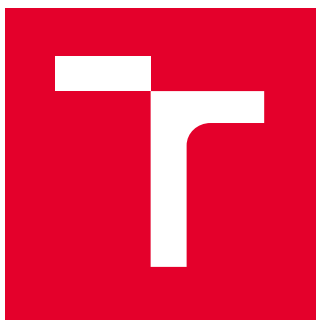




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY PRO ZVOLENOU SOUČÁST

A PROPOSAL OF PRODUCTION TECHNOLOGY OF A SPECIFIED COMPONENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Janíček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petra Sliwková, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Adam Janíček**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Petra Sliwková, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

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

Návrh technologie výroby pro zvolenou součást

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce se bude zabývat volbou materiálu a stroje pro zvolenou součást. Bude navržen a zpracován technologický postup pro dílec vyrobený třískovým obráběním. Součástí práce bude výkresová dokumentace.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše zvolené problematiky.
Volba nástrojového a strojního vybavení.
Zpracování technologického postupu.
Vyhodnocení navrženého řešení.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, M. a M. PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80254-2250-2.

PÍŠKA, M. a kol. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. Brno: CERM, 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-x.

SHAW, M. C. Metal Cutting Principles. 2nd edition. New York Oxford University Press, 2005. 651 p. ISBN 0-19-514206-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zaměřuje na obrábění součásti ze špatně obrobitelného materiálu, konkrétně korozivzdorné oceli 1.4404, kdy obráběnou součástkou bude osa trojcestného ventilu používaná v potravinářském průmyslu. Úvod práce obsahuje teoretické informace o používaných technologiích při výrobě součásti, pokračuje volbou strojů a nástrojů vhodných pro výrobu této součásti, následuje praktická část práce obsahující tvorbu výrobního postupu, návodek, výpočet řezných podmínek, samotnou výrobu součásti na CNC strojích a poslední částí je komplexní kontrola vyrobené součásti.

Klíčová slova

obrábění, nerez ocel, soustružení, obrobitelnost, technologický postup

ABSTRACT

This bachelor thesis focus on machining the parts from worse workable material, exactly stainless steel 1.4404, when the machined component will be the axis of the three-way valve used in food industry. The introduction of my thesis contains of theoretical information about technologies used in components production, continues with an option of machines and tools suitable for fabrication of this component, following with practical part containing the production of manufacturing process, manual, calculation of cutting conditions, production of the component on CNC machines itself, and the last part is complex control of the fabricated component.

Key words

machining, stainless steel, turning, machinability, technological method

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JANÍČEK, Adam. Návrh technologie výroby pro zvolenou součást [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/137000>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Petra Sliwková.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh technologie výroby pro zvolenou součást vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

V Brně, 19.5.2022

místo, datum

Adam Janíček

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Petře Sliwkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	8
1 POPIS VYRÁBĚNÉ SOUČÁSTI.....	9
1.1 Osa trojcestného ventilu	9
1.2 Volba materiálu	10
2 POUŽITÉ TECHNOLOGIE – TEORETICKÝ POPIS	11
2.1 Soustružení	11
2.2 Frézování	13
2.3 Vrtání.....	16
3 OBROBITELNOST	17
4 VOLBA A VÝPOČET POLOTOVARU	19
4.1 Volba a rozměry polotovaru	19
4.2 Výpočet spotřeby materiálu.....	19
5 VOLBA STROJNÍHO VYBAVENÍ A NÁSTROJŮ	22
5.1 Volba strojů	22
5.1.1 Stroj pro dělení polotovaru.....	22
5.1.2 Stroj pro soustružnické práce	23
5.1.3 Stroj pro vrtací a frézovací operace.....	24
5.2 Volba nástrojů a měřidel.....	25
6 NÁVRH VÝROBY A OBRÁBĚNÍ SOUČÁSTI	27
6.1 Technologický postup	27
6.2 Výrobní návodky.....	28
6.2.1 Hlavní výpočty pro návodku s číslem operace 02/02.....	30
6.2.2 Hlavní výpočty pro návodku s číslem operace 03/03.....	34
6.2.3 Hlavní výpočty pro návodku s číslem operace 05/05.....	35
6.2.4 Hlavní výpočty pro návodku s číslem operace 06/06.....	36
6.3 Obrábění součásti	37
6.4 Kontrola součásti	39
6.4.1 Kontrola délkových rozměrů a geometrické tolerance.....	39
6.4.2 Kontrola drsnosti povrchu	39
ZÁVĚR.....	40
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	41
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	42
SEZNAM PŘÍLOH	43

ÚVOD

V současné strojírenské výrobě je neustále kladena velká pozornost na snižování nákladů a zvyšování produktivity při zachování kvality výroby a bezpečnosti práce. Základní prací technologa je podle dodané výkresové dokumentace a množství vyráběných kusů přiřadit strojní a nástrojové vybavení s ohledem na požadovanou přesnost a materiál výrobku. Moderní výrobní firmy neustále hledají rovnováhu mezi jakostí a nákladovostí, především v této nejisté době, kdy skokově a nepředvídatelně vzrůstají ceny energií, kovových materiálů i lidské práce.

Náklady na obrábění se do ceny hotového výrobku promítají obvykle v desítkách procent, při výrobě tvarově složitěho dílu, velkém úběru třísek a zároveň při obrábění těžce obrobitelných materiálů v menších sériích tvoří až 75% celkové ceny. Aby firma byla v této době konkurenceschopná, musí se snažit již při přípravě výroby snižovat náklady v každém místě výrobního procesu. Vždy je vhodné před vlastním návrhem technologického postupu zvolit vhodný způsob obrábění, obráběcí stroje a podle obráběného materiálu přiřadit nástroje a správný typ a materiál břitové destičky. Až poté je optimální přistoupit k volbě postupu a stanovení vhodných řezných podmínek. Pro určení řezných podmínek je rozhodující, zda se jedná o hrubování nebo práci na čisto. Při hrubování se klade důraz na velký úběr třísky, stanovuje se proto větší hloubka záběru a posuv na otáčku, naopak se volí nižší řezné rychlosti. Při práci na čisto se volí řezné podmínky s ohledem na požadovanou drsnost obráběných ploch, přesnost rozměrů a případně i na geometrické tolerance uvedené na výkrese. Proto se při práci na čisto volí menší hloubky záběru a hodnoty posuvu, řezná rychlost bývá vyšší. Dalším parametrem ovlivňujícím především řeznou rychlost je obrobitelnost materiálů. Všechny technické materiály jsou rozděleny do skupin, kdy ocelím přísluší skupina b a plastickým hmotám skupina e. Dále se v každé skupině nachází jeden etalonový materiál, pro ocel je to ušlechtilá uhlíková ocel 12 050.1 a mezi jednotlivými třídami se řezná rychlost přepočítává indexem obrobitelnosti. Nejjednodušší a v praxi nejvíc používané je volit řezné podmínky z katalogů a databází výrobců nástrojů, kteří mají vhodné řezné podmínky často určeny pomocí diagramů vhodného utváření třísek. Dalším způsobem může být volba řezných podmínek pomocí matematických metod, při kterých jsou používány omezující parametry.

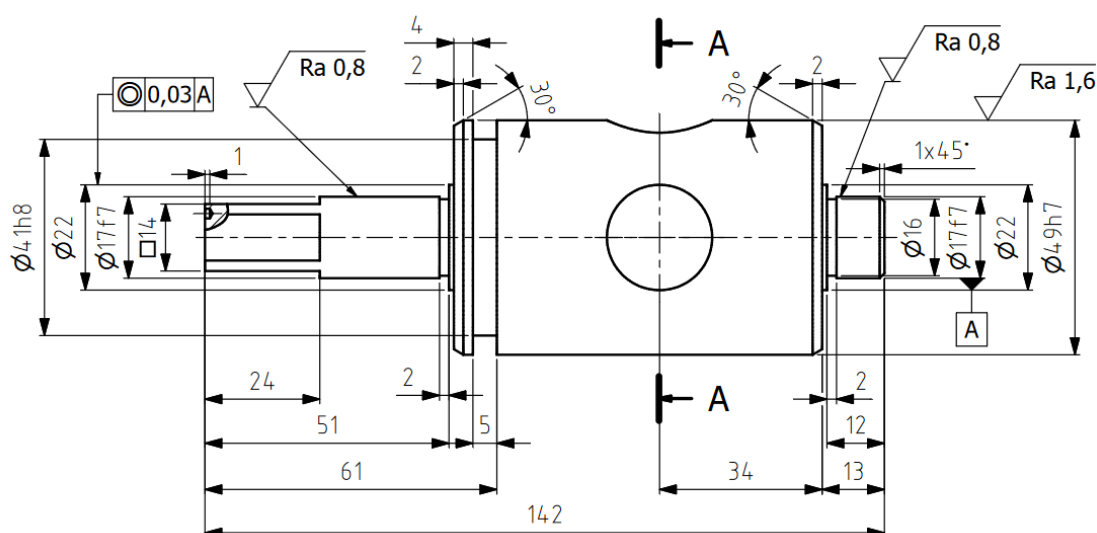
Při tvorbě technologického postupu se vychází z celé řady podkladů, především se jedná o konstrukční dokumentaci sestávající z výrobních výkresů a výkresů sestav, dále se přihlíží k navrženému polotovaru a jeho rozměrům, plánu výroby, tj. množství vyráběných kusů v čase požadovaném zákazníkem a k normativní dokumentaci obsahující katalogy strojů a nářadí. Výrobní postup se člení na jednotlivé operace, které mohou být ruční, strojní, kontrolní, dopravní, manipulační, montážní, apod. Samotná operace se dále dělí na ustavení, úsek, záběr, úkon a pohyb. Při členění výrobního postupu se přihlíží především k velikosti vyráběného množství. Obvykle se v kusové a malosériové výrobě člení postup pouze na jednotlivé operace, členění výrobního postupu až na pohyby se uplatňuje především ve velkosériové a hromadné výrobě. Technologický postup je závazný předpis pro výrobu, proto v něm musí být všechny údaje potřebné k zabezpečení výroby a při jeho zpracování se musí postupovat zvlášť pečlivě.

1 POPIS VYRÁBĚNÉ SOUČÁSTI

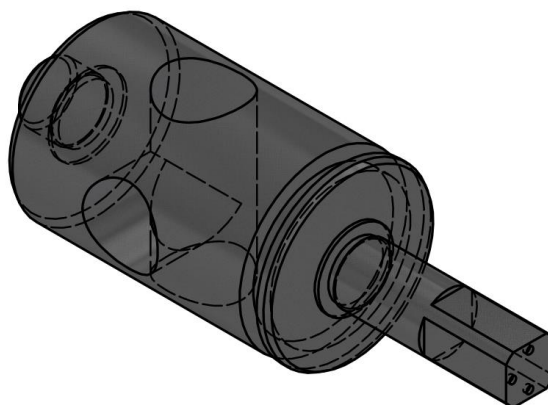
Hlavním cílem této bakalářské práce je stanovit technologický postup výroby osy trojcestného ventilu, který dopravuje kapalně látky v potravinářském průmyslu. Proto musí být i při volbě materiálu kladen důraz na zdravotní nezávadnost, ideálním a nejčastěji používaným materiálem je korozivzdorná ocel. Polotovar bude zvolený z běžně nabízených velikostí a profilů. Jedná se o kusovou výrobu, případně o výrobu ve velmi malých sériích, proto budou v technologickém postupu používány konvenční běžně dostupné nástroje i strojní vybavení. Řezné podmínky budou voleny rovněž z běžných katalogů výrobců, případně ze strojnických tabulek a přepočítány na obrobitelnost nerez oceli.

1.1 Osa trojcestného ventilu

Při výrobě zadaného dílu, jehož tvar i rozměry jsou patrné z obr. 1 a obr. 2, budou použity téměř všechny obráběcí technologie. Největší podíl bude mít soustružení, kterým se budou vyrábět vnější válcové plochy, čelní plochy a zápichy. Další technologií bude vrtání děr průchozích i neprůchozích a konečnou technologií bude frézování čtyř ploch. Na výkrese jsou použity rozměrové i geometrické tolerance, které budou mít vliv na volbu řezných podmínek. Nejnižší drsnost povrchu je $Ra 0,8$, proto nebude nutné použít broušení či jiné dokončovací technologie.



Obr.1 Hlavní výkresový pohled na osu ventilu.



Obr.2 3D model osy ventilu.

1.2 Volba materiálu

S ohledem na funkci součásti v potravinářském průmyslu bude materiálem korozivzdorná ocel s označením 1.4404. Běžně dostupný polotovár je nabízený jako kruhová nerez ocel válcovaná za tepla o průměru 55 mm. Tato ocel je podle ČSN značená 17 349, je dostatečně odolná proti mezi krystalické korozi, není stabilizovaná titanem, proto má lepší obrobiteľnosť než ocel 1.4571 a je vhodná pro použití v potravinářském průmyslu, ropném průmyslu, stavebním a chemickém průmyslu, zdravotní technice, letectví, v agresivním prostředí, kyselinách, mořské vodě, plaveckých bazénech a na výrobu šperků. Může se bezpečně používat v teplotním rozsahu -50 až 550 °C [1].

Mechanické vlastnosti této oceli jsou pro výrobu osy ventilu rovněž více než dostačující. Mez pevnosti dosahuje při zkouškách hodnot až 700 MPa, jak plyne z tab. 1.

Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli 1.4404 [1].

Vlastnost	Mez kluzu $R_{p0,2}$	Mez pevnosti R_m
Hodnota v MPa	max. 200	500 až 700

Mezi legujícími prvky dominují především chrom a nikl, které u této oceli zaručují výbornou odolnost proti korozi a to i proti mezikrystalické korozi po svařování. Rovněž obsah molybdenu zaručuje vyšší protikorozi odolnost. Obsahy legujících i doprovodných prvků, které se vyskytují v oceli, 1.4404 jsou uvedeny v tab. 2 a byly získány z přílohy 1 od firmy Pramet.

Tab. 2 Chemické složení materiálu 1.4404 [2].

Prvek	C	Cr	Ni	Mo	N
Obsah v %	max. 0,030	16,5 – 18,5	10,0 – 13,0	2,00 – 2,50	max. 0,11
Prvek	Si	Mn	P	S	Cu
Obsah v %	max. 1,00	max. 2,00	max. 0,045	max. 0,015	max. 1,00

Ocel 1.4404 má ekvivalenty značení ve většině průmyslově vyspělých států. Základní jsou uvedeny v tab. 3. Zdrojem těchto ekvivalentů je příloha č. 2, kterou mi poskytl obchodní zástupce firmy Pramet.

Tab. 3 Převodní tabulka materiálu, porovnání se zahraničními ekvivalenty [3].

Stát/území	EURO	Německo	ISO	USA
Materiál	X2CrNiMo 17-12-2	X2CrNiMo 17-12-2	X2CrNiMo 17-12-2	316L
Norma	EN 10088	DIN 17440	ISO 9328-7	ASTM A182
Stát/území	Česká republika	Francie	Čína	Velká Británie
Materiál	17 349	Z2CND 17-12	00Cr17Ni14Mo2	316S11
Norma	ČSN 41 7349	NF A35-577	GB T1220	BS 970-1

2 POUŽITÉ TECHNOLOGIE – TEORETICKÝ POPIS

Jak již bylo krátce zmíněno, při výrobě bude použito několik obráběcích technologií. Celá součást bude vyráběna z kulatiny, která bude po soustružení provedeném na první upnutí upíchnuta na délku přímo na CNC stroji. Pro většinu obráběných ploch bude voleno soustružení a to podélné, čelní, zapichovací a upichovací. Díry budou vrtány běžnými vrtáky, ale opět na stejném obráběcím centru a následně budou při druhém upnutí zhotoveny frézováním i čtyři plochy na konci osy.

