

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 OJNICE

DESIGN OF INCREASE IN EFFICIENCY OF MACHINING OF CONNECTING
ROD

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MILAN HOLUB

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JOSEF SEDLÁK Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Milan Holub

který/která studuje v **magisterském 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 ojnice

v anglickém jazyce:

Design of increase in efficiency of machining of connecting rod

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod
2. Popis, rozbor a charakteristika technologie frézování
3. Analýza stávajícího stavu obrábění ojnice z hlediska technologie třískového obrábění
4. Návrh inovace výrobního procesu – zefektivnění stávajícího stavu
5. Technicko-ekonomické zhodnocení
6. Závěr

Cíle diplomové práce:

Cílem diplomové práce bude návrh na zefektivnění procesu obrábění ojnice. V práci bude provedena analýza stávajícího stavu obrábění ojnice z hlediska technologie frézování a navržena inovace, která bude zohledňovat zefektivnění stávajícího výrobního procesu. Součástí práce bude rovněž popis a rozbor jednotlivých výrobních pracovišť, včetně zařízení potřebných k obrobení ojnice. Práce bude ukončena technicko-ekonomickým zhodnocením včetně porovnání a rozboru navrženého řešení.

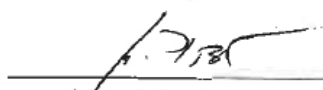
Seznam odborné literatury:

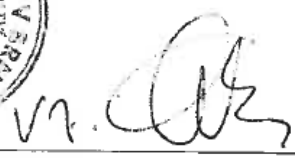
1. PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. CERM 1.vyd. 246 s. 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. HUMÁR, A. Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění. 1. vyd. Brno: CCB, s.r.o., 1995. 256 s. ISBN 80-85825-10-4.
3. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění-kniha pro praktiky. 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. BUMBÁLEK, B. Fyzikální podstata řezání. Brno: FSI VUT v Brně, 2005. 125 s. [online]. Dostupné na World Wide Web: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/fyz_pods_rez/Opora05_Fyzikalni_podstata_rezani.pdf.
6. KOCMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, 2002. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 21.11.2011 14:23


prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá procesem obrábění výkovku ojnice ve společnosti SANBORN a.s. a to z důvodu navrhnout efektivnější způsob obrábění. První část je zaměřena na analýzu stávajícího stavu výroby, která se provádí na více strojních zařízeních. Ve druhé části jsou navržena zefektivnění jednotlivých obráběcích operací a je využito moderní multifunkční obráběcí centrum OKUMA MULTUS, což zvýší produktivitu a kvalitu obráběné součásti. V závěru jsou zhodnoceny strojní a vedlejší časy pro jednotlivé výrobní operace a provedena celková finanční analýza.

Klíčová slova

Zefektivnění, obrábění, přesnost, kvalita, náklady.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with a machining process of the forging of connecting rod in the company SANBORN a.s mainly for reason to propose a more effective method of machining. The first part is focused on the analyse of actual process of production which is realized on several manufacturing machines. On second part are proposed the increases in efficiency of single machining operation and is used the modern multi - fuction machining centre OKUMA MULTUS which will increase the productivity and quality of machined part. In final part is applied for evaluation of machining and secondary production times and is performed the total financial analyse.

Key words

Increase of efficiency, Machining, Accuracy, Quality, Costs.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HOLUB, Milan. *Návrh na zefektivnění procesu obrábění ojnice*. Brno 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 95 s. 18 příloh. Vedoucí Ing. Josef Sedlák Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

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

Datum

Bc. Milan Holub

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Jiřímu Bojanovskému, Pavlu Drápelovi a dalším pracovníkům společnosti SANBORN a.s. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu při studiu, společnosti SANBORN a.s. za možnost zpracování diplomové práce a v neposlední řadě svému vedoucímu diplomové práce Ing. Josefu Sedlákoví Ph.D. za cenné rady při zpracování.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD.....	10
1 ÚDAJE O AKCIOVÉ SPOLEČNOSTI SANBORN A.S.....	11
1.1 Vznik a vývoj firmy až po současnost	11
1.2 Investiční program firmy	11
1.3 Významné zakázky firmy a její obchodní partneři.....	12
1.4 Charakteristika výrobní činnosti	13
1.5 Systém jakosti	17
1.6 Strojní park	18
2 OBRÁBĚNÍ	20
2.1 Plochy při obrábění.....	20
2.2 Pohyby při obrábění.....	21
2.3 Fyzikální základy procesu řezání.....	22
2.4 Plastická deformace v oblasti tvoření třísky.....	23
2.5 Základní tvary třísek	24
2.6 Práce a výkon řezání	25
2.7 Teplo a teplota obrábění.....	27
2.8 Řezné prostředí	28
3 TEORIE A TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ.....	29
3.1 Druhy frézování	29
3.1.1 Čelní frézování	29
3.1.2 Válcové frézování.....	30
3.2 Frézovací nástroje	31
3.3 Upínání nástrojů	33
3.5 Upínání obrobků	34
4 ANALÝZA SOUČASTNÉHO STAVU VÝROBNÍHO PROCESU Z HLEDISKA TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ OJNICE	35
4.1 Polotovary	35
4.2 Přehled operací	35
4.3 Vstupní kontrola.....	36
4.4 Práce rýsovačské	36
4.5 Frézování – HORIZONTÁLNÍ VYVRTÁVAČKA VHN13	36

4.5.1 Strojní zařízení	36
4.5.2 Proces výroby	37
4.5.3 Upínací přípravek a obrobek	38
4.6 Broušení – Bruska rovinná svislá	39
4.6.1 Strojní zařízení	39
4.6.2 Proces výroby	40
4.7 Řezání – Pásová pila	40
4.7.1 Strojní zařízení	40
4.7.2 Proces výroby	41
4.7.3 Obrobek	41
4.8 Frézování a vrtání – TOSHIBA BMC 50E	42
4.8.1 Strojní zařízení	42
4.8.2 Proces výroby	42
4.8.3 Upínací přípravek a obrobek	46
4.9 Mezioperační kontrola a nedestruktivní zkoušky	46
4.10 Zámečnické a montážní práce	47
4.11 Broušení – Bruska rovinná svislá	47
4.11.1 Proces výroby	48
4.11.2 Obrobek	48
4.12 Frézování - HURCO	48
4.12.1 Strojní zařízení	48
4.12.2 Proces výroby	50
4.12.3 Upínací přípravek a obrobek	51
4.13 Mezioperační kontrola a nedestruktivní zkoušky	51
4.14 Zámečnické a montážní práce	52
4.15 Výstupní kontrola	52
4.16 Vyhodnocení jednotkového času na vyhotovení ojnice	53
5 NÁVRH A IMPLEMENTACE KONKRÉTNÍCH OPATŘENÍ	54
5.1 Zefektivnění frézování – HORIZONTÁLNÍ VYVRTÁVAČKA VHN13	54
5.1.1 Proces výroby	56
5.1.2 Strojní časy po zavedení návrhu na zefektivnění	57
5.1.3 Tvar třísky	63
5.2 Zefektivnění frézování, vrtání – OKUMA MULTUS B750	64
5.2.1 Strojní zařízení	65
5.2.2 Proces výroby	66

5.2.3 Upínací přípravek a obrobek.....	70
5.2.4 Strojní časy po zavedení návrhu na zefektivnění	72
5.3 Zefektivnění frézování – HURCO WMX 42.....	81
5.3.1 Proces výroby	81
5.3.2 Strojní časy po zavedení návrhu na zefektivnění	82
6 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ TECHNOLOGÍ	85
6.1 Jednotkové časy před a po zefektivnění.....	85
6.2 Výrobní náklady na výrobu jednoho kusu ojnice.....	86
ZÁVĚR	88
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	89
Seznam použitých symbolů a zkratk	92
SEZNAM PŘÍLOH.....	95

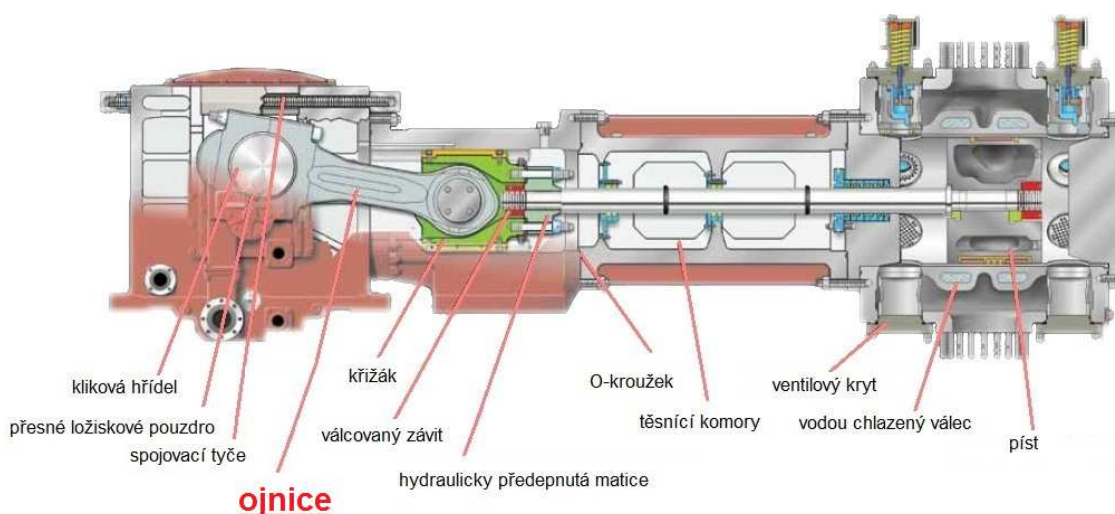
ÚVOD

Petrochemický průmysl je jedním z důležitých výrobních i zpracovatelských odvětví mnoha zemí světa. SANBORN a.s. dodává řadu kritických strojírenských dílů a komponentů právě na tento segment trhu. Jedním z těchto dílů je i ojnice pro reciproční kompresory firmy DRESSER – RAND, tzn. ke strojům sloužícím pro stlačování plynu.

Vůbec zaměření na stlačování plynu je v dnešní době velmi zajímavé a důležité, protože tyto zařízení zasahují do všech odvětví lidské činnosti. Je spočítáno a prokázáno, že na pohon kompresorů se ve světě vynaloží asi okolo 20 – 30% celkové spotřeby elektrické energie. I proto je nutné se zaměřovat na výzkum a vývoj v této oblasti, hledat nové konstrukce, úspory v technologiích obrábění, což povede ke zlepšení energetických parametrů těchto strojů a tím i optimálnímu využívání elektrické energie.

Ve své práci se zaměřuji jen na jeden kritický díl tohoto zařízení a to z hlediska zefektivnění obrábění ojnice s cílem navrhnout kvalitnější, produktivnější a rychlejší technologie výroby. Hlavním úkolem je dosáhnout co nejvyšší kvality při minimalizaci výrobních nákladů s využitím stávajícího strojírenského parku SANBORN a.s. Na Obr. 1 je zobrazen řez recipročního kompresoru včetně popisu kritických dílů.

Jenom tak bude společnost schopna obstát v konkurenčním boji a zajistit si prodej tohoto dílu i pro další výrobce těchto zařízení.



Obr. 1 Reciproční kompresor [1].

1 ÚDAJE O AKCIOVÉ SPOLEČNOSTI SANBORN A.S.

V několika následujících slovech je popsána společnost SANBORN a.s. a její výrobní aktivity, ekonomické výsledky, systém jakosti a další informace, které charakterizují tuto strojírenskou firmu. [2]

1.1 Vznik a vývoj firmy až po současnost

Přestože firma v současné podobě byla vybudována v letech 1970-1980 jako strojírenský závod a opravárenská základna pro československou energetiku, její historie sahá až do dvacátých let minulého století. Novodobá etapa vývoje podniku začíná prvním dnem roku 1990, kdy byl jako součást Energetických strojíren Brno založen závod ve Velkém Meziříčí. Na konci tohoto roku vzniká odštěpný závod Energodílny Velké Meziříčí, s. p. ČEZ. Zásadní změny přinesla až privatizace. Fond národního majetku České republiky se stal 1. 8. 1992, dle §172 Obchodního zákoníku, jediným zakladatelem akciové společnosti Energetické a ekologické technologie. V říjnu 1992 prodává FNM ČR 80 % akcií firmě SANBORN International B. V. (dnes již tato firma vlastní 100 % akcií), která se tímto stává majoritním akcionářem a vytváří SANBORN a.s. – ENERGETICKÉ A EKOLOGICKÉ TECHNOLOGIE. [2]

1.2 Investiční program firmy

O promyšleném nakládání s finančními prostředky vypovídá fakt, že společnost investuje nemalé prostředky do modernizace a rozvoje výrobních technologií, nákupu nových strojních zařízení, která jsou uvedena na Obr. 1.1, a v neposlední řadě zvýšení odborné kvalifikace svých zaměstnanců. Významnou pozornost věnuje projekt orientovanému na učňovské školství, jehož podstatou je poskytování stipendií a dalších výhod žákům strojírenských oborů s možností uplatnění po úspěšném ukončení studia. V minulých letech byla dokončena výstavba nové expediční haly, která je dnes již plně využita. V roce 2005 byla úspěšně dokončena výstavba nové výrobní haly o rozloze 900 m², která zásadním způsobem navýšila výrobní kapacitu firmy. [2]



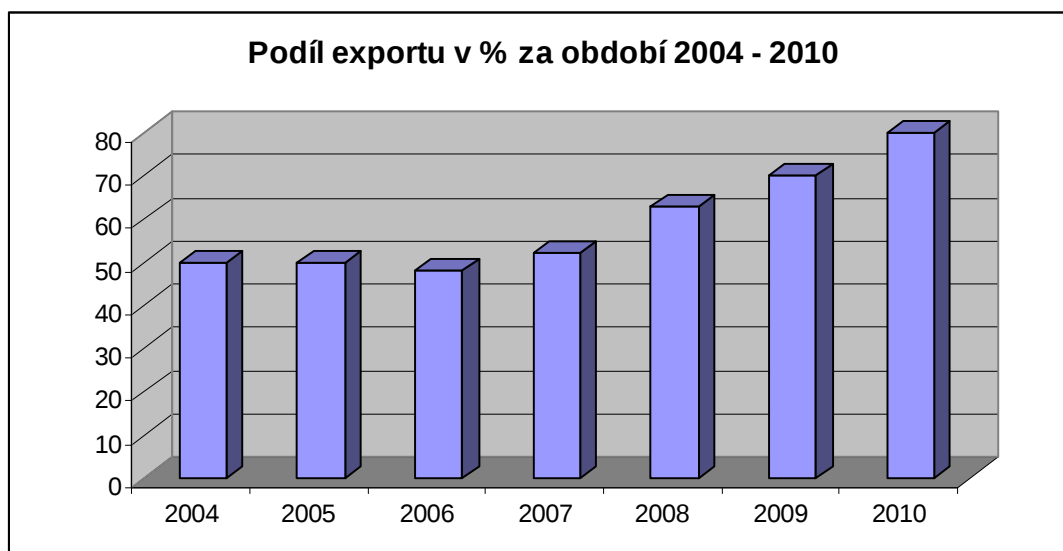
Obr. 1.1 OKUMA MULTUS a Karusel.

1.3 Významné zakázky firmy a její obchodní partneři

V posledních letech se společnost více orientuje na západní trhy. Zde se jí podařilo navázat obchodní styky s významnými zahraničními partnery. Tímto došlo k navýšení exportu až na současných 81 % (na tuzemský trh jde proto jen 19 % z celkového objemu výroby). Podíl exportu v % za období 2004 – 2010 je zobrazen na Obr. 1.2. [2]

Nejvýznamnější zakázky v roce 2008 – 2010

- výroba spojovacích materiálů pro General Electric (USA),
- výroba spojovacích materiálů a náhradních dílů pro Alstom (Německo, Francie, USA),
- opravy plynových turbín pro Slovtransgaz (SR) a EKOL Brno,
- opravy a servis plynových spalovacích turbín pro společnosti RWE Transgas Praha,
- výroba náhradních dílů a spojovacích materiálů pro ŠKODA Power,
- výroba ojnic a pístních tyčí kompresorů pro Dresser Rand,
- výroba šnekových hřídelí převodovek pro Regal Beloit (USA, GB, Itálie, Německo),
- výroba nerozebíratelných šroubových spojů pro EGE (ČR) a Energonet Nitra (SR),
- výroba skříní převodovek pro Benzlers (Švédsko).



Obr. 1.2 Podíl exportu na celkovém prodeji [3].

Nejvýznamnější zákazníci společnosti

Tab. 1.1 Zákazníci společnosti [3].

Tuzemští zákazníci (20%)	Zahraniční zákazníci (80%)
• EKOL spol. s.r.o. • ČKD • ŠKODA Power a.s. • ČEZ, a.s. • RWE Transgas, a.s. • EGE, spol. s.r.o.	• General Electric • SLOVTRANS GAZ • Dresser - Rand • TEXTRON • ALSTOM Power Generation • MAN • Atlas Copco Energas • Gexpro • Siemens • Man • AB Benzlers • Terex Cranes • ENERGONET NITRA s.r.o.

Hlavní prioritou akciové společnosti SANBORN a.s. vždy zůstává maximální spokojenost zákazníka, neboť tato skutečnost je nejlepší cestou k navázání kontaktů s novými partnery a udržení těch stávajících. [2]

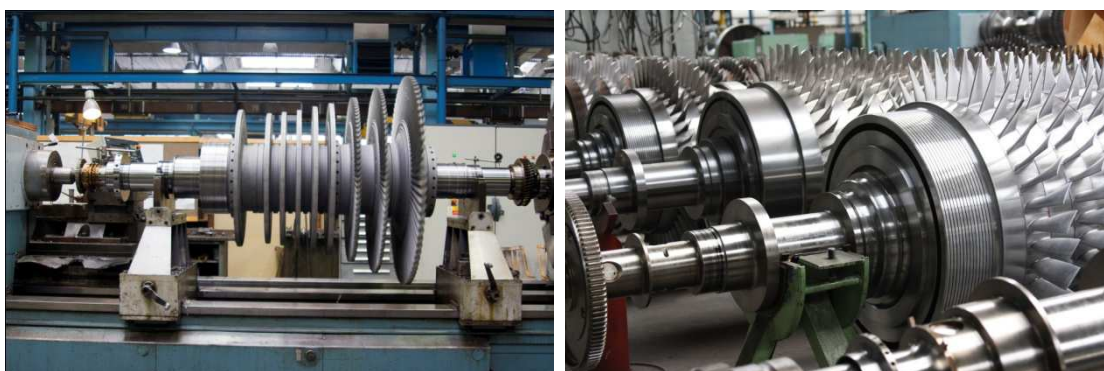
1.4 Charakteristika výrobní činnosti

Výrobní program společnosti je založen na strojním opracování, jehož rozsah definuje strojový park. Kromě výroby různých typů svorníků a matic pro vysoké tlaky a vysoké teploty se společnost věnuje servisu a opravám plynových, vodních a parních turbín, opravám odstředivek, výrobě a opravám kluzných kompozicových ložisek a výrobě ultrafiltračních systémů pro recyklaci kovoobráběcích olejů, řezných kapalin a čištění zaolejovaných vod. Významný vliv na zvýšení kvality výroby měla transformace systému jakosti, která proběhla během roku 2001. Ta byla završena úspěšným auditem společnosti LRQA a následným udělením certifikátu. Od této doby je uplatňován integrovaný systém managementu jakosti dle ČSN EN ISO 9001:2009 a ČSN EN ISO 14001:2005. K tomu, aby společnost uspěla ve tvrdé konkurenci dnešní doby a splnila náročné potřeby svých partnerů a zákazníků, je zapotřebí nabídnout vysoce kvalitní výrobní, technologickou a měřicí techniku a odborný tým pracovníků. [2]

Výrobní program společnosti zahrnuje

Opravy vodních, parních a plynových turbín

Opravy starších typů vodních, parních a plynových turbín a čerpadel od jiných výrobců až do výkonu 25 MW. Parní a plynová turbína je zobrazena na Obr. 1.3. Při opravě jsou zajišťovány další úpravy pro kvalitnější měření, zlepšení výkonu atd. Při opravách jsou využívány moderní technologie a je prováděno přelopatkování statorů i rotorů. Pro provoz a údržbu jsou dodávány náhradní díly exponovaných částí turbosoustrojí. [2]



Obr. 1.3 Rotor parní a plynové turbíny.

Strojní obrábění

Jde o zakázkovou výrobu součástí a dílů dle požadavků zákazníků, podle dodané dokumentace, z vlastního nebo zákazníkem dodaného materiálu či polotovaru. Při výrobě např. hřídele, čepů, šroubů, redukcí, tvarovek, ozubených kol, pouzder apod. jsou používány moderní technologie a strojní park, který tvoří klasické CNC a NC stroje o maximálním točném průměru 4000 mm a délky 6000 mm. Na Obr. 1.4 jsou zobrazeny strojní součásti, které dokáže společnost vyrobit s využitím strojového parku. [2]



Obr. 1.4 Strojní součásti.

Speciální spojovací materiály

Specializovaná výroba pevnostních svorníků, šroubů a matic z legovaných ocelí podle ČSN, DIN a ANSI, které se používají pro tepelně namáhané spoje v energetickém a chemickém průmyslu, dále pro spoje vystavené povětrnostním vlivům a agresivnímu prostředí. Jsou použity za studena válcované závity metrické, Whitworthovy, UNC a UNF s pevností do 1300 MPa. Na Obr. 1.5 jsou zobrazeny různé typy pevnostních šroubů a matic. [2]



Obr. 1.5 Spojovací materiál.

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 nelze využít svařování nebo nýtování. Hlavní oblastí využití těchto spojů, které jsou zobrazeny na Obr. 1.6, je při montáži různých konstrukcí v terénu, jako jsou mosty, stožáry, vysílače apod. [2]



Obr. 1.6 Spojovací materiál.

Ultrafiltrační zařízení

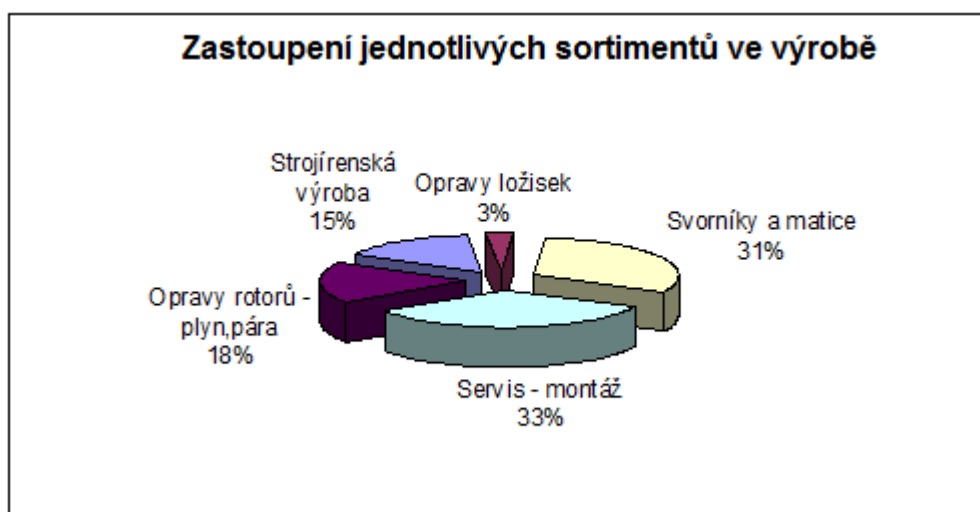
Ultrafiltrační zařízení slouží k likvidaci zaolejovaných vod, řezných emulzí a regeneraci odmašťovacích lázní. Vyrobený UF pracuje kontinuálně, automaticky, bez trvalé obsluhy. Je založen na membránovém mechanickém principu oddělování kapalin s různou molekulovou velikostí. Zařízení, která jsou uvedena na Obr. 1.7, jsou využívána k účinnému oddělování permeátu (vodní báze, odmašťovadlo) od koncentráту (NEL – olej, ropná emulze). Jsou garantovány výstupní parametry pro různé aplikace do 3 mg.l^{-1} , při požadavku je možnost zajistit výstup NEL do $0,25 \text{ mg.l}^{-1}$ a pro vodárenské toky i $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$. [2]



Obr. 1.7 Ultrafiltrační zařízení.

SANBORN a.s. si za dobu své existence získal postavení výrobce, s nímž jsou spokojeni obchodní partneři a zákazníci nejen na území České republiky a Slovenské republiky, ale i ve vyspělých zemích Evropy, státech Severní Ameriky a celého světa. [2]

Zastoupení jednotlivých sortimentů ve výrobním programu má tendenci zvyšovat podíl výroby svorníků, matic, obráběných dílů a opravy rotorů a turbín na úkor ostatních činností podniku. Na Obr. 1.8 je znázorněn aktuální stav. [2]



Obr. 1.8 Zastoupení jednotlivých sortimentů ve výrobě [3].

1.5 Systém jakosti

Za velice důležité a prestižní považuje společnost SANBORN a.s. zajištění maximální kvality svých produktů a spokojenost zákazníků. Proto je ve společnosti SANBORN a.s. uplatňován a neustále zdokonalován integrovaný systém managementu jakosti v souladu s normou ČSN EN ISO 9001:2009 a ČSN EN ISO 14001:2005, který je certifikován uznávanou renomovanou certifikační společností Lloyd's Register Quality Assurance (LRQA). [2]

Kromě certifikátů na SMJ SANBORN a.s. samozřejmě vlastní i certifikáty a oprávnění související s výrobním programem **(Příloha 1 až 2)**. [2]

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

Společnost je samozřejmě také vybavena 3D měřícím zařízením pro kontrolu kvality, které je zobrazeno na Obr. 1.9.



Obr. 1.9 Měřící zařízení Wenzel X3M.

1.6 Strojní park

Tab. 1.2 Strojní park [4].

NC a CNC soustruhy	Počet	max. Ø obrábění, max. délka obrábění
OKUMA LB 3000MY	1	410 mm, 1000 mm
OKUMA LU 3000MY	1	370 mm, 1000 mm
OKUMA LB15C	1	160 mm, 500 mm
TORNOS Deco 26a	1	32 mm, 240 mm
TRAUB TND 350	1	300 mm, 650 mm
TAKISAWA TMM 250	1	300 mm, 1000 mm
SPU 20 CNC	4	40 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, 500 mm
Microcut 65/3000	1	650 mm, 3000 mm
SUT 160 NC	1	1600 mm, 6000 mm
SPT 16 NC	5	160 mm, 500 mm

Tab. 1.3 Strojní park [4].

Karusely	Počet	max. Ø obrábění, max. délka obrábění
SKS 20 CNC SINUMERIK	1	2200 mm, 1500 mm
MC SK8 CNC SINUMERIK	1	800 mm, 700 mm
SK40A CNC SINUMERIK	1	4000 mm, 2500 mm

Tab. 1.4 Strojní park [4].

Obráběcí centra	Počet	Pojezd v osách (X-Y-Z)
HURCO VMX64	1	1625 - 860 - 760 mm
HURCO VM2	1	1016 - 457 - 457 mm
HURCO VMX42	1	610 - 610 - 1020 mm
HURCO BMC 3017	1	760 - 510 - 610 mm
TOSHIBA BMC 63E	1	1000 - 800 - 850 mm
TOSHIBA BMC 50E	1	630 - 560 - 560 mm
MAZAK H500/50	2	710 - 650 - 650 mm
Obráběcí centra	Počet	max. Ø obrábění, max. délka obrábění
OMUMA Multus B 750W	1	1050 mm, 3000 mm

Tab. 1.5 Strojní park [4].

Hrotové soustruhy	max. Ø obrábění, max. délka obrábění
SU 18, SU 50, SU 63, SU 80, SU 125	1600 mm, 7000 mm

Tab. 1.6 Strojní park [4].

Brusky	Počet	max. Ø broušení, max. délka
na kulato	5	620 mm, 4000 mm
Brusky	Počet	max. šířka upnutí, max. délka upnutí
na plocho	2	400 mm, 2500 mm

- s přídatným zařízením pro broušení těžko obrobitelných materiálů a nástřiků $R_a 0,2$, $R_{max} 1,6$,
- s přídatným zařízením pro superfinišování povrchů $R_a < 0,05$, $R_{max} 0,65$.

Tab. 1.7 Strojní park [4].

Frézky	max. šířka upnutí, max. délka upnutí (400 mm, 1600 mm)	
Vodorovné vyvrtávačky	Počet	Ø vřetena, šířka upínacího stolu
WHN 9A	3	100 mm, 1250 mm
WHN 13	1	130 mm, 1800 mm

Tab. 1.8 Strojní park [4].

Válcovačky závitu	Počet	min. válcovaný rozměr, max. válcovaný rozměr
120 RP 120 NC	1	3 mm, 210mm
RP 90 s hrotovým upínáním	max. délka, max. průměr (3000 mm, 160 mm)	

Tab. 1.9 Kontrola kvality [4].

3D měření	Počet	Rozsah měření
Wenzel X3M	1	800 - 1000 - 700 mm

2 OBRÁBĚNÍ

Obrábění je technologický proces, při kterém je přebytečná část materiálu odebrána z obrobku ve formě třísek břitem řezného nástroje. Proces, při kterém dochází k oddělování materiálu obrobku, se specifikuje jako **řezání** respektive **řezný proces**. Obrábění se uskutečňuje v soustavě stroj, nástroj, obrobek. V závislosti na způsobu oddělování materiálu se rozlišuje řezný proces **kontinuální** (soustružení, vrtání, vyvrtávání), **diskontinuální** (hoblování, obrážení) a **cyklický** (frézování, broušení). [5]

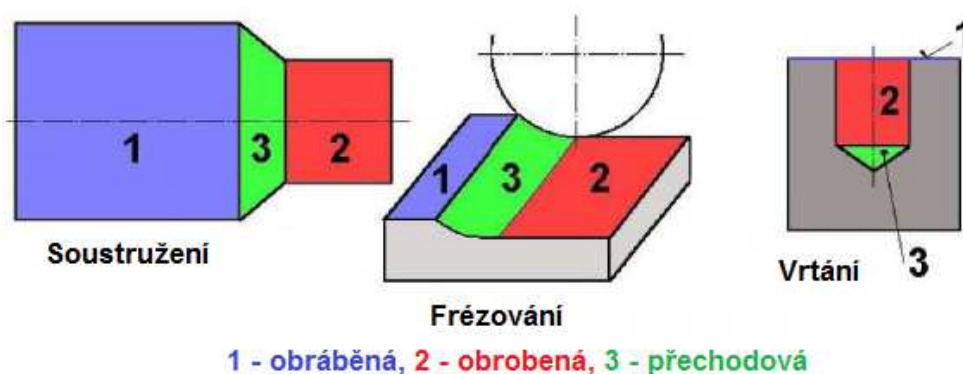
2.1 Plochy při obrábění

Obrobek jako objekt obráběcího procesu je z geometrického hlediska charakterizován obráběnou, obrobenou a přechodovou plochou. Na Obr. 2.1 jsou zobrazeny plochy, které vznikají v průběhu obrábění.

Obráběná plocha je plocha, která má být obrobená řezáním. [5]

Obrobená plocha je plocha získaná jako výsledek řezného procesu. Obrobená plocha představuje prioritní výstup obráběcího procesu a z technologického hlediska je určena svými rozměry, tvarem, strukturou povrchu a vlastnostmi povrchové vrstvy. Obrobená plocha se potom identifikuje souborem parametrů vztahených k jednotlivé ploše, k nimž patří zejména úchylka rozměrů, úchylka tvarů (přímosti, kruhovitosti, válcovitosti), úchylka plochy (rovnoběžnosti, kolmosti, souososti, obvodové a čelní házení), struktura povrchu (největší výška profilu **R_z**, průměrná aritmetická úchylka profilu **R_a**), vlastnosti povrchové vrstvy (druh a velikost napětí v povrchové vrstvě, trhliny a jiné vady). Parametry obrobené plochy jsou funkcí mnoha technologických faktorů, které souvisí s vlastnostmi obráběcího stroje, nástroje, hodnotami řezných podmínek a obrobku upínače. [5]

Přechodová plocha je plocha, která vzniká při přerušení řezného procesu. [5]



Obr. 2.1 Plochy před a po obrobení [6].

2.2 Pohyby při obrábění

Obrábění se uskutečňuje relativním pohybem břitu nástroje vůči obrobku. Pohyb, při kterém je z obrobku odebírána tříska, se nazývá řezný pohyb. Skládá se ze dvou dílčích pohybů, tj. hlavního a posuvového pohybu. Na Obr. 2.2 jsou zobrazeny pohyby nástroje a obrobku při obrábění, které jsou charakteristické pro jednotlivé obráběcí operace. [7]

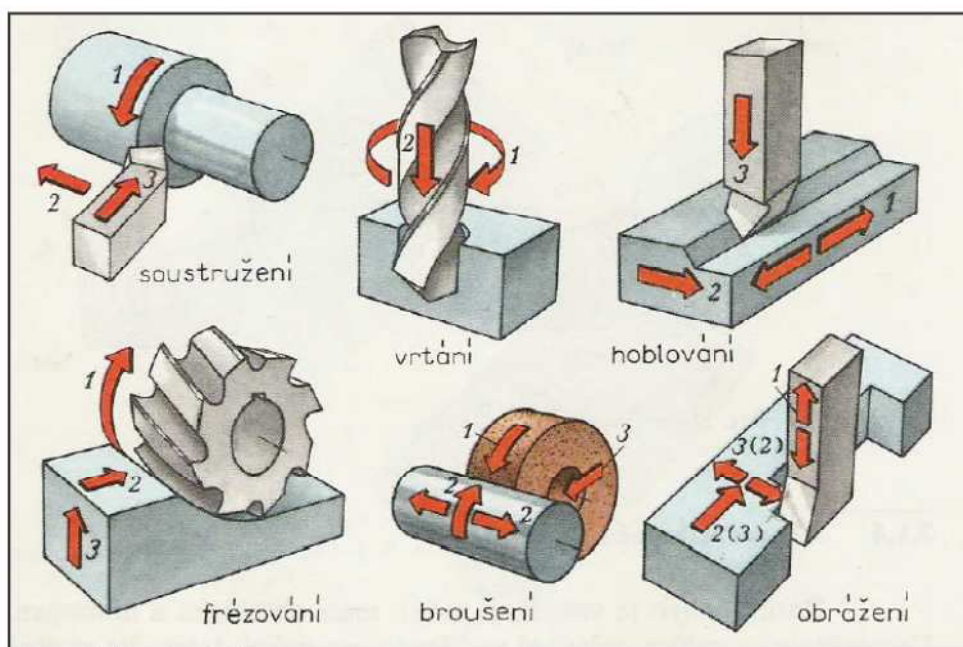
Hlavní pohyb je základním pohybem konkrétního obráběcího stroje. [7]

Posuvový pohyb je realizován obráběcím strojem jako další jako další relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Posuvový pohyb společně s hlavním řezným pohybem umožňují plynulé nebo přerušované odřezávání třísky z obráběného povrchu. [7]

Pohyb, který slouží k relativnímu přiblížení mezi nástrojem a obrobkem do pracovní polohy, se nazývá **přísuv**. Hlavní pohyb, posuv i přísuv může z absolutního pohledu konat jak nástroj, tak obrobek. Hlavní pohyb může být přímočarý, otáčivý nebo složený. Přímočarý je hlavní pohyb při hoblování, obrážení a protahování. Otáčivý je hlavní pohyb při soustružení, vrtání, soustružení, vrtání, vyvrtávání, frézování, broušení a dalších pracích. [7]

Řezná rychlost v_c [m.min⁻¹] je vyjádřena jako okamžitá rychlost hlavního pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku.

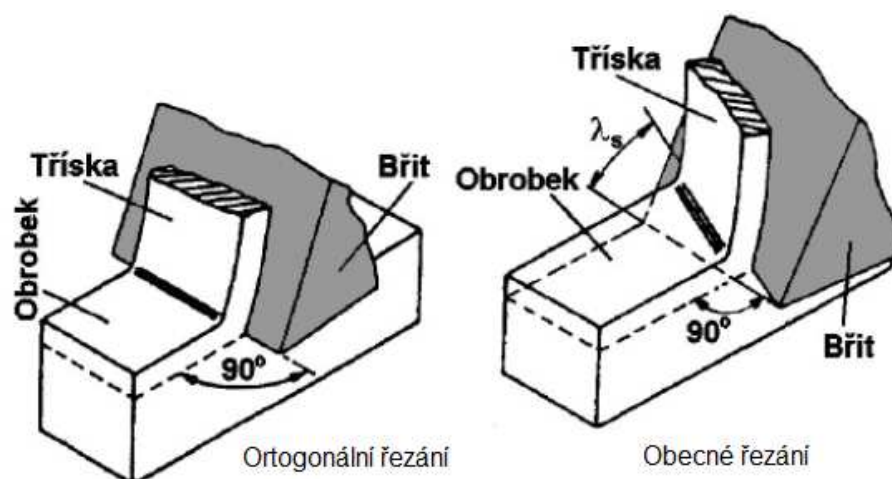
Posuvová rychlost v_f [mm.min⁻¹] je určena jako rychlost posuvového pohybu v uvažovaném bodě ostří vzhledem k obrobku.



Obr. 2.2 Pohyby při obrábění [8].

2.3 Fyzikální základy procesu řezání

Při obrábění dochází k oddělování třísky trvalým působením řezného nástroje, přičemž prioritním výstupem jsou parametry obrobene plochy. Z tohoto hlediska je důležité usoudit, že je nutné věnovat velkou pozornost mechanismu tvoření třísky. Řezný proces, který je zobrazen na Obr. 2.3, může být realizován jako ortogonální nebo obecné řezání. [5]



Obr. 2.3 Realizace řezného procesu [5].

„Při ortogonálním řezání je ostří kolmé na směr řezného pohybu a daná problematika se řeší v rovině (zapichování, frézování nástrojem s přímými zuby, protahování).“ [5]

„Při obecném řezání je třeba danou problematiku řešit v prostoru (podélné soustružení, vrtání, frézování nástrojem se zuby ve šroubovici). Při obrábění probíhá proces oddělování třísky vlivem zatěžování odřezávané vrstvy řezným nástrojem. Mechanismus vzniku a oddělování třísky je různý u krystalických a nekrystalických látek. U krystalických látek dochází při vnikání břitu nástroje do obrobku k plastické deformaci obráběného materiálu a vzniká tříska **tvářená**. U nekrystalických látek se tříska odděluje křehkým lomem nebo štěpením, nedochází k plastické deformaci a vzniká tříska **netvářená**.“ [5]

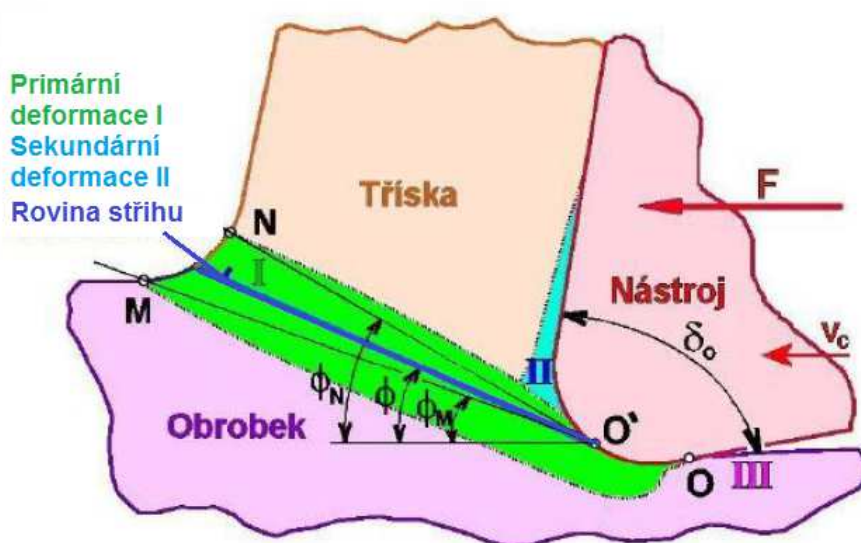
2.4 Plastická deformace v oblasti tvoření třísky

Proces obrábění je především procesem intenzivní plastické deformace podél roviny maximálních smykových napětí – smykové roviny. Obráběný materiál při tvorbě třísky prochází mezním stavem: [9]

- pružné napjatosti,
- plastické deformace,
- oddělení částic materiálu formou lomového porušení.

Oblast materiálu, ve které dochází vlivem působení řezného nástroje k jeho přetváření na třísku, nazýváme kořen třísky. Kořen třísky zahrnuje tři výrazné oblasti plastické deformace, které jsou zobrazeny na Obr. 2.4. [9]

- oblast **primární plastické deformace materiálu I** - v rovině maximálních smykových napětí vymezené oblastí $O'MN$ (skloněnou pod úhlem střížné roviny ϕ),
- oblast **sekundární plastické deformace materiálu II** - zahrnuje tření třísky po čele nástroje,
- oblast **terciální plastické deformace materiálu III** - zahrnuje tření nástroje o obrobený povrch materiálu a má vliv na výslednou kvalitu obrobeného povrchu.



Obr. 2.4 Oblasti plastických deformací při řezání [6].

Obecně platí, že čím větší je úhel střížné roviny ϕ , tím je vzniklá tříška štíhlejší, proces je energeticky výhodnější a dochází k nižšímu zatížení a ovlivnění povrchových vrstev a podpovrchových vrstev obrobku. [9]

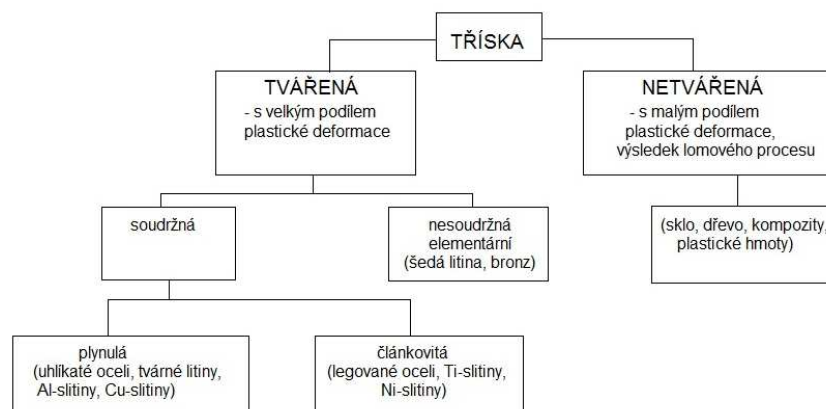
2.5 Základní tvary třísek

Tříska představuje výstupní produkt obráběcího procesu, avšak její technologické charakteristiky významně vypovídají o průběhu řezného procesu jak z hlediska energetického, tak i z hlediska odchod třísky z řezné zóny. [9]

Tvar třísky je též velmi důležitým faktorem efektivního a bezpečného obrábění, který závisí na několika faktorech, z nichž nejdůležitější jsou: [9]

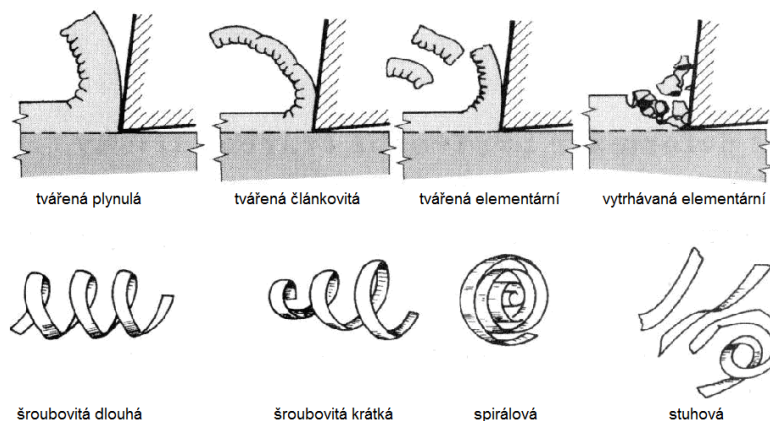
- vlastnosti obráběného materiálu,
- geometrie nástroje,
- řezné podmínky, zejména řezná a posuvová rychlost,
- nástrojový materiál.

Terminologie označování druhu třísek není jednotná vzhledem k velkému rozsahu jejich tvarů. Na Obr. 2.5, je uvedeno základní rozdělení třísek. [9]



Obr. 2.5 Základní rozdělení třísek [9].

Z hlediska automatizace výrobních procesů, manipulace s třískami, bezpečného obrábění, dostatečného chlazení je vždy doporučována tříska **dělená, krátká**. Na Obr. 2.6 jsou zobrazeny jednotlivé druhy třísek, které mohou vzniknout při obrábění. [9]



Obr. 2.6 Tvary třísek [8].

Objemový součinitel třísek W umožňuje kvantifikovat stupeň plnění obecných požadavků na rozměry a tvary třísek a vyjádří se v závislosti: [5]

Objemový součinitel třísek:

$$W = \frac{V_t}{V_m} \quad (2.1)$$

V_t – objem volně ložených třísek [dm^3],

V_m – objem odebraného materiálu [dm^3].

2.6 Práce a výkon řezání

K oddělení třísky patřičné délky z materiálu musíme vynaložit určitou práci E_e , která se skládá z následujících složek: [9]

$$E_e = E_{pl} + E_{el} + E_t + E_d \quad (2.2)$$

přičemž
$$E_t = E_\gamma + E_\alpha \quad (2.3)$$

E_{pl} – práce nutná k překonání plastických deformací (50-80%),

E_{el} – práce nutná k překonání pružných (elastických) deformací (5-10%),

E_t – práce nutná k překonání tření třísky po čele a tření hřbetu po řezné ploše (20-40%),

E_d – disperzní práce potřebná k vytvoření nových povrchů (1%).

Práce řezného procesu E_e vyjadřuje celkovou práci na odebrání určitého množství materiálu a stanoví se jako součet práce řezání a práce posuvu: [9]

$$E_e = E_c + E_f \quad [\text{J}] \quad (2.4)$$

Práce řezání E_c je práce potřebná na zajištění hlavního pohybu za účelem odebrání určitého množství materiálu: [9]

$$E_c = \int_0^t F_c * v_c * dt \quad (2.5)$$

Pro soustružení válcové plochy bude po formální úpravě platit: [9]

$$E_c = F_c * v_c * t_p \quad [\text{J}] \quad (2.6)$$

F_c – řezná síla [N],

v_c – řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],

t_p – čas řezného procesu [min].

Práce posuvu E_f je práce potřebná na zajištění posuvového pohybu za účelem odebrání určitého množství materiálu: [9]

$$E_f = \int_0^t F_f * v_f * dt \quad (2.7)$$

Pro soustružení válcové plochy bude po formální úpravě platit: [9]

$$E_f = F_f * v_f * t_p \quad [J] \quad (2.8)$$

F_f – posuvová síla [N],

v_f – posuvová rychlost [mm.min⁻¹],

t_p – čas řezného procesu [min].

Pro soustružení válcové plochy bude po formální úpravě platit: [9]

$$E_e = (F_c * v_c + F_f * v_f) * t_p \quad [J] \quad (2.9)$$

Při obrábění působí řezné síly při relativním pohybu nástroje vůči obrobku charakterizovanou řeznou rychlostí. Tyto dva faktory určují výkon, který je nutno na obrábění vynaložit. [9]

Celkový potřebný příkon obráběcího stroje se určuje ze vztahu: [9]

$$P_c = \frac{P_e}{\eta} \quad [W] \quad (2.10)$$

Pracovní výkon P_e je dán součinem pracovní síly F_e a rychlosti řezného pohybu v_e , přičemž F_e i v_e působí v hlavním bodě ostří ve stejném čase: [9]

$$P_e = \frac{F_e * v_e}{60} \quad [W] \quad (2.11)$$

F_e – pracovní síla [N],

v_e – rychlost řezného pohybu [m.min⁻¹].

Kde F_e je velikost výsledné pracovní síly podle vztahu: [9]

$$F_e = \sqrt{F_c^2 + F_f^2} \quad [N] \quad (2.12)$$

Kde v_e je velikost rychlosti výsledného řezného pohybu podle vztahu: [9]

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad [m.min^{-1}] \quad (2.13)$$

2.7 Teplo a teplota obrábění

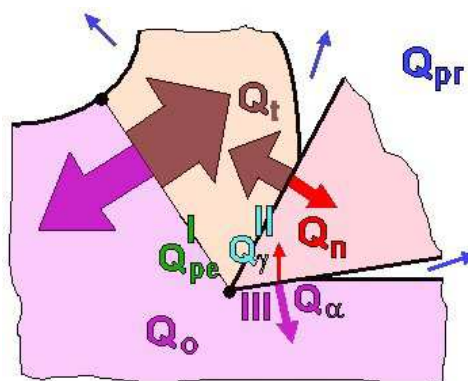
Prakticky veškerá mechanická energie E_e , které je vynaložena na tvorbu třísky, se přeměňuje v energii tepelnou (94% – 98%). Pouze jenom malá část energie je uložena jako elastická energie v deformovaných třískách a ve zbytkové napjatosti obrobeného povrchu. Celková tepelná energie Q_e , která je uvedena na Obr. 2.7, se skládá z několika dílčích složek. [9]

$$Q_e = Q_{pe} + Q_\gamma + Q_\alpha \quad [J] \quad (2.14)$$

Q_{pe} – teplo vzniklé v oblasti plastických deformací při tvoření třísky,

Q_α – teplo vzniklé v oblasti tření hřbetu nástroje po přechodové ploše obrobku,

Q_γ – teplo vzniklé v oblasti tření třísky po čele nástroje.



Obr. 2.7 Tepelná bilance řezného procesu [10].

Vzniklé teplo řezného procesu Q_e je odváděno do jednotlivých prvků obráběcího procesu: [5]

Q_t – teplo odvedené třískou,

Q_o – teplo odvedené obrobkem,

Q_n – teplo odvedené nástrojem,

Q_{pr} – teplo odvedené řezným prostředím.

Podíl jednotlivých odváděných složek tepla řezného procesu do třísky, obrobku, nástroje a prostředí závisí na tepelné vodivosti materiálu obrobku a nástroje, na řezných podmínkách (především řezné rychlosti), řezném prostředí (způsob chlazení a mazání) a na geometrii břitu nástroje. Největší část tepla vzniklého při obrábění je v nejlepším případě odváděna z řezného prostředí třískou. [5]

Vzniklé teplo výrazně ovlivňuje řezný proces, protože:

- negativně působí na řezné vlastnosti nástroje,
- ovlivňuje mechanické vlastnosti obráběného povrchu,
- ovlivňuje pěchování a zpevňování obráběného materiálu,
- ovlivňuje podmínky tření na čele i hřbetě nástroje.

2.8 Řezné prostředí

Fyzikální a chemické vlastnosti prostředí, ve kterém probíhá řezný proces, mohou významně ovlivnit primární a sekundární plastickou deformaci třísky, teplotu řezání, řezný odpor, trvanlivost nástroje, jakost a přesnost obrobené plochy. Vhodným řezným prostředím lze obvykle zvýšit hospodárny úběr o 50 až 200% v porovnání s prací za sucha a tím výrazně prodloužit trvanlivost a životnost řezných nástrojů a zvýšit kvalitu obrobené plochy. Nejčastěji používaná řezná média jsou kapaliny, procesní pasty, olejová mlha nebo plyn. [11]

Řezné kapaliny se používají z důvodu odvodu tepla vyvinutého v oblasti primární a sekundární plastické deformace třísky, včetně ovlivnění míry tření nástroje o řeznou a obrobenou plochu. Správnou aplikací řezné kapaliny lze zvýšit řeznou rychlost, posuv i větší hloubku řezu. [11]

Z technologického a provozního hlediska se na řezné prostředí kladeny určité požadavky, k nimž patří: [11]

- chladicí účinek,
- mazací účinek,
- čistící účinek,
- provozní stálost,
- ochranný účinek,
- zdravotní nezávadnost a přiměřené náklady.

3 TEORIE A TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ

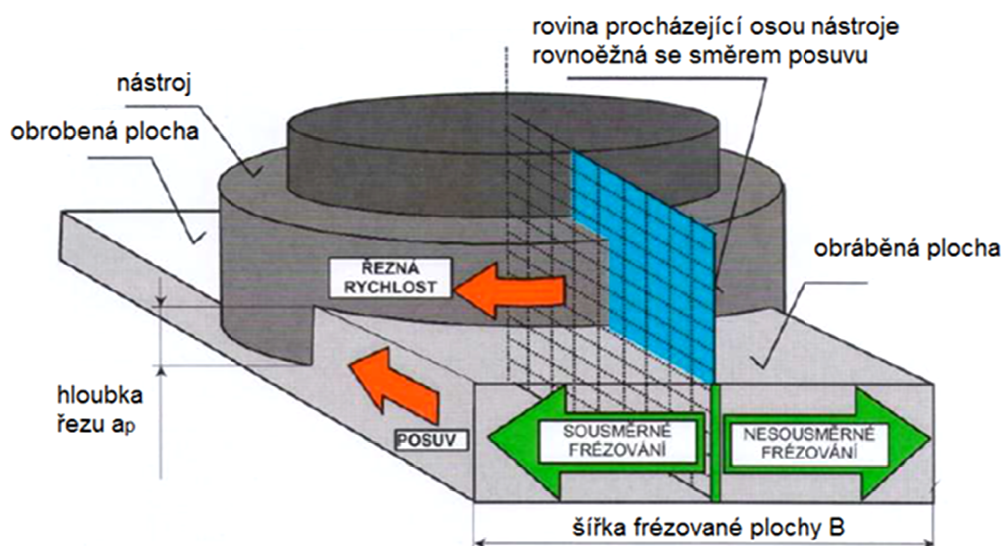
Frézování je operace třískového obrábění, při které je z obrobku odebírán materiál ve formě třísek břity otáčejícího se nástroje. Hlavní řezný pohyb je rotační a vykonává jej fréza. Řezný proces je přerušovaný a každý zub odřezává krátké třísky proměnlivé tloušťky. [5]

3.1 Druhy frézování

Z technologického hlediska se v závislosti na použitém nástroji rozlišuje frézování válcové (frézování obvodem) a frézování čelní (frézování čelem). Od těchto způsobů se odvozují další způsoby, jako je frézování okružní a planetové. [5]

3.1.1 Čelní frézování

Při čelním frézování, které je zobrazeno na Obr. 3.1, je osa frézy kolmá k obráběné ploše. Materiál je odřezávám břity nejen po obvodě frézy, ale současně také břity na čelní ploše, které obráběnou plochu vyhlazují. Kvalita obrobené plochy je výrazně lepší než při frézování válcovou frézou. Hloubka řezu se nastavuje ve směru osy otáčení frézy. Při každém otočení frézy o 360° se obrobek posune o dráhu, jejich délka odpovídá hodnotě posuvu na otáčku. Tloušťka třísky se přitom postupně od vstupu břitu frézy ke středu odřezávané vrstvy zvětšuje, a naopak od středu k místu výstupu břitu z materiálu dochází k postupnému zmenšování tloušťky třísky. Její hodnoty jsou závislé na vzájemném poměru šířky frézované plochy B a průměru použité frézy D a také s ohledem na polohu osy frézy vzhledem k frézované ploše se rozliší **symetrické** a **nesymetrické** frézování. [12]



Obr. 3.1 Čelní frézování [12].

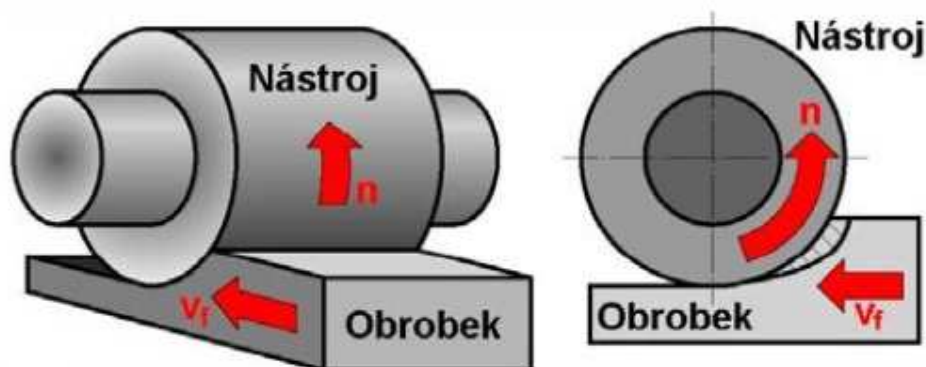
3.1.2 Válcové frézování

Válcové frézování se převážně uplatňuje při práci s válcovými a tvarovými frézami. Zuby frézy jsou vytvořeny pouze po obvodu nástroje, hloubka odebírané vrstvy se nastavuje kolmo na osu frézy a na směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení frézy. Způsob vytváření takové plochy a průběh vytváření třísky závisí na smyslu otáčení frézy ke směru posuvu obrobku. Podle toho rozlišuje frézování **nesousledné** (protisměrné) a **sousledné** (sousměrné). [5]

„Při **nesousledném frézování**, které je zobrazeno na Obr. 3.2, je smysl rotace nástroje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Tloušťka třísky se mění z nulové hodnoty na hodnotu maximální. K oddělování třísky nedochází v okamžiku její nulové tloušťky, ale po určitém skluzu břitu po ploše vytvořené předcházejícím břittem, což má za následek opotřebení břitu a jeho otupování a tím zhoršuje jakost této obrobené plochy. Řezná síla při protisměrném frézování má složku, která působí směrem nahoru a odtažuje obrobek od stolu.“ [5]

Nesousledné frézování:

- trvanlivost nástroje nezávisí na okujích, písčitém povrchu obrobku,
- menší opotřebení posuvového šroubu a matice,
- záběr zubů frézy při jejich vřezávání nezávisí na hloubce řezu,
- zhoršená jakost obrobené plochy,
- směr síly frézování s ohledem na upnutí.

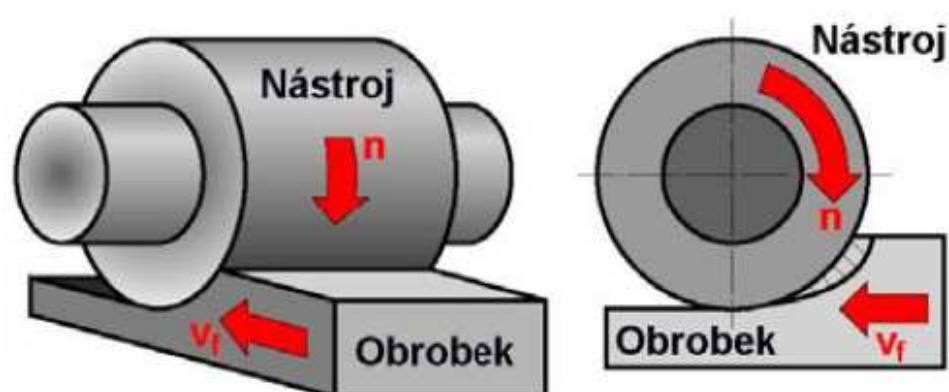


Obr. 3.2 Válcové frézování nesousledné [6].

„Při **sousledném frézování**, které je zobrazeno na Obr. 3.3, je smysl rotace ve směru posuvu obrobku. Maximální tloušťka třísky vzniká při vnikání zubu frézy do obrobku. Obrobená plocha se vytváří, když zub frézy vychází ze záběru. Řezné síly působí směrem dolů. Tento způsob frézování můžeme probíhat pouze na přizpůsobeném stroji při vymezené vůli a předpětí mezi posuvovým šroubem a maticí stolu frézky. V opačném případě způsobuje vůle nestejný posuv, při němž může dojít ke vtahování obrobku pod frézu, což by mělo z následků poškození břitu frézy.“ [5]

Sousledné frézování:

- vyšší trvanlivost břitu, což umožňuje použití vyšších řezných rychlostí a posuvů,
- menší potřebný řezný výkon,
- řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu, což umožňuje použití jednodušších upínacích přípravků pro upnutí obráběného materiálu,
- menší sklon ke chvění,
- menší drsnost obrobené plochy,
- nevhodné při obrábění polotovarů s tvrdým a znečištěným povrchem,
- silová zátěž každého zubu při záběru.



Obr. 3.3 Válcové frézování sousledné [6].

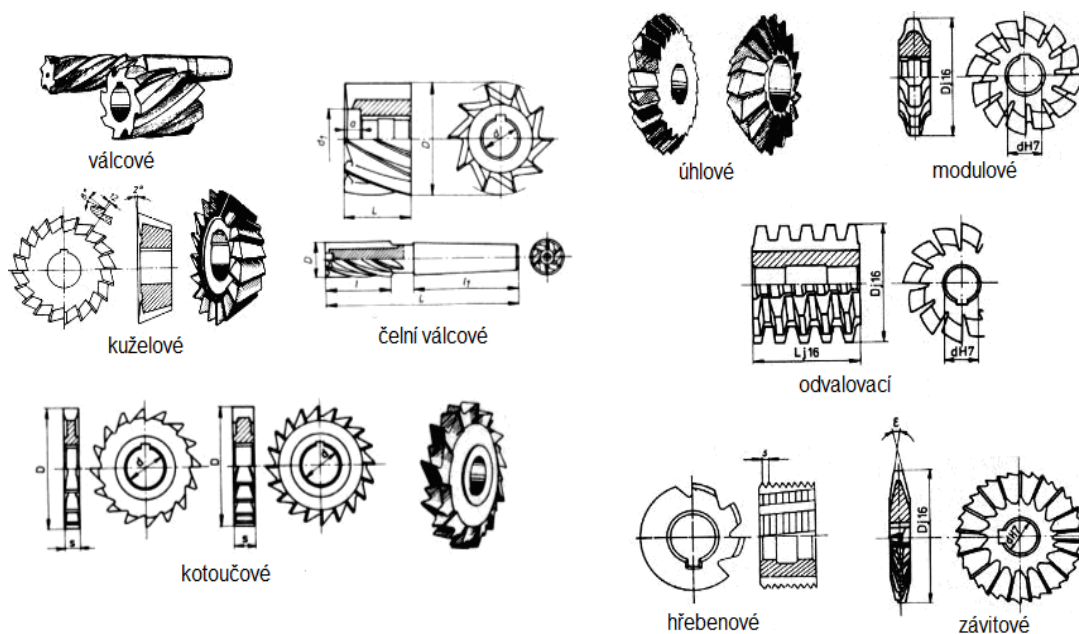
3.2 Frézovací nástroje

Vzhledem k mnohostrannému uplatnění frézování ve strojírenské výrobě a k velkému rozsahu technologie frézování se v dnešní době používá mnoho typů fréz, některé druhy fréz jsou zobrazeny na Obr. 3.4. Frézy jsou vícebřité, někdy i tvarově složitější nástroje, které lze v závislosti na jejich technologickém uplatnění třídit do jednotlivých skupin podle různých hledisek. [5]

Rozdělení fréz:

- podle **nástrojového materiálu břitu** se rozlišují frézy z rychlořezné oceli a slinutých karbidů. Stále častěji se užívá pro frézování řezné keramiky, kubický nitrid boru a diamantu,

- podle **umístění břitů na tělese nástroje** válcové (mají břity na válcové ploše), válcové-čelní (břity frézy jsou na válcové i čelní ploše), kotoučové (břity na válcové a obou čelních plochách, pro drážky), tvarové (břity na tvarových plochách, rádiusové vydaté nebo vypouklé, úhlové, modulové), kuželové (břity na jedné nebo dvou kuželových plochách),



Obr. 3.4 Frézovací nástroje [13].

- podle **tvaru zubů** se rozlišují frézy se zuby frézovanými nebo podsoustruženými. Frézy se zuby frézovanými mají vyfrézované tvary zubových mezer. Čelo i hřbet zubů tvoří rovinné plochy. Frézy s frézovanými zuby se ostří na hřbetě. Frézy se zuby podsoustruženými mají hřbetní plochu vytvořenou jako část Archimédovy spirály, čelo zubu je tvořeno rovinou. Předností fréz s podsoustruženými zuby je, že se jejich profil při ostření na hřbetě mění nepatrně, takže lze využít značnou část tloušťky zubů. Využívá se nejčastěji pro tvarové frézy,
- podle **směru zubů** vzhledem k ose rotace frézy se rozlišují frézy se zuby přímými a frézy se zuby do šroubovice (pravé nebo levé). Výhodou uspořádání zubů ve šroubovici je plynulost záběru v důsledku většího počtu zubů v záběru. Sklon šroubovice se volí 10 až 45° a někdy i více,
- podle **počtu zubů** vzhledem k průměru frézy se rozlišují frézy jemnozubé, polohrubozubé a hrubozubé,
- podle **způsobu upnutí** jsou frézy nástrčné (upínají se za centrální otvor), frézy stopkové (upínají se za válcovou nebo kuželovou stopku),
- podle **smyslu otáčení** se frézy dělí na pravořezné a levořezné,

- podle **konstrukčního uspořádání** se rozlišují frézy celistvé (monolitní), které mají těleso a zuby z jednoho kusu rychlořezné oceli, frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami (RO, SK, řezná keramika) a frézy skládané (složené ze sady fréz upnutých na frézovacím trnu, sloužící k obrábění členitých povrchu jedním záběrem). V současné době se stále více uplatňují frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami, které jsou mechanicky upevňovány k tělesu frézy,
- podle **geometrického tvaru** funkční části se rozlišují frézy válcové, kotoučové, úhlové, drážkovací, kopírovací, radiusové a na výrobu ozubení.

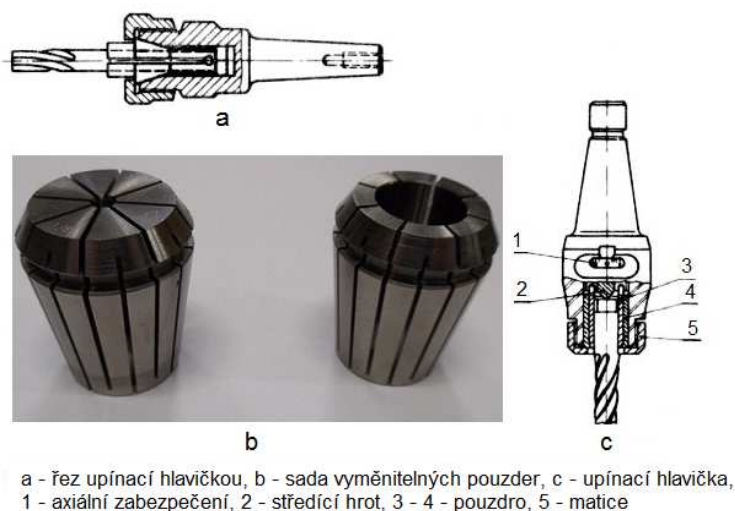
3.3 Upínání nástrojů

Způsob upnutí frézy závisí na její konstrukci, druhu a rozměrech frézy a způsobu frézování.

Pro upínání nástrčných fréz na frézkách se používá upínacích trnů. Upínací kužel upínacího trnu a pracovního vřetena může být metrický, Morse, nebo strmý. Metrický a Morse kužel jsou samosvorné a mohou přenést krouticí moment z vřetena na frézovací trn. Aby přenos krouticího momentu byl dokonalý, má konec vřetena obdélníkové vybrání, do něhož zapadá zploštělý nákržek na konci frézovacího trnu. Trn s těmito kužely se nesnadno vyjímají z pracovního vřetena. Poloha frézy na dlouhý trn se zajišťuje volně navlečenými rozpěrnými kroužky. Čelní nástrčné frézy a frézovací hlavy se upínají krátkými upínacími trny letmo upnutými do vřetena stroje. [5]

Frézy s kuželovou stopkou se upínají redukčními pouzdry přímo do upínacího kužele ve vřetenu frézky. Vnější kužel redukčního pouzdra je shodný s kuzelem dutiny vřetena frézky a vnitřní kužel je shodný s kuzelem upínací stopky frézy. Redukční pouzdro se použije také tehdy, neshoduje-li se kužel frézovacího trnu s kuzelem vřetena. [13]

Na Obr. 3.5 je zobrazen způsob upnutí fréz s válcovou stopkou, které se upínají do upínacích hlaviček s vyměnitelnými rozpínacími pouzdry. [13]

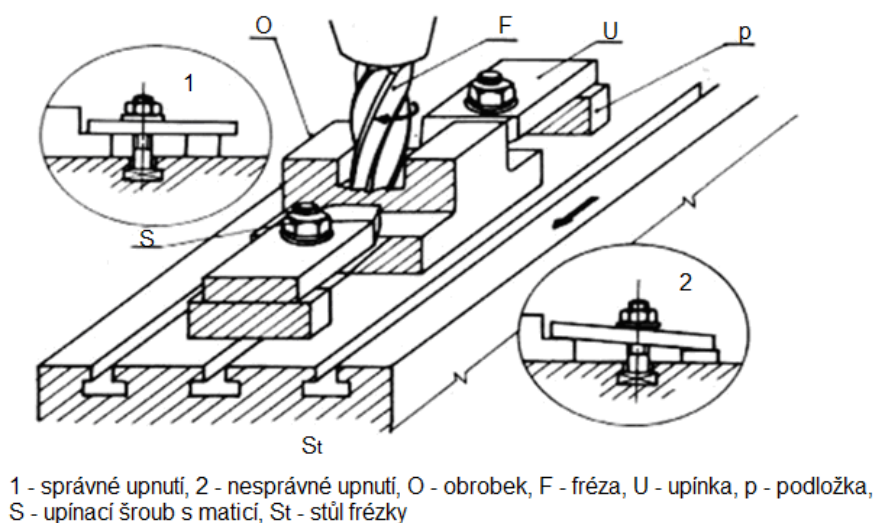


Obr. 3.5 Upínání fréz s válcovou stopkou [13].

3.5 Upínání obrobků

Současným záběrem několika zubů do obrobku vznikají při frézování velké řezné síly, proto musí být obrobek řádně upnut. Je nutné upozornit na to, že obrobek nesmí být při upnutí deformován a aby byla obráběná a upínací plocha co nejbližše vřetená. Menší obrobky se většinou upínají do běžných strojních svěráků. Mohou být ovládány ručně, pneumaticky nebo hydraulicky. [5]

Na stůl frézky se svěrák připevňuje upínacími šrouby se čtyřhrannými hlavami, které jsou zasunuty v T drážkách pracovního stolu frézky. Svěrák upínáme zpravidla do takové polohy, aby upínací čelisti byly rovnoběžné s drážkami stolu nebo aby byly na ně kolmé. Této polohy je možné docílit dvou vodících per (kamenů), které jsou přišroubována v průběžné drážce spodní plochy svěráku a zapadají do drážky stolu. K upínání větších obrobků se používají rozličné upínací pomůcky, jako jsou upínky, opěrky, podpěry. Všechny tyto upínací pomůcky jsou upevňovány do T-drážek stolu frézky pomocí speciálních šroubů s čtvercovou hlavou. Na Obr. 3.6 je zobrazen správný a nesprávný způsob upnutí materiálu. Nesprávný způsob upnutí materiálu, způsobí nejen vyrobení špatného kusu, ale v nejhorším případě může dojít k uvolnění materiálu, který může poškodit obráběcí stroj, anebo ublížit na zdraví. [13]



Obr. 3.6 Správné a nesprávné upnutí obrobku [13].

4 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU VÝROBNÍHO PROCESU Z HLEDISKA TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ OJNICE

V této kapitole se budu zabývat analýzou současného obráběcího stavu, prováděnou na tělesu ojnice. Jedná se o kritický komponent kompresorového agregátu.

4.1 Polotovár

Výkovek ojnice je vyroben metodou zápusťkového kování. Materiál, ze kterého je ojnice vykována, odpovídá materiálové normě **42CrMo4**, což odpovídá **ČSN 15142**. Jedná se o ocel s vyšší prokalitelností pro vysoce namáhané strojní díly. Po zakalení dosahuje tvrdosti 58 HRC a po zušlechtění jsme schopni docílit pevnosti až 1000 MPa. Patří k nejčastěji používaným ocelím k zušlechtování. [14]

4.2 Přehled operací

V následující Tab. 4.1 je uveden sled operací, které jsou prováděny na výkovku ojnice od jejího počátku až do konečné fáze.

Na pracovištích probíhají jednotlivé obráběcí procesy, ať již frézování, broušení, vrtání a řezání. Každý stroj má předem stanovený rozsah operací, které můžeme na tomto stroji provést. Nelze realizovat některou z těchto operací na jiném obráběcím stroji, protože přímo na tento obráběcí stroj a daný druh operací je vyroben speciální upínací přípravek, na kterém jsou po následném upnutí a proměření provedeny příslušné obráběcí operace.

Tab. 4.1 Sled operací [15].

Sled operací	Proces v dané operaci
Operace 1	Vstupní kontrola
Operace 2	Práce rýsovačské
Operace 3	Frézování – Horizontální vyvrtávačka
Operace 4	Broušení – Bruska rovinná svislá
Operace 5	Řezání – Pásová pila
Operace 6	Frézování, vrtání – Toshiba
Operace 7	Mezioperační kontrola a nedestructivní zkoušky
Operace 8	Zámečnické a montážní práce
Operace 9	Broušení – Bruska rovinná svislá
Operace 10	Frézování – Hurco
Operace 11	Mezioperační kontrola a nedestructivní zkoušky
Operace 12	Zámečnické a montážní práce
Operace 13	Výstupní kontrola

4.3 Vstupní kontrola

Výkovek prochází vstupní kontrolou a je prověřován z hlediska požadované jakosti, specifikovaných rozměrů, jakosti materiálu, chemického složení, mechanických vlastností, kontroly mikrostruktury, velikosti zrna a provedené magnetické zkoušky u dodavatele. [15]

V rámci vstupní kontroly je prověřována dokumentace, která je dodána s vyrobenými výkovky. Dokumentace je uvedena v **(Příloze 3 až 7)**.

4.4 Práce rýsovačské

Tato operace je důležitá pro správné upnutí a následné obrábění na horizontální vyvrtávačce. Jsou orýsovány díry, je naznačena osa ojnice a dělicí rovina.

4.5 Frézování – HORIZONTÁLNÍ VYVRTÁVAČKA VHN13

4.5.1 Strojní zařízení

V následující Tab. 4.2 jsou uvedeny jednotlivé parametry stroje, na kterém dané frézování probíhá.

Tab. 4.2 Parametry stroje [16].

Pracovní průměr vřetena	130 mm
Maximální zatížení stolu	12000 kg
Výkon hlavního elektromotoru	38 kW
Rozměry stolu	1600 – 1800 mm
Otáčky vřetena	10 – 780 min ⁻¹
Maximální pohyb v osách X – Y – Z	2100 – 1600 – 900 mm
Kuželová dutina pracovního vřetena	ISO 50
Přesnost 1000 mm	± 0,02 mm
Hmotnost stroje	28000 kg



Obr. 4.1 HORIZONTÁLNÍ VYVRTÁVAČKA VHN13.

4.5.2 Proces výroby

Technologický postup

1. frézovat rozměry 127,25 ÷ 126,75 mm na rozměr 128 mm oboustranně,
2. frézovat rozměry 120,65 mm na rozměr 128 mm oboustranně,
3. frézovat otvory o $\varnothing 222,25^{+0,05}$ mm na rozměr o $\varnothing 220,25$ mm,
4. frézovat otvory o $\varnothing 146,0^{+0,05}$ mm na rozměr o $\varnothing 144,0^{+0,1}$ mm,
5. na boku ojnice frézovat pomocné plochy pro vystředění ojnice na stroji TOSHIBA BMC – 50E,
6. frézovat pomocný zářez pro řezání na čele ojnice,
7. řezat pomocný zářez pro řezání na boku ojnice oboustranně,
8. přenášet značení tavby + čísla výkovku (poř. č. SANBORN), provádět mezioperační kontrolu.

Použité nástroje

Tab. 4.3 Použité nástroje [17,18,19,20,21,22].

Operace	Druh nástroje [mm]	Číselné označení	Výrobce	Destička
1	Čelní fréza $\varnothing 168,3$	P0.160.02	INNOTOOL	ODMT 0605ZZN; 8240
2	Čelní fréza $\varnothing 168,3$	P0.160.02	INNOTOOL	ODMT 0605ZZN; 8240
3.1	Hrubovací vyvrtávací hlava $\varnothing 183$	BHR MB80 80x140	ISCAR	CCMT 120408E - UR; 9230
3.2	Hrubovací vyvrtávací hlava $\varnothing 200$	BHR MB80 80x140	ISCAR	CCMT 120408E - UR; 9230
3.3	Hrubovací vyvrtávací hlava $\varnothing 219$	TCH MB200 200x300	ISCAR	CCMT 120408E - UR; 9230
3.4	Dokončovací hlava $\varnothing 220,25$	VHS 40 - 80 ČSN 242366	NAREX	DNMG 16 06 08 - PM, 4246
4.1	Hrubovací vyvrtávací hlava $\varnothing 106$	BHR MB63 63x125	ISCAR	CCMT 120408E - UR; 9230
4.2	Hrubovací vyvrtávací hlava $\varnothing 124$	BHR MB63 63x125	ISCAR	CCMT 120408E - UR; 9230
4.3	Hrubovací vyvrtávací hlava $\varnothing 142$	BHR MB80 80x140	ISCAR	CCMT 120408E - UR; 9230
4.4	Dokončovací hlava $\varnothing 143,5$	VHR 100 - 155	NAREX	DCMT 11T308E - UR, 9230
4.5	Dokončovací hlava $\varnothing 144^{+0,1}$	VHS 40 - 80 ČSN 242366	NAREX	DCMT 11T304E - UM, 6630
5	Válcová fréza $\varnothing 18 - 40$ SK	----	CARBIDE	----
6	Válcová fréza $\varnothing 3 - 7$ SK	DIN 6527 L, typ:N	GUHRING	----
7	Pilový kotouč $\varnothing 250 - 3$ HSS/Dmo5	ČSN 222910, Typ zubu: A	PILANA TOOLS	----

Řezné podmínky

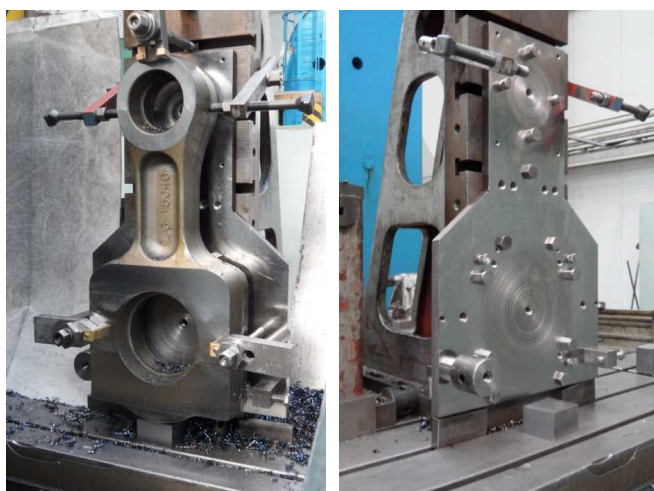
Tab. 4.4 Řezné podmínky [17,18,19,20,21,22].

Operace	Druh nástroje [mm]	Otáčky [min ⁻¹]	Posuvová rychlost [mm.min ⁻¹]
1	Čelní fréza Ø 168,3	285	350
2	Čelní fréza Ø 168,3	285	350
3.1	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 183	265	40
3.2	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 200	265	45
3.3	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 219	265	55
3.4	Dokončovací hlava Ø 220,25	320	32
4.1	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 106	335	40
4.2	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 124	335	40
4.3	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 142	335	50
4.4	Dokončovací hlava Ø 143,5	360	36
4.5	Dokončovací hlava Ø 144 ^{+0,1}	360	36
5	Válcová fréza Ø 18 - 40 SK	500	40
6	Válcová fréza Ø 3 - 7 SK	500	25
7	Pilový kotouč Ø 250 - 3 HSS	56	30

Po upnutí ojnice na upínacím přípravku se nejdříve hrubuje čelo a následně jsou obráběny díry na daný rozměr. Teprve až po obrobení děr je ojnice z upínacího přípravku uvolněna a je znova upnuta, aby bylo možné hrubovat i druhou stranu ojnice na šířku 128 mm.

4.5.3 Upínací přípravek a obrobek

Na Obr. 4.2 je zobrazen upínací přípravek, na kterém je ojnice upnuta a následně obráběna. Na upínací přípravek je ojnice připevněna pomocí upínek a srovnána do optimální pozice obrábění pomocí měřidel. Součástí broušené upínací desky je několik středících kolíků a pevných dorazů, které složí jako dosedací části pro vyrovnaní ojnice. Upínací deska je broušena a pomocí šroubů upevněna na stojanu, který je přišroubován ke stolu horizontální vyvrtávačky.



Obr. 4.2 Upnutá ojnice a upínací přípravek.

Na Obr. 4.3 je zobrazena ojnice před a po obrábění. Na pravé fotografii, je zobrazena ojnice s ofrézovanou pomocnou plochou, která se frézuje na boku a slouží k vystředění ojnice při řezání a k ustavení pro následné obrábění na stroji TOSHIBA BMC 50E.



Obr. 4.3 Výkovek a obrobek.

4.6 Broušení – Bruska rovinná svislá

4.6.1 Strojní zařízení

V Tab. 4.5 jsou uvedeny jednotlivé parametry stroje, na kterém dané broušení probíhá.

Tab. 4.5 Parametry stroje [23].

Šířka upínací plochy stolu	400 mm
Délka upínací plochy stolu	2 – 3 m
Maximální šířka broušení	400 mm
Otáčky brusného vřetene	950 min ⁻¹
Rychlost stolu plynule měnitelná	1 – 32 m.min ⁻¹
Výkon hlavního motoru	70 kW
Celkový příkon stroje	90 kVA
Hmotnost stroje	13000 kg



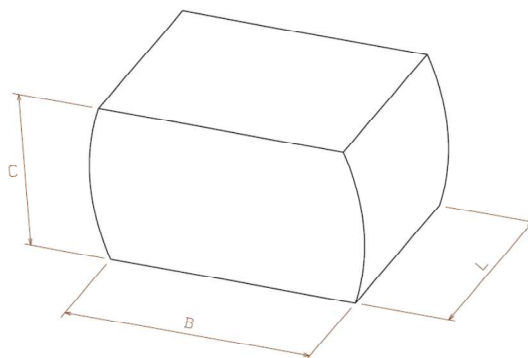
Obr. 4.4 Bruska rovinná svislá.

4.6.2 Proces výroby

Technologický postup

1. přebrousit rozměr 128 mm na rozměr $127,8 \pm 0,05$ mm,
2. přenášet značení tavby + čísla výkovku (poř. č. SANBORN), mezioperační kontrola.

V této operaci se k broušení ojnice využívají zaoblené obdélníkové brousící segmenty. Na Obr. 4.5 je zobrazen tvar brousícího segmentu, který se k broušení využívá.



Obr. 4.5 Tvar brousícího segmentu.

V Tab. 4.6 jsou uvedeny parametry broušení, rozměry obdélníkového segmentu a druh brousícího materiálu a jeho pojiva.

Tab. 4.6 Informace o broušení [24].

Posuvová rychlost: $v_f = 25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Rozměry obdélníkového segmentu B – C – L: 85 – 56 – 63 mm
Druh brousícího materiálu: A99 umělý korund bílý s pojivem keramickým (V), A99 40 G 10V

4.7 Řezání – Pásová pila

4.7.1 Strojní zařízení

V Tab. 4.7 jsou uvedeny parametry stroje, na kterém je provedeno řezání ojnice v naznačené dělicí rovině.

Tab. 4.7 Parametry stroje [25].

Rozměry: délka – šířka – výška	2171 – 2290 – 1800 mm
Hmotnost stroje	1530 kg
Řezný rozsah: maximální kulatiny $\varnothing$	360 mm
Řezný rozsah: maximální čtyřhran $\square$	430 – 360 mm
Elektrické údaje: hlavní motor	2 kW
Elektrické údaje: provozní napětí	400 V
Pilový pás: rozměry	4400 – 34 – 1,1 mm
Pilový pás: rychlost pásu	24 – 53 – 83 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$



Obr. 4.6 Pásová pila.

4.7.2 Proces výroby

Technologický postup

1. vyrovnat pomocí ofrézované pomocné plochy, rozříznout v dělicí rovině,
2. přenášet značení tavby + čísla výkovku (poř. č. SANBORN) vč. seznačení polovin, mezioperační kontrola.

4.7.3 Obrobek

Na Obr. 4.7 je zobrazena pravá a levá polovina ojnice, která byla s využitím daného strojního zařízení rozříznuta v dělicí rovině.



Obr. 4.7 Rozříznutá ojnice v dělicí rovině.

4.8 Frézování a vrtání – TOSHIBA BMC 50E

4.8.1 Strojní zařízení

V následující Tab. 4.8 jsou uvedeny jednotlivé parametry stroje, na kterém dané frézování a vrtání probíhá.

Tab. 4.8 Parametry stroje [26].

Maximální pohyb v osách X – Y – Z	800 – 709 – 800 mm
Počet os	4
Maximální průměr obrobku	1000 mm
Otáčky vřetena	50 – 5000 min ⁻¹
Výkon vřetene	14 kW
Maximální váha nástroje	13 kg
Počet zásobníků nástrojů	90
Počet upínacích palet	2
Kuželová dutina pracovního vřetena	ISO 50



Obr. 4.8 Obráběcí centrum TOSHIBA BMC 50E.

4.8.2 Proces výroby

Technologický postup levé poloviny

1. frézovat dělicí rovinu na rozměr 187,45 mm,
2. frézovat vybrání na rozměry 195,07 mm a 146,05 mm,
3. vrtat 2 otvory pro kolíky o $\varnothing 12,7^{+0}_{-0,012}$ mm do hloubky 12,7 mm,
4. vrtat 3 otvory o $\varnothing 7,8$ mm do hloubky 20,57 mm a následně je nutné vyřezat závit 3/8" - 16UNC - 3B do hloubky 14,22 mm,
5. vrtat 4 otvory o $\varnothing 33,3 \pm 0,2$ mm,
6. frézovat dle naznačeného řezu C - C zářez délky $10^{+0,7}_{-0,06}$ mm a do hloubky 2,388 mm a šířky $12,7^{+0,07}_{-0,05}$ mm,
7. přenášet značení tavby + čísla výkovku (poř. č. SANBORN) vč. seznačení polovin.

Použité nástroje

Tab. 4.9 Použité nástroje [20,21,27,28].

Operace	Druh nástroje [mm]	Číselné označení	Výrobce	Destička Povrch. Úprava
1.1	Čelní fréza Ø 80	F2280.B. 080.Z07.03	WALTER	ODHT 0504ZZN - F57, WXM 35
2.1	Čelní fréza Ø 80	F2280.B. 080.Z07.03	WALTER	ODHT 0504ZZN - F57, WXM 35
1.2	Dokončovací rovinná fréza Ø 63	63A09R - S90AP11D	PRAMET	APKX 1103PDER - M824
2.2	Dokončovací čelní válcová fréza Ø 10 - 40 SK	----	CARBIDE	----
2.3	Rádusová fréza Ø 12,7 - 45 SK R6,35	----	CARBIDE	----
3.1	Vrták Ø 12, 5 - 52 HSS	DIN 1897, P, typ: N	GUHRING	Černěny
3.2	Výstružník Ø 12,7 - 38 SK	----	CARBIDE	----
4.1	Vrták Ø 7,8 - 37 HSS	DIN 1897, P, typ: N	GUHRING	Černěny
4.2	Závitník 3/8" - 16UNC - 3B HSS - E	DIN 371, typ: Ni, tvar: B	GUHRING	----
5.1	Vrták Ø 32 - 160 HSCO	DIN 346, P, typ: N	GUHRING	Černěny
5.2	Hrubovací tyč Ø 32,7	----	----	CCMT 060202 - PF, SANDWICK
5.3	Šlichtovací tyč Ø 33,3	----	----	TCMT 090202 - PF, SANDWICK
6	Válcová fréza Ø 10 - 19 SK	DIN 6527 L, Typ: N	GUHRING	----

Řezné podmínky

Tab. 4.10 Řezné podmínky [20,21,27,28].

Operace	Druh nástroje [mm]	Otáčky [min ⁻¹]	Posuvová rychlost [mm.min ⁻¹]
1.1	Čelní fréza Ø 80	800	250
2.1	Čelní fréza Ø 80	400	350
1.2	Dokončovací rovinná fréza Ø 63	900	250
2.2	Dokončovací čelní válcová fréza Ø 10 - 40 SK	1200	60
2.3	Rádusová fréza Ø 12,7 - 45 SK R6,35	800	150
3.1	Vrták Ø 12, 5 - 52 HSS	1000	80
3.2	Výstružník Ø 12,7 - 38 SK	180	70
4.1	Vrták Ø 7,8 - 37 HSS	1200	100
4.2	Závitník 3/8" - 16UNC - 3B HSS - E	200	317,6

5.1	Vrták Ø 32 - 160 HSCO	180	20
5.2	Hrubovací tyč Ø 32,7	800	50
5.3	Šlichtovací tyč Ø 33,3	600	35
6	Válcová fréza Ø 10 - 19 SK	1200	60

Technologický postup pravé poloviny

1. frézovat dělicí rovinu na rozměr $482,6^{+0,05}_{-0,05}$ mm k ose díry o Ø 144,0^{+0,1} mm,
2. frézovat dvě plochy na rozměr 165,1 mm,
3. frézovat vybrání na rozměry 230,175 mm a 142,75 mm,
4. vrtat středový otvor Ø 15,875 mm,
5. vrtat 2 otvory pro kolíky o Ø 12,738⁺⁰_{-0,012} mm do hloubky 15,75 mm,
6. vrtat 3 otvory o Ø 7,8 mm do hloubky 20,57 mm a následně je nutné vyřezat závit 3/8" - 16UNC - 3B do hloubky 14,22 mm,
7. vrtat 4 otvory o Ø 33,3 ± 0,2 mm do hloubky 95,25 mm a následně vrtat 4 otvory o Ø 29,5 mm a vyřezání závitu 1 1/4" - 12UNF - 3B,
8. frézovat dle naznačeného řezu C - C zářez délky $10^{+0,7}_{-0,06}$ mm a do hloubky 2,388 mm a šířky $12,7^{+0,07}_{-0,05}$ mm,
9. odhrotit hranu ve výběhu závitu a po obvodě řádně odjehlít, přenášet značení tavby + čísla výkovku (poř. č. SANBORN) vč. seznáčení polovin.

Použité nástroje

Tab. 4.11 Použité nástroje [20,21,27,28].

Operace	Druh nástroje [mm]	Číselné označení	Výrobce	Destička Povrch. Úprava
1.1	Čelní fréza Ø 80	F2280.B. 080.Z07.03	WALTER	ODHT 0504ZZN - F57, WXM 35
2.1	Čelní fréza Ø 80	F2280.B. 080.Z07.03	WALTER	ODHT 0504ZZN - F57, WXM 35
3.1	Čelní fréza Ø 80	F2280.B. 080.Z07.03	WALTER	ODHT 0504ZZN - F57, WXM 35
1.2	Dokončovací rovinná fréza Ø 63	63A09R - S90AP11D	PRAMET	APKX 1103PDER - M824
2.2	Dokončovací rovinná fréza Ø 63	63A09R - S90AP11D	PRAMET	APKX 1103PDER - M824
3.2	Dokončovací čelní válcová fréza Ø 10 - 40 SK	----	CARBIDE	----
3.3	Rádiusová fréza Ø 12 - 55 SK R3,05	----	CARBIDE	----
4.1	Vrták Ø 15,875 - 325 HSS	DIN 1870, P typ: GT100	GUHRING	Černěny, fazetky nitridované

5.1	Vrták Ø 12, 5 - 52 HSS	DIN 1897, P, typ: N	GUHRING	Černěny
5.2	Výstružník Ø 12,738 – 38 SK	----	CARBIDE	----
6.1	Vrták Ø 7,8 - 37 HSS	DIN 1897, P, typ: N	GUHRING	Černěny
6.2	Závitník 3/8" - 16UNC - 3B HSS - E	DIN 371, typ: Ni, tvar: B	GUHRING	----
7.1	Vrták Ø 32 - 160 HSCO	DIN 346, P, typ: N	GUHRING	Černěny
7.2	Vrták Ø 29,5 - 145 HSCO	DIN 345, P, typ: N	GUHRING	Černěny
7.3	Hrubovací tyč Ø 32,7	----	----	CCMT 060202 - PF, SANDWICK
7.4	Šlichtovací tyč Ø 33,3	----	----	TCMT 090202 - PF, SANDWICK
7.5	Závitník 1 1/4" - 12UNF - 3B HSS - E	DIN 374, typ: N, tvar: B	GUHRING	----
8	Válcová fréza Ø 10 - 19 SK	DIN 6527 L, Typ: N	GUHRING	----

Řezné podmínky

Tab. 4.12 Řezné podmínky [20,21,27,28].

Operace	Druh nástroje [mm]	Otáčky [min ⁻¹]	Posuvová rychlost [mm.min ⁻¹]
1.1	Čelní fréza Ø 80	800	250
2.1	Čelní fréza Ø 80	800	250
3.1	Čelní fréza Ø 80	400	350
1.2	Dokončovací rovinná fréza Ø 63	900	250
2.2	Dokončovací rovinná fréza Ø 63	900	250
3.2	Dokončovací čelní válcová fréza Ø 10 - 40 SK	1200	60
3.3	Rádusová fréza Ø 12 - 55 SK R3,05	800	150
4.1	Vrták Ø 15,875 - 325 HSS	400	30
5.1	Vrták Ø 12, 5 - 52 HSS	1000	80
5.2	Výstružník Ø 12,738 – 38 SK	180	70
6.1	Vrták Ø 7,8 - 37 HSS	1200	100
6.2	Závitník 3/8" -16UNC - 3B HSS - E	200	317,6
7.1	Vrták Ø 32 - 160 HSCO	180	20
7.2	Vrták Ø 29,5 - 145 HSCO	200	20
7.3	Hrubovací tyč Ø 32,7	800	50
7.4	Šlichtovací tyč Ø 33,3	600	35
7.5	Závitník 1 1/4" - 12UNF - 3B HSS - E	60	127,02
8	Válcová fréza Ø 10 - 19 SK	1200	60

4.8.3 Upínací přípravek a obrobek

Pro upnutí levé a pravé části ojnice je nutné mít k dispozici dva odlišné upínací přípravky, tak aby ojnice byla řádně zajištěna. Každá z polovin ojnice je usazena do speciálního upínacího přípravku vyrobeného na míru, na tokové rozměry, které odpovídají rozměrům z předchozí operace a upevněna z horní části upínkou, která je zabezpečena šrouby pevnostní třídy 10. Na následujícím Obr. 4.9 je zobrazeno usazení a upevnění ojnice na dvou upínacích přípravcích. Princip upínání pravé a levé poloviny ojnice je totožný. Jednotlivé přípravky se liší pouze provedením. Na Obr. 4.10 je zobrazena ojnice po obrábění.



Obr. 4.9 Upínací přípravky.



Obr. 4.10 Obrobena pravá a levá část ojnice.

4.9 Mezioperační kontrola a nedestruktivní zkoušky

Je provedena kontrola stanovených rozměrů ojnice po obrábění, která se realizuje na 3D měřícím zařízení WENZEL. Z měření je vyhotoven protokol o naměřených hodnotách, který je uveden v **(Příloze 8 až 9)**. [15]

Jako další operace je provedena magnetická zkouška dle zákaznického předpisu a to pouze na čelech dělicí roviny. Dojde zároveň k přenesení čísla tavby a čísla výkovku včetně seznačení obou polovin. [15]

4.10 Zámečnické a montážní práce

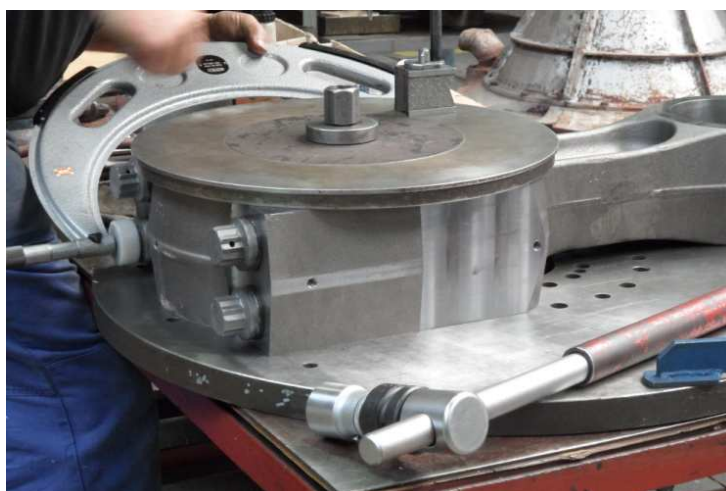
Před montáží, kdy je smontována pravá a levá část ojnice, je velmi důležité změřit délku šroubů. Měření délky šroubů se provádí mikrometrem s kuličkovými nástavci do důlčků po navrtání. [15]

Před zakolíkovaní a sešroubování je nutné řádně jednotlivé části ojnice zkontrolovat. Dále je provedeno odjehlení závitů na šroubech a v ojnici tak, aby nezůstaly zbytky špon na závitech. [15]

Po provedení kontroly závitů se ojnice s využitím dvou kolíků zakolíkují a sešroubují čtyřmi šrouby, kde jsou ještě pod šrouby použity čtyři podložky. Výkresy komponentů jsou uvedeny v **(Příloze 10 až 12)**. [15]

Šrouby je nutné před sešroubováním natřít pastou Molykote. Pastu stačí nanést pouze jen na několik prvních závitů. Šrouby je nutné dotáhnout tak, aby došlo k natažení šroubu o délku $0,330 \div 0,355$ mm. Poté co je ojnice sešroubována, je přebytečná pasta Molykote očištěna a jsou zaznamenány naměřené délky šroubů po dotažení. Montáž ojnice zobrazena na Obr. 4. 11. [15]

Dojde zároveň k přenesení čísla tavby a čísla výkovku včetně seznačení obou polovin.



Obr. 4.11 Montáž ojnice.

4.11 Broušení – Bruska rovinná svislá

K broušení je využit stejný stroj a typ brusiva jako pro operaci broušení uvedené v kapitole 4.6.

Tento proces je obzvlášť velmi důležitý a kritický, protože je nutné při broušení dosáhnout čelního házení v toleranci 0,12 mm. Při broušení se věnuje patřičná pozornost upevňování ojnice na pracovní plochu, protože po montáži pravé a levé poloviny nám na dělicí rovině vzniká nepatrný přechod, který je potřeba zbrousit a zároveň dosáhnout čelního házení v požadované toleranci. Proto broušení v této operaci je velmi časově náročné a může se pohybovat v řádu 2 hodin z důvodů, že je nutné ojnici třikrát brousit.

4.11.1 Proces výroby

Technologický postup

1. přebrousit oboustranně na rozměr $127,2^{+0}_{-0,05}$ mm s ohledem na polohu šíře zářezu $12,7^{+0,07}_{-0,05}$ mm dle řezu C – C,
2. přenášet značení tavby + čísla výkovku (poř. č. SANBORN) vč. seznačení polovin, provádět mezioperační kontrolu.

4.11.2 Obrobek

Na Obr. 4.12 je zobrazena ojnice po finálním broušení, kdy byla ojnice broušena za účelem vzniklého přechodu po provedené montáži a dosažení požadovaných tolerancí uvedených na výkresu.



Obr. 4.12 Ojnice po finálním broušení.

4.12 Frézování - HURCO

4.12.1 Strojní zařízení

V Tab. 4.13 a 4.14 jsou uvedeny jednotlivé parametry strojů, na kterých finální obrábění probíhá.

Pro dokončení ojnice je v této operaci využíváno dvou strojních zařízení. Na stroji HURCO WMX64 jsou oboustranně ofrézovány čela ojnice na finální rozměr 120,65 mm u díry o $\varnothing 146^{+0,05}$ mm. A na druhém stroji HURCO WMX 42 jsou dokončeny díry na $\varnothing 222,25^{+0,05}$ mm a na $\varnothing 146^{+0,05}$ mm hotově dle výkresu.

Tab. 4.13 Parametry stroje [29].

Maximální pohyb v osách X – Y – Z	1626 – 864 – 762 mm
Rozměry: délka – šířka – výška	4448 – 2769 – 3406 mm
Pracovní plocha	1676 – 889 mm
Výkon vřetene	17 kW
Počet zásobníku nástrojů	40
Maximální průměr nástroje	75 mm
Maximální délka nástroje	300 mm
Kuželová dutina pracovního vřetena	ISO 40
Hmotnost stroje	11560 kg



Obr. 4.13 Obráběcí centrum HURCO WMX 64.

Tab. 4.14 Parametry stroje [30].

Maximální pohyb v osách X-Y-Z	1067 – 610 – 610 mm
Rozměry: délka – šířka – výška	2950 – 2300 – 2535 mm
Pracovní plocha	1270 – 610 mm
Výkon vřetene	11 kW
Počet zásobníku nástrojů	24
Maximální průměr nástroje	80 mm
Maximální délka nástroje	300 mm
Kuželová dutina pracovního vřetena	ISO 40
Hmotnost stroje	5680 kg



Obr. 4.14 Obráběcí centrum HURCO WMX 42.

Při frézování musí být čela ojnice ofrézována jako první, až následně je možné obrobit díry na požadovaný rozměr. Je neadekvátní prvně dokončit díry a následně frézovat čela ojnice, protože by nebyla dodržena předepsaná tolerance válcovitosti a rovnoběžnosti děr.

4.12.2 Proces výroby

Technologický postup

1. frézovat rozměr 120,65 mm hotově dle výkresu,
2. frézovat otvory o $\varnothing 222,25^{+0,05}$ mm hotově dle výkresu,
3. frézovat otvory o $\varnothing 146,0^{+0,05}$ mm hotově dle výkresu,
4. frézovat 2x sražení $0,787 \times 45^\circ$ dle výkresu,
5. přenášet značení tavby + čísla výkovku (poř. č. SANBORN) vč. seznačení polovin.

Použité nástroje

Tab. 4.15 Použité nástroje [18,28,31].

Operace	Druh nástroje [mm]	Číselné označení	Výrobce	Destička
1	Rovinná fréza $\varnothing 50$	50A06R - S90SO09	PRAMET	SOMT 09T304 - MI; 8240
2.1	Válcová fréza $\varnothing 40$	R217.21 -1640. RE - 35A	SECO	219.19 -125T -T3 MD08, MP3000
3.1	Válcová fréza $\varnothing 40$	R217.21 - 1640. RE - 35A	SECO	219.19 -125T -T3 MD08, MP3000
2.2	Dokončovací vyvrtávací hlava $\varnothing 222,25^{+0,05}$	BMF MB 80 - 80x94	ISCAR	TPGX 110304 - L, IC908
3.2	Dokončovací vyvrtávací hlava $\varnothing 146,0^{+0,05}$	BMF MB 80 - 80x94	ISCAR	TPGX 110304 - L, IC908
4	Stopková fréza na sražení 45°	BHR MB63 - 63x125	PRAMET	SDEW 090308EN; 8040

Řezné podmínky

Tab. 4.16 Řezné podmínky [18,28,31].

Operace	Druh nástroje [mm]	Otáčky [min^{-1}]	Posuvová rychlost [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]
1	Rovinná fréza $\varnothing 50$	600	400
2.1	Válcová fréza $\varnothing 40$	1500	2000
3.1	Válcová fréza $\varnothing 40$	1500	2000
2.2	Dokončovací vyvrtávací hlava $\varnothing 222,25^{+0,05}$	250	23
3.2	Dokončovací vyvrtávací hlava $\varnothing 146,0^{+0,05}$	300	25
4	Stopková fréza na sražení 45°	2000	500

Při frézování díry válcovou frézou se na hrubování díry využívá pohybu interpolace frézy po šroubovici se stoupáním šroubovice 0,7 mm. Konečný přídavek na dokončení děr dokončovací vyvrtávací hlavou je 0,2 mm na plochu.

4.12.3 Upínací přípravek a obrobek

Na Obr 4.15 je zobrazena upnutá a finálně obrobená ojnice na požadované rozměry dle výkresu. Pomocí upínacích prvků je součást ustavena a upnutí je pak uskutečněno prostřednictvím upínek, které jsou součástí upínacího stolu frézovacího centra.



Obr. 4.15 Upnutá a obrobená ojnice.

4.13 Mezioperační kontrola a nedestruktivní zkoušky

Je provedena finální kontrola stanovených rozměrů smontované ojnice, která se realizuje na 3D měření WENZEL. Z měření je vyhotoven protokol o naměřených hodnotách (**Příloha 13**). Na Obr 4.16 je zobrazen průběh měření na 3D měřícím zařízení WENZEL po finálním obrobení. [15]



Obr. 4.16 3D měření.

Jako další kontrola je provedena magnetická zkouška dle požadovaného předpisu a to na celé ojnice. Z měření je vyhotoven protokol, který je uveden v (**Příloze 14**). Dojde zároveň k přenesení čísla tavby a čísla výkovku včetně seznáčení obou polovin. [15]

Je provedena demagnetizace. Takže při další manipulaci se již nepoužívá magnet.

4.14 Zámečnické a montážní práce

Po poslední obráběcí operaci, která byla provedena na obráběcích strojích HURCO, kde byly dokončeny díry a čelo ojnice na požadované rozměry uvedené na výkresu, následně magnetické zkoušky a měření, je nutné ojnici finálně odjehlit a provést její demontáž a zpětnou montáž. [15]

Před demontáží se musí provést seznačení všech šroubů (písmeny A, B, C, D) včetně polohy utažení. Potom je následně provedena demontáž ojnice a jsou odjehleny veškeré ostré hrany v dělicí rovině. [15]

Před zakolíkovaním a sešroubováním je nutné zkontrolovat řádné očištění a odjehlení závitů na šroubech a v ojnici, aby nezůstaly zbytky špon na závitech. Po odjehlení je opět provedena montáž ojnice samozřejmě bez natažení šroubu, jak bylo provedeno v počátku montáže ojnice. Před sešroubováním se šrouby opětovně natřou pastou Molykote (stačí jen trochu nanést na pár prvních závitů). Po sešroubování je nutné otřít přebytečnou pastu Molykote. [15]

Poté je provedeno nalisování pouzdra. Pouzdro musí být nalisováno tak, aby otvor v pouzdru pasoval na otvor o $\varnothing 15,875$ mm. Výkres lisovaného pouzdra je uveden v **(Příloze 15)**. [15]

Před nalisováním pouzdra je pouzdro zmrazeno na -129°C až -184°C v kapalném dusíku, aby vůbec bylo možné dané pouzdro nalisovat. Na Obr. 4.17 je zobrazeno lisované pouzdro. [15]



Obr. 4.17 Lisované pouzdro.

4.15 Výstupní kontrola

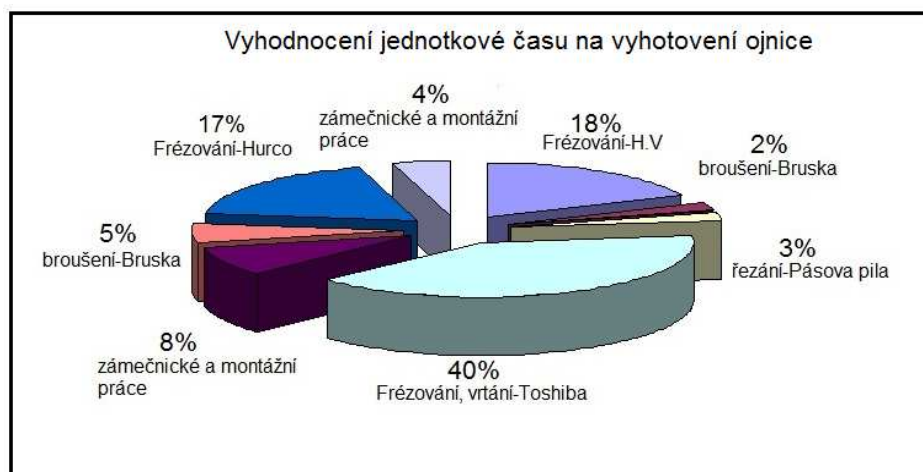
Jako poslední operace, která se na ojnici provádí je konzervace, balení ojnice a potvrzení všech provedených operací výstupní kontrolou. Zároveň je provedena konsolidace veškeré průvodní dokumentace k danému výkovku. Jedná se o osvědčení jakosti a kompletnosti a finální rozměrový protokol dle požadavků zákazníka – DRESSER RAND. Protokoly jsou uvedeny v **(Příloze 16 až 17)**. Součástí průvodní dokumentace jsou také dodány protokoly, které jsou uvedeny v **(Příloze 3 až 7, 14)**.

4.16 Vyhodnocení jednotkového času na vyhotovení ojnice

V Tab. 4.17 jsou uvedené jednotkové časy, které charakterizují jednotlivé operace související s obráběním ojnice a její montáží a kontrolou.

Tab. 4.17 Jednotkový čas. [15]

Sled operací	Jednotkový čas [min]	Strojní čas [min]	Vedlejší čas [min]
Frézování – Horizontální vyvrtávačka	425	185	240
Broušení – Bruska rovinná svislá	85	55	30
Řezání – Pásová pila	60	35	25
Frézování, vrtání – Toshiba	830	640	190
Zámečnické a montážní práce	210	----	----
Broušení – Bruska rovinná svislá	130	85	45
Frézování – Hurco	375	185	190
Zámečnické a montážní práce	105	----	----
Celkem Σ	2220	1185	720



Obr. 4.18 Jednotkový čas.

Z následujícího grafu vyplývá, že největší vliv na jednotkový čas mají tyto operace:

- frézování – HORIZONTÁLNÍ VYVRTÁVAČKA,
- frézování, vrtání – TOSHIBA,
- frézování – HURCO.

Proto by bylo vhodné tyto operace zefektivnit a tím snížit jednotkový čas a náklady na obrobek ojnice.

5 NÁVRH A IMPLEMENTACE KONKRÉTNÍCH OPATŘENÍ

Zefektivnění neboli nalezení efektivnějšího řešení původního obráběcího stavu a dosažení snížení jednotkového času a tím snížení nákladů na obrobení na daných obráběcích strojích je hlavním cílem této kapitoly.

Nejčastěji lze tohoto výsledku dosáhnout zvýšením posuvu na otáčku f_{ot} [mm] nebo řezné rychlosti v_c [m.min⁻¹]. Samozřejmě se zvyšováním řezné rychlosti v_c [m.min⁻¹] dochází k navýšení otáček n [min⁻¹] a proto je nutné se ujistit, jestli vřeteno umožňuje navýšení otáček na požadovanou hodnotu. Se zvyšováním posuvu na otáčku f_{ot} [mm] se zhoršuje drsnost obrobené plochy a samozřejmě dochází ke snížení trvanlivosti nástroje. Nejčastěji se vyšších posuvů používá u hrubovacích operací, kde po těchto operacích následuje ještě dokončování, kde posuv bývá na minimální hodnotě z důvodu dosažení požadované kvality obrobené plochy.

Zvyšování posuvu na otáčku f_{ot} [mm] a řezné rychlosti v_c [m.min⁻¹] samozřejmě dochází ke snížení strojního času, ale zároveň dochází ke snížení trvanlivosti řezného nástroje. Je zapotřebí vše dopředu zhodnotit, či je finančně výhodnější dosáhnout kratšího strojního času nebo vyšší trvanlivosti nástrojů za účelem vyšší nebo nižší produktivity obrábění. Proto se mohou provádět výpočty na stanovení optimálních trvanlivostí řezného nástrojů a to z hlediska minimálních nákladů nebo maximální výrobnosti.

Také bych rád upozornil na to, že ne jenom strojní čas je možné zefektivňovat. Důležitou roli zde hraje i čas vedlejší. Proto je nutné i tento čas zkracovat nejen použitím speciálních přípravků na upínání, ale třeba také využít na upínání součásti hydrauliku. A tím výrazně snížit jednotkový čas a dosáhnout nižších nákladů na obrábění.

V rámci sledování a seznamování s jednotlivými operacemi na daných pracovištích jsem zpozoroval problémy, které doprovázely celý obráběcí proces. Proto jsem pro jednotlivé obráběcí operace navrhl opatření za účelem zkrácení jednotkového času a tím snížení nákladů na obrobení ojnice. V následujících podkapitolách bych rád na tyto problémy upozornil a zviditelnil zefektivnění, která jsou navržena a výrazně sníží jednotkový čas.

5.1 Zefektivnění frézování – HORIZONTÁLNÍ VYVRTÁVAČKA VHN13

Při frézování způsobí prudké změny pohybu frézy značné snížení životnosti řezného nástroje, proto by bylo vhodné docílit, aby fréza zůstala nestále v záběru. Při oboustranném frézování čela na rozměr 128 mm dochází, že fréza není po určitou dobu v záběru. Proto by bylo vhodné naprogramovat odvalovací pohyb frézy kolem díry, které je rozhodující pro dosažení stabilního a optimalizovaného procesu. Tím by se snížil i strojní čas na oboustranné obrobení čel. Bohužel ale nejsme schopni tohoto pohybu dosáhnout, protože nemáme k dispozici CNC horizontální vyvrtávačku a při obrábění čela nám fréza bude najíždět a po určité době vyjíždět ze záběru z důvodu, že v čelní ploše je situována díra, která se po ofrézování čela bude obrábět.

V průběhu zefektivnění obrábění za účelem snížení jednotkového času bylo provedeno odzkoušení nástrojů od různých výrobců na frézování čela ojnice.

Z výsledků uskutečněného testování, které byla dohodnuta se společnostmi PRAMET a SANDWICK se souhlasem společnosti SANBORN a.s. lze usoudit, že žádná fréza nevykazovala rozdílné vlastnosti jak z hlediska obrábění tak životnosti vyměnitelných břitových destiček, protože na frézování čela jsou zvoleny minimální řezné podmínky z důvodu, že jsme omezeni parametry stroje. Nakonec byla zvolena čelní fréza od společnosti PRAMET. Tento typ řezného nástroje oproti jejímu předchůdci má svoji výhodu v tom, že je tvořen pouze z devíti vyměnitelných břitových destiček. Původní čelní fréza od společnosti INNOTOOL byla tvořena z dvanácti vyměnitelných břitových destiček. Z hlediska obrábění můžeme usoudit, že na hrubování je lepší použít frézu s menším počtem vyměnitelných břitových destiček, protože není zapotřebí dosáhnout maximální kvality obrobené plochy. Převážně po hrubování následují další operace jako je dohrubování a dokončování. Z mé pozice lze usoudit, že takto ofrézovaná plocha po této operaci je dostačující, protože čela ojnice budou na jiných pracovištích broušena a bylo by nevhodné v této oblasti do technologického postupu zavádět další operace na dokončení čela ojnice na tomto pracovišti.

K největší úspoře času by mělo dojít při obrábění děr na rozměr o $\varnothing 220,25$ mm a o $\varnothing 144,0^{+0,1}$ mm. Při obrábění děr, kdy byly využívány hrubovací hlavy, často docházelo k tomu, že se třísky namotávaly na hrubovací hlavu a na upínací trn. To vedlo k navýšení nejen strojního času z důvodů nižších řezných parametrů, ale také k navýšení času vedlejšího z důvodů neustálého vyjíždění za účelem odstranění třísek z hrubovací hlavy a upínacího trnu, což vedlo k navýšení jednotkového času. Bylo to způsobeno tím, že rozdíl průměru hrubovacích hlav je až 19 mm, což ve výsledku znamená, že šířka záběru ostří odpovídá 4,75 mm na jednu destičku ze dvou uvažovaných destiček. Takže ve výsledku tyto destičky byly zatěžovány za samotnou hranici, která byla společností PRAMET stanovena na 4 mm. Z těchto důvodů musel být snížen posuv a otáčky na nižší hodnoty. To ve výsledku znamenalo, že strojní a vedlejší časy byly příliš vysoké z důvodů nesprávných řezných parametrů a neustálého odstraňování třísek.

Proto po následném schválení, prokázání a vysvětlení daného problému je navrženo zefektivnění, které by mělo výrazně zkrátit strojní a vedlejší čas. Bylo navrženo zakoupit pro hrubování děr na požadované rozměry ještě jednu hrubovací hlavu a začlenit ji mezi ostatní hrubovací hlavy. Tím samozřejmě dojde ke snížení rozdílu průměru hrubovacích hlav na 10 mm. Ve výsledku šířka záběru ostří odpovídá 2,5 mm a díky tomu může dojít k navýšení posuvu a otáček. Tento návrh se ve výsledku projevil nejen zkrácením strojního času ale také i vedlejšího času, protože obsluha stroje nebude neustále nucena přerušovat obrábění, za účelem odstranění třísek z hrubovací hlavy a upínacího trnu.

5.1.1 Proces výroby

Tato kapitola je zaměřena na technologii obrábění, kde je popsán zefektivněný proces obrábění v chronologickém členění, použité řezné nástroje a jejich označení včetně uvedených řezných podmínek, které jsou uvedeny v Tab. 5.1 a Tab. 5.2.

Technologický postup

1. frézovat rozměry $127,25 \div 126,75$ mm na rozměr 128 mm oboustranně,
2. frézovat rozměry 120,65 mm na rozměr 128 mm oboustranně,
3. frézovat otvory o $\varnothing 222,25^{+0,05}$ mm na rozměr o $\varnothing 220,25$ mm,
4. frézovat otvory o $\varnothing 146,0^{+0,05}$ mm na rozměr o $\varnothing 144,0^{+0,1}$ mm,
5. na boku ojnice frézovat pomocnou plochu pro vystředění na stroji OKUMA MULTUS B750,
6. frézovat pomocný zářez pro řezání na čele ojnice ve vzdálenosti 190,6 mm od spodní hrany ojnice,
7. naznačit pomocný zářez pro řezání na boku ojnice oboustranně ve stejné linii s pomocným zářezem, který je vyfrézovaný na čele ojnice,
8. přenášet značení tavby + čísla výkovku (poř. č. SANBORN), provádět mezioperační kontrolu.

Navrhované nástroje

Tab. 5.1 Navrhované nástroje [18,19,20,21,22,28].

Operace	Druh nástroje [mm]	Číselné označení	Výrobce	Destička
1	Čelní fréza $\varnothing 169,5$	160C09R - S45OD06D	PRAMET	ODMT 0605ZZN; 8240
2	Čelní fréza $\varnothing 169,5$	160C09R - S45OD06D	PRAMET	ODMT 0605ZZN; 8240
3.1	Hrubovací vyvrtávací hlava $\varnothing 190$	BHR MB80 80x140	ISCAR	CCMT 120408E - UR; 9230
3.2	Hrubovací vyvrtávací hlava $\varnothing 200$	BHR MB80 80x140	ISCAR	CCMT 120408E - UR; 9230
3.3	Hrubovací vyvrtávací hlava $\varnothing 210$	TCH MB200 200x300	ISCAR	CCMT 120408E - UR; 9230
3.4	Hrubovací vyvrtávací hlava $\varnothing 219$	TCH MB200 200x300	ISCAR	CCMT 120408E - UR; 9230
3.5	Dokončovací hlava $\varnothing 220,25$	VHS 40 - 80 ČSN 242366	NAREX	DNMG 16 06 08 - PM, 4246
4.1	Hrubovací vyvrtávací hlava $\varnothing 112$	BHR MB63 63x125	ISCAR	CCMT 120408E - UR; 9230
4.2	Hrubovací vyvrtávací hlava $\varnothing 122$	BHR MB63 63x125	ISCAR	CCMT 120408E - UR; 9230
4.3	Hrubovací vyvrtávací hlava $\varnothing 132$	BHR MB80 80x140	ISCAR	CCMT 120408E - UR; 9230

4.4	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 142	BHR MB80 80x140	ISCAR	CCMT 120408E - UR; 9230
4.5	Dokončovací hlava Ø 143,5	VHR 100 - 155	NAREX	DCMT 11T304E - UM, 6630
4.6	Dokončovací hlava Ø 144 ^{+0,1}	VHS 40 - 80 ČSN 242366	NAREX	DCMT 11T308E - UR, 9230
5	Válcová fréza Ø 18 - 40 SK	----	CARBIDE	----
6	Válcová fréza Ø 3 - 7 SK	DIN 6527 L, typ: N	GUHRING	----
7	Pilový kotouč Ø 250 - 3 HSS/Dmo5	ČSN 222910, Typ zubu: A	PILANA TOOLS	----

Navrhované řezné podmínky

Tab. 5.2 Navrhované řezné podmínky [18,19,20,21,22,28].

Operace	Druh nástroje [mm]	Otáčky [min ⁻¹]	Posuvová rychlost [mm.min ⁻¹]
1	Čelní fréza Ø 169,5	300	405
2	Čelní fréza Ø 169,5	300	405
3.1	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 190	390	117
3.2	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 200	390	117
3.3	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 210	390	117
3.4	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 219	390	117
3.5	Dokončovací hlava Ø 220,25	450	45
4.1	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 112	450	135
4.2	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 122	450	135
4.3	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 132	450	135
4.4	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 142	450	135
4.5	Dokončovací hlava Ø 143,5	500	40
4.6	Dokončovací hlava Ø 144 ^{+0,1}	500	25
5	Válcová fréza Ø 18 - 40 SK	500	40
6	Válcová fréza Ø 3 - 7 SK	500	15
7	Pilový kotouč Ø 250 - 3 HSS	19	45,6

5.1.2 Strojní časy po zavedení návrhu na zefektivnění

Na základě provedených návrhu byly vypočteny strojní časy, které jsou uvedeny v Tab. 5.3.

Strojní čas je obecně vyjádřen vztahem:

$$t_{AS} = \frac{L \times i}{v_f} \quad [\text{min}] \quad (6.1)$$

L – dráha nástroje ve směru posuvového pohybu [mm],

i – počet záběrů [-],

v_f – posuvová rychlost [mm.min⁻¹].

ČELNÍ FRÉZA**1 tříška:**

$D = \varnothing 169,5 \text{ mm}$, $z = 9$, $i = 3$, $f_z = 0,15 \text{ mm}$, $n = 300 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 405 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $a_p = 2,5 \text{ mm}$, $a_e = 110 \text{ mm}$.

$$L = l_n + \frac{D}{2} + l + l_p - l_{pf} = 5 + \frac{169,5}{2} + 350 + 5 - 30 = 414,75 \text{ mm}$$

$$t_{AS1,1} = \frac{L \times i}{f_z \times z \times n} = \frac{414,75 \times 3}{0,15 \times 9 \times 300} = 3,07 \text{ min}$$

2 tříška:

$D = \varnothing 169,5 \text{ mm}$, $z = 9$, $i = 3$, $f_z = 0,15 \text{ mm}$, $n = 300 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 405 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $a_p = 1,82 \text{ mm}$, $a_e = 110 \text{ mm}$.

$$L = l_n + \frac{D}{2} + l + l_p - l_{pf} = 5 + \frac{169,5}{2} + 350 + 5 - 30 = 414,75 \text{ mm}$$

$$t_{AS1,2} = \frac{L \times i}{f_z \times z \times n} = \frac{414,75 \times 3}{0,15 \times 9 \times 300} = 3,07 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas na frézování čela na rozměr 128 mm oboustranně.

$$t_{AS1} = 2 \times (t_{AS1,1} + t_{AS1,2}) = 2 \times (3,07 + 3,07) = \underline{12,28 \text{ min}}$$

ČELNÍ FRÉZA

$D = \varnothing 169,5 \text{ mm}$, $z = 9$, $i = 2$, $f_z = 0,15 \text{ mm}$, $n = 300 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 405 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $a_p = 1 \text{ mm}$, $a_e = 100 \text{ mm}$.

$$L = l_n + \frac{D}{2} + l + \frac{D}{2} + l_p - l_{pf} = 5 + \frac{169,5}{2} + 200 + 5 - 30 = 264,75 \text{ mm}$$

$$t_{AS2,1} = \frac{L \times i}{f_z \times z \times n} = \frac{264,75 \times 2}{0,15 \times 9 \times 300} = 1,31 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas na frézování čela na rozměr 128 mm oboustranně.

$$t_{AS2} = 2 \times t_{as2,1} = 2 \times 1,31 = \underline{2,62 \text{ min}}$$

HRUBOVACÍ VYVRTÁVACÍ HLAVY

$D = \varnothing 190 \text{ mm}$, $z = 2$, $i = 1$, $f_{ot} = 0,3 \text{ mm}$, $n = 390 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 117 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 132,65 + 3 = 138,65 \text{ mm}$$

$$t_{AS3,1} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{138,65}{0,3 \times 390} = 1,18 \text{ min}$$

$D = \varnothing 200 \text{ mm}$, $z = 2$, $i = 1$, $f_{ot} = 0,3 \text{ mm}$, $n = 390 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 117 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 132,65 + 3 = 138,65 \text{ mm}$$

$$t_{AS3,2} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{138,65}{0,3 \times 390} = 1,18 \text{ min}$$

$D = \varnothing 210 \text{ mm}$, $z = 2$, $i = 1$, $f_{ot} = 0,3 \text{ mm}$, $n = 390 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 117 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 132,65 + 3 = 138,65 \text{ mm}$$

$$t_{AS3,3} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{138,65}{0,3 \times 390} = 1,18 \text{ min}$$

$D = \varnothing 219 \text{ mm}$, $z = 2$, $i = 1$, $f_{ot} = 0,3 \text{ mm}$, $n = 390 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 117 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 132,65 + 3 = 138,65 \text{ mm}$$

$$t_{AS3,4} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{138,65}{0,3 \times 390} = 1,18 \text{ min}$$

DOKONČOVACÍ HLAVA

$D = \varnothing 220,25 \text{ mm}$, $z = 1$, $i = 1$, $f_{ot} = 0,1 \text{ mm}$, $n = 450 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 45 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 132,65 + 3 = 138,65 \text{ mm}$$

$$t_{AS3,5} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{138,65}{0,1 \times 450} = 3,08 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas na obrobení díry o $\varnothing 220,25 \text{ mm}$.

$$t_{AS3} = t_{AS3,1} + t_{AS3,2} + t_{AS3,3} + t_{AS3,4} + t_{AS3,5} = 4 \times 1,18 + 3,08 = \underline{7,8 \text{ min}}$$

HRUBOVACÍ VYVRTÁVACÍ HLAVY

$D = \varnothing 112 \text{ mm}$, $z = 2$, $i = 1$, $f_{ot} = 0,3 \text{ mm}$, $n = 450 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 135 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 129,05 + 3 = 135,05 \text{ mm}$$

$$t_{AS4,1} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{135,05}{0,3 \times 450} = 1 \text{ min}$$

$D = \varnothing 122 \text{ mm}$, $z = 2$, $i = 1$, $f_{ot} = 0,3 \text{ mm}$, $n = 450 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 135 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 129,05 + 3 = 135,05 \text{ mm}$$

$$t_{AS4,2} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{135,05}{0,3 \times 450} = 1 \text{ min}$$

$D = \varnothing 132 \text{ mm}$, $z = 2$, $i = 1$, $f_{ot} = 0,3 \text{ mm}$, $n = 450 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 135 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 129,05 + 3 = 135,05 \text{ mm}$$

$$t_{AS4,3} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{135,05}{0,3 \times 450} = 1 \text{ min}$$

$D = \varnothing 142 \text{ mm}$, $z = 2$, $i = 1$, $f_{ot} = 0,3 \text{ mm}$, $n = 450 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 135 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 129,05 + 3 = 135,05 \text{ mm}$$

$$t_{AS4,4} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{135,05}{0,3 \times 450} = 1 \text{ min}$$

DOKONČOVACÍ HLAVY

$D = \varnothing 143,5 \text{ mm}$, $z = 1$, $i = 1$, $f_{ot} = 0,1 \text{ mm}$, $n = 500 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 129,05 + 3 = 135,05 \text{ mm}$$

$$t_{AS4,5} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{135,05}{0,1 \times 500} = 2,70 \text{ min}$$

$D = \varnothing 144^{+0,1} \text{ mm}$, $z = 1$, $i = 1$, $f_{ot} = 0,1 \text{ mm}$, $n = 500 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 129,05 + 3 = 135,05 \text{ mm}$$

$$t_{AS4,6} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{135,05}{0,1 \times 500} = 2,70 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas na obrobení díry o $\varnothing 144^{+0,1} \text{ mm}$.

$$t_{AS4} = t_{AS4,1} + t_{AS4,2} + t_{AS4,3} + t_{AS4,4} + t_{AS4,5} + t_{AS4,6} = 4 + 2,7 + 2,7 = \underline{\underline{9,4 \text{ min}}}$$

VÁLCOVÁ FRÉZA

$D = \varnothing 18 \text{ mm}$, $z = 4$, $i = 2$, $f_z = 0,02 \text{ mm}$, $n = 500 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 40 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $a_e = 1,5 \text{ mm}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 287,05 + 3 = 293,05 \text{ mm}$$

$$t_{AS5} = \frac{L \times i}{f_z \times z \times n} = \frac{293,05 \times 2}{0,02 \times 4 \times 500} = \underline{14,65 \text{ min}}$$

VÁLCOVÁ FRÉZA

$D = \varnothing 3 \text{ mm}$, $z = 3$, $i = 1$, $f_z = 0,01 \text{ mm}$, $n = 500 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 15 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $a_p = 1,5 \text{ mm}$, $a_e = 3 \text{ mm}$.

$$L = l_n + l + l_p = 4 + 130 + 4 = 138 \text{ mm}$$

$$t_{AS6} = \frac{L}{f_z \times z \times n} = \frac{138}{0,01 \times 3 \times 500} = \underline{9,33 \text{ min}}$$

KOTOUČOVÁ PILA

$D = \varnothing 250 \text{ mm}$, $z = 160$, $i = 1$, $f_z = 0,015 \text{ mm}$, $n = 19 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 45,6 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $a_p = 3 \text{ mm}$.

$$L = l_n + l + l_p = 40 + 128 + 15 = 183 \text{ mm}$$

$$t_{AS7,1} = \frac{L}{f_z \times z \times n} = \frac{183}{0,015 \times 160 \times 19} = 4,02 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas na řezání drážky na boku ojnice oboustranně.

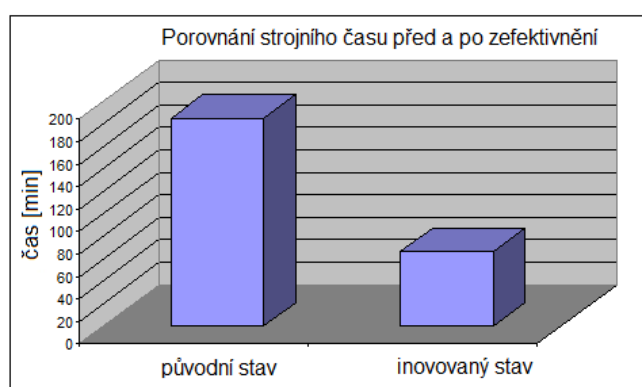
$$t_{AS7} = 2 \times t_{AS7,1} = 2 \times 4,02 = \underline{8,04 \text{ min}}$$

Výsledný strojní čas na obrobení ojnice.

$$\begin{aligned} t_{AS} &= t_{AS1} + t_{AS2} + t_{AS3} + t_{AS4} + t_{AS5} + t_{AS6} + t_{AS7} = \\ &= 12,28 + 2,62 + 7,8 + 9,4 + 14,65 + 9,33 + 8,04 = \underline{65 \text{ min}} \end{aligned}$$

Tab. 5.3 Strojní čas po zefektivnění.

Provedené operace	Strojní čas [min]
1. Frézování čela na rozměr 128 mm oboustranně	12,28
2. Frézování čela na rozměr 128 mm oboustranně	2,62
3. Frézování otvoru na rozměr o $\varnothing$ 220,25 mm	7,8
4. Frézování otvoru na rozměr o $\varnothing$ 144,0 ^{+0,1} mm	9,4
5. Frézování pomocné plochy na boku ojnice	14,65
6. Frézování pomocného zářezu na čele ojnice	9,33
7. Řezání pomocného zářezu na boku ojnice	8,04
Celkem Σ	65



Obr. 5.1 Strojní čas.

Navýšením o jednu hrubovací hlavu na vyhrubování děr, mohlo dojít na základě tohoto návrhu ke změně řezných podmínek, které neměly pouze zásadní vliv na strojní čas, ale i na čas vedlejší. Vliv provedených změn na jednotkový čas je shrnutý v Tab. 5.4 a zobrazen na Obr. 5.2.

Tab. 5.4 Jednotkový čas před a po zefektivnění.

	Jednotkový čas [min]	Strojní čas [min]	Vedlejší čas [min]
Původní stav	425	185	240
Inovovaný stav	275	65	210



Obr. 5.2 Jednotkový čas.

5.1.3 Tvar třísky

Zefektivnění, která byla navrhnutá a následně implementována do výroby, byla stanovena na základě několika problému, které doprovázely obráběcí proces na horizontální vyvrtávačce. Jak již bylo dříve uvedeno, docházelo k častému namotávání třísek na hrubovací hlavu a trn, což vedlo k navýšení strojního a vedlejšího času. Na základě provedeného zefektivnění došlo k zrychlení celého obráběcího procesu vlivem přepracování celé technologie obrábění. Výstup, na kterém je možné dané zefektivnění zhodnotit, je tvar třísky. Na Obr. 5.3 je zobrazena původní tříska, která se namotávala na trn a nástroj a na Obr. 5.4 je zobrazena tříska po navrženém zefektivnění. Z těchto dvou obrázků lze usoudit, jaký zásadní vliv na výsledný tvar třísky má navýšení o jednu hrubovací hlavu na vyhrubování díry, díky kterým mohlo dojít ke změně rezných podmínek.



Obr. 5.3 Tvar třísek při stávajícím stavu obrábění.



Obr. 5.4 Tvar třísek po zefektivnění obrábění.

5.2 Zefektivnění frézování, vrtání – OKUMA MULTUS B750

V průběhu obrábění levé a pravé poloviny ojnice na původním stroji TOSHIBA BMC 50E je možné zpozorovat, že není všechno pořádku. Celkový jednotkový čas na dokončení levé a pravé poloviny ojnice je 14 hodin, z čeho lze usoudit, že k obrobení obou polovin jsou buď zvoleny málo produktivní nástroje, nevhodná technologie obrábění nebo nevhodné strojní zařízení, které by bylo pro frézování a vrtání děr optimální. Z oblasti frézování lze usoudit, že nedocházelo k žádným problémům a proces odebrání materiálu ve formě třísek byl plynulý avšak málo produktivní, ale nejhorším problémem bylo vrtání děr, protože stroj neumožňoval při vrtání děr využít vrták s vnitřním chlazením a tím vyplavování třísek z vrtané díry. Z toho lze usoudit, že strojní čas byl proto tak vysoký. Aby nedocházelo k rychlému otupení nástroje a z důvodu, že nebylo možné využít vnitřní chlazení za účelem vyplavování třísek, musel vrták o $\varnothing$ 32 mm neustále po vyvrtaných 2 mm vyjíždět za účel odstranění třísek a také průběžné kontroly vrtáku. V průběhu, kdy společnost začala ojnice obrábět, nebyla možnost nějakým způsobem tento problém řešit, protože společnost disponuje minimální frézovacím strojovým parkem a většinu strojového parku tvoří stroje pro rotační obrábění.

V roce 2011 společnost provedla jednu z největších investic za své existence, kdy zakoupila obráběcí centrum OKUMA MULTUS B750. Toto soustružnické a frézovací centrum disponuje moderní technologií, která je velmi produktivní a zároveň mimo jiné umožňuje vrtání děr s využitím vnitřního chlazením a též vyplavováním třísek. Ale jak jsem uvedl, jedná se o soustružnické frézovací centrum, kde stroj disponuje dvěma vřeteny a nemá žádný pevný stůl, na který by bylo možné ojnice nějakým způsobem upnout.

Aby bylo možné tento výkonný stroj využít a tím mnohonásobně zrychlit frézování a vrtání pravé a levé poloviny ojnice, musel být vyroben speciální upínací přípravek, na který budeme moci ojnici upnout a následně ji obrábět. Po následné konzultaci a provedení návrhu byl celý problém upnutí a obrábění ojnice na daném stroji vyřešen. Na základě vyřešení problému s upínáním ojnice se dále musely vybrat vhodné nástroje, aby byla zaručena maximální produktivita obrábění. Na frézování rovinných ploch a vrtání děr byly odzkoušeny nástroje od různých výrobců a byly zvoleny určité typy nástrojů, které se dnes na obrábění používají.

V následující části bude řešena problematika frézování a vrtání s cílem zkrátit jednotkový čas a tím snížit náklady na obrábění, které byly na stroji TOSHIBA BMC 50E příliš vysoké. Samozřejmě je nutné dodat, že cenová hladina stroje OKUMA MULTUS B750 je oproti stroji TOSHIBA BMC 50E odlišná, tak proto bylo nutné pro dané operace vypočítat strojní časy, aby bylo možné z těchto strojních časů vypočítat náklady a porovnat je s náklady na stroji TOSHIBA BMC 50E a zjistit jakého snížení jsme dosáhli při využití jiného strojního zařízení. Samozřejmě díky využití jiného strojního zařízení, které je vysoce produktivní jsme mohli uvolnit kapacitu stroji TOSHIBA BMC 50E, na kterém obrábění a vrtání ojnice bylo neproduktivní a v dnešní době jsou na něm obráběny dílce, které jsou pro tento stroj vhodné.

5.2.1 Strojní zařízení

OKUMA MULTUS B750 je inteligentní multifunkční stroj, který je schopen kompenzovat s mikronovou přesností a to dokonce v prostředí bez klimatizace, zatímco původní a jedinečný antikorozní systém CAS OKUMA zabraňuje a neustále bdí nad možností srážky díky možné lidské chybě. OKUMA MULTUS B750 je odolné, tuhé, inteligentní multifunkční monstrum. V Tab. 5.5 jsou uvedeny jednotlivé parametry stroje, na kterém frézování a vrtání probíhá.

Tab. 5.5 Parametry stroje [32].

Počet os	5
Maximální pohyb v osách X-Y-Z	1080 – 660 – 3215 mm
Osa C vřeteníku řízená	360° indexace po 0,001°
Osa B hlavního vřetena	210° indexace po 0,001°
Maximální průměr obrobku	1050 mm
Max délka obrobku	3000 mm
Výkon vřetene	22 kW
Maximální otáčky horního vřetena	40 – 10000 min ⁻¹
Otáčky vřeteníku	11 – 2000 min ⁻¹
Otáčky protivřeteníku	11 – 2000 min ⁻¹
Kuželová dutina pracovního vřetena	CAPTO C8
Maximální průměr nástroje	135 mm
Maximální hmotnost nástroje	30 kg
Maximální délka nástroje	600 mm
Hmotnost stroje	38000 kg



Obr. 5.5 OKUMA MULTUS B750.

5.2.2 Proces výroby

Tato kapitola je zaměřena technologii obrábění pravé a levé poloviny ojnice, kde je popsán zefektivněný proces obrábění v chronologickém členění, použité nástroje a jejich označení včetně uvedených řezných podmínek, které jsou uvedeny v Tab. 5.6, Tab. 5.7, Tab. 5.8 a Tab. 5.9.

Technologický postup pravé poloviny

1. frézovat plochu na boční straně ojnice vůči ose na rozměr 165,1 mm,
2. frézovat dělicí rovinu na rozměr $482,6^{+0,05}_{-0,05}$ mm k ose díry o $\varnothing 144,0^{+0,1}$ mm,
3. frézovat vybrání na rozměry 230,175 mm a 142,75 mm vůči dělicí rovině,
4. v dělicí rovině vrtat 4 otvory o $\varnothing 33$, $3 \pm 0,2$ mm do hloubky 95,25 mm a následně vrtat 4 otvory o $\varnothing 29,8$ mm až do vyfrézovaného vybrání a v těchto otvorech vyřezat 4 závitů $1\frac{1}{4}' - 12\text{UNF} - 3\text{B}$,
5. v dělicí rovině ojnice vrtat 2 otvory pro kolíky o $\varnothing 12,738^{+0}_{-0,012}$ mm do hloubky 15,75 mm,
6. na ofrézovaných plochách na boku ojnice vrtat 2 otvory o $\varnothing 7,8$ mm do hloubky 20,57 mm a následně je nutné ve vyvrtaných dírách vyřezat závit $3/8'' - 16\text{UNC} - 3\text{B}$ do hloubky 14,22 mm,
7. vrtat středový otvor $\varnothing 15,875$ mm,
8. frézovat dle řezu C - C zářez délky $10^{+0,7}_{-0,06}$ mm do hloubky 2,388 mm a šířky $12,7^{+0,07}_{-0,05}$ mm,
9. odhrotit hranu ve výběhu závitu a po obvodě řádně odjehlít, přenášet značení tavby + čísla výkovku (poř. č. SANBORN) vč. seznačení polovin.

Navrhované nástroje

Tab. 5.6 Navrhované nástroje [18,20,21,28,31,33,34,35].

Operace	Druh nástroje [mm]	Číselné označení	Výrobce	Destička Povrch. Úprava
1.1	Čelní fréza $\varnothing 89,5$	80A06R - S45OD06D	PRAMET	ODMT 0605ZZN; 8240
2.1	Čelní fréza $\varnothing 89,5$	80A06R - S45OD06D	PRAMET	ODMT 0605ZZN; 8240
3.1	Čelní fréza $\varnothing 89,5$	80A06R - S45OD06D	PRAMET	ODMT 0605ZZN; 8240
1.2	Dokončovací čelní fréza $\varnothing 84$	490 - 084C8 - 08M	SANDWICK	490R - 08T308M - PL
2.2	Dokončovací čelní fréza $\varnothing 125$	F90LN - D125 09 40 - L - N15	ISCAR	LNMT 1506 PN - N MM
3.2	Dokončovací čelní válcová fréza $\varnothing 20 - 55 \text{ SK R3,05}$	----	CARBIDE	----

4.1	Vrták Ø 32,5 - 170	KSEM325 - R3WN25M	KENNAME TAL	KSEM 325
4.2	Vrták Ø 29,8 - 150	KSEM298 - R3WN25M	KENNAME TAL	KSEM 298
4.3	Dokončovací vyvrtávací hlava Ø 33,3	A25 - R825A - AB146 - RA	SANDWICK	TCGT - 06T1 04L - K
4.4	Závitník 1 1/4" - 12UNF - 3B HSS - E	DIN 374, typ: N, tvar: B	GUHRING	----
5.1	Vrták Ø 12,5 - 52 HSS	DIN 1897, P, typ: N	GUHRING	Černěny
5.2	Výstružník Ø 12,738 – 38 SK	----	CARBIDE	----
6.1	Vrták Ø 7,8 - 37 HSS	DIN 1897, P, typ: N	GUHRING	Černěny
6.2	Závitník 3/8" - 16UNC - 3B HSS - E	DIN 371, typ: Ni, tvar: B	GUHRING	----
7.1	Vrták Ø 15,8 - 45 HSS	DIN 1897, P, typ: N	GUHRING	Černěny
7.2	Dokončovací čelní válcová fréza Ø 10 - 30 SK	----	CARBIDE	----
7.3	Dělový vrták Ø 15,875	Typ 01 - 000 01 - 152 - 000	BOTEK	01 - 0905 - 320
8	Kotoučová fréza Ø40	R335.18 - 2040.0 08.2N	SECO	050404PPTN4 - M06

Navrhované řezné podmínky

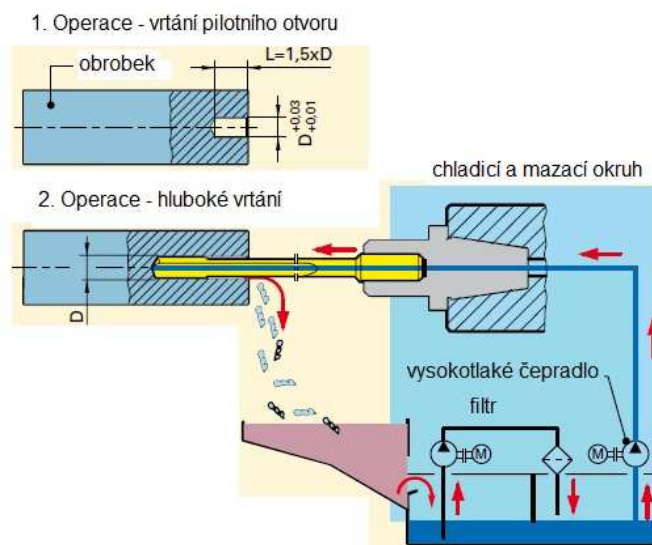
Tab. 5.7 Navrhované řezné podmínky [18,20,21,28,31,33,34,35].

Operace	Druh nástroje [mm]	Otáčky [min ⁻¹]	Posuvová rychlost [mm.min ⁻¹]
1.1	Čelní fréza Ø 89,5	500	450
2.1	Čelní fréza Ø 89,5	500	450
3.1	Čelní fréza Ø 89,5	500	450
1.2	Dokončovací čelní fréza Ø 84	600	288
2.2	Dokončovací čelní fréza Ø 125	600	324
3.2	Dokončovací čelní válcová fréza Ø 20 - 55 SK R3,05	900	144
4.1	Vrták Ø 32,5 - 170	450	135
4.2	Vrták Ø 29,8 - 150	800	240
4.3	Dokončovací vyvrtávací hlava Ø 33,3	1000	70
4.4	Závitník 1 1/4" - 12UNF - 3B HSS - E	60	127,02
5.1	Vrták Ø 12,5 - 52 HSS	760	76
5.2	Výstružník Ø 12,738 – 38 SK	200	48
6.1	Vrták Ø 7,8 - 37 HSS	1200	120

6.2	Závitník 3/8" -16UNC - 3B HSS - E	200	317,6
7.1	Vrták Ø 15,8 - 45 HSS	800	120
7.2	Dokončovací čelní válcová fréza Ø 10 - 30 SK	3000	400
7.3	Dělový vrták Ø 15,875 - 330	1300	91
8	Kotoučová fréza Ø 40	360	72

Na vrtání hlubokého otvoru v operaci 7 byl na obráběcím centru použit dělový vrták od společnosti BOTEK. Rozhodujícím kritériem pro nasazení dělového vrtáku na vrtání díry je dostatečně dimenzované čerpadlo chladicí kapaliny. Nejdůležitějším úkolem chladicí kapaliny je vyplavování třísek z místa řezu a vyvrtaného otvoru a následné mazání pro snížení tření nástroje ve vyvrtaném otvoru. Máme-li k dispozici vhodné obráběcí centrum a vhodný nástroj, je možné zahájit vrtání. Na Obr. 5.6 je zobrazen postup, který je nutný dodržet při hlubokém vrtání. Je nutné upozornit na to, že před počátkem použití dělového vrtáku je zapotřebí vytvořit pilotní otvor z důvodů vedení, protože jednobřitý dělový vrták nemá tu schopnost se sám zavrtat do materiálu. Pilotní otvor by měl být navrtán do hloubky $1,5 \times D$ a jeho průměr by měl být minimálně o 0,01 mm větší než skutečný průměr dělového vrtáku, maximálně však o 0,03 mm. Proto, aby pilotní otvor odpovídal předepsané toleranci, se nejprve vyvrtal otvor o Ø 15,8 mm a na dokončení pilotního otvoru v požadované toleranci se využilo pohybu interpolace dokončovací čelní válcové frézy. [36]

Samozřejmě je nutné dbát bezpečnostních pokynů při vrtání s dělovým vrtákem. Před vrtáním nástroj musí být bez otáček, resp. s velmi nízkými otáčkami n [50 min^{-1}] zaveden do pilotního otvoru a teprve pak je možné zapnout výplach a zvýšit otáčky na požadovanou hodnotu. Po dosažení vrtané hloubky je nutné nejprve vypnout přívod chladicího média a s nástrojem bez otáček nebo s velmi nízkými otáčkami vyjedeme z vyvrtaného otvoru. [36]



Obr. 5.6 Princip hlubokého vrtání [37].

Technologický postup levé poloviny

1. frézovat dělicí rovinu na rozměr 187,45 mm,
2. frézovat vybrání na rozměry 195,07 mm a 146,05 mm vůči dělicí rovině,
3. dělicí rovině vrtat 4 otvory o $\varnothing 33, 3 \pm 0,2$ mm skrz celou levou polovinu ojnice,
4. v dělicí rovině ojnice vrtat 2 otvory pro kolíky o $\varnothing 12,7^{+0}_{-0,012}$ mm do hloubky 12,7 mm,
5. na boku ojnice vrtat 3 otvory o $\varnothing 7,8$ mm do hloubky 20,57 mm a následně je nutné ve vyvrtaných otvorech vyřezat závity 3/8" - 16UNC - 3B do hloubky 14,22 mm,
6. frézovat dle řezu C - C zářez délky $10^{+0,7}_{-0,06}$ mm do hloubky 2,388 mm a šířky $12,7^{+0,07}_{-0,05}$ mm,
7. odhrotit hranu ve výběhu závitu a po obvodě řádně odjehlít, přenášet značení tavby + čísla výkovku (poř. č. SANBORN) vč. seznačení polovin.

Navrhované nástroje

Tab. 5.8 Navrhované nástroje [18,20,21,28,31,33,34].

Operace	Druh nástroje [mm]	Číselné označení	Výrobce	Destička Povrch. Úprava
1.1	Čelní fréza $\varnothing 89,5$	80A06R - S45OD06D	PRAMET	ODMT 0605ZZN; 8240
1.2	Dokončovací čelní fréza $\varnothing 125$	F90LN - D125 09 40 - L - N15	ISCAR	LNMT 1506 PN - N MM
2.1	Hrubovací válcová fréza $\varnothing 80$	80J5R146X50 - SAP15D80	PRAMET	APKX 1505PDSR; 8240
2.2	Dokončovací čelní válcová fréza $\varnothing 20 - 75$ SK R6,35	----	CARBIDE	----
3.1	Vrták $\varnothing 32,5 - 170$	KSEM325 - R3WN25M	KENNAME TAL	KSEM 325
3.2	Dokončovací vyvrtávací hlava $\varnothing 33,3$	A25 - R825A - AB146 - RA	SANDWICK	TCGT- 06T1 04L - K
4.1	Vrták $\varnothing 12,5 - 52$ HSS	DIN 1897, P, typ: N	GUHRING	Černěny
4.2	Výstružník $\varnothing 12,7 - 38$ SK	----	CARBIDE	----
5.1	Vrták $\varnothing 7,8 - 37$ HSS	DIN 1897, P, typ: N	GUHRING	Černěny
5.2	Závitník 3/8" - 16UNC - 3B HSS - E	DIN 371, typ: Ni, tvar: B	GUHRING	----
6	Kotoučová fréza $\varnothing 40$	R335.18 - 2040.0 08.2N	SECO	050404PPTN4 - M06

Navrhované řezné podmínky

Tab. 5.9 Navrhované řezné podmínky [18,20,21,28,31,33,34].

Operace	Druh nástroje [mm]	Otáčky [min ⁻¹]	Posuvová rychlost [mm.min ⁻¹]
1.1	Čelní fréza Ø 89,5	500	450
1.2	Dokončovací čelní fréza Ø 125	600	324
2.1	Hrubovací válcová fréza Ø 80	690	552
2.2	Dokončovací čelní válcová fréza Ø 20 - 75 SK R6,35	900	144
3.1	Vrták Ø 32,5 - 170	450	135
3.2	Dokončovací vyvrtávací hlava Ø 33,3	1000	70
4.1	Vrták Ø 12,5 - 52 HSS	760	76
4.2	Výstružník Ø 12,7 - 38 SK	200	48
5.1	Vrták Ø 7,8 - 37 HSS	1200	120
5.2	Závitník 3/8" -16UNC - 3B HSS - E	200	317,6
6	Kotoučová fréza Ø 40	360	72

5.2.3 Upínací přípravek a obrobek

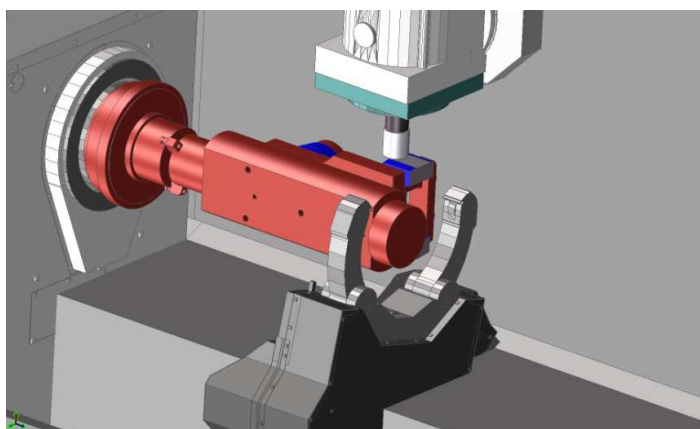
Jak již bylo uvedeno, OKUMA MULTUS B750 je soustružnické a frézovací centrum, takže stroj má dvě vřetena a nedisponuje žádným upínacím stolem, který je typický pro frézovací centra. Na základě provedených návrhu a následné spolupráci s pracovníky SANBORN, byl navrhnut jednoduchý upínací přípravek, který bude složit jako stůl pro upnutí ojnice. Pro jeho upnutí bude využito jedno vřeteno, kde bude upínací přípravek upnut a druhý konec upínacího přípravku bude zajištěn v lunetě. Pro provedení obrábění bočních stran ojnice bude možné natáčení přípravku do optimální pozice pro obrábění. Pro provedení obrábění bočních stran ojnice, bude umožněno natáčení přípravků do optimální pozice pro obrábění. Upínací přípravek s upnutou ojnici je zobrazen na Obr. 5.7.

Princip řešení upnutí ojnice na přípravku bude totožný s přípravkem, který se používal na stroji TOSHIBA BMC 50E. Ojnice bude nasazena na čep, který je vyroben na rozměr o $\varnothing 144^{+0,05}$ mm a díky tomu, že je díra z HORIZONTÁLNÍ VYVRTÁVAČKY VHN13 obrobena na rozměr o $\varnothing 144^{+0,1}$ mm, tak při obrábění vycházíme, že nulový bod pro obrobení dělicí roviny je v ose čepu. Zajištění ojnice na upínacím přípravku je stejné jak na stroji TOSHIBA BMC 50E a to z horní části upínkou a upínka je zabezpečena šrouby pevnostní třídy 10.



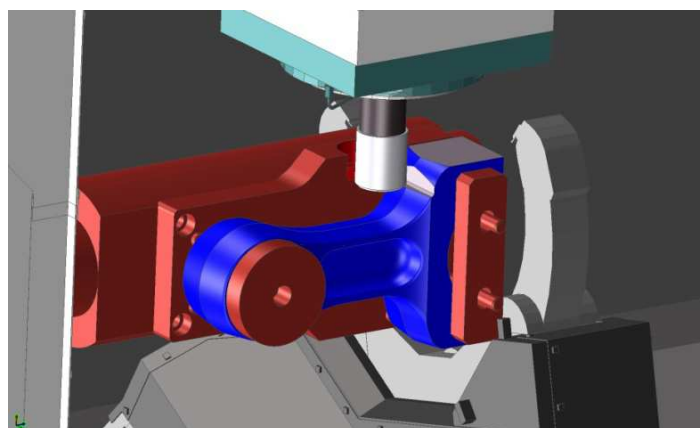
Obr. 5.7 Upnutá ojnice na upínacím přípravku.

Na Obr. 5.8 je zobrazen natočený upínací přípravek za účelem obrobení ojnice i na bočních stranách.



Obr. 5.8 Simulace frézování boční strany ojnice.

Na Obr. 5.9 je zobrazen průběh frézování bočního zářezu ojnice. Aby bylo možné frézovat zářez na požadovaný rozměr, opět musí dojít k natočení přípravku do pozice vhodné pro frézování zářezu.



Obr. 5.9 Simulace frézování zářezu ojnice.

5.2.4 Strojní časy po zavedení návrhu na zefektivnění

Při obrábění je maximální tloušťka třísky nejdůležitějším parametrem pro dosažení produktivního a spolehlivého obráběcího procesu. Efektivního průběhu obrábění je možné dosáhnout pouze tehdy, když hodnota toho parametru přesně odpovídá použitému typu frézy. [38]

Tenká tříska, která představuje nejčastěji příčinu nízké výkonnosti, má za následek nízkou produktivitu. To může negativním způsobem ovlivňovat životnost nástroje a utváření třísky. Příliš vysoká hodnota vede k přetížení břitu, což může způsobit jeho lom. [38]

Na frézování a vrtání ojnice byly zvoleny produktivní řezné podmínky za účelem dosažení co nejnižšího strojního času. Při frézování byla šířka záběru a_e [mm] volena až na 65% z hodnoty průměru frézy D_c [mm] za účelem maximální produktivity obrábění. Důležitou je také volba dráhy nástroje, protože umístěním frézy mimo osu obrobku dochází ke snížení tloušťky třísky na výstupu ze záběru a tím snížení sklonu k vibracím na minimum. [38]

Na základě provedených návrhu, byly vypočteny strojní časy, které jsou uvedeny v Tab. 5.10 a Tab. 5.11.

ČELNÍ FRÉZA

1 tříska:

$D = \varnothing 89,5$ mm, $z = 6$, $i = 2$, $f_z = 0,15$ mm, $n = 500$ min⁻¹, $v_f = 450$ mm.min⁻¹, $a_p = 3,2$ mm, $a_e = 45$ mm.

$$L = l_n + \frac{D}{2} + l + l_p - l_{pf} = 5 + \frac{89,5}{2} + 135 + 5 - 15 = 174,75 \text{ mm}$$

$$t_{as1,1} = \frac{L \times i}{f_z \times z \times n} = \frac{174,75 \times 2}{0,15 \times 9 \times 500} = 0,78 \text{ min}$$

Pozn.: při frézování boční plochy ojnice v první třísce fréza koná jen dva záběry ve střední části ojnice z důvodu úkosu, které jsou na bočních stranách ojnice za účelem lepšího vyjmutí ojnice ze zápustek. Tento proces je z důvodu srovnání plochy, která se obrábí a aby šířka záběru ostří frézy nebyla na začátku frézování 0,5 mm a ve středu frézování ojnice 7 mm. Tento proces obrábění je zobrazen na Obr. 5.8.

2 tříska:

$D = \varnothing 89,5$ mm, $z = 6$, $i = 3$, $f_z = 0,15$ mm, $n = 500$ min⁻¹, $v_f = 450$ mm.min⁻¹, $a_p = 3,0$ mm, $a_e = 45$ mm.

$$L = l_n + \frac{D}{2} + l + l_p - l_{pf} = 5 + \frac{89,5}{2} + 135 + 5 - 15 = 174,75 \text{ mm}$$

$$t_{as1,1} = \frac{L \times i}{f_z \times z \times n} = \frac{174,75 \times 3}{0,15 \times 9 \times 500} = 1,16 \text{ min}$$

3 tříška:

$D = \varnothing 89,5 \text{ mm}$, $z = 6$, $i = 3$, $f_z = 0,15 \text{ mm}$, $n = 500 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 450 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $a_p = 3,0 \text{ mm}$, $a_e = 45 \text{ mm}$.

$$L = l_n + \frac{D}{2} + l + l_p - l_{pf} = 5 + \frac{89,5}{2} + 135 + 5 - 15 = 174,75 \text{ mm}$$

$$t_{as1,1} = \frac{L \times i}{f_z \times z \times n} = \frac{174,75 \times 3}{0,15 \times 9 \times 500} = 1,16 \text{ min}$$

DOKONČOVACÍ ČELNÍ FRÉZA

$D = \varnothing 84 \text{ mm}$, $z = 8$, $i = 3$, $f_z = 0,06 \text{ mm}$, $n = 600 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 288 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $a_p = 0,3 \text{ mm}$, $a_e = 45 \text{ mm}$.

$$L = l_n + D + l + l_p = 5 + 84 + 135 + 5 = 229 \text{ mm}$$

$$t_{as1,2} = \frac{L \times i}{f_z \times z \times n} = \frac{229 \times 3}{0,06 \times 8 \times 600} = 2,39 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas na frézování bočních ploch ojnice.

$$t_{as1} = 2 \times (t_{as1,1} + t_{as1,1} + t_{as1,1} + t_{as1,2}) = 2 \times (0,78 + 2 \times 1,16 + 2,39) = \underline{10,98 \text{ min}}$$

ČELNÍ FRÉZA

$D = \varnothing 89,5 \text{ mm}$, $z = 6$, $i = 1$, $f_z = 0,15 \text{ mm}$, $n = 500 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 450 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $a_p = 2 \text{ mm}$, $a_e = 55 \text{ mm}$.

$$L = l_n + \frac{D}{2} + l + l_p - l_{pf} = 5 + \frac{89,5}{2} + 128 + 5 - 25 = 157,75 \text{ mm}$$

$$t_{as2,1} = \frac{L}{f_z \times z \times n} = \frac{157,75}{0,15 \times 9 \times 500} = 0,35 \text{ min}$$

DOKONČOVACÍ ČELNÍ FRÉZA

$D = \varnothing 125 \text{ mm}$, $z = 9$, $i = 2$, $f_z = 0,06 \text{ mm}$, $n = 600 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 324 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $a_p = 0,2 \text{ mm}$, $a_e = 65 \text{ mm}$.

$$L = l_n + D + l + l_p = 5 + 125 + 55 + 5 = 190 \text{ mm}$$

$$t_{as2,2} = \frac{L \times i}{f_z \times z \times n} = \frac{190 \times 2}{0,06 \times 9 \times 600} = 1,18 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas na frézování dělicí roviny ojnice.

$$t_{as2} = 2 \times (t_{as2,1} + t_{as2,2}) = 2 \times (0,35 + 1,18) = \underline{3,06 \text{ min}}$$

ČELNÍ FRÉZA

$D = \varnothing 89,5 \text{ mm}$, $z = 6$, $i = 11$, $f_z = 0,15 \text{ mm}$, $n = 500 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 450 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $a_p = 3,2 \text{ mm}$, $a_e = 4 - 23 \text{ mm}$.

$$L = l_n + \frac{D}{2} + l + l_p - l_{pf} = 5 + \frac{89,5}{2} + 128 + 5 - 25 = 157,75 \text{ mm}$$

$$t_{as3,1} = \frac{L \times i}{f_z \times z \times n} = \frac{157,75 \times 11}{0,15 \times 6 \times 500} = 3,85 \text{ min}$$

DOKONČOVACÍ ČELNÍ VÁLCOVÁ FRÉZA

$D = \varnothing 20 \text{ mm}$, $z = 4$, $i = 3$, $f_z = 0,04 \text{ mm}$, $n = 900 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 144 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $a_p = 0,4 \text{ mm}$, $a_e = 15 \text{ mm}$.

$$L = l_n + D + l + l_p = 3 + 20 + 128 + 3 = 154 \text{ mm}$$

$$t_{as3,2} = \frac{L \times i}{f_z \times z \times n} = \frac{154 \times 3}{0,04 \times 4 \times 900} = 3,21 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas na frézování vybrání ojnice.

$$t_{as3} = 2 \times (t_{as3,1} + t_{as3,2}) = 2 \times (3,85 + 3,21) = \underline{14,12 \text{ min}}$$

VRTÁK

$D = \varnothing 32,5 \text{ mm}$, $f_{ot} = 0,3 \text{ mm}$, $n = 450 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 135 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 95,25 + 0 = 98,25 \text{ mm}$$

$$t_{as4,1} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{98,25}{0,3 \times 450} = 0,72 \text{ min}$$

VRTÁK

$D = \varnothing 29,8 \text{ mm}$, $f_{ot} = 0,3 \text{ mm}$, $n = 800 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 240 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 47,5 + 3 = 53,5 \text{ mm}$$

$$t_{as4,2} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{53,5}{0,3 \times 800} = 0,23 \text{ min}$$

DOKONČOVACÍ VYVRTÁVACÍ HLAVA

$D = \varnothing 33,3 \text{ mm}$, $f_{ot} = 0,07 \text{ mm}$, $n = 1000 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 70 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 95,25 + 0 = 98,25 \text{ mm}$$

$$t_{as4,3} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{98,25}{0,07 \times 1000} = 1,4 \text{ min}$$

ZÁVITNÍK

$$f_{ot} = 2,117 \text{ mm}, n = 60 \text{ min}^{-1}, v_f = 127,02 \text{ mm.min}^{-1}.$$

$$L = l_n + l + l_p = 2 + 47,5 + 2 = 51,5 \text{ mm}$$

$$t_{as4,4} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{51,5}{2,117 \times 60} = 0,41 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas vrtání otvorů o Ø 32,5 mm a řezání závitů.

$$t_{as4} = 4 \times (t_{as4,1} + t_{as4,2} + t_{as4,3} + t_{as4,4}) = 4 \times (0,72 + 0,23 + 1,4 + 0,41) = 11,04 \text{ min}$$

VRTÁK

$$D = \text{Ø } 12,5 \text{ mm}, f_{ot} = 0,1 \text{ mm}, n = 760 \text{ min}^{-1}, v_f = 76 \text{ mm.min}^{-1}.$$

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 15,75 + 0 = 18,75 \text{ mm}$$

$$t_{as5,1} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{18,75}{0,1 \times 760} = 0,25 \text{ min}$$

VÝSTRUŽNÍK

$$D = \text{Ø } 12,738 \text{ mm}, f_{ot} = 0,24 \text{ mm}, n = 200 \text{ min}^{-1}, v_f = 48 \text{ mm.min}^{-1}.$$

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 15,75 + 0 = 18,75 \text{ mm}$$

$$t_{as5,2} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{18,75}{0,24 \times 200} = 0,39 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas na vrtání otvorů o Ø 12,738 mm.

$$t_{as5} = 2 \times (t_{as5,1} + t_{as5,2}) = 2 \times (0,25 + 0,39) = 1,28 \text{ min}$$

VRTÁK

$$D = \text{Ø } 7,8 \text{ mm}, f_{ot} = 0,1 \text{ mm}, n = 1200 \text{ min}^{-1}, v_f = 120 \text{ mm.min}^{-1}.$$

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 20,57 + 0 = 26,57 \text{ mm}$$

$$t_{as6,1} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{26,57}{0,1 \times 1200} = 0,22 \text{ min}$$

ZÁVITNÍK

$$f_{ot} = 1,588 \text{ mm}, n = 200 \text{ min}^{-1}, v_f = 317,6 \text{ mm.min}^{-1}.$$

$$L = l_n + l + l_p = 2 + 14,22 + 0 = 16,22 \text{ mm}$$

$$t_{as6,2} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{16,22}{1,588 \times 200} = 0,06 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas na vrtání otvoru o Ø 7,8 mm a řezání závitů.

$$t_{as6} = 2 \times (t_{as6,1} + t_{as6,2}) = 2 \times (0,22 + 0,06) = 0,56 \text{ min}$$

VRTÁK

$D = \varnothing 15,8 \text{ mm}$, $f_{ot} = 0,15 \text{ mm}$, $n = 800 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 120 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 1,5 \times 15,8 + 0 = 26,7 \text{ mm}$$

$$t_{as7,1} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{26,7}{0,15 \times 800} = 0,23 \text{ min}$$

DOKONČOVACÍ ČELNÍ VÁLCOVÁ FRÉZA

$D = \varnothing 10 \text{ mm}$, $z = 4$, $f_z = 0,033 \text{ mm}$, $n = 3000 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Stoupání šroubovice = 5 mm.

$$L = (l_n + l) \times (\pi \times D) = \frac{(1 + 26,7) \times (\pi \times 15,9)}{5} = 276,7 \text{ mm}$$

$$t_{as7,2} = \frac{L}{f_z \times z \times n} = \frac{276,7}{0,033 \times 4 \times 3000} = 0,69 \text{ min}$$

DĚLOVÝ VRTÁK

$D = \varnothing 15,875 \text{ mm}$, $f_{ot} = 0,07 \text{ mm}$, $n = 1300 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 91 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 1 + 301 + 6 = 308 \text{ mm}$$

$$t_{as7,3} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{308}{0,07 \times 1300} = 3,39 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas na vrtání otvoru o $\varnothing 15,875 \text{ mm}$.

$$t_{as7} = (t_{as7,1} + t_{as7,2} + t_{as7,3}) = (0,23 + 0,69 + 3,39) = \underline{4,31 \text{ min}}$$

KOTOUČOVÁ FRÉZA

$D = \varnothing 40 \text{ mm}$, $z = 4$, $n = 360 \text{ min}^{-1}$, $f_{ot} = 0,2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, $v_f = 72 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Tento strojní čas byl změřen během obrábění: $t_{as8} = \underline{1,25 \text{ min}}$

Výsledný strojní čas na frézování a vrtání pravé poloviny ojnice.

$$\begin{aligned} t_{as} &= t_{as1} + t_{as2} + t_{as3} + t_{as4} + t_{as5} + t_{as6} + t_{as7} + t_{as8} = \\ &= 10,98 + 3,06 + 14,12 + 11,04 + 1,28 + 0,56 + 4,31 + 1,25 = \underline{47 \text{ min}} \end{aligned}$$

ČELNÍ FRÉZA

$D = \varnothing 89,5 \text{ mm}$, $z = 6$, $i = 1$, $f_z = 0,15 \text{ mm}$, $n = 500 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 450 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $a_p = 2 \text{ mm}$, $a_e = 55 \text{ mm}$.

$$L = l_n + \frac{D}{2} + l + l_p - l_{pf} = 5 + \frac{89,5}{2} + 128 + 5 - 25 = 157,75 \text{ mm}$$

$$t_{as1,1} = \frac{L}{f_z \times z \times n} = \frac{157,75}{0,15 \times 6 \times 500} = 0,35 \text{ min}$$

DOKONČOVACÍ ČELNÍ FRÉZA

$D = \varnothing 125 \text{ mm}$, $z = 9$, $i = 2$, $f_z = 0,06 \text{ mm}$, $n = 600 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 324 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $a_p = 0,2 \text{ mm}$, $a_e = 65 \text{ mm}$.

$$L = l_n + D + l + l_p = 5 + 125 + 55 + 5 = 190 \text{ mm}$$

$$t_{as1,2} = \frac{L \times i}{f_z \times z \times n} = \frac{190 \times 2}{0,06 \times 9 \times 600} = 1,18 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas na frézování dělicí roviny ojnice.

$$t_{as1} = 2 \times (t_{as1,1} + t_{as1,2}) = 2 \times (0,35 + 1,18) = \underline{3,06 \text{ min}}$$

HRUBOVACÍ VÁLCOVÁ FRÉZA

$D = \varnothing 80 \text{ mm}$, $z = 5$, počet vyměnitelných břitových destiček 30, $i = 1$, $f_z = 0,15 \text{ mm}$,
 $n = 690 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 517,5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, $a_p = 76,5 \text{ mm}$, $a_e = 11 \text{ mm}$.

$$L = l_n + \frac{D}{2} + l + l_p - l_{pf} = 5 + \frac{80}{2} + 128 + 5 - 20 = 158 \text{ mm}$$

$$t_{as2,1} = \frac{L}{f_z \times z \times n} = \frac{158}{0,15 \times 5 \times 690} = 0,31 \text{ min}$$

DOKONČOVACÍ ČELNÍ VÁLCOVÁ FRÉZA

$D = \varnothing 20 \text{ mm}$, $z = 4$, $i = 3$, $f_z = 0,04 \text{ mm}$, $n = 900 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 144 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,
 $a_p = 0,4 \text{ mm}$, $a_e = 9 \text{ mm}$.

$$L = l_n + D + l + l_p = 3 + 20 + 128 + 3 = 154 \text{ mm}$$

$$t_{as2,2} = \frac{L \times i}{f_z \times z \times n} = \frac{154 \times 3}{0,04 \times 4 \times 900} = 3,21 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas na frézování vybrání ojnice.

$$t_{as2} = 2 \times (t_{as2,1} + t_{as2,2}) = 2 \times (0,31 + 3,21) = \underline{7,04 \text{ min}}$$

VRTÁK

$D = \varnothing 32,5 \text{ mm}$, $f_{ot} = 0,3 \text{ mm}$, $n = 450 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 135 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$L = l_n + l + l_p = 3 + 146,05 + 0 = 152,25 \text{ mm}$

$$t_{as3,1} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{152,05}{0,3 \times 450} = 1,13 \text{ min}$$

DOKONČOVACÍ VYVRTÁVACÍ HLAVA

$D = \varnothing 33,3 \text{ mm}$, $f_{ot} = 0,07 \text{ mm}$, $n = 1000 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 70 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$L = l_n + l + l_p = 3 + 146,05 + 0 = 152,05 \text{ mm}$

$$t_{as3,2} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{152,05}{0,07 \times 1000} = 2,18 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas vrtání otvorů o $\varnothing 32,5 \text{ mm}$.

$$t_{as3} = 4 \times (t_{as3,1} + t_{as3,2}) = 4 \times (1,13 + 2,18) = \underline{13,24 \text{ min}}$$

VRTÁK

$D = \varnothing 12,5 \text{ mm}$, $f_{ot} = 0,1 \text{ mm}$, $n = 760 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 76 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$L = l_n + l + l_p = 3 + 12,7 + 0 = 15,7 \text{ mm}$

$$t_{as4,1} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{15,7}{0,1 \times 760} = 0,21 \text{ min}$$

VÝSTRUŽNÍK

$D = \varnothing 12,7 \text{ mm}$, $f_{ot} = 0,24 \text{ mm}$, $n = 200 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 48 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$L = l_n + l + l_p = 3 + 12,7 + 0 = 15,7 \text{ mm}$

$$t_{as4,2} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{15,7}{0,24 \times 200} = 0,33 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas na vrtání otvorů o $\varnothing 12,738 \text{ mm}$.

$$t_{as4} = 2 \times (t_{as4,1} + t_{as4,2}) = 2 \times (0,21 + 0,33) = \underline{1,08 \text{ min}}$$

VRTÁK

$D = \varnothing 7,8 \text{ mm}$, $f_{ot} = 0,1 \text{ mm}$, $n = 1200 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 120 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$L = l_n + l + l_p = 3 + 20,57 + 0 = 26,57 \text{ mm}$

$$t_{as5,1} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{26,57}{0,1 \times 1200} = 0,22 \text{ min}$$

ZÁVITNÍK

$$f_{ot} = 1,588 \text{ mm}, n = 200 \text{ min}^{-1}, v_f = 317,6 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}.$$

$$L = l_n + l + l_p = 2 + 14,22 + 0 = 16,22 \text{ mm}$$

$$t_{as5,2} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{16,22}{1,588 \times 200} = 0,06 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas vrtání otvoru o Ø 7,8 mm a řezání závitů.

$$t_{as5} = 2 \times (t_{as5,1} + t_{as5,2}) = 3 \times (0,22 + 0,06) = \underline{0,84 \text{ min}}$$

KOTOUČOVÁ FRÉZA

$$D = \text{Ø } 40 \text{ mm}, z = 4, n = 360 \text{ min}^{-1}, f_{ot} = 0,2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}, v_f = 72 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}.$$

Tento strojní čas byl změřen během obrábění: $t_{as6} = \underline{1,25 \text{ min}}$

Výsledný strojní čas na frézování a vrtání levé poloviny ojnice.

$$t_{as} = t_{as1} + t_{as2} + t_{as3} + t_{as4} + t_{as5} + t_{as6} =$$

$$= 3,06 + 7,04 + 13,24 + 1,08 + 0,84 + 1,25 = \underline{27 \text{ min}}$$

Tab. 5.10 Strojní čas po zefektivnění.

Provedené operace	Strojní čas [min]
1. Frézování bočních ploch ojnice	10,98
2. Frézování dělicí roviny ojnice	3,06
3. Frézování vybrání ojnice	14,12
4. Vrtání otvorů Ø 32,5 mm a řezání závitů v dělicí rovině	11,04
5. Vrtání otvorů Ø 12,738 mm v dělicí rovině	1,28
6. Vrtání otvorů Ø 7,8 mm a řezání závitu na boku ojnice	0,56
7. Vrtání středového otvoru Ø 15,875 mm	4,31
8. Frézování zářezu	1,25
Celkem Σ	47

Tab. 5.11 Strojní čas po zefektivnění.

Provedené operace	Strojní čas [min]
1. Frézování dělicí roviny ojnice	3,06
2. Frézování vybrání ojnice	7,04
3. Vrtání otvorů Ø 32,5 mm v dělicí rovině	13,24
4. Vrtání otvorů Ø 12,738 mm v dělicí rