



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH NOVÉ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE ZADANÉHO DÍLU

A DESIGN OF NEW PRODUCTION TECHNOLOGY OF A SPECIFIED PART

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Josef Paška

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petra Sliwková, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Josef Paška
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Petra Sliwková, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

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

Návrh nové výrobní technologie zadaného dílu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V práci bude navržena nová výrobní technologie pro zvolenou vyráběnou součást, včetně postup výroby, strojního a nástrojového vybavení.

Cíle diplomové práce:

Teoretický rozbor zvolené problematiky.
Rozbor stávajícího technologického postupu výroby.
Návrh nového technologického postupu výroby.
Technicko–ekonomické zhodnocení.

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 978-80-2-4-2250-2.

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.

MELUZÍN, T. a V. MELUZÍN. Základy ekonomiky podniku. Vyd. 2., přeprac. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 119 s. ISBN 978-80-214-3472-1.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zaměřuje na návrh nové technologie výroby zadaného dílu společností Poppe + Potthoff s.r.o. Práce je rozdělena na tři části. V první části je proveden teoretický rozbor jednotlivých operací, které jsou nutné pro výrobu daného dílu. Druhá část se zabývá analýzou stávajícího technologického postupu výroby. Ve třetí části je navrhnout nový technologický postup. Na závěr je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení, kde jsou obě varianty porovnány.

Klíčová slova

výroba, technologie, obrábění, CNC stroje

ABSTRACT

This diploma thesis focuses on the design of new technology for the production of a given part by company Poppe + Potthoff s.r.o. The thesis is divided into three parts. The first part is a theoretical analysis of individual operations that are necessary for the production of the given part. The second part deals with the analysis of the current technological process of production. In the third part, a new technological process is proposed. In the end, there is a technical and economic evaluation performed, where both variants are compared.

Key words

production, technology, machining, CNC machines

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PAŠKA, Josef. *Návrh nové výrobní technologie zadaného dílu* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132119>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Petra Sliwková.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh nové výrobní technologie zadaného dílu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

19.5.2021

.....
Datum

.....
Bc. Josef Paška

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych tímto poděkovat Ing. Petře Sliwkové, Ph.D. za velmi cenné připomínky a rady, které mi velmi pomohly při vypracování mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Poppe + Potthoff s.r.o, která mi umožnila zpracovat tuto diplomovou práci a také všem zaměstnancům, kteří mi poskytli informace a podklady k návrhu výroby zadané součásti. Taktéž bych zde chtěl poděkovat rodině a mé přítelkyni za podporu při celém studiu.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 TEORETICKÝ ROZBOR POUŽITÝCH TECHNOLOGIÍ	10
1.1 Technologie soustružení	10
1.1.1 Řezné podmínky	10
1.1.2 Výpočet jednotkového strojního času.....	12
1.1.3 Soustružení závitů.....	13
1.2 Technologie vrtání	13
1.2.1 Řezné podmínky	14
1.2.2 Výpočet jednotkového strojního času.....	15
1.3 Technologie frézování	16
1.3.1 Řezné podmínky	17
1.3.2 Výpočet jednotkového strojního času.....	18
1.4 Nástrojové materiály	19
1.4.1 Nástrojové oceli	19
1.4.2 Slinuté karbidy.....	20
1.4.3 Řezná keramika a cermety	20
1.4.4 Super-tvrde nástrojové materiály.....	20
1.5 Obrobitelnost korozivzdorných ocelí.....	21
1.6 Technologie omílání	21
1.6.1 Omílací tělíska a kompaund	22
1.6.2 Druhy zařízení.....	23
1.7 Technologie odmašťování	26
1.7.1 Odmašťování pomocí alkalických roztoků.....	26
1.7.2 Odmašťování pomocí organických rozpouštědel	27
1.7.3 Elektrolytické odmašťování.....	27
1.7.4 Další metody technologie odmašťování	28
2 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY	29
2.1 Rozbor stávající obráběcí operace	29
2.1.1 Posouzení technologičnosti konstrukce	29
2.1.2 Materiál a polotovar zadané součásti.....	30

2.1.3	Strojní vybavení	31
2.1.4	Postup výroby	33
2.1.5	Řezné podmínky	34
2.1.6	Výrobní časy jednotlivých obráběcích operací.....	37
2.1.7	Průběžná a namátková kontrola při operaci obrábění.....	38
2.2	Mezioperační kontrola	39
2.3	Operace odmašťování a hrotování	40
2.4	Operace omílání	41
2.5	Operace odmašťování a konečná kontrola.....	41
3	NÁVRH NOVÉHO TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY	42
3.1	Nové strojní vybavení.....	42
3.2	Nástrojové vybavení	44
3.2.1	Nové nástrojové vybavení pro operaci T51	44
3.2.2	Nové nástrojové vybavení pro operaci T43	44
3.2.3	Sdružení operací T21, T32, T33	45
3.3	Nový postup výroby.....	46
3.4	Řezné podmínky	47
3.5	Výpočty Rz a Ra	49
3.6	Výrobní časy jednotlivých obráběcích operací.....	50
3.7	Nový technologický postup	51
4	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	52
	ZÁVĚR	54
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	55
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	57

ÚVOD

Základem pro vznik této práce se stalo plánované zvýšení objemu výroby dílce Ventil ve společnosti Poppe + Potthoff s.r.o. Tato součást je určena pro významného zahraničního zákazníka v oblasti automobilního průmyslu. Obecně platí, že v tomto odvětví průmyslu se realizují zakázky na více let, v řádech sta tisíců vyráběných kusů za rok. Proto každá úspora při výrobě dílů má v tomto dlouholetém výhledu velký vliv na výsledné ekonomické zhodnocení zakázky. V současné době i samotní zákazníci výrazně tlačí na dodavatele co se týče stálého snižování ceny výrobků. Proto, aby mohl být dodavatel konkurence schopný musí na toto reagovat a snižovat náklady na výrobu.

Pokles nákladů umožňuje například pořízení nových moderních obráběcích CNC strojů, díky kterým lze dosahovat vyšších řezných podmínek, tím tedy snížit výrobní čas součástí. Pro navýšení řezných podmínek je nutné také využívat nejnovější řezné nástroje s povlakováním.

V teoretické části této práce bude proveden rozbor problematiky spojený s výrobou této součásti, v praktické části bude nejprve analyzován současný stav výroby součásti a následně bude navržena nová varianta výroby s ohledem na nové strojní zařízení. Na závěr bude provedeno technicko-ekonomické zhodnocení obou variant výroby.

Společnost Poppe + Potthoff s.r.o. patří mezi významné dodavatele vysoce precizních strojních komponent. Tyto komponenty jsou dále určeny do stabilizačních, brzdových, komfortních a bezpečnostních systémů vozidel nebo vysokotlakých čerpadel. Převážná část produkce výroby směřuje do automobilového a lodního průmyslu.

Veškeré obráběcí operace se provádějí na CNC automatech. Výroba dílců o velkých dávkách je realizována na šesti nebo osmi vřetenových CNC automatech. Ty umožňují obrábět dílce až do průměru 32 mm. Pro výrobu dílců o složitější geometrii, do průměru 32 mm, slouží dvou vřetenové automaty, kde lze obrábění vykonávat současně na hlavním vřetenu a sekundárním vřetenu. Pro dílce s nutným teplem zpracováním se využívá plně automatizovaná vakuová kalírna. Nedílnou součástí takto kvalitní výroby tvoří i adekvátně vybavené oddělení kontroly, zde firma disponuje moderními profilometry, optickými měřidly a automatickými třídičkami.

1 TEORETICKÝ ROZBOR POUŽITÝCH TECHNOLOGIÍ

Aby daná součást mohla splňovat všechny požadované parametry a vlastnosti dle požadavků, musí projít výrobním procesem. Tento výrobní proces se skládá z jednotlivých výrobních technologií. V této kapitole bude proveden teoretický rozbor všech výrobních technologií, které jsou nutné pro výrobu zadané součásti. Jedná se o technologie soustružení, vrtání, frézování, omílání a odmašťování. Ale také zde bude proveden rozbor ostatní problematiky, kterou je nutné při návrhu výrobního postupu vzít v potaz. Na Obr. 1 lze vidět CAD model zadané součásti, který byl vytvořen pomocí software Autocad Inventor 2019.



Obr. 1: Zadaná součást.

1.1 Technologie soustružení

Technologie soustružení patří mezi jednu z obráběcích metod, která slouží ke zhotovení rotačních součástí. V porovnání s ostatními metodami obrábění lze zařadit soustružení mezi ty jednodušší metody obrábění, ale i přesto se jedná o jednu z těch nejpoužívanějších. Pomocí soustružení se obrábí válcové či kuželové plochy a také čelní rovinné plochy. Při použití speciálních tvarových nástrojů lze dosahovat velmi produktivně složitějších tvarových ploch. Soustruhy umožňují provádět na obrobku mnoho dalších operací, například soustružení závitů, zapichování, vrtání, vyvrtávání, válečkování, atd... [1; 2; 3]

Kinematika procesu soustružení je realizována pomocí dvou pohybů, hlavní rotační pohyb koná obrobek, vedlejší příčný posuvný pohyb koná soustružnický nástroj. Při soustružení válcové plochy lze tedy samotný řezný pohyb popsat šroubovicí, při soustružení čelní plochy se soustružnický nůž pohybuje po Archimédově spirále. [2; 3]

1.1.1 Řezné podmínky

Každý obráběcí proces lze ovlivňovat či řídit řeznými podmínkami. V případě soustružení se jedná o otáčky obrobku n , respektive řeznou rychlost v_c , která z otáček obrobku přímo vychází, dle vzorce 1.1. Dále se mezi řezné podmínky řadí posuv na otáčku obrobku f a šířka záběru hlavnímu ostří a_p . Posuv na otáčku obrobku vyjadřuje změnu polohy

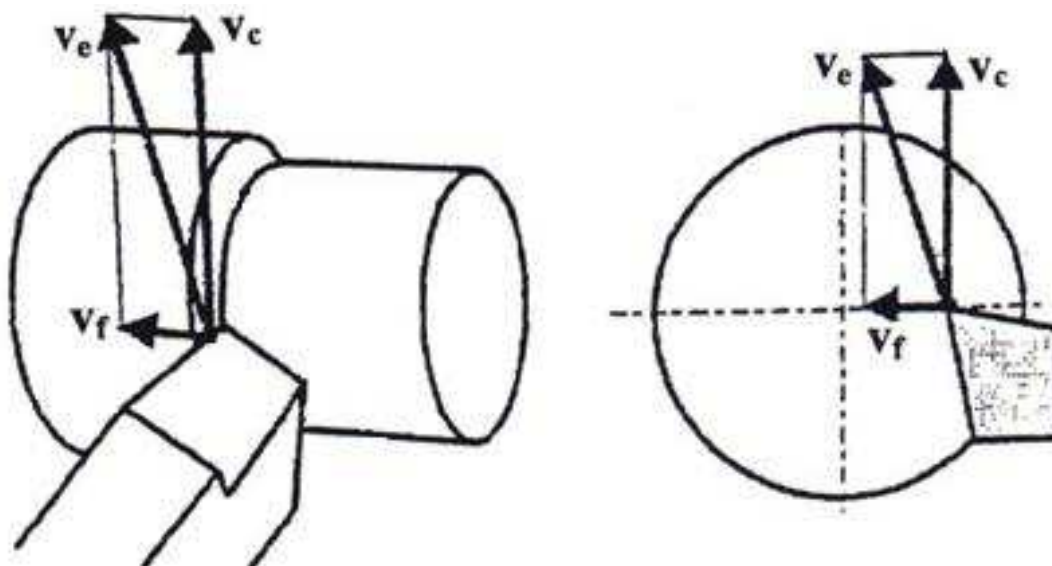
řezného nástroje při jedné otáčce obrobku. Pomocí šířky záběru hlavního ostří nástroje a posuvu na otáčku lze regulovat velikost odebírané třísky při soustružení [2].

Hlavní rotační pohyb je definován řeznou rychlostí v_c . Vedlejší přímý posuvný pohyb je vymezen pomocí posuvové rychlosti v_f . Výsledná efektivní rychlost v_e je rovna vektorovému součtu řezné rychlosti a posuvové rychlosti, viz Obr. 2. Při standardních řezných podmínkách je obvykle velikost v_f vůči v_c velmi malá, tudíž $v_e \cong v_c$. Hodnoty řezné, posuvové a efektivní rychlosti lze získat z následujících vztahů [2; 3]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.1)$$

$$v_f = f \cdot n \quad (1.2)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad (1.3)$$



Obr. 2: Kinematický rozbor soustružení [21].

Jak již bylo uvedeno výše, řezné podmínky mají přímý vliv na velikost třísky, tedy na její jmenovitý průřez dle vztahu 1.4, jak lze vidět na Obr. 3. Dále lze vypočítat jmenovitý průřez třísky i jako součin jmenovité šířky třísky a jmenovité tloušťky třísky dle vztahu 1.5. [2; 3]

$$A_D = a_p \cdot f \quad (1.4)$$

$$A_D = b_d \cdot h_d \quad (1.5)$$

Šířka záběru ostří a_p pro podélné soustružení se může vypočítat dle vztahu [2]:

$$a_p = \frac{D - d}{2} \quad (1.6)$$

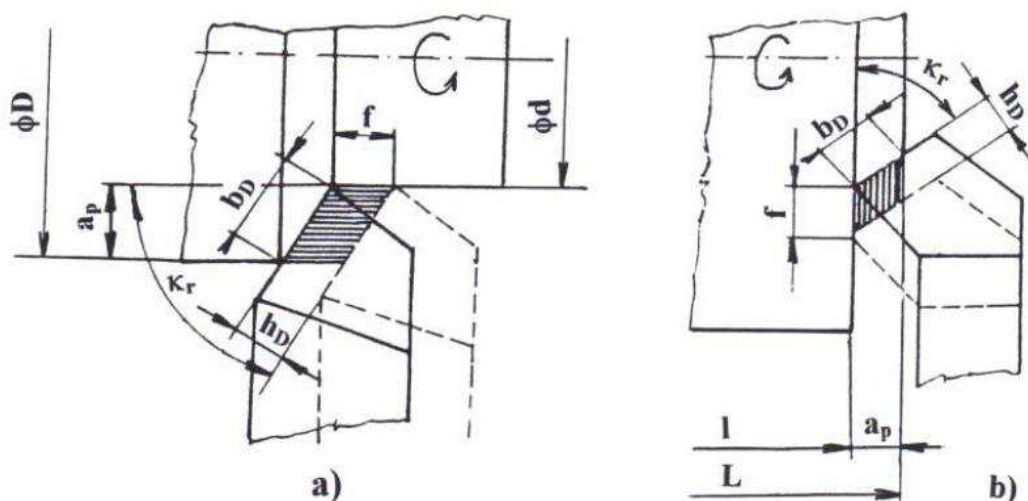
A pro čelní soustružení je definována vztahem [2]:

$$a_p = L - l \quad (1.7)$$

Jmenovitou šířku třísky h_d a jmenovitou tloušťku třísky b_d lze vypočítat dle vztahů [2]:

$$h_d = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad (1.8)$$

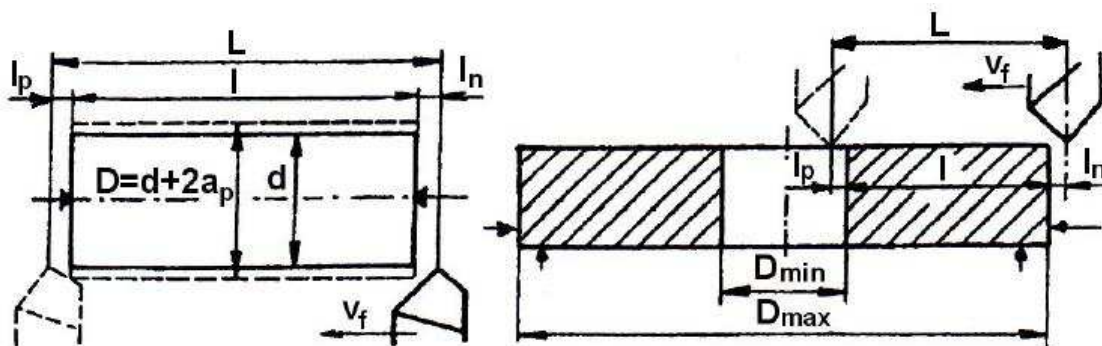
$$b_d = f \cdot \sin \kappa_r \quad (1.9)$$



Obr. 3: Rozbor průřezu třísky při soustružení [2].

1.1.2 Výpočet jednotkového strojního času

Výpočet jednotkového strojního času soustružnických operací lze odvodit z Obr. 4, kde jak pro podélné soustružení (vlevo), tak pro čelní soustružení (vpravo) platí základní vztah 1.10 [2].

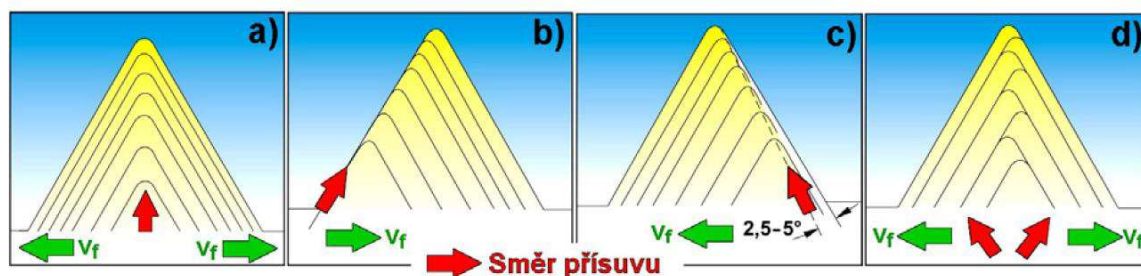


Obr. 4: Výpočet jednotkového strojního času pro podélné soustružení (vlevo) a čelní soustružení (vpravo) [2].