2.1 Soustružení

Soustružení je způsob obrábění, při kterém hlavní řezný pohyb vykonává obrobek upnutý ve vřetení soustruhu a ostatní pohyby (posuv a přísuv na hloubku řezu) vykonává soustružnický nůž, který je zpravidla jednobřítý. Jako hlavní řezný pohyb je označován rotační pohyb obrobku, je definován řeznou rychlostí, která se počítá ze vztahu [4]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3}, \quad (2.1)$$

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

Vedlejší pohyb je vykonávaný nástrojem a je to posuv na otáčku f , který je obvykle udaný v normativech, volí se podle požadované jakosti povrchu. Z něj se počítá posuvová rychlost [4]:

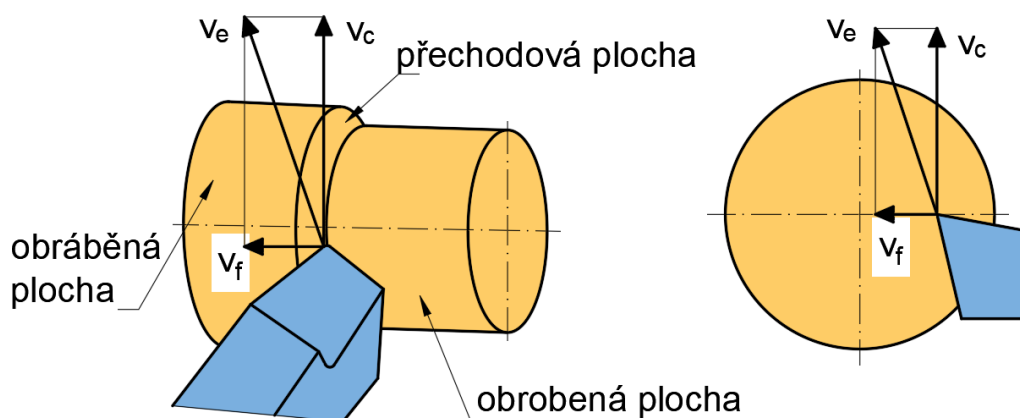
$$v_f = \frac{f \cdot n}{10^3}, \quad (2.2)$$

kde: v_f - posuvová rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],
 f - posuv na otáčku [mm],
 n - otáčky obrobku [min^{-1}].

Z těchto obráběcích rychlostí se vypočítá rychlost řezného pohybu v_e ze vztahu [4]:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2}, \quad (2.3)$$

Hodnota v_f má oproti v_c zanedbatelnou hodnotu, proto se obvykle v_e a v_c téměř rovná. Graficky je tento vztah zobrazený na obr. 3.



Obr. 3 Směry vektorů hlavního a vedlejšího pohybu při válcovém a čelním soustružení.

Při stanovení technologického postupu je důležitá i znalost vztahů pro výpočet strojních časů. Při soustružení se jednotkový strojní čas určí ze vzorce [5]:

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} \cdot i, \quad (2.4)$$

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

Pro výpočet celkového času je potřebná i hodnota přípravného času na každou operaci [5]:

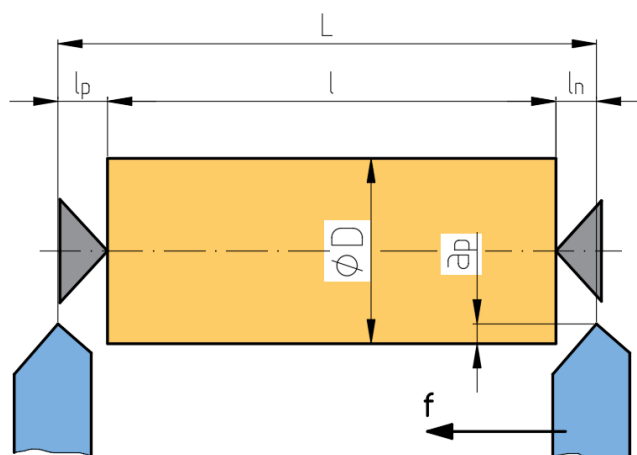
$$t_{AV} = \frac{L}{f_r}, \quad (2.5)$$

kde: t_{AV} - přípravný čas [min],
 f_r - rychloposuv [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$], ($f_r = 8000 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$)
 L - délka dráhy nástroje [mm].

Dráha nástroje je součtem všech úseků, kdy se nůž pohybuje pracovním posuvem [5]:

$$L = l_n + l + l_p, \quad (2.6)$$

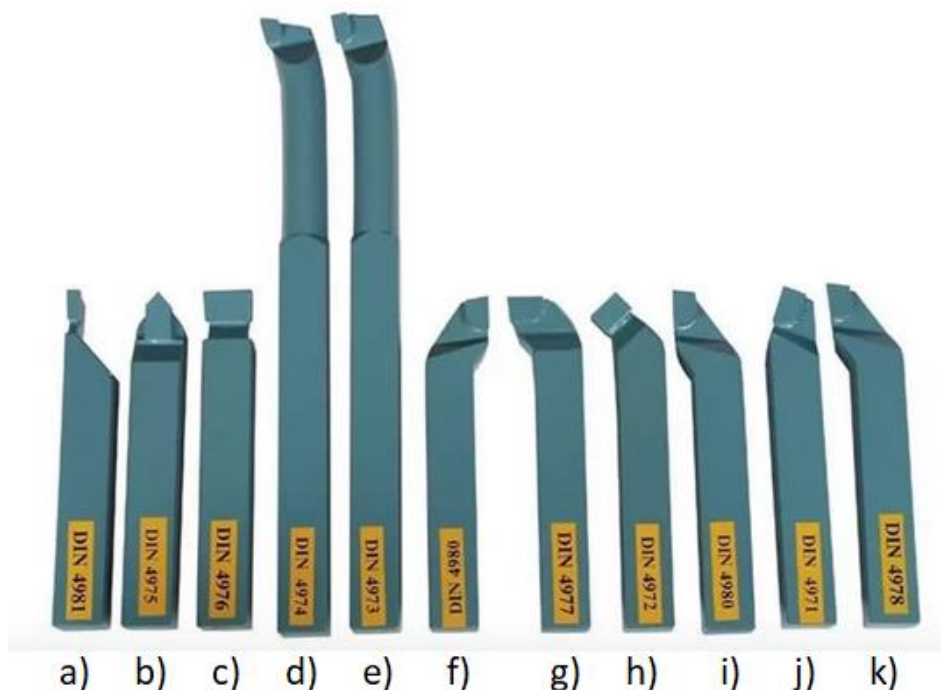
kde: l_n - délka dráhy náběhu nástroje [mm],
 l - délka obráběné plochy [mm],
 l_p - délka dráhy přeběhu nástroje [mm].



Obr. 4 Dráha nástroje při soustružení.

Soustružení rozdělujeme podle několika hledisek. Jako základní je rozdělení na soustružení vnější a vnitřní, kdy se tyto technologie liší nejen tvarem nože, ale i volbou řezných podmínek, které kvůli většímu vyložení vnitřního nože musí být při vnitřním frézování takové, aby byl průřez třísky menší než při soustružení vnějším. Vnitřní nůž má navíc válcovou část těla za břitem a je delší, aby dosáhl až na dno díry. Dále lze soustružení dělit na hrubování a na čisto, pak na soustružení válcových ploch, čelních ploch, kuželových a tvarových ploch, upichování, zapichování, vypichování a soustružení závitů.

Pro jednotlivé soustružnické operace se používají různé typy nástrojů. Soustružnické nože se dělí podle mnoha hledisek, nejdůležitější je dělení podle použití, které je uvedeno na obr. č.5.



a) nůž zapichovací pravý, b) nůž ubírací hladící, c) nabírací nůž, d) nůž vnitřní rohový, e) nůž vnitřní ubírací, f) nůž ubírací stranový levý, g) nůž čelní levý, h) nůž ubírací ohnutý pravý, i) nůž ubírací stranový pravý, j) nůž ubírací přímý pravý, k) nůž ubírací rohový pravý

Obr. 5 Rozdělení soustružnických nožů podle použití [8].

2.2 Frézování

Při frézování koná hlavní řezný pohyb nástroj – fréza, která se otáčí. Tento řezný pohyb je definován řeznou rychlostí v_c , která se počítá stejně jako u soustružení [4]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3}, \quad (2.7)$$

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

Vedlejším pohybem je posuv konaný obrobkem, posuvová rychlost v_f se počítá ze vztahu [4]:

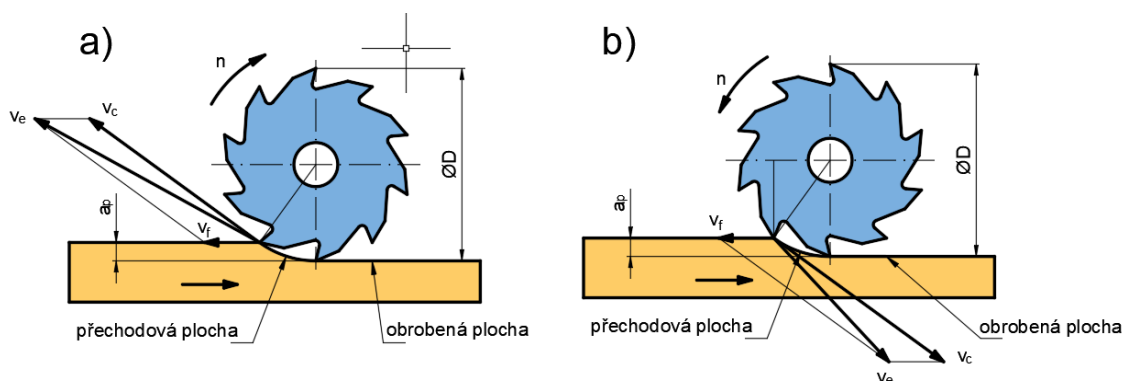
$$v_f = \frac{f_z \cdot z \cdot n}{10^3} \quad (2.8)$$

kde: v_f - posuvová rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],
 f_z - posuv na zub [mm],
 z - počet zubů frézy [-],
 n - otáčky obrobku [min^{-1}].

I hodnota výsledného pohybu v_e se počítá podle stejného vzorce jako při soustružení [4]:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad (2.9)$$

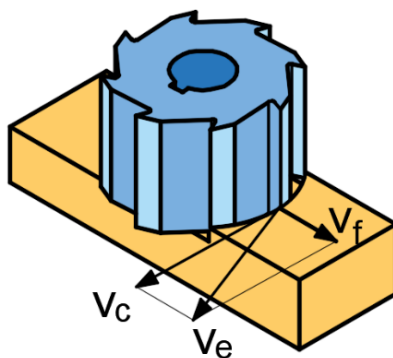
Mezi základní způsoby frézování patří obvodové frézování, které se dělí na sousledné a nesousledné. Sousledné je používanější, smysl rotace nástroje je ve směru posuvu obrobku, vzniká méně tepla, nástroj má obvykle vyšší trvanlivost a tříska vzniká z maxima do minima. Nesousledné frézování se využívá obvykle pouze u obrobků, které mají tvrdý povrch. Při tomto způsobu frézování je smysl rotace nástroje proti směru posuvu obrobku, vzniká velké tření, opotřebení nástroje je rychlejší a musí se vyvinout vyšší upínací síla na obrobek, protože jej řezná síla tlačí nahoru. Pro oba způsoby frézování se používají válcové frézy.



Obr. 6 Kinematika válcového frézování.

Na obr. 6. jsou uvedeny oba způsoby obvodového frézování, kde jsou zaznačeny základní parametry obrábění a vektory všech rychlostí. Jsou zde zobrazeny vektory řezné rychlosti v_c a posuvové rychlosti v_f , jejichž vektorový součet udává efektivní výsledný pohyb v_e [4].

Dalším častým způsobem frézování je frézování čelní (obr. 7.), ke kterému se používají čelní frézy nebo frézovací hlavy, které mají břity vytvořeny na obvodě i čele nástroje. Podle polohy nástroje vzhledem k ose obráběné plochy se rozlišuje čelní frézování na souměrné a nesouměrné.



Obr. 7 Kinematika čelního frézování.

Výpočet strojního času se u frézování liší podle toho, zda se jedná o frézování obvodové nebo čelní. Jinak se počítají délky náběhu a přeběhu frézy.

U obvodového frézování se při náběhu musí připočítat hodnota x , která závisí především na hloubce záběru a_p a průměru frézy D , tato hodnota je graficky vysvětlena na obr. 8. Hodnota x je dána vztahem [6]:

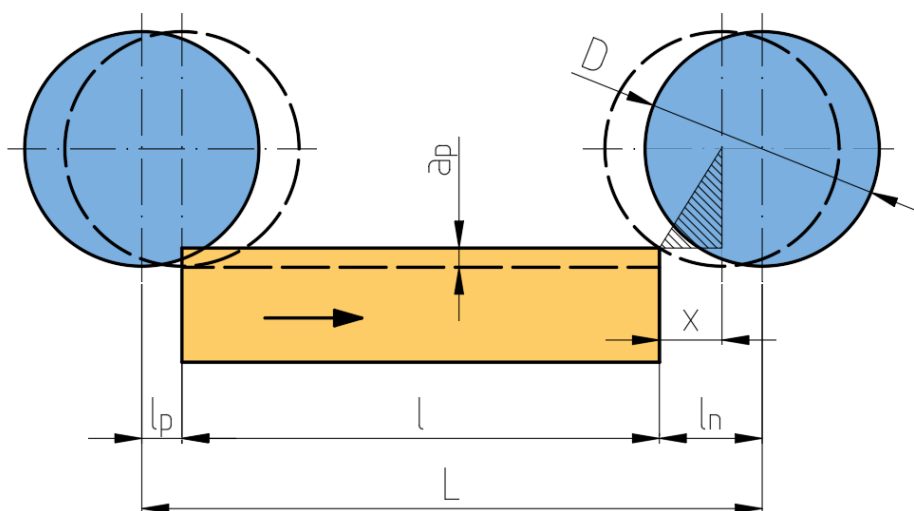
$$x = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - a_p\right)^2}, \quad (2.10)$$

Strojní čas se vypočítá z dráhy, po kterou pojede fréza strojním posuvem, která se podělí posuvovou rychlostí, tj. součinem posuvu a otáček [5].

$$t_{AS} = \frac{L}{f_z \cdot z \cdot n} = \frac{l_n + l + l_p}{f_z \cdot z \cdot n}, \quad (2.11)$$

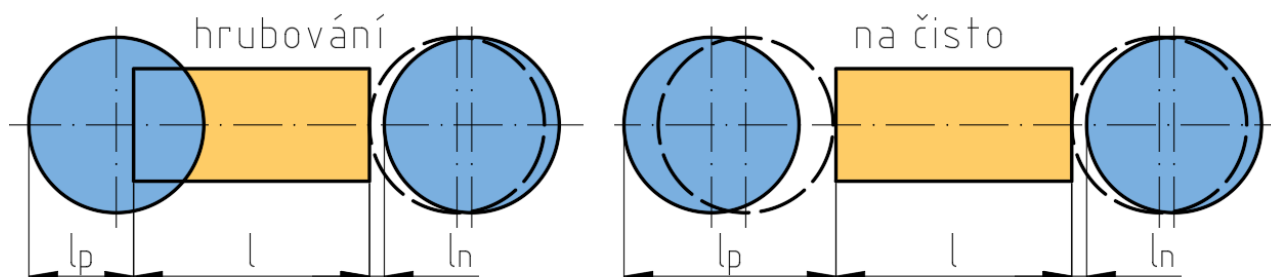
kde:

L	- dráha strojního posuvu [mm],
l_n	- délka náběhu [mm],
l_p	- délka přeběhu [mm],
l	- délka frézované plochy [mm],
f_z	- posuv na zub [mm],
z	- počet zubů frézy [-],
n	- otáčky frézy [min^{-1}].



