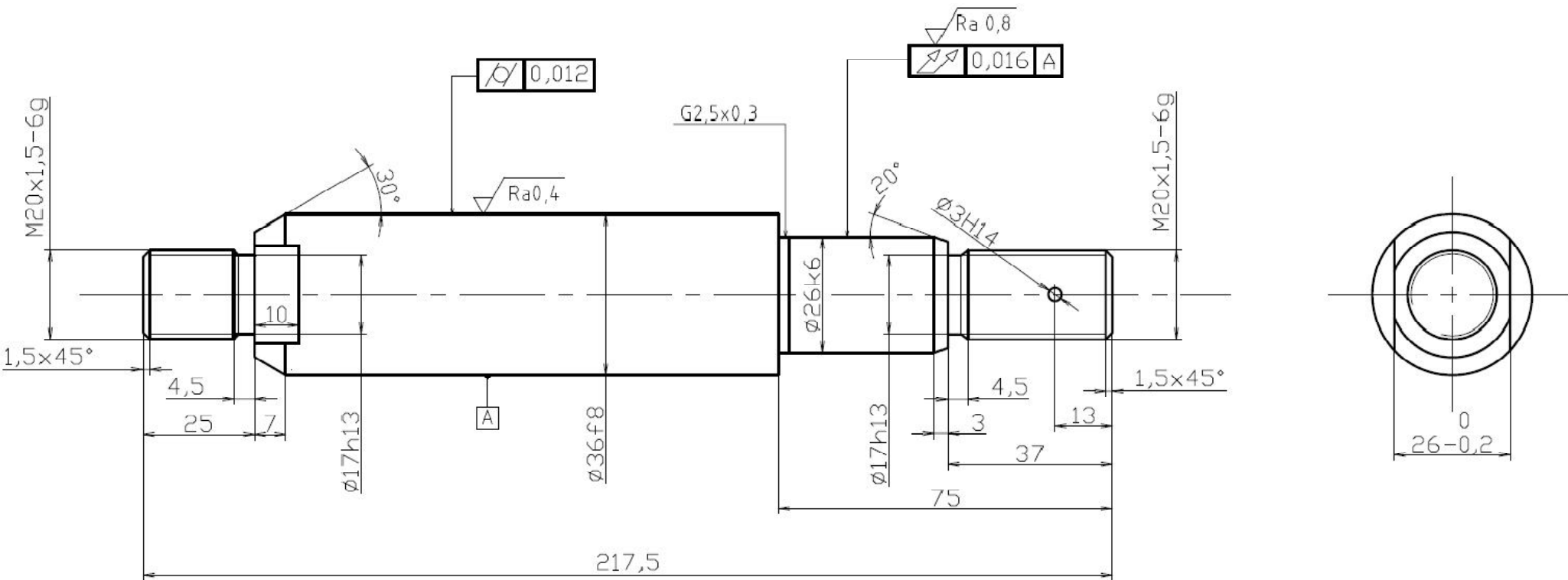
Příloha 1	Výrobní výkres součásti.
Příloha 2	Procesní kapalina CIMSTAR 597 od firmy CIMCOOL.
Příloha 3	Pásová pila BOMAR STG 220G.
Příloha 4	Poloautomatický soustruh SPN 12 CNC.
Příloha 5	Vertikální konzolová frézka FV25 CNC.
Příloha 6	Hrotová bruska BU 16.
Příloha 7	Značení nástrojů dle firmy Pramet Tools, s.r.o.
Příloha 8	Kontrola středního průměru závitů třídrátkovou metodou.
Příloha 9	Simulace drah nástroje pro operace soustružení provedená v řídicím programu soustruhu Sinumerik 810D.
Příloha 10	Soustružnicko-zapichovací nůž od firmy ISCAR.
Příloha 11	VBD s geometrií wiper.

PŘÍLOHA 1

Výrobní výkres součásti.

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK

VYTVOŘENO VE VÝUKOVÉM PRODUKTU SPOLEČNOSTI AUTODESK



Struktura povrchu: Ra 6,3	Hrany: 0,3	Měřítko 1:1	Přesnost ISO 2768-MK
			Tolerování ISO 8015
			Promítání ☐
Materiál 11109	Polotovár ø40-220 ČSN 42 6510.12	Hmotnost 1,36 kg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016
	Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	Název HŘÍDEL	
	Kreslil PAVEL HAVLÁT	Číslo dokumentu BP_HAVLÁT_2015	
	Schválil	List 1/1	
	Datum vydání 29.4.2015		

PŘÍLOHA 2

Procesní kapalina CIMSTAR 597 od firmy CIMCOOL.



PŘÍLOHA 3

Pásová pila BOMAR STG 220G [8].



PŘÍLOHA 4

Poloautomatický soustruh SPN 12 CNC.



PŘÍLOHA 5

Vertikální konzolová frézka FV25 CNC.



PŘÍLOHA 6

Hrotová bruska BU 16.



Značení nástrojů dle firmy Pramet Tools, s.r.o. [13].

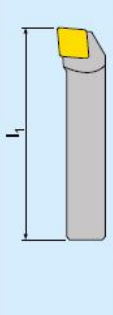


PŘÍLOHA 7 (2/2)

SYSTEM ZNAČENÍ NOŽŮ ISO - VNITŘNÍ SOUSTRUŽENÍ SYSTEM ZNAČENIA NOŽOV ISO - VNÚTORNÉ SÚSTRUŽENIE

1		2								
Provedení držáku / Provedenie držiaka		Diametro utensile (mm) Shank Ø [mm]								
S	Ocelový držák	08	10	12	16	20				
	Oceľový držiak									
A	Ocelový držák s chladičím otvorem	25	32	40	50	60				
	Oceľový držiak s chladičím otvorom									
E	Držák s karbidovou stopkou a chladičím otvorem									
	Držiak s karbidovou stopkou chladičím otvorom									

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	40	T	-	P	C	L	N	L	12
									X

3		4		5		6	
Celková délka Celková dĺžka		Způsob upínání Spôsob upínania		Tvar destičky Tvar doštičky		Tvar nože - úhel nastavení Tvar noža - uhol nastavenia	
	l_1 [mm]						
	D 60	C		S		C	
	E 70	D		T		D	
	F 80	P		R		K	
	H 100	M		W		V	
	J 110	S		L		X	Speciál
	K 125	X					
	L 140	G					
	M 150						
	N 160						
	P 170						
	Q 180						
	R 200						
	S 250						
	T 300						
	U 350						
	V 400						
W 450							
X Spec.							
Y 500							

A		B		C		D		D	
90°		75°		90°		45°			
E		F		G		H		J	
60°		90°		90°		107°30'		93°	
K		L		M		N		P	
75°		95°		50°		62°30'		117°30'	
Q		R		S		S		T	
107°30'		75°		45°				60°	
U		V		W		X		Y	
93°		72°30'		60°		SPECIAL SPECIAL		85°	
Z									
κ°									

7			9										10		
Úhel hřbetu Uhol chrbta			Velikost destičky Veľkosť doštičky										Údaje výrobce Údaje výrobcu		
													X	Speciální provedení stopky Speciálne prevedenie stopky	
N	C	P	d [mm]	S	C	E	D	V	K	W	T	R			
alpha_n=0°	alpha_n=7°	alpha_n=11°	3,97					07		02	06				
			5,56			05					09	06			
			6,00												
			6,35		06	06	07	11			11				
			7,94		08	08		13							
			8,00									08			
			9,525	09	09		11	16	19	06	16				
			10,00									10			
			12,00									12			
			12,70	12	12		15			08	22	12			
			15,875	15	16						27	15			
			16,00									16			
			19,05	19	19							19			
			20,00									20			
			25,00									25			
			25,40	25	25							25			
8														Hodnota úhlu kappa u nože tvaru "Z" Hodnota uhlu kappa pri noži tvaru "Z"	
Směr řezu Smer rezu															
R													87		
L													90		
													93		
													.		
													.		
													.		
													.		
													.		

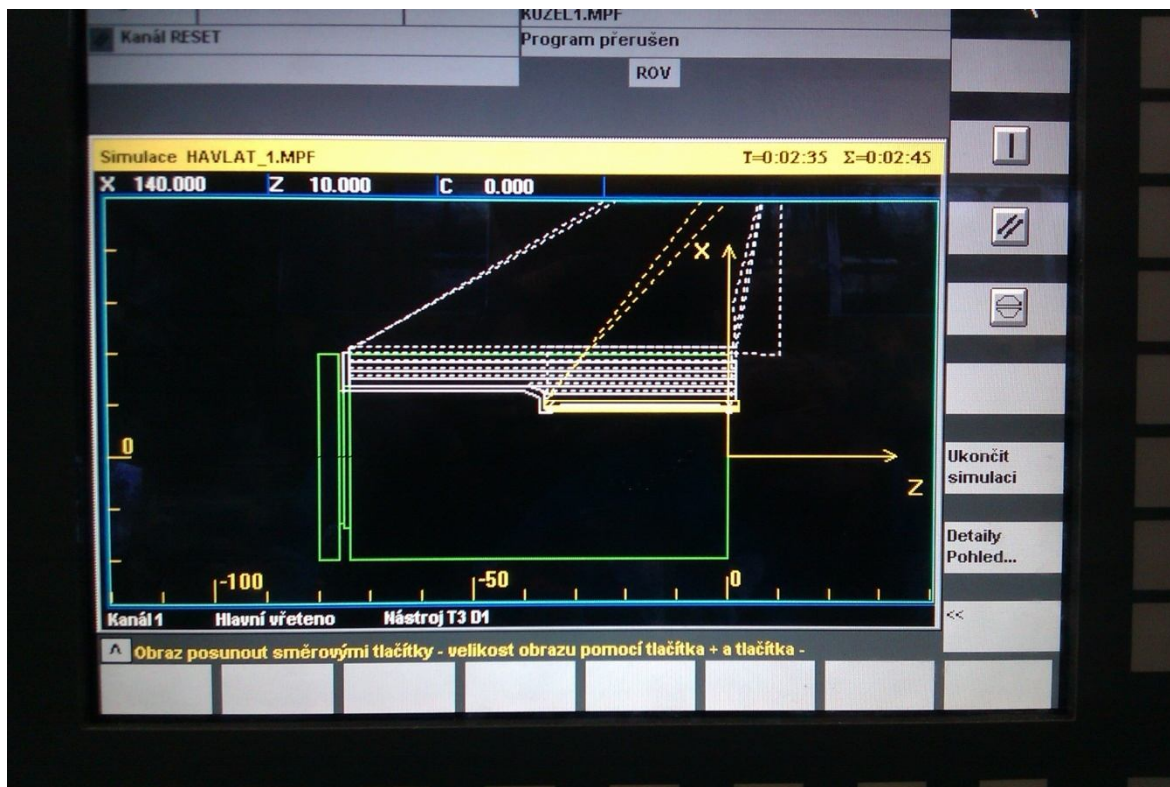
PŘÍLOHA 8

Kontrola středního průměru závitů třídrátkovou metodou.



PŘÍLOHA 9

Simulace drah nástroje pro operace soustružení provedená v řídicím programu soustruhu Sinumerik 810D (simulace obrobení kontury z jedné a z druhé strany).