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + L + l_p}{n \cdot f} \quad (1.10)$$

1.1.3 Soustružení závitů

Pomocí soustružení lze zhotovovat jak vnější, tak i vnitřní závit. Jednotlivé metody soustružení závitů se liší dle způsobu přísuvu vyměnitelné břitové destičky, nebo případně speciálního závitového nože, do záběru. Nejčastěji se využívají metody bočního přísuvu do záběru, radiálního přísuvu do záběru, anebo střídavého přísuvu do záběru, viz Obr. 5. Jednotlivé metody výroby závitů mají přímý vliv na utváření třísky, životnost a způsob opotřebení břitové destičky, a také na výslednou kvalitu závitu. [4; 5]



Obr. 5: Metody soustružení závitů [4]; a) radiální přísuv; b) boční přísuv; c) boční přísuv s odklonem; d) střídavý přísuv.

Metoda bočního přísuvu je vhodná pro všechny typy břitových destiček. Její výhodou oproti metodě radiálního přísuvu je dobré tvarování třísky a její odvod z místa řezu, a také díky přenosu menšího množství tepla lze snížit počet potřebných průchodů. Tato metoda se zpravidla využívá pro závit se stoupáním větším než 1,5 mm. Metodu lze využít pro oba boky závitu, a tak lze orientovat směr vznikající třísky. Nevýhodou je u této metody vznikající nerovnoměrné opotřebení břitu. Pro odstranění vznikajícího tření mezi bokem profilu břitové destičky a závitem lze použít boční přísuv s odklonem, který bývá 2,5° až 5°. [4; 5]

Při radiálním přísuvu směřuje břitová destička kolmo k ose rotace obrobku. Pomocí této metody se obvykle zhotovují jemné závit a také závit, které mají stoupání do 1,5 mm. Výhoda této metody spočívá v rovnoměrném opotřebení obou hřbetních ploch břitové destičky. Nevýhodou je vznik tuhé, obtížně lámavé třísky do tvaru písmene V, které se špatně utváří. Další nevýhodou představuje tendence ke vzniku vibrací při soustružení závitů s větším stoupáním. [4; 5]

Střídavý přísuv je vhodné využít při obrábění závitů o větších stoupání, do materiálů, které vytváří dlouhou, obtížně tvářitelnou třísku. Výhodou je souměrné opotřebení obou břitů destičky [4].

1.2 Technologie vrtání

Technologie vrtání patří mezi metody obrábění, díky kterým lze vyrobít díry do plného materiálu, ale také slouží pro zvětšování průměrů děr již vyrobených v předchozí operaci. Hlavní pohyb u technologie vrtání je rotační. Při vrtání na vrtačkách ho koná nástroj, tedy vrták, ale při vrtání na soustruhu koná rotační pohyb obrobek. Vedlejší pohyb je posuvný a koná ho zpravidla vrták. Na trhu existuje velké množství druhů vrtáků, které se liší geometrií a konstrukcí. Každý druh vrtáku je vhodný pro zhotovení jiného druhu díry. Například pro navrtání polotovaru se využívají středící vrtáky. Pro výrobu krátkých děr a již předvyrobených děr lze použít šroubovitě vrtáky, ale také vrtáky kopinaté nebo vrtáky s VBD či s vyměnitelnou špičkou. Pro výrobu hlubokých děr, kdy délka díry dosahuje

minimálně desetinásobek průměru, se využívají vrtáky ejektorové, dělové, hlavňové, STS a BTA. Speciální konstrukce vrtáků mohou umožňovat současně více operací, například vystružování, závitování a následné zahloubení. Pro vrtání děr do plechu lze využít termální tvářecí vrták, který má podobu kuželového hrotu a je zhotoven ze slinutého karbidu. Díky této technologii lze v takto vzniklé díře zhotovit závit [4].

1.2.1 Řezné podmínky

Řezná rychlost při vrtání není podél celého hlavního ostří konstantní, ale klesá ve směru od vnějšího obvodu do středu vrtáku. Řezná rychlost má tedy největší velikost na jmenovitém průměru vrtáku a v ose vrtáku je řezná rychlost nulová. Výsledná rychlost řezného pohybu v_e se tedy skládá z řezné rychlosti v_c a posuvové rychlosti v_f . Výpočet výsledné řezné rychlosti a jejich složek lze stejně jako u soustružení vyjádřit dle následujících vztahů [3; 4]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.11)$$

$$v_f = f \cdot n \quad (1.12)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad (1.13)$$

Jelikož vrtáky bývají většinou vícebřité určuje se u nich tzv. posuv na zub f_z , dle následujícího vztahu [4]:

$$f_z = \frac{f}{z} \quad (1.14)$$

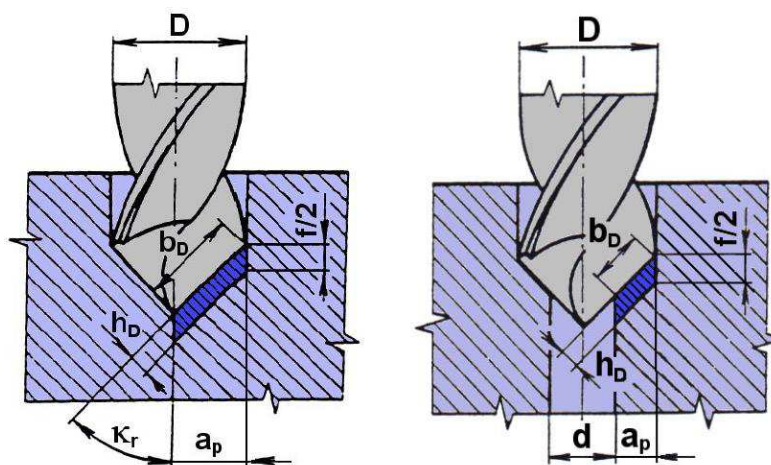
Pro rozbor průřezu třísky A_D při vrtání dvoubřítým nástrojem lze vycházet z Obr. 6. Pro jeden břit dvoubřitého vrtáku se jmenovitý průřez třísky vypočítá dle vztahu [4]:

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} \quad (1.15)$$

Při zhotovování díry do plného materiálu, kdy je šířka záběru ostří rovna polovině průměru vrtáku, je finální vztah pro výpočet průřezu třísky odebíraného jedním břitem dle (1.16). Pro zvětšování průměru již existující díry platí vztah (1.17) [4].

$$A_D = \frac{D \cdot f}{4} \quad (1.16)$$

$$A_D = \frac{(D - d) \cdot f}{4} \quad (1.17)$$

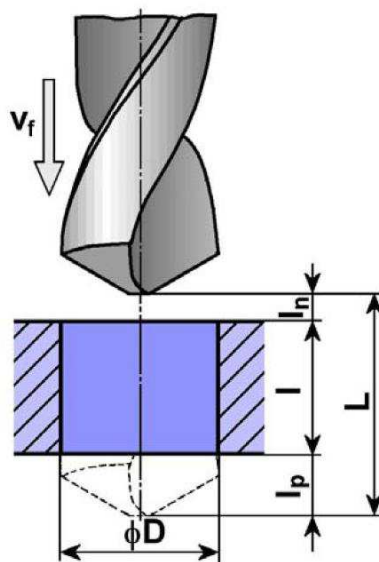


Obr. 6: Rozbor průřezu třísky při vrtání dvoubřítým nástrojem [4].

1.2.2 Výpočet jednotkového strojního času

Výpočet jednotkového strojního času pro vrtací operace je možné odvodit z Obr. 7 [4]:

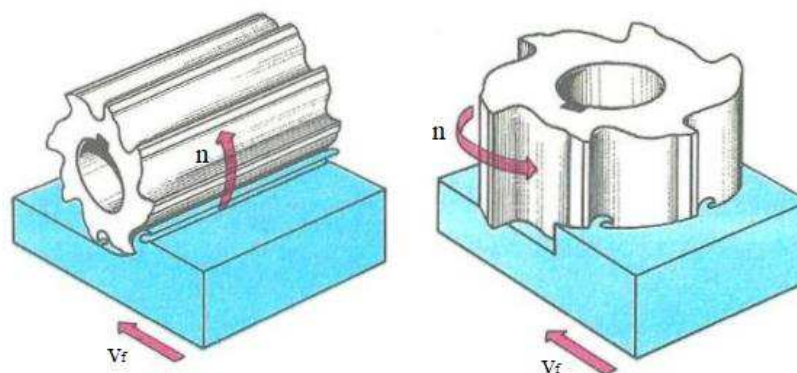
$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + L + l_p}{n \cdot f} \quad (1.18)$$



Obr. 7: Výpočet jednotkového strojního času pro vrtací operace [4].

1.3 Technologie frézování

Technologie frézování se využívá pro obrábění rovinných, ale i zakřivených ploch pomocí rotujícího, většinou vícebřitého nástroje, tedy frézy. Hlavní rotační pohyb koná nástroj, vedlejší pohyb bývá většinou posuvný, ale může být i rotační. Vedlejší pohyb může vykonávat jak nástroj, tak i obrobek. Velkou výhodou při frézování je vznik přerušované třísky, která ovšem nemá po celé délce konstantní tloušťku. Podle použitého nástroje lze frézování dělit na dva základní způsoby, a to na válcové a čelní. Oba způsoby zobrazuje Obr. 8. Při válcovém frézování se řezání třísky realizuje pomocí obvodu nástroje. Při čelním frézování probíhá řezání třísky jak čelem nástroje, tak i jeho obvodem. K výše zmíněným základním druhům lze ještě zařadit planetové frézování a frézování okružní, které z nich vychází. [1; 2]

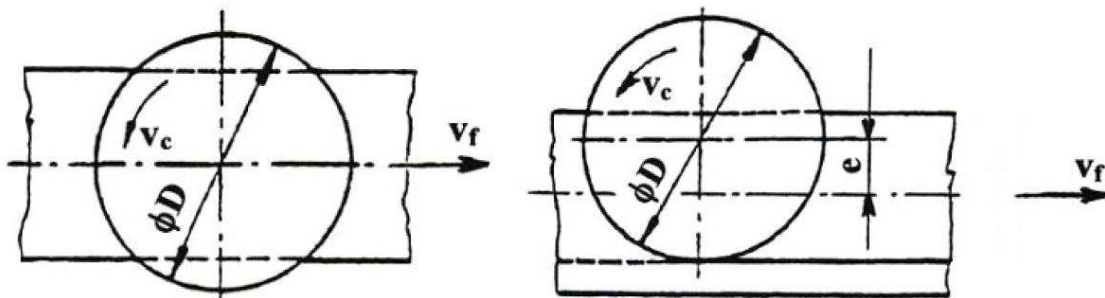


Obr. 8: Druhy frézování [23]: válcové (vlevo); čelní (vpravo).

Dále se frézování rozlišuje dle kinematiky na sousledné a nesousledné. V případě sousledného frézování se shoduje orientace rotačního pohybu frézy se směrem posuvu obrobku. Mezi výhody tohoto způsobu frézování patří vhodné orientování řezných sil, které například při válcovém frézování působí směrem dolů proti pracovnímu stolu stroje, a nejsou zde tedy zvýšené nároky na upínání jako při nesousledném frézování. Další výhodou z hlediska dokončovacího frézování spočívá v tom, že největší tloušťka třísky se tvoří na začátku řezu, při kontaktu s výsledným povrchem zub frézy již vystupuje ze záběru. Takto lze dosahovat lepších parametrů drsnosti než při nesousledném frézování. Dále obecně platí, že při sousledném frézování má proces menší tendenci ke vzniku výrazného kmitání, dá se tak využít vyšších hodnot posuvů a řezné rychlosti. U nesousledného frézování je orientace rotačního pohybu frézy opačná vůči směru posuvu obrobku. Zde tloušťka třísky postupně nabývá z nulové hodnoty na maximální hodnotu, kde při jejím oddělování od obrobku vznikají nežádoucí silové a deformační účinky, jež zvyšují opotřebení bříty nástroje. Výhodou spočívá v tom, že trvanlivost nástrojového vybavení neovlivňuje povrch obrobku, na němž se například mohou vyskytovat okraje. Při nesousledném frézování vzniká složka řezné síly, způsobující nežádoucí odtahování obrobku od pracovního stolu [2; 3].

Při válcovém frézování se využívá zejména válcových nebo tvarových fréz s umístěnými zuby výhradně po obvodu nástroje. Osa rotujícího nástroje je rovnoběžná s výslednou obrobekovou plochou. Při čelním frézování se užívá pouze čelních fréz, na kterých jsou břity umístěny jak na čele, tak i po obvodu frézy. Čelní frézování se dělí na symetrické, kdy se osa frézy pohybuje pouze na středové ose obráběné plochy, a na nesymetrické,

zde se osa frézy pohybuje mimo středovou osu obráběné plochy, viz Obr. 9. Při čelním frézování může fréza pracovat zároveň sousledně i nesousledně [2].



Obr. 9: Čelní frézování [2]: symetrické (vlevo); nesymetrické (vpravo).

1.3.1 Řezné podmínky

Pro řízení procesu frézování se využívá řezné rychlosti, která se uvažuje ve své maximální hodnotě, a to tedy na obvodovém průměru nástroje a je možné ji vypočítat podle vztahu 1.19. Posuvový pohyb se vyjadřuje pomocí posuvu na zub f_z vymezující délku dráhy vykonanou obrobkem za dobu, kdy se nachází daný zub v záběru. Posuvový pohyb lze také vyjádřit posuvem na otáčku f , který opět vyjadřuje délku dráhy vykonanou obrobkem, ale v tomto případě za jednu otáčku frézy kolem své osy. Posuv na otáčku lze vypočítat pomocí součinu posuvu na zub a počtu zubů frézy dle vztahu 1.20. V některých případech je nutné znát i samotnou posuvovou rychlost, kterou je možno získat dle vztahu 1.21. [2; 3]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.19)$$

$$f = f_z \cdot z \quad (1.20)$$

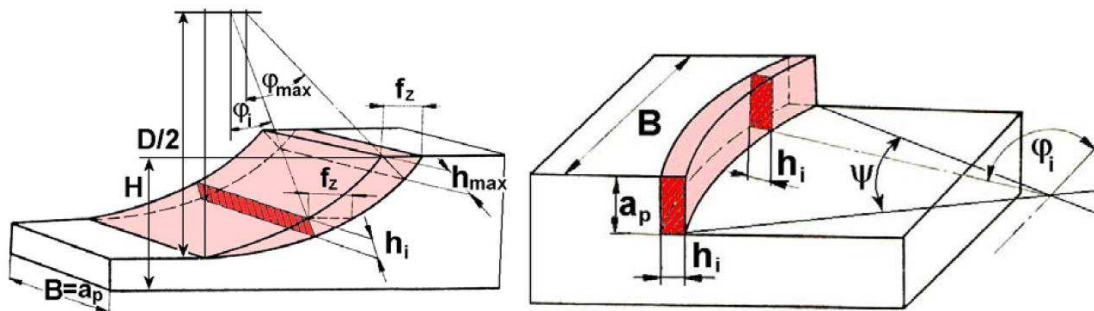
$$v_f = f \cdot n \quad (1.21)$$

Jak již bylo zmíněno výše, při frézování nemá vznikající tříska konstantní tloušťku a je tedy nutné jmenovitý průřez třísky odvodit. Rozbor pro odvození jmenovitého průřezu třísky pro válcové frézování znázorňuje Obr. 10 (vlevo) a pro čelní frézování Obr. 10 (vpravo). V případě válcového frézování platí pro výpočet tloušťky třísky vztah 1.22, zohledňující posuvový pohyb jako úhel posuvového pohybu φ_i . Pro výsledný jmenovitý průřez třísky na zubu frézy i poté platí vztah 1.23. [2; 3]

$$h_i = f_z \cdot \sin \varphi_i \quad (1.22)$$

$$A_{Di} = a_p \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \quad (1.23)$$

Při čelním frézování má na tloušťku třísky navíc účinek ještě úhel nastavení hlavního ostří κ_r , její hodnota v daném místě řezu se vypočítá dle vztahu 1.24. Při výpočtu šířky třísky b je také nutné zohlednit úhel nastavení hlavního ostří podle vztahu 1.25. Pro výpočet jmenovitého průřezu třísky A_{Di} při $\kappa_r = 90^\circ$ v případě čelního frézování poté platí vztah 1.26. [2; 3]



Obr. 10: Rozbor jmenovitého průřezu třísky pro válcové frézování (vlevo) a čelní frézování (vpravo) [2].

$$h_i = f_z \cdot \sin \varphi_i \cdot \sin \kappa_i \quad (1.24)$$

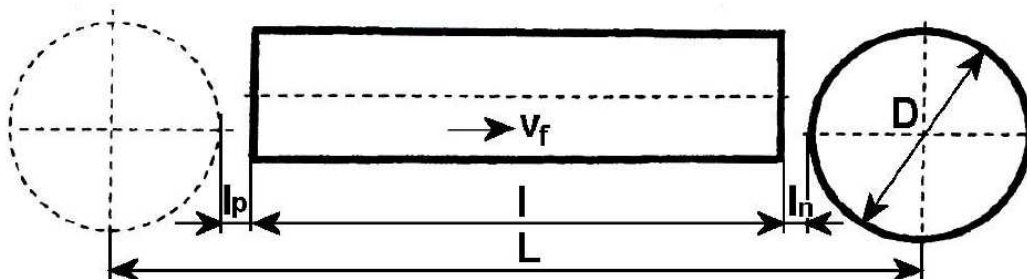
$$b = \frac{a_p}{\sin \kappa_i} \quad (1.25)$$

$$A_{Di} = b \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \quad (1.26)$$

1.3.2 Výpočet jednotkového strojního času

Jednotkový strojní čas při frézovacích operacích lze vyjádřit například na základě Obr. 11, výsledný vztah tedy bude mít následující podobu [2]:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \quad (1.27)$$

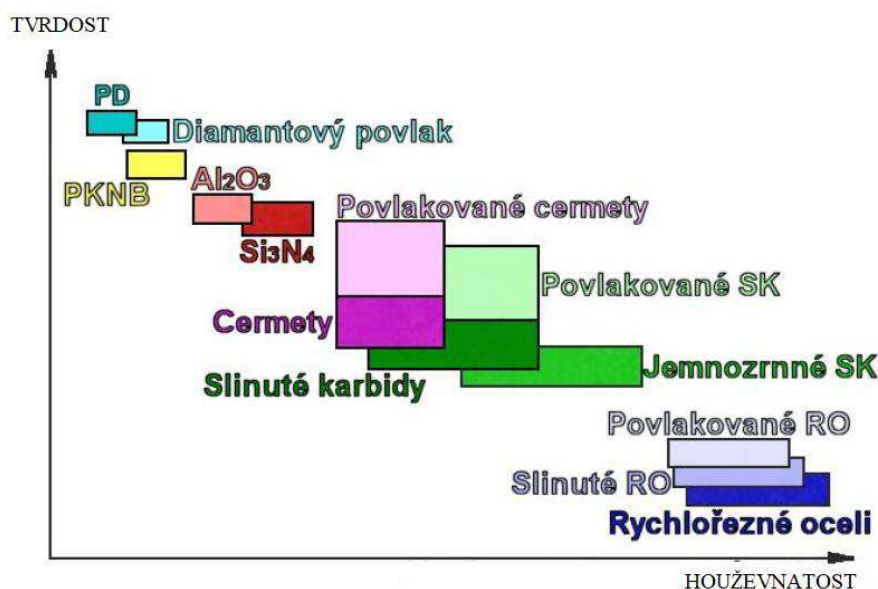


Obr. 11: Výpočet jednotkového strojního času pro frézovací operace [2].