Obr. 8 Délky strojního obrábění při obvodovém frézování.

U čelního frézování se liší dráhy strojního posuvu podle toho, zda se jedná o hrubování nebo práci na čisto, rozdílné přeběhy jsou na obr. 9. Při hrubování stačí, když nástroj na konci obrábění přejede osou přes konec součásti, při práci na čisto musí kvůli kvalitnímu rovinnému povrchu nástroj přejet přes celou obráběnou plochu. Strojní čas se počítá totožně jako u obvodového frézování.



Obr. 9 Délky strojního obrábění při čelním frézování.

2.3 Vrtání

Vrtání je technologická operace, kterou lze provádět na velké škále obráběcích strojů, nejenom na vrtačkách, ale i na soustruzích, vyvrtávačkách a obráběcích centrech. Hlavní řezný pohyb je rotační a převážně jej koná nástroj – vrták, rovněž vedlejší posuvný pohyb do řezu vykonává nástroj. Vektory řezné a posuvové rychlosti jsou uvedeny na obr. 10. a 11.

Pro vrtání většiny děr jsou vhodné šroubovitě vrtáky, které mohou být opatřeny řeznou částí ze slinutého karbidu. V případě, že jsou díry větších průměrů lze k výkonnému vrtání využít BTA vrtání a při vrtání hlubokých děr malého průměru vrtáky dělové. (BTA vrtání je metoda, při které je řezná část umístěna na trubkové stopce, řezná kapalina se přivádí až k čelu nástroje a trisky jsou odplavovány středem nástroje. Někdy se tento způsob nazývá vrtání na jádro.)

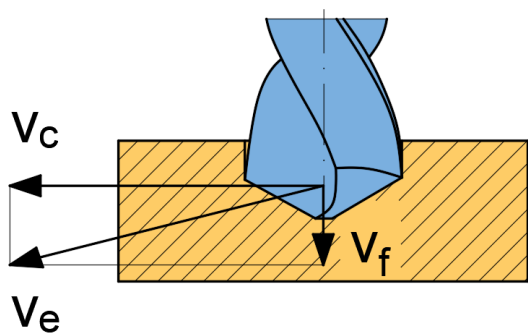
Řezná rychlost v_c je při vrtání závislá na průměru vrtáku D a jeho otáčkách n , počítá se ze vztahu [5]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3}, \quad (2.12)$$

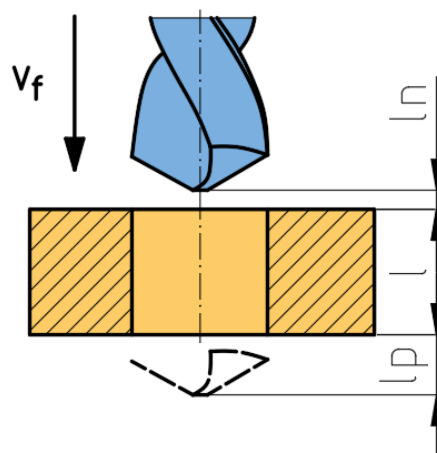
kde: v_c - řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],
 D - průměr vrtáku [mm],
 n - otáčky vrtáku [min^{-1}].

Posuvová rychlost je závislá na posuvu na otáčku f a otáčkách vrtáku n [5]:

$$v_f = \frac{f \cdot n}{10^3}, \quad (2.13)$$



Obr. 10 Kinematika vrtání.



Obr. 11 Délky strojního posuvu při vrtání.

Při vrtání přesně umístěných děr je vhodné použít navrtávací nástroje, pokud jsou díry umístěny na válcových částech, tak se často používají i vrtací přípravky, které vedou nástroj na správné místo na obrobku. Pokud se vrtají díry průměru většího než 26 mm, měla by se taková díra předvrtávat vrtákem průměru 10 mm. Pro vrtání děr do nerez oceli bude velmi vhodné použít vrták s povlakovanými vyměnitelnými břitovými destičkami.

Při výpočtu strojního času se u průchozích děr musí počítat v přeběhu s vyjetím celé špičky vrtáku. Strojní čas se počítá z naprosto stejného vzorce jako strojní čas pro soustružení.

3 OBROBITELNOST

Obrobitelností se označuje souhrnný vliv fyzikálních vlastností a chemického složení materiálů na průběh a výsledky procesu řezání a lze ji definovat jako míru schopnosti daného materiálu být zpracován některou z metod obrábění. Obrobitelnost lze obecně posuzovat z hlediska silových poměrů při obrábění, energetické bilance řezného procesu, na intenzitu otěru břitů nástroje, rovněž z hlediska tvorby třísky a tvorby nových obrobených ploch [4].

Obrobitelnost závisí na velkém množství faktorů, mezi ty nejdůležitější patří [4]:

- chemické složení, fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu,
- způsob výroby obráběného materiálu,
- tepelné zpracování obráběného materiálu,
- metoda obrábění,
- řezné podmínky a řezné prostředí,
- geometrie nástroje,
- nástrojový materiál a jeho vhodnost pro obráběný materiál.

Pro potřeby určení obrobitelnosti jsou technické materiály rozděleny do devíti základních skupin, které se značí malými písmeny a v jednotlivých skupinách je vždy vybrán jeden z materiálů jako etalonový a ve vztahu k tomuto etalonu se poté stanovují obrobitelnosti všech ostatních materiálů ve skupině. Třídy obrobitelnosti etalonového materiálu jsou pro základní druhy materiálu uvedeny v tab. 4. Pro oceli je etalonovým materiálem ocel 12 050.1. V každé skupině se dále materiály dělí do tříd obrobitelnosti na základě indexu kinetické obrobitelnosti dané vztahem [4]:

$$i_o = \frac{v_{c15}}{v_{c15et}}, \quad (3.1)$$

kde: v_{c15} řezná rychlost při trvanlivosti 15 minut pro sledovaný materiál [m.min^{-1}],
 v_{c15et} řezná rychlost při trvanlivosti 15 minut pro etalonový materiál [m.min^{-1}].

Tab. 4 Materiály a třídy obrobitelnosti [5].

Druh materiálu	Skupina	Třída obrobitelnosti etalonového materiálu	Etalonový materiál
Litiny	a	10a	42 2420
Oceli	b	14b	41 2051.1
Těžké neželezné kovy	c	11c	42 3213.21
Lehké neželezné kovy	d	10d	42 4380.11

Třídy obrobitelnosti jsou rozlišeny čísly, kdy vyšší číslo znamená lepší obrobitelnost materiálu a vyšší řezné rychlosti. Mezi třídami oceli se řezná rychlost přepočítává koeficientem obrobitelnosti k_v , jeho hodnoty jsou pro různé třídy obrobitelnosti uvedeny v tab. 5. Vztah pro koeficient obrobitelnosti je [5]:

$$k_v = \sqrt[10]{10} = 1,26 \quad (3.2)$$

Tab. 5 Koeficienty pro přepočet řezné rychlosti [7].

Obrobitelnost	8b	9b	10b	11b	12b	13b	14b	15b	16b
K_v	$1,26^{-7}$	$1,26^{-5}$	$1,26^{-4}$	$1,26^{-3}$	$1,26^{-2}$	$1,26^{-1}$	$1,26^0$	$1,26^1$	$1,26^2$

Obrobitelnost nerez ocelí je závislá na celé řadě vlastností, které jsou pro tyto oceli specifické. Jedná se především o jejich vyšší tažnost (a přilnavost) než u běžných ocelí. To znamená, že řezný materiál musí být houževnatější a povlakovaný vrstvou s nižší tendencí k adhezi. Řezná rychlost by měla být vyšší než při obrábění konstrukčních ocelí. U nerez ocelí často vzniká nárůstek, proto může docházet k vylamování řezné hrany, vrubovému opotřebení a odlupování povlaku. Z těchto důvodů je vhodné často měnit hloubku obrábění. Nerezové oceli mají navíc nízkou tepelnou vodivost, třísky odvádějí málo tepla a mnohem více dochází k zahřívání břitu nástroje. Musí se volit nástroje s vysokou tvrdostí i za vysokých teplot. Nástroje obrábějící nerez ocel jsou často opotřebený plastickou deformací. Nerezové oceli jsou i více abrazivní, proto se na nástrojích musí používat povlaky odolné proti otěru. Při opotřebení abrazí dochází k rychlému vzniku výmolů na čele nástroje. Při obrábění nerez ocelí se doporučuje volit vyšší hloubky řezu i větší hodnoty posuvu [9].

4 VOLBA A VÝPOČET POLOTOVARU

Součást osa trojcestného ventilu je obvykle vyráběna v jednotkách kusů, proto se polotovar nakupuje vždy pouze pro jednotlivé počty požadované zákazníkem v celých metrech.

4.1 Volba a rozměry polotovaru

Pro výrobu 6 ks součástí osa byla jako polotovar zvolena tyč kruhová o průměru 55 mm, objednaná délka bude 1000 mm z válcované korozivzdorné oceli 1.4404. Délka polotovaru bude určena z celkové délky součásti a přídávku na obrobení čel, který při rovnoměrném rozložení činí 1,5 mm na každé čelo. Celková délka polotovaru proto bude 145 mm.

Hmotnost 1 m polotovaru průměru 55 mm je 18,65 kg. Polotovar se dodává buď v délce 6 m, nebo v případě menšího množství je z ceně přidán příplatek na dělení 120 Kč. K dělení tyče na jednotlivé kusy bude použito pásové pily, která je k dispozici na dílně.

4.2 Výpočet spotřeby materiálu

POUŽITÉ VZORCE

$$N_m = Q_s + Z_m, \quad (4.1)$$

kde: N_m - norma spotřeby materiálu [kg]
 Q_s - hmotnost hotové součásti [kg]
 Z_m - celkové ztráty materiálu [kg]

$$Z_m = q_u + q_o + q_k, \quad (4.2)$$

kde: q_u - ztráta materiálu vzniklá dělením, připadající na jeden díl [kg]
 q_o - ztráta vzniklá obráběním součásti [kg]
 q_k - ztráta materiálu z nevyužitelného konce tyče, připadající na jednici [kg]

$$Q_k = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l_k \cdot \rho \cdot 10^{-6}, \quad (4.3)$$

kde: Q_k - ztráta materiálu z nevyužitelného konce tyče [kg]
 D - průměr polotovaru [mm]
 l_k - délka nevyužitelného konce tyče [mm]
 ρ - hustota materiálu [kg.mm⁻³]

$$l_k = L - n_{pl} \cdot (l + s), \quad (4.4)$$

kde: l_k - délka nevyužitelného konce tyče [mm]
 L - celková délka tyče [mm]
 n_{pl} - počet přířezů z tyče, zaokrouhlené k nejbližšímu číslu dolů [ks]
 l - délka polotovaru [mm]
 s - délka průřezu materiálu [mm]

$$n_p = \frac{L}{l+s}, \quad (4.5)$$

kde: n_p - počet přířezů z jedné tyče [ks]
 L - celková délka tyče [mm]
 l - délka polotovaru [mm]
 s - délka průřezu materiálu [mm]

$$q_u = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot s \cdot \rho \cdot 10^{-6}, \quad (4.6)$$

kde: q_u - ztráta materiálu vzniklá dělením, pro jeden kus [kg]
 s - délka průřezu materiálu [mm]
 D - průměr polotovaru [mm]
 ρ - hustota materiálu [kg.mm⁻³]

$$q_o = Q_p - Q_s, \quad (4.7)$$

kde: q_o - ztráta vzniklá obráběním součásti [kg]
 Q_s - hmotnost obrobené součástky [kg]
 Q_p - hmotnost polotovaru [kg]

$$Q_p = V_p \cdot \rho \cdot 10^{-6}, \quad (4.8)$$

kde: V_p - objem polotovaru [mm³]

$$V_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l \quad (4.9)$$

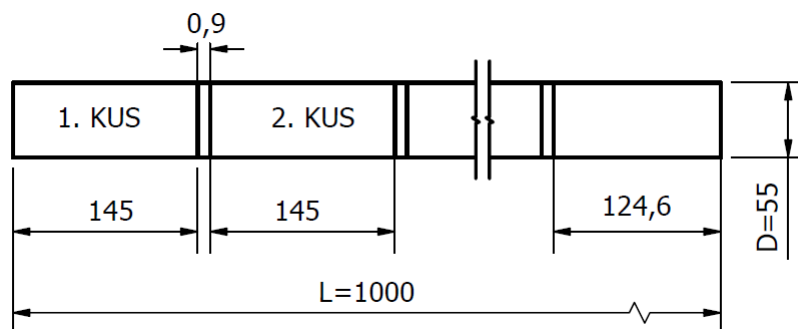
kde: l - délka polotovaru [mm]

$$k_m = \frac{Q_s}{N_m}, \quad (4.10)$$

kde: k_m - stupeň využití materiálu [–]

Hmotnost hotové součásti:

Pomocí programu Inventor Professional byla u součásti zjištěná hmotnost 1,024 kg.



Obr. 12 Využití polotovaru délky 1 m.

VÝPOČTY

Objem polotovaru:

$$V_p = \frac{\pi \cdot 55^2}{4} \cdot 145 = 344\,495 \text{ mm}^3 \quad (\text{podle 4.9})$$

Hmotnost polotovaru:

$$Q_p = 344\,495 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 2,704 \text{ kg} \quad (\text{podle 4.8})$$

Ztráta materiálu vzniklá obráběním:

$$q_o = 2,704 - 1,024 = 1,68 \text{ kg} \quad (\text{podle 4.7})$$

Ztráta vznikající dělením, připadající na jednici:

$$q_u = \frac{\pi \cdot 55^2}{4} \cdot 0,9 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 0,0168 \text{ kg} \quad (\text{podle 4.6})$$

Počet přířezů z tyče délky 1 metru:

$$n_p = \frac{1000}{145+0,9} = 6,85 \cong 6 \text{ ks} \quad (\text{podle 4.5})$$

Délka nevyužitého konce tyče:

$$l_k = 1000 - 6 \cdot (145 + 0,9) = 124,6 \text{ mm} \quad (\text{podle 4.4})$$

Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče:

$$Q_k = \frac{\pi \cdot 55^2}{4} \cdot 124,6 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 2,32 \text{ kg} \quad (\text{podle 4.3})$$

Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče připadající na 1 kus:

$$q_k = 2,32/6 = 0,387 \text{ kg}$$

Celkové ztráty materiálu připadající na 1 vyrobený kus:

$$Z_m = 0,0168 + 1,68 + 0,387 = 2,0838 \text{ kg} \quad (\text{podle 4.2})$$

Norma spotřeby materiálu:

$$N_m = 1,024 + 2,0838 = 3,1078 \text{ kg} \quad (\text{podle 4.1})$$

Stupeň využití materiálu:

$$k_m = \frac{1,024}{3,1078} = 0,33 \quad (\text{podle 4.10})$$

5 VOLBA STROJNÍHO VYBAVENÍ A NÁSTROJŮ

Pro výrobu součásti osa, která bude zhotovená z korozi-vzdorné oceli, se jako nejlepší nástrojový materiál jeví vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu, které budou opatřené vrstvou povlaku bránícího adhezi a vzniku nárůstku. Protože bude používáno několik technologií obrábění od soustružení, přes vrtání a v menší míře i frézování, budou vybrány stroje a nástroje pro všechny tyto operace. Jedná se o součást, která bude vyráběna po kusech, případně ve velmi malých sériích, ale i tak budou k výrobě použity CNC obráběcí stroje.

