

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH NA ZEFEKTIVNĚNÍ PROCESU OBRÁBĚNÍ VÁLCOVÉ SOUČÁSTI PRO ROPNÉ VRTY

EFFICIENCY IMPROVEMENT PROPOSAL OF MACHINING PROCESS OF CYLINDER
COMPONENT FOR OIL WELLS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MICHAL KOUDELA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF SEDLÁK, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Michal Koudela

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

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

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

Návrh na zefektivnění procesu obrábění válcové součásti pro ropné vrty

v anglickém jazyce:

Efficiency Improvement Proposal of Machining Process of Cylinder Component for Oil Wells

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod
2. Popis, rozbor a charakteristika použitých technologií – soustružení, frézování, vrtání
3. Analýza současného stavu technologie výroby
4. Návrh inovace výrobního procesu
5. Technicko-ekonomické zhodnocení
6. Závěr

Cíle diplomové práce:

Cílem diplomové práce bude návrh na zefektivnění procesu obrábění válcové součásti pro ropné vrty. Součástí práce bude analýza stávajících technologií výroby této součásti a návrh inovace vedoucí k zefektivnění výrobního procesu. Práce bude obsahovat také popis a rozbor jednotlivých výrobních pracovišť potřebných pro výrobu této součásti. V závěru práce bude provedeno technicko-ekonomické zhodnocení včetně porovnání a rozboru stávajícího a nově navrženého řešení.

Seznam odborné literatury:

1. PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. CERM 1.vyd. 246 s. 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. HUMÁR, A. Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění. 1. vyd. Brno: CCB, s.r.o., 1995. 256 s. ISBN 80-85825-10-4.
3. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
4. AB SANDVIK COROMANT. Produktivní obrábění kovů. Sandvik Coromant, technické vyd. Švédsko: CMSE, 1997. 300 s. S-811 81 Sandviken, Švédsko.
5. KOČMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, 2002. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

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

V Brně, dne 20.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem zefektivnění obrábění při výrobě vnitřní objímky pro ropné vrty ve společnosti Sanborn a.s. V diplomové práci jsou stručně popsány použité technologie obrábění, dále je zde popsána původní technologie výroby včetně popisu použitých obráběcích strojů, použitých nástrojů a řezných podmínek. V další části práce je popsán návrh zefektivnění obráběcích operací. Tento návrh zahrnuje popis možného řešení vedoucího k zefektivnění, dále je zde popsán vhodný stroj pro danou operaci, příslušné nástroje a navrhované řezné podmínky. Je zde také popsán přínos realizace navrhovaných řešení a to jak z hlediska úspory jednotkového času, tak z hlediska samotné technologie obrábění, kdy došlo např. ke zlepšení utváření třísky, snížení vnitřního napětí obráběné součásti atd. Součástí práce je také technicko-ekonomické zhodnocení, kde je vyhodnocen ekonomický přínos zavedených změn.

Klíčová slova

zefektivnění, obrábění, návrh, soustružení, frézování

ABSTRACT

This diploma thesis is concerned with a proposal for increasing the efficiency of machining when manufacturing an inner sleeve at the company Sanborn a.s. In the diploma thesis, the technology used for machining itself is first briefly described, followed by a description of the original production technology including a description of machine and hand tools used and cutting conditions. The next part of the paper describes the proposal for increasing the efficiency of machining operations. The proposal includes a description of the suggested solution that will lead to increased efficiency, a machine proposed for the specific operation, appropriate tools and proposed cutting conditions. The benefits of implementing the proposal are also described here, both in terms of saving unit time, and in terms of the machining technology itself, where, for example, the formation of chips is improved, the inner tension of machined components reduced, etc. The diploma thesis further includes a technical-economic evaluation assessing the economic benefits of the changes introduced.

Key words

increased efficiency, machining, proposal, turning, milling

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOUDELA, M. *Návrh na zefektivnění procesu obrábění válcové součásti pro ropné vrty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 71 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh na zefektivnění procesu obrábění válcové součásti pro ropné vrty vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Michal Koudela

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji Ing. Milanu Holubovi ml. a dalším pracovníkům společnosti Sanborn a.s. za cenné připomínky, rady a podklady při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Sanborn a.s. za možnost zpracování diplomové práce a v neposlední řadě také doc. Ing. Josefu Sedlákovu, Ph.D. za cenné rady při zpracování této práce.

OBSAH

Abstrakt

Bibliografická citace

Prohlášení

Poděkování

ÚVOD	10
1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O SPOLEČNOSTI SANBORN A.S.	11
1.1 Historie společnosti	11
1.2 Výrobní program	11
1.2.1 Strojní obrábění	11
1.2.2 Spojovací materiál	12
1.2.3 Opravy vodních, parních a plynových turbín	12
1.2.4 Renovace kluzných ložisek	13
1.2.5 Ultrafiltrační zařízení	13
1.3 Strojní park	14
1.4 Systém řízení jakosti	14
2 POPIS, ROZBOR A CHARAKTERISTIKA TECHNOLOGIE SOUSTRUŽENÍ, FRÉZOVÁNÍ A VRTÁNÍ	15
2.1 Soustružení	15
2.1.1 Pohyby při soustružení	15
2.1.2 Utváření třísky při soustružení	16
2.1.3 Průřez třísky a jeho rozměry při soustružení	17
2.1.4 Řezné síly při soustružení	18
2.2 Frézování	20
2.2.1 Pohyby při frézování	20
2.2.2 Utváření a průřez třísky při frézování	22
2.2.3 Řezné síly při frézování	24
2.3 Vrtání	26
2.3.1 Pohyby při vrtání	26
2.3.2 Utváření třísky a její průřez při vrtání	27
2.3.3 Řezné síly při vrtání	29
3 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU TECHNOLOGIE VÝROBY	31
3.1 Polotovar	32
3.2 Přehled operací	32
3.3 Vstupní kontrola	32
3.4 Dělení polotovaru	33
3.5 Obrábění vnějšího rozměru	34
3.5.1 Strojní zařízení	34
3.5.2 Upínání obrobku	35

3.5.3	Operační úseky, použité nástroje a řezné parametry	35
3.6	Hrubování vnitřního průměru	36
3.6.1	Strojní zařízení	36
3.6.2	Operační úseky, použité nástroje a řezné parametry	37
3.7	Dokončování povrchů včetně zápichů, zhotovení závitu.....	38
3.7.1	Strojní zařízení	38
3.7.2	Upínání obrobku.....	39
3.7.3	Operační úseky, použité nástroje a řezné parametry	40
3.8	Frézování drážek, vrtání otvorů a řezání závitů	42
3.8.1	Strojní zařízení	42
3.8.2	Upínání obrobku.....	43
3.8.3	Operační úseky, použité nástroje a řezné parametry	44
3.9	Výstupní rozměrová kontrola.....	45
3.10	Výstupní kontrola dokumentace, značení, konzervace a balení	46
3.11	Vyhodnocení jednotkového času na výrobu vnitřní objímky	47
4	ZEFEKTIVNĚNÍ SOUČASNÉHO STAVU TECHNOLOGIE VÝROBY	48
4.1	Přehled operací s navrhovanými změnami strojů	48
4.2	Zefektivnění obrábění vnějšího průměru	49
4.2.1	Operační úseky, navrhované nástroje a řezné parametry	49
4.2.2	Zavedení návrhu na zefektivnění obrábění vnějšího průměru	50
4.3	Zefektivnění obrábění vnitřního průměru	52
4.3.1	Návrh změny přívodu řezné kapaliny	54
4.3.2	Operační úseky, navrhované nástroje, řezné parametry.....	56
4.3.3	Zavedení návrhu na zefektivnění obrábění vnějšího průměru	56
4.4	Zefektivnění dokončování vnějšího a vnitřního průměru	57
4.4.1	Operační úseky, navrhované nástroje a řezné parametry	57
4.4.2	Zavedení návrhu zefektivnění dokončování vnějšího a vnitřního prům. ..	59
4.5	Zefektivnění frézování drážek, vrtání otvorů a řezání závitů	61
4.5.1	Strojní zařízení	61
4.5.2	Návrh upínání obrobku.....	62
4.5.3	Operační úseky, navrhované nástroje a řezné parametry	63
4.5.4	Zavedení návrhu na zefektivnění obrábění vnějšího průměru	66
5	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	68
5.1	Jednotkové časy před a po zefektivnění.....	68
5.2	Výrobní náklady před a po zefektivnění	69
ZÁVĚR.....		71

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam příloh

ÚVOD

Ropa je v současné době nejvýznamnější strategická surovina. Různým způsobem zasahuje téměř do všech činností obyvatel celého světa. Těžba a následné zpracování ropy jsou proto velice rozsáhlá a rozvinutá odvětví průmyslu, na kterých jsou mnohdy založeny ekonomiky celých států. Těžební a petrochemický průmysl si žádá použití mnoha důmyslných zařízení a technologií jako jsou např. vrtné soupravy, ropné plošiny, rafinérie na zpracování surové ropy atd. Tato zařízení a technologie se navíc v neustálé snaze učinit těžbu ropy a její zpracování efektivnější stávají čím dál tím sofistikovanější.

Část výrobního programu společnosti Sanborn a.s. je zaměřena právě na výrobu kritických komponentů těchto sofistikovaných zařízení. Jedním z dílů pro těžební a petrochemický průmysl je i vnitřní objímka (obr. 1) zpětného ventilu, který je součástí zařízení sloužícího k pažení a cementování ropných vrtů. Jedná se o zařízení, jehož úkolem je utěsnění prostoru mezi stěnami vrtu a ocelovými pažnicemi pomocí cementové suspenze.

V této práci je popsána současná technologie výroby vnitřní objímky ve společnosti Sanborn a.s. Na základě popisu a rozboru jednotlivých operací je zde navrženo jakými opatřeními a změnami by bylo možné výrobu této součásti zefektivnit, tak aby došlo k úspoře jednotkového času, snížení výrobních nákladů, zvýšení výrobní kapacity společnosti a v neposlední řadě i zlepšení kvality vyráběné součásti.



Obr. 1 Vnitřní objímka zpětného ventilu.

1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O SPOLEČNOSTI SANBORN A.S.

Společnost Sanborn a.s. je moderní strojírenská firma s historií sahající až do dvacátých let 20. století, která se zabývá specializovanou strojírenskou výrobou a také opravou vysoce kvalitních přesných dílů zejména z oblasti energetického, dopravního a petrochemického průmyslu pro zákazníky z celého světa [1].

1.1 Historie společnosti

Přestože firma v současné podobě byla vybudována v letech 1970–1980 jako strojírenský závod a opravárenská základna pro československou energetiku, tak její historie sahá až do dvacátých let minulého století [1, 2].

Společnost byla založena jako Vávrovy strojírný. Po roce 1948 byla společnost znárodněna. Firma zůstala malým podnikem v centru Velkého Meziříčí až do 70. let, kdy se stala pobočkou Energetických strojíren Brno – opravárenské základny československé energetiky. Po tomto spojení se stala společnost celostátně známým dodavatelem dílů a služeb pro československý energetický průmysl. V 70. letech se také společnost přesunula z centra města do svých současných prostor [1, 2].

Nová kapitola v dějinách firmy začala po privatizaci majetku v roce 1992, kdy se stala akciovou společností s většinovým podílem zahraniční firmy Sanborn International BV a vznikla tak společnost Sanborn a.s. Od roku 1992 se zmodernizovala většina provozů ve firmě. Investiční politika firmy zajišťuje nejen zlepšování technologií a kvality výroby, ale také zvětšování výrobních a skladovacích prostor ve společnosti. O čemž svědčí výstavba nové expediční haly dokončená v roce 2003 a stavba nové haly dokončená ve druhé polovině roku 2004. V roce 2015 byla zahájena stavba nové výrobní haly a stavba portálového jeřábu pro rychlejší vykládku materiálu [1, 2].

1.2 Výrobní program

Základní výrobní program společnosti tvoří:

- strojírenská výroba,
- výroba speciálního spojovacího materiálu pro vysoké teploty a tlaky,
- opravy vodních, parních a plynových turbín,
- renovace a výroba kluzných kompozicových ložisek,
- výroba ultrafiltračních zařízení,
- výroba náhradních dílů (energetika, teplárny, chemické provozy).

Velký rozsah strojového parku umožňuje obrábění součástí téměř ve všech kategoriích, kromě širokého spektra obráběcích strojů disponuje společnost také slévárnou pro výrobu kompozicových ložisek, zařízením pro vyvažování rotorů a svařovnou [2].

1.2.1 Strojní obrábění

Jedná se o zakázkovou výrobu součástí a dílů podle požadavků zákazníků a dodané dokumentace. K výrobě se používá vlastní nebo zákazníkem dodaný materiál či polotovar. Při výrobě součástí jako jsou např. hřídele, čepů, šroubů, redukcí, tvarovek, ozubených kol, pouzder apod. jsou používány moderní technologie a rozsáhlý strojní park, který tvoří

klasické, NC a CNC stroje včetně moderních pětiosých obráběcích center. Lze obrábět součásti do max. točného průměru 4000 mm a délky 6000 mm. Na obr. 1.1 jsou ukázky strojních součástí, obráběných ve společnosti Sanborn a.s. [2, 3].



Obr. 1.1 Ukázka dílů obráběných ve společnosti Sanborn a.s. [3].

1.2.2 Spojovací materiál

Svorníky, šrouby, matice a další spojovací materiál je vyráběn z konstrukčních středně a vysoce legovaných ocelí a korozivzdorných ocelí podle norem ČSN, DIN a ANSI, v délkách dle požadavků zákazníka a v průměrech od M10 do M210 mm, toto platí i pro závity UN, W, G, Rd, Tr. Široké použití těchto výrobků je u tepelně a tlakově exponovaných spojů od teplot $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $580\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tlaku do 30 MPa. Dle požadavku zákazníka jsou zajišťovány povrchové úpravy např. fosfátování, žárové zinkování nebo povrchové úpravy typu Stanal, Geomet a Dactromet. Závity jsou vyráběny válcováním za studena, čímž je docílena vysoká odolnost a kvalita závitu. Mezi další speciální spojovací materiál patří také nerozebíratelné šroubové spoje, jejichž využití je zejména v místech, kde je potřeba zaručit pevný nerozebíratelný spoj a kde není možné použít svařování nebo nýtování. Hlavní oblastí používání těchto spojů jsou různé konstrukce v terénu jako mosty, stožáry, vysílače apod. Na obr. 1.2 jsou příklady vyráběného spojovacího materiálu [2, 3].



Obr. 1.2 Ukázka ze sortimentu vyráběného spojovacího materiálu [3].

1.2.3 Opravy vodních, parních a plynových turbín

Společnost Sanborn a.s. realizuje opravy starších typů vodních, parních a plynových turbín a čerpadel od jiných výrobců až do výkonu 25 MW. Při opravě jsou zajišťovány další úpravy, které vedou např., ke zlepšení výkonu, umožňují kvalitnější měření potřebných parametrů atd. K provádění oprav jsou využívány moderní technologie a je prováděna

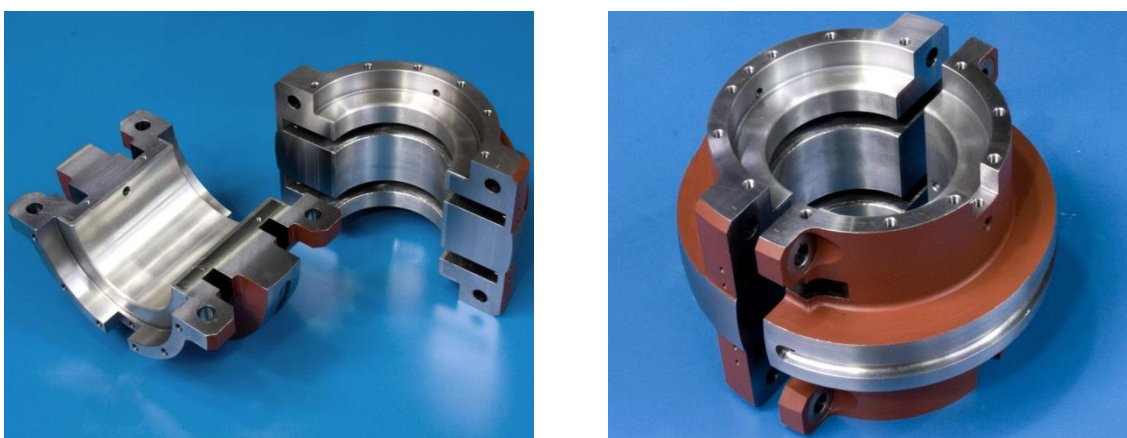
výměna rotorových i statorových lopatek. Pro provoz a údržbu jsou dodávány náhradní díly exponovaných částí turbosoustrojí. Ukázka plynové turbíny po opravě je na obr. 1.3 [3].



Obr. 1.3 Plynová turbína po opravě [3].

1.2.4 Renovace kluzných ložisek

Renovace starých těles ložiskových pánví je prováděna statickým, nebo odstředivým vylitím ložiskovým kovem „STANIT“ ČSN 423753 a soustružením nahrubo nebo na přesný průměr dle ložiskového čepu. Ložisko po renovaci je na obr 1.4. Mimo renovace společnost nabízí i výrobu nových kompozicových ložisek a různých kamenů a pánví. U všech výrobků se provádí ultrazvuková zkouška přilnutí kompozice k pánvi podle oborových norem. U ložiskových pánví a těles ze šedé litiny musí být podmínky přilnutí individuálně dohodnuty. Maximální rozměry pánví jsou do průměru 2000 mm a délky 1500 mm [3].



Obr. 1.4 Renovované ložisko [3].

1.2.5 Ultrafiltrační zařízení

Ultrafiltrační zařízení slouží k likvidaci zaolejovaných vod, řezných kapalin a k regeneraci odmašťovacích lázní. Ultrafiltrační systém pracuje kontinuálně, automaticky, bez trvalé obsluhy. Toto zařízení je založeno na membránovém mechanickém principu separace kapalin s různou molekulovou velikostí. Zařízení jsou vhodná k účinnému oddělování permeátu (vodní fáze, odmašťovadlo) od koncentrátu (olej, ropná emulze). Výrobce grantuje výstupní parametry pro různé aplikace do 3 mg/l, při požadavku je možnost zajistit výstup NEL do 0,25 mg/l a pro vodárenské toky i 0,05 mg/l [3].

1.3 Strojní park

Společnost Sanborn a.s. je vybavena širokou škálou obráběcích strojů od klasických až po nejmodernější CNC obráběcí centra a karusely. Jejich přehled je v příloze 1.

1.4 Systém řízení jakosti

Pro společnost Sanborn a.s je velice důležité a prestižní zajištění maximální kvality produktů a spokojenosti svých zákazníků. Proto je v Sanborn a.s. uplatňován a neustále zdokonalován Integrovaný systém managementu (ISM) v souladu s normou ČSN EN ISO 9001:2009. Je zde také uplatňován systém udržitelnosti životního prostředí dle normy ČSN EN ISO 14001:2005. Kontrola a snížení rizik spojených se zdravím a bezpečností na pracovišti je prováděna v souladu s normou ČSN OHSAS 18001:2008. Uplatnění těchto norem v řízení a výrobě ve společnosti Sanborn a.s. je podloženo certifikáty od renomované certifikační společnosti Lloyd's Register Quality Assurance [4].

Mimo již zmíněných certifikátů společnost samozřejmě vlastní i certifikáty a oprávnění související s výrobním programem jako například:

- certifikáty pro výrobu matic – pevnostní třída 8,
- certifikáty pro výrobu šroubů s šestihrannou hlavou – pevnostní třída 8.8,
- certifikáty pro výrobu nerozebíratelných šroubových spojů, pevnostní třídy 8.8,
- oprávnění k montáži a opravám plynových zařízení.

Aby bylo možné zajistit a kontrolovat požadovanou kvalitu výroby je společnost Sanborn a.s. vybavena měřicím 3D zařízením, které je zobrazeno na obr. 1.5.



Obr. 1.5 Měřicí zařízení Wenzel LH 87 [3]

2 POPIS, ROZBOR A CHARAKTERISTIKA TECHNOLOGIE SOUSTRUŽENÍ, FRÉZOVÁNÍ A VRTÁNÍ

Technologie obrábění je založena na specifickém působení nástroje ve tvaru klínu na obráběný materiál, přičemž dochází k oddělování částic obráběného materiálu břitem řezného nástroje. Tento způsob fyzikálně-mechanického oddělování materiálu obrobku je definován jako řezání. Při procesu řezání je materiál obrobku odebrán ve formě třísek. Realizace řezného procesu probíhá v obráběcím systému Stroj – Nástroj – Obrobek, hlavním výstupem obráběcího procesu jsou parametry obrobenej plochy [5, 6].

2.1 Soustružení

Soustružení je technologie obrábění, při které je materiál odebrán většinou jednobřítým nástrojem. Soustružení představuje z mnoha hledisek nejjednodušší metodu obrábění kovů. Tato technologie se používá pro zhotovení součástí rotačních tvarů, soustružením lze obrábět vnější a vnitřní válcové, kuželové i tvarové plochy, rovinné čelní plochy a zápichy. Na soustruzích lze mimo soustružení také vrtat, vyvrtávat, řezat závity, vystružovat, válečkovat, leštit atd. [5, 6].

2.1.1 Pohyby při soustružení

Při soustružení vykonává hlavní pohyb obrobek, jedná se o pohyb rotační. Rychlost hlavního pohybu je zároveň řeznou rychlostí v_c , která je dána vztahem (2.1), uvedeném např. v pracích [5, 7]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3} \text{ [m.mm}^{-1}\text{]}, \quad (2.1)$$

kde: D [mm] – průměr obráběné plochy,
 n [min⁻¹] – otáčky obrobku.

Vedlejší (posuvný) pohyb je přímočarý a vykonává ho obvykle nástroj. Rychlost posuvového pohybu v_f se stanoví dle vztahu (2.2), uvedeném např. v pracích [5, 7]:

$$v_f = \frac{f \cdot n}{10^3} \text{ [m.mm}^{-1}\text{]}, \quad (2.2)$$

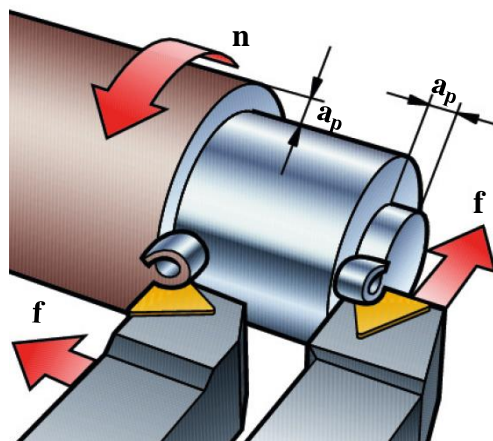
kde: f [mm] – posuv na otáčku.

Celková rychlost řezného pohybu v_e je dána vektorovým součtem řezné a posuvové rychlosti dle vztahu (2.3), uvedeném např. v pracích [5, 7]:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \text{ [m.mm}^{-1}\text{]}. \quad (2.3)$$

Pohyb nástroje může probíhat rovnoběžně s osou obrobku (podélné soustružení), v tomto případě dochází k redukování průměru obrobku. Nástroj se také může pohybovat kolmo k ose obrobku, to znamená, že nástroj soustruží čelní plochu obrobku. Často, zejména u CNC

řízených strojů, se tyto pohyby kombinují a vznikají tak kuželové případně různě zakřivené tvarové plochy. Při podélném soustružení válcové plochy se řezný pohyb uskutečňuje po šroubovici, při soustružení čelní plochy po Archimédově spirále a při soustružení rotační plochy obecného tvaru po obecné prostorové křivce. Princip podélného a příčného soustružení je znázorněn na obr. 2.1, kde a_p je šířka záběru ostří. [6, 7].

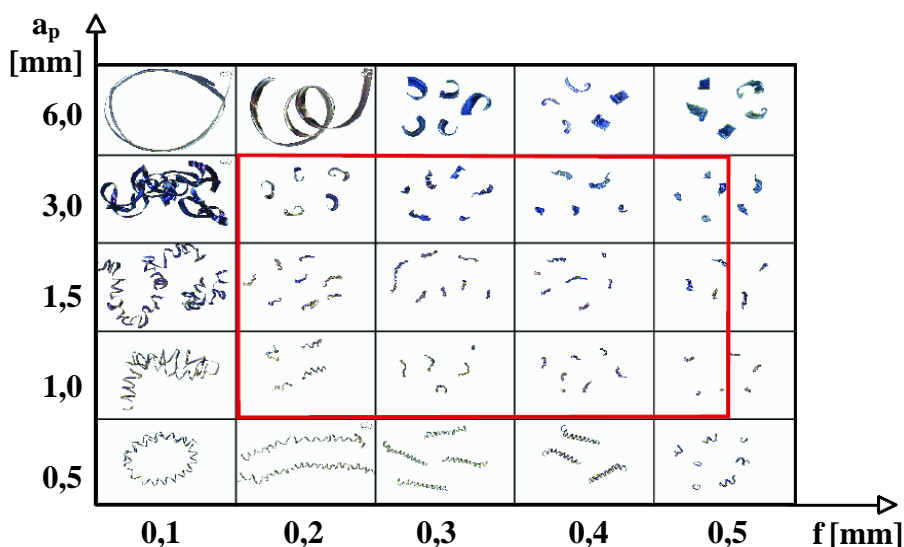


Obr. 2.1 Rozdíl mezi podélným soustružením (nástroj vlevo) a příčným (nástroj vpravo) [8].

2.1.2 Utváření třísky při soustružení

Způsob utváření třísky je ovlivňován mnoha faktory. Prvním faktorem, který ovlivňuje utváření třísky je materiál obrobku. Pro různé skupiny materiálů jsou typické určité tvary třísek. Neželezné kovy utvářejí zpravidla extrémně dlouhou třísku, oceli se vyznačují dlouhou třískou. Materiály s krátkou třískou jsou např. litiny a kalené materiály, nepravidelnou třísku utvářejí korozivzdorné oceli, vysokolegované oceli, titanové slitiny atd. Důležitou roli hrají také mechanické vlastnosti materiálu jako tvrdost, pevnost v tahu a tažnost. Utváření třísky ovlivňuje i způsob chlazení [6, 9].

Nejdůležitější pro kontrolu tvorby třísek jsou však použité řezné podmínky. Na obr. 2.2 je vidět změna tvaru třísek v závislosti na hloubce záběru hlavního ostří a velikosti posuvu [9].



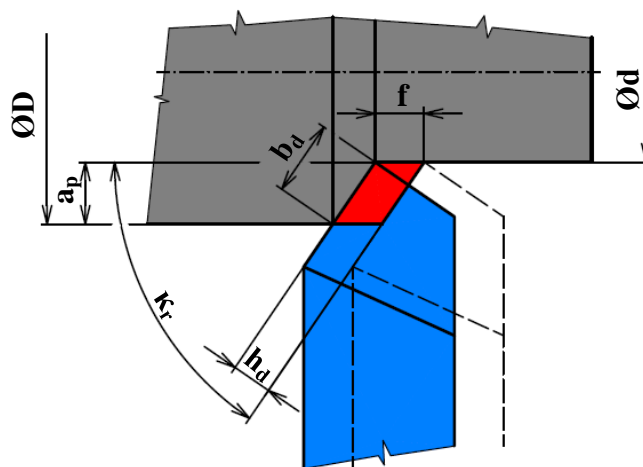
Obr. 2.2 Tvar třísky v závislosti na šířce záběru ostří a posuvu [8].

Jak je vidět z obr. 2.2 kombinace šířky záběru ostří a posuvu na otáčku má na tvar třísky zásadní vliv. Velikost řezné rychlosti se pak na změně způsobu utváření třísky projevuje menší měrou. Pokud jsou posuvy nízké, jsou třísky tím delší, čím vyšší je použitá řezná rychlost. Při zkoušce dělení třísek, jejíž výsledky jsou na obr. 2.2, byla soustružena nízkouhlíková nelegovaná ocel za použití VBD typu CNMG 12 04 08 PM. Červeně označená oblast je pak oblast kombinace posuvu a šířky záběru hlavního ostří, při které vzniká vhodná tříška typu krátké spirály. Obecně platí, že čím jsou větší posuvy, tím jsou kratší třísky [8, 9].