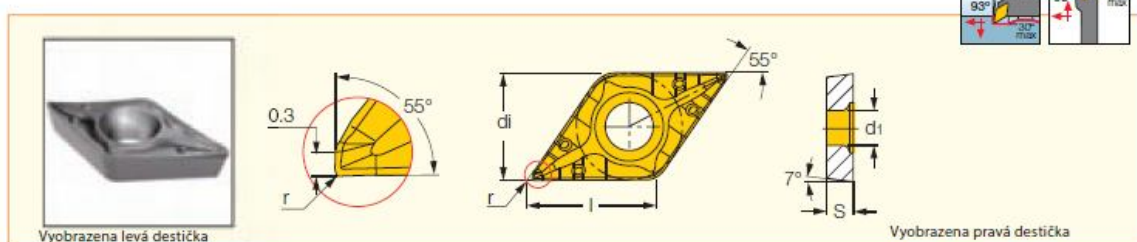
PŘÍLOHA 10

Vybrané VBD s geometrií wiper od firmy ISCAR [21].

ISOTURN

DCET-WF

55° kosočtvercové hladící destičky pro dokončování s vysokými posuvy



Označení	Rozměry					IC907	Doporučené podmínky obrábění	
	l	di	S	r	d1		ap (mm)	f (mm/ot.)
DCET 0702005R/L-WF	7.70	6.35	2.38	0.05	2.80	•	0.05-3.00	0.01-0.20
DCET 11T3005R/L-WF	11.60	9.52	3.97	0.05	4.40	•	0.05-3.00	0.01-0.20

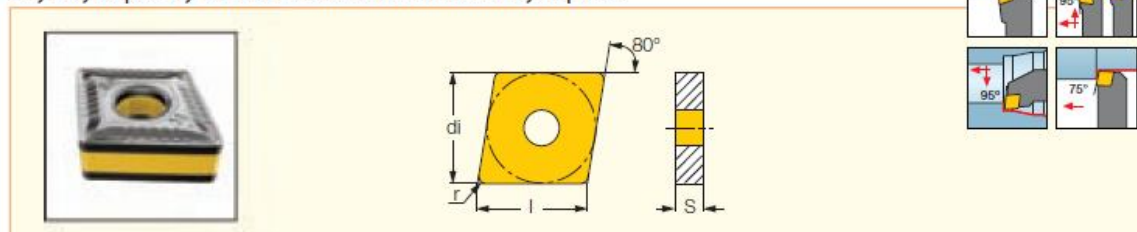
• Uživatelská příručka a doporučená řezná rychlost, viz. strany: B118-123, B227-231, B246-249.

Držáky, viz. strany: C#-SDJCR/L (D15) • E-SDUCR/L-HEAD (B99) • E/S-SDUCR/L (B98) • IM-SDJCR/L (D47) • PDACR/L-S (B41) • SDACR/L (B44) • SDHCR/L (B43) • SDJCR-PAD (B43) • SDJCR/L (B42).

ISOTURN

CNMG-WG

Oboustranné 80° kosočtvercové hladící destičky pro soustružení s vysokými posuvy s velmi dobrou drsností obroběných ploch



Označení	Rozměry				Houževnatý → Tvrdý							Doporučené podmínky obrábění	
	l	di	S	r	IC8250	IC8150	IC428	IC5005	IC520N	IC807	IC907	ap (mm)	f (mm/ot.)
CNMG 120408-WG	12.90	12.70	4.76	0.80	•	•	•	•	•	•	•	0.80-3.50	0.10-0.50
CNMG 120412-WG	12.90	12.70	4.76	1.20	•	•	•	•	•	•	•	1.50-4.00	0.30-0.80
CNMG 120416-NRW	12.90	12.70	4.76	1.60	•	•	•	•	•	•	•	2.00-4.50	0.30-0.80

• Uživatelská příručka a doporučená řezná rychlost, viz. strany: B118-123, B227-231, B246-249.