5.1 Volba strojů

Bylo již několikrát uvedeno, že se součást osa vyrábí v menším množství kusů, proto se pro její výrobu používají stroje dostupné na dílně. Vzhledem k jednoduchému programování se budou používat CNC obráběcí stroje pro všechny prováděné operace. Nejtěžší bylo navrhnout výrobu děr tak, aby po zhotovení odpovídaly požadovaným rozměrům a tolerancím.

5.1.1 Stroj pro dělení polotovaru

Jako první se bude materiál dělit na jednotlivé polotovary. K tomu se použije pilový pás PILOUS ARG 110, který je vhodný i pro nerez ocel. Poté bude následovat soustružení základních rozměrů.

Pro dělení materiálu bude použita univerzální pásová pila Pilous ARG 200. Rameno pilového pásu se zvedá ručně, posuv do řezu je prováděn vlastní vahou ramene s možností jemné plynulé regulace škrťicím ventilem olejového tlumiče [10]. Stroj je znázorněn na obr. 13.



Obr. 13 Pásová pila Pilous ARG 200 [10].

5.1.2 Stroj pro soustružnické práce

Převážná většina ploch na součásti bude zhotovena soustružením. K výrobě bude použit univerzální soustruh DMG Mori Seiki CTX 310 ecoline viz. obr. 14., který je vybavený dynamickým pohonem vřetene, má revolverovou hlavu s celkem 12 nástrojovými místy, z nichž 6 nástrojů může být poháněných. Jednotlivé pozice, z nichž některé jsou osazeny nástroji, jsou zobrazeny na obr. 15. Soustruh zvládne výměnu nástroje za 0,4 s. Maximální průměr, který lze na tomto stroji obrábět je 200 mm [13].

Tento stroj je schopný zhotovit při použití vhodných nástrojů požadovanou drsnost povrchu Ra 0,8 i všechny tolerované rozměry. Na stroji bude proto zhotovený celý rotační tvar včetně sražení a zápichů. Tyto úkony se budou provádět na dvě upnutí. Soustruh je opatřený řízením HEIDENHAIN, ovládací panel je na obr. 16.



Obr. 14 Soustruh DMG Mori Seiki CTX 310 ecoline.



Obr. 15 Revolverová hlava stroje CTX 310.



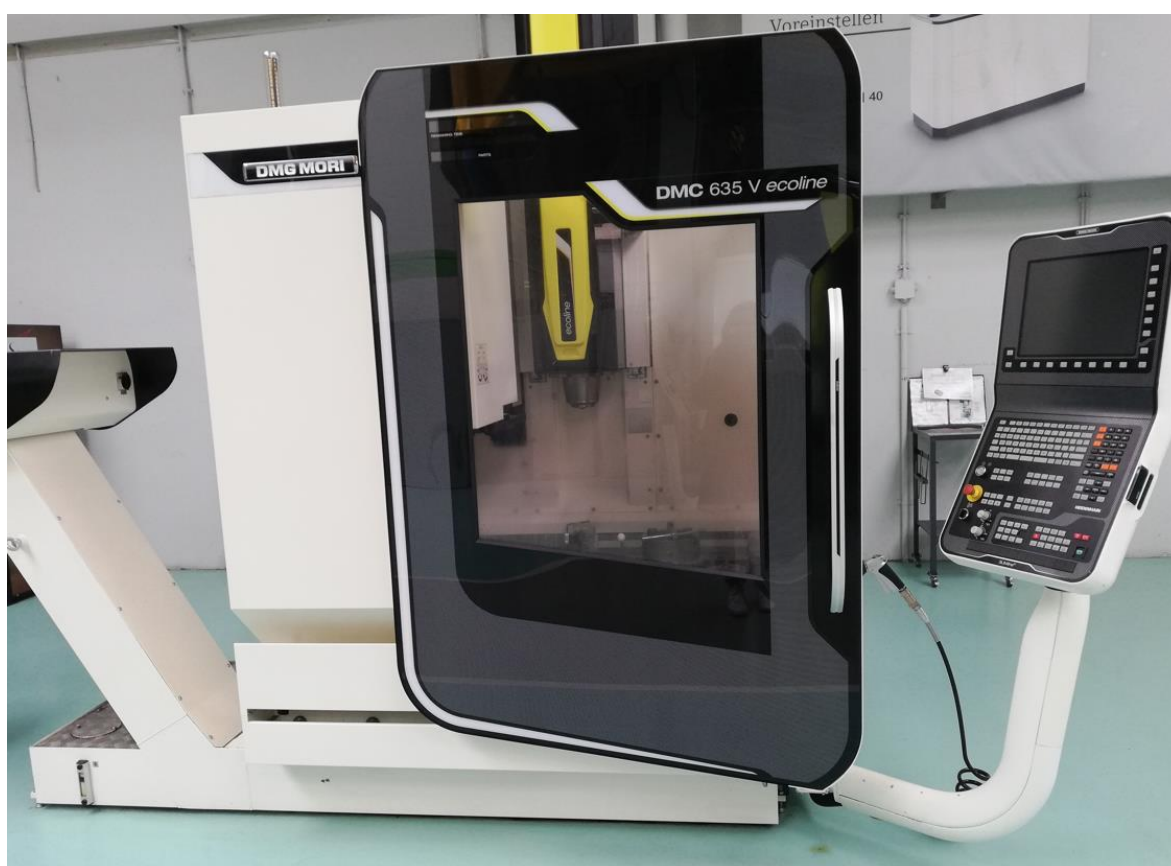
Obr. 16 Ovládací panel stroje CTX 310.

5.1.3 Stroj pro vrtací a frézovací operace

Vyrábět se budou dva velmi rozdílné průměry děr. Dvě větší díry jsou kolmé na osu rotace součásti, mají průměr 22 mm s tolerancí H8, jedna z nich je průchozí a bude zhotovena přes celý průměr 49 h7, druhá díra tohoto průměru bude neprůchozí a povede pouze do středu součásti, proto se musí při samotné výrobě dát velký pozor na stanovení přesné hloubky díry. Další vrtané otvory mají naopak velmi malý průměr 2 mm i hloubku, která je bez špičky po vrtáku pouhý 1 mm. Tyto menší díry jsou vrtány rovnoběžně s osou rotace a jsou umístěny na čelní ploše součásti.

Frézovat se budou čtyři malé plochy, které jsou vůči sobě pravoúhlé. Jedná se o čtyřhran rozměru 14 mm v délce 24 mm, kterým je opatřený konec součásti. Důležité je, aby tyto plochy byly ve správné poloze ke všem vrtaným dírám, tento fakt se musí zohlednit při upínání.

Pro obrábění všech vrtacích a frézovacích prací na součásti bude vhodné použít svislé frézovací centrum DMC 635 V ecoline, které je znázorněno na obr. 17. Tento stroj umožňuje rychloposuv až $30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a otáčky vřetena až $12\,000 \text{ min}^{-1}$. Nástrojový zásobník pojme již v základním vybavení 20 nástrojů, nosnost stroje je až 600 kg a díky vysoké rychlosti dokáže obrábět povrchy s optimálními výsledky. Stroj je velmi vhodný pro vrtací operace a to jak malými nástroji, tak i pro větší průměry děr. I tento stroj je vybaven řízením HEIDENHAIN TNC 620.



Obr. 17 Frézovací centrum DMC 635 V ecoline.

Protože se musí při vrtání a frézování zajistit vzájemná poloha vrtaných děr a frézovaných ploch, bude celé toto obrábění provedeno na jedno upnutí v přesné dělicí hlavě pro přímé dělení za průměr 49h7.

5.2 Volba nástrojů a měřidel

Při volbě správného nástroje a vyměnitelné břitové destičky je jednou z nejdůležitějších věcí správně identifikovat obráběný materiál a jeho obrobiteľnost. Tomu musí odpovídat správné značení vyměnitelné břitové destičky. Aby byla tato část práce pro obráběče jednodušší, rozdělují se rezné materiály podle normy ISO 513 do šesti základních skupin P, M, K, N, S, H, v nichž jsou sjednoceny materiály, které vyvolávají kvalitativně stejný typ namáhání břitu, a tudíž vyvolávají i podobný typ opotřebení. Toto rozdělení je uvedeno v Příloze 7, barevné značení je vždy uvedeno i na obalu VBD, ukázka značení je patrná i z obr.18.



Obr. 18 Vyměnitelné břitové destičky použité při výrobě součástí.

Obráběným materiálem bude korozivzdorná ocel třídy 1.4404, která má pro soustružení i frézování třídu obrobiteľnosti 9b. Vhodné nástroje pro obrábění těžce obrobiteľných korozivzdorných ocelí poskytuje firma KORLOY, která vyrábí široké spektrum vyměnitelných břitových destiček, nástrojové držáky budou použity převážně od firmy Sandvik Coromant.

Pro hrubovací operace jsou zvoleny vyměnitelné břitové destičky s označením CNMG120408-HS KORLOY, které jsou přímo určeny na obrábění nerez ocelí. Poloměr zaoblení špičky mají 0,8 mm a umožňují celkem 4 použití. K upínání bude použit držák břitových destiček firmy Sandvik Coromant s označením QS-SCLCL 2020 09C.

Pro dokončovací operace se budou používat vyměnitelné břitové destičky DCMT11T304-HMP KORLOY, které mají poloměr zaoblení špičky 0,4 mm a umožňují díky své geometrii obrábět i složité tvary, držák destičky má označení QS-SDJCL 12 3C.

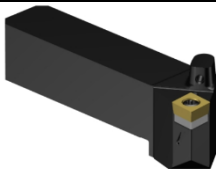
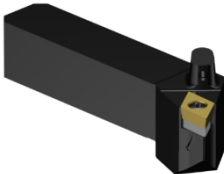
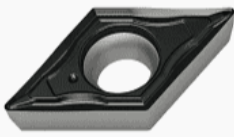
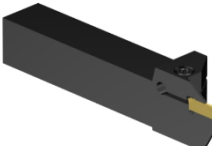
Pro zapichování zápichů šířky 2 i 5 mm budou použity stejné břitové destičky šířky 2 mm s označením GDM2020N-020PH. I pro upínání těchto destiček budou použity upínače Sandvik Coromant LF123D059-12B.

Pro vrtání děr budou zvoleny nástroje z rychlořezné oceli. Díry průměru 2 mm, které jsou v čelní ploše osy, budou vyráběny vrtákem s válcovou stopkou krátkým od firmy ZPS-FN, vhodným pro vrtání nerez ocelí. Díra průměru 22H8 bude vyráběna planetovým frézováním HSS frézou válcovou čelní dlouhou o průměru 16 mm. Délka rezné části frézy je 63 mm, což je pro výrobu děr dostačující. Mezi jednotlivými záběry se fréza zavrtá vždy o 1 mm.

Frézování čtyřhranu o rozměru 14 mm bude provedeno válcovou čelní frézou krátkou průměru 20 mm.

Všechny použité obráběcí nástroje jsou uvedeny v tab. 6, kde je vždy definován nástrojový držák a vyměnitelná břitová destička. U všech nástrojů je nejen výrobce, ale i jejich označení.

Tab. 6 Seznam nástrojů pro výrobu součásti OSA.

Operace	Označení nástroje	Výrobce	Vyobrazení	Cena (Kč/ks)	Číslo nástroje
vnější soustružení hrubovací držák	ISO QS-SCLCL 2020 09C	Sandvik Coromant		6.095	1
vnější soustružení hrubovací VBD	ISO CNMG120408-HS	KORLOY		120	2
vnější soustružení dokončovací držák	ISO QS-SDJCL 12 3C	Sandvik Coromant		6.095	3
vnější soustružení dokončovací VBD	ISO DCMT11T304-HMP	KORLOY		162	4
vnitřní zápich držák	ISO LF123D059-12B	Sandvik Coromant		3.410	5
vnitřní zápich VBD	ISO MB-11R300-15-18R 1025	KORLOY		225	6
výroba díry ø22 mm	W-111418	ZPS-FN		749	7
frézování čtyřhranu	W-110418	ZPS-FN		849	8
vrtání děr ø2 mm	ISO VN30045.0200	ZPS- FN		54	9

6 NÁVRH VÝROBY A OBRÁBĚNÍ SOUČÁSTI

6.1 Technologický postup

V technologickém postupu jsou uvedeny všechny operace, které jsou potřebné pro zhotovení součásti s názvem příruba. Kompletní technologický postup, rozčleněný na jednotlivé operace, obsahuje tab. 7. Postup obsahuje i průběžné kontroly a konzervaci. Strojní časy a řezné podmínky budou zpracovány v návodkách.

Tab. 7 Technologický postup pro součást OSA.