Utváření třísky je také značně ovlivňováno geometrií břitu. Délka, šířka a směr pohybu třísky závisí na úhlu nastavení hlavního ostří. Poloměr špičky ovlivňuje tento proces pouze do určité hodnoty a_p . Pro způsob utváření třísky je také důležitá geometrie čelní plochy, zejména velikost primární fazetky, úhel čela a tvar utvařeče třísky. Nástroje s větším úhlem čela sice umožňují snížení řezné síly, mají však tendenci k utváření dlouhých třísek. Provedení utvařečů třísek rozhoduje o schopnosti účinně ovlivňovat tvar třísky při různých rychlostech posuvu. Vyměnitelné břitové destičky se vyrábějí s nespočtem různých tvarů a geometrií utvařečů a každý je vhodný pro jiné obráběné materiály a řezné podmínky [6, 9].

2.1.3 Průřez třísky a jeho rozměry při soustružení

Průřez třísky (plocha řezu) je definován jako vrstva obráběného materiálu, která je odebrána působením ostří nástroje. Rozměry potřebné pro výpočet průřezu třísky jsou vyznačeny na obr. 2.3 [7].



Obr. 2.3 Rozměry třísky při podélném soustružení [10].

Jmenovitý průřez třísky A_D pro podélné soustružení válcové plochy za předpokladu $r_e \rightarrow 0$ je definován vztahem (2.4) uvedeném např. v pracích [5, 7]:

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot f \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (2.4)$$

kde: b_D [mm] – jmenovitá šířka třísky,
 h_D [mm] – jmenovitá tloušťka třísky,
 a_p [mm] – šířka záběru hlavního ostří,

Jmenovitá šířka třísky b_D se za předpokladu $r_\epsilon = 0$ stanoví pomocí vztahu (2.5) uvedeném např. v pracích [5, 7]:

$$b_D = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \text{ [mm]}, \quad (2.5)$$

kde: κ_r [°] – nástrojový úhel nastavení hlavního ostří.

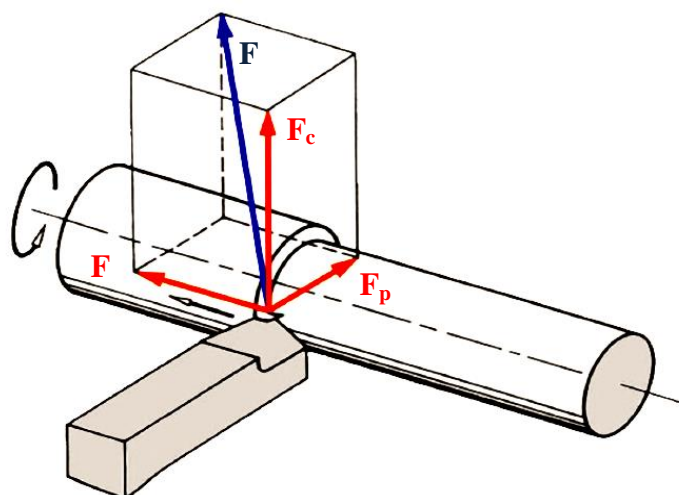
Jmenovitá tloušťka třísky h_D je dána poměrem jmenovitého průřezu třísky A_D a jmenovité šířky třísky b_D . V případě podélného soustružení válcové plochy za předpokladu $r_\epsilon = 0$ a $\varphi = 90^\circ$ je jmenovitá tloušťka třísky dána vztahem (2.6) uvedeným např. v pracích [5, 7]:

$$h_D = f \cdot \sin \kappa_r \text{ [mm]}. \quad (2.6)$$

2.1.4 Řezné síly při soustružení

Řezný proces je výsledkem působení složité soustavy mezi nástrojem a obrobkem. Na základě identifikace této silové soustavy je možné lépe nastavit řezné podmínky s ohledem na průběh obrábění a stabilitu břitu nástroje. Celková řezná síla působící mezi nástrojem a obrobkem se označuje F . Tuto sílu lze rozložit na různé složky, přičemž zvláštní význam mají složky vztažené ke směru řezu a posuvu. Pro další úvahy se vychází z předpokladu,

že vektor celkové řezné síly F je umístěn do jednoho hlavního bodu nástroje a že všechny roviny a směry potřebné k identifikaci celkové řezné síly F jsou definovány taktéž v tomto bodě. Na obr. 2.4 je znázorněn rozklad síly F do několika složek: do složky řezné síly F_c , složky pasivní řezné síly F_p a do složky posuvové řezné síly F_f [7, 12].



Obr. 2.4 Rozklad celkové řezné síly F na jednotlivé složky [11].

Velikost řezných sil je ovlivněna zejména materiálem obrobku, geometrií nástroje a řeznými podmínkami. Čím tvrdší je materiál obrobku, tím větší jsou řezné síly. Čím pozitivnější je úhel čela, tím jsou řezné síly menší. Při zvětšování šířky záběru hlavního ostří, stejně jako při zvětšování posuvu, velikost řezných sil narůstá. Řezné síly lze spočítat pomocí empirických vzorců, aplikací měrné řezné síly nebo zjistit pomocí dynamometrů [7, 11].

Jednotlivé složky řezné síly se v případě podélného soustružení válcové plochy vypočítají dle vztahů (2.7), (2.8) a (2.9), které jsou uvedeny např. v pracích [5, 7]:

$$F_c = C_{F_c} \cdot a_p^{X_{F_c}} \cdot f^{Y_{F_c}} \quad [\text{N}], \quad (2.7)$$

$$F_f = C_{F_f} \cdot a_p^{X_{F_f}} \cdot f^{Y_{F_f}} \quad [\text{N}], \quad (2.8)$$

$$F_p = C_{F_p} \cdot a_p^{X_{F_p}} \cdot f^{Y_{F_p}} \quad [\text{N}], \quad (2.9)$$

kde: $C_{F_c}, C_{F_f}, C_{F_p}$ [–] – materiálové konstanty,
 $X_{F_c}, X_{F_f}, X_{F_p}$ [–] – exponenty vlivu a_p ,
 $Y_{F_c}, Y_{F_f}, Y_{F_p}$ [–] – exponenty vlivu f_n .

Výsledná řezná síla F je dána vektorovým součtem všech tří složek dle vztahu (2.10), který je uveden např. v pracích [5, 7]:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2} \quad [\text{N}], \quad (2.10)$$

Řeznou složku F_c výsledné řezné síly F lze na základě známé velikosti měrné řezné síly k_c vyjádřit pomocí vztahu (2.11), uvedeném např. v pracích [5, 7]:

$$F_c = k_c \cdot A_D = k_c \cdot h_D \cdot b_D \quad [\text{N}], \quad (2.11)$$

Měrná řezná síla k_c se výrazně mění v závislosti na materiálu obrobku a jmenovité tloušťce průřezu třísky. Měrnou sílu lze empiricky vyjádřit pomocí vztahu (2.12), uvedeném např. v pracích [5, 7]:

$$k_c = \frac{C_{k_c}}{h_D^{u_{k_c}}} \quad [\text{MPa}], \quad (2.12)$$

kde: C_{k_c} [–] – materiálová konstanta,
 u_{k_c} [–] – konstanta.

Celkový výkon obráběcího stroje potřebný pro pokrytí řezného výkonu a pasivních odporů se vyjádří dle vztahu (2.13), uvedeném např. v pracích [5, 7]:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4 \cdot \eta} \quad [\text{kW}], \quad (2.13)$$

kde: η [–] – mechanická účinnost obráběcího stroje.

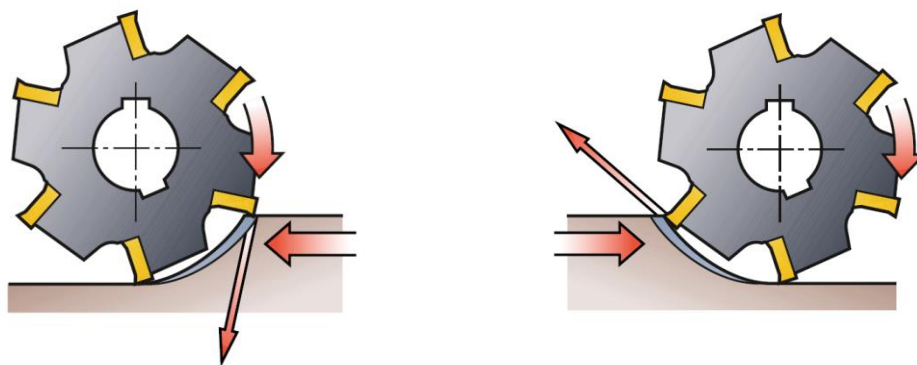
2.2 Frézování

Frézování je prováděné dvěma na sebe vázanými pohyby, rotačním pohybem nástroje a posuvným pohybem obrobku. Dříve byl tento pohyb realizován pouze jako posloupnost přímočarých pohybů. V současnosti je díky moderním strojům možné realizovat posuvné pohyby obrobku ve všech směrech a plynule tyto směry měnit. Dnešní stroje, umožňují nejen posuvy obrobku, ale také plynulé polohování frézovacích hlav. Frézování je efektivní metoda obrábění s přerušovaným řezným procesem, při kterém je materiál odebrán vícebřitým nástrojem. Každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky. Frézování je komplexní způsob obrábění, jímž jdou vyrobit tvarově velice složité součásti [7, 13].

2.2.1 Pohyby při frézování

Frézování lze z technologického hlediska v závislosti na použitém nástroji rozdělit na válcové frézování (frézování obvodem) a čelní frézování. Z těchto dvou základních způsobů jsou odvozeny další způsoby frézování [7].

Pro válcové frézování se používají nástroje, které mají zuby vytvořeny pouze po obvodu nástroje. Hloubka odebírané vrstvy je nastavována kolmo na směr posuvu a osu frézy. U válcového frézování se v závislosti na kinematice obráběcího procesu rozlišuje frézování sousledné a nesousledné. Sousledné frézování je takové frézování, při kterém je smysl rotace nástroje stejný jako směr posuvu obrobku. Při nesousledném frézování se nástroj otáčí proti směru posuvu. Oba dva tyto způsoby mají své výhody a nevýhody. Obecně se u moderních strojů používá spíše sousledné frézování. Rozdíl mezi těmito dvěma způsoby frézování je dobře patrný z obr. 2.5 [7].



Obr. 2.5 Rozdíl mezi sousledným frézováním (vlevo) a nesousledným frézováním (vpravo) [8].

Čelní frézování je prováděno frézami, které mají zuby vytvořené jak na čele, tak i na obvodu frézy. Podle poměru šířky frézované plochy k průměru frézy, při zohlednění polohy osy frézy vůči frézované ploše, lze čelní frézování rozdělit na symetrické nebo nesymetrické. Při symetrickém frézování část nástroje frézuje sousledně a část nesousledně [7].

Hlavní (rotační) pohyb vykonává u všech druhů frézování nástroj. Tento pohyb je definován řeznou rychlostí v_c , která se vyjadřuje podle vztahu (2.14), vedeném např. v [5, 10]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m.mm}^{-1}\text{]}, \quad (2.14)$$

kde: D [mm] – průměr frézy,
 n [min^{-1}] – otáčky frézy.

Vedlejší pohyb (posuv) je u konvenčních frézek většinou přímočarý a vykonává ho obrobek. Moderní CNC frézky a frézovací centra umožňují měnit plynule posuv ve všech směrech a vedlejší pohyb může vykonávat jak nástroj, tak i obrobek. Posuv je možné dvěma způsoby. Jako posuv na zub f_z , což je dráha, kterou urazí fréza v průběhu záběru jednoho zubu. Případně jako posuv na otáčku f_n , který vyjadřuje dráhu, kterou urazí nástroj za jednu otáčku. Posuv na otáčku lze vyjádřit vztahem (2.15), uvedeném např. v pracích [5, 7]:

$$f_n = f_z \cdot z \text{ [mm]}, \quad (2.15)$$

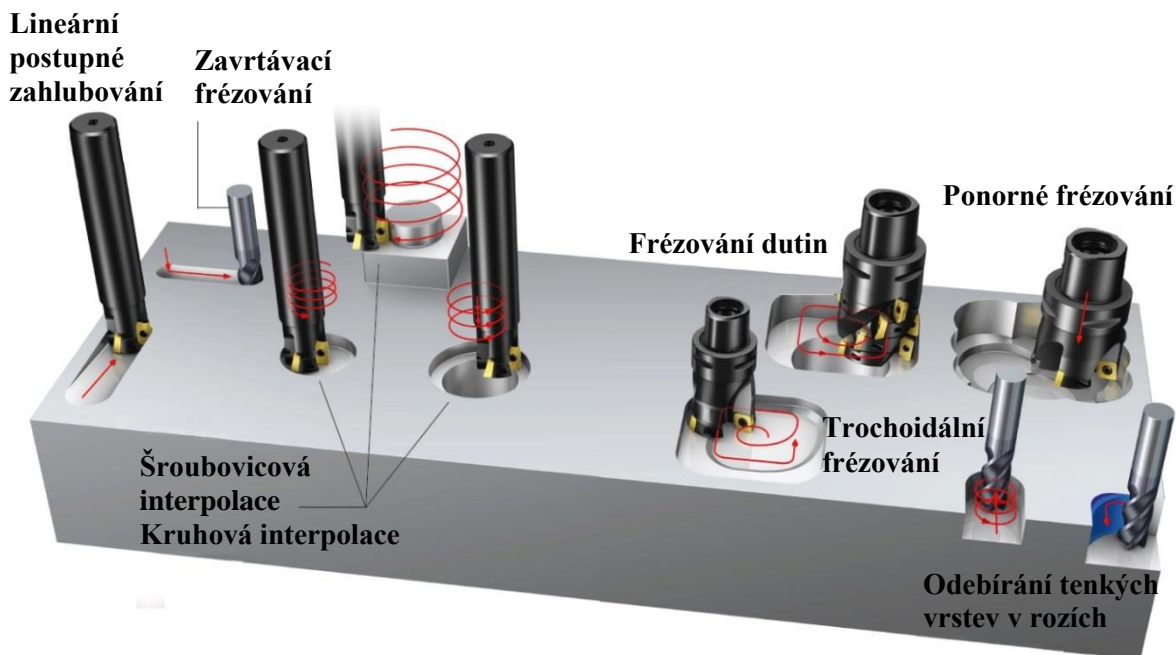
kde: f_z [mm] – posuv na zub,
 z [–] – počet zubů nástroje.

Posuvová rychlost v_f se stanoví podle vztahu (2.16), uvedeném např. v pracích [5, 10]:

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \text{ [mm.min}^{-1}\text{]}, \quad (2.16)$$

kde: n [min⁻¹] – otáčky nástroje.

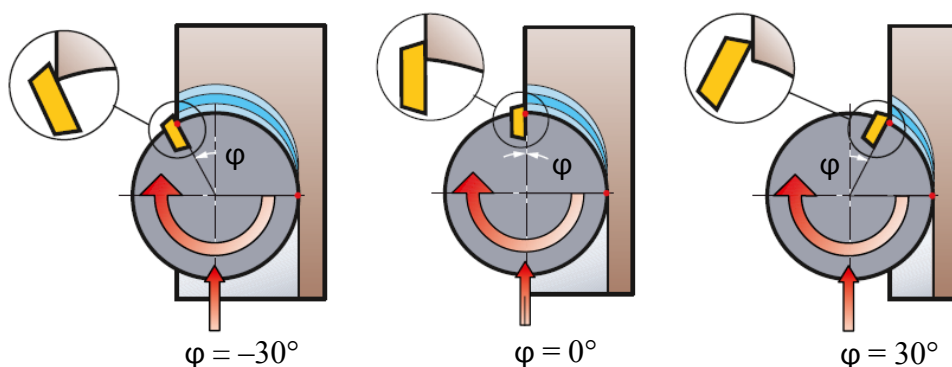
Pro dosažení co nejlepšího výsledku obrábění v nejkratším čase a pokud možno s minimálním zatěžováním a opotřebením nástroje se při frézování na moderních CNC frézovacích centrech využívají různé speciální metody obrábění. Některé z nich jsou uvedené na obr. 2.6. U těchto metod frézování se vedlejší pohyb uskutečňuje po různých 2D a 3D křivkách. Vhodně zvolenou strategií pohybu frézy v dané aplikaci, lze frézování značně zefektivnit a dosáhnout větší produktivity práce [8].



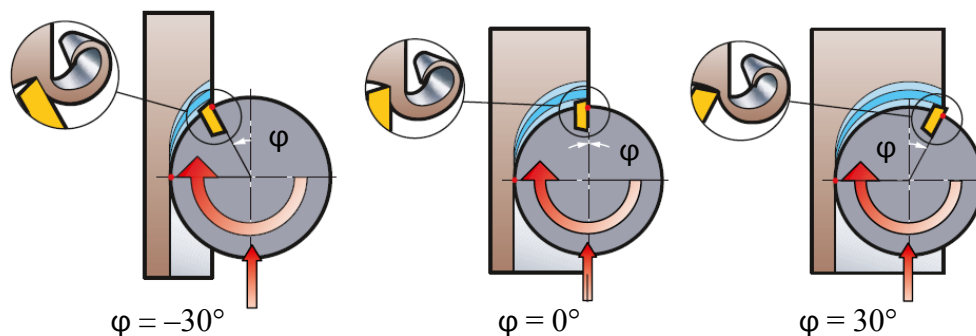
Obr. 2.6 Moderní způsoby frézování [8].

2.2.2 Utváření a průřez třísky při frézování

Při frézování vzhledem k přerušovanému řezu nemohou vznikat dlouhé třísky jako např. u soustružení, jejich velikost, tvar a průřez jsou však závislé na mnoha faktorech. V případě válcového frézování je způsob utváření třísky závislý především na tom, zda se jedná o sousledné či nesousledné frézování. U sousledného frézování je tloušťka třísky největší při vstupu nástroje do obrobku a postupně se blíží nule. Při nesousledném frézování začíná tloušťka třísky na nule a při výstupu nástroje z obrobku je její hodnota maximální. Pro utváření třísky je také důležitá poloha osy frézy vůči obrobku. Tloušťka třísky u čelního frézování je mimo polohy osy frézy vůči obrobku ovlivněna také velikostí úhlu nastavení hlavního ostří κ_r . Na obr. 2.7 je vidět vliv polohy frézy vůči obrobku při sousledném frézování a na obr. 2.8 pak při nesousledném frézování [6, 8].



Obr. 2.7 Vliv polohy osy frézy vůči obrobku na utváření třísky při sousledném frézování [8].



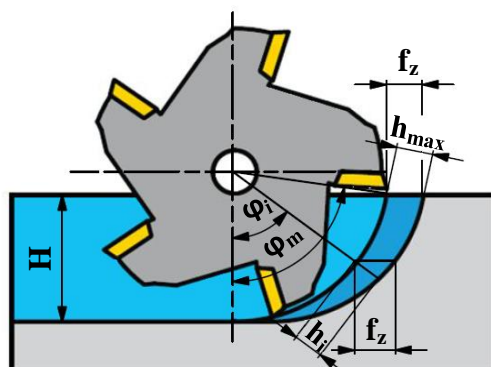
Obr. 2.8 Vliv polohy osy frézy vůči obrobku na utváření třísky při nesousledném frézování [8].

Jmenovitá tloušťka třísky se pro libovolnou fázi jejího vzniku vyjádří pomocí vztahu (2.17), uvedeném např. v pracích [5, 7]:

$$h_i = f(\varphi_i) = f_z \cdot \sin \varphi_i \quad [\text{mm}], \quad (2.17)$$

kde: φ_i [°] – úhel posuvového pohybu.

Úhel posuvového pohybu φ_i se mění v závislosti na poloze daného zubu a u fréz se šikmými zuby nebo zuby ve šroubovici také podél příslušného ostří. Na obr. 2.9 je změna jmenovité tloušťky třísky při průchodu zubu válcové frézy materiálem [5].



Obr. 2.9 Změna tloušťky třísky při válcovém frézování [7, 14].

Jmenovitý průřez třísky pro libovolnou polohu zubu frézy A_{Di} se vyjádří pomocí vztahu (2.18), uvedeném např. v pracích [5, 7]:

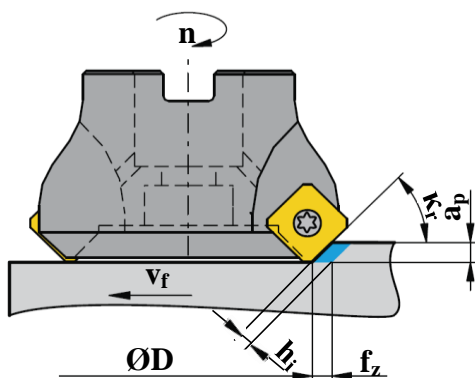
$$A_{Di} = a_p \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \quad [\text{mm}^2]. \quad (2.18)$$

Maximální jmenovitý průřez třísky bude v případě, že $\varphi_i = \varphi_{\max}$ a vyjádří se vztahem (2.19), hodnota φ_{\max} se určí podle vztahu (2.20), uvedených např. v pracích [5, 7]:

$$A_{D\max} = a_p \cdot h_{\max} = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_{\max} \quad [\text{mm}^2], \quad (2.19)$$

$$\varphi_{\max} = \frac{2}{D} \sqrt{D \cdot H - H^2} \quad [^\circ]. \quad (2.20)$$

U čelního frézování je tloušťka třísky závislá na úhlu posuvového pohybu φ_i a také na úhlu nastavení hlavního ostří κ_r . Na obr. 2.10 je čelní frézování s úhlem nastavení hlavního ostří $\kappa_r = 45^\circ$ [5].



Obr. 2.10 Čelní frézování [14].

Okamžitá tloušťka třísky je dána vztahem (2.21), uvedeném např. v pracích [5, 10]:

$$h_i = f_z \cdot \sin \varphi_i \cdot \sin \kappa_r \text{ [mm]}. \quad (2.21)$$

Jmenovitá šířka třísky b_i je pro libovolné φ_i konstantní. Vypočítá se podle vztahu (2.22), uvedeném např. v pracích [5, 10]:

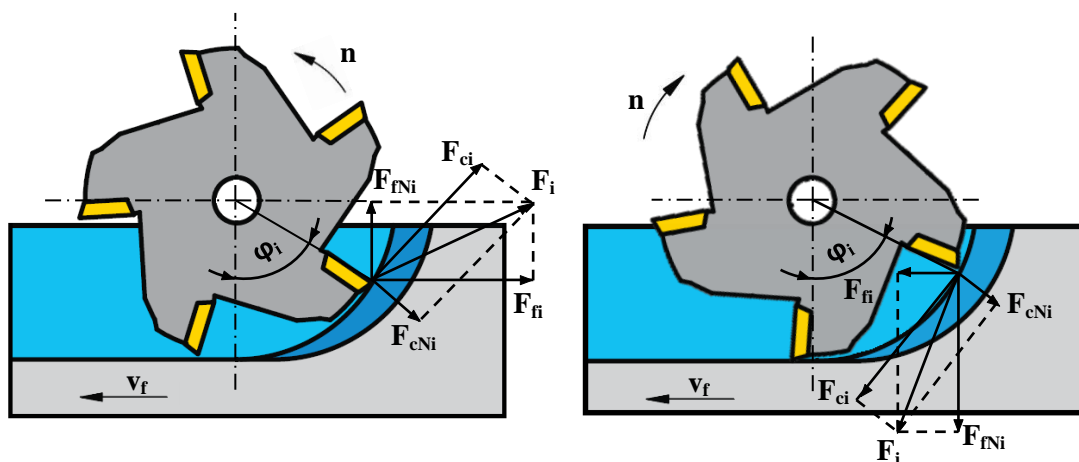
$$b_i = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \text{ [mm]}. \quad (2.22)$$

Jmenovitý průřez třísky A_{Di} pro případ kdy $\kappa_r = 90^\circ$ je vyjádřen vztahem (2.23), který je uveden v pracích [5, 10]:

$$A_{Di} = b \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \text{ [mm}^2\text.]}. \quad (2.23)$$

2.2.3 Řezné síly při frézování

Řezné síly při frézování vznikají podobně jako při soustružení vzájemným působením řezné části nástroje a obráběné plochy. Vzniká tak výsledná řezná síla F_i . Při výpočtu řezných sil se vychází z poměrů na jednom břitu, jehož poloha je určena úhlem φ_i . Celková řezná síla F_i se při válcovém frézování rozkládá na složky F_{ci} , F_{cNi} a složek F_{fi} a F_{fNi} . Na obr. 2.11 je znázorněn rozklad sil při nesousledném a sousledném válcovém frézování. [7].



Obr. 2.11 Rozklad sil u nesousledného a sousledného válcového frézování [14].

Řeznou sílu F_{ci} pro válcové frézování lze vyjádřit s pomocí měrné řezné síly k_{ci} a průřezu třísky A_{Di} vztahem (2.24), uvedeném např. v pracích [5, 10]:

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \text{ [N]}. \quad (2.24)$$

Měrnou řeznou sílu určíme vztahem (2.25), uvedeném např. v pracích [5, 10]:

$$k_{ci} = \frac{C_{Fc}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin \varphi_i)^{1-x}} \text{ [MPa]}. \quad (2.25)$$

Dosazením vzorce (2.25) do vzorce (2.24) a po příslušné úpravě vznikne vztah (2.26):

$$F_{ci} = C_{Fc} \cdot A_{Di} = a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^x \varphi_i \text{ [N]}. \quad (2.26)$$

Při výpočtu řezné síly pro čelní frézování se vychází stejně jako u válcového frézování ze vztahu (2.24). Měrná řezná síla se pro čelní frézování vyjádří podle vzorce (2.27), uvedeném např. v pracích [5, 7]:

$$k_{ci} = \frac{C_{Fc}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin \kappa_r \sin \varphi_i)^{1-x}} \text{ [MPa]}. \quad (2.27)$$

Dosazením vzorce (2.27) do vzorce (2.24) a po příslušné úpravě vznikne vztah (2.28):

$$F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^{(x-1)} \kappa_r \cdot \sin^x \varphi_i \text{ [N]}. \quad (2.28)$$

Frézování se vyznačuje tím, že je obvykle v záběru více zubů současně. Velikost výsledné síly tedy záleží na počtu zubů v záběru a na aktuální poloze těchto zubů vůči obrobku. Pomocí celkové řezné síly F_c lze stanovit potřebný krouticí moment a výkon na vřetenu frézky. Celková řezná síla se spočítá podle vztahu (2.29), uvedeném např. v pracích [5, 7]:

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i \text{ [N]}, \quad (2.28)$$

kde: n_z [-] – počet zubů v záběru.

Počet zubů v záběru při válcovém frézování se vypočítá pomocí vztahu (2.29), uvedeném např. v pracích [5, 7]:

$$n_z = \frac{\varphi_{\max}}{360} \cdot z \text{ [-]}, \quad (2.29)$$

kde: φ_{\max} [°] – maximální úhel posuvového pohybu.

Pro čelní frézování se celková řezná síla určí podobným způsobem a to podle vztahu (2.30), který je uveden např. v pracích [5, 7]:

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^{(x-1)} \kappa_r \cdot \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i \text{ [N]}, \quad (2.30)$$

Počet zubů v záběru při válcovém frézování se vypočítá pomocí vztahu (2.31), uvedeném např. v pracích [5, 7]:

$$n_z = \frac{\psi}{360} \cdot z \text{ [-]}, \quad (2.31)$$

kde: ψ [°] – úhel záběru frézy.

2.3 Vrtání

Vrtání je jednou z nejrozšířenějších metod třískového obrábění. Tato technologie slouží ke zhotovování válcových děr v obrobku a to buď do plného materiálu nebo zvětšováním již předpracované díry. Vrtání lze provádět na celé řadě strojů, nejčastěji se vrtá pomocí vrtaček, kterých existuje mnoho druhů od ručních až např. po velké otočné vrtačky. Mimo vrtaček lze také vrtat na soustruhu a to dvěma způsoby. Prvním způsobem je vrtání v ose obrobku, kdy je vrták umístěn do koníku stroje. Druhým způsobem, který umožňují moderní CNC soustruhy je vrtání poháněným nástrojem umístěným v revolverové hlavě soustruhu. Vrtat lze také pomocí obráběcích center různých typů [6].

2.3.1 Pohyby při vrtání

Hlavním pohybem při vrtání je rotační pohyb, který vykonává obvykle nástroj (vrták). Vedlejší pohyb (posuv) vykonává zpravidla vrták a to ve směru své osy. Při vrtání na soustruhu, kdy je nástroj upnut v koníku, vykonává rotační pohyb obrobek, zatímco nástroj koná pouze vedlejší pohyb. Vrták obvykle vstupuje do materiálu kolmo k obráběné ploše. Typickou vlastností při obrábění děr je to, že řezná rychlost se podél hlavního ostří zmenšuje ve směru od obvodu ke středu nástroje. V ose nástroje je rychlost nulová. Jako řezná rychlost se proto udává obvodová rychlost na jmenovitém (maximálním) průměru nástroje.

Řezná rychlost v_c a posuvová rychlost v_f se vyjádří pomocí vztahů (2.32) a (2.33), uvedené např. v pracích [7, 15]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m.min}^{-1}\text{]}, \quad (2.32)$$

$$v_f = f \cdot n \text{ [mm.min}^{-1}\text{]}, \quad (2.33)$$

kde: D [mm] – průměr obráběné díry,
 n [min⁻¹] – otáčky nástroje (případně obrobku),
 f [mm] – posuv nástroje na otáčku.

Rychlost řezného pohybu je vektorovým součtem řezné a posuvové rychlosti vyjádřená vztahem (2.34):

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} = 10^{-3} \cdot n \cdot \sqrt{(\pi \cdot D)^2 + f^2} \text{ [m.min}^{-1}\text{]}, \quad (2.34)$$

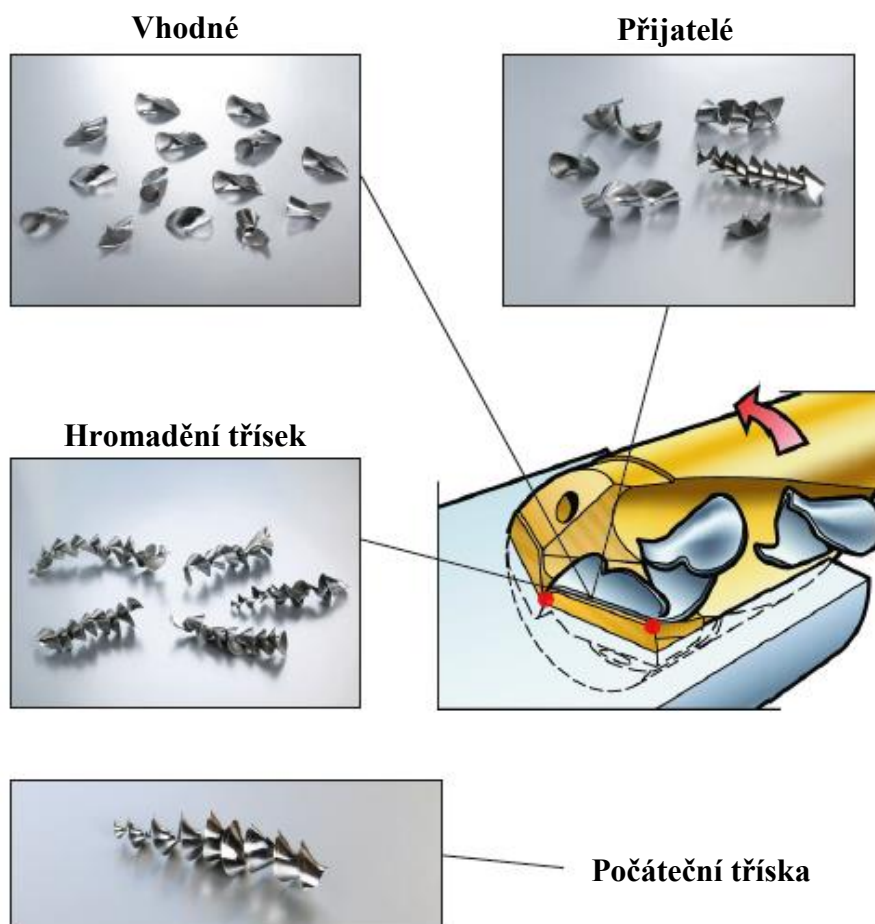
Vrtáky jsou zpravidla dvou a více břitě nástroje, u kterých lze definovat i hodnotu posuvu na zub f_z podle vztahu (2.35), uvedeném např. v pracích [10, 15]:

$$f_z = \frac{f}{z} \text{ [mm]}, \quad (2.35)$$

kde: z [-] – počet zubů (břitů) nástroje.

2.3.2 Utváření třísky a její průřez při vrtání

Vrtání lze sice v určitých ohledech porovnávat se soustružením a frézováním, ale požadavky na utváření třísky a její odvádění jsou výrazně vyšší. Čím delší je vrtaná díra, tím důležitější je kontrolované utváření třísky, aby vznikaly třísky, které bude možné bez problému odstranit z vrtaného otvoru. Na obr. 2.12 jsou vhodné a nevhodné třísky vznikající při vrtání a také prvotní tříska. Tato je vždy dlouhá a nezpůsobuje žádné problémy [6].



Obr. 2.13 Vhodné a nevhodné třísky při vrtání [8].

Utváření třísky při vrtání je ovlivněno materiálem obrobku, řeznými podmínkami geometrií břitu nástroje a použitou řeznou kapalinou. Vhodné krátké třísky obvykle vznikají při vyšším posuvu nebo při nižší řezné rychlosti. Délka třísky je považována za dobrou, pokud může být bez problémů odváděna od břitu směrem ven.

Jmenovitý průřez třísky odebíraný jedním břitem šroubovitého vrtáku se vyjádří podle vztahu (2.36), uvedeném např. v pracích [7, 10]:

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (2.36)$$

Při vrtání do plného materiálu je šířka záběru ostří $a_p = D/2$, pro vrtání předpracovaného otvoru je šířka záběru ostří $a_p = (D - d)/2$ [15].

Průřez třísky je znázorněn na obr. 2.14. Dosazením šířky záběru ostří do rovnice (2.36) vznikne vztah pro výpočet průřezu třísky odebírané jedním břitem nástroje při vrtání do plného materiálu (2.37) a pro vrtání do předpracovaného otvoru (2.38) [15]:

$$A_D = \frac{D \cdot f}{4} \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (2.37)$$

$$A_D = \frac{(D - d) \cdot f}{4} \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (2.38)$$

Průřez třísky pro vrtání do plného materiálu dvoubřítým vrtákem je dán vztahem (2.39) a pro vrtání do předpracovaného otvoru vztahem (2.40), uvedeným např. v pracích [7, 15]:

$$A_D = \frac{D \cdot f}{2} \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (2.39)$$

$$A_D = \frac{(D - d) \cdot f}{2} \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (2.40)$$

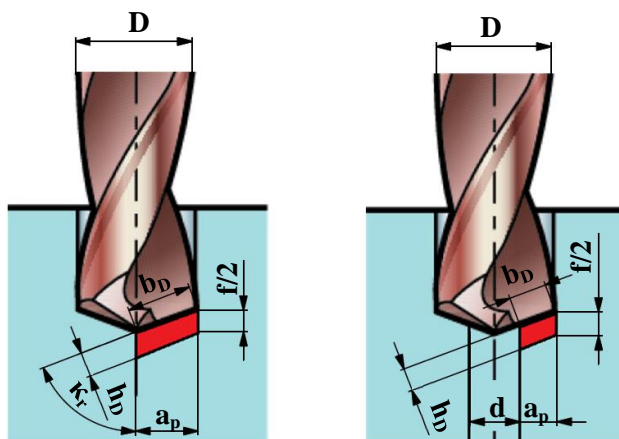
Jmenovitá tloušťka třísky se vyjádří pomocí vztahu (2.41), uvedeném v pracích [7, 15]:

$$h_D = \frac{f}{2} \cdot \sin \kappa_r \text{ [mm]}. \quad (2.41)$$

Jmenovitá šířka třísky se při vrtání do plného materiálu stanoví podle vzorce (2.42) a pro vrtání do předpracovaného otvoru podle vzorce (2.43), uvedeném např. v pracích [7, 15]:

$$b_D = \frac{D}{2 \cdot \sin \kappa_r} \text{ [mm]}. \quad (2.42)$$

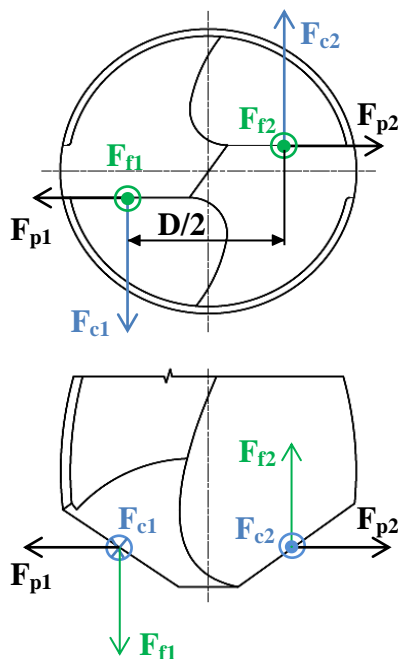
$$b_D = \frac{D - d}{2 \cdot \sin \kappa_r} \text{ [mm]}. \quad (2.43)$$



Obr. 2.14 Průřez třísky při vrtání šroubovým vrtákem [8].

2.3.3 Řezné síly při vrtání

Jako působíště řezných sil se při vrtání považuje střed teoretické plochy čela. Tyto síly se skládají ze tří složek, které působí v tangenciálním, radiálním a axiálním směru. Velikost řezných sil závisí na materiálu obrobku, hloubce řezu, velikosti posuvu a geometrii břitu. Při vrtání šroubovitým vrtákem je materiál obrobku oddělován současně dvěma břity nástroje, které jsou symetrické k jeho ose. Síly působící na vrták jsou znázorněné na obr. 2.15 [6, 15].



Obr. 2.15 Řezné síly při vrtání [15].

Výsledné síly jsou tvořeny součtem respektive rozdílem hodnot na obou břitech nástroje. Získáme tak vztahy pro posuvovou sílu F_f (2.44), pasivní sílu F_p (2.45) a řeznou sílu F_c (2.46), které jsou uvedené např. v pracích [10, 15]:

$$F_f = F_{f1} + F_{f2} \text{ [N]}, \quad (2.44)$$

$$F_p = F_{p1} - F_{p2} \text{ [N]}, \quad (2.45)$$

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} \text{ [N]}. \quad (2.46)$$

Jestliže je vrták správně a přesně naostřen, síly na obou břitech jsou stejné a platí pro ně vztahy (2.47), (2.48) a (2.49), uvedené např. v pracích [10, 15]:

$$F_{f1} = F_{f2} = F_f / 2 \text{ [N]}, \quad (2.47)$$

$$F_{p1} = F_{p2} = F_p / 2 \text{ [N]}, \text{ proto } F_p = 0 \quad (2.48)$$

$$F_{c1} = F_{c2} = F_c / 2 \text{ [N]}. \quad (2.49)$$

Jednotlivé síly pro celý nástroj lze stanovit z empirických vztahů (2.50) a (2.51), uvedených např. v pracích [10, 15]:

$$F_f = C_{F_f} \cdot D^{X_{F_f}} \cdot f^{Y_{F_f}} \text{ [N]}, \quad (2.50)$$

$$F_c = C_{F_c} \cdot D^{X_{F_c}} \cdot f^{Y_{F_c}} \text{ [N]}, \quad (2.51)$$

kde: C_{F_f}, C_{F_c} [-] – konstanty vyjadřující vliv obráběného materiálu,
 X_{F_f}, X_{F_c} [-] – exponenty vyjadřující vliv vrtáku,
 Y_{F_f}, Y_{F_c} [-] – exponenty vyjadřující vliv posuvu na otáčku.

Pokud platí vztahy (2.49) a (2.51), lze krouticí moment stanovit na základě odvozeného empirického vztahu (2.52), uvedeném např. v pracích [10, 15]:

$$M_k = 2 \cdot \frac{F_c}{2} \cdot \frac{D}{4} = \frac{1}{4} \cdot F_c \cdot D = \frac{1}{4} \cdot C_{F_c} \cdot D^{X_{F_c}} \cdot f^{Y_{F_c}} \cdot D = \frac{1}{4} \cdot C_{F_c} \cdot D^{(X_{F_c}+1)} \cdot f^{Y_{F_c}} \text{ [N]}, \quad (2.52)$$

Po zavedení substituce $(1/4) \cdot C_{F_c} = C_M$, $X_{F_c} + 1 = X_M$ vznikne zjednodušený vztah (2.53), uvedený např. v pracích [10, 15]:

$$M_k = C_M \cdot D^{X_M} \cdot f^{Y_{F_c}} \text{ [N.mm]}. \quad (2.53)$$

Řezný výkon při vrtání se určí podle vztahu (2.54), uvedeném např. v pracích [10, 15]:

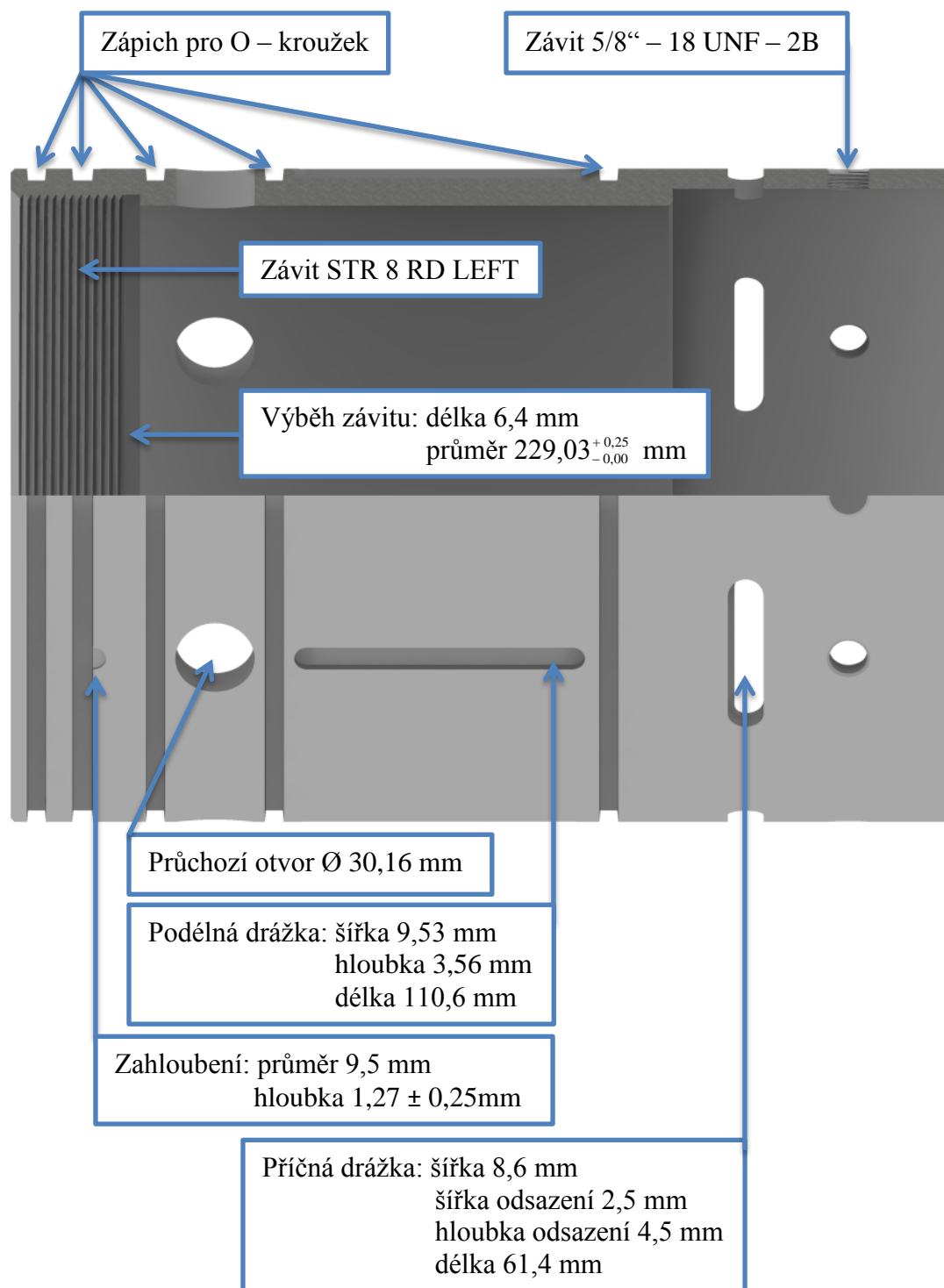
$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{2 \cdot 60 \cdot 10^3} = \frac{F_c \cdot v_c}{1,2 \cdot 10^5} \text{ [kW]}. \quad (2.54)$$

Vzhledem k proměnné geometrii nástroje a řezné rychlosti závislé na průměru je řeznou sílu F_c poměrně obtížné lokalizovat a přesně stanovit. Složitě je také oddělit vliv jádra vrtáku, pasivních odporů atd. Proto se pro vyjádření řezného výkonu používá vztah (2.55), uvedený např. v pracích [10, 15]:

$$P_c = \frac{M_c \cdot n}{9,55} \text{ [kW]}. \quad (2.55)$$

3 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU TECHNOLOGIE VÝROBY

Tato kapitola se zabývá analýzou a popsáním současné výrobní technologie vedoucí ke zhotovení válcové součásti, která slouží jako vnitřní objímka spojující několik prvků v zařízení na pažení a cementaci ropných vrtů. Tato součást je zobrazena a popsána na obr. 3.1. Výkres součásti je v příloze 2.



Obr. 3.1 Popis hlavních prvků vnitřní objímky.

3.1 Polotovary

Polotovary ke zhotovení součásti jsou ocelové za tepla válcované bezešvé trubky s vnějším průměrem 254 mm, tloušťkou stěny 22 mm a délkou 6 m. Trubky jsou z materiálu L80 Type 1 dle normy API Specification 5CT 9. Edition, které odpovídá norma ČSN EN ISO 11960 Naftový a plynárenský průmysl – Ocelové roury použité jako pažnice nebo potrubí pro sondy. Ocel L80 Type 1 obsahuje maximálně 0,43 % C, její smluvní mez kluzu je $R_{p0,2} = 552\text{--}655$ MPa a mez pevnosti v tahu $R_m = 655\text{--}827$ MPa. Trubky jsou kalené a popuštěné na tvrdost maximálně 23 HRC. Materiálový atest polotovaru je v příloze 3 [16].

3.2 Přehled operací

V následující tab. 3.1 je uveden přehled operací, které vedou k přeměně polotovaru na hotový výrobek.

Tab. 3.1 Přehled operací [17].

Sled operací	Proces v dané operaci
Operace 1	Vstupní kontrola materiálu
Operace 2	Dělení polotovaru – Pásová pila Bomar Proline 520.450 ANc Sx
Operace 3	Obrábění vnějšího průměru – Univerzální hrotový soustruh SU 63
Operace 4	Hrubování vnitřního průměru – Univerzální hrotový soustruh SU 80
Operace 5	Dokončování vnějšího a vnitřního průměru, soustružení závitu a zápichů na vnějším povrchu – Univerzální hrotový soustruh SUA 80 Numeric
Operace 6	Mezioperační kontrola – 3D měřicí zařízení Wenzel LH 87
Operace 7	Vrtání otvorů, zhotovení závitů, frézování podélných, příčných drážek a zahloubení – CNC soustruh DMG Mori Seiki CTX beta 1250 4A
Operace 8	Výstupní rozměrová kontrola – 3D měřicí zařízení Wenzel LH 87
Operace 9	Značení obrobeneho kusu
Operace 10	Výstupní kontrola dokumentace
Operace 11	Konzervace a balení

3.3 Vstupní kontrola

Vstupní kontrola materiálu spočívá v kontrole certifikátů materiálu, které výrobce dodává spolu s objednaným materiálem. Tato kontrola se provádí při převzetí materiálu od dodavatele a kontroluje se především, zda souhlasí typ objednaného materiálu, chemické složení, mechanické vlastnosti a tepelné zpracování uvedené v certifikátu výrobce s požadavky objednávky. Zda odpovídá skutečné chemické složení dodaného materiálu požadovanému chemickému složení, se kontroluje pomocí spektrometru Delta Classic od společnosti BAS Rudice s.r.o. Toto zařízení vyhodnotí téměř okamžitě po přiložení k materiálu jeho přesné chemické složení a používá se i následně v průběhu výroby, kdy se náhodně kontroluje, zda během manipulace nedošlo k záměně polotovarů a součásti jsou vyrobeny z odpovídajícího materiálu. Dále se z dodaného vzorku materiálu zhotoví zkušební tyčinka pro tahovou zkoušku o průměru dířku 10 mm a délce 100 mm se závity M16 na obou koncích. Tahová zkouška se provádí na zkušebním zařízení LabTest 5.200SP1 od výrobce LaborTech, kde se zkouší, zda má materiál požadované mechanické vlastnosti.

3.4 Dělení polotovaru

Materiál pro výrobu vnitřní objímky je dodáván v podobě 6 m dlouhých trubek. Tyto trubky jsou děleny na kusy dlouhé 365 mm pomocí pásové pily Bomar Proline 520.450 Anc Sx s automatickým podáváním, která je znázorněna na obr. 3.1. V tab. 3.2 jsou uvedeny parametry této pásové pily [17].

Tab. 3.2 Technické parametry stroje [18].

Pásová pila Bomar Proline 520.450 Anc Sx	
Parametry pilového pásu	
Rychlost pilového pásu	20–120 m/min
Rozměr pilového pásu	6020 × 41 × 1,3 mm
Pohon pilového pásu	4 kW
Řezný rozsah	
Rozsah úhlových řezů	0°–90°
Max. hmotnost řezaného materiálu	1600 kg
Max. průměr řezaného tyčového materiálu	450 mm
Max. rozměr řezaného materiálu obdélníkového průřezu	520 × 450 mm
Automatické podávání	
Délka podání při jednotlivém podání	600 mm
Celková délka podávání	9999 mm



Obr. 3.1 Pásová pila Bomar Proline 520.450 Anc Sx [19].

3.5 Obrábění vnějšího rozměru

Po dělení polotovaru na kusy dlouhé 365 mm následuje první obráběcí operace, kterou je zarovnání čel a soustružení vnějšího rozměru na průměr $250 \pm 0,05$ mm.

3.5.1 Strojní zařízení

Tato operace se provádí na univerzálním hrotovém soustruhu SU 63 od výrobce TOS Čelákovice. Univerzální hrotový soustruh SU 63 je určen pro hrubovací a dokončovací soustružnické práce, pro řezání závitů a vyvrtávání na hřídelových a přírubových dílcích. Tento soustruh umožňuje obrábění součástí až do hmotnosti 8 000 kg. Tento stroj je vhodný zejména pro kusovou a malosériovou výrobu. Soustruh SU 63 je zobrazen na obr. 3.2 a jeho parametry jsou v tab. 3.3 [20].



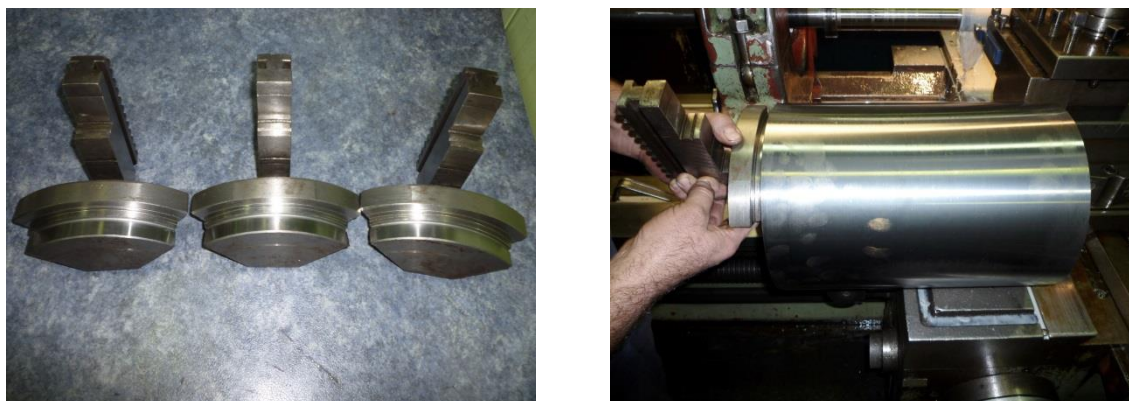
Obr. 3.2 Univerzální hrotový soustruh SU 63.

Tab. 3.3 Technické parametry stroje [20].

Univerzální hrotový soustruh SU 63	
Pracovní rozsah	
Oběžný průměr nad ložem	655 mm
Oběžný průměr nad suportem	390 mm
Vzdálenost mezi hroty	4000 mm
Maximální hmotnost obrobku (bez opěrky/s opěrkou)	6000/8000 kg
Vřeteno	
Vrtání vřetena	82 mm
Rozsah otáček	7,1–900 min ⁻¹
Výkon hlavního motoru	18,5 kW
Koník	
Průměr pinoly	130 mm
Vnitřní kužel	MK6
Stroj	
Celkový příkon stroje	20 kVA
Hmotnost stroje	7000 kg

3.5.2 Upínání obrobku

Při obrábění vnějšího průměru je obrobek upnut pomocí tříčelistového univerzálního sklíčidla s čelistmi vlastní výroby. Tyto čelisti jsou tvořeny válcovými segmenty s odsazením, aby bylo možné zarovnat čelo obrobku pomocí upichovacího nože. Segmentový typ čelistí byl zvolen kvůli tomu, aby se upínací síla rozložila na větší plochu a nedocházelo k deformaci obrobku a byla zachována jeho válcovitost. Segmentové čelisti jsou zobrazeny na obr. 3.3. Z druhé strany je obrobek podepřen za vnitřní průměr v koníku umístěným otočným tříčelistovým sklíčidlem.



Obr. 3.3 Segmentové čelisti vlastní výroby.

3.5.3 Operační úseky, použité nástroje a řezné parametry

První obráběcí operace se skládá z několika operačních úseků, které jsou následující:

1. zarovnání pravého čela,
2. hrubování vnějšího průměru na 252 mm,
3. dokončování vnějšího průměru na 250,2 mm,
4. kalibrování vnějšího průměru v místech podepření lunetou na $250 \pm 0,05$ mm,
5. zarovnání levého čela na délku 362 mm.

V tab. 3.4 jsou uvedeny řezné parametry pro jednotlivé operační úseky v první soustružnické operaci a v tab. 3.5 jsou uvedeny použité nástroje.

Tab. 3.4 Řezné parametry [17].

Operační úsek	Řezná rychlost v_c [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a_p [mm]	Otáčky n [min^{-1}]
1	90 (80 až 100)	0,2	1,5	125
2	135	0,33	1	172
3	150	0,15	0,9	190
4	150	0,15	0,1	190
5	110 (100 až 120)	0,25	1,5	150

Tab. 3.5 Použité nástroje [17].

Operační úsek	Soustružnický nůž (držák)	VBD	Výrobce
1, 5	TGDR 2525 5M	TGMF 635	ISCAR
2 až 4	MTJNR 2525 M 16	TNMG 160408ER	PRAMET

Na obr. 3.4 jsou obrobky po první soustružnické operaci, jejich délka je 362 mm a průměr 250 mm s tolerancí $\pm 0,05$ mm na plochu. Tato tolerance je zde nutná kvůli tomu, že v další operaci je obrobek podpírán pomocí lunety. Je tedy potřeba zajistit dobrou geometrickou a rozměrovou přesnost, aby nedocházelo k deformaci obrobku a kvůli tenké stěně obrobku také k přenášení nepřesností na vnitřní (obráběný) průměr.



Obr. 3.4 Obrobek po první soustružnické operaci.

3.6 Hrubování vnitřního průměru

V této operaci se hrubuje vnitřní průměr z 210 mm na průměr 219 mm a krajní náběh na průměr 231,5 mm.

3.6.1 Strojní zařízení

Vnitřní průměr se hrubuje na univerzálním hotovém soustruhu SU 80 od firmy TOS Čelákovice, který je na obr. 3.5. Tento soustruh je pro hrubovací a dokončovací soustružnické práce, pro řezání závitů a vyvrtávání na hřídelových a přírubových dílcích. Je vhodný pro kusovou a malosériovou výrobu. Jeho univerzálnost rozšiřuje velký rozsah zvláštního příslušenství. Parametry tohoto stroje jsou uvedeny v tab. 3.6 [21].



Obr. 3.5 Univerzální hrotový soustruh SU 80.

Tab. 3.6 Technické parametry stroje [21].

Univerzální hrotový soustruh SU 80	
Pracovní rozsah	
Oběžný průměr nad ložem	840 mm
Oběžný průměr nad suportem	530 mm
Vzdálenost mezi hroty	5000 mm
Maximální hmotnost obrobku (bez opěrky/s opěrkou)	6000/8000 kg
Vřeteno	
Vrtání vřetena	82 mm
Rozsah otáček	9–1120 min ⁻¹
Koník	
Průměr pinoly	130 mm
Vnitřní kužel	MK6
Stroj	
Celkový příkon stroje	20 kVA
Hmotnost stroje	9200 kg

3.6.2 Operační úseky, použité nástroje a řezné parametry

Při hrubování vnitřního průměru je obrobek opnut pomocí tříčelistového univerzálního sklíčidla za větší průměr a podepřen lunetou.

Tato operace se skládá z následujících operačních úseků:

1. sražení vnitřní hrany,
2. hrubování vnitřní díry na průměr 219 mm,
3. hrubování krajního náběhu na průměr 231,5 mm v délce 106 mm.

Pro obrábění vnitřního průměru je nástroj upnut do antivibrační tyče o rozměrech 100 × 100 mm a délce 1000 mm s vyložením 600 mm (obr. 3.6). Válcované trubky, ze kterých se pásovou pilou řezou polotovary pro soustružení, mají vlivem jejich technologie výroby tzv. zborčené konce, což znamená, že v určité délce od konce trubky není konstantní tloušťka stěny, čímž při hrubování dochází k přerušovanému řezu. Tento fakt snižuje efektivitu obrábění v této operaci, protože nemůže být využit plný výkon stroje. Větší šířka záběru ostří, vyšší rychlost posuvu a řezná rychlost odpovídající možnostem stroje by ve spojení s přerušovaným řezem a značným vyložením antivibrační tyče vedlo ke vzniku velkých vibrací a nebylo by možné dodržet požadovanou jakost povrchu a rozměrovou přesnost. Použité nástroje a řezné parametry jsou uvedeny v tab. 3.7 a tab. 3.8.

Tab. 3.7 Použité nástroje [17].

Operační úsek	Soustružnický nůž (držák)	VBD	Výrobce
1	antivibrační tyč + DIN 4972	–	DENAS
2, 3	antivibrační tyč + MTJNL 2525 M 16W	TNMG 160408EL-SI	PRAMET

Tab. 3.8 Řezné podmínky [17].

Operační úsek	Řezná rychlost v_c [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a_p [mm]	Otáčky n [min^{-1}]
1	125	0,2	1,5	190
2, 3	125	0,25	2	190



Obr. 3.6 Nástroj v antivibrační tyči připravené k obrábění.

3.7 Dokončování povrchů včetně zápichů, zhotovení závitu

Jedná se o poslední soustružnickou operaci, při níž se dokončuje vnější průměr včetně zápichů pro O – kroužky, zarovnají se obě čela, dokončuje se vnitřní průměr, soustruží se výběh závitu a zhotoví se závit.

3.7.1 Strojní zařízení

Tato operace se provádí na univerzálním hrotovém soustruhu SUA 80 Numeric 5000, což je numericky řízený stroj, který je určen pro hrubovací a dokončovací práce hřídelových i přírubových součástí, dále pro řezání závitů, vyvrtávání, soustružení kuželů i různých tvarových rotačních ploch. Stroj má vodorovné lože tuhé konstrukce, vodící plochy lože jsou kalené a broušené, protiplochy na podélných saních jsou obloženy kluznou hmotou Turcite B z důvodu odstranění trhavých pohybů při malých posuvech. Soustruh SUA 80 NUMERIC je stroj s automatickým řízením cyklu s řídicím systémem Heidenhein 620. Soustruh SUA 80 Numeric 5000 je zobrazen na obr. 3.7.



Obr. 3.7 Univerzální hrotový soustruh SUA 80 Numeric 5000.

Náhon podélného posuvu (osa Z) je proveden přes ozubený hřeben. Náhon příčného posuvu (osa X) je realizován servopohonem přímo na kuličkový šroub. Odměrování příčného posuvu je provedeno rotačním snímačem umístěným na servomotoru. Podélný posuv je odměřován přímo, lineárním pravítkem. Stroj je vybaven ručně ovládanou nožovou hlavou. Parametry tohoto stroje jsou uvedeny v tab. 3.9 [23].

Tab. 3.9 Technické parametry stroje [23].

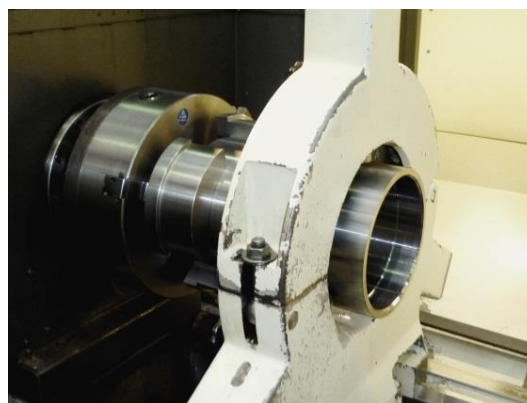
Univerzální hrotový soustruh SUA 80 Numeric 5000	
Pracovní rozsah	
Oběžný průměr nad ložem	840 mm
Oběžný průměr nad suportem	530 mm
Vzdálenost mezi hroty	5000 mm
Maximální hmotnost obrobku (bez opěrky/s opěrkou)	6000/8000 kg
Vřeteno	
Vrtání vřetena	128 mm
Rozsah otáček	5–1250 min ⁻¹
Výkon hlavního motoru	30 kW
Koník	
Průměr pinoly	165 mm
Vnitřní kužel	MK6
Stroj	
Celkový příkon stroje	57 kVA
Hmotnost stroje	10000 kg

3.7.2 Upínání obrobku

V této operaci se způsob upnutí obrobku několikrát mění a to zejména kvůli tomu zda se v daném případě obrábí vnější či vnitřní průměr. Aby bylo možné upínat obrobek za vnitřní průměr a poté za vnější, bez výměny čelistí, a zároveň bylo zajištěno, že kvůli tenké stěně nebude obrobek při upnutí deformován, byly vytvořeny čelisti vlastní konstrukce, které jsou zobrazeny na obr. 3.8, na obr. 3.9 je vidět upnutý obrobek podepřený lunetou.



Obr. 3.8 Speciální čelisti vlastní výroby.

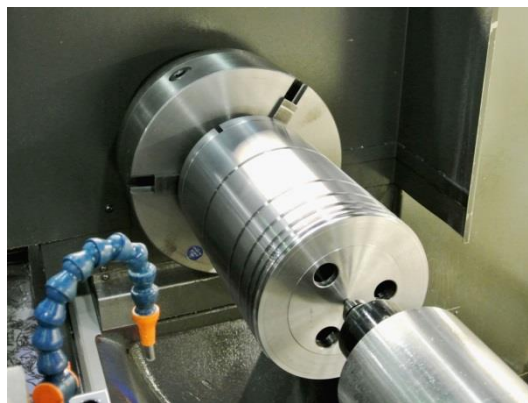


Obr. 3.9 Upnutý obrobek.

Tyto čelisti jsou tvořeny průnikem dvou mimostředných válců, kdy vnější rádius čelistí odpovídá vnitřnímu poloměru obrobku a vnitřní rádius čelistí odpovídá vnějšímu poloměru obrobku. Díky tomuto tvaru čelistí je umožněno nejen střídavé upínání obrobku za vnější a vnitřní průměr, ale je také zajištěno rovnoměrné rozložení upínací síly, což zabraňuje deformaci obrobku a umožňuje dosažení požadovaných rozměrových a geometrických tolerancí při obrábění. Pokud je obráběn vnitřní průměr, je obrobek upnut za vnější průměr pomocí těchto speciálních čelistí a zároveň podepřen lunetou. Při obrábění vnějšího průměru je obrobek upnut za vnitřní průměr a podepřen pomocí zátky a koníku s otočným hrotem. Zátka (obr. 3.10) má tvar příruby s odsazením, kdy průměr odsazení odpovídá vnitřnímu průměru obrobku a umožňuje její volné nasazení. Vnitřní čelo většího průměru zátky dosedne na čelo obrobku a je přitlačeno koníkem jak je vidět na obr. 3.11.



Obr. 3.10 Zátka pro podepření obrobku.



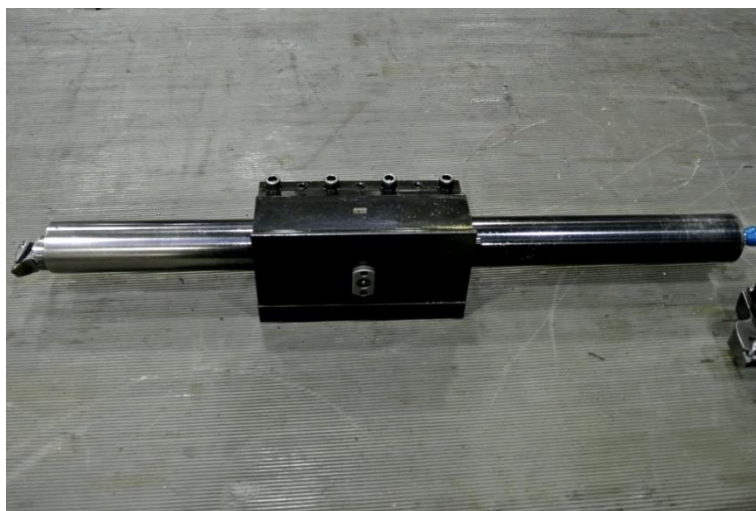
Obr. 3.11 Obrobek podepřený přes zátku.

3.7.3 Operační úseky, použité nástroje a řezné parametry

Tato poslední soustružnická operace se skládá z následujících operačních úseků:

1. zarovnání čela, sražení vnější hrany,
2. dokončení vnitřního průměru v místě rozšíření na průměr $233,55^{+0,25}_{-0,00}$ mm v délce $106,93 \pm 0,25$ mm, sražení vnitřních hran,
3. zarovnání druhého čela na délku $358,88 \pm 0,38$ mm, sražení vnější hrany,
4. dokončení vnitřního průměru $220,7^{+0,25}_{-0,00}$ mm v délce 42,9 mm od čela obrobku soustružení malého průměru závitu $D_1 = 225,17^{+0,2}_{-0,0}$ mm, soustružit výběh závitu na průměr $229,03^{+0,25}_{-0,00}$ mm v šířce 6,4 mm, sražení vnitřní hrany,
5. soustružení závitu STR 8 RD left v délce 42,9 mm,
6. dokončení vnějšího průměru na hodnotu $248,82^{+0,00}_{-0,12}$ mm,
7. hrubování zápichů s přídávkem 0,5 mm,
8. dokončení zápichů na průměr $239,98^{+0,00}_{-0,12}$ mm při dodržení předepsané geometrické tolerance kruhového házení 0,12 mm,
9. mezioperační kontrola.

Při vnitřním soustružení v této operaci byl nástroj upnut do antivibrační tyče o průměru 60 mm a délce 800 mm od firmy Sandvick Coromant opatřenou držákem nástrojů 570-DDUNR, která je na obr. 3.12. Všechny nástroje použité v této operaci jsou uvedeny v tab. 3.10 a řezné podmínky v tab. 3.11.



Obr. 3.12 Antivibrační tyč od firmy Sandvik.

Tab. 3.10 Použité nástroje [17].

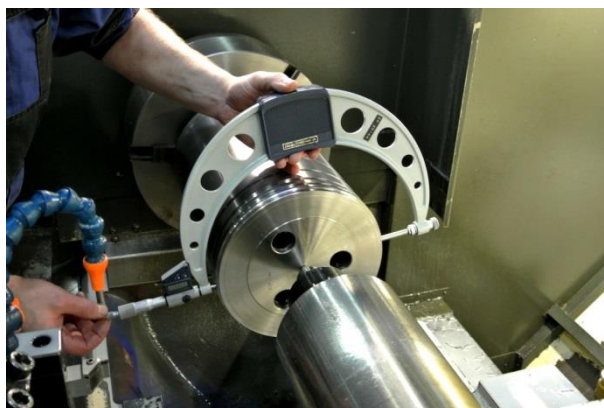
Operační úsek	Soustružnický nůž (držák)	VBD	Výrobce
1, 3	MWLNr 2525 M 08	WNMG 080408 EN	WNT
2, 4	antivibrační tyč + 570-DDUNR	DNMG 150608 PM	SANDVIK
5	SIL 32	TF 3756/GP500 CYB	TOOL-FLO
6	MTJNR 2525	TNMG 160408 MF	SANDVIK
7, 8	TGMF 2525	TGDR	ISCAR

Tab. 3.11 Řezné podmínky [17].

Operační úsek	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a_p [mm]	Otáčky n [min ⁻¹]
1, 3	150	0,25	0,8	190
2, 4	150	0,2	0,5	190, 200
5	110	3,175	0,2	215
6	220	0,25	0,6	280
7	100	0,08	0,5	135
8	120	0,07	0,5	160

Vzhledem k tomu, že se v této operaci dokončují všechny soustružené plochy, jsou důležité rozměry součásti během operace kontrolovány a po dokončení operace je součást přeměřena na 3D měřicím zařízení Wenzel LH 87. K měření během výroby se používá posuvné měřítko k měření celkové délky součásti, mikrometr k měření vnějšího průměru

(obr. 3.13), dutinoměr k měření vnitřních průměrů, dále pak hloubkoměr k měření hloubky drážek, koncové měrky k měření šířky drážek a úchylkoměr od firmy Gagemaker se speciálními doteky k měření konkrétního typu závitu.



Obr. 3.13 Kontrola vnějšího průměru pomocí mikrometru.

3.8 Frézování drážek, vrtání otvorů a řezání závitů

Tato operace je poslední operací strojního obrábění, při které se frézují podélné i příčné drážky, vrtají se otvory o průměru 30,16 mm a 14,5 mm do kterých se poté vyřeže závit, na závěr se frézují půlkruhová zhloubení.

3.8.1 Strojní zařízení

K provedení této operace je použit stroj DMG Mori Seiki CTX beta 1250 4A (obr. 3.14), jehož parametry jsou v tab. 3.12. Jedná se o moderní 4-osé soustružnické centrum se dvěma vřeteny, kdy protivřetenou je vybaveno příčným zdvihem 180 mm a je kombinováno s koníkem, což umožňuje např. obrábění s koníkem na hlavním vřetenu nebo paralelní obrábění na hlavním vřetenu a protivřetenou. Hlavní vřeteno i protivřeteno jsou v provedení integrovaných motorových vřeten chlazených kapalinou. Stroj disponuje dvěma revolverovými hlavami, které umožňují používat jak klasické soustružnické nástroje, tak poháněné nástroje jako např. frézy a vrtáky. K upínání nástrojů slouží přesné upínací rozhraní TRIFIX. Stroj je vybaven 19“ TFT obrazovkou pro komfortní ovládání a zobrazování všech důležitých údajů. Řízení stroje zajišťuje systém Sinumerik 840D Operate ShopTurn 3G od firmy Siemens. Stroj je vybaven chladicím zařízením 8/20/80 bar s nádrží na 980 l chladicí



Obr. 3.14 Dvouvřetenový soustruh DMG Mori Seiki CTX beta 1250 4A.

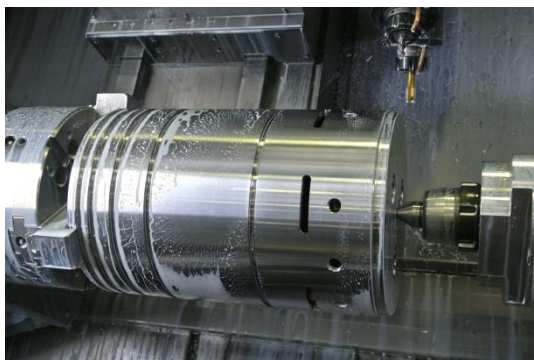
kapaliny. Chladicí kapalina pod tlakem 20 barů a s průtokem 40 l/min je přivedena revolverovým kotoučem do všech stanic revolveru. Kapalína pod tlakem 80 bar a s průtokem 11 l/min je přivedena skrz revolver otočným středem do 4 stanic revolveru. Chladicí zařízení je vybaveno filtrem s jemností 40 μm [23, 24].

Tab. 3.12 Technické parametry stroje [23, 24].

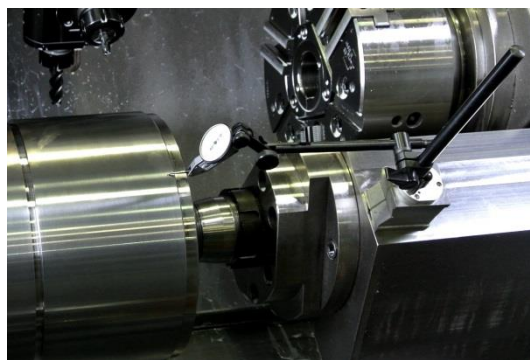
Dvouřetenový soustruh DMG Mori Seiki CTX beta 1250 4A	
Pracovní rozsah	
Oběžný průměr nad ložem	540 mm
Oběžný průměr nad suportem	340 mm
Délka obrábění	1250 mm
Vřeteno	
Max. otáčky hlavního vřetena	5000 min^{-1}
Krouticí moment hlavního vřetena	360 Nm
Max. otáčky protivřetena	5000 min^{-1}
Krouticí moment protivřetena	360 Nm
Pojezd protivřetena	180/1200 mm
Výkon vřeten	2 \times 32 kW
Revolverové hlavy	
Počet pozic v revolverových hlavách	2 \times 12 VDI 40
Maximální počet poháněných nástrojů	2 \times 12
Otáčky poháněných nástrojů	40–10000 min^{-1}
Koník	
Přítlačná síla koníku	6,3 kN
Vnitřní kužel	MK5
Stroj	
Rozměry stroje	5953 \times 2416 \times 2419 mm
Hmotnost stroje	13500 kg

3.8.2 Upínání obrobku

Při obrábění na tomto stroji se obrobek upíná za vnější průměr do univerzální tříčelistového sklíčidla tlakem 35 barů. V místě upnutí je tloušťka stěny obrobku pouze 8,8 mm a navíc je stěna obrobku oslabena dvěma zápichy, aby nedošlo k deformaci obrobku vlivem upínací síly, vkládá se do obrobku osazená zátka, která brání případné deformaci. Z druhé strany je do obrobku vložena podobná zátka, přes kterou je obrobek podepřen koníkem. Na obr. 3.15 je vidět upnutou součást se zmiňovanými zátkami. Při obrábění je nutné dodržet hodnotu obvodového házení pod hodnotou 0,15 mm. Zda se hodnota obvodového házení pohybuje ve stanové toleranci, se kontroluje po upnutí obrobku pomocí číselníkového úchylkoměru s magnetickým podstavcem a stavitelným ramenem, kontrola obvodového házení je zobrazena na obr. 3.16.



Obr. 3.15 Upnutý obrobek.



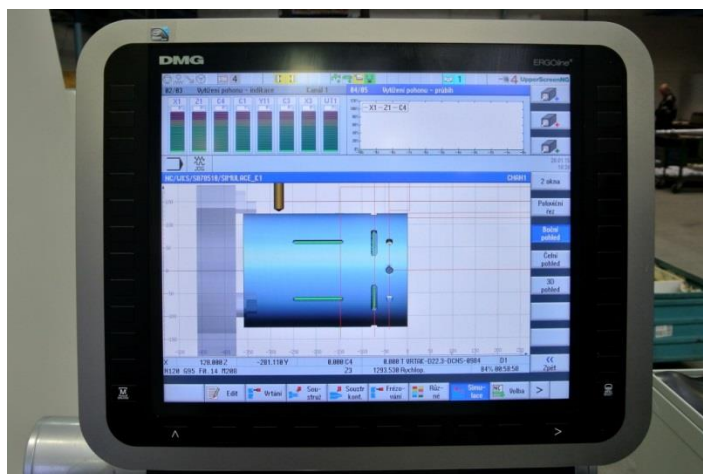
Obr. 3.16 Měření obvodového házení.

3.8.3 Operační úseky, použité nástroje a řezné parametry

Operace prováděná na tomto stroji se skládá z mnoha operačních úseků, které jsou tyto:

1. vrtání otvorů 7x Ø14,5 mm,
2. sražení hrany 7x Ø16 mm pod úhlem 90°,
3. zhotovení závitu 7x 5/8^{cc} – 18UNF – 2B,
4. hrubování obvodové drážky 6x,
5. dokončování obvodové drážky 6x,
6. frézování podélné drážky 6x (šířka 9,53 mm, hloubka 3,56 mm, délka 110,6±0,38 mm),
7. předvrtání otvoru 6x Ø22,3 mm,
8. frézování otvoru na průměr 30,16 mm,
9. zahloubení o průměru 9,5 mm,
10. ruční odjehlení.

Při této operaci bylo použito celkem devět nástrojů, z nichž všechny byly poháněné a umístěné v jedné (horní) revolverové hlavě, jejich přehled je v tab. 3.13. Přehled řezných podmínek pro jednotlivé nástroje je v tab. 3.14. Na obr. 3.17 je zachycena simulace obrábění v řídicím systému Sinumerik 840D Operate ShopTurn 3G.



Obr. 3.17 Simulace obrábění v řídicím systému stroje.

Tab. 3.13 Použité nástroje [17].

Operační úsek	Nástroj	Výrobce
1	Vrták s vyměnitelnou hlavicí DCN 145-044-16A-3D + hlavice ICP 0571 – IC 908 Ø14,5 mm	ISCAR
2	Monolitní srážecí hran 90° Ø16 mm	CARBIDE
3	Závitník UNF 5/8 – 18 3515	NAREX
4	Monolitní fréza RF 100 DIVER Ø9,7 mm typ 6754	GÜHRING
5	Monolitní fréza Ø11 mm	FRANKEN
6	Monolitní fréza H4038217-8-0,5 Ø8 mm	WALTER
7	Vrták s vyměnitelnou hlavicí DCN 220-066-25A-3D + hlavice ICP 0878 – IC 223 Ø 22,3 mm	ISCAR
8	Monolitní fréza EC-E4L20-42/60C20C110 Ø20 mm	ISCAR
9	Monolitní fréza EC-A2 095-19C10-70 Ø9,5 mm	ISCAR

Tab. 3.14 Řezné podmínky [17].

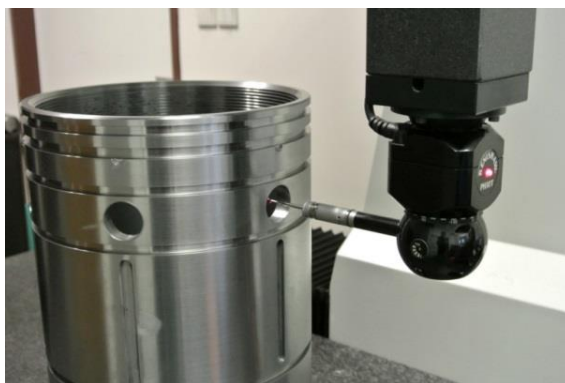
Operační úsek	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Posuvová rychlost v_f [mm.min ⁻¹]	Otáčky n [min ⁻¹]
1	80	210	1750
2	15,1	250	300
3	9,1	288	200
4	70	185	2320
5	80	150	2320
6	80	256	3200
7	68	138	985
8	80	406	1270
9	75	500	2500

Po dokončení obrábění je kontrolována hloubka drážek a zahloubení pomocí digitálního hloubkoměru. Šířka drážek se kontroluje pomocí koncových měrek. Rozměry závitů jsou kontrolovány pomocí závitového kalibru. Poté je obrobek ze stroje vyndán a ručně odjehlen.

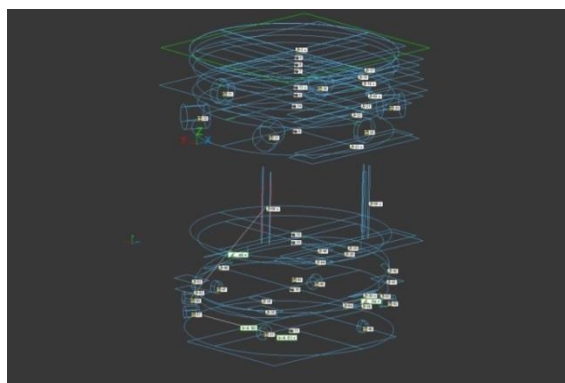
3.9 Výstupní rozměrová kontrola

Kromě kontroly rozměru obrobku v dané operaci, kterou provádí operátor daného stroje u každého kusu a mezioperační kontroly u prvního kusu na 3D měřicím zařízení Wenzel LH 87, se ve výrobě aplikuje tzv. „lítací“ kontrola. Tato kontrola spočívá v tom, že příslušný kontrolor prochází výrobou a náhodně vybírá obrobky, u kterých následně změří měřitelné rozměry dle rozměrového protokolu. Kontroluje, zda rozměry obrobku leží v předepsané toleranci, pomocí dílenského drsnoměru ověří kvalitu obrobků a díky spektrometru zjistí, zda je obrobek vyroben z odpovídajícího materiálu.

Po kompletním obrobení se vyrobený díl převezve na pracoviště kontroly, kde se provádí kontrola rozměrů pomocí souřadnicového měřicího stroje Wenzel LH 87. Jedná se o zařízení mostové konstrukce s měřicím rozsahem v ose X 800 mm, v ose Y 1500 mm a v ose Z 700 mm. Stroj je vybaven měřicí hlavou PH10T od firmy Renishaw a měřicí sondou TP 200 od téže firmy. Měření hotové vnitřní objímky je na obr. 3.19. K měřicímu stroji je připojen počítač vybavený softwarem Metrosoft CM 3.60, který zaznamenává a vyhodnocuje naměřené hodnoty, ze kterých je následně zhotoven rozměrový protokol (příloha 4). Zobrazení součásti po měření určených prvků je na obr. 3.20 [25].



Obr. 3.19 Měření hotové součásti na měřicím stroji Wenzel LH 87.



Obr. 3.20 Zobrazení měřené součásti v programu Metrosoft.

3.10 Výstupní kontrola dokumentace, značení, konzervace a balení

K posledním prováděným operacím patří označení hotového kusu výrobním číslem, konzervace, balení a kontrola a sjednocení průvodní dokumentace.

Výrobní číslo se na hotový kus značí elektrochemickou metodou. Používá se k tomu zařízení od firmy Sic-Venim, konkrétně značící jednotka GP-15B a tiskárna šablon TSC. Mezi výhody tohoto způsobu značení patří rychlost, nízké pořizovací náklady, univerzálnost použití pro různé kovové materiály, nedochází k narušování struktury materiálu atd. [26].

Protože hotové součásti putují až do Saudské Arábie, kde probíhá jejich montáž 1 až 2 roky po dodání, je důležitá jejich kvalitní konzervace. Ta se provádí nástřikem konzervačního přípravku MOL M-Guard 101. Jedná se o nízko viskózní olej na dlouhodobou ochranu oceli vůči korozi v krytých skladech s vysokou afinitou ke kovovým povrchům a schopností utvořit tenký ochranný film. Neobsahuje rozpouštědla a lze ho odstranit organickými rozpouštědly nebo vodou, která obsahuje čisticí prostředky [27].

3.11 Vyhodnocení jednotkového času na výrobu vnitřní objímky

Pro vyhodnocení současného stavu technologie výroby vnitřní objímky a jeho následné zefektivnění, je potřeba znát časy trvání jednotlivých operací, tyto časy jsou uvedeny v tab. 3.15. Jednotkový čas je čas, potřebný k provedení dané operace a skládá se ze strojního času a času vedlejšího. Strojní čas zahrnuje čas, kdy je nástroj v záběru, časy vedlejších pohybů stroje a v případě CNC strojů čas na automatickou výměnu nástroje. Vedlejší čas zahrnuje časy na manipulaci s polotovarem, upnutí polotovaru, výměnu nástrojů u konvenčních strojů, otočení či výměnu opotřebené břitové destičky, měření obrobeneho kusu atd. Mimo jednotkového času je třeba vzít v úvahu i čas přípravný. Přípravný čas je součet časů potřebných pro nahrání programu do stroje, kontrolu programu, simulaci obrábění v řídicím systému stroje, přepsání nástrojů v programu, přípravu nástrojů a vyměnitelných břitových destiček, přípravu měřidel atd.

Tab. 3.15 Časy jednotlivých výrobních operací.

Operace	Jednotkový čas [min]	Strojní čas [min]	Vedlejší čas [min]	Přípravný čas [min]
Vstupní kontrola materiálu	20	-	-	-
Dělení polotovaru Pásová pila Bomar Proline 520.450	14	8	6	-
Obrábění vnějšího průměru Konvenční soustruh SU 63	95	60	35	60
Hrubování vnitřního průměru Konvenční soustruh SU 80	120	70	50	60
Dokončování vnějšího a vnitřního průměru, soustružení závitů a zápichů na vnějším povrchu CNC soustruh SUA 80 Numeric	195	115	80	300
Mezioperační kontrola 3D měřicí stroj Wenzel LH 87	15	5	10	-
Vrtání otvorů, zhotovení závitů, frézování podélných, příčných drážek a zahloubení CNC soustruh CTX beta 1250 4A	110	75	35	300
Mezioperační kontrola 3D měřicí stroj Wenzel LH 87	35	25	10	-
Značení obrobeneho kusu	6	1	5	-
Výstupní kontrola	30	-	-	-
Konzervace a balení	15	-	-	-
Celkem Σ	655	359	231	720

4 ZEFEKTIVNĚNÍ SOUČASNÉHO STAVU TECHNOLOGIE VÝROBY

Efektivita a hospodárnost výrobního (obráběcího) procesu je ovlivňována mnoha různými faktory, jejichž úpravou je možné dosáhnout značného zefektivnění výroby. To vede k úspoře jednotkového času a tudíž i ke snížení výrobních nákladů a zvýšení výrobní kapacity firmy.

Jednou z možností jak dosáhnout zefektivnění obrábění, je nákup nových obráběcích strojů vhodných pro danou aplikaci, jedná se ovšem o značné investice, které se vyplatí pouze za určitých podmínek. Pokud to výrobní kapacity podniku umožňují, lze také někdy přesunout danou operaci z používaného stroje na vhodnější stroj, který je již součástí strojního parku. Méně nákladným způsobem, jak zefektivnit obrábění bez nutnosti investic do nových strojů, je správná volba nástrojů. S tím souvisí i volba vhodných řezných podmínek. Rychlý vývoj v oblasti obrábění se promítá do všech aspektů obráběcího procesu, ať už se jedná o nové řezné materiály a nástroje, procesní kapaliny, nové koncepce obráběcích strojů atd.[6,13]

Díky novým řezným materiálům a nástrojům je možné zvýšit řezné podmínky při zachování nebo dokonce i zvýšení trvanlivosti řezného nástroje. Zvýšení řezných podmínek (posuvové rychlosti v_f , řezné rychlosti v_c , šířky záběru ostří a_p) samo o sobě vede k úspoře strojního času. Další čas lze uspořít, pokud mají nové nástroje zároveň i vyšší trvanlivost a není tak nutná jejich častá výměna a s tím spojené seřizování VBD. Moderní nástroje také umožňují sloučení funkcí několika nástrojů do jednoho, čímž se opět šetří čas na výměnu nástrojů. Přes malý podíl ceny řezných nástrojů na celkových výrobních nákladech, je jejich vliv na výkon a hospodárnost obráběcího procesu významný [8].

Při volbě nových nástrojů je také třeba zohlednit obráběný materiál a jeho vlastnosti. Přestože díky neustálému vývoji řezných materiálů a nástrojů vznikají nástroje s univerzálnějším použitím, co se obráběného materiálu týká, je stále důležité pro efektivní obrábění používat nástroje určené pro právě obráběný materiál. S volbou odpovídajícího materiálu nástroje vůči materiálu obrobku úzce souvisí způsob utváření třísky, což je také důležitý aspekt obráběcího procesu. Typ třísky ovlivňuje mimo obráběného materiálu, ještě geometrie nástroje (poloměr špičky nástroje r_e , úhel nastavení hlavního ostří κ_r), tvar utvařeče třísek, šířka záběru ostří a_p atd. Nevhodně nastavený obráběcí proces může vést k tvorbě nežádoucích neforemných třísek. Takovéto třísky mohou negativně ovlivnit efektivitu obrábění, protože může dojít během krátké doby k jejich nahromadění v pracovním prostoru stroje, což vede k přerušení obrábění za účelem jejich odstranění. Mohou také snižovat trvanlivost řezného nástroje a ohrožovat kvalitu obrobku, případně bezpečnost obsluhy. Pro efektivní obrábění je potřeba, aby třísky byly krátké a dělené [6, 8].

4.1 Přehled operací s navrhovanými změnami strojů

Navrhovat zefektivnění na konvenčních hrotových soustruzích by bylo jistě možné, avšak pro dosažení většího zefektivnění obrábění bylo navrženo přesunout operaci hrubování vnitřního průměru na CNC soustruh. Protože nákup nového CNC soustruhu by byl v tomto případě z ekonomického hlediska nevýhodný, hledal se vhodný stroj v rámci současného strojního parku společnosti Sanborn a.s. Vzhledem k vytíženosti všech ostatních CNC soustruhů připadal v úvahu pouze soustruh od firmy Fermat s typovým označením SF 65/3000. Tento stroj je majetkem firmy již několik let, ale pro svoji údajnou nižší tuhost nebyl pro obrábění větších dílů používán a výroba menších dílů na tomto stroji také neprobíhala.

Další operace, u které byla navržena změna stroje, je operace číslo 7, ve které se vrtají otvory, frézují drážky a zhotovuje závit. Tato operace se dosud prováděla na stroji DMG Mori Seiki CTX beta 1250 4A, rozhodnutí o návrhu na přesun této operace na jiný stroj, padlo

ze dvou důvodů. První důvod je ten, že je potřeba uvolnit výrobní kapacitu toho stroje pro výrobu jiných součástí, které lze vyrábět pouze na tomto stroji. Druhým důvodem je fakt, že upnutí obrobku a jeho ustavení tak, aby jeho obvodové házení bylo menší než 0,15 mm, zabere 20 min času, kdy stroj stojí a neobrábí. Oba tyto problémy lze vyřešit přesunem této operace na nedávno zakoupený stroj DMC 100 U duoBLOCK od firmy DMG Mori Seiki. Tento stroj má dostatek volné výrobní kapacity a je vybaven otočným stolem se dvěma paletami, takže na jedné paletě může probíhat upínání a ustavování jednoho kusu, zatímco je druhý kus na druhé paletě obráběn. Sled operací včetně strojů, které jsou navrhované pro jejich realizaci je v tab. 4.1.

Tab. 4.1 Sled operací s návrhem strojů pro jejich realizaci.

Sled operací	Proces v dané operaci
Operace 1	Vstupní kontrola materiálu
Operace 2	Dělení polotovaru – Pásová pila Bomar Proline 520.450 ANc Sx
Operace 3	Obrábění vnějšího průměru – Univerzální hrotový soustruh SU 63
Operace 4	Hrubování vnitřního průměru – CNC soustruh Fermat SF 65/3000
Operace 5	Dokončování vnějšího a vnitřního průměru, soustružení závitu a zápichů na vnějším povrchu – Univerzální hrotový soustruh SUA 80 Numeric
Operace 6	Mezioperační kontrola – 3D měřicí zařízení Wenzel LH 87
Operace 7	Vrtání otvorů, zhotovení závitů, frézování podélných, příčných drážek a zahloubení – Obráběcí centrum DMC 100 U duoBLOCK
Operace 8	Výstupní rozměrová kontrola – 3D měřicí zařízení Wenzel LH 87
Operace 9	Značení obrobeného kusu
Operace 10	Výstupní kontrola dokumentace
Operace 11	Konzervace a balení

4.2 Zefektivnění obrábění vnějšího průměru

Obrábění vnějšího průměru je první obráběcí operací a tudíž i první operací, u které byly navrženy změny vedoucí k jejímu zefektivnění. Bylo navrženo, tuto operaci i nadále provádět na univerzálním hrotovém soustruhu SU 63, jehož popis a parametry jsou v podkapitole 3.5.1. Tento stroj je dostatečně tuhý a výkonný, aby tuto operaci bezpečně zvládl, navíc se v této operaci pouze zarovnávají čela a obrábí vnější průměr, což nejsou úkony vyžadující CNC řízení. Zefektivnění této operace bylo tedy zaměřeno na výběr vhodnějších nástrojů a zvýšení řezných parametrů. Upínání obrobku zůstalo stejné jako v původní technologii.

4.2.1 Operační úseky, navrhované nástroje a řezné parametry

Návrh na zefektivnění první obráběcí operace se skládá z několika operačních úseků, které jsou následující:

1. zarovnání pravého čela,
2. hrubování vnějšího průměru na 251 mm,
3. dokončování vnějšího průměru na 250,2 mm,
4. kalibrování vnějšího průměru v místech podepření lunetou na $250 \pm 0,05$ mm,
5. zarovnání levého čela na délku 362 mm.

V původní technologii byly na tuto operaci použity dva nástroje. Prvním z nich byl zapichovací nůž TGDR 2525 5M s VBD typu TGMF 635 od firmy Iscar. Tento nástroj bylo navrženo ponechat, protože obráběl spolehlivě a používá se pouze pro zarovnání čel, kde by se významnějšího zefektivnění použitím jiného nástroje nedalo dosáhnout.

Druhým nástrojem byl soustružnický nůž MTJNR 2525 M 16 osazený vyměnitelnou břitovou destičkou TNMG 160408E R od firmy Pramet. Jedná se o nástroj s negativním úhlem ostří λ . Tento typ nástroje je sice obecně vhodný pro soustružení vnějších ploch a zejména pro hrubovací operace. Díky své větší tuhosti totiž lépe odolává přerušovanému řezu a nestabilním podmínkám při obrábění. Jeho nevýhodou ovšem jsou větší řezné síly, větší vznik tepla a horší odvod třísek. Protože obráběný polotovár má tloušťku stěny 22 mm, po obrobení vnějšího povrchu jen 18 mm, docházelo při obrábění nástrojem s negativním úhlem ostří, vlivem velkých řezných sil a vyšších teplot ke vzniku vnitřního napětí v materiálu obrobku. Toto vnitřní napětí se poté nepříznivě projevilo na přesnosti a stabilitě dalšího obrábění [6, 28].

Bylo proto navrženo nahradit stávající nástroj s negativním úhlem ostří, nástrojem s pozitivním úhlem ostří. Nástroje s pozitivním úhlem ostří mají sice o něco menší pevnost, ale jejich výhodou je vznik menších řezných sil, vznik méně tepla a lepší odchod třísky z místa řezu. Bylo tedy navrženo použít soustružnický nůž CKJNR 2525 M 16 a vyměnitelnou břitovou destičku KNUX 160405R11 od firmy Sandvik Coromant. Jedná se o vyměnitelnou břitovou lichoběžníkovou destičku s úhlem 55° , vhodnou pro obrábění dlouhých tenkých nebo tenkostěnných součástí, jejíž vznik sahá až do začátků 60. let minulého století. Pro svoje dobré výsledky při obrábění je ovšem stále používána. Se změnou nástroje byla také navržena změna řezných podmínek. Nástroje navrhované pro zefektivnění obrábění jsou v tab. 4.2 a navrhované řezné podmínky v tab. 4.3 [6, 28].

Tab. 4.2 Navrhované řezné nástroje.

Operační úsek	Soustružnický nůž (držák)	VBD	Výrobce
1, 5	TGDR 2525 5M	TGMF 635	ISCAR
2 až 4	CKJNR 2525 M 16	KNUX 160405 R11	SANDVIK

Tab. 4.3 Navrhované řezné podmínky.

Operační úsek	Řezná rychlost v_c [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a_p [mm]	Otáčky n [min^{-1}]
1	90 (80 až 100)	0,2	1,5	125
2	220	0,25	1,5	260
3	220	0,15	0,4	280
4	220	0,15	0,1	280
5	110 (100 až 120)	0,25	1,5	150

4.2.2 Zavedení návrhu na zefektivnění obrábění vnějšího průměru

Změny nástrojů a řezných parametrů byly uskutečněny tak, jak bylo navrženo v kapitole číslo 4.2.1. Provedení těchto změn se dle předpokladu projevilo na snížení vnitřního napětí v obrobku, což vedlo k tomu, že následující obráběcí operace probíhala stabilněji a nedocházelo k deformacím obrobku vlivem vnitřního napětí. Změnou nástrojů a řezných parametrů došlo také k zefektivnění obrábění z hlediska úspory strojního času.

Strojní čas t_{AS} (čas kdy je nástroj v záběru) se obecně stanoví ze vztahu (4.1), který je uveden např. v pracích [5, 6]:

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} \text{ [min]} \quad (4.1)$$

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

Dráha nástroje ve směru posuvu L [mm] pro podélné soustružení je dána součtem jednotlivých složek dle vztahu (4.2), uvedeném např. v pracích [5, 6]:

$$L = l + l_n + l_p \text{ [mm]} \quad (4.2)$$

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

Pro soustružení čelní plochy při obrácení za konstantních otáček obrobku se dráha nástroje počítá podle vztahu (4.3), uvedeném např. v pracích [5, 6]:

$$L = \frac{[(D_{\max} + 2 \cdot l_n) - (D_{\min} - 2 \cdot l_p)]}{2} \text{ [mm]} \quad (4.3)$$

kde: D_{\max} [mm] – maximální průměr obrobku,
 D_{\min} [mm] – minimální průměr obrobku.

Výpočet strojního času první operace:

Dráha nástroje při podélném soustružení:

$$L_1 = l + l_n + l_p = 362 + 10 + 3 = 380 \text{ mm}$$

Strojní čas podélného soustružení:

$$t_{AS1} = \frac{L_1}{n_1 \cdot f_1} = \frac{380}{260 \cdot 0,3} \cong 5 \text{ min}$$

$$t_{AS2} = \frac{L_1}{n_2 \cdot f_2} = \frac{380}{280 \cdot 0,15} \cong 9 \text{ min}$$

$$t_{AS3} = \frac{L_1}{n_3 \cdot f_3} = \frac{380}{280 \cdot 0,15} \cong 9 \text{ min}$$

Dráha nástroje při příčném soustružení:

$$L_2 = \frac{[(D_{\max} + 2 \cdot l_n) - (D_{\min} - 2 \cdot l_p)]}{2} = \frac{[(254 + 2 \cdot 5) - (210 - 2 \cdot 1)]}{2} = 28 \text{ mm}$$

Strojní čas příčného soustružení:

$$t_{AS4} = \frac{L_2}{n_4 \cdot f_4} = \frac{28 \cdot 2}{125 \cdot 0,2} \cong 2,2 \text{ min}$$

Strojní čas:

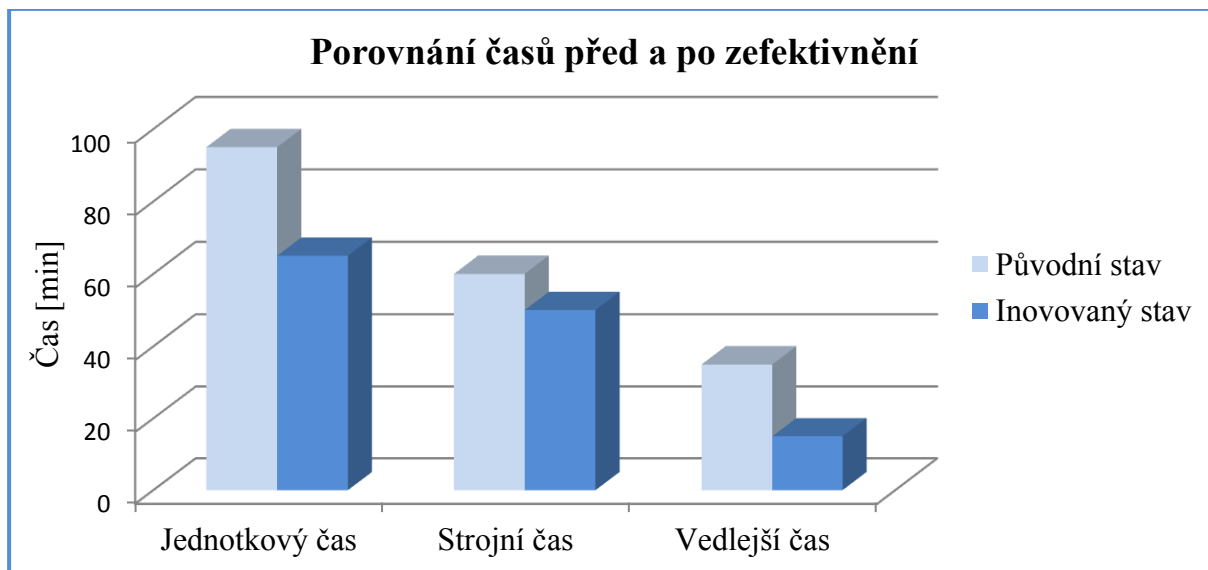
$$t_{ASA} = t_{AS1} + t_{AS2} + t_{AS3} + t_{AS4} \cong 25 \text{ min}$$

Pomocí výše uvedených vzorců byl spočítán strojní čas obrábění po zavedení návrhu na zefektivnění. Vypočtený strojní čas $t_{ASA} = 25 \text{ min}$ je ovšem pouze čas, kdy byl nástroj v záběru, je tedy potřeba k němu přičíst čas vedlejších pohybů stroje $t_{ASB} = 25 \text{ min}$, který byl změřen při obrábění. Celkový strojní čas je tedy součtem těchto dvou časů $t_{AS} = 50 \text{ min}$.

Současně se zaváděním návrhu na zefektivnění obrábění byl k pracovišti univerzálních hrotových soustruhů namontován otočný jeřáb, který významně zkrátil vedlejší čas, při manipulaci s obrobkem. Dříve byl k dispozici pro manipulaci s polotovary a obrobky pouze hlavní mostový jeřáb společný pro celou loď výrobní haly. To vedlo k velkým prostojům, když byl jeřáb používán obsluhou jiného stroje nebo když s ním obsluha soustruhu musela přejet velkou vzdálenost ke svému pracovišti. Rozdíl ve spotřebě času mezi původním stavem a po zefektivnění je dobře patrný z tab. 4.4 a obr. 4.1.

Tab. 4.4 Rozdíl ve spotřebě času před a po zefektivnění.

	Jednotkový čas [min]	Strojní čas [min]	Vedlejší čas [min]
Původní stav	95	60	35
Inovovaný stav	65	50	15



Obr. 4.1 Porovnání časů před a po zefektivnění.

4.3 Zefektivnění obrábění vnitřního průměru

Hrubování vnitřního průměru bylo realizováno na klasickém hrotovém soustruhu SU 80 od firmy TOS Čelákovice. V rámci zefektivnění obrábění bylo navrženo přesunout tuto

operaci na CNC soustruh. Jediný stroj, na který bylo možné přesunout tuto operaci vzhledem k vytíženosti všech ostatních CNC soustruhů, byl soustruh Fermat SF 65/3000 CNC.

Důvodů proč bylo navrženo použít CNC soustruh je několik. Stroj SF 65/3000 je díky CNC řízení přesnější a umožňuje hrubovat součást pouze s malým přírůstkem na dokončení. Odpadá tak polohrubovací řez v následující operaci. Díky rychloposuvům a přesnému polohování podle programu je tento stroj také výrazně rychlejší oproti konvenčnímu soustruhu. Další výhodou numericky řízeného stroje je například nižší počet výroby zmetkových součástí vzniklých nepřesnostmi při ručním ovládní konvenčního stroje. Soustruh SF 65/3000 je na obr. 4.2 a jeho technické parametry jsou v tab. 4.5.

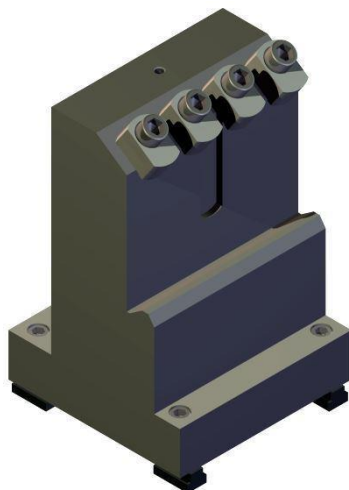


Obr. 4.2 Soustruh SF 65/3000 CNC.

Tab. 4.5 Technické parametry stroje [29].

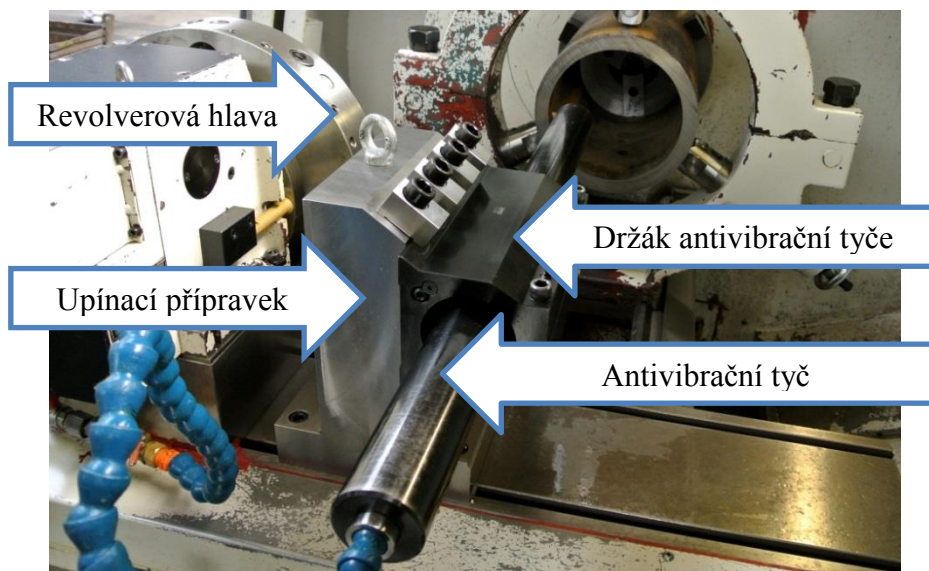
Univerzální hrotový soustruh Fermat SF 65/3000 CNC	
Pracovní rozsah	
Oběžný průměr nad ložem	650 mm
Oběžný průměr na suportem	410 mm
Vzdálenost mezi hroty	3000 mm
Maximální hmotnost obrobku	2000 kg
Vřeteno	
Vrtání vřetena	82 mm
Rozsah otáček	80–3500 min ⁻¹
Výkon hlavního motoru	22 kW
Revolverová hlava	
Počet pozic v revolverové hlavě	8
Průřez tělesa nástroje	25 × 25 mm
Koník	
Průměr pinoly	80 mm
Vnitřní kužel	MK5
Stroj	
Rozměry stroje	5190 × 2225 × 2050
Hmotnost stroje	6450 kg

Soustruh SF 65/3000 je vybaven revolverovou hlavou s osmi pozicemi pro nástroje. Tato revolverová hlava ovšem neumožňuje upnutí dostatečně tuhého nástroje pro vnitřní soustružení v potřebné délce. Pro hrubování vnitřního průměru bylo navrženo použít antivibrační tyč, která byla používána při dokončování vnitřního průměru na stroji SUA 80. Aby bylo možné tuto antivibrační tyč použít, musel být navržen speciální přípravek (obr 4.3).



Obr. 4.3 Návrh sestavy upínacího přípravku.

Podle návrhu byl vyroben upínací přípravek, který byl pomocí čtyř kamenů upnut do T – drážek příčných saní vedle revolverové hlavy (obr 4.4). Do toho to přípravku byl upnut držák antivibrační tyče s antivibrační tyčí délky 800 mm o průměru 60 mm a vyložení pouze 350 mm, aby se co nejvíce omezil vznik nežádoucích vibrací.

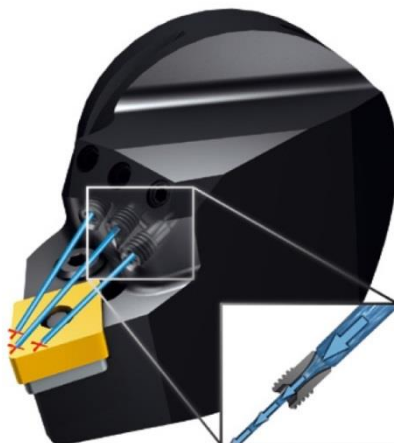


Obr. 4.4 Reálné provedení upínacího přípravku.

4.3.1 Návrh změny přívodu řezné kapaliny

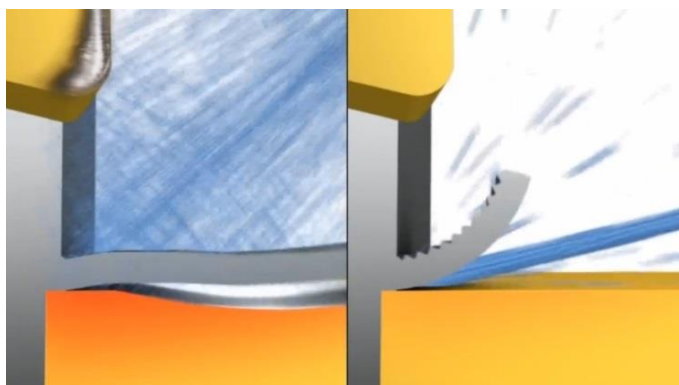
Způsob přívodu řezné kapaliny do místa řezu může ovlivnit mnoho faktorů obráběcího procesu. Po konzultaci s odborníky ze společnosti Sandvik Coromant bylo navrženo použít pro soustružení na CNC soustruzích držáky nástrojů řady CoroTurn HP s vysokotlakým přívodem řezné kapaliny.

Jedná se o nástrojové držáky opatřené dvěma až třemi tryskami, které přesně směřují laminární proud řezné kapaliny do místa řezu, konkrétně mezi vyměnitelnou břitovou destičku a odcházející třísku k břitu vyměnitelné břitové destičky. Při průchodu řezné kapaliny tryskou dojde k několikanásobnému navýšení její výstupní rychlosti oproti konvenčnímu způsobu chlazení. Přesné směřování proudu řezné kapaliny a její vysoká rychlost mají několik pozitivních účinků. Umístění trysek a směr proudění řezné kapaliny jsou patrné z obr. 4.5 [30, 31].



Obr. 4.5 Rozmístění trysek a směřování proudu řezné kapaliny u systému CoroTurn HP [30].

Tím, že proud řezné kapaliny vniká mezi třísku a vyměnitelnou břitovou destičku, dochází k odtlačování třísky od vyměnitelné břitové destičky a jejímu snadnému dělení na krátké kusy, čímž je zabráněno tvorbě nežádoucích dlouhých třísek. Protože tříska je díky snadnému dělení a rychlému odchodu z místa řezu v kontaktu s čelem vyměnitelné břitové destičky pouze krátkou dobu, nedochází k výraznějšímu opotřebení čela, což se výrazně projeví na prodloužení životnosti vyměnitelné břitové destičky. Rozdíl mezi konvenčním přívodem řezné kapaliny a systémem CoroTurn HP je zobrazen na obr. 4.6. Intenzivní směřování řezné kapaliny do místa řezu také zvyšuje účinnost chladičho efektu a nástroj i obrobek jsou méně tepelně namáhány. Aby byl potenciál tohoto způsobu chlazení využit naplno, je potřeba používat vyměnitelné břitové destičky se speciálním utvářečem třísky, který je navržen speciálně pro tento způsob přívodu řezné kapaliny. Díky lepšímu utváření třísek, menšímu tepelnému namáhání nástroje, lze navýšit řeznou rychlost až o 30 %, při zvýšení životnosti nástroje až o 20 % [30, 31]



Obr. 4.6 Přívod řezné kapaliny běžným způsobem (vlevo) a systémem CoroTurn HP (vpravo) [31].

4.3.2 Operační úseky, navrhované nástroje, řezné parametry

Návrh na zefektivnění druhé operace – hrubování vnitřního průměru se skládá z následujících operačních úseků:

1. hrubování vnitřního průměru v délce 181 mm na průměr 220,2 mm a v délce 106,4 mm na průměr 233 mm,
2. hrubování vnitřního průměru v délce 181 mm na průměr 220,2 mm a v délce 49 mm na průměr 224,7 mm.

V rámci zefektivnění byla navržena změna stroje pro tuto operaci a také změna systému přívodu řezné kapaliny, s čímž souvisí i změna nástrojových držáků a vyměnitelných břitových destiček. Jak již bylo popsáno výše, pro upnutí nástroje byla zvolena antivibrační tyč od firmy Sandvik Coromant, pro kterou musel být navržen speciální upínací přípravek. Tato antivibrační tyč je osazena nástrojovým držákem typu SL-PTFNR-40-16HP z řady nástrojů CoroTurn HP a VBD typu TNMG 160408 PMC od firmy Sandvik Coromant. K nově navrženým nástrojům (tab. 4.6) byly též navrženy nové řezné podmínky (tab. 4.7).

Tab. 4.6 Navrhované řezné nástroje.

Operační úsek	Soustružnický nůž (držák)	VBD	Výrobce
1, 2	antivibrační tyč Ø60 mm + nástroj. držák SL-PTFNR-40-16HP	TNMG 160408 PMC	SANDVIK

Tab. 4.7 Navrhované řezné podmínky.

Operační úsek	Řezná rychlost v_c [$m \cdot min^{-1}$]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a_p [mm]	Otáčky n [min^{-1}]
1, 2	180	0,25	2,5	230

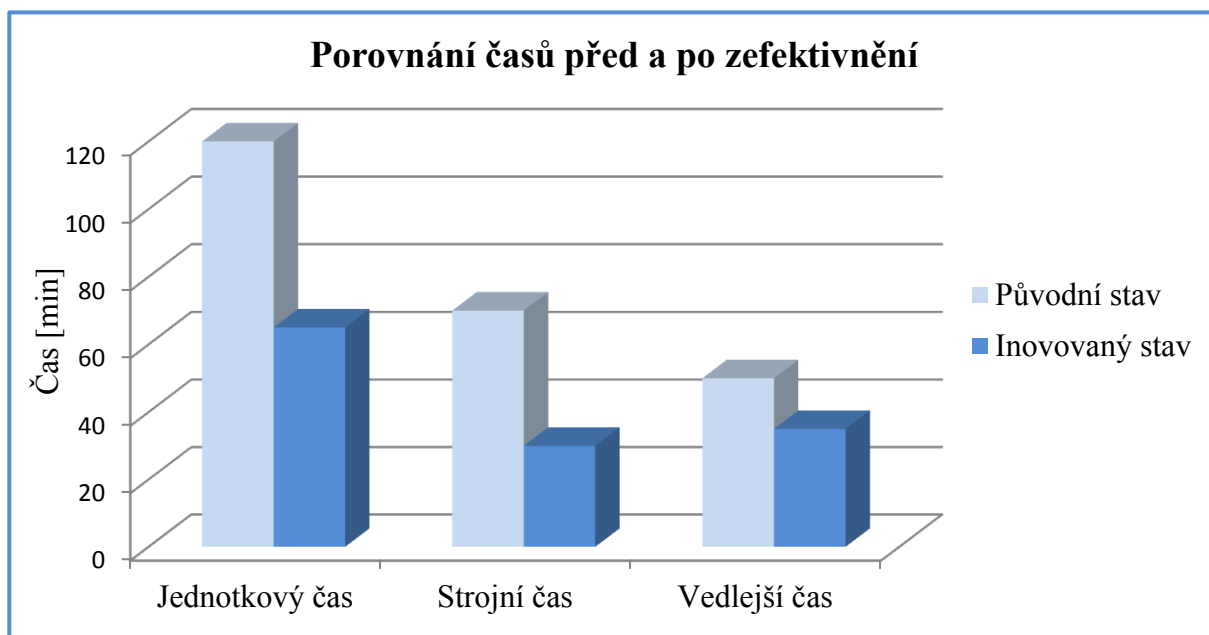
4.3.3 Zavedení návrhu na zefektivnění obrábění vnějšího průměru

Přesunutí této operace na CNC soustruh, změna způsobu přívodu řezné kapaliny a změna řezných nástrojů spojená se zvýšením řezných parametrů se podle očekávání projeví ve značné úspoře strojního času.

Protože společnost Sanborn a.s. neustále investuje do nových strojů a vybavení výrobních prostor, byl v průběhu řešení zefektivnění výroby vnitřní objímky zakoupen otočný sloupový jeřáb, který byl umístěn k pracovišti soustruhů Fermat SF 65/3000 a TOS SUA 80 Numeric. Jedná se o sloupový otočný jeřáb řady Yale GSX od firmy Alto Systems s.r.o. s nosností 500 kg a délkou vyložení 6000 mm. S jeřábem je možno otáčet ručně a to v rozsahu 270°. Díky tomu, se toto pracoviště stalo nezávislé na hlavním mostovém jeřábu, což vedlo ke značné úspoře času při manipulaci s obrobkem. Porovnání jednotkových, strojních a vedlejších časů této operace v původní podobě a po zefektivnění je v tab. 4.8. Rozdíl těchto časů je také dobře patrný na obr. 4.7 [32].

Tab. 4.8 Rozdíl ve spotřebě času před a po zefektivnění.

	Jednotkový čas [min]	Strojní čas [min]	Vedlejší čas [min]
Původní stav	120	70	50
Inovovaný stav	65	30	35



Obr. 4.7 Porovnání časů před a po zefektivnění.

4.4 Zefektivnění dokončování vnějšího a vnitřního průměru

Operace, při které se dokončuje vnitřní i vnější průměr a soustruží se zápichy na vnější straně součásti, probíhala na stroji SUA 80 Numeric 5000 od firmy TOS Čelákovice, jehož parametry jsou v tab. 3.9. Jelikož se jedná o stroj s CNC řízením, který je dostatečně výkonný a přesný, bylo navrženo provádět tuto operaci i na dále na tomto stroji. Návrh na zefektivnění se proto zaměřil na nástroje a řezné podmínky.

4.4.1 Operační úseky, navrhované nástroje a řezné parametry

Tato poslední soustružnická operace se skládá z následujících operačních úseků:

10. zarovnání čela, sražení vnější hrany,
11. dokončení vnitřního průměru v místě rozšíření na průměr $233,55^{+0,25}_{-0,00}$ mm v délce $106,93 \pm 0,25$ mm, sražení vnitřních hran,
12. zarovnání druhého čela na délku $358,88 \pm 0,38$ mm, sražení vnější hrany,
13. dokončení vnitřního průměru $220,7^{+0,25}_{-0,00}$ mm v délce 42,9 mm od čela obrobku soustružení malého průměru závitu $D_1 = 225,17^{+0,2}_{-0,0}$ mm, soustružit výběh závitu na průměr $229,03^{+0,25}_{-0,00}$ mm v šířce 6,4 mm, sražení vnitřní hrany,
14. soustružení závitu STR 8 RD left v délce 42,9 mm,
15. dokončení vnějšího průměru na hodnotu $248,82^{+0,00}_{-0,12}$ mm,
16. hrubování zápichů s přídavkem 0,5 mm,
17. dokončení zápichů na průměr $239,98^{+0,00}_{-0,12}$ mm při dodržení předepsané geometrické tolerance kruhového házení 0,12 mm,
18. mezioperační kontrola.

Protože antivibrační tyč původně používaná v této operaci, byla použita v předchozí operaci na stroji Fermat SF 65/3000, byla zakoupena nová antivibrační tyč od firmy Sandvik Coromant. Jedná se o antivibrační vyvrtávací tyč o průměru 80 mm a délce 1000 mm se systémem pro rychlou výměnu řezných hlav CoroTurn SL (obr. 4.8).



Obr. 4.8 Nová antivibrační tyč od firmy Sandvik Coromant.

Při nákupu nové antivibrační tyče bylo také navrženo opatřit tuto tyč moderní řeznou hlavou řady CoroTurn HP se systémem pro rychlou výměnu CoroTurn SL. Řezné hlavy CoroTurn HP jsou speciálně navrženy pro inovativní systém přívodu řezné kapaliny, jehož princip je popsán v podkapitole 4.3.1. Aby bylo možné využít plný potenciál tohoto systému přívodu řezné kapaliny, je potřeba použít vyměnitelné břitové destičky se speciálně tvarovaným utvařečem třísky. Přesunutí předchozí operace na CNC soustruh umožnilo hrubovat vnitřní průměr součásti s přídavkem pouze 0,5 mm na plochu. Takto malý přídavek materiálu není potřeba při dokončování odebírat nadvakrát (polodokončovací a dokončovací řez), tak jako tomu bylo v původní technologii. Pro dokončování bylo navrženo použít vyměnitelnou břitovou destičku DNMG 150608 PMC opatřenou vhodným utvařečem třísky, který oproti standartním utvařečům zvyšuje účinnost systému CoroTurn HP.

V rámci zefektivnění bylo navrženo změnit nástroj pro zarovnání čel a sražení hrany. Navržen byl soustružnický nůž PWLNR 2525 M 08 HP s vyměnitelnou břitovou destičkou WNMG 080408 PMC. Pro dokončení vnějšího průměru bylo navrženo použít soustružnický nůž PTGNR 2525 M 16 s vyměnitelnou břitovou destičkou TNMG 160408 PMC.

Výše zmíněné nástroje byly navrženy zejména pro to, že díky novému způsobu přívodu řezné kapaliny je možné u těchto nástrojů používat vyšší řezné podmínky při zachování nebo dokonce zvýšení jejich trvanlivosti, což se pozitivně projevuje na úspoře času a nákladů. Použití těchto nástrojů by se mělo projevit i na lepším utváření třísky.

Pro soustružení závitu a zápichů bylo navrženo použít stejné nástroje jako v původní technologii. Přehled všech nástrojů navržených pro zefektivnění této operace je v tab. 4.9 a v tab. 4.10 jsou uvedeny navrhované řezné parametry.

Tab. 4.9 Navrhované řezné nástroje.

Operační úsek	Soustružnický nůž (držák)	VBD	Výrobce
1, 3	PWLNR 2525 M 08 HP	WNMG 080408 PMC	SANDVIK
2, 4	antivibrační tyč + SL-PDUNR-40-15HP	DNMG 150608 PMC	SANDVIK
5	SIL 32	TF 3756/GP500 CYB	TOOL-FLO
6	PTGNR 2525 M 16 HP	TNMG 160408 PMC	SANDVIK
7, 8	TGDR 2525 3M	TGMF 304	ISCAR

Tab. 4.10 Navrhované řezné parametry.

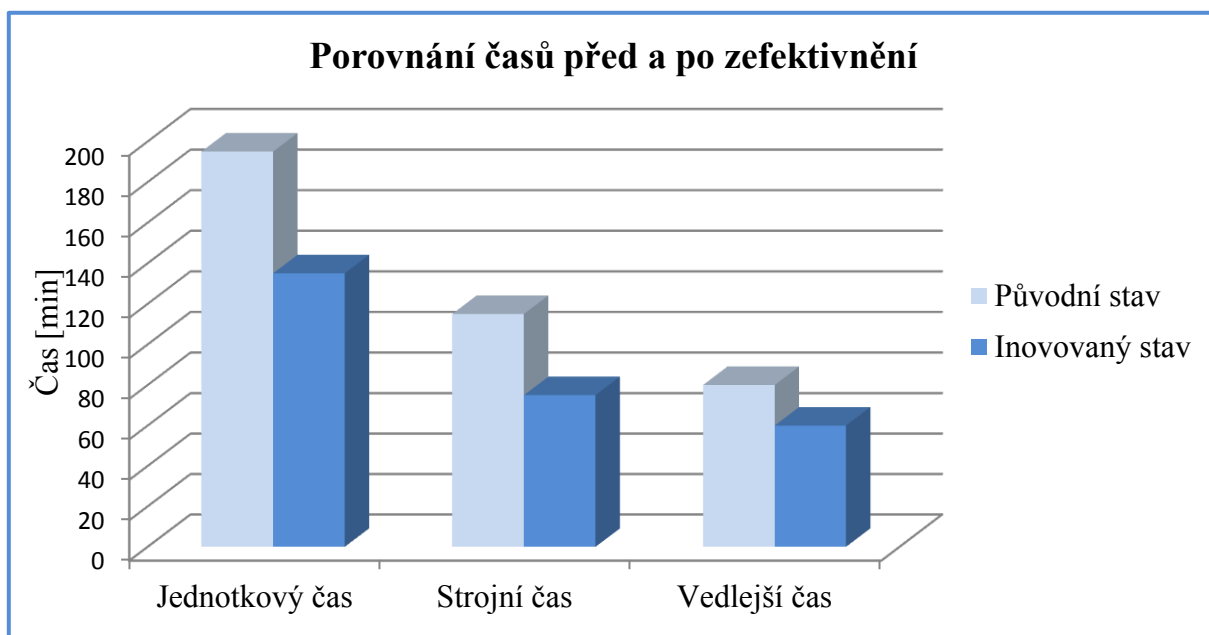
Operační úsek	Řezná rychlost v_c [$m \cdot min^{-1}$]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a_p [mm]	Otáčky n [min^{-1}]
1, 3	210	0,3	0,8	273
2, 4	210	0,25	0,25	287, 297
5	110	3,175	0,2	215
6	250	0,25	0,6	320
7	100	0,08	0,5	135
8	120	0,07	0,5	160

4.4.2 Zavedení návrhu zefektivnění dokončování vnějšího a vnitřního průměru

Změny nástrojů a řezných parametrů, tak jak jsou popsány v předchozí kapitole, byly uvedeny do praxe, čímž bylo dosaženo požadovaného zkrácení strojního času. Na zkrácení jednotkového času se také projevilo zkrácení času vedlejšího, zejména co se týká času potřebného pro manipulaci s obrobkem. Tento čas byl snížen díky instalaci otočného sloupového jeřábu k pracovišti soustruhů Fermat SF 65/3000 a TOS SUA 80 Numeric 5000. Tímto se tyto stroje staly nezávislé na hlavním mostovém jeřábu a manipulace s obrobky byla oprostěna od prodlev způsobených čekáním na hlavní jeřáb. Úspora času je patrná z tab 4.11, na obr. 4.9 je porovnání časů před a po zefektivnění znázorněno v grafu.

Tab. 4.11 Rozdíl ve spotřebě času před a po zefektivnění.

	Jednotkový čas [min]	Strojní čas [min]	Vedlejší čas [min]
Původní stav	195	115	80
Inovovaný stav	135	75	60



Obr. 4.9 Porovnání časů před a po zefektivnění.

Mimo úspory času se změny nástrojů v této operaci dle očekávání pozitivně projevily na utváření třísky a jejím odchodu z místa řezu. Při dokončování vnitřního průměru za použití původních nástrojů a řezných parametrů docházelo k utváření stuhových a dlouhých šroubovitých třísek, které se hromadily uvnitř součásti, zejména okolo nástroje a místa řezu. Takto hromadící se třísky, musel operátor stroje průběžně odstraňovat, hromaděním třísek hrozilo poškození nástroje či zhoršení kvality povrchu obrobené plochy. Tvar a hromadění třísek je dobře vidět na obr. 4.9.



Obr. 4.9 Hromadění třísek v místě řezu a okolo nástroje.

Na utváření třísky má vliv mnoho faktorů. V rámci zefektivnění této operace byly změněny řezné parametry, byla použita vyměnitelná břitová destička s jiným utvařečem a zásadním způsobem se změnil systém přívodu řezné kapaliny do místa řezu. Díky tomuto se výrazně změnil charakter třísek ze stuhových a dlouhých spirálových na elementární (obr. 4.10). Tyto nově vznikající třísky, snadno odcházejí z místa řezu a nehromadí se okolo nástroje. Odpadá tak nutnost odstraňovat je v průběhu obrábění. Výrazně se eliminuje riziko poškození nástroje či obrobeného povrchu.



Obr. 4.10 Rozdíl ve tvaru třísek před zefektivněním (vlevo) a poté (vpravo).

4.5 Zefektivnění frézování drážek, vrtání otvorů a řezání závitů

Tato operace byla v rámci zefektivnění přepracována nejvíce. Bylo navrženo použití jiného stroje, změna téměř všech používaných nástrojů a také řezných parametrů.

4.5.1 Strojní zařízení

Původně se tato operace prováděla na stroji DMG Mori Seiki CTX beta 1250 4A jehož popis a parametry jsou v podkapitole 3.8.1. Pro zefektivnění této operace bylo navrženo použít stroj DMC 100 U duoBLOCK od výrobce DMG Mori Seiki, který je na obr. 4.11, v tab. 4.12 jsou uvedeny jeho technické parametry.



Obr. 4.11 Obráběcí centrum DMC 100 U duoBLOCK

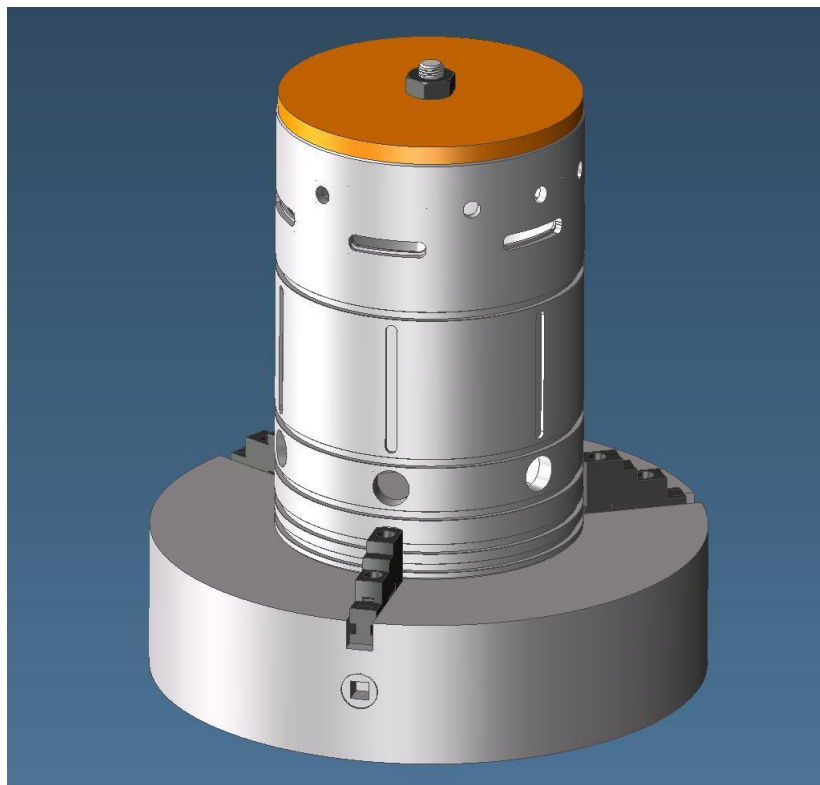
Tab. 4.12 Technické parametry stroje [33].

Obráběcí centrum DMG Mori Seiki DMC 100 U duoBLOCK	
Pracovní rozsah	
Délky pojezdů	1000 × 1250 × 1000 mm
Rozměry palet na otočném stole	1000 × 800 mm
Max. hmotnost obrobku	2000 kg
Vřeteno	
Max. otáčky hlavního vřetena	12000 min ⁻¹
Krouticí moment hlavního vřetena	430 Nm
Výkon vřetena	52 kW
Nástroje	
Počet pozic v zásobníku	120
Typ upínání	SK 50
Max. rozměry nástrojů	Ø 400 × 600 mm
Stroj	
Min. plocha potřebná pro ustavení stroje	27 m ²
Hmotnost stroje	18500 kg

Jedná se o moderní 5-osé obráběcí centrum s univerzální frézovací hlavou s řízenou osou B, které bylo navrženo s ohledem na co největší přesnost, dynamiku a dobrý přístup do pracovního prostoru. Frézovací hlava je vybavena upínáním typu SK 50. Hlavní pohon zajišťuje integrované motorové vřeteno s výkonem 52 kW a max. otáčkami 12000 min^{-1} . Max. otáček vřeteno dosáhne za 4,5 s. Stroj je vybaven NC – otočným stolem s paletovým nosičem na dvě palety o rozměru $1000 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$. Chladicí kapalina je přiváděna, z nádrže o objemu 980 l, středem vřetene tlakem 80 barů při průtokovém množství $1,6 \text{ m}^3/\text{h}$. Chlazení je také možné provádět stlačeným vzduchem středem vřetene. V rámci zvolené opce je dále k dispozici vertikální řetězový zásobník nástrojů s pozicemi pro 120 nástrojů s upínáním SK 50. Pro měření obrobků je stroj vybaven měřicí sondou Renishaw PP60 optical. Ovládání stroje je zajištěno řídicím systémem pro 3D souvislé řízení Heidenhain iTNC 530 HSCI. K odhalení a odstranění případných problémů nebo závad slouží dálková diagnostika napojená přímo na výrobce stroje [33].

4.5.2 Návrh upínání obrobku

Protože na tuto operaci bylo navrženo použít jiný stroj než byl použit v původní technologii, musel se také navrhnout nový způsob upínání součásti. Bylo tedy navrženo upnout součást do horizontálně orientovaného univerzálního tříčelistového sklíčidla. Toto sklíčidlo je připevněno k paletě otočného stolu. Pro zajištění bezpečného a stabilního upnutí, které ale nebude kolidovat s nástrojem a omezovat pohyb frézovací hlavy, bylo navrženo součást ze shora uzavřít zátkou, podobnou těm, které byly použity v původní technologii, s otvorem uprostřed. Přes tento otvor je svorníkem a maticí přitažena ke sklíčidlu. Stroj DCM 100 U duoBLOCK je vybaven dvěma paletami, takže systém nově navrženého upínání je potřeba ve dvou vyhotoveních. Systém nově navrženého způsobu upínání je na obr. 4.12.



Obr. 4.12 Nově navržený systém upínání obrobku.

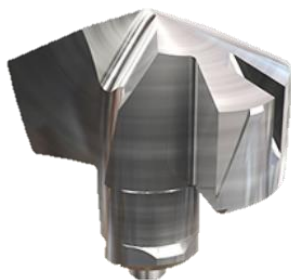
4.5.3 Operační úseky, navrhované nástroje a řezné parametry

Operace prováděná na tomto stroji se skládá z mnoha operačních úseků, které jsou tyto:

1. vrtání otvorů 7x Ø14,5 mm,
2. sražení hrany 7x Ø16 mm pod úhlem 90°,
3. zhotovení závitu 7x 5/8[“] – 18UNF – 2B,
4. hrubování obvodové drážky 6x,
5. dokončování obvodové drážky 6x,
6. frézování podélné drážky 6x (šířka 9,53 mm, hl. 3,56 mm, délka 110,6±0,38 mm),
7. předvrtání otvoru 6x Ø22,3 mm,
8. frézování otvoru na průměr 30,16 mm,
9. zahloubení o průměru 9,5 mm,
10. ruční odjehlení.

V rámci zefektivnění této operace byly navrženy změny nástrojů, které se dotkly všech nástrojů používaných v této operaci. U některých nástrojů šlo pouze o nahrazení vrtací hlavičky za jiný typ. V některých případech šlo o návrh zcela nového nástroje.

V prvním operačním úseku byl v původní technologii používán vrták s vyměnitelnou hlavicí, jedná se o typ vrtáku DCN 145-044-16A-3D a hlavicí s označením ICP 0571-908 Ø14,5 mm od firmy Iscar tato vrtací hlavička má hlavní ostří tvořené přímkami. Úhel nastavení hlavního ostří κ_r je u této hlavičky 140°. Vrtací hlavičky s touto geometrií ostří není při vrtání bez předvrtání příliš stabilní, proto bylo navrženo nahradit ji novější hlavicí od téže firmy s označením HCP 145 – IQ IC 908 Ø14,5 mm. Jedná se o vyměnitelnou hlavičku, jejíž ostří je tvořeno konkávní křivkou, která výrazně zvyšuje samostředící schopnost vrtáku, což vede ke stabilnějšímu a přesnějšímu vrtání. Na obr. 4.13 a obr. 4.14 je vidět rozdíl mezi hlavicí použitou v původní technologii a nově navrhovanou hlavicí.



Obr. 4.13 Původní vyměnitelná hlavička [34].



Obr. 4.14 Notvě navrhovaná hlavička [35].

Sražení hran před vytvořením závitu bylo v původní technologii prováděno pomocí monolitního nástroje ze slinutého karbidu. Při výměně opotřebeného nástroje bylo vždy nutné provést vyjmutí opotřebeného nástroje a upnutí nástroje nového. Aby se ušetřil čas výměny nástroje na sražení hran, bylo navrženo použít nástroj z řady Multi-Master od firmy Iscar. Jedná se o nástroj, který se skládá z válcového dřívku ze slinutého karbidu typu MM S-A-L110-C16-T10-C opatřeného na konci vnitřním závitem, do kterého lze našroubovat vyměnitelnou hlavičku též ze slinutého karbidu. Vyměnitelná hlavička může být různá, podle konkrétní aplikace, v tomto případě se jedná o hlavičku na sražení hran s označením MM HCD160-090-2T10. Zásadní výhodou tohoto řešení je, že pokud se nástroj opotřebí, stačí pouze vyměnit našroubovanou hlavičku a zbytek nástroje (válcový dřívok) zůstává

nadále upnutý ve stroji, čímž se ušetří čas potřebný na vyjmutí opotřebeného a upnutí nového nástroje do upínače. Vyměnitelná hlavice je na obr. 4.15.



Obr. 4.15 Vyměnitelná hlavice systému Mult-Master [36].

Pro zefektivnění výroby závitu bylo navrženo nahradit původní závitník jiným závitníkem včetně upínače. Nově navržený závitník je od firmy Gühring a jedná se o typ NR40 C 2B UNF 5/8 – 18. Závitník je upnut v upínači řady GuhroSync. Upínač GuhroSync byl při zefektivnění navržen ze dvou důvodů. Prvním důvodem je systém hydraulického upínání nástroje, který má, na rozdíl např. od upínání pomocí kleštin, několik výhod. Mezi hlavní výhody patří vysoká upínací síla a tuhost upnutí, dále pak přesnost obvodového házení do 0,004 mm, opakovatelnost upnutí a vysoký přenos krouticího momentu atd. Druhým důvodem pro návrh toho upínače je ten, že se jedná o upínač pro tzv. synchro závitování. Při tvorbě závitu je velice důležité synchronizovat otáčky včetně s posuvem. Normálně není tato synchronizace tak obtížná, ovšem při řezání závitu, kdy je na jeho konci potřeba zastavit posuv i otáčky a následně je reverzovat, dochází vlivem setrvačných sil k chybě v synchronizaci. Navíc i závitník je vyroben s určitou chybou ve stoupání. Vlivem toho vznikají při zpětném pohybu závitníku velké axiální i radiální síly a napětí mezi závitníkem a závitem. To zatěžuje a opotřebovává nástroj a může vést k poškození závitu. Upínače GuhroSync jsou konstruované tak, že pomocí elastických prvků tyto negativní vlivy eliminují, což vede k několikanásobnému zvýšení životnosti nástroje, zvýšení kvality vytvořeného závitu a snížení času potřebného k výměně nástroje. Celý proces výroby závitu se tak stává efektivnějším [11, 37, 38].

Hrubování obvodových drážek bylo v původní technologii prováděno pomocí čtyř břité stopkové válcové čelní frézy RF 100 Diver o průměru 9,7 mm od firmy Gühring. Jedná se o moderní nástroj, který díky své geometrii a materiálu umožňuje nejen klasické hrubování a dokončování, ale i nájezd do materiálu pod strmým úhlem až 45° a vrtání do plného materiálu. Tato fréza má rozdílné stoupání šroubovic profilových drážek s úhly 36°/38°, což jí předurčuje i pro větší hloubky řezu. Nestejnoměrné stoupání šroubovice také účinně tlumí chvění a vibrace. Profil šroubovitých drážek je broušený, aby bylo zajištěno spolehlivého odchodu třísek. Protože se jedná o trvanlivý přesný a produktivní nástroj bylo navrženo používat tento nástroj i nadále. Pro zefektivnění hrubování bylo pouze navrženo zvýšení řezných podmínek pro lepší využití potenciálu nástroje [39].

Protože výše popsáná fréza RF 100 Diver se při vhodně nastavených řezných podmínkách hodí i pro dokončování, bylo navrženo používat ji i pro dokončování obvodových drážek. Původně byly tyto drážky dokončovány monolitní frézou ze slinutého karbidu o průměru 11 mm od firmy Emuge Frankem. Použitím stejné frézy pro hrubování i dokončování obvodových drážek se ušetří čas na výměnu nástroje, ale také se sníží množství potřebných nástrojů a dodavatelů, čímž se také zjednoduší i logistika v oblasti nástrojového hospodářství.

Podélná drážka byla v původní technologii frézována stopkovou válcovou čelní frézou o průměru 8 mm od firmy Walter. Tato fréza není vybavena vnitřním přívodem řezné kapaliny a při jejím vnějším přívodu nebyly třísky dostatečně vyplavovány z místa řezu a jejich ulpíváním v drážce a opětovným přezávaním docházelo k výraznějšímu opotřebením nástroje. Proto bylo navrženo použít frézu s vnitřním chlazením. Ve spolupráci s firmou

Rotana bylo navrženo nechat vyrobít na zakázku frézu o průměru 8 mm s geometrií podobnou osvědčeným frézám RF 100 Diver, ale na rozdíl od nich vybavenou vnitřním chlazením pro lepší odvod třísek z frézované drážky.

V sedmém operačním úseku byl otvor původně vrtán pomocí vrtáku o průměru 22 mm s vyměnitelnou hlavicí ICP 0878 – IC 223 Ø22,3 mm od firmy Iscar. Podobně jako při vrtání otvoru o průměru 14,5 mm pro závit bylo navrženo nahradit tuto hlavicí modernější hlavicí typu HCP 220 – IQ IC 908 Ø22 mm, která je díky jiné geometrii ostří stabilnější a přesnější.

Pro rozfrézování díry o průměru 22 mm na konečný průměr 30,16 mm bylo navrženo nahradit původní frézu od firmy Iscar frézou RF 100 Diver o průměru 15,6 mm od firmy Gühring. Tato výměna nástrojů byla navržena s ohledem na kvalitu těchto fréz a také ve snaze co možná nejvíce sjednotit typy nástrojů a jejich dodavatele. Ze stejného důvodu bylo navrženo vyměnit původní frézu od firmy Iscar v posledním operačním úseku též za frézu RF 100 Diver, tentokrát o průměru 9 mm.

Kompletní seznam navrhovaných nástrojů je v tab. 4.13, v tab. 4.14 jsou pak uvedeny nově navrhované řezné podmínky.

Tab. 4.13 Navrhované řezné nástroje.

Operační úsek	Nástroj	Výrobce
1	Vrták s vyměnitelnou hlavicí DCN 145-044-16A-3D + hlavice HCP 145 – IQ IC 908 Ø14,5 mm	ISCAR
2	Držák vyměn. hlavic MM S-A-L110-C16-T10-C + hlavice MM HCD160- 090-2T10	ISCAR
3	Závitník NR40 C UNF 5/8 – 18 2B	GÜHRING
4, 5	Monolitní fréza RF 100 DIVER Ø9,7 mm	GÜHRING
6	Monolitní stopková válcová čelní fréza Ø8 mm	ROTANA
7	Vrták s vyměnitelnou hlavicí DCN 220-066-25A-3D + hlavice HCP 220 – IQ IC 908 Ø 22 mm	ISCAR
8	Monolitní fréza RF 100 DIVER Ø15,6 mm	GÜHRING
9	Monolitní fréza Ø9 mm	GÜHRING

Tab. 4.14 Navrhované řezné podmínky.

Operační úsek	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Posuvová rychlost v_f [mm.min ⁻¹]	Otáčky n [min ⁻¹]
1	130	300	2855
2	18	450	360
3	20	495	440
4	145	328	4760
5	180	525	5910
6	145	328	5770
7	130	350	1880
8	150	495	3060
9	145	295	5130

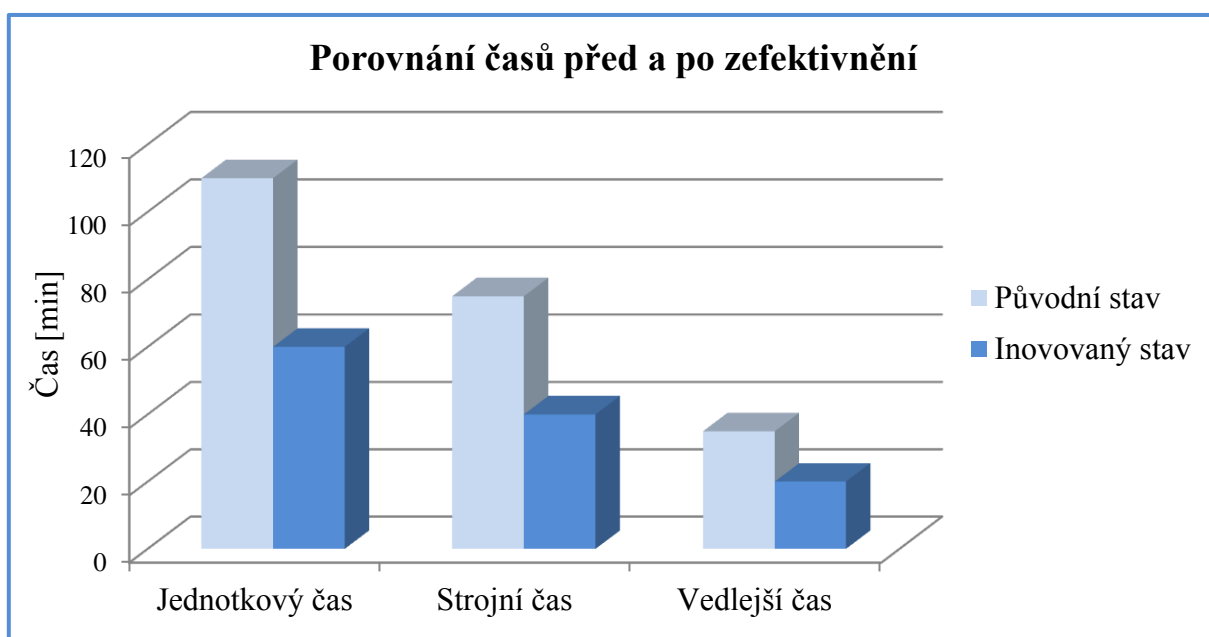
4.5.4 Zavedení návrhu na zefektivnění obrábění vnějšího průměru

Nejzásadnější navrhovanou a také uskutečněnou změnou v této operaci byla změna stroje z původního dvouřetenového soustružnického centra CTX beta 1250 4A od firmy DMG Mori Seiky na 5-osé obráběcí centrum DMC 100 U duoBLOCK. Tato změna splnila dle očekávání dva základní cíle. Prvním cílem bylo uvolnit výrobní kapacity stroje CTX beta 1250 4A pro výrobu jiných dílů, vyžadujících obrábění na stroji tohoto typu. Druhým cílem pak bylo zefektivnit proces obrábění a snížit potřebný čas nutný k provedení této operace.

Snížení jednotkového času na výrobu součásti se podařilo ze dvou hlavních důvodů. Díky použití navrhovaných efektivnějších nástrojů a nově navržených řezných podmínek, které lépe využívají výkonový potenciál stroje i nových nástrojů, se výrazně zkrátil strojní čas z původních 75 min na 40 min, což představuje úsporu 46,7 % původního strojního času. Mimo úspory strojního času bylo druhým důvodem snížení jednotkového času této operace také snížení vedlejšího času a to z původních 35 min na současných 20 min. Jedná se tedy o úsporu 42,9 % původního vedlejšího času. Rozdíl mezi původními časy a časy po zefektivnění této operace je dobře patrný také z tab. 4.15 a obr. 4.16.

Tab. 4.15 Rozdíl ve spotřebě času před a po zefektivnění.

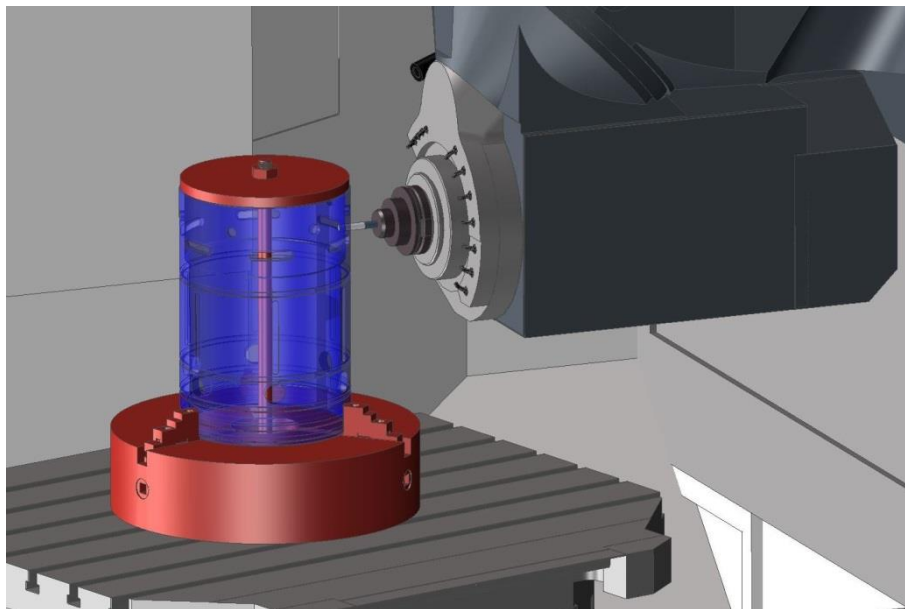
	Jednotkový čas [min]	Strojní čas [min]	Vedlejší čas [min]
Původní stav	195	115	80
Inovovaný stav	135	75	60



Obr. 4.16 Porovnání časů před a po zefektivnění.

Takovéto úspory vedlejšího času bylo dosaženo díky konstrukci a možnostem použitého stroje. Protože frézovací centrum DMC 100 U duoBLOCK je vybaveno otočným stolem se dvěma paletami, probíhá obrábění součásti na jedné paletě, zatímco na druhé paletě je ručně odjehlen a odebrán již obrobený kus a místo něj se upíná další součást na obrobení. Při obrobení součásti je už tedy na druhé paletě připravena další součást. Dojde pouze k výměně palet a může být obráběn další kus. Tím pádem vedlejší čas nezahrnuje čas na upnutí součásti, protože tato činnost probíhá za chodu stroje a neprodlužuje celkový jednotkový čas.

Vedlejší čas tedy v tomto případě zahrnuje čas, který potřebuje měřicí sonda ke zjištění polohy a rozměrů nově upnuté součásti. Dále je zde započítána výměna nástrojů, kontrola vyfrézovaných drážek pomocí koncových měrek a případné korekce nástrojů. Na obr. 4.17 je vidět simulace obrábění součásti na jedné paletě, zatímco na druhé může probíhat upínání obrobku do frézovacího přípravku.



Obr. 4.17 Simulace obrábění.

Při ověřování vhodnosti navržených nástrojů a řezných podmínek se ukázalo, že chlazení kapalinou lze nahradit chlazením stlačeným vzduchem. Tento způsob chlazení byl původně navržen pouze u na zakázku vyrobené frézy o průměru 8 mm pro frézování podélných drážek. Pro tuto aplikaci se použití chlazení stlačeným vzduchem osvědčilo, protože stlačený vzduch přiváděný do místa řezu dvěma otvory v nástroji, dokonale odstraní všechny vznikající třísky z frézované drážky a nehrozí tak opětovné přetřezávání třísek ulpívajících v této drážce. To by mohlo zvýšit opotřebení nástroje nebo vést k jeho poškození. Vzhledem k tomu, že se při frézování podélných drážek ukázalo chlazení stlačením vzduchem jako dostatečné z hlediska odvodu vznikajícího tepla a výhodné z hlediska odstranění třísek z místa řezu, byl tento způsob chlazení vyzkoušen u všech ostatních nástrojů v této operaci. Chlazení stlačeným vzduchem se ukázalo jako dostatečné i u ostatních nástrojů a bylo rozhodnuto, že se chlazení kapalinou v celé této operaci nahradí chlazením stlačeným vzduchem.

Změna způsobu chlazení měla dva pozitivní důsledky. Prvním je finanční úspora za chladicí kapalinou, protože stlačený vzduch je výrazně levnější chladicí médium. Tím druhým pozitivním důsledkem je ekologický aspekt věci, kdy nová varianta chlazení je daleko ekologičtější a příznivější nejen pro životní prostředí, ale také pro operátora stroje a jeho zdraví. Při chlazení stlačením vzduchem totiž nevznikají žádné škodlivé aerosoly, které se dostávají do ovzduší a může je vdechovat i obsluha stroje a také nedochází ke znečištění třísek řeznou kapalinou, takže je při jejich recyklaci není potřeba nijak čistit.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V rámci zefektivnění výroby vnitřní objímky byla provedena řada změn. Ve dvou operacích se jednalo o změnu stroje a ve všech operacích byla změněna většina nástrojů a řezných podmínek. Tyto změny se projevily na úspoře jednotkového času a tím pádem i došlo ke snížení nákladů na obrábění této součásti.

5.1 Jednotkové časy před a po zefektivnění

Vzhledem k velké časové náročnosti a určitému potenciálu pro zefektivnění operací, ve kterých probíhá třískové obrábění, bylo zefektivnění původní technologie výroby zaměřeno zejména na snížení strojního a vedlejšího času u těchto operací. Proto časy ostatních operací jako je vstupní a výstupní kontrola, značení, konzervace a balení zůstávají beze změny. Zefektivnění se také nedotklo dělení polotovaru, protože tato operace již v původní technologii byla nastavena tak, že už nebyla možnost ji výrazně zefektivnit. Celkový jednotkový čas se z původních 655 min podařilo, zavedenými změnami v technologii obrábění, snížit na 460 min. Došlo tedy k úspoře 195 min jednotkového času, což představuje úsporu 29,8 % původního jednotkového času.

Největší časové úspory bylo dosaženo v operaci kdy se hrubuje vnitřní průměr součásti. Původní jednotkový čas byl snížen z původních 120 min na 65 min, jde tedy o úsporu 45,8 %. V případě strojního času byla procentuální úspora ještě větší a to 57,1 %. Kompletní přehled jednotkových časů před původní technologií a časů po zefektivnění je v tab 5.1.

Tab. 5.1 Přehled jednotkových časů pro jednotlivé operace před a po zefektivnění

Operace	Jednotkový čas [min] Původní technologie	Jednotkový čas [min] Nová technologie
Vstupní kontrola materiálu	20	20
Dělení polotovaru	14	14
Obrábění vnějšího průměru	95	65
Hrubování vnitřního průměru	120	65
Dokončování vnějšího a vnitřního průměru, soustružení závitů a zápichů na vnějším povrchu	195	135
Mezioperační kontrola	15	15
Vrtání otvorů, zhotovení závitů, frézování podélných, příčných drážek a zahloubení	110	60
Mezioperační kontrola	35	35
Značení obrobeneho kusu	6	6
Výstupní kontrola	30	30
Konzervace a balení	15	15
Celkem Σ	655	460

5.2 Výrobní náklady před a po zefektivnění

Úspora jednotkového času se samozřejmě příznivě projeví na úspoře nákladů a také se navýší výrobní kapacity firmy. Náklady na výrobu vnitřní objímky jsou vypočteny na základě hodinové sazby použitého stroje a jednotkového času dané operace. Hodinová sazba stroje zahrnuje mimo nákladů na provoz samotného stroje, nákladů na nástroje a mzdu operátora, také náklady na operace jako je vstupní a výstupní kontrola, měření součásti, konzervaci a balení atd. V hodinové sazbě stroje jsou také započítány náklady na mzdy nevýrobních pracovníků, náklady na provoz výrobních i nevýrobních prostor atd. V tab. 5.2 jsou uvedeny původní náklady na výrobu vnitřní objímky a v tab. 5.3 jsou náklady po zefektivnění.

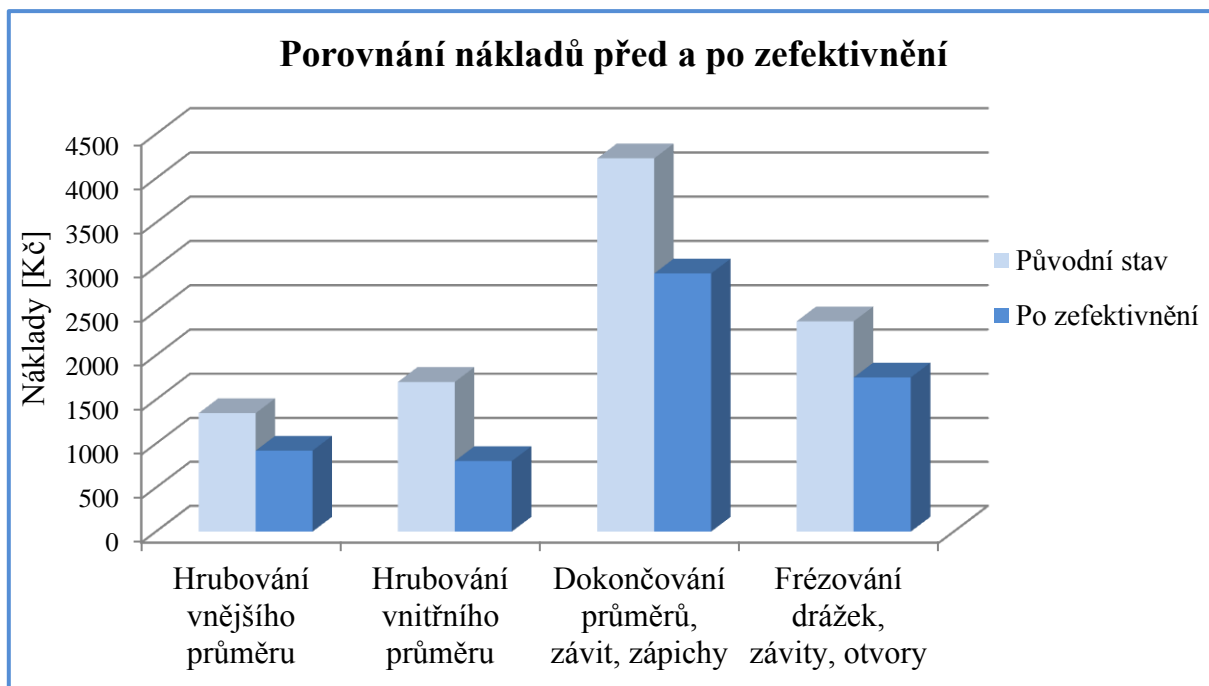
Tab. 5.2 Původní výrobní náklady.

Operace	Stroj	Hodinová sazba [Kč/h]	Jednotkový čas [min]	Náklady [Kč]
Dělení polotovaru	Pásová pila Bomar	350	14	82
Obrábění vnějšího průměru	Soustruh SU 63	850	95	1346
Hrubování vnitřního průměru	Soustruh SU 80	850	120	1700
Dokončování průměrů, soustružení závitu a zápchů	Soustruh SUA 80 Numeric 500	1300	195	4225
Vrtání otvorů, zhotovení závitů, frézování drážek a zahloubení	Soustruh CTX beta 1250-4A	1300	110	2384
Celkem Σ	–	–	–	9737

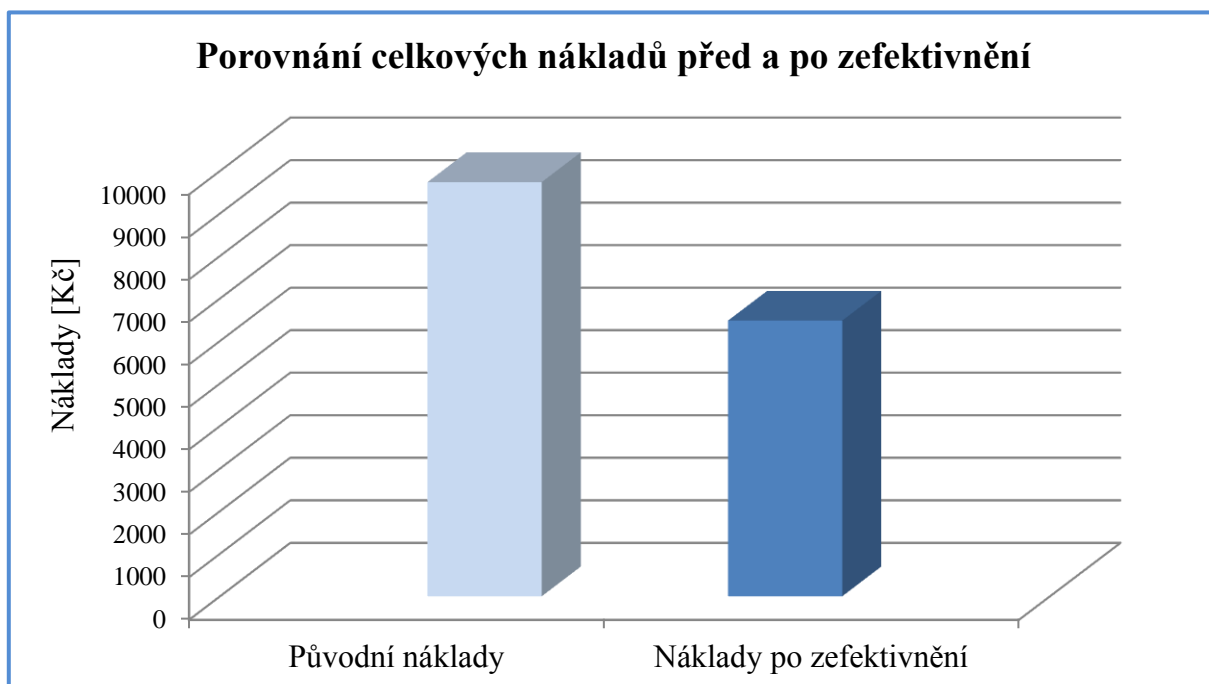
Tab. 5.3 Výrobní náklady po zefektivnění.

Operace	Stroj	Hodinová sazba [Kč/h]	Jednotkový čas [min]	Náklady [Kč]
Dělení polotovaru	Pásová pila Bomar	350	14	82
Obrábění vnějšího průměru	Soustruh SU 63	850	65	920
Hrubování vnitřního průměru	Soustruh SF 65/3000	740	65	802
Dokončování průměrů, soustružení závitu a zápchů	Soustruh SUA 80 Numeric 500	1300	135	2925
Vrtání otvorů, zhotovení závitů, frézování drážek a zahloubení	Obráběcí centrum DMC 100 U duoBLOCK	1750	60	1750
Celkem Σ	–	–	–	6479

Díky realizovanému zefektivnění obráběcích operací byly náklady na výrobu jedné vnitřní objímky sníženy z 9737 Kč na 6479 Kč. Bylo tedy uspořeno 3258 Kč, což představuje 33,5 % z původních výrobních nákladů. Při plánované výrobě 500 kusů ročně činí úspora nákladů 1629000 Kč za rok. V grafu na obr. 5.1 je znázorněna úspora nákladů před a po zefektivnění pro jednotlivé operace, mimo operace dělení polotovaru, kde se náklady nezměnily. V grafu na obr. 5.2 je znázorněn rozdíl v celkových nákladech před a po zefektivnění.



Obr. 5.1 Porovnání nákladů jednotlivých operací před a po zefektivnění.



Obr. 5.2 Porovnání celkových nákladů před a po zefektivnění.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá zefektivněním obrábění vnitřní objímky zpětného ventilu, který je součástí zařízení pro pažení a cementování ropných vrtů. Cílem práce bylo navrhnout zefektivnění jednotlivých operací třískového obrábění vnitřní objímky za použití stávajícího strojového parku společnosti Sanborn a.s.

Prvním krokem k zefektivnění výroby byla analýza současného stavu výroby, která zahrnovala popis jednotlivých obráběcích operací a dílčích operačních úseků včetně popisu použitého stroje, použitých nástrojů a řezných parametrů.

Na základě této analýzy byly v další části práce identifikovány možné příležitosti k zefektivnění obrábění a odstranění problémů vyskytujících se v současné technologii výroby. Pro každou obráběcí operaci byly navrženy takové změny, které povedou k co možná největší úspoře jednotkového času, zvýšení kvality a přesnosti obrábění.

Pro hrubování vnějšího průměru bylo navrženo ponechat stávající stroj a použít nástroje vhodnější pro obrábění tenkostěnné součásti s vhodně nastavenými řeznými podmínkami. Realizací tohoto návrhu, došlo ke snížení vnitřního napětí v obrobku a výraznému snížení jednotkového času.

V další operaci bylo navrženo přesunout obrábění z konvenčního hrotového soustruhu na soustruh s CNC řízením. Bylo také navrženo vybavit nástroje na tomto stroji systémem vysokotlakého přívodu řezné kapaliny CoroTurn HP od firmy Sandvik Coromant. Zavedení tohoto návrhu si vyžádalo výrobu držáku antivibrační tyče vlastní konstrukce a použití nových nástrojů. Díky tomu bylo dosaženo výrazně stabilnějšího, přesnějšího obrábění vnitřního průměru součásti, zvýšení životnosti nástrojů a lepšího utváření a odchodu třísky z místa řezu. Tyto změny se také projeví snížením strojního času o 57,1 %.

Pro dokončování vnějšího a vnitřního průměru součásti, soustružení zápichů a výrobu závitu bylo navrženo použití stávajícího stroje. Na dokončování vnějšího a vnitřního průměru bylo v rámci zefektivnění navrženo použití systému přívodu řezné kapaliny CoroTurn HP a nové antivibrační tyče o větším průměru. Stejně jako v předchozí operaci bylo zavedením nového způsobu chlazení dosaženo lepšího utváření třísky, zvýšení životnosti nástrojů a díky zvýšení řezných parametrů také úspory strojního respektive i jednotkového času.

V poslední operaci, kde se frézují drážky, vrtají otvory a zhotovuje závit, byly navrženy největší změny. Jednalo se o změnu stroje, změnu způsobu upínání, použití jiných nástrojů a jiných řezných parametrů. Přesunem výroby z dvou vřetenového soustružnického centra na 5-osé obráběcí centrum s otočným stolem se dvěma paletami bylo dosaženo výrazné úspory jak strojního tak i vedlejšího času a zlepšení kvality vyráběné součásti.

Celkový jednotkový čas byl díky zefektivnění jednotlivých operací snížen o 195 min z původních 655 min na 460 min, jedná se tedy o úsporu 29,8 % původního jednotkového času. Náklady na výrobu vnitřní objímky původní technologií byly 9 737 Kč, po zavedení navrhovaných změn klesly výrobní náklady na 6 479 Kč. Úspora nákladů tedy činí 3 258 Kč na jeden vyrobený kus, což představuje snížení nákladů o 33,5 %. Při plánované výrobě 500 kusů ročně se každý rok ušetří 1 629 000 Kč. Díky zavedeným změnám došlo mimo snížení jednotkového času a úspory nákladů také ke zvýšení kvality a přesnosti vyráběné součásti. Tím, že byl snížen jednotkový čas potřebný pro výrobu této součásti, je nyní možné v tomto ušetřeném čase vyrábět jiné součásti a zvýšit tak výrobní kapacity společnosti.

Všechny cíle diplomové práce byly splněny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. O společnosti. *Sanborn a.s.* [online]. Velké Meziříčí, 2011 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <http://www.sanborn.cz/o-spolecnosti/>
2. SANBORN A.S. *Výroční zpráva* [online]. Velké Meziříčí, 2012, 32 s. [cit. 2015-01-25]. Dostupné také z: http://www.sanborn.cz/wp-content/uploads/2009/10/vz_2012_cze.pdf
3. Výrobní program. *Sanborn a.s.* [online]. Velké Meziříčí, 2011 [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <http://www.sanborn.cz/vyrobní-program/>
4. Certifikace, politika ISM. *Sanborn a.s.* [online]. Velké Meziříčí, [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <http://www.sanborn.cz/o-spolecnosti/certifikace-politika-ism/>
5. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 1. část* [online]. 2003 [cit. 2015-02-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
6. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. *Příručka obrábění-kniha pro praktiky*. Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cutting – A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6
7. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
8. AB SANDVIK COROMANT. *Technická příručka* [online]. 2010 [cit. 2015-02-23]. Dostupné z: http://www.rpb.cz/sandvik_coromant_tg
9. DE VOS, Patrick. *Příručka pro technology - Jak rozpoznat správné utváření třísek? MM Průmyslové spektrum*. Praha: Vogel Publishing, 2012, (4). ISSN 1212-2572.
10. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
11. HOFMANN GMBH. *Garant – Příručka obrábění*. 641 s.
12. DE VOS, Patrick. *Příručka pro technology - Jak je to s řeznými silami? MM Průmyslové spektrum*. Praha: Vogel Publishing, 2012, (3). ISSN 1212-2572.
13. AB SANDVIK COROMANT. *Produktivní obrábění kovů*. Sandviken, Švédsko: CMSE, 1997, 300 s
14. WNT ČESKÁ REPUBLIKA S.RO. *Hlavní katalog: Frézování* [online]. 2015 [cit. 2015-03-28]. Dostupné také z: <http://www.wnt.com/cz/download.html>
15. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 2. část* [online]. 2003 [cit. 2015-02-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
16. TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. *Inspekční certifikát 3.1*. Třinec, 2014, 3 s.
17. SANBORN, a.s. *Aktuální pracovní postup položky: SLEEVE INNER 9-5/8 MECH.* Velké Meziříčí, 2015
18. *Bomar* [online]. 2015 [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://bomar.cz/>
19. Automatické pásové pily na kov. *Bomar-pily* [online]. 2015 [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://www.bomar-pily.cz/automaticke-pasove-pily-na-kov/bomar-proline-520-450-anc.html>

20. Konvenční soustruhy SU 63 H. *SLOVÁCKÉ STROJÍRNY a.s.* [online]. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://www.sub.cz/tos-celakovice/konvencni-soustruhy/su-63-h.aspx>
21. Konvenční soustruhy SU 80 H. *SLOVÁCKÉ STROJÍRNY, a.s.* [online]. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://www.sub.cz/tos-celakovice/konvencni-soustruhy/su-80-h.aspx>
22. CNC soustruhy SUA 80 Numeric. *SLOVÁCKÉ STROJÍRNY, a.s.* [online]. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://www.sub.cz/tos-celakovice/konvencni-soustruhy/su-80-h.aspx>
23. DMG MORI SEIKI. *CTX Beta 1250 4A: Turning and milling machines*. 2013, 52 s. Dostupné z: <http://en.dmgmori.com/blob/123332/8dbedcc4737306eccae4088846018292/pt0uk13-ctx-tc-series-pdf-data.pdf>
24. CTX beta 1250 TC 4A: Technical Data. *DMG MORI SEIKI* [online]. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://en.dmgmori.com/products/lathes/turn-mill-complete-machining-centres/ctx-tc/ctx-beta-1250-tc-4a#Technic>
25. WENZEL PRÄZISION GMBH. *The new LH Generation* [online]. Germany, 2013, 7 s. Dostupné z: <https://wenzelgroup.app.box.com/s/f8e99f4a85950e099457/1/250048097/23324064530/1>
26. Elektrochemické značení. *SIC-VENIM* [online]. 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: http://www.venim.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=108&Itemid
27. MOL HUNGARY. *MOL M-GUARD: Corrosion preventive oil* [online]. 2015, 2 s. [cit. 2015-04-19]. Dostupné také z: http://mol.hu/images/content/LUB_repo/TDS_MOL%20M-Guard%20101_GB.pdf
28. SCHMEIDER, George. *Cutting Tool Applications*. Soutfield, 2002, 243 s. ISBN 06-151-2191-8.
29. Fermat SF 65/3000 CNC. *FERMAT GROUP, a.s.* [online]. 2008 [vid. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://www.fermatmachinery.com/cs/11-cnc-soustruhy/38-sf-65-cnc.html>
30. CoroTurn HP: Technologicky pokročilý systém přívodu řezné kapaliny. *Sandvik Coromant* [online]. 2015 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coroturn_hp/pages/default.aspx
31. AB SANDVIK COROMANT. *High pressure coolant machining* [online]. 2014, 48 s. [cit. 2015-04-28]. Dostupné také z: <http://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/brochures/en-gb/C-1040-091.pdf>
32. Sloupový otočný jeřáb - Yale GSX. *ALTO SYSTEMS* [online]. [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: http://www.altosystems.cz/111-sloupovy_otocny_jerab_-_yale_gsx
33. DMG MORI SEIKI. *DMC 100 U duoBLOCK Series* [online]. 52 s. [cit. 2015-05-08]. Dostupné také z: <http://en.dmgmori.com/products/milling-machines/5-axis-universal-machining-centres-with-a-pallet-changer/dmc-u-duoblock/dmc-100-u-duoblock#Downloads>
34. SUMOCHAM: ICP–2M. *Iscar Cutting Tools* [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.iscar.com/eCatalog/Family.aspx?fnum=3087&mapp=TG&app=10&GFSTYP=I>

35. SUMOCHAM IQ: HCP–IQ. *Iscar Cutting Tools* [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.iscar.com/eCatalog/Family.aspx?fnum=3593&mapp=DR&app=77&GFSTYP=M>
36. MULTI-MASTER: MM HCD. *Iscar Cutting Tools* [online]. 2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=5603807&fnum=1615&mapp=ML&app=0&>
37. Upínač MEGA Synchro pro vnitřní závitování. *Technický týdeník* [online]. Praha: SpringerMedia, 2014, (1): 1 [cit. 2015-05-25]. ISSN 0040-1064. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/upinac-mega-synchro-pro-vnitрни-zavitovani_23809.html
38. GÜHRING. *GUHROsync: Synchro tapping chucks* [online]. 2014, 28 s. [cit. 2015-05-08]. Dostupné také z: <http://www.guhring.com/Documents/Catalog/Toolholders/GUHROSync.pdf>
39. PLÁNIČKA, František. Nové frézy zvyšují produktivitu. *MM Průmyslové spektrum*. Praha: Vogel Publishing, 2014, (10): 2. ISSN 1212-2572.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
A_D	[mm ²]	Jmenovitý průřez třísky
ANSI	[-]	American National Standards Institute
API	[-]	American Petroleum Institute
C	[-]	Uhlík
C_{Fc}	[-]	Konstanta vyjadřující vliv obráběného materiálu
C_{Ff}	[-]	Konstanta vyjadřující vliv obráběného materiálu
C_{Fp}	[-]	Konstanta vyjadřující vliv obráběného materiálu
CNC	[-]	Computer Numerical Control
ČSN	[-]	Česká státní norma
D	[mm]	Průměr nástroje
DIN	[-]	Deutsche Industrie-Norm
D_{max}	[mm]	Maximální průměr obrobku
D_{min}	[mm]	Minimální průměr obrobku
EN	[-]	Evropská norma
ESB	[-]	Energetické Strojírny Brno
F	[N]	Celková řezná síla
F_c	[N]	Řezná síla
F_{ci}	[N]	Řezná síla v daném místě
F_{cNi}	[N]	Kolmá řezná síla v daném místě
F_f	[N]	Posuvová síla
F_{fi}	[N]	Posuvová síla v daném místě
F_{fNi}	[N]	Kolmá posuvová síla v daném místě
F_p	[N]	Pasivní síla
ISM	[-]	Integrovaný systém managementu
ISO	[-]	International Organization for Standardization
L	[mm]	Dráha nástroje ve směru posuvu
MK	[-]	Morse kužel
NC	[-]	Numerical Control
NEL	[mg/l]	Nepolární extrahovatelné látky
OHSAS	[-]	Occupational Health & Safety Advisory Services
P_c	[kW]	Řezný výkon
$R_{p0,2}$	[-]	Smluvní mez kluzu

R_m	[-]	Mez pevnosti v tahu
SK	[-]	Strmý kužel
TFT	[-]	Thin Film Transistor
UNF	[inches]	Unified Fine
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička
X_{Fc}	[-]	Exponent vlivu šířky záběru ostří
X_{Ff}	[-]	Exponent vlivu šířky záběru ostří
X_{Fp}	[-]	Exponent vlivu šířky záběru ostří
Y_{Fc}	[-]	Exponent vlivu posuvu
Y_{Ff}	[-]	Exponent vlivu posuvu
Y_{Fp}	[-]	Exponent vlivu posuvu
a_p	[mm]	Šířka záběru hlavního ostří
b_D	[mm]	Jmenovitá šířka třísky
f	[mm]	Posuv na otáčku
f_z	[mm]	Posuv na zub
h_D	[mm]	Jmenovitá tloušťka třísky
k_c	[Mpa]	Měrná řezná tříska
l	[mm]	Délka obráběné plochy
l_n	[mm]	Délka náběhu
l_p	[mm]	Délka přeběhu
n	[min ⁻¹]	Otáčky
n_z	[-]	Počet zubů v záběru
r_ϵ	[°]	Poloměr špičky nástroje
t_{as}	[min]	Strojní čas
v_c	[m.min ⁻¹]	Řezná rychlost
v_e	[m.min ⁻¹]	Celková rychlost řezného pohybu
v_f	[mm.min ⁻¹]	Posuvová rychlost
η	[%]	Účinnost
κ_r	[°]	Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří
ψ	[°]	Úhel záběru frézy
φ	[°]	Úhel posuvového pohybu

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Strojový park společnosti Sanborn a.s.
- Příloha 2 Výkres vnitřní objímky.
- Příloha 3 Materiálový atest polotovaru.
- Příloha 4 Protokol výstupního měření.

Strojní park – NC a CNC soustruhy.

NC a CNC soustruhy	Počet	Max. průměr a délka obrobku
OKUMA LB 3000MY	1	410 mm, 1000 mm
OKUMA LU 300MY	1	370 mm, 1000 mm
OKUMA LB15C	1	160 mm, 500 mm
OKUMA MULTUS B 750W	1	1050 mm, 3000 mm
GILDEMEISTER CTX BETA 1250	3	410 mm, 1235 mm
GILDEMEISTER CTX BETA 800	3	410 mm, 700 mm
TORNOS DECO 26A	1	32 mm, 240 mm
TRAUB TBD 350	1	300 mm, 300 mm
TAKISAWA TMM 250	1	300 mm, 1000 mm
SPU 20 CNC	4	240 mm, 700 mm
SPM 16 CNC	1	160 mm, 500 mm
HARDINGE TALENT 6/52	1	160 mm, 500 mm
S 50 CNC	2	270 mm, 500 mm
SPT 32 NC	4	320 mm, 1500 mm
SPT 16 NC	1	160 mm, 500 mm
MICROCUT 65/3000	1	650 mm, 3000 mm
TOS SUA 80 CNC	1	840 mm, 5000 mm
SUT 160 CNC	1	1600 mm, 6000 mm

Strojní park – Obráběcí centra.

Obráběcí centra	Počet	Pojezd v osách X-Y-Z
DMC 100 U DUOBLOCK	1	1000 - 1250 - 1000 mm
HURCO WMX 64	1	1625 - 860 - 760 mm
HURCO VM 2	1	1016 - 457 - 457 mm
HURCO VMX 42	1	610 - 610 - 1020 mm
HURCO BMC 3017	1	760 - 510 - 610 mm
TOSCHIBA BMC 63E	1	1000 - 800 - 850 mm
TOSCHIBA BMC 50E	1	630 - 560 - 560 mm
MAZAK H500/50	2	710 - 650 - 650 mm

Strojní park – Hrotové soustruhy.

Hrotové soustruhy	Max. průměr a délka obrobku
SU 18, SU 50, SU 63, SU 80, SU 125	1600 mm, 7000 mm

Strojní park – Karusely.

Karusely	Počet	Max. průměr a délka obrobku
SKS 20 CNC SINUMERIK	1	2200 mm, 1500 mm
MC SK 8 CNC SINUMERIK	1	800 mm, 700 mm
SK40A CNC SINUMERIK	1	4000 mm, 2500 mm

Strojní park – Hluboké vrtání.

Hluboké vrtání	Počet	Max. délka a průměr obrobku
TIBO E40–2–1500	1	2500 mm, 4–42 mm

Strojní park – Vodorovné vyvrtávačky.

Vodorovné vyvrtávačky	Počet	Průměr vřetena, šířka upín. stolu
WHN 9 A (B)	3	100 mm, 1250 mm
WHN 13	1	130 mm, 1800 mm

Strojní park – Brusky.

Brusky	Počet	Max. délka a průměr broušení
na kulato	5	4000 mm, 620 mm
Brusky	Počet	Max. délka a průměr broušení
na plocho	2	2500 mm, 400 mm

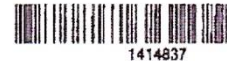
Strojní park – Válcovačky závitů.

Válcovačky závitů	Počet	Min., Max. válcovaný průměr
120 RP 120 NC	1	3 mm, 210 mm
Válcovačky závitů	Počet	Max. délka a průměr
RP 90 s hrotovým upínáním	1	3000 mm, 160 mm



A03 Document No. - Číslo dokumentu:
A 2014/09/007404-JAN

Sheet - List : 1/2



A01, A05
Manufacturer: TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. /Průmyslová 1000 /Staré Město /739 61 Třinec /Czech Republic
Production mill : VT - VÁLCOVNA TRUB / Výstavní 1132 / 706 02 Ostrava - Vítkovice / Czech Republic

A07 Purchaser's order No.: Číslo objednávky: OB1400787	A08 Works order No./ Contract No.: Zakázka/ Kontrakt : 9700228780 0041310519 / 155	A06 Consignee: Příjemce: FEBE CRAFT s.r.o. Na Úrovní 722/6 712 00 Ostrava - Muglinov
A10 Advice-Note No. - Avízo : 14/09/003859/05 17.09.2014		Česká republika
A02 Type of inspection document -Druh dokumentu kontroly: Inspection certificate 3.1 - Inspekční certifikát 3.1, EN 10204:2004		
B01, B09-B11 Product, product dimensions, specification Výrobek, rozměry výrobku, specifikace	B08, B13 Quantity Množství	B02.1 Steel designation Označení oceli
Seamless Steel Coupling Stock Hot Rolled Ocelové bezešvé nátrubkové tyče válcované za tepla 254,00 x 22,00 mm Without monogram API - Bez monogramu API Plain square cut ends - Hladké kolmo uřezané konce	2 pcs/ks 17,160 mtrs/m 2193 kgs/kg	L80 Type 1/PSL1
B02.2 Product / Dimensional standard Materiálová/ Rozměrová norma		
API SPEC 5CT 9. EDITION API SPEC 5CT 9. EDITION		
B04 Product delivery condition - stav výrobku při dodání: quenched and tempered-kalený a popouštěný		
Requirements - Předpis :		
B07.1 Heat No. Číslo tavby	B07.2 Specimen No. Číslo zkoušky	C10* Specimen shape Tvar vzorku
		C11 Yield Strength Mez kluzu R _{0,5} MPa
		552-655
		C12 Tensile Strength Pevnost v tahu R _m MPa
		655-827
		C13 Elongation Tažnost 2" %
		min 17
		C14 Reduction of area Kontrakce Z %
		-
		C15 Test method: Zkušební metoda:
		ASTM A370
T17339	43448/P	K
T17339	43450/H	K
		C02 Specimen direction: Směr vzorku :
		L
		C03 Test temperature(*C): Zkušební teplota(*C):
		+21
		C04 Tensile strength Pevnost v tahu
		620
		653
		732
		755
		26,2
		24,4
		-
		-
* P - Flat specimen - Plochý vzorek K - Round specimen - Kruhový vzorek		
Z01 ALL PRODUCTS MEET REQUIREMENTS OF ABOVE MENTIONED STANDARDS AND REQUIREMENTS SPECIFIED IN ORDER THE DECLARATION IS ISSUED UNDER THE SOLE RESPONSIBILITY OF THE SUPPLIER VŠECHNY VÝROBKY ODPOVÍDAJÍ VÝŠE UVEDENÝM NORMÁM A POŽADAVKŮM V OBJEDNÁVCE PROHLÁŠENÍ JE VYDÁVÁNO VÝLUČNĚ NA VLASTNÍ ODPOVĚDNOST DODAVATELE		

Z02 Confirmed - potvrdil: Marta Uřová, Ing.,
Head of Attestation, Releasing and External Inspection VT, Independent authorized agent
Vedoucí Atestace, uvolňování a přejímky VT, nezávislý oprávněný zástupce



TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s.
Průmyslová 1000, Staré Město
739 61 Třinec 131

Z02

Ostrava-Vítkovice
19.09.2014

tel.: 00420/59/560/2160
fax: 00420/59/560/2164

Z03 Independent authorized agent
Nezávislý oprávněný zástupce



A01, A05

 Manufacturer: TŘINECKÉ ŽELEZÁŘNY, a.s. /Průmyslová 1000 /Staré Město /739 61 Třinec /Czech Republic
 Production mill : VT - VALCOVNA TRUB / Výstavní 1132 / 706 02 Ostrava - Vítkovice / Czech Republic

B07.1 Heat No. Číslo tavby	B07.2 Specimen No. Číslo zkoušky	C40 Impact test Nárazová práce KV min 25J		C44 Lateral expandit Boční šíření mm		C45 Shear fracture area Oblast houževnatého lomu %									
		C41 10x10 mm													
		C02 Specimen direction: Směr vzorku : T		C03 Test temperature(°C): Zkušební teplota(°C): 0		C48 Test method: Zkušební metoda: ASTM A370									
		C42 Individual values Jednotlivé hodnoty	C43 Mean value Střední hodnota	C44.1 Individual values Jednotlivé hodnoty	C44.2 Mean value Střední hodnota	C45.1 Individual values Jednotlivé hodnoty	C45.2 Mean value Střední hodnota								
T17339	43448/P	82 72 63	72												
T17339	43450/H	87 80 93	86												
B07.1 Heat No. Číslo tavby	B07.2 Specimen No. Číslo zkoušky	C30 Hardness Tvrdost HRC													
		max 23													
		C33 Test method: Zkušební metoda: ISO 6508-1													
		C31 Individual values Jednotlivé hodnoty	C32 Mean value Střední hodnota												
T17339	43448/P/1	19,1 18,7 18,2	18,7												
T17339	43448/P/2	17,1 18,4 17,4	17,6												
T17339	43448/P/3	16,9 16,1 15,9	16,3												
T17339	43450/H/1	20,2 20,4 20,7	20,4												
T17339	43450/H/2	17,9 18,7 17,9	18,2												
T17339	43450/H/3	18,4 18,2 19,1	18,6												
C70 Steelmaking proces - Způsob výroby oceli: Basic oxygen furnace-Kyslíkový konvertor Vacuum degassed-Vakuováno															
C71-C92 Heat chemical analysis in % - Tavební chemická analýza v % :															
B07.1 Heat No. Číslo tavby	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo						
T17339	0,38	1,39	0,26	0,015	0,004	0,03	0,03	0,05	0,006						
C50, D01, D02, D51 Other requirements - Další požadavky:															
Visual and dimensional inspection Vizuální a rozměrová kontrola						ASTM E213 L2, L+T, OD and ID wall thickness acc.to API 5CT		- satisfactory - vyhověla							
Ultrasonic testing Zkouška ultrazvukem								- satisfactory - vyhověla							
B15 Supplementary information-Doplňující údaje: Appendix: Heat treatment report. - Příloha: Zpráva o tepelném zpracování.															

 Z02 Confirmed - potvrdil: Marta Uřová, Ing.,
 Head of Attestation, Releasing and External Inspection VT, independent authorized agent
 Vedoucí Atestace, uvolňování a přejímky VT, nezávislý oprávněný zástupce

TŘINECKÉ ŽELEZÁŘNY, a.s.
 Průmyslová 1000, Staré Město
 739 61 Třinec 131

Z02

 Ostrava-Vítkovice :
 19.09.2014

 tel.: 00420/59/560/2160
 fax: 00420/59/560/2184

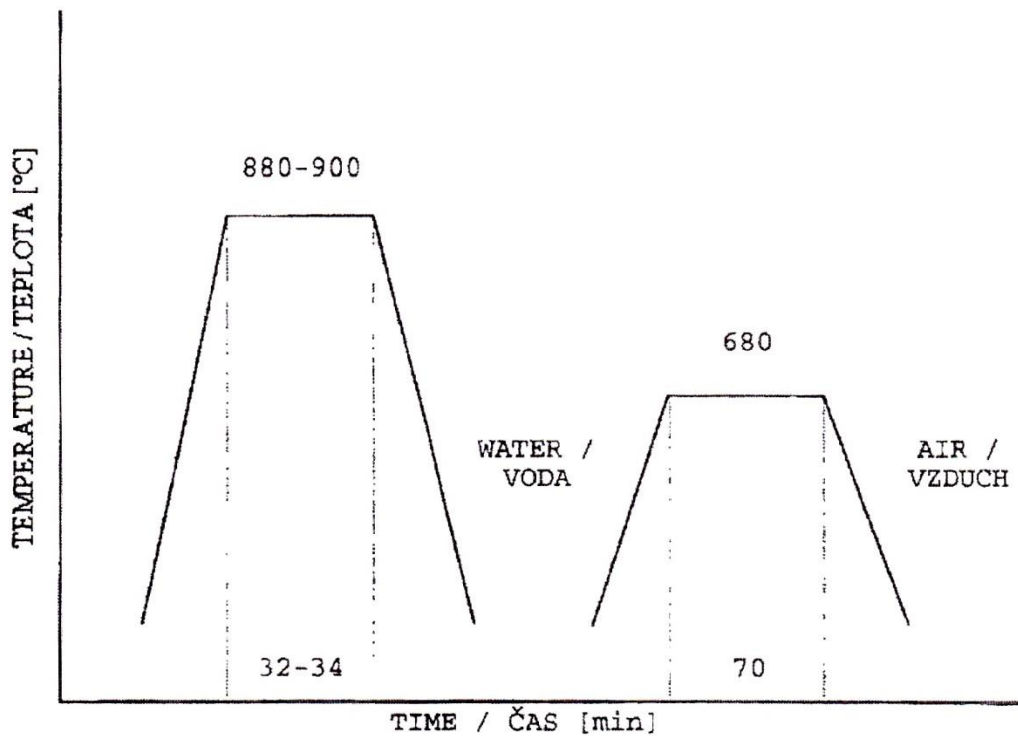
 Z03 independent authorized agent
 Nezávislý oprávněný zástupce



TŘINECKÉ ŽELEZÁŘNY
MORAVIA STEEL

HEAT TREATMENT REPORT
ZPRÁVA O TEPELNÉM ZPRACOVÁNÍ
Appendix at / Příloha k
Inspection certificate 3.1 - Inspekční certifikát 3.1
A 2014/09/007404-JAN

DIMENSION : ROZMĚR (mm) :	254,0x22,00	SHOP ORDER No.: ZAKÁZKA :	9700228780
HEAT No.: TAVBA :	T17339		
MATERIAL SPECIFICATION AND GRADE : JAKOST :	L80 Typ 1		
TYPE OF HEAT TREATMENT : TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ :	QUENCHED AND TEMPERED KALENÝ A POPOUŠTĚNÝ		




TŘINECKÉ ŽELEZÁŘNY, a.s.
Průmyslová 1000, Staré Město
739 61 Třinec 131

Ostrava-Vítkovice: 19.09.2014

tel: 00420/59/560/2160
fax: 00420/59/560/2164

.....
Independent authorized agent
Nezávislý oprávněný zástupce

Kontrolní protokol WENZEL LH 87 Inspection Report WENZEL LH 87		
Výrobek/Workpiece: 267 / SLEEVE INNER 9-5/8 Výkres/Drawing: S 078518.1 Číslo zakázky/Comment soustružení - bez drážek CNC program/PIP: 2 Měření/Measurement: 30 / /20.1.2015-1kus/ Měřil/User: Dočekal Datum tisku/Date: 20.01.15	SANBORN a.s. Třebíčská 1507/87 594 01 Velké Meziříčí Tel.: +420 566 503 711 Fax: +420 566 503 790 http: www.sanborn.cz mail: info@sanborn.cz	

Nr.	Feature.	Nom.value.	Upper tol.	Lower tol.	Actual value	Deviation	Assessment
1/5/		P 233.550	0.250	0.000	P 233.668	0.118	-6% ----*-----
2/8/		r 358.880	0.380	-0.380	r 358.878	r -0.002	-1% ----*-----
3/9/		r 7.260	0.127	-0.127	r 7.243	r -0.017	-13% ----*-----
4/11/		r 231.240	0.380	-0.380	r 231.234	r -0.006	-1% ----*-----
5/12/		r 7.260	0.127	-0.127	r 7.245	r -0.015	-11% ----*-----
6/13/		r 7.260	0.127	-0.127	r 7.246	r -0.014	-11% ----*-----
7/14/		P 220.700	0.250	0.000	P 220.815	0.115	-8% ----*-----
8/16/		r 103.960	0.380	-0.380	r 103.964	r 0.004	1% ----*-----
9/17/		r 58.720	0.380	-0.380	r 58.726	r 0.006	2% ----*-----
10/18/		r 30.450	0.380	-0.380	r 30.460	r 0.010	3% ----*-----
11/19/		r 13.490	0.380	-0.380	r 13.503	r 0.013	3% ----*-----
12/20/		r 7.260	0.127	-0.127	r 7.250	r -0.010	-8% ----*-----
13/21/		r 8.030	0.250	0.000	r 8.144	r 0.114	-9% ----*-----
14/22/		P 248.820	0.000	-0.120	P 248.739	-0.081	-36% ----*-----
14/22/		P 248.820	0.000	-0.120	P 248.763	-0.057	4% ----*-----
14/22/		P 248.820	0.000	-0.120	P 248.754	-0.066	-9% ----*-----
15/23-1/		P 239.980	0.000	-0.120	P 239.899	-0.081	-35% ----*-----
16/23-2/		P 239.980	0.000	-0.120	P 239.904	-0.076	-27% ----*-----
17/23-3/		P 239.980	0.000	-0.120	P 239.902	-0.078	-29% ----*-----
18/23-4/		P 239.980	0.000	-0.120	P 239.910	-0.070	-17% ----*-----
19/24/		P 229.030	0.250	0.000	P 229.138	0.108	-14% ----*-----
20/25-1/		0.000	t= 0.120		0.020	0.020	17% .-*-----
21/25-2/		0.000	t= 0.120		0.011	0.011	9% .-*-----
22/25-3/		0.000	t= 0.120		0.018	0.018	15% .-*-----
23/25-4/		0.000	t= 0.120		0.033	0.033	28% .-*-----
24/27/		P 239.220	0.380	-0.380	P 239.207	-0.013	-3% ----*-----

Nr.	Feature.	Nom.value.	Upper tol.	Lower tol.	Actual value	Deviation	Assessment
25/31/		r 49.300	0.500	-0.500	r 49.337	r 0.037	7% ----.*----
26		P 30.160	0.500	-0.500	P 30.080	-0.080	-16% ----*-----
27		P 30.160	0.500	-0.500	P 30.068	-0.092	-18% ----*-----
28		P 30.160	0.500	-0.500	P 30.057	-0.103	-21% ----*-----
29		P 30.160	0.500	-0.500	P 30.037	-0.123	-25% ----*-----
30		P 30.160	0.500	-0.500	P 30.095	-0.065	-13% ----*-----
31		P 30.160	0.500	-0.500	P 30.141	-0.019	-4% ----*-----
32		60°00'00	5°00'00	-5°00'00	60°09'48	0°09'48	3% ----.*----
33		60°00'00	5°00'00	-5°00'00	59°44'39	-0°15'21	-5% ----*-----
34		60°00'00	5°00'00	-5°00'00	60°06'38	0°06'38	2% ----.*----
35		60°00'00	5°00'00	-5°00'00	60°07'34	0°07'34	3% ----.*----
36		60°00'00	5°00'00	-5°00'00	59°59'39	-0°00'21	0% ----*-----
37		r 77.770	0.380	-0.380	r 77.675	r -0.095	-25% ----*-----
38		r 77.770	0.380	-0.380	r 77.660	r -0.110	-29% ----*-----
39		R 4.750	0.127	-0.127	R 4.774	0.024	19% ----.*----
41		r 9.530	0.500	-0.500	r 9.530	r 0.000	0% ----*-----
42/uhel drazky/		60°00'00	5°00'00	-5°00'00	60°10'24	0°10'24	3% ----.*----
43 hl. 3,56 mm		R 0.000	0.000	0.000	R 124.381	124.381	0% ----*-----
43 hl. 3,56 mm		r 0.000	0.000	0.000	r 120.818	r 120.818	0% ----*-----
3,56 mm +- 0,5odeèti dvi pøedchozí!							
44		60°00'00	5°00'00	-5°00'00	59°52'08	-0°07'52	-3% ----*-----
45		60°00'00	5°00'00	-5°00'00	61°59'23	1°59'23	40% ----*-----
46		60°00'00	5°00'00	-5°00'00	58°15'19	-1°44'41	-35% ----*-----
47		60°00'00	5°00'00	-5°00'00	60°57'20	0°57'20	19% ----.*----
48		60°00'00	5°00'00	-5°00'00	60°46'38	0°46'38	16% ----.*----
49		90°00'00	5°00'00	-5°00'00	89°45'36	-0°14'24	-5% ----*-----
50		r 40.110	0.380	-0.380	r 40.103	r -0.007	-2% ----*-----
51		r 40.110	0.380	-0.380	r 40.085	r -0.025	-7% ----*-----
52		r 11.100	0.120	0.000	r 11.183	r 0.083	39% ----*-----