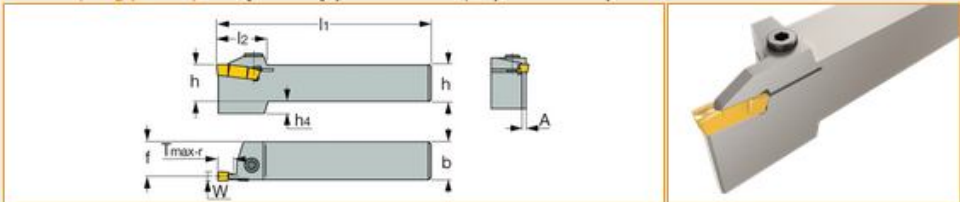
Držáky, viz. strany: C#-MULNR/L-MW (D8) • C#-PCLNR/L-12-JHP (D23) • DCBNR/L (B21) • DCLNR/L (B20) • HSK A63WH-MULNR/L-J12MWX2 (D30) • HSK A63WH-MULNR/L-MW (D28) • HSK A63WH-MUMNN-MW (D29) • IM-MULNR/L-MW (D41) • MULNR/L-12MW (B15) • PCBNR/L (B18) • PCLNR/L (B17) • PCLNR/L-12-JHP (B62) • PCLNR/L-CA (B114) • S-DCLNR/L (B84) • S-MULNR/L-MW (B91) • S/A-PCLNR/L (B87).

PŘÍLOHA 11

Soustružnicko-zapichovací nože od firmy ISCAR [21].

CUT-GRIP

GHDR/L (long pocket) : Vnější držáky pro soustružení, zapichování a upichování



Vyobrazen pravý nástroj



Vyobrazen pravý nástroj

Designation	W min	W max	Tmax-r	h	b	l1	f	A	l2	h4	R/L
GHDL 25-8	6.60	8.30	25.00	25.0	25.0	150.00	22.0	6.00	40.0	7.6	L
GHDR 25-8	6.60	8.30	25.00	25.0	25.0	150.00	22.0	6.00	40.0	7.6	R
GHDL 3225-8	6.60	8.30	25.00	32.0	25.0	168.50	22.0	5.90	40.0	-	L
GHDR 3225-8	6.60	8.30	25.00	32.0	25.0	168.50	22.0	5.90	40.0	-	R
GHDL 25-812	6.60	8.30	12.00	25.0	25.0	140.00	22.0	5.90	33.0	-	L
GHDR 25-812	6.60	8.30	12.00	25.0	25.0	140.00	22.0	5.90	33.0	-	R
GHDL 32-8	6.60	8.30	25.00	32.0	32.0	170.00	29.0	6.00	40.0	-	L
GHDR 32-8	6.60	8.30	25.00	32.0	32.0	170.00	29.0	6.00	40.0	-	R
GHDL 32-812	6.60	8.30	12.00	32.0	32.0	160.00	29.0	5.90	33.0	-	L
GHDR 32-812	6.60	8.30	12.00	32.0	32.0	160.00	29.0	5.90	33.0	-	R
GHDL 32-836	7.00	8.30	36.00	32.0	32.0	170.00	28.9	6.30	56.0	8.0	L
GHDR 32-836	7.00	8.30	36.00	32.0	32.0	170.00	28.9	6.30	56.0	8.0	R
GHDL 25-10	8.60	11.10	25.00	25.0	25.0	150.00	21.3	7.40	43.0	7.6	L
GHDR 25-10	8.60	11.10	25.00	25.0	25.0	150.00	21.3	7.40	43.0	7.6	R
GHDL 32-10	8.60	11.10	25.00	32.0	32.0	170.00	28.3	7.40	43.0	-	L
GHDR 32-10	8.60	11.10	25.00	32.0	32.0	170.00	28.3	7.40	43.0	-	R
GHDL 40-10	8.60	11.10	25.00	40.0	40.0	200.00	36.3	7.40	43.0	-	L
GHDR 40-10	8.60	11.10	25.00	40.0	40.0	200.00	36.3	7.40	43.0	-	R