VUT FSI ÚST BRNO		TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Název součásti: OSA	Číslo výkresu: 3Kstg/41
Dne: 19.4.2022		Vyhotoval: Adam Janíček		Materiál: 1.4404	
		Kontroloval:		Polotovár: ø55-145 ČSN EN 10060	
Číslo operace	Název stroje	Dílna	Popis práce v operaci	Nástroje, měřidla, pomůcky	
00/00	pásová pila PILOUS AGR 235	Obrobna	DĚLIT MATERIÁL NA DÉLKU 145±0,5	Pilový pás 2490x20x0,9	
01/01		Kontrola	KONTROLA DÉLKY POLOTOVARU 131	Posuvné měřítko Mitutoyo	
02/02	Soustruh DMG Mori Seiki CTX 310 ecoline	Obrobna	UPNOUT OBROBEK DO SKLÍČIDLA ZAROVNAT ČELO SOUSTRUŽIT ø49h7 DO DÉLKY 82 SOUSTRUŽIT ø22 DO DÉLKY 13 SOUSTRUŽIT ø17h8 DO DÉLKY 12 SOUSTRUŽIT ZÁPICH ŠÍŘKY 2 Z PRŮMĚRU 17 NA PRŮMĚR 16 SRAZIT HRANU 2x30° NA ø49	vnější nůž QS-SCLCL 2020 09C VBD CNMG120408 vnější nůž QS-SDJCL 12 3C VBD DCMT11T304- HMP	
03/03	Soustruh DMG Mori Seiki CTX 310 ecoline	Obrobna	PŘEPNOUT SOUČÁST ZAROVNAT ČELO NA DÉLKU 142 SOUSTRUŽIT ø22 DO DÉLKY 52 SOUSTRUŽIT ø17f7 DO DÉLKY 51 SOUSTRUŽIT ZÁPICH ŠÍŘKY 2 Z PRŮMĚRU 17 NA PRŮMĚR 16 SOUSTRUŽIT ZÁPICH ŠÍŘKY 5 Z PRŮMĚRU 49h7 NA PRŮMĚR 41h8 SRAZIT HRANU 2x30° NA ø49	vnější nůž QS-SCLCL 2020 09C VBD CNMG120408 vnější nůž QS-SDJCL 12 3C VBD DCMT11T304- HMP nůž na zápichy 570-32L123D12B VBD GDM2020N-020PH	
04/04	KONTROLA		KONTROLA ROZMĚRŮ: DÉLKY: 82, 13, 12, 61, 51 PRŮMĚRY: ø22, ø17f8, ø16, ø41h8 ZKOSENÍ HRAN 2x30°	posuvné měřítko, třmenové mikrometry 0-25 a 25-50	
05/05	DMG Mori Seiki DMC 635 V ecoline	Obrobna	UPNOUT SOUČÁST DO DĚLICÍHO PŘÍSTROJE ZA ø49 DO DÉLKY 20 FRÉZOVAT PRŮCHOZÍ DÍRU ø22 POOTOČIT SOUČÁST O 90° FRÉZOVAT DÍRU ø22 PO OSU ROTACE DO HLOUBKY 24,5	HSS fréza ø16	
06/06	DMG Mori Seiki DMC 635 V ecoline	Obrobna	FRÉZOVAT ČTYŘHRAN NA ROZMĚR 14 VRTAT 3x DÍRU ø2 DO HLOUBKY 1	HSS fréza ø20 vrták HSS ø2	

07/07	KONTROLA		KONTROLA ROZMĚRŮ: DÉLKY: 24,5, 24, 14, 1 PRŮMĚRY: $\phi 2$, $\phi 22H8$ PARAMETRY POVRCHU Ra0,8 Ra 1,6 KONTROLA SOUOSOSTI 0,03	posuvné měřítko třmenové mikrometry drsnoměr souřadnicový měřicí stroj
08/08	PRAČKA	Obrobna	ODMASTIT VÝROBEK	pračka dílů OCEAN RD/AF
09/09		Balírna	ZAKONZERVovat A PŘIPRAVIT K ZABALENÍ ZABALIT VÝROBEK A ULOŽIT NA PALETU	CHEMOTEX KOVOVÁ PALETA
Číslo operace	Název stroje	Dílna	Popis práce v operaci	Nástroje, měřidla, pomůcky

6.2 Výrobní návodky

Jednotlivé strojní časy budou počítány z doporučených řezných podmínek stanovených výrobcem nástrojů nebo ze strojnických tabulek. Pro výpočet strojního času se bude vycházet z uvedených vzorců, kde se délka dráhy nástroje, kterou koná pracovním posuvem, podělí otáčkami a posuvem nástroje, které nám určují posuv nástroje za minutu. Vzorce na výpočet strojního času se liší pro soustružení a pro frézování a vrtání a jsou všechny vysvětleny v kapitole 2. Strojní čas pro úběr více vrstev materiálu [5]:

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} \cdot i, \quad (6.1)$$

kde:

- t_{AS} - strojní čas [min],
- L - délka dráhy nástroje [mm],
- n - otáčky součástky [min^{-1}],
- f - posuv nástroje [mm],
- i - počet záběrů [mm].

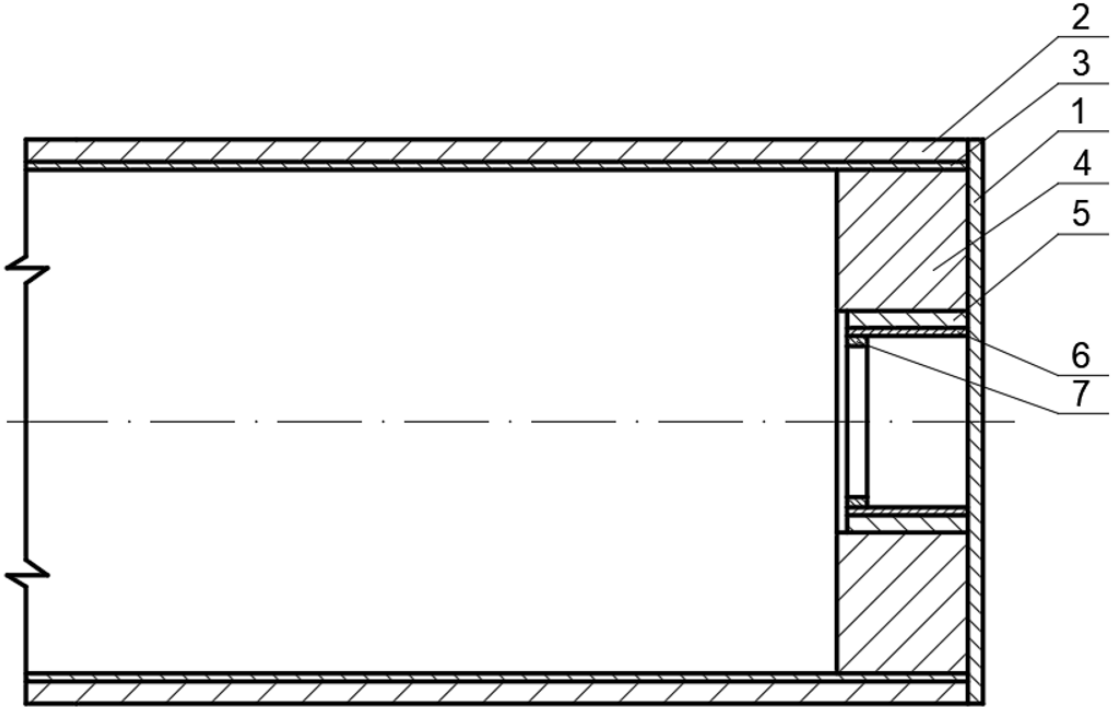
Při úběru pouze jedné vrstvy materiálu (jedné třísky) se vzorec upraví a jeho tvar bude [5]:

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f}, \quad (6.2)$$

Výrobní návodka je vyhotovena pro každé upnutí a každý stroj zvlášť. Graficky jsou znázorněny pouze větší úseky, např. sražení hran by nešlo vůbec vidět, proto není uvedeno graficky, ale pouze zápisem. Tab. 8 a tab. 9 obsahují návodky pro operace prováděné na soustruhu, v tab. 10 a tab. 11 jsou zpracovány návodky pro frézovací centrum, na kterém bude prováděno i kompletní vrtání děr.

Řezné podmínky jsou voleny s ohledem na požadovanou drsnost povrchu a taky s ohledem na horší obrobitelnost korozivzdorné oceli, která byla zjištěna v lexikonu technických materiálů jako 9b. U většiny výpočtů řezných podmínek budou brány hodnoty v_c , a_p a f přímo z katalogu výrobce použité břitové destičky. Tyto hodnoty jsou uvedeny i v přílohách v závěru bakalářské práce. U operací, kde budou řezné podmínky určeny ze strojnických tabulek, budou řezné rychlosti nalezené v tabulkách násobeny příslušným koeficientem obrobitelnosti. Hodnota koeficientu podle tabulky 5 je $k_v=1,26^{-5}$, proto budou řezné rychlosti pomalé a strojní časy dlouhé.

Tab. 8 Výrobní návodka pro první upnutí na soustruhu.

										
VÝROBNÍ NÁVODKA 1										
VUT-FSI UST			Součást: OSA			Stroj: DMG Mori Seiki CTX 310 ecoline			Číslo operace 02/02	
Číslo oper.	Úsek	i		n	f	a _p	l	t _{as}	t _{av}	Výrobní nástroj
			[m/min]	[min ⁻¹]	[mm]	[mm]	[mm]	[min]	[min]	
1	NA ČISTO	1	120	694	0,1	1,5	27,5	0,46	0,04	3
2	HRUBOVÁNÍ	1	80	463	0,3	2	90	0,68	0,02	1
3	NA ČISTO	1	170	1 061	0,12	1	90	0,74	0,024	3
4	HRUBOVÁNÍ	4	60	389	0,25	3	13	0,7	0,02	1
5	NA ČISTO	1	155	1 973	0,12	1,5	13	0,13	0,04	3
6	NA ČISTO	1	165	2 387	0,08	2,5	12	0,08	0,02	3
7	ZAPICHOVÁNÍ	1	95	784	0,05	2	1	0,1	0,05	5
8	SRAŽENÍ HRANY 2X30°	1	130	361	0,08	2	2	0,02	0,05	3
9	SRAŽENÍ HRANY 1X45°	1	130	729	0,08	1	1	0,02	0,02	3

6.2.1 Hlavní výpočty pro návodku s číslem operace 02/02

Operace 1. Soustružení čelní plochy

Zadáno:

$$a_p = 1,5 \text{ mm}$$

$$i = 1$$

$$Ra_{3,2}$$

Hodnoty z katalogu výrobce:

$$v = 120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$f = 0,1 \text{ mm}$$

Výpočty:

$$\text{otáčky obrobku} \quad n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 120}{\pi \cdot 55} = 694 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{strojní čas} \quad t_{s1} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{2 + 27,5 + 2}{694 \cdot 0,1} = 0,46 \text{ min}$$

Operace 2. Hrubování válcové plochy z $\varnothing 55$ na $\varnothing 51$ v délce 90

Zadáno:

$$a_p = 2 \text{ mm}$$

$$i = 1$$

$$Ra_{12,5}$$

Hodnoty z katalogu výrobce:

$$v = 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$f = 0,3 \text{ mm}$$

Výpočty:

$$\text{otáčky obrobku} \quad n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 80}{\pi \cdot 55} = 463 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{strojní čas} \quad t_{s2} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{2 + 90 + 2}{463 \cdot 0,3} = 0,68 \text{ min}$$

Operace 3. Dokončení válcové plochy z $\varnothing 51$ na $\varnothing 49$ v délce 90

Zadáno:

$$a_p = 1 \text{ mm}$$

$$i = 1$$

$$Ra_{1,6}$$

Hodnoty z katalogu výrobce:

$$v = 170 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$f = 0,12 \text{ mm}$$

Výpočty:

$$\text{otáčky obrobku} \quad n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 170}{\pi \cdot 51} = 1\,061 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{strojní čas} \quad t_{s3} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{2 + 90 + 2}{1\,061 \cdot 0,12} = 0,74 \text{ min}$$

Operace 4. Hrubování válcové plochy z $\varnothing 49$ na $\varnothing 25$ v délce 13

Zadáno:

$a_p = 3 \text{ mm}$

$i = 4$

$Ra_{12,5}$

Hodnoty z katalogu výrobce:

$v = 60 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

$f = 0,25 \text{ mm}$

Výpočty:

otáčky obrobku

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 60}{\pi \cdot 49} = 389 \text{ min}^{-1}$$

strojní čas

$$t_{s4} = \frac{L}{n \cdot f} \cdot i = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \cdot i = \frac{2 + 13 + 2}{389 \cdot 0,25} \cdot 4 = 0,7 \text{ min}$$

Operace 5. Dokončení válcové plochy z $\varnothing 25$ na $\varnothing 22$ v délce 13

Zadáno:

$a_p = 1,5 \text{ mm}$

$i = 1$

$Ra_{1,6}$

Hodnoty z katalogu výrobce:

$v = 155 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

$f = 0,12 \text{ mm}$

Výpočty:

otáčky obrobku

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 155}{\pi \cdot 25} = 1\,973 \text{ min}^{-1}$$

strojní čas

$$t_{s5} = \frac{L}{n \cdot f} \cdot i = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \cdot i = \frac{2 + 13 + 15}{1973 \cdot 0,12} = 0,13 \text{ min}$$

Operace 6. Dokončení válcové plochy z $\varnothing 22$ na $\varnothing 17$ v délce 12

Zadáno:

$a_p = 2,5 \text{ mm}$

$i = 1$

$Ra_{1,6}$

Hodnoty z katalogu výrobce:

$v = 165 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

$f = 0,08 \text{ mm}$

Výpočty:

otáčky obrobku

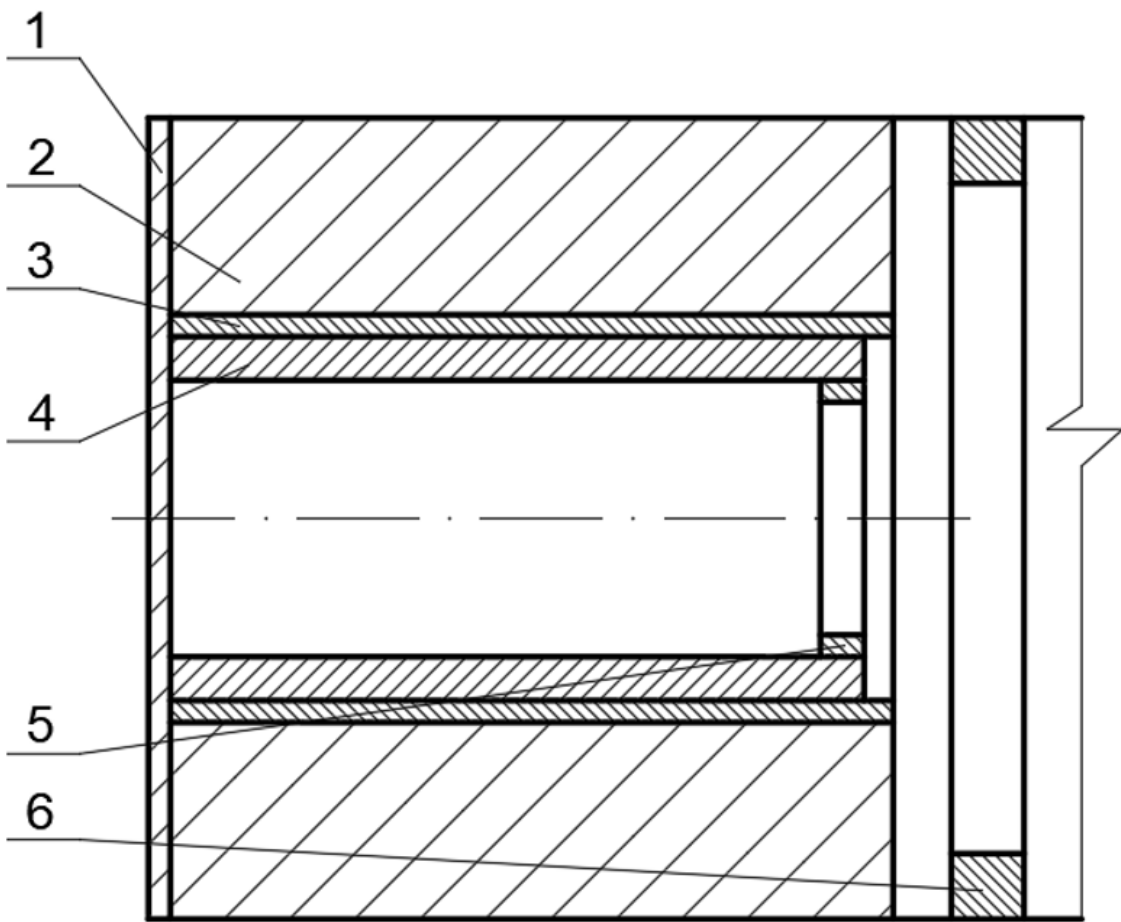
$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 165}{\pi \cdot 22} = 2\,387 \text{ min}^{-1}$$

strojní čas

$$t_{s6} = \frac{L}{n \cdot f} \cdot i = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \cdot i = \frac{2 + 12 + 2}{2387 \cdot 0,08} = 0,08 \text{ min}$$

Pozn.: Použité hodnoty z katalogu výrobce jsou uvedeny v přílohách 1 až 3.

Tab. 9 Výrobní návodka pro druhé upnutí na soustruhu.

										
VÝROBNÍ NÁVODKA 2										
VUT-FSI UST			Součást: OSA			Stroj: DMG Mori Seiki CTX 310 ecoline			Číslo operace 03/03	
Číslo oper.	Úsek	i	V _c [m/min]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a _p [mm]	l [mm]	t _{as} [min]	t _{av} [min]	Výrobní nástroj
1	NA ČISTO	1	120	694	0,1	1,5	27,5	0,46	0,04	3
2	HRUBOVÁNÍ	5	60	347	0,25	3	52	3,29	0,04	1
3	NA ČISTO	1	155	1 973	0,12	1,5	52	0,3	0,02	3
4	NA ČISTO	1	165	2 387	0,08	2,5	51	0,26	0,02	3
5	ZAPICHOVÁNÍ	1	62	784	0,05	2	1	0,1	0,05	5
6	ZAPICHOVÁNÍ	3	62	390	0,05	2	5	0,8	0,02	5
7	SRAŽENÍ HRANY	1	58	361	0,16	2	2	0,02	0,05	3

6.2.2 Hlavní výpočty pro návodku s číslem operace 03/03

Operace 1. Soustružení čelní plochy

Stejně zadání i výpočty jako v operaci 02/02

Operace 2. Hrubování válcové plochy z $\varnothing 55$ na $\varnothing 25$ v délce 52

Zadáno:

$$a_p = 3 \text{ mm}$$

$$i = 5$$

$$Ra \ 12,5$$

Hodnoty z katalogu výrobce:

$$v = 60 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$f = 0,25 \text{ mm}$$

Výpočty:

$$\text{otáčky obrobku} \quad n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 60}{\pi \cdot 55} = 347 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{strojní čas} \quad t_{s2} = \frac{L}{n \cdot f} \cdot i = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \cdot i = \frac{2 + 53 + 2}{347 \cdot 0,25} \cdot 5 = 3,29 \text{ min}$$

Operace 3. Dokončení válcové plochy z $\varnothing 25$ na $\varnothing 22$ v délce 52

Zadáno:

$$a_p = 1,5 \text{ mm}$$

$$i = 1$$

$$Ra \ 1,6$$

Hodnoty z katalogu výrobce:

$$v = 155 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$f = 0,12 \text{ mm}$$

Výpočty:

$$\text{otáčky obrobku} \quad n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 155}{\pi \cdot 25} = 1 \ 973 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{strojní čas} \quad t_{s3} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{2 + 52 + 17}{1973 \cdot 0,12} = 0,3 \text{ min}$$

Operace 4. Dokončení válcové plochy z $\varnothing 22$ na $\varnothing 17$ v délce 51

Zadáno:

$$a_p = 2,5 \text{ mm}$$

$$i = 1$$

$$Ra \ 1,6$$

Hodnoty z katalogu výrobce:

$$v = 165 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$f = 0,08 \text{ mm}$$

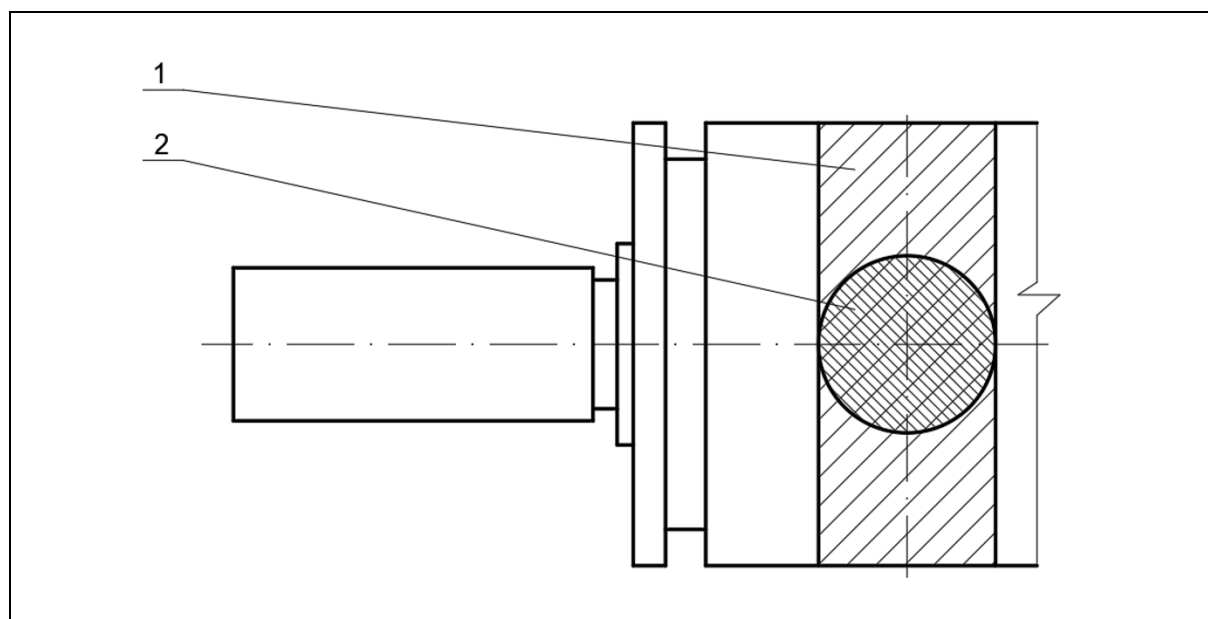
Výpočty:

$$\text{otáčky obrobku} \quad n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 165}{\pi \cdot 22} = 2 \ 387 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{strojní čas} \quad t_{s3} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{2 + 51 + 2}{2387 \cdot 0,08} = 0,29 \text{ min}$$

Pozn.: Použité hodnoty z katalogu výrobce jsou uvedeny v Přílohách 1 až 3.

Tab. 10 Výrobní návodka pro frézku a upnutí do dělicí hlavy.



VÝROBNÍ NÁVODKA 3										
VUT-FSI UST		Součást: OSA		Stroj: frézovací centrum DMG Mori Seiki DMC 635 V ecoline				Číslo operace 05/05		
Číslo oper.	Úsek	i	V _c [m/min]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a _p [mm]	l [mm]	t _{as} [min]	t _{av} [min]	Výrobní nástroj
1	FRÉZOVÁNÍ ø22	51	22	437	0,2	1	49	10,8	0,5	7
2	FRÉZOVÁNÍ ø22	26	22	437	0,2	1	24,5	4,9	0,06	7

6.2.3 Hlavní výpočty pro návodku s číslem operace 05/05

Operace 1. Frézování průchozí díry ø22 do hloubky 49

Zadáno:

$$a_p = 1 \text{ mm}$$

$$i = 51$$

$$Ra \text{ } 1,6$$

Hodnoty z tabulek:

$$v = 62 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$f = 0,2 \text{ mm}$$

Výpočty:

skutečná řezná rychlost $v_{skut} = v \cdot k_v = 70 \cdot 1,26^{-5} = 22 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

otáčky nástroje $n = \frac{1000 \cdot v_{skut}}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 22}{\pi \cdot 16} = 437 \text{ min}^{-1}$

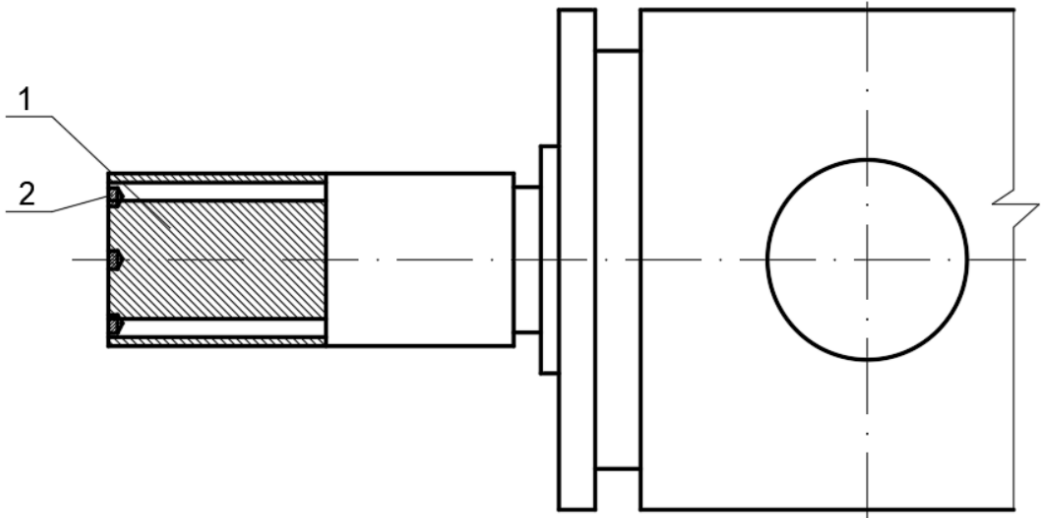
strojní čas $t_{s1} = \frac{L}{n \cdot f} \cdot i = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \cdot i = \frac{2 + 19 + 1}{437 \cdot 0,2} \cdot 51 = 12,8 \text{ min}$

Operace 2. Frézování průchozí díry ø22 do hloubky 24,5

Vše zvoleno podle operace 1, pouze strojní čas se liší.

strojní čas $t_{s2} = \frac{L}{n \cdot f} \cdot i = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \cdot i = \frac{2 + 19 + 1}{437 \cdot 0,2} \cdot 26 = 6,5 \text{ min}$

Tab. 11 Výrobní návodka pro frézku a upnutí do sklíčidla.

										
VÝROBNÍ NÁVODKA 4										
VUT-FSI UST		Součást: OSA			Stroj: frézovací centrum DMG Mori Seiki DMC 635 V ecoline			Číslo operace 06/06		
Číslo oper.	Úsek	i	V _c [m/min]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a _p [mm]	l [mm]	t _{as} [min]	t _{av} [min]	Výrobní nástroj
1	FRÉZOVÁNÍ ČTYŘHRANU	4	23,8	189	0,08	1,5	17	1	0,12	8
2	VRTÁNÍ ø2	3	35	5 570	0,05	1	2	0,05	0,05	9

6.2.4 Hlavní výpočty pro návodku s číslem operace 06/06

Operace 1. Frézování plochy

Zadáno:

$$a_p = 1,5 \text{ mm}$$

$$i = 4$$

$$Ra \ 3,2$$

Hodnoty z tabulek:

$$v = 90 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$f_z = 0,08 \text{ mm}$$

Výpočty:

skutečná řezná rychlost

$$v_{skut} = v \cdot k_v = 90 \cdot 1,26^{-5} = 23,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

otáčky nástroje

$$n = \frac{1000 \cdot v_{skut}}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 23,8}{\pi \cdot 20} = 378 \text{ min}^{-1}$$

strojní čas

$$t_{s1} = \frac{L}{n \cdot f \cdot z} \cdot i = \frac{l_{n+l_p}}{n \cdot f \cdot z} \cdot i = \frac{2+17+12}{378 \cdot 0,08 \cdot 4} \cdot 4 = 1 \text{ min}$$

Pozn. Všechny řezné rychlosti a posuvy jsou brány z údajů dostupných u výrobců nástrojů uvedených v přílohách 1 až 3, případně ve Strojnických tabulkách autorů Leinveber, Vávra [7].

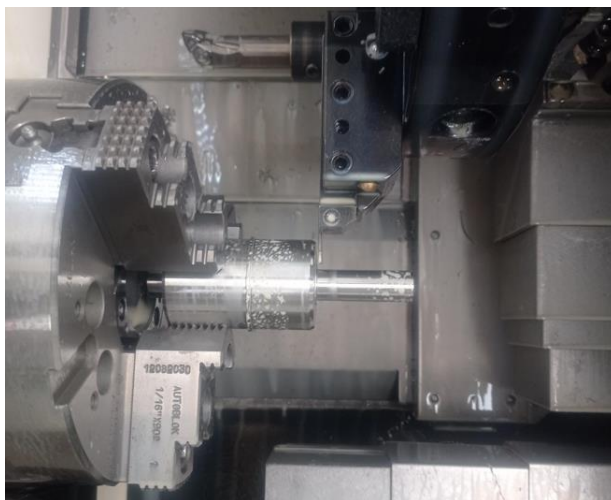
6.3 Obrábění součásti

Pro výrobu součásti již byly v předchozích kapitolách navrženy vhodné obráběcí stroje i nástroje. Polotovár se nejprve upnul do sklíčidla soustruhu DMG Mori Seiki, kde došlo k zarovnání čela a obrobení pravé poloviny součásti dle výkresu. Na této straně součásti jsou pouze rotační plochy, proto byla obrobená celá pravá část na jedno upnutí. Pro upnutí soustružnických nástrojů byla použita revolverová hlava a to její nepoháněné pozice. Řezná rychlost byla volena z katalogu výrobce břitových destiček a tyto jsou uvedeny v Přílohách 3 a 4. Při hrubování byly použity nejvyšší doporučené posuvy pro daný typ destičky, posuvy pro dokončovací operace jsou voleny s ohledem na požadovanou jakost obrobené plochy. Všechny operace se jako první zkoušely na běžné konstrukční oceli a až po kontrole rozměrů se prováděly na korozivzdorné oceli, obě součásti jsou vyfotografovány v průběhu výroby na obr.19.



Obr. 19 Zkušební a vyráběný vzorek pro provedení operací z návodky 1.

Poté se součást upnula za obrobený průměr 49h7 opět do sklíčidla (obr. 20.) a byly provedeny všechny rotační operace popsané ve výrobní návodce 2. Pro upnutí nástrojů bylo opět používáno revolverové hlavy. Zde byla provedena i výroba dvou zápichů, zápich šířky 2 mm se vyráběl pouze zapichovacím způsobem na požadovanou hloubku záběru, zápich šířky 5 mm byl prováděn na tři záběry. Tímto skončila výroba na soustruhu, provedla se kontrola rozměrů a součást se přenesla na frézovací centrum.



Obr. 20 Soustružení zápichů z návodky 2.

Výrobní návodka 3 obsahuje pouze výrobu děr rozměru 22H8. Původně bylo navrženo, že bude každá z těchto děr navrtána NC navrtávkem průměru 10 mm, dále vyvrtána na průměr 20,5 mm, vyhrubována a vystružena. Protože je však jedna z děr neprůchozí a navíc výstružník 22H8 vyráběl díru mimo toleranci a s velmi špatným povrchem, byla tato výroba navržena jako

planetové frézování dlouhou frézou průměru 16 mm. Vzhledem k ceně materiálu se postupně musel program vyladit na zkušební vzorku, aby frézovaná díra byla v toleranci. Výroba díry byla prováděna postupně na více záběrů, nástroj se mezi jednotlivými úběry vždy zavrtil po spirále o 1 mm, hloubka 49 mm byla vyfrézována na 51 otáček spirály. Při tomto frézování byla součást upnuta do dělicí hlavy, která umožňuje pouze přímé dělení. K natočení obrobku o 90° je tato hlava dostačující a přesná (obr. 21).



Obr. 21 Frézování díry 22H8 v dělicí hlavě.

Návodka 4 je zhotovena opět pro frézovací centrum, součást však byla upnutá do sklíčidla se svislou osou rotace (obr. 22). Při tomto upnutí byly vyvrtány díry průměru 2 mm do hloubky 1 mm a rovněž krátkou frézou průměru 20 mm vyrobeny všechny 4 plochy tvořící čtyřhran 14 mm. Větší průměr frézy a její kratší délka byly zvoleny především z důvodu větší tuhosti nástroje, aby byly zhotovené plochy rovinné a k sobě kolmé. Pro upnutí vrtáku i frézy do stroje byly použity kleštinové upínače.



Obr. 22 Frézování čtyřhranu ve sklíčidle.

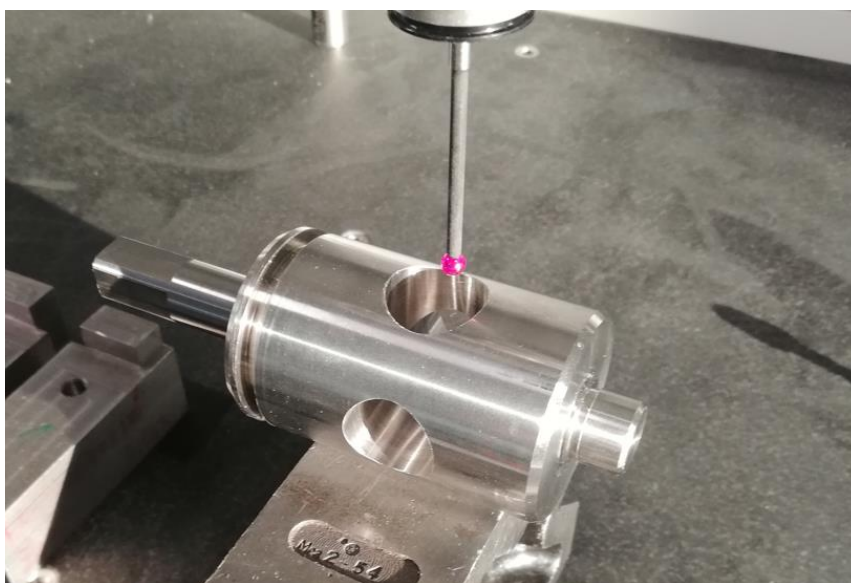
6.4 Kontrola součásti

Vyráběná součást s názvem OSA je zhotovována pouze v jednom kuse, proto i její měření bude provedeno důkladně právě pro tento vyráběný kus. Už v průběhu výroby byly kontrolovány posuvným měřítkem přímo na dílně základní rozměry součásti. Při závěrečné kontrole bude kladen důraz nejenom na kompletní kontrolu rozměrů, ale i na drsnosti povrchu podle výkresové dokumentace.

6.4.1 Kontrola délkových rozměrů a geometrické tolerance

Celá součást byla kontrolována odpovídajícími měřidly, pro většinu netolerovaných rozměrů se používalo digitální posuvné měřítko s rozlišením 0,02 mm, tolerované průměry se kontrolovaly na souřadnicovém měřicím stroji Ares NTL 12-7-5 vybaveném dotykovou sondou Renishaw na obr. 23. Tyto stroje umožňují velmi přesné měření, jejich přesnost je od $1,8+L/333\mu\text{m}$. Stroje Ares jsou vhodné pro všechny měřicí aplikace a mají vysokou tuhost a rovněž vyšší přesnost osy z vyrobené z karbidu křemíku. U všech tolerovaných rozměrů byly průměry zhotoveny v odpovídající toleranci, jak je patrné z přílohy č.6, která obsahuje tabulkově zpracovaný výsledek měření. Ke kontrole děr průměru 22H8 byl použit válečkový kalibr i souřadnicový stroj.

Geometrická tolerance souososti mezi průměry 17f7 byla kontrolována rovněž na souřadnicovém měřicím stroji. Hodnota 0,03 mm byla v tomto případě taky dodržena.



Obr. 23 Kontrola vyrobené součásti na souřadnicovém měřicím stroji.

6.4.2 Kontrola drsnosti povrchu

Součást osa má předepsány průměrné aritmetické odchylky profilu drsnosti R_a v rozmezí 0,8-3,2 μm . Proto byly zkontrolovány i téměř všechny funkční plochy a to především ty, které obsahují parametr drsnosti R_a 0,8 a R_a 1,6. K měření byl použit drsnoměr Surftest SJ-412 firmy Mitutoyo, který velmi rychle dokáže vyhodnotit několik různých parametrů drsnosti, mimo drsnost povrchu dokáže vyhodnotit i skutečný profil P a profil vlnitosti W. Součást osa byla vyhodnocena jako správně vyrobená i s ohledem na požadované hodnoty R_a . Všechny výsledky byly ve stanovené toleranci.

ZÁVĚR

V bakalářské práci byla navržena výroba součásti pomocí běžných obráběcích technologií. Součást, osa trojcestného ventilu používaná u plicího stroje, se obvykle vyrábí pouze v jednotlivých kusech. I přes tuto skutečnost se bakalářská práce zabývá návrhem výroby této součásti na CNC strojích. Na součásti se vyskytují prvky a tolerance, které by se dle mé několikaleté zkušenosti z výroby podobných součástí na klasických obráběcích strojích vyráběly obtížně. Navíc jsou tyto součásti s menší rozměrovou obměnou vyráběny několikrát ročně, proto se vždy po nepatrné změně programu může tento postup výroby součásti včetně řezných podmínek používat opakovaně.

Pro výrobu součásti byly použity dva obráběcí stroje: univerzální soustruh DMG Mori Seiki CTX 310 ecoline a svislé frézovací centrum DMC 635 V ecoline. Tyto stroje umožňují velmi přesnou výrobu, při použití vhodných nástrojů a řezných podmínek zvládají i požadovaný toleranční stupeň IT7 a parametr drsnosti povrchu Ra0,8. Nebylo proto nutné volit v technologickém postupu obrábění na brusce.

V průběhu práce docházelo ke korekcím vstupních dat v programu i úpravě řezných podmínek s ohledem na správný tvar a požadované rozměry. I tak se strojní čas práce může považovat za velmi uspokojivý, při součtu všech dílčích časů obrábění trvala výroba součásti necelých 30 minut. Mnohem delší byl věnován pečlivé přípravě výrobní návodky, výpočtu řezných podmínek a seřízení součásti na strojích. Proto je takový podrobný postup vhodný spíše pro sériovou nebo opakovanou výrobu.

Výstupní kontrola obsahující pečlivé měření všech funkčních rozměrů, tolerancí a drsnosti povrchu prokázala, že navržené řezné podmínky, použité stroje a nástroje jsou zvoleny správně.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KIPP-1.4404 nerezová ocel. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © 2022 HEINRICH KIPP WERK GmbH [cit. 23.03.2022]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Slu%C5%BEby/P%C5%99ehled-materi%C3%A1l%C5%AF/nerezov%C3%A1-ocel/1-4404-nerezov%C3%A1-ocel.html>
2. Přehled jakostí korozivzdorných ocelí s chemickým složením | Austenitická nerezová ocel | DALTEK GROUP a.s.. Velkoobchod s hutním materiálem | DALTEK GROUP a.s. [online]. Copyright © 2022 DALTEK GROUP a.s. All rights reserved [cit. 23.03.2022]. Dostupné z: https://www.daltek.cz/nerez/technicka_podpora_normy/20_prehled_jakosti.html
3. Převodní tabulky. Nerezový materiál | inerez.cz [online]. Copyright © 2022, [cit. 23.03.2022]. Dostupné z: <https://www.inerez.cz/prevodni-tabulky-nerezovych-oceli/>
4. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
5. ZEMČÍK, Oskar. Technologická příprava výroby. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-214-2219-X.
6. Elektronická učebnice - ELUC. Elektronická učebnice - ELUC [online]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1239>
7. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 2., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2005. ISBN 80-7361-011-6.
8. Soustružnické nože | Svářečky-obchod.cz. Svářečky-obchod.cz - prodej svářeček, strojů a vybavení [online]. Copyright © 2008 [cit. 23.03.2022]. Dostupné z: <https://www.svarecky-obchod.cz/kovoobrabeci-stroje/soustruhy/prislusenstvi/soustruznicke-noze>
9. Příručka pro technology - Obrobitelnost nerezových ocelí | MM Průmyslové spektrum. MM Průmyslové spektrum - nejčtenější strojírenský časopis a jeho digitální obsah | MM Průmyslové spektrum [online]. Copyright © 2001 [cit. 26.03.2022]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-obrobitelnost-nerezovych-oceli>
10. Pásové pily na kov. <http://pilous.cz/>. [online]. [cit. 2022-24-03]. Dostupné z: <http://pilous.cz/metal/pasove-pily-na-kov/gravitacni/arg-200-plus/>
11. Prametheus - Pramet do škol - Prametheus - Pramet do škol [online]. Copyright © [cit. 25.04.2022]. Dostupné z: <https://www.prametheus.cz/admin/files/ModuleText/25/plakat-volba-rezneho-materialu-a-geometrie-pro-soustruzeni.pdf>
12. Řezné nástroje Korloy [online]. Copyright © [cit. 16.05.2022]. Dostupné z: [http://www.korloy.com/en/ebook/2011%20KORLOY%20CUTTING%20TOOLS\(CZ\)/assets/contents/download.pdf](http://www.korloy.com/en/ebook/2011%20KORLOY%20CUTTING%20TOOLS(CZ)/assets/contents/download.pdf)
13. CNC soustruh CTX – DMG MORI. DMG MORI Czech - CNC obráběcí stroje, kovoobráběcí stroje DMG MORI [online]. Copyright © 2022 DMG MORI. Všechna práva vyhrazena. [cit. 19.05.2022]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/soustruzeni/univerzalni-soustruzeni/ctx>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
a_p	hloubka záběru třísky	[mm]
D	průměr obrobku, průměr nástroje	[mm]
f	posuv	[mm]
f_r	rychloposuv	[mm.min ⁻¹]
f_z	posuv na zub	[mm]
i	počet třísek	[-]
i_o	index obrobitelnosti	[-]
k_m	stupeň využití materiálu	[-]
k_v	koeficient obrobitelnosti	[-]
L	celková dráha nástroje	[mm]
l	délka obráběné plochy	[mm]
l_k	délka nevyužitého konce tyče	[mm]
l_n	délka dráhy náběhu nástroje	[mm]
l_p	délka dráhy přeběhu nástroje	[mm]
n	otáčky	[min ⁻¹]
n_{pl}	počet přířezů z jedné tyče	[ks]
N_m	norma spotřeby materiálu	[kg]
Q_k	ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče	[kg]
q_k	ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče připadající na 1 díl	[kg]
q_o	ztráta materiálu vzniklá obráběním	[kg]
Q_p	hmotnost polotovaru	[kg]
Q_s	hmotnost hotové součásti	[kg]
R_a	parametr drsnosti povrchu	[μm]
R_p	mez kluzu	[MPa]
s	délka průřezu materiálu	[mm]
t_{AS}	jednotkový strojní čas	[min]
t_{AV}	přípravný čas	[min]
v_c	řezná rychlost	[m.min ⁻¹]
v_e	rychlost řezného pohybu	[m.min ⁻¹]
v_f	posuvová rychlost	[m.min ⁻¹]
v_p	objem polotovaru	[mm ³]
z	počet zubů	[-]
z_m	celkové ztráty materiálu	[kg]
ρ	hustota materiálu	[kg.m ⁻³]

Zkratky

Označení	Legenda
HRC	tvrdost podle Rockwella
HSh	tvrdost dle Shorea
HSS	rychlořezná ocel
VBD	vyměnitelná břitová destička

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli 1.4404
Příloha 2	Technologické vlastnosti a zahraniční ekvivalenty oceli 1.4404
Příloha 3	Materiálový list k nástrojovému materiálu PC9030 pro soustružení
Příloha 4	Řezné podmínky pro hrubovací destičku CNMG120408-HS
Příloha 5	Řezné podmínky pro dokončovací destičku DCMT11T304-HMP
Příloha 6	Kontrola tolerovaných průměrů
Příloha 7	Rozdělení nástrojových materiálů podle ISO

Seznam výkresů

Osa; 2022-BP-209510-01

1.4404		Cr-Ni-Mo austenitická ocel odolná korozi					X2CrNiMo17-12-2		
Číselné označení							Značka		
Chemické složení [hm. %] ¹⁷⁾									
C	Si	Mn	P	S ¹⁾	Cr	Ni ²⁾	Mo	N ¹⁶⁾	Cu ¹²⁾
max 0,030	max 1,00	max 2,00	max 0,045	max 0,015	16,5–18,5	10,0–13,0	2,00–2,50	max 0,11	max 1,00
Normy EN									
[1] 10088-1,-2,-3,-4,-5		[6] 10250-4		[11] 10296-2					
[2] 10028-7		[7] 10263-5		[12] 10297-2					
[3] 10216-5		[8] 10269		[13] 10312					
[4] 10217-7		[9] 10272							
[5] 10222-5		[10] 10294-2							
Mechanické vlastnosti									
Polotovary, norma			C ³⁾	H ⁴⁾	P ⁵⁾	T ⁶⁾ DT ¹⁸⁾		TB ⁷⁾ TS ⁸⁾	V ⁹⁾ V1 ¹⁰⁾
Rozměr t, t _R [mm]			≤ 8	≤ 13,5	≤ 75	≤ 160	>160 ≤ 250	≤ 60	≤ 250
Stav			po rozpouštěcím žihání (+AT)						
Mez kluzu R _{p0,2} [MPa] min			240	220		200		190	200
Mez kluzu R _{p1,0} [MPa] min			270	260		235		225	235
Mez pevnosti R _m [MPa]			530–680	520–670		500–700		490–690	500–700
Tažnost A [%]	podél min		–		–	40	–	40	45
	příčně min		40		45	–	30	30	35
Nárazová práce KV [J]	podél min		–	100		100	–	100	100
	příčně min		–	60		–	60	60	60
KV ⁻¹⁹⁶ [J]		příčně min	–	60		–	60	60	–

Odolnost mezikrystalové koroze (EN ISO 3651-2)					
– v dodávaném stavu: ano					
– po zcitlivění: ano					
Svařování					
Doporučené tepelné zpracování po svařování	960–1040 °C ¹⁵⁾				
Tepelné zpracování					
Rozpouštěcí žíhání	1030–1110 °C	ochlazovat ve vodě nebo rychle na vzduchu			
Tvárění za tepla					
1150–850 °C	ochlazovat na vzduchu				
Obrábění					
Požadované řezné rychlosti podle normy [10]					
– obrábění na hrubo	190 m/min				
– obrábění na jemno	240 m/min				
Ostatní vlastnosti					
Nemagnetovatelná ocel běžné jakosti					
Použití					
Součásti zařízení v chemickém průmyslu, ve výrobě celulózy, barev, mýdel, textilu, v mlékárnách a pivovarech.					
Porovnání se zahraničními materiály					
EURO		Česká republika	Německo		
X2CrNiMo17-12-2	EN 10088	17 349	ČSN 41 7349	X2CrNiMo17-12-2	DIN 17440
Francie		Velká Británie		Itálie	
Z2CND17-12	NF A35-577	316S11	BS 970-1	X2CrNiMo17-12-2	UNI 6904
ISO		USA		Rusko	
X2CrNiMo17-12-2	ISO 9328-7	316L	ASTM A182	–	–
Japonsko		Čína		–	
SUS 316L	JIS G4303	00Cr17Ni14Mo2	GB T1220	–	–

Materiálový list k nástrojovému materiálu PC9030 pro soustružení [12]

A Řezné materiály pro soustružení

Slinutý karbid s povlakem CVD

Slinutý karbid s povlakem CVD pro korozivzdorné oceli a HRSA

PC8110 *New*

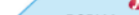
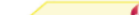
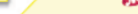
- Mikrozmrný karbid zaručuje zvýšenou odolnost proti vyštípování bříty.
- Byla použita nejmodernější PVD technologie povlakování s vysokou tvrdostí a vysokou odolností proti oxidaci za vysokých teplot.
- PC8110 zaručuje vysokou produktivitu během obrábění materiálů HRSA při vysokých rychlostech a vysokých posuvech.

Slinutý karbid s povlakem CVD pro soustružení korozivzdorné oceli a HRSA

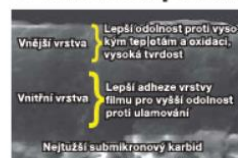
PC5300 *New*

- Vysoká efektivita při obrábění uhlíkových ocelí, litiny, korozivzdorných ocelí a HRSA.
- Stabilní obrábění díky specifickému karbidovému substrátu s vysokou houževnatostí a vysokou tvrdostí, která zabraňuje vyštípování řezné hrany.
- Vynikající odolnost proti opotřebení díky speciálnímu povlaku PVD s odolností proti oxidaci, tepelnou stabilitou a hladkým povrchem.

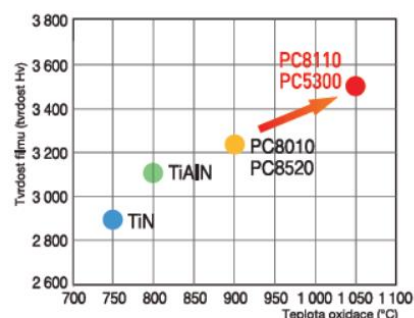
Systém výběru

Obrobek		Typy obrábění	Doporučená jakost	Doporučená řezná rychlost (m/min)	ISO	Oblast použití	
P	Ocel	Nepřerušovaný řez	PC5300 	120–220 (150)	P30	 PC5300 	
		Přerušovaný řez			P40		
M	Korozivzdorné oceli	Nepřerušovaný řez	PC8110 	150–250 (200)	M10	 PC8110 	
		Přerušovaný řez	PC5300 	120–220 (170)	M20	 PC5300 	
			M30	 PC9030 			
			PC9030 		50–180 (120)		M40
S	HRSA	Nepřerušovaný řez	PC8110 	40–90 (60)	S10	 PC8110 	
		Přerušovaný řez	PC5300 	30–70 (50)	S20		 PC5300 
			S30				

Struktura povlaku



Nejnovější technologie povlaku PVD vyvinutá firmou KORLOY
Nový koncept povlaku s vysokou odolností proti teplotě a oxidaci a vysokou tvrdostí



Vlastnosti materiálů s povlakem PVD

Jakost s povlakem PVD	ISO	Vlastnosti
PC9030	M30–M40	• Střední obrábění, hrubování a těžce přerušovaný řez korozivzdorných ocelí • Používá se povlak TiAlN a substrát s ultrajemnou zrnitostí • Vysoká odolnost proti vylamování a tvorbě nárůstků pro stabilní obrábění
PC8110 <i>New</i>	M10–M20 S10–S20	• Vysokorychlostní obrábění a nepřerušovaný řez korozivzdorných ocelí a HRSA • Vysoká odolnost proti vylamování a tvorbě nárůstků pro delší životnost nástrojů • Používá se nový povlak TiAlN a substrát s ultrajemnou zrnitostí
PC5300 <i>New</i>	P30–P40 M20–M30 K20–K25 S20–S30	• Univerzální materiál pro obrábění ocelí, korozivzdorných ocelí, HRSA a litiny • Vysoká odolnost proti vylamování a tvorbě nárůstků pro delší životnost nástrojů • Používá se nový povlak TiAlN a substrát s ultrajemnou zrnitostí

Soustružnické VBD (negativní) **B**CN  Kosočtvercová 80° Negativní

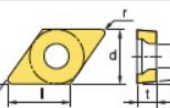
Obrobek	Ocel	P																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
---------	------	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

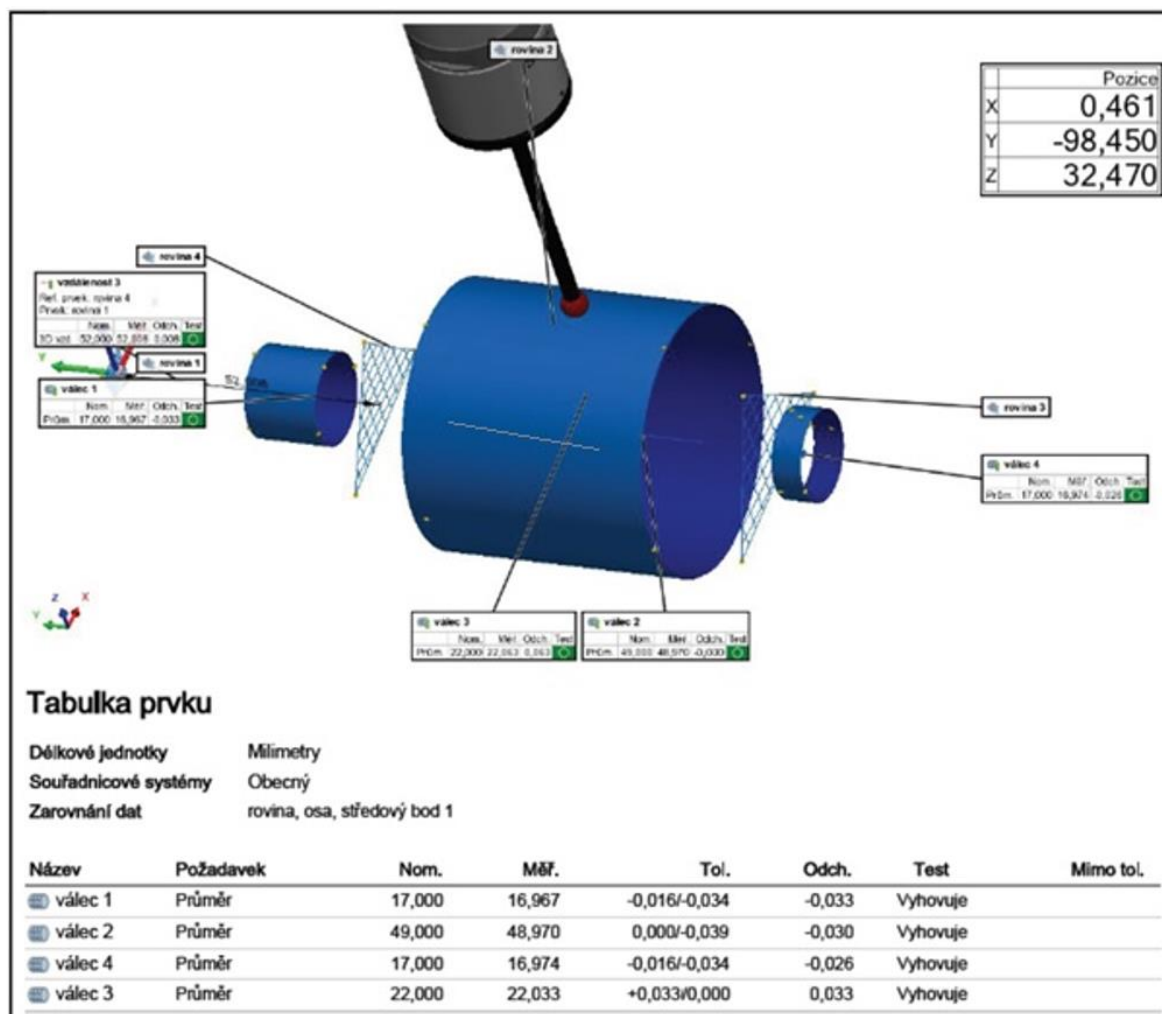
Soustružnické VBD (pozitivní) **B**

DC●●



Kosočtvercová **55° Pozitivní** Úhel hřbetu: 7°

Obrobek	Ocel																				Typy obrábění ● Nepřerušovaný řez ● Lehce přerušovaný řez ● Přerušovaný řez									
	Korozivzdorná ocel																													
	Litina																													
	Neželezné kovy																													
	HRSA																													
Kalená ocel		H																												
VBD	Označení	Povlakované																Cermet		Rozměry (mm)		Řezné podmínky		Držáky VBD						
		NC3010	NC3020	NC3120	NC3030	NC350H	PC9110	NC9020	NC9025	NC3530	PC9300	PC9030	NC6110	NC31K	NC1000	NC200	CC105	CC115	HO1	G10	l	d	t	r	d _h	f _n	a _p	Označení	Str	
 Dokončování	DCGT	070202-C05																			7,5	6,35	2,38	0,2	2,8	0,06-0,11	0,06-1,50	SDACR/L	B87	
		070204-C05																				7,3	6,35	2,38	0,4	2,8	0,05-0,17	0,08-1,50	SDJCR/L	B88
		11T302-C05																				11,4	9,525	3,97	0,2	4,4	0,04-0,15	0,08-2,00	SDNCN	B88
		11T304-C05																				11,2	9,525	3,97	0,4	4,4	0,06-0,23	0,10-2,00	SDQCR/L	B109
		11T308-C05																				10,8	9,525	3,97	0,8	4,4	0,08-0,30	0,20-2,00	SDZCR/L	B109
 Dokončování	DCGT	070202-HFP																			7,5	6,35	2,38	0,2	2,8	0,03-0,10	0,06-1,00	SDACR/L	B87	
		070204-HFP																				7,3	6,35	2,38	0,4	2,8	0,05-0,12	0,08-1,00	SDJCR/L	B88
		070208-HFP																				6,8	6,35	2,38	0,8	2,8	0,06-0,12	0,10-1,00	SDNCN	B88
		11T301-HFP																				11,5	9,525	3,97	0,1	4,4	0,03-0,13	0,06-1,00	SDQCR/L	B109
		11T302-HFP																				11,4	9,525	3,97	0,2	4,4	0,04-0,15	0,08-1,50	SDUCR/L	B109
		11T304-HFP																				11,2	9,525	3,97	0,4	4,4	0,06-0,20	0,10-1,50	SDZCR/L	B109
 Střední obrábění	DCMT	070202-C25																			7,5	6,35	2,38	0,2	2,8	0,03-0,15	0,30-2,00	SDACR/L	B87	
		070204-C25																				7,3	6,35	2,38	0,4	2,8	0,05-0,20	0,50-2,50	SDJCR/L	B88
		070208-C25																				6,8	6,35	2,38	0,8	2,8	0,06-0,25	0,80-2,50	SDNCN	B88
		11T302-C25																				11,3	9,525	3,97	0,2	4,4	0,04-0,25	0,50-2,50	SDQCR/L	B109
		11T304-C25																				11,2	9,525	3,97	0,4	4,4	0,08-0,30	0,80-3,00	SDUCR/L	B109
 Dokončování	DCMT	11T308-C25																			10,8	9,525	3,97	0,8	4,4	0,10-0,30	1,00-3,00	SDZCR/L	B109	
		070202-HFP																				7,5	6,35	2,38	0,2	2,8	0,03-0,10	0,06-1,00	SDACR/L	B87
		070204-HFP																				7,3	6,35	2,38	0,4	2,8	0,05-0,12	0,08-1,00	SDJCR/L	B88
		070208-HFP																				6,8	6,35	2,38	0,8	2,8	0,06-0,12	0,10-1,00	SDNCN	B88
		11T301-HFP																				11,5	9,525	3,97	0,1	4,4	0,03-0,13	0,06-1,00	SDQCR/L	B109
		11T302-HFP																				11,4	9,525	3,97	0,2	4,4	0,04-0,15	0,08-1,50	SDUCR/L	B109
 Střední obrábění	DCMT	11T304-HFP																			11,2	9,525	3,97	0,4	4,4	0,06-0,20	0,10-1,50	SDZCR/L	B109	
		11T308-HFP																				10,8	9,525	3,97	0,8	4,4	0,08-0,25	0,20-1,50		
		070202-HMP																				7,5	6,35	2,38	0,2	2,8	0,03-0,12	0,10-1,50	SDACR/L	B87
		070204-HMP																				7,3	6,35	2,38	0,4	2,8	0,06-0,17	0,20-2,30	SDJCR/L	B88
		070208-HMP																				6,8	6,35	2,38	0,8	2,8	0,08-0,23	0,40-2,30	SDNCN	B88
 Dokončování	DCMT	11T302-HMP																			11,4	9,525	3,97	0,2	4,4	0,04-0,22	0,10-2,00	SDQCR/L	B109	
		11T304-HMP																				11,2	9,525	3,97	0,4	4,4	0,08-0,23	0,30-3,00	SDUCR/L	B109
		11T308-HMP																				10,8	9,525	3,97	0,8	4,4	0,10-0,30	0,50-3,00	SDZCR/L	B109
		070202-VF																				7,5	6,35	2,38	0,2	2,8	0,03-0,10	0,06-1,0	SDACR/L	B87
		070204-VF																				7,3	6,35	2,38	0,4	2,8	0,05-0,20	0,3-1,2	SDJCR/L	B88
 Dokončování	DCMT	11T302-VF																			11,4	9,525	3,97	0,2	4,4	0,04-0,15	0,08-1,5	SDNCN	B88	
		11T304-VF																				11,2	9,525	3,97	0,4	4,4	0,05-0,20	0,3-1,5	SDQCR/L	B109
		11T308-VF																				10,8	9,525	3,18	0,8	4,4	0,10-0,25	0,3-1,5	SDUCR/L	B109



Rozdělení nástrojových materiálů dle ISO 513 [11]

Skupina a její barevné značení	Oblasti použití
P	- uhlíkové nelegované oceli třídy 10, 11, 12 - uhlíková ocelolitina sk. 26 (42 26xx) - nízko a středně legované ocelolitiny (42 27xx) - nástrojové oceli uhlíkové a legované - nízko a středně legované oceli třídy 13 - legované oceli tříd 14, 15, 16 - feritické a martenzitické korozivzdorné oceli
M	- austenitické a feriticko-austenitické oceli korozivzdorné - žáruvzdorné a žárupevné oceli - oceli magnetické a otěruvzdorné
K	- šedá litina nelegovaná i legovaná (42 24xx) - tvárná litina (42 23xx) - temperovaná litina (42 25xx)
N	- slitiny hliníku a slitiny mědi - ostatní neželezné kovy
S	- speciální žárupevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti
H	- zušlechtěné oceli HRC 48 – 60 - tvrzené kokilové litiny HSh 55 - 85