1.4 Nástrojové materiály

Při návrhu obráběcí operace je výběr nástroje, respektive jeho materiál, jedním z nejdůležitějších faktorů, které je nutné zvážit. Ideální řezný materiál by měl být dostatečně tvrdý tak, aby nedocházelo k nežádoucí plastické deformaci a opotřebení, ale také zároveň houževnatý proti zamezení vzniku celkového lomu. Taktéž musí být dostatečně chemicky a teplotně stabilní. Jak lze vidět na Obr. 12, v současné době neexistuje žádný univerzální nástrojový materiál, který by byl vhodný pro každý obráběný materiál, a je tedy nutné pečlivě zvažovat jejich klady a zápory pro praktickou aplikaci. [3; 6]

Volbu nástrojového materiálu je nutné přizpůsobit tvaru a rozměrům obrobku, také jeho materiálu a způsobu zpracování polotovaru. Důležitá vlastnost je i odolnost nástrojového materiálu vůči opotřebení, na které má vliv také typ řezu a procesní kapalina. Je výhodnější, pokud je řez plynulý, jelikož při přerušovaném řezu vznikají nežádoucí rázy, které mohou vést k náhlému lomu části nástroje. Mezi další proměnné, které je nutné do výběru nástrojového materiálu zohlednit, patří druh a stav obráběcího stroje, kvalita výsledné obrobene plochy a velikost objemu výroby [3].



Obr. 12: Nástrojové materiály, převzato z [2].

1.4.1 Nástrojové oceli

Uhlíkové nástrojové oceli se v současné době již tolik nepoužívají, jelikož lze u nich využívat pouze malé a dnes již nedostačující řezné rychlosti. Uhlíkové nástrojové oceli jsou levné, jelikož obsahují pouze malé množství legujících prvků, méně než 1 % při obsahu uhlíku 0,3 – 1,6 %. Stále je lze využít pro některé aplikace při obrábění neželezných kovů. Legované nástrojové oceli o obsahu legur 10 až 15 % lze využít pro frézy, protahovací trny nebo vrtáky, při kterých se využívají nízké řezné rychlosti do 25 m.min⁻¹. [3; 7]

Rychlořezné nástrojové oceli mají obsah legujících prvků více než 30 %, zejména tedy wolframu, molybdenu, chromu, vanadu a kobaltu. Díky tomu lze při jejich charakteristickém způsobu kalení dosáhnout tvrdosti až 68 HRC. Dále mají relativně dobrou odolnost vůči teplotě až do 650 °C. Výhodou je i možnost několikanásobného přestření, které

ale při použití povlaku nemá již takový význam. V současné době se rychlořezné nástrojové oceli využívají pro strojní nástroje, u kterých se využívají řezné rychlosti až do $50 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. [3; 7]

1.4.2 Slinuté karbidy

V současné době jsou nejpoužívanějším řezným materiálem pro obrábění oceli slinuté karbidy. Pro jejich výrobu se využívá technologie práškové metalurgie. Karbidy titanu, wolframu nebo molybdenu jsou spojeny pomocí kobaltu, který slouží jako pojivo. Karbidové nástroje mají vysokou tvrdost, díky čemuž jsou odolné vůči otěru. Jejich vlastnosti lze ještě zlepšit při použití povlaku. Při obrábění lze tak využívat řezné rychlosti v řádech nižších stovek metrů za minutu. Jejich výhodou je také odolnost vůči teplotě do $1\,000 \text{ }^\circ\text{C}$ [7].

Jak již bylo zmíněno výše, pro zlepšení vlastností nástrojů ze slinutých karbidů se využívají povlaky. Dnes se povlaky využívají pro 80 až 90 % nástrojů ze slinutých karbidů. Je to způsobeno tím, že takto upravený nástroj s povlakem má velmi dobrou kombinaci houževnatosti a odolnosti vůči opotřebení. V současné době se využívají CVD a PVD povlaky. CVD povlak vzniká pomocí chemické depozice z plynné fáze při teplotách od 700 do $1\,050 \text{ }^\circ\text{C}$. Výhodou těchto povlaků je vysoká odolnost proti otěru a dobrá adhezní přilnavost ke slinutým karbidům. Využívají se zejména pro nástroje k soustružení a vyvrtávání. PVD povlaky se nanášejí pomocí odpaření z pevné fáze. Výhodou je, že oproti přechodnému typu povlaků, k tomu dochází při nižších teplotách od 400 do $600 \text{ }^\circ\text{C}$. Nástroje s PVD povlakem se využívají pro monolitní karbidové vrtáky a frézy a také pro další nástroje a vyměnitelné břitové destičky pro frézování, zapichování a řezání závitu [6].

1.4.3 Řezná keramika a cermety

Řezná keramika má velmi dobrou odolnost vůči otěru i při vysokých řezných rychlostech. Taktéž je chemicky stálá a odolná proti korozi. Jejich vysoká teplotní odolnost, až do $1\,200 \text{ }^\circ\text{C}$, se využívá například při obrábění kalených materiálů. Jelikož mají nízkou tepelnou vodivost, nepoužívá se procesní kapalina, aby nedocházelo k velkým změnám teplot, což by mohlo vést k lomu nástroje [7].

Cermety kombinují vlastnosti řezné keramiky a oceli, přesněji tedy vysokou tvrdost keramických materiálů a houževnatost ocelových materiálů. Cermety se skládají z karbidů, nitridů nebo karbonitridů titanu a niklového či niklo-kobaltového pojiva. Mají vysokou chemickou stálost a také odolnost vůči difúzi. Využívají se zejména pro dokončovací operace, při kterých se používají vysoké řezné rychlosti a malé průřezy třísek [3].

1.4.4 Super-tvrdé nástrojové materiály

Mezi tuto skupinu řezných materiálů se řadí polykrystalický nitrid bóru a polykrystalický diamant. Tyto materiály mají vysokou tvrdost a jsou tedy velmi odolné vůči otěru. Jsou však málo houževnaté a také velmi drahé. Využívají se proto pouze pro speciální aplikace [7].

Polykrystalický diamant je nejtvrdějším nástrojovým materiálem. Kromě výborné odolnosti vůči otěru má také nízký koeficient tření a nízkou tepelnou roztažnost. Používá se tedy

při obrábění karbidů, nitridů anebo skla. Nevhodný je pro obrábění oceli, jelikož jsou oba materiály chemicky příbuzné a při zvýšené teplotě by docházelo k difúzi uhlíku mezi materiály. Oproti tomu polykrystalický nitrid bóru je při kontaktu s ocelí nebo jinými kovy stabilní i při vysoké teplotě. Využívá se tedy pro obrábění kalených materiálů. Taktéž je jeho výhodou výsledný povrch, který již není nutné dále dokončovat broušením. [3; 7]

1.5 Obrobitelnost korozivzdorných ocelí

Při návrhu obráběcí technologie představuje obrobitelnost materiálu jednu z nejdůležitějších vlastností materiálu, kterou je nutné vzít v potaz. Obrobitelnost značí schopnost materiálu být zpracován některou z obráběcích technologií. Stupeň obrobitelnosti má poté přímý vliv na funkci nástroje a volbu řezných parametrů. Obrobitelnost je komplexní vlastnost materiálu, která závisí na mnoha faktorech, jako jsou chemickém složení a mikrostruktura materiálu, metoda obrábění, řezné podmínky, řezné prostředí, geometrie nástroje, a také na fyzikálních a mechanických vlastnostech materiálu. Jednou z hlavních fyzikálních vlastností materiálu je tepelná vodivost, která ovlivňuje rychlost odvodu tepla z místa řezu, a tím tedy celkovou teplotu procesu obrábění. Mechanické vlastnosti jako pevnost, tvrdost a houževnatost materiálu mají také velký vliv na obrobitelnost. S rostoucími hodnotami těchto mechanických vlastností materiálu klesá jeho obrobitelnost. [3; 8]

Obrobitelnost korozivzdorných ocelí je velmi rozdílná v závislosti na obsahu legujících prvků, metodě výroby a tepelném zpracování. Mezi nejčastější legující prvky korozivzdorných ocelí patří chrom, nikl, molybden, mangan, vanad a kobalt. Jedná se o prvky, které zpravidla zvyšují pevnost a tvrdost výsledné oceli, což způsobuje zhoršení obrobitelnosti. Například nikl naopak zvyšuje houževnatost oceli, která ale také přispívá k dalšímu zhoršení obrobitelnosti [3].

1.6 Technologie omílání

Technologie omílání je metoda dokončování povrchu obrobků, kterou lze zařadit téměř po všech výrobních technologiích. Například pro zbavení okují po tepelném tváření nebo odstranění otřepů po obrábění. Dále se tato technologie používá pro zaoblování hran, broušení, leštění a hlazení povrchu a po přidání kompaundu umožňuje také chemicky odmašťovat, mořit a čistit. Výsledky technologie omílání na různých součástech ilustruje Obr. 13. Při správné volbě typu stroje je možné tuto technologii zařadit jak do prototypové a malosériové výroby, tak i díky případné automatizaci lze tuto technologii použít pro velkosériové a hromadné výroby. Díky tomu je využitelná téměř ve všech odvětvích strojírenské průmyslu, ale i mimo něj. Při některých aplikacích, např. zaoblování hran a leštění, je možné touto technologií nahradit drahou ruční práci, a to minimálně ve stejné kvalitě, mnohdy dokonce i vyšší. Také umožňuje provést zaoblení hrany i v těžko dostupných místech součástí, například v dutinách vzniklých po vrtání. [9; 10; 11; 12]

Stroje sloužící k omílání nejčastěji pracují na vibračním, odstředivém nebo rotačním principu. Do pracovního prostoru jsou umístěny obrobky spolu s broušícími tělísky a případně kompaundem pro dosažení požadovaných parametrů. Pro správnou volbu omílacích tělísek, kompaundu a stroje je nutné vzít v potaz rozměry, tvarovou náročnost a velikost výrobní dávky dané součásti [13].

Dle použité omílací technologie může proces trvat od několika minut až po desítky hodin. Omílání výrazně zlepšuje parametry drsnosti, běžně lze dosáhnout parametru $R_a = 0,1$ až $0,4 \mu\text{m}$. Ale například při leštění náhrad kolenního kloubu dosahuje drsnost až $R_a = 0,01 \mu\text{m}$. Zde je vyžadováno co nejmenších parametrů drsnosti, aby nedocházelo při pohybu k vysokému nežádoucímu tření a tím ke vzniku částic, které by se mohly dále šířit do těla pacienta. [12; 14]



Obr. 13: Vliv technologie omílání na různé součásti (součást vlevo z dvojice je před omíláním, součást vpravo je po omílání) [14].

1.6.1 Omílací tělíska a kompaund

Jednotlivé typy omílacích tělísek se liší tvarem, velikostí i materiálem. Volba těchto parametrů závisí na tvaru a velikosti omílané součásti a také na parametru, jehož je třeba omílací technologií nutno dosáhnout. Například při použití větší velikosti omílacího tělíska je možné dosáhnout vyššího abrazivního účinku, naopak při použití omílacích tělísek o menší velikosti lze dosáhnout lepších parametrů drsnosti. Omílací tělíska mohou být z přírodních materiálů, mezi něž patří žula, kůže, dřevěné piliny, skořápky od ořechů nebo i slupky od luštěnin. Ale také mohou být z umělých materiálů, jakou jsou například měď, plast, ocel, karbid křemíku, oxid hlinitý. Tělíska se zhotovují do různých tvarů, například do kuliček, válečků, jehliček, kuželů, ale i do složitějších tvarů, viz Obr. 14. [9; 10; 11]

Kompaund slouží ke zvýšení požadovaných vlastností procesu omílání, například k dosažení vyššího lesku, ale také i k odmaštění. Kompaund bývá v prášku nebo v kapalné podobě smíchán s vodou a poté přidán do procesu omílání. Díky přidání kompaundu lze odstranit pevné částice z povrchu obrobku nebo také ošetřit součást proti oxidaci po ukončení operace. Nejdůležitější vlastností je zvýšení účinnosti procesu omílání díky vytvoření přechodové vrstvy mezi abrazivem a součástí, podobně jako u ostatních procesů obrábění. Kompaund je nutné před použitím smíchat ve správném poměru s vodou [10]



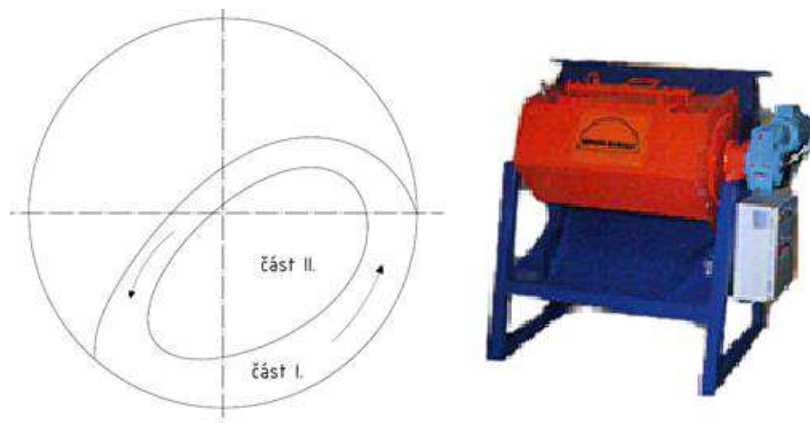
Obr. 14: Typy tvarů omílacích tělísek [16].

1.6.2 Druhy zařízení

Omílací stroje slouží k převedení energie z motoru na omílací účinek pro dosažení požadovaných vlastností povrchu součástí. Pro tento přenos existuje několik konstrukčních řešení omílacích strojů.

Rotační omílání

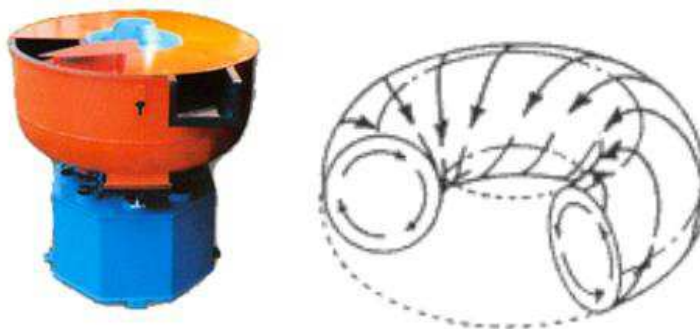
Při tomto způsobu konstrukce je přenos energie z motoru na omílací komoru realizován pomocí převodovky nebo řemene. Samotná omílací komora může být zhotovena do tvaru kuželu, kružnice, šestihranu nebo osmihranu a její vnitřní část pokrývá plast nebo pryž, pro snížení vibrací a hluku způsobeném převalováním obrobků a tělísek v komoře. Při tomto postupu omílání je velmi důležité naplnění komory omílacími tělísky a samotnými součástmi, které by se mělo pohybovat v ideálním případě mezi 50 % až 60 % z objemu komory. Vysoká produktivita této metody je tedy ideální pro velkosériové a hromadné výroby. Příklad rotačního omílacího stroje lze vidět na Obr. 15 (vpravo). V průběhu rotace se rotující masa rozdělí na dvě části, na část vnější I a část vnitřní II, jak lze vidět na obr. 15 (vlevo). Vnější část I má tvar prstence, součásti se v ní pohybují po stěně bubny, ve směru rotace, do okamžiku, kdy na ně začne dominantně působit gravitační síla a součásti začnou přepadávat dolů po vnitřní části II, poté dochází k částečnému míšení prstencové části I s vnitřní částí II. [9; 10; 15]



Obr. 15: Princip rotačního omílání (vlevo), převzato z [15]; rotační omílací stroj (vpravo) [16].

Vibrační omílání

Tato metoda využívá pro proces omílání vibrace. Při této metodě se dosahuje zpravidla vyššího výkonu než při rotačním omíláním. Ve většině případů bývá k pracovní komoře připojen, v její spodní části, speciální vibrační elektromotor, který generuje vibrace. Generování vibrací je způsobeno excentrickým závažím připevněným na hřídel elektromotoru. Excentrické závaží lze dle potřeby přestavovat a tím měnit amplitudu kmitů, tedy intenzitu procesu omílání. Dále je omílací komora spojena s podstavcem přes soustavu pružin, díky kterým se zamezuje nežádoucímu šíření vibrací dále do soustavy. Jeden z typů těchto strojů je možno vidět na Obr. 16 (vlevo). Schéma principu pohybu omílacích tělísek a omílaných součástí lze vidět na Obr. 16 (vpravo). [10; 11]

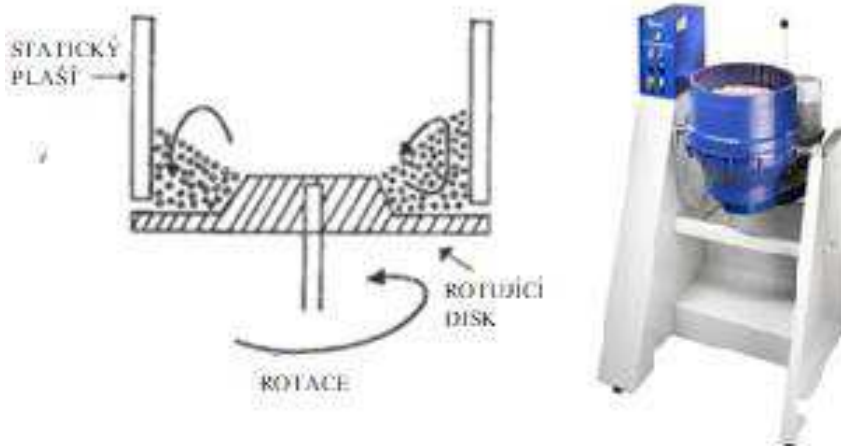


Obr. 16: Vibrační omílací stroj (vlevo) [16]; schéma principu vibračního omílání (vpravo) [10].

Diskové odstředivé omílání

Tato konstrukce omílacího stroje kombinuje výhody vibračního způsobu omílání, tedy složený spirálový pohyb omílací hmoty, viz Obr. 16 (vpravo). A navíc díky relativně vysokým otáčkám disku dochází k silnější odstředivé síle, která způsobuje snížení potřebné doby omílání. Tato metoda tedy může dosahovat až 20krát vyšší účinnosti než vibrační metoda omílání, využívá se pro rozměrem menší díly ve velkém množství. Stroj pro diskové omílání je možno vidět na Obr. 17 (vpravo). Pracovní prostor strojů pro diskové odstředování tvoří pevný, statický plášť a rotující disk, který se nachází na dně pracovního prostoru, viz Obr. 17 (vlevo). Energie je přenášena z motoru na rotační disk pomocí

převodovky. Rotování disku způsobuje pohyb masy omílacích tělísek a obrobků, které se hromadí v blízkosti pláště, díky působení odstředivé síly. Součásti a tělíska jsou působením odstředivé síly vytlačována postupně směrem vzhůru podél pláště pracovní komory až do bodu, kde mají nulovou kinetickou energii. Zde na ně začíná působit gravitační síla a tato tělíska a obrobky se vrací zpět ke středu rotujícího disku. [10; 11; 14]



Obr. 17: Schéma principu diskového odstředování (vlevo) [10]; Stroj pro diskové odstředivé omílání (vpravo) [14].

Vlečné omílání

Pro obrobky větších rozměrů, hmotností, vyšší ceny nebo při objemech výrobní dávky v řádech kusů se využívá vlečného omílání. Jedná se o velmi šetrnou metodu omílání, při které obrobky nejsou ve vzájemném kontaktu, a proto se využívá i pro omílání drahých výrobků. Jedná se i o efektivní metodu, účinnost může být až 40krát vyšší než při vibračním omílání, anebo až 4krát vyšší než při odstředivém omílání. Stroj pro vlečné omílání lze vidět na Obr. 18 (vpravo). Před začátkem samotného procesu vlečného omílání se obrobky individuálně upnou do speciálních držáků, které jsou umístěny na rotačním karuselu. Obrobky při procesu omílání rotují kolem své osy a zároveň rotuje i karusel, pohybují se tedy planetovým pohybem. Pro zvýšení počtu omílaných kusů se u určitých typů konstrukce mezi držák obrobku a karusel umístí rotační disk, jak lze vidět na obr. 18 (vlevo). Díky tomuto konají obrobky první rotační pohyb kolem osy disku. Disky jsou následně spojeny s karuselem, který koná druhý rotační pohyb kolem své osy. Samotné obrobky již kolem své osy nerotují. Nádoba je naplněna příslušnými omílacími tělíska dle požadovaného výsledku. Díky dostatečně vysoké rychlosti při rotování vzniká přítlačný tlak mezi obrobkem a omílacím médiem, kterým lze dosáhnout požadovaných výsledků ve velmi výhodném čase. [11; 12]



Obr. 18: Schéma vlečného omílání (vlevo) [17]; stroj pro vlečné omílání (vpravo) [14].

1.7 Technologie odmašťování

Pomocí odmašťování lze chemicky, respektive elektrochemicky, upravovat a čistit povrch materiálů od různých druhů nečistot, které se na povrch materiálu dostaly při jednotlivých výrobních operacích, například zbytky řezného oleje po obrábění. Tyto nečistoty jsou s povrchem spojovány pomocí fyzikální absorpce, anebo pomocí adhezních sil. Pomocí odmašťování se tyto nečistoty svážou do roztoku nebo emulze, dle použité technologie, a dále již na povrch součásti nepřilnou. [15; 18; 19]

1.7.1 Odmašťování pomocí alkalických roztoků

Při přípravě alkalického roztoku pro pracovní podmínky je nutné nejprve smíchat daný alkalický odmašťovací prostředek s destilovanou nebo měkkou vodou na potřebnou koncentraci, poté se takto připravený roztok zahřeje na pracovní teplotu. V roztoku dochází k odpařování vody a je tedy nutné tento úbytek v průběhu procesu kompenzovat. Ovšem je také nutné postupně přidávat i odmašťovací prostředek, neboť v důsledku chemické reakce dochází k jeho spotřebě a je nutné udržovat správnou koncentraci roztoku. Jako alkalické odmašťovací prostředky se využívají louhy, křemičitany, fosforečnany, uhličitany nebo soda a další emulgátory či povrchově aktivní látky. [15; 18]

Při odmašťování živočišných nebo rostlinných tuků dochází k působení alkalického prostředí na povrch, na kterém ulpěly kyselé mastnoty, dochází k neutralizaci kyselin a jejich uvolnění do roztoku v podobě rozpustných mýdel. Pomocí těchto povrchově aktivních mýdel dochází k výhodnému jevu pro odmašťování, a to ke snižování povrchového napětí mezi kyselou mastnotou a alkalickým roztokem. Při odmašťování minerálních mastnot, jako jsou vazelíny, vosky či oleje, nedochází ke zmydelňování mastnot, což činí proces odmašťování obtížnější. Aby došlo k odmaštění povrchu součásti, je nutné odmašťovací roztok zahřát. Při zvýšené teplotě dochází k emulgování minerálních mastnot v podobě velmi malých kapiček do odmašťovacího roztoku. [15; 19]

Technologie odmašťování pomocí alkalických roztoků patří mezi ty nejlevnější metody odmašťování a výhoda spočívá i ve snadné automatizaci. Ve srovnání s organickými rozpouštědly umožňuje tato metoda odstranit a odmastit i tuhé látky. Velkou výhodou představuje i z hlediska bezpečnosti. Alkalické roztoky jsou méně hygienicky závadné než

některá organická rozpouštědla, a také jsou nehořlavé. Omezení spočívá při odmašťování tvarově složitějších součástí, kde by nedocházelo ke kvalitnímu oplachu. Nízká efektivita se projevuje i při odstraňování tlustých vrstev mastnoty [18].

1.7.2 Odmašťování pomocí organických rozpouštědel

Jedná se o rychlý, levný a jednoduchý způsob odmašťování s velmi vysokým odmašťovacím účinkem. Využívají se výhradně tam, kde nelze využít alkalické roztoky jako například při odmašťování některých barevných kovů. Mezi organická rozpouštědla se řadí petrolej, nafta, benzín a také chlorované uhlovodíky, jako trichlorethylen, perchlorethylen. Odmašťování petrolejem slouží zpravidla pro hrubé odmaštění olejů a tuků v silných vrstvách, jelikož nechává na povrchu součásti slabou vrstvu mastnoty, naopak trichlorethylen lze využít i pro finální důkladné odmaštění. Nevýhodou této metody odmašťování je, že organická rozpouštědla, jako benzín, petrolej či nafta, jsou hořlavé, což prodlužuje následnou dobu zasychání, jelikož není možné použít operaci sušení a je také nutné dbát zvýšené bezpečnosti. Chlorované uhlovodíky jsou sice nehořlavé, ale mají narkotizační účinky a při působení tepla a světla dochází k jejich rozkladu za vzniku chlorovodíku, který zapříčiňuje nežádoucí korozi. Tomuto lze předejít pravidelnou kontrolou pH a přidáním tzv. stabilizátorů rozkladu. Další nevýhodou je komplikovanější likvidace použitých látek. [15; 18; 19]

1.7.3 Elektrolytické odmašťování

Elektrolytické odmašťování lze využít v případech, kdy je požadována velmi vysoká čistota součástí, například před galvanickým pokovením. Při této metodě dochází k odmašťování a čištění součástí stejným mechanismem jako při odmašťování alkalickými roztoky, ale navíc díky průchodu stejnosměrného proudu lázní dochází k disociaci látek. Toto se projevuje vznikem plynů na elektrodách, které ruší adhezní síly, jimiž jsou vázány nečistoty na povrch součástí. Dle metody zapojení se elektrolytické odmašťování dělí na katodické, anodické anebo katodicko-anodické. [15; 19]

Při katodickém způsobu odmašťování je daná součást považována za katodu. Proces odmašťování je intenzivnější než při anodickém způsobu zapojení. Díky mechanickému přerušování vazeb mastnoty s povrchem součásti a také, díky působení hydroxidu, vznikajícího slučováním vodíku a alkalického kovu, které se vylučují na katodě. Nevýhoda při tomto způsobu zapojení spočívá v tom, že se povrch součásti nasycuje vodíkem, což způsobuje vodíkovou křehkost. Při anodickém odmašťování se upevňuje součást na anodu, dochází k rozpouštění dané součásti a vylučování kyslíku. Bublínky kyslíku opět způsobují odtrhávání mastnot od součásti. Nejvýhodnější a neúčinnější metodou je kombinována metoda katodicko-anodického odmašťování, při kterém se součást střídavě přemísťuje mezi katodou a anodou. Tato metoda kombinuje výhodné vlastnosti obou připojení. Při katodickém zapojení probíhá intenzivněji proces odmašťování a při anodickém zapojení dochází k rozpouštění vzniklých nečistot a k naleptání povrchu součásti. Naleptání povrchu součásti může být výhodné například při nanášení kovového povlaku, kdy se tímto zlepší přilnavost povrchu. [15; 19]

1.7.4 Další metody technologie odmašťování

Další metodou, jak lze provádět odmašťování, představuje technologie odmašťování pomocí emulzních roztoků. Tuto metodu odmašťování lze provádět máčením, postřikem nebo natíráním pomocí směsi organického rozpouštědla s emulgátorem a vodou, a dalšími látkami pro zlepšení procesu, mezi něž patří alkálie, smáčedla a inhibitory. Díky emulgačnímu prostředku dochází k rozpuštění mastnoty. Poté lze pomocí emulgátoru mastnoty odstranit oplachem vody v podobě vodné emulze. Tato metoda odmašťování je velmi účinná a lze díky ní čistit i povrchy se silnou mastnotou. Ale složitá likvidace takto vzniklých odpadních vod znamená velkou nevýhodu. [15; 19]

Metodou vysokotlakého kapalinného odmašťování dochází k odstranění mastnot pomocí proudu vody pod vysokým tlakem až 60 MPa. Do vody je možné přidat příslušné inhibitory, které zlepšují proces odmašťování. Jedná se velmi účinnou metodu odmašťování, vhodnou i pro odmašťování velkých ploch. Další výhodou je menší náročnost čištění odpadních vod než u některých ostatních metod. Za nevýhodu lze považovat vysokou cenu samotného strojního zařízení. [15]

Odmašťování pomocí ultrazvuku spočívá v přivedení ultrazvukového vlnění do odmašťovací lázně, tím se zvyšuje účinnost procesu odmašťování a zkracuje se tak jeho doba trvání. Tato metoda lze využít pro tvarově složitější součásti. Působením ultrazvukových vln dochází ke zředování a zhušťování kapaliny v lázni, což vede k velkým rozdílům tlaku. Ty poté způsobují vznik mikroskopických kavitačních bublinek, které při zániku implodují. Implózie vzniká rázová vlna, odstraňující nečistoty z povrchu součásti. [19]

K likvidaci mastnot lze použít i opalování. Tato metoda spočívá v zahřátí součásti na potřebnou teplotu od 300 °C do 700 °C, kdy se mastnoty spálí. Na součásti ale vznikají nežádoucí oxidické vrstvy, které se musí následně odstranit otryskáním nebo mořením. [15]

2 ROZBOR STÁVAJÍCÍHO TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY

Tato kapitola bude zaměřena na popis stávajícího technologického postupu výroby zadané součásti, který lze vidět v Tab. 1.

Tab. 1: Stávající technologický postup výroby.

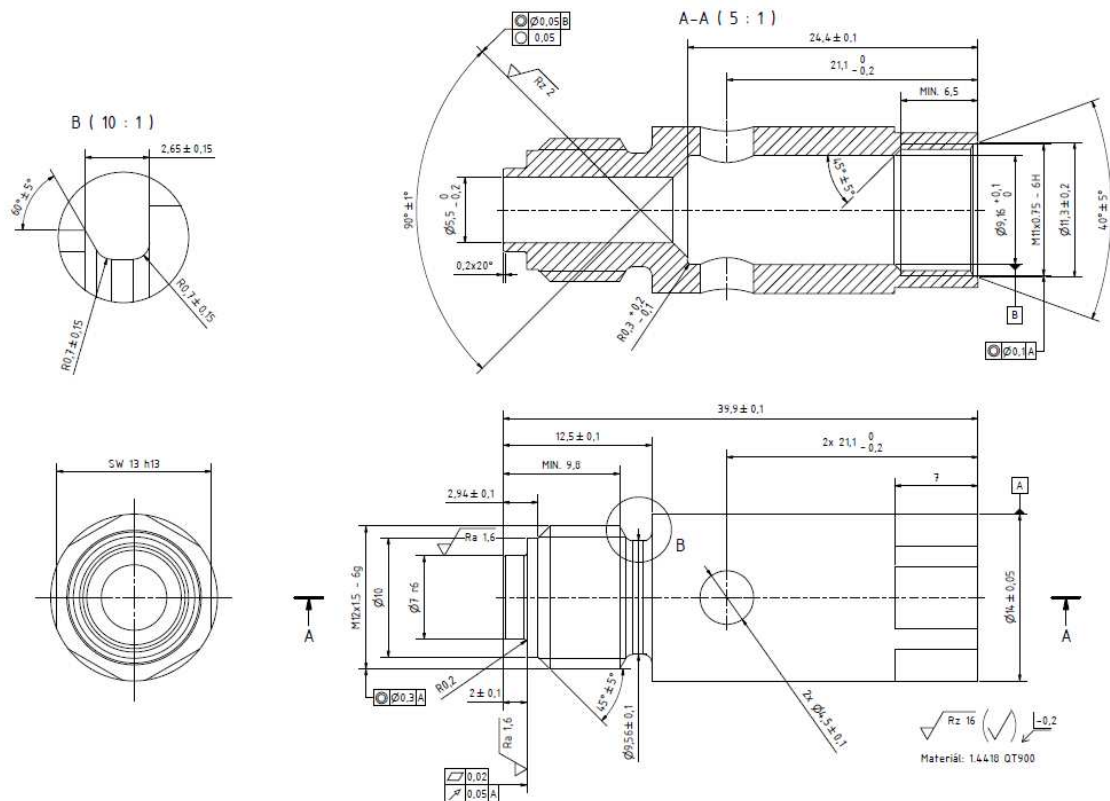
Číslo operace	Pracoviště	Popis operace
00	Skład materiálu	Vyskladnit materiál
10	Deco 20a	Obrábět dle programu
20	Mezioperační kontrola	Kontrola dle kontrolního plánu
30	DURR UNIVERSAL 71M	Odmastit dle výrobní návodky
40	Ruční pracoviště	Hrotovat průniky děr dle výrobní návodky
50	P60HF V A	Vibračně omílat
60	DURR UNIVERSAL 71M	Odmastit dle výrobní návodky
70	Konečná kontrola	Kontrola dle kontrolního plánu
80	Skład dílců	Uložení dílců na sklad

2.1 Rozbor stávající obráběcí operace

V této kapitole bude analyzován současný stav obráběcí operace zadané součásti, zejména technologičnost konstrukce a materiál součásti, poté strojní a nástrojové vybavení. Na závěr této kapitoly budou popsány dráhy nástrojů pro jednotlivé obráběcí operace, k nim příslušené řezné podmínky a výrobní časy.

2.1.1 Posouzení technologičnosti konstrukce

Jedná se o rotačně symetrickou součást, jejíž geometrie není velmi komplikovaná. Technologický náčrt součásti lze vidět na Obr. 19. Největším problémem z hlediska obrábění je materiál 1.4418 QT 900. Tvrdost tohoto materiálu může dosahovat až hodnot 330 HB, což způsobuje velké nároky na nástroje. V porovnání například s nízkolegovanými ocelmi je nutné snížit hodnoty řezné rychlosti až o 65 %. Hodnoty většiny tolerancí rozměrů jsou v řádu desetin milimetru nebo pěti setin milimetru, což není problém dodržet vzhledem k rozměrům součásti a příslušnému strojnímu zařízení. Jedním z přísnějších požadavků je obecná drsnost celé součásti Rz 16. Z hlediska geometrie součásti je nutné se více zaměřit na průměr 7 r6 mm na délce $2 \pm 0,1$ mm, jelikož je zde nutné dodržet toleranci r6, která se pohybuje od +0,019 mm do +0,028 mm. Také je zde předepsán další požadavek na drsnost Ra 1,6, nicméně tento požadavek je zhruba srovnatelný s obecnou drsností Rz 16. Další náročnější částí je plocha mezi průměry 5,5 -0,2 mm a 9,56 $\pm 0,1$ mm, která je na válcovou plochu o průměru 7 r6 mm kolmá. Zde je nutné dodržet geometrické tolerance rovinnosti o hodnotě 0,02 mm a čelní házení o hodnotě 0,05 mm. Taktéž je zde další požadavek na drsnost, a to parametr Ra 1,6. Nejnáročnější částí je však kuželová vnitřní plocha $90^\circ \pm 1^\circ$, a to díky úzké toleranci $\pm 1^\circ$ a také kvůli geometrickým tolerancím souososti se základnou B o hodnotě $\varnothing 0,05$ mm a kruhovitosti 0,05 mm. Dalším problematickým parametrem je zde požadovaný parametr drsnosti Rz 2.



Obr. 19: Technologický náčrt součásti.

2.1.2 Materiál a polotovar zadané součásti

Pro zadanou součást je předepsána jako materiál korozivzdorná ocel EN 1.4418 QT900. Jedná se o vysoce pevnou, nízkouhlíkovou korozivzdornou ocel. Její ekvivalent se dle DIN označuje jako X4CrNiMo16-5-1. Tato ocel je navržena pro součásti, které jsou vystavovány slabému korozivzdornému prostředí a při tom je u nich vyžadována vysoká pevnost. Ocel je také odolná vůči agresivnějšímu prostředí a kyselinám. Přípona QT900 za názvem oceli značí dodávání oceli v již kaleném a popuštěném, tedy zušlechťeném stavu, při zaručené mezi pevnosti 900 MPa. Mechanické a fyzikální vlastnosti oceli 1.4418 při teplotě 20 °C jsou uvedeny v Tab. 2. Chemické složení oceli je uvedeno v Tab. 3. [20]

Jako polotovar materiálu je využívána tyč o průměru 16 mm a délce 3 000 mm.

Tab. 2: Mechanické a fyzikální vlastnosti oceli 1.4418 QT900 při teplotě 20 °C.

Mez kluzu $R_{p0,2}$	min. 750 MPa
Mez pevnosti R_m	900–1 100 MPa
Tažnost A_5	min. 16 %
Tvrдость	280–340 HB
Tepelná vodivost λ_t	15 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹

Tab. 3: Chemické složení oceli 1.4418 QT900.

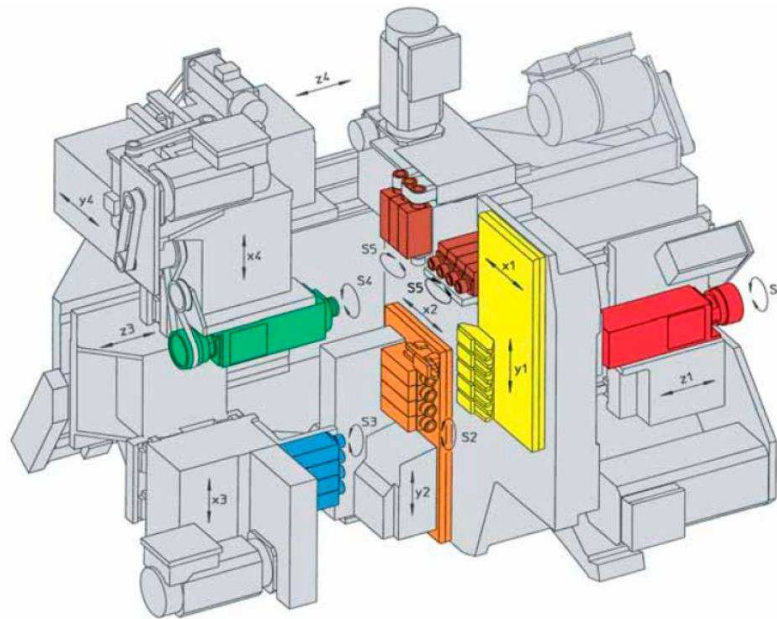
Prvek	Obsah [hm. %]
C	max. 0,06
Si	max. 0,7
Mn	max. 1,5
Ni	4–6
Cr	15–17
Mo	0,8–1,5
S	max. 0,03
P	max. 0,04
N	min. 0,02
Fe	zbytek

2.1.3 Strojní vybavení

V současné době je dílec vyráběn na CNC automatu DECO 20a od společnosti Tornos. Součástí stroje je automatický podavač tyčí Robobar SBF 532, také od společnosti Tornos. Jedná se o dlouhotočný automat, který má dvě vřetena, hlavní a sekundární, dále má celkem 10 programovatelných os. Polohy jednotlivých os lze vidět na Obr. 21. Stroj může být osazen celkem až 21 nástroji. Tento stroj má velmi specifickou konstrukci, kdy je osa Z1 umístěna v ose hlavního vřetena, a ne na nástroji, což způsobuje, že posuvný pohyb při soustružení koná obrobek, nikoliv nástroj. Celou sestavu stroje DECO 20a s podavačem tyčí Robobar SBF 532 lze vidět na obr. 20. Technické parametry toho stroje lze vidět v Tab. 4.



Obr. 20: Dlouho točný automat DECO 20a [22].



Obr. 21: Pracovní prostor stroje DECO 20a [22].

Tab. 4: Technické parametry stroje Deco 20a.

Řídicí systém	PNC – DECO
Maximální průměr obrobku	20 mm
Procesní kapalina	řezný olej
Maximální délka obrobku	200 mm
Otáčky posuvného vřetena (Z1)	max. 10 000 min ⁻¹
Výkon posuvného vřetena (Z1)	5,5 (7,5) kW
Otáčky bočních vřeten (X1, X2)	max. 8 000 min ⁻¹
Výkon bočních vřeten (X1, X2)	1,5 (2,2) kW
Otáčky koncového nástavce (Z3)	max. 6 000 min ⁻¹
Výkon koncového nástavce (Z3)	1,5 (2,2) kW
Otáčky sekundárního vřetena (Z4)	max. 10 000 min ⁻¹
Výkon sekundárního vřetena (Z4)	1,1 (3,7) kW

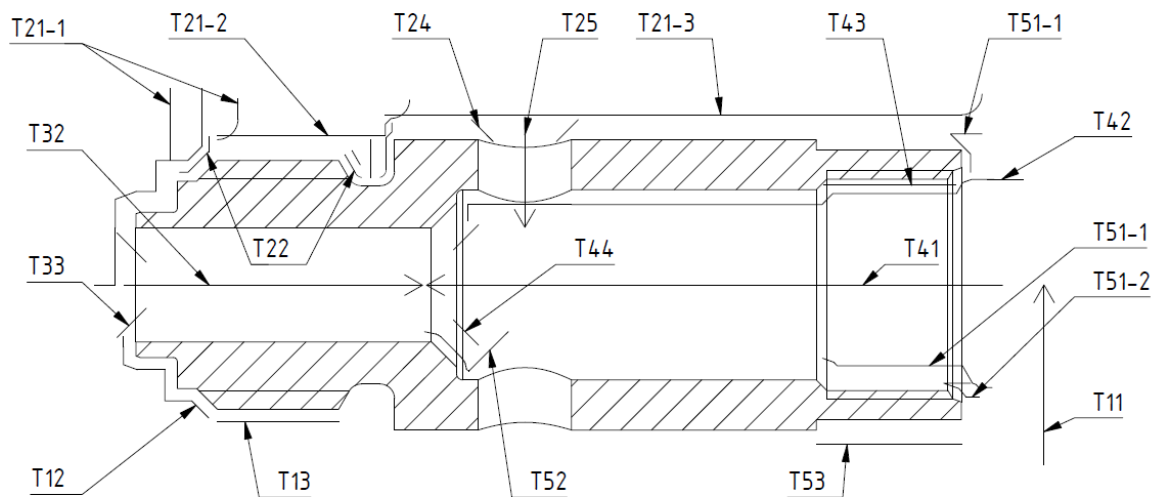
2.1.4 Postup výroby

Samotné obrábění tedy probíhá na dvou vřetenech, tedy na dvě upnutí. Nejprve je obrobena přední část na hlavním vřetenu a poté proběhne obrobení zadní části při upnutí na posuvném sekundárním vřetenu. Sled jednotlivých obráběcích operací s příslušnou dráhou nástroje a nástrojovým vybavením lze vidět v Tab. 5. Vnější kontura T21 se musí obrábět postupně po částech, jelikož, jak již bylo zmíněno, je osa Z1 umístěna v hlavním vřetenu. Výhodou tohoto způsobu je zvýšená tuhost, a tedy lepší přesnost obrábění, to však na úkor zvýšeného výrobního času.

Tab. 5: Sled obráběcích operací a nástrojové vybavení.

Hlavní vřeteno			
Operace	Popis operace	Nástroj	Nástrojový upínač
T21-1	Hrubovat přední část	WNMG060404-XF 4315	DWLN R1616H06
T33	Navrtat díru Ø 5,4 mm	10716008	-
T32	Vrtat díru Ø 5,4 mm	DC160 03 05.400A1 EJ30ET	-
T12	Dokončit Ø 7r6 + začátek závitu	CCGT060202-PF2 WXN10	SCLCR1616K06-S
T21-2	Dokončit Ø 11,85 pro závit	WNMG060404-XF 4315	DWLN R1616H06
T22	Soustružit zápich za závitem + dokončit začátek závitu	NG2M100RK KCU25	NSR-1616H2
T13	Soustružit závit M12x1,5	3JER1,5ISO VCB	SER1616H16
T21-3	Dokončit Ø 14,0	WNMG060404-XF 4315	DWLN R1616H06
T24	Navrtat díry Ø 4,5	63758 DIXI 1106 TiAlN	-
T25	Vrtat díry Ø 4,5	43324 DIXI 1149 TiAlN	-
T11	Úpich	SA16-2002N-S1 AP5020	HSA 1616L-SA1602-26
Sekundární vřeteno			
Operace	Popis operace	Nástroj	Nástrojový upínač
T41	Předvrtat díru Ø 9,21	A3393TTP – 8.9	-
T42	Hrubovat Ø pro závit M11x0,75 + dokončit díru Ø 9,21	RS108.1846.R4 TH35	B108.0006.01A
T51-1	Dokončit Ø pro závit M11x0,75 + zadní čelo	R105.1023.1.5 TH35	RHC105.1616.01
T52	Soustružit kužel 90°	R105.1023.4.5 TH35	RHC105.1616.01
T44	Kalibrovat kužel 90°	950927 DIXI 7623 TiAlN	-
T43	Soustružit závit M11x0,75	V08TH0.75ISOR VBX	V080-1612
T51-2	Hrotovat závit M11x0,75	R105.1023.1.5 TH35	RHC105.1616.01
T53	Frézovat šestihran	ANMT09T3PPPR-MJ GH330	EPN09025R-E

Pro přehledné vyjádření jednotlivých drah nástrojů byl vytvořen dokument dráhy nástrojů, který lze vidět na Obr. 22. Názvy jednotlivých drah nástrojů odpovídají pozicím na výrobním stroji. Neodpovídají tedy sledu obráběcích operací, jsou vytvořeny pouze orientačně a jejich délka neodpovídá skutečnosti.



Obr. 22: Dráhy nástrojů.

2.1.5 Řezné podmínky

Navržené řezné podmínky pro jednotlivé úseky obráběcích operací jsou uvedeny v Tab. 6 pro hlavní vřeteno a v Tab. 7 pro sekundární vřeteno. V obou tabulkách jsou uvedeny také délky jednotlivých úseků operací a jejich strojní čas, který byl vypočítán dle příslušných vztahů uvedených v teoretické části. Pro soustružnické operace byl použit vztah 1.10, pro vrtací operace 1.18 a pro frézovací operace vztah 1.27.

Tab. 6: Řezné podmínky pro hlavní vřeteno.

Operace	Úsek operace	Otáčky [min ⁻¹]	Posuv [mm]	Délka [mm]	Čas [min]
T21-1	Hrubovat čelně Ø 16 na Ø 10 v délce 1,933 mm	1 790	0,075	3,892	0,029
	Hrubovat čelně Ø 16 na Ø 11,86	1 790	0,075	3,070	0,023
	Hrubovat úhel 45°±5°	1 790	0,100	1,162	0,006
	Hrubovat Ø 10	1 790	0,150	1,233	0,005
	Hrubovat čelně Ø 10 mm na Ø 7 r6	1 790	0,075	1,463	0,011
	Hrubovat Ø 7 r6	1 790	0,150	1,330	0,005
	Hrubovat zkosení 0,2 x20°	1 790	0,125	0,713	0,003
	Hrubovat čelně Ø 7 r6 na – Ø 0,5	1 790	0,150	3,651	0,014
	Přeběh ze záběru	1 790	0,100	0,133	0,001
	Soustružit náběh	1 790	0,150	2,571	0,010
T33	Navrtat Ø 5,5 -0,2	1 955	0,033	2,850	0,044
T32	Vrtat Ø 5,5 -0,2	2 295	0,066	22,150	0,147
T12	Dokončit čelně Ø 7 r6	2 390	0,075	0,929	0,005
	Dokončit zkosení 0,2 x20°	2 390	0,050	0,388	0,003
	Dokončit Ø 7 r6	2 390	0,033	1,635	0,021
	Dokončit čelně Ø 7 r6 na Ø 10 mm	2 390	0,050	1,463	0,012
	Dokončit Ø 10	2 390	0,066	1,057	0,007
	Dokončit úhel 45° ±5°	2 390	0,075	1,103	0,006
T21-2	Dokončit Ø 11,86 pro závit M12x1,5-6g	1 790	0,100	8,912	0,050
	Hrubovat čelně Ø 11,86 na Ø 13,4	1 790	0,150	0,777	0,003
	Soustružit náběh	1 790	0,125	0,531	0,002
T22	Dokončit náběh na úhel 45° ±5° pro závit	2 015	0,100	0,500	0,002
	Dokončit úhel 45° ±5°	2 015	0,050	1,775	0,018
	Přeběh ze záběru	2 015	0,025	0,075	0,001
	Náběh do záběru	2 015	0,100	0,500	0,002
	Soustružit střední část zápichu	2 015	0,033	1,450	0,022
	Hrubovat úhel 60° ±5° závitů M12x1,5-6g	2 015	0,033	1,529	0,023
	Dokončit úhel 60° ±5° závitů M12x1,5-6g	2 015	0,033	1,313	0,020
	Dokončit R0,7 ±0,15	2 015	0,025	0,982	0,019
	Náběh do záběru	2 015	0,033	0,300	0,005
	Sražení hrany	2 015	0,025	0,224	0,004
	Dokončit čelně Ø 14 ±0,05 na Ø 9,56 ±0,1	2 015	0,033	1,436	0,022
	Dokončit R0,7 ±0,15	2 015	0,025	0,982	0,019
	T13	Soustružit závit M12x1,5 - 6g	930	1,500	8,707
T21-3	Dokončit Ø 14 ±0,05	1 790	0,150	31,871	0,119
T24 (2x)	Navrtat Ø 4,5 ±0,1	2 125	0,050	2x4,62	0,087
T25 (2x)	Vrtat Ø 4,5 ±0,1	3 185	0,088	2x9,41	0,065
T11	Synchronizace vřeten, úpich, přesun obrobku na sekundární vřeteno	1 490	0,100	-	0,181

Tab. 7: Řezné podmínky pro sekundární vřetenou.

Operace	Úsek operace	Otáčky [min ⁻¹]	Posuv [mm]	Délka [mm]	Čas [min]
T41	Předvrtat díru Ø 8,8	1 555	0,085	32,600	0,246
T42	Náběh do záběru	3 110	0,200	0,733	0,001
	Náběh do záběru	3 110	0,100	0,500	0,002
	Hrubovat úhel 40° ±5°	3 110	0,033	0,869	0,008
	Hrubovat úhel 60° ±5°	3 110	0,050	0,486	0,003
	Hrubovat Ø 10,28 pro závit M10x0,75-6H	3 110	0,050	7,881	0,051
	Hrubovat úhel 45° ±5°	3 110	0,075	0,568	0,002
	Dokončit Ø 9,16 +0,1, délka 9,669 mm	3 110	0,075	9,669	0,041
	Dokončit Ø 9,16 +0,1, délka 4,900 mm	3 110	0,050	4,900	0,032
	Dokončit Ø 9,16 +0,1, délka 0,550 mm	3 110	0,033	0,550	0,005
	Dokončit Ø 9,16 +0,1, délka 0,200 mm	3 110	0,025	0,200	0,003
	Dokončit čelně Ø 9,16 +0,1, délka 0,255 mm	3 110	0,033	0,255	0,002
	Dokončit čelně Ø 9,16 +0,1, délka 0,525 mm	3 110	0,066	0,525	0,003
T51-1	Náběh do záběru	2 050	0,100	1,467	0,007
	Sražení hrany	2 050	0,033	0,467	0,007
	Dokončit zadní čelo	2 050	0,050	0,610	0,006
T51-1	Náběh do záběru	2 785	0,200	0,800	0,001
	Sražení hrany	2 785	0,025	0,639	0,009
	Dokončit úhel 40° ±5°	2 785	0,033	0,438	0,005
	Dokončit úhel 60° ±5°	2 785	0,033	0,415	0,005
	Dokončit Ø 10,28 pro závit M10x0,75-6H	2 785	0,050	7,831	0,056
	Dokončit úhel 45° ±5°	2 785	0,033	0,614	0,007
	Sražení hrany	2 785	0,025	0,526	0,008
T52	Náběh do záběru	2 985	0,250	2,694	0,004
	Náběh do záběru	2 985	0,050	0,177	0,001
	Soustružit kužel 90° ±1°	2 985	0,025	2,873	0,038
T44	Kalibrování kuželu 90° ±1°, délka 0,5 mm	350	0,035	1,100	0,090
T43	Soustružit závit M11x0,75-6H	1 445	0,750	6,875	0,006
T51-2	Náběh do záběru	2 785	0,200	1,786	0,003
	Sražení hrany na závitu M10x0,75-6H	2 785	0,033	0,415	0,005
	Sražení hrany na průniku zadního čela a úhlu 40° ±5°	2 785	0,050	0,438	0,003
	Přeběh ze záběru	2 785	0,033	0,639	0,007
T53 (6x)	Frézovat šestihran v ose Z4	1 910	0,230	8,000	0,018
	Frézovat šestihran v ose Y4	1 910	0,350	5,600	0,008

2.1.6 Výrobní časy jednotlivých obráběcích operací

Výsledné celkové časy jednotlivých operací jsou uvedeny v Tab. 8. Čas operace je tvořen sumou výrobních časů jednotlivých úseků, pro některé operace je navíc nutné připočítat časy výměn nástroje. Na hlavním vřetenu je nezbytné přičíst 1 s pro operaci T24, jelikož obrábění je zde realizováno nástroji na stejném deskovém držáku nástrojů. Ze stejného důvodu je nutné přičíst 0,45s pro další operaci T25. V těchto případech je totiž nutné, aby příslušný deskový držák nástrojů přešel po ose Y2 o příslušnou pozici dle požadovaného nástroje. Při operacích na sekundárním vřetenu je nutné pro každou operaci přičíst 0,4s z důvodů přejezdů sekundárního vřetena.

Tab. 8: Výsledné výrobní časy jednotlivých operací pro stroj DECO 20a.

Primární vřeteno		
Operace	Čas [min]	Čas [s]
T21-1	0,106	6,35
T33	0,044	2,63
T32	0,147	8,83
T12	0,054	3,26
T21-2	0,055	3,30
T22	0,166	9,99
T13	0,075	4,49
T21-3	0,119	7,12
T24 (2x)	0,103	6,20
T25 (2x)	0,073	4,36
Celkový čas výroby na hlavním vřetenu	0,942	56,54
Úpich		
Operace	Čas [min]	Čas [s]
T11	0,181	10,88
Sekundární vřeteno		
Operace	Čas [min]	Čas [s]
T41	0,252	15,14
T42	0,160	9,61
T51-1	0,027	1,60
T51-1	0,090	5,42
T52	0,050	3,00
T44	0,096	5,79
T43	0,070	4,21
T51-2	0,024	1,47
T53 (6x)	0,160	9,57
Celkový čas výroby na sekundárním vřetenu	0,930	55,80

2.1.7 Průběžná a namátková kontrola při operaci obrábění

Při samotné obráběcí operaci provádí obsluha stroje průběžnou kontrolu vyráběných dílců. Seznam kontrolovaných rozměrů a jejich příslušná měřidla jsou uvedeny v Tab. 9. Rozměry se kontrolují v určitých časových intervalech a počtech kusů dle požadované předepsané tolerance rozměru. Pro přesnější rozměry je nutné provádět kontrolu častěji, například každých 30 minut až 1 hodinu, o větších počtech kusů. Pro méně přesné rozměry stačí provádět kontrolu v rádech hodin po jednom kusu. Při zjištění neshodného rozměru s požadavkem uvedeným na výkresu součásti je nutná korekce nebo výměna nástroje, který daný rozměr zhotovuje. Následně je nutné vytrídít všechny kusy, které byly zhotoveny od poslední kontroly, při které byly dodrženy požadované parametry. Navíc se provádí jednou za směnu namátková kontrola, která spočívá v provedení kompletní kontroly všech rozměrů u jednoho kusu dílce. Reakce na neshodný rozměr dle výkresu je stejná jako u průběžné kontroly. Následuje tedy vytrídění všech kusů, které byly zhotoveny od poslední kontroly rozměru, která splňovala požadavky výkresu.

Tab. 9: Seznam měřených rozměrů při průběžné kontrole.

Znak	Rozměr	Způsob měření
průměr	Ø 7 r6 mm	mikrometr
průměr	Ø 14,0 ±0,05 mm	mikrometr
závit	M12 x 1,5 -6g	závitový kroužek
velký průměr závitu	Ø 12,0 -0,032/-0,268 mm	mikrometr
střední průměr závitu	Ø 11,026 -0,032/0,172 mm	mikrometr
průměr	Ø 10,0 ±0,2 mm	mikrometr
délka	12,5 ±0,1 mm	číselníkový úchylkoměr
délka	39,9 ±0,1 mm	číselníkový úchylkoměr
délka	7,0 ±0,2 mm	číselníkový úchylkoměr
průměr	Ø 9,56 ±0,1 mm	mikrometr
délka	24,4 ±0,1 mm	číselníkový úchylkoměr
průměr	Ø 9,16 +0,1 mm	kontrolní trny Ø 9,16 a Ø 9,26
závit	M11 x 0,75- 6H	závitový kroužek
malý průměr závitu	Ø 10,188 +0,19 mm	posuvné měřítko
průměr	Ø 4,5 ±0,1 mm	kontrolní trny Ø 4,4 a Ø 4,6
délka	2,0 ±0,1 mm	číselníkový úchylkoměr
průměr	Ø 5,5 -0,2 mm	kontrolní trny Ø 5,3 a Ø 5,5
otřepy, otlaky, poškození	otřepy, otlaky, poškození	mikroskop
délka	šestihran 13 h13 mm	mikrometr
délka	2,94 ±0,1 mm	profil projektor
drsnost Ra	Ra 1,6	drsnoměr
délka	21,1 -0,2 mm	profil projektor
délka	min. 6,5 mm	závitový kalibr + posuvné měřítko
délka	2,65 ±0,15	profil projektor

Znak	Rozměr	Způsob měření
drsnost Ra	Ra 1,6	drsnoměr
drsnost Rz	Rz 16	drsnoměr
délka	min. 9,8 mm	profil projektor
hruhovitost	0,005 mm	kruhoměr
soustřednost	Ø 0,05/B mm	kruhoměr
drsnost Rz	Rz 2	kruhoměr
průměr	Ø 11,3 ±0,2 mm	profil projektor
rovinnost	0,02 mm	kruhoměr
házivost	0,05/A mm	kruhoměr
délka	0,2 ±0,1 mm	profil projektor
úhel	20° ±1°	profil projektor
sražení hrany	0,2 mm	profil projektor
rádus	R0,7 ±0,15 mm	profil projektor
úhel	45° ±5°	profil projektor

2.2 Mezioperační kontrola

Tato kontrola se neprovádí u všech dílců, ale pouze jen u určitého procenta, které je určeno statistickým výběrem. Zde není potřeba kontrolovat všechny kóty, ale jsou vybrány ty, které se po operaci obrábění jeví jako nejvíce náchylné k nedodržení. Pro kontrolu vnějších délkových rozměrů a příčných průměrů se využívá optické měřidlo JENOPTIK C305. Velkou výhodou tohoto měřidla je schopnost měřit určitý počet kót v jeden časový interval. V Tab. 10 jsou uvedeny kontrolované rozměry v této operaci a příslušné měřidlo, kterým se provádí kontrola tohoto rozměru.

Tab. 10: Seznam měřených rozměrů při mezioperační kontrole.

Znak	Rozměr	Způsob měření
délka	šestihran 13 h13 mm	JENOPTIK C305
závit	M12 x 1,5 -6g	závitový kroužek
průměr	Ø 10,0 ±0,2 mm	JENOPTIK C305
průměr	Ø 7 r6 mm	mikrometr
délka	12,5 ±0,1 mm	JENOPTIK C305
délka	2,94 ±0,1 mm	JENOPTIK C305
délka	39,9 ±0,1 mm	JENOPTIK C305
délka	7,0 ±0,2 mm	JENOPTIK C305
průměr	Ø 14,0 ±0,05 mm	JENOPTIK C305
drsnost Ra	Ra 1,6	drsnoměr
délka	24,4 ±0,1 mm	číselníkový úchylkoměr
délka	21,1 -0,2 mm	JENOPTIK C305
délka	min. 6,5 mm	závitový kalibr + posuvné měřítko
průměr	Ø 9,16 +0,1 mm	kontrolní trny Ø 9,16 a Ø 9,26

Znak	Rozměr	Způsob měření
závit	M11 x 0,75- 6H	závitový kalibr
průměr	Ø 4,5 ±0,1 mm	kontrolní trny Ø 4,4 a Ø 4,6
délka	2,0 ±0,1 mm	JENOPTIK C305
průměr	Ø 5,5 -0,2 mm	kontrolní trny Ø 5,3 a Ø 5,5
drsnost Rz	Rz 16	drsnoměr
otřepy, poškození, otlaky	-	mikroskop

2.3 Operace odmašťování a hrotování

Po mezioperační kontrole následuje operace odmašťování, která probíhá na stroji DURR UNIVERSAL 71M, viz Obr. 23. Jako odmašťovací kapalina je použito organické rozpouštědlo DOWCLENÉ 1601. Dílce jsou uloženy v koši, ve kterém jsou vloženy do stroje. Stroj automaticky, pomocí dopravníku, přesune dílce do pracovní komory, kde probíhá samotné odmašťování a posléze také sušení. Poté jsou dílce opět pomocí dopravníku přesunuty do prostoru pro odebrání košů.

Již čisté a odmaštěné dílce lze nyní přesunout na ruční pracoviště, kde se provede operace hrotování. Hrotování spočívá v odstranění otřepů z vnitřní strany dílu, které vznikly po vrtání příčných děr o průměru 4,5 ±0,1 mm, pomocí vrtáku o průměru 4,4 mm. Z důvodu polohy a velikosti tyto otřepy nelze odstranit pouze operací omílání.



Obr. 23: DURR UNIVERSAL 71M.

2.4 Operace omílání

Operace omílání je zařazena pro zaoblení ostrých hran a odstranění ořepů po obrábění. Pro omílání tohoto dílce je využíván vibrační omílací stroj P60HF-V-A, který je možné vidět na Obr. 24. Omílací tělíska byla zvolena RS 06/13 ZS. Jedná se o keramická tělíska ve tvaru válce se zkosenými čely pod úhlem 30°. Tělíska mají průměr 6 mm a délku 13 mm. Díky válcovému tvaru tělísek nedochází k rychlému úběru materiálu při omílání, což je žádoucí, jelikož je tato operace zařazena primárně pro zaoblení ostrých hran. Pro zlepšení procesu omílání je přidán tekutý kompaund FC 115, který je právě vhodný pro zaoblování ostrých hran a odstraňování ořepů. Kompaund se před použitím míchá v přesném poměru s vodou.



Obr. 24: Vibrační omílací stroj P60HF-V-A.

Do pracovní komory vibračního stroje je vložena jedna výrobní dávka, která odpovídá 400 kusům dílců, a také 50 kg omílacích tělísek RS 06/13 ZS. Na stroji je nutné nastavit příslušný stupeň vibrací. Aby bylo dosaženo požadovaných parametrů, musí proces omílání trvat nejméně jednu hodinu.

2.5 Operace odmašťování a konečná kontrola

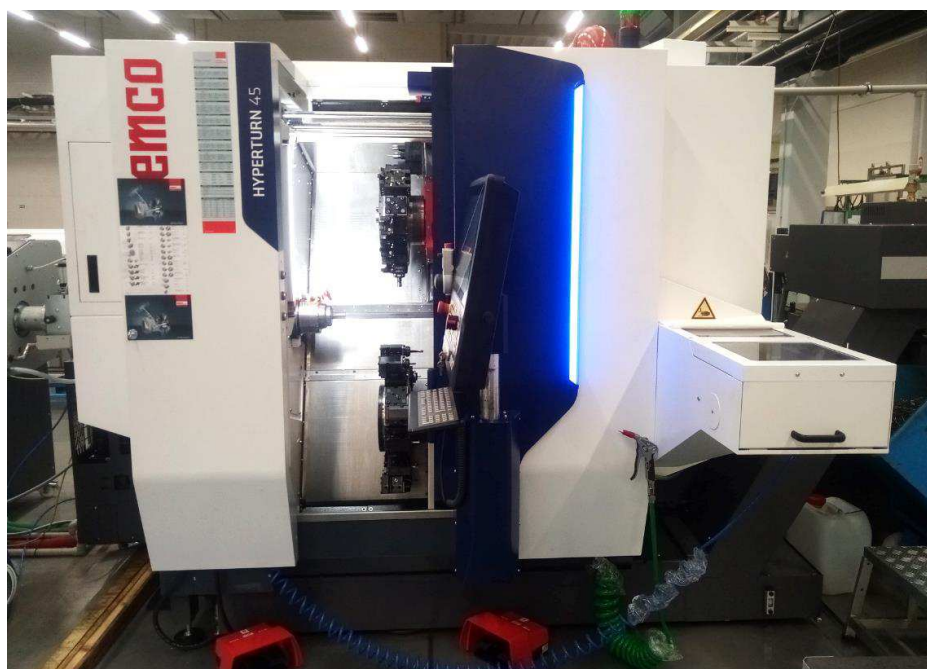
Po operaci odmašťování je nutné na závěr opět provést operaci odmašťování, která probíhá stejně jako v kapitole 2.3. Navíc je ale nezbytné provést konzervaci, aby nedocházelo ke korozi. Konzervace spočívá v ponoření koše s díly do konzervačního oleje RUSTILO SW 180 po dobu jedné minuty. Při ponoru je nutné provést mírný pohyb s košem, aby došlo k uvolnění vzduchových polštářů, které by mohly vzniknout v dutinách dílců.

Na závěr se provádí konečná kontrola všech dílců. Zde se dílce kontrolují vizuálně pod mikroskopem kvůli případným ořepům, otlakům a poškození a také se zde kontroluje čistota dílců. Následně se dílce uloží do skladu.

3 NÁVRH NOVÉHO TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY

Hlavním cílem mé diplomové práce bylo vytvoření nového technologického postupu pro zadaný díl. Změna oproti stávajícímu technologickému postupu spočívá ve výměně výrobního stroje. Jako nový výrobní stroj pro zadanou součást byl zvolen dvouřetenový CNC automat HYPERTURN 45 – G3 od firmy EMCO, který lze vidět na Obr. 25.

Jelikož jediná změna v novém technologickém postupu, oproti starému technologickému postupu, je v zařazení nového obráběcího stroje, bude následující kapitola výhradně o obráběcí operaci OP10.



Obr. 25: CNC automat HT45-G3.

3.1 Nové strojní vybavení

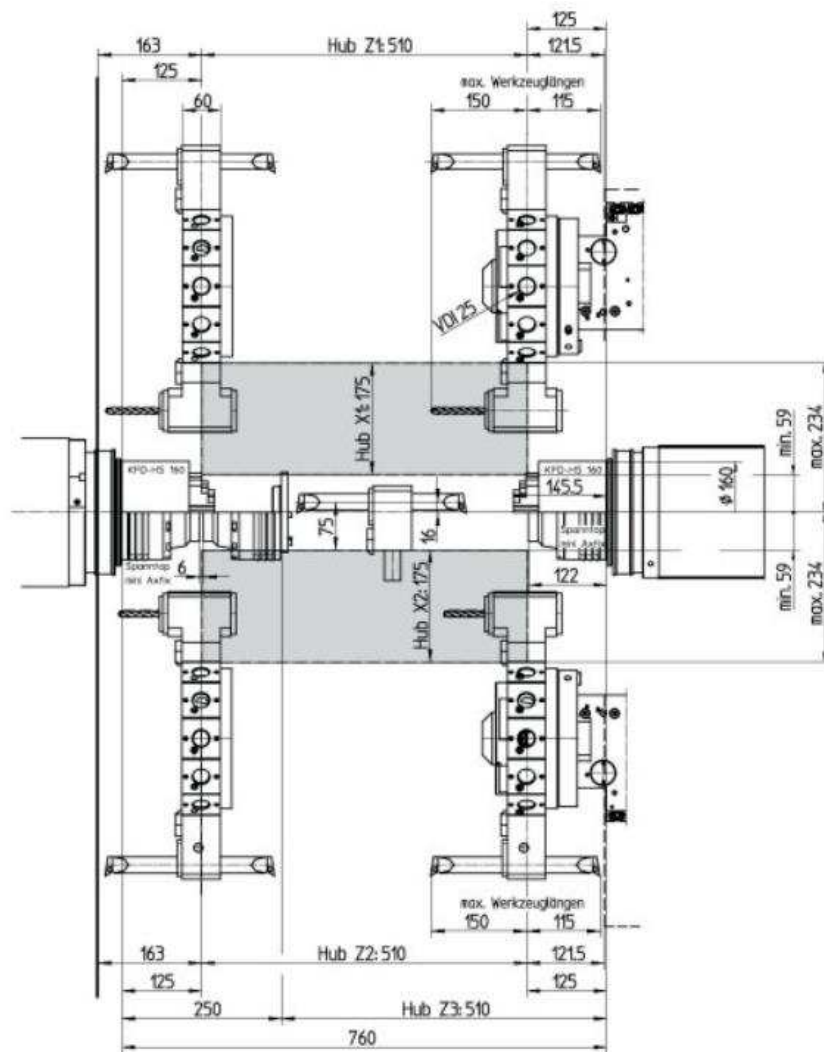
Jak již bylo zmíněno, novým strojem je tedy HT 45 - G3, který může být dodán v různých variantách. Pro zadanou součást byla zvolena varianta pro soustružení z tyčových polotovarů až do průměru 45 mm. Stroj je standardně vybaven dvěma vřeteny, a to hlavním a sekundárním, které je umístěno proti hlavnímu. Jednotlivé nástroje jsou umístěny v horní a dolní revolverové věži. Ve verzi stroje, který byl vybrán, lze na každou revolverovou věž umístit až 12 nástrojů. Každý nástroj může být jednotlivě poháněn. Ve srovnání s předchozím strojem spočívá výhoda tohoto stroje v jiném uspořádání jednotlivých pracovních os, a to hlavně v poloze osy Z1, která v předchozím stroji byla umístěna na hlavním vřetenu a nyní je již v horní nástrojové věži. Pracovní prostor stroje HT 45 - G3 lze vidět na Obr. 26.

Další ze zásadních rozdílů při porovnání obou výrobních strojů je v konstrukci sekundárního vřetena. Na stroji DECO 20a lze sekundárním vřetenem pohybovat ve všech třech posuvných osách a pracovní poloha je umístěna v horní části stroje. Naopak na stroji HT 45 - G3 lze sekundárním vřetenem pohybovat pouze v ose Z, jelikož je tato osa

používána pouze při přesunu obrobku z hlavního vřetena na sekundární. Díky tomuto konstrukčnímu provedení je možné výrazně navýšit řezné podmínky při obrábění na sekundárním vřetenu a tím snížit výrobní časy zde prováděných operací. Technické parametry tohoto stroje je možné vidět v Tab. 11.

Tab. 11: Technické parametry stroje HT 45 – G3.

Řídicí systém	Sinumerik 840D
Maximální průměr obrobku	45 mm
Maximální délka obrobku	480 mm
Otáčky hlavního vřetena	max. 7 000 min ⁻¹
Výkon hlavního vřetena	max. 15 kW
Otáčky sekundárního vřetena	max. 7 000 min ⁻¹
Výkon sekundárního vřetena	max. 15 kW
Otáčky pohonu nástrojů	max. 8 000 min ⁻¹
Výkon pohonu nástrojů	max. 4 kW



Obr. 26: Pracovní prostor HT45-G3 [24].

3.2 Nástrojové vybavení

Většina nástrojového vybavení použitého v předchozí části bude pro novou variantu stejná, jelikož bylo použito nejvhodnějších nástrojů, které jsou v současné době standardně na trhu. Díky konstrukci nového výrobního stroje je však možné provést změny postupu výroby, které vedou ke snížení výrobního času a tím k úspoře nákladů na provoz stroje.

Značení jednotlivých obráběcích operací bude pro zjednodušení a přehled ponecháno dle značení ze stroje DECO 20a.

3.2.1 Nové nástrojové vybavení pro operaci T51

Díky novým možnostem, které byly zmíněny výše, lze v novém výrobním postupu zvýšit řezné podmínky. První změna byla provedena při operaci T51, kde byla zvolena nová VBD od společnosti SECO tools pod označením CDCB04T002 CP500 s nástrojovým držákem A05D-SCLDR04. Tuto nástrojovou sestavu lze vidět na Obr. 27. Díky tomu, že tato VBD má poloměr špičky ostří 0,2 mm, je možné i přiměřeně zvětšit hodnoty posuvu na otáčku, jelikož předchozí nástroj měl poloměr špičky ostří 0,05 mm.



Obr. 27: Nová VBD s novým nástrojovým držákem [25].

3.2.2 Nové nástrojové vybavení pro operaci T43

Díky zvýšené tuhosti je také při řezání závitu M11x0,75 možné zvýšit otáčky při této operaci. Lze tedy použít nástroj od společnosti ISCAR pod označením PICCO L 105.0407-15 s příslušným držákem PICCO 16-4-5, který umožňuje navýšení otáček dle doporučených řezných podmínek. Novou nástrojovou sestavu je možné vidět na Obr. 28.

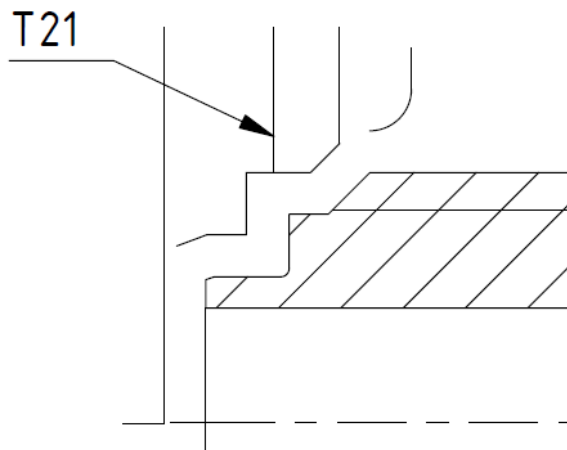


Obr. 28: Nástroj PICCO L 105.0407 15s (vlevo) [26]; nástrojový držák PICCO 16-4-5 (vpravo) [27].

3.2.3 Sdružení operací T21, T32, T33

Další změnou v novém návrhu technologie je sdružení operací T21, T32 a T33, která je možná díky změně pozice osy Z1. Na stroji DECO 20a byla umístěna v ose hlavního vřetena a bylo tedy nutné obrábět vnější konturu po částech tak, aby byla zajištěna dostatečná tuhost při upnutí obrobku. Na stroji HT 45 - G3 je osa Z1 již umístěna v ose horní revolverové nástrojové věže a je tedy možné provést obrábění celé vnější kontury v jedné obráběcí operaci. Jelikož tato operace nyní trvá celkově 18,91 s a operace, které jsou realizované na sekundárním vřetenu na novém stroji, trvají výrazně kratší dobu než na starém stroji, je možné sdružit operace T21, T32 a T33 tak, aby jejich obrábění probíhalo současně. V opačném případě by totiž dolní nástrojová revolverová věž zbytečně čekala na dokončení operací, které je nutné provést na hlavním vřetenu.

Díky tomuto sdružení bylo nutné navrhnout jednotné otáčky hlavního vřetene, aby vyhovovaly jak soustružení vnější kontury, tak předvrtání otvoru o průměru 5,4 mm, respektive k jeho vrtání. Aby bylo možné realizovat tuto úpravu, musí být změněna dráha nástroje operace T21 a to tak, že je nutné nejprve zarovnat čelo, jelikož dolní nástrojová revolverová věž, na které jsou umístěny vrtáky, musí na tuto operaci čekat a až poté lze pokračovat na dalších úsecích příslušné dráhy nástroje T21. Novou dráhu nástroje T21 lze vidět na Obr. 29.



Obr. 29: Nová dráha nástroje T21.

3.3 Nový postup výroby

Nový sled operací s upraveným nástrojovým vybavením pro novou výrobní technologii je uveden v Tab. 12.

Tab. 12: Nástroje pro novou variantu.

Hlavní vřeteno – horní revolverová nástrojová věž			
Operace	Popis operace	VBD/vrták/navrtávák	Držák
T21	Hrubovat přední část na \varnothing 11,85 + \varnothing 14,0 hotově	WNMG060404-XF 4315	DWLNL 1616H 06
T12	Dokončit \varnothing 7 r6 + začátek závitu	CCGT060202-PF2 WXN10	SCLC11616K06-S
T22	Soustružit zápich za závitem	NG2M100RK KCU25	NSL-1616H2
T13	Soustružit závit M12x1,5	3JER1,5ISO VCB	SEL1616H16
T24	Navrtat díru \varnothing 4,5	63758 DIXI 1106 TiAlN	-
T25	Vrtat díry \varnothing 4,5	43324 DIXI 1149 TiAlN	-
T11	Úpich	SA16-2002N-S1 AP5020	HSA 1616L-SA1602-26
Sekundární vřeteno – dolní revolverová nástrojová věž			
Operace	Popis operace	VBD/vrták/navrtávák	Držák
T33	Navrtat díru \varnothing 5,4	10716008	-
T32	Vrtat díru \varnothing 5,4	DC160 03 05.400A1 WJ30ET	-
T41	Předvrtat díru \varnothing 9,21	A3393TTP – 8.9	-
T42	Soustružit díru \varnothing 9,21	LS108.1846.R4 TH35	B108.0006.01A
T51-1	Dokončit \varnothing pro závit M11x0,75 + zadní čelo	CDCB04T002 CP500	A06E-SCFDL04
T52	Soustružit kužel 90°	L105.1023.4.5 TH35	RHC105.1616.01
T44	Kalibrovat kužel 90°	950927 DIXI 7623 TiAlN	-
T43	Soustružit závit M11x0,75	PICCO L 105.0407-15	PICCO 16-4-5
T51-2	Hrotování závitu M11x0,75	CDCB04T002 CP500	A06E-SCFDL04
T53	Frézovat šestihran	ANMT09T3PPPR-MJ GH330	EPN09025R-E

3.4 Řezné podmínky

Řezné podmínky pro tuto novou variantu výrobní technologie jsou uvedeny v Tab. 13 pro hlavní vřeteno a v Tab. 14 pro sekundární vřeteno.

Tab. 13: Nové řezné podmínky pro hlavní vřeteno (horní revolverová nástrojová věž).

Operace	Úsek operace	Otáčky [min ⁻¹]	Posuv [mm]	Délka [mm]	Čas [min]
T21	Zarovnat čelo Ø 16 na – Ø 0,5	1 850	0,300	9,250	0,017
	Přeběh ze záběru	1 850	0,100	0,133	0,001
	Hrubovat čelně Ø 16 mm na Ø 10, v 1,933mm	1 850	0,075	3,892	0,028
	Hrubovat čelně Ø 16 na Ø 11,86	1 850	0,075	3,070	0,022
	Hrubovat úhel 45° ±5°	1 850	0,100	1,162	0,006
	Hrubovat Ø 10	1 850	0,150	1,316	0,005
	Hrubovat čelně Ø 10 mm na Ø 7 r6	1 850	0,075	1,463	0,011
	Hrubovat Ø 7 r6	1 850	0,150	1,330	0,005
	Hrubovat zkosení 0,2 x20°	1 850	0,075	0,713	0,005
	Dokončení Ø 11,86 pro závit M12x1,5-6g	1 850	0,120	8,912	0,040
	Hrubovat čelně Ø 11,86 na Ø 14 ±0,05	1 850	0,100	1,070	0,006
	Dokončit Ø 14 ±0,05	1 850	0,100	31,471	0,170
	T12	Dokončit čelně Ø 7 r6	2 390	0,075	0,929
Dokončit zkosení 0,2 x20°		2 390	0,050	0,388	0,003
Dokončit Ø 7 r6		2 390	0,033	1,635	0,021
Dokončit čelně na Ø 7 r6 na Ø 10 mm		2 390	0,050	1,463	0,012
Dokončit Ø 10		2 390	0,066	1,057	0,007
Dokončit úhel 45° ±5°		2 390	0,075	1,103	0,006
T22	Dokončit náběh na úhel 45° ±5° pro závit	2 015	0,100	0,500	0,003
	Dokončit úhel 45° ±5°	2 015	0,050	1,775	0,018
	Přeběh ze záběru	2 015	0,025	0,075	0,002
	Náběh do záběru	2 015	0,100	0,500	0,003
	Soustružení střední části zápichu	2 015	0,033	1,450	0,022
	Hrubovat úhel 60° ±5° závitu M12x1,5-6g	2 015	0,033	1,529	0,023
	Dokončit úhel 60° ±5° závitu M12x1,5-6g	2 015	0,033	1,313	0,012
	Dokončit R0,7 ±0,15	2 015	0,025	0,982	0,012
	Náběh do záběru	2 015	0,033	0,300	0,005
	Sražení hrany	2 015	0,025	0,224	0,005
	Dokončit čelně Ø 14 ±0,05 na Ø 9,56 ±0,1	2 015	0,033	1,436	0,022
	Dokončit R0,7 ±0,15	2 015	0,025	0,982	0,020
T13	Soustružit závit M12x1,5 - 6g	930	1,500	8,707	0,075
T24 (2x)	Navrtat Ø 4,5 ±0,1	2 125	0,050	2x4,62	0,087
T25 (2x)	Vrtat Ø 4,5 ±0,1	3 270	0,088	2x9,41	0,065
T11	Synchronizace vřeten, úpich, přesun obrobku na sekundární vřeteno	1 570	0,100	-	0,137

Tab. 14: Nové řezné podmínky pro sekundární vřetenou (dolní revolverová nástrojová věž).

Operace	Úsek operace	Otáčky [min ⁻¹]	Posuv [mm]	Délka [mm]	Čas [min]
T33	Navrtat Ø 5,5 -0,2	1 850	0,040	2,850	0,039
T32	Vrtat Ø 5,5 -0,2	1 850	0,097	22,150	0,123
T41	Předvrtání díry Ø 8,8	1 810	0,130	32,600	0,139
T42	Náběh do záběru	4 790	0,200	0,733	0,001
	Náběh do záběru	4 790	0,100	0,500	0,001
	Hrubovat úhel 40° ±5°	4 790	0,050	0,869	0,004
	Hrubovat úhel 60° ±5°	4 790	0,100	0,486	0,001
	Hrubovat Ø 10,28 pro závit M10x0,75-6H	4 790	0,100	7,881	0,017
	Hrubovat úhel 45°±5°	4 790	0,075	0,568	0,002
	Dokončit Ø 9,16 +0,1, délka 9,669 mm	4 790	0,100	9,669	0,020
	Dokončit Ø 9,16 +0,1, délka 4,900 mm	4 790	0,050	4,900	0,021
	Dokončit Ø 9,16 +0,1, délka 0,550 mm	4 790	0,033	0,550	0,004
	Dokončit Ø 9,16 +0,1, délka 0,200 mm	4 790	0,025	0,200	0,002
	Dokončit čelně Ø 9,16 +0,1, délka 0,255 mm	4 790	0,033	0,255	0,002
	Dokončit čelně Ø 9,16 +0,1, délka 0,525 mm	4 790	0,066	0,525	0,002
T51-1	Náběh do záběru	5 875	0,100	1,467	0,003
	Sražení hrany	5 875	0,066	0,467	0,001
	Dokončení zadního čela	5 875	0,100	0,610	0,001
T51-1	Náběh do záběru	4 650	0,200	0,800	0,001
	Sražení hrany	4 650	0,066	0,639	0,002
	Dokončit úhel 40° ±5°	4 650	0,066	0,438	0,001
	Dokončit úhel 60° ±5°	4 650	0,066	0,415	0,001
	Dokončit Ø 10,28 pro závit M10x0,75-6H	4 650	0,100	7,831	0,017
	Dokončit úhel 45° ±5°	4 650	0,066	0,614	0,002
T52	Sražení hrany	4 650	0,050	0,526	0,002
	Náběh do záběru	3 140	0,250	2,694	0,003
	Náběh do záběru	3 140	0,050	0,177	0,001
	Soustružit kužel 90° ±1°	3 140	0,025	2,873	0,037
T44	Kalibrování kuželu 90° ±1°, délka 0,5 mm	350	0,035	1,100	0,059
T43	Soustružit závit M11x0,75-6H	3 470	0,750	2,061	0,001
T51-2	Náběh do záběru	5 875	0,200	1,786	0,002
	Sražení hrany na závitu M10x0,75-6H	5 875	0,060	0,415	0,001
	Sražení hrany na průniku zadního čela a úhlu 40° ±5°	5 875	0,100	0,438	0,001
	Přeběh ze záběru	5 875	0,060	0,639	0,002
T53	Frézovat šestihran v ose Z	2 450	0,230	8,000	0,014
	Frézovat šestihran v ose Y	2 450	0,350	5,600	0,007

3.5 Výpočty Rz a Ra

Nyní je nutné ověřit, zdali navrhované řezné podmínky pro dokončovací operace budou umožňovat dosažení požadovaných parametrů povrchu Rz a Ra. Pro parametr Rz byl zvolen výpočet dle vztahu (3.1).

$$Rz = \left(r_{\varepsilon} - \sqrt{r_{\varepsilon}^2 - 0,25 \cdot f^2} \right) \cdot 1000 \quad (3.1)$$

Výsledky lze vidět v Tab. 15. Pro každou operaci byl zvolen úsek, kde je použit největší posuv a bude zde tedy parametr Rz mít největší hodnotu. V ostatních úsecích operací bude mít parametr Rz menší hodnotu. Součástí je předepsána všeobecná drsnost Rz 16. Vzhledem k výsledkům jsou tedy tyto řezné podmínky navrženy správně.

Tab. 15: Výsledné hodnoty parametru Rz.

Nástroj	f [mm]	r _ε [mm]	Rz [μm]
T12	0,075	0,2	3,55
T22	0,05	0,09	3,54
T42	0,1	0,4	3,13
T51-1	0,1	0,2	6,35

Pro válcovou plochu Ø 7 r6 a čelní plochu mezi Ø 7 r6 a Ø 10 je navíc předepsán parametr drsnosti povrchu Ra 1,6 a je tedy nutné provést výpočet ještě pro tyto úseky. Výpočet je proveden dle vztahů 3.2 a 3.3.

$$\alpha_A = \arccos \left[\frac{r_{\varepsilon}}{f} \cdot \left(\arcsin \frac{f}{2 \cdot r_{\varepsilon}} + \frac{f}{4 \cdot r_{\varepsilon}^2} \sqrt{4r_{\varepsilon}^2 - f^2} \right) \right] \quad (3.2)$$

$$Ra = \frac{1000 \cdot r_{\varepsilon}^2 \cdot (2 \cdot \alpha_A - \sin 2\alpha_A)}{f} \quad (3.3)$$

Obě plochy jsou dokončovány nástrojem T12 o poloměru špičky r_ε = 0,2 mm. Z výsledků uvedených v Tab. 16 je tedy patrné, že i požadovaný parametr Ra 1,6 bude na obou plochách dodržen.

Tab. 16: Výsledné hodnoty parametru Ra.

Nástroj	f [mm]	r _ε [mm]	α _A [-]	Ra [μm]
T12	0,033	0,2	0,048	0,18
T12	0,05	0,2	0,072	0,40

Pro dokončovací operaci kalibrování kuželové plochy 90° ±1° lze očekávat, že požadované parametry zde budou dodrženy, jelikož jsou zvoleny stejné řezné podmínky, jako při výrobě na stroji DECO 20a.

3.6 Výrobní časy jednotlivých obráběcích operací

Výsledné celkové časy jednotlivých operací jsou uvedeny v Tab. 17. Čas operace je tvořen sumou výrobních časů jednotlivých úseků, a navíc je nutné připočítat potřebný čas na výměnu nástroje, tedy v tomto případě přejezd nástrojové revolverové věže rychloposuvem do místa, kde bude provedena výměna nástroje potočením nástrojové revolverové věže o jednu pozici. Kvůli této výměně je pro každou operaci tedy počítáno s 0,5 s navíc. U operace T32 je připočítáno dalších 1,04 s, jelikož zde dolní revolverová nástrojová věž přejíždí rychloposuvem od hlavního vřetena k sekundárnímu.

Tab. 17: Výsledné výrobní časy jednotlivých operací pro stroj HT 45 - G3.

Hlavní vřeteno – horní revolverová nástrojová věž		
Operace	Čas [min]	Čas [s]
T21	0,315	18,91
T12	0,063	3,76
T22	0,167	9,99
T13	0,083	4,99
T24 (2x)	0,095	5,70
T25 (2x)	0,074	4,41
Celkový čas výroby na hlavním vřetenu	0,796	47,76
Úpich		
Operace	Čas [min]	Čas [s]
T11	0,137	8,24
Sekundární vřeteno – dolní revolverová nástrojová věž		
Operace	Čas [min]	Čas [s]
T33	0,039	2,31
T32	0,150	9,00
T41	0,146	8,77
T42	0,082	4,91
T51-1	0,013	0,78
T51-1	0,027	1,61
T52	0,050	2,97
T44	0,098	5,89
T43	0,043	2,56
T51-2	0,014	0,82
T53	0,133	7,96
Celkový čas výroby na sekundárním vřetenu	0,793	47,58

3.7 Nový technologický postup

Nový technologický postup výroby zadané součásti lze vidět v Tab. 18.

Tab. 18: Nový technologický postup.

Číslo operace	Pracoviště	Popis operace
00	Skład materiálu	Vyskladnit materiálu
10	HYPERTURN 45 G3	Obrábět dle programu
20	Mezioperační kontrola	Kontrola dle kontrolního plánu
30	DURR UNIVERSAL 71M	Odmastit dle výrobní návodky
40	Ruční pracoviště	Hrotování průniků děr dle výrobní návodky
50	P60HF V A	Vibračně omílat
60	DURR UNIVERSAL 71M	Odmastit dle výrobní návodky
70	Konečná kontrola	Kontrola dle kontrolního plánu
80	Skład dílců	Uložení dílců na sklad

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole bude provedeno porovnání stávající varianty výroby a nové varianty návrhu výroby. Jelikož se obě varianty liší pouze v obráběcí operaci OP10, bude porovnávána pouze tato operace.

Při porovnání jednotlivých výrobních časů operací obrábění v Tab. 19 lze vidět, že u téměř všech úseků dochází ke snížení výrobního času. Na úsecích, které jsou prováděny na hlavním vřetenu, jsou výrobní časy v obou variantách téměř stejné, jelikož zde není možné navýšení řezných podmínek z důvodu polotovaru materiálu. Jelikož je polotovarem tyč délky 3 m, při jejím obrábění se šíří nežádoucí vibrace, které narůstají při zvýšení řezných podmínek. To by mohlo mít nežádoucí vliv na dosahovanou přesnost dílce. Tyto úseky se tedy liší pouze v časech výměn nástrojů. Na stroji HT 45 - G3 je nutné před každou operací počítat s prodlevou pro výměnu nástroje. Zde má výhodu stroj Deco 20a, kde pokud navazující obráběcí operace není prováděna nástrojem na stejném deskovém nástrojovém upínači, nenastává téměř žádná prodleva mezi operacemi. Z tohoto důvodu lze vidět, že v některých úsecích na hlavním vřetenu na stroji DECO 20a jsou výrobní časy dokonce kratší oproti novému stroji. Úspora času nastává i na úseku T11 úpich dílce, a to z důvodu rychlejšího rychloposuvu na novém stroji.

Při porovnání výrobních časů na sekundárním vřetenu lze již vidět výrazné úspory času, které jsou způsobeny zvýšením řezných podmínek, které je možné provést z důvodu zvýšené tuhosti upnutí na sekundárním vřetenu nového stroje. Pouze na úsecích T52 a T44 je nutné ponechat stejné řezné podmínky, aby bylo zaručeno dosažení velmi přesných parametrů požadovaných na kuželové ploše $90^\circ \pm 1^\circ$.

Tab. 19: Srovnání výsledných časů jednotlivých operací obou strojů.

Operace	DECO 20a	HT 45-G3	Změna času [%]
	Čas [s]	Čas [s]	
T21-1	6,35	18,81	-12,1
T21-2	3,30		
T21-3	7,12		
T33	2,63	2,31	12,3
T32	8,83	9,00	-1,9
T12	3,26	3,76	-15,5
T22	9,99	9,99	0,0
T13	4,49	4,99	-11,0
T24 (2x)	6,20	5,70	8,0
T25 (2x)	4,36	4,41	-1,2
T11	10,88	8,24	24,3
T41	15,14	8,77	42,1
T42	9,61	4,92	48,8
T51-1	1,60	0,78	51,3
T51-1	5,42	1,61	70,3
T52	3,00	2,97	0,9
T44	5,79	5,89	-1,7
T43	4,21	2,56	39,1
T51-2	1,47	0,82	44,5
T53	9,57	7,96	16,8

V Tab. 20 lze vidět již celkové časy výroby na jednotlivých vřetenech obou strojů. Zde je nutné, aby celkový čas výroby na sekundárním vřetenu byl menší než celkový čas výroby na hlavním vřetenu, a to z důvodu zajištění plynulosti výroby.

Navýšení řezných podmínek a tím snížení výrobních časů jednotlivých operací bylo možné provést pouze u obráběcích úseků na sekundárním vřetenu. Pouze to by ale způsobovalo velké nerovnosti ve výrobních časech operací na hlavním a sekundárním vřetenu. Z tohoto důvodu bylo provedeno převedení operací T33 a T32, tedy navrtání $\varnothing 5,5 -0,2$ a vrtání $\varnothing 5,5 -0,2$ na dolní nástrojovou revolverovou věž. Tyto operace jsou nyní prováděny současně s operacemi, které se realizují na sekundárním vřetenu. Tímto se tedy provádí operace T21 a T33, respektive T32, současně a dosáhlo se potřebné rovnováhy mezi výrobními časy na hlavním a sekundárním vřetenu.

Tab. 20: Celkové časy výroby jednotlivých vřeten.

	DECO 20a	HT 45 - G3	Úspora času [%]
Celkový čas výroby na hlavním vřetenu [s]	56,54	47,76	15,5
Čas operace úpich [s]	10,88	8,24	24,3
Celkový čas výroby na sekundárním vřetenu [s]	55,80	47,58	14,7

V následující Tab. 21 lze již vidět výsledné ceny výroby 1 kusu dílce, který byl vypočítán jako součin ceny práce jednotlivého výrobního stroje s výrobním časem 1 kusu. Ten je stanoven jako suma celkového času výroby na hlavním vřetenu a času operace úpich součástí. Výsledná úspora v nákladech na výrobu zadaného dílce je díky novému návrhu výroby 13,68 %.

Tab. 21: Ekonomické zhodnocení.

Stroj	Výrobní čas 1ks		Cena práce stroje [Kč.min ⁻¹]	Cena 1ks [Kč]	Úspora [%]
	[s]	[min]			
DECO 20a	67,4	1,12	12,6	14,11 Kč	-
Hyperturn 45-G3	56,0	0,93	13,1	12,18 Kč	13,68

ZÁVĚR

V této práci byly vypracovány všechny cíle v souladu se zadáním. Nejprve byl proveden teoretický rozbor zvolené problematiky, tedy rozbor všech výrobních technologií, které byly použity v technologických postupech. Dále byla provedena analýza stávajícího stavu výroby zadaného dílce se zaměřením zejména na obráběcí operaci, která se realizuje na CNC obráběcí stroji DECO 20a. Součástí práce je také návrh nové obráběcí operace zadaného dílce, při které byl použit nový stroj HT 45-G3. V závěru práce je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení obou variant obráběcích operací.

Díky novému produktivnějšímu obráběcímu CNC stroji HT 45-G3 je možné navrhnout nový způsob obrábění zadaného dílce. V novém návrhu jsou zohledněny výhody tohoto stroje, které spočívají zejména v příznivějším konstrukčním provedení oproti starému stroji DECO 20a. Stroj HT 45-G3 je také výkonnější. Díky těmto výhodám bylo možné lépe upravit sled jednotlivých obráběcích operací a také navýšit jejich řezné podmínky. Také byly provedeny úpravy nástrojového vybavení, kde byly nahrazeny nástroje, které nové vyšší řezné podmínky nespĺňovaly, za nástroje s vyššími doporučovými řeznými podmínkami.

Tímto návrhem nové obráběcí technologie bylo dosaženo následujících bodů:

- zkrácení času výroby jednoho kusu dílce o 16,96 %, z 1,12 min na 0,93 min,
- snížení ceny výroby jednoho kusu dílce o 13,68 %, z 14,11 Kč na 12,18 Kč.

Úspora na výrobu jednoho kusu tedy činí 1,93 Kč. Vzhledem k objemu výroby v řádech sta tisíce kusů za rok lze toto považovat za výraznou úsporu nákladů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. Oxford: Clarendon Press, 1997, 594 s. ISBN 0-19-859020-2.
- [2] HUMÁR, Anton. *Technologie I. Technologie obrábění - 1. část: Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, s. 138 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf
- [3] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. : il. ISBN 80-214-2374-9.
- [4] HUMÁR, Anton. *Technologie I. Technologie obrábění - 2. část* [online]. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004, s. 95 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-2cast.pdf
- [5] *Výroba závitů: Soustružení a frézování závitů* [online]. [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://tibp.blob.core.windows.net/coromant/388dc132-aa6a-43e9-8b54-07ce9f1b885e.pdf?sv=2014-02-14&sr=b&sig=0DrjMTIkLwERjXzYqHm6oUNWAhkC47B8WfuKoqct7Sw%3D&st=2021-03-12T15%3A04%3A08Z&se=2031-03-10T15%3A09%3A08Z&sp=r&rsct=application%2Fpdf&rsced=inline%3B%20filena me%3DC-2920-031.pdf>
- [6] SANDVIK COROMANT. Nástrojové materiály. *SANDVIK COROMANT* [online]. [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/pages/cutting-tool-materials.aspx>
- [7] MECHOLIC. Different Types of Cutting Tools Materials and Their Properties. *Mecholic.com* [online]. [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.mecholic.com/2016/02/different-types-of-cutting-tools-materials-and-their-properties.html>
- [8] PETŘÍK, Jan. Obrobitelnost a vlastnosti obráběných materiálů: Výroba a technologie. *Mmspektrum.com* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/obrobitelnost-a-vlastnosti-obrabenych-materialu>
- [9] Omílání. *ELUC* [online]. 2021 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1388>
- [10] ALVITI, Steven. Practical Guide to Mass Finishing Jewelry. *Ganoksin.com* [online]. 2021 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.ganoksin.com/article/practical-guide-to-mass-finishing-jewelry/>
- [11] Omílání jako universální metoda pro úpravu povrchů. *Mmspektrum.com* [online]. 2021 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/omilani-jako-univerzalni-metoda-pro-upravu-povrchu.html>
- [12] OTEC ADVANTAGE - FL.CZ S.R.O. *DOKONALÉ POVRCHY DÍKY PRECIZNÍ FINÁLNÍ ÚPRAVĚ: PŘEHLED TECHNOLOGIÍ* [online]. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://advantage-fl.cz/storage/files/362/OTEC-Maschineneuebersicht-CZ.pdf>

- [13] Omílání. *Omilani.cz: Flidr metal* [online]. 2021 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://omilani.cz/omilani.html>
- [14] Stroje pro procesy omílání. *ADVANTAGE PRŮMYSL* [online]. 2015 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://advantage-fl.cz/prumysl/povrchova-uprava/omilani>
- [15] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB, 1995, 151 s. : il. ISBN 80-7078-267-6.
- [16] Omílací tělíska. *Omilbrus.cz* [online]. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.omilbrus.cz/omilaci-teliska>
- [17] DREHER. *Schleppfinisher: Drag Finisher* [online]. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.dreher-finish.com/phocadownload/sf1.pdf>
- [18] KREIBICH, Viktor. *Strojírenské materiály a povrchové úpravy: Návod ke cvičení z povrchových úprav*. Praha: Praha: ČVUT, 1989. ISBN 80-01-00045-1.
- [19] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 216 s. : il. ; 21 cm. ISBN 80-7082-668-1.
- [20] 1.4418. *Xlmetal.cz* [online]. 2021 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://www.xlmetal.cz/materialy/nerezova-ocel/14418.html>
- [21] KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Výrobní technologie II: [obrábění]*. Brno: CERM, 2002, 83 s. : il. ; 30 cm. ISBN 80-214-2189-4.
- [22] TORNOS. DECO 20a. *Direct industry: by virtualexpo group* [online]. 2021 [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: https://pdf.directindustry.com/pdf/tornos/deco-20a/5100-327547-_4.html
- [23] SOCHOVÁ, Hana. Základní způsoby frézování. *Eluc.kr-olomoucky.cz* [online]. [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1226>
- [24] EMCO GMBH. HYPERTURN 45 G3: High-performace turning center for complete machining. *Direct industry* [online]. [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://pdf.directindustry.com/pdf/emco-gmbh/cnc-turn-mill-center-hyperturn-45-g3/7241-929179.html#search-en-emco-th>
- [25] SECO TOOLS CZ, S.R.O. A06E-SCFDL04. *SECO* [online]. [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: https://www.secotools.com/article/p_00054763
- [26] ISCAR. PICCOCUT: PICCO ISO Full Profile Fine. *Www.ISCAR.com* [online]. 2021 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=6404448&fnum=3053&mapp=TH&app=208&GFSTYP=M&isoD=1>
- [27] ISCAR LTD. PICCOCUT: PICCO/MG PCO (holder). *Www.ISCAR.com* [online]. 2021 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=2800894&fnum=514&mapp=TH&app=208&GFSTYP=M&isoD=1>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
C	Uhlík
CAD	Počítačově podporované navrhování
CNC	Číslicově řízený počítačem
CVD	Chemicky nanášený povlak
HT	Hyperturn
PVD	Fyzikálně nanášený povlak
VBD	Vyměnitelná břitová destička
Cr	Chrom
Fe	železo
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
Mn	Mangan
Mo	Molybden
N	dusík
Ni	Nikl
P	fosfor
S	Síra
Si	Křemík

Symbol	Jednotka	Popis
A_s	[%]	Tažnost
A_D	[mm ²]	Průřez třísky
A_{Di}	[mm ²]	Průřez třísky v závislosti na poloze nástroje
D	[mm]	Průměr
D_{max}	[mm]	Maximální průměr obrobku
D_{min}	[mm]	Minimální průměr obrobku
H	[mm]	Hloubka odebírané vrstvy
L	[mm]	Délka obrobku
Ra	[μm]	Střední aritmetická úchylka

R_{p0,2}	[MPa]	Smluvní mez kluzu
R_m	[MPa]	Mez pevnosti materiálu
R_z	[μm]	Výška nerovnosti profilu
a_p	[mm]	Šířka záběru hlavního ostří
b	[mm]	Šířka třísky
b_D	[mm]	Jmenovitá tloušťka třísky
d	[mm]	Průměr obrobku po soustružení
e	[mm]	Přesazení frézy
f	[mm]	Posuv na otáčku obrobku
f_z	[mm]	Posuv na zub
h_D	[mm]	Jmenovitá šířka třísky
h_i	[mm]	Tloušťka třísky v závislosti na poloze nástroje
l	[mm]	Konečná délka polotovaru po čelním soustružení
l_n	[mm]	Délka náběhu
l_p	[mm]	Délka přeběhu
n	[min ⁻¹]	Otáčky obrobku
r_ε	[mm]	Poloměr špičky ostří
t_{AS}	[min]	Jednotkový strojní čas
v_c	[m.min ⁻¹]	Řezná rychlost
v_e	[m.min ⁻¹]	Výsledná efektivní rychlost
v_f	[mm.min ⁻¹]	Rychlost posuvu
z	[-]	Počet zubů frézy
φ_i	[°]	Úhel posuvového pohybu
λ_t	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Tepelná vodivost
κ_r	[°]	Úhel nastavení hlavního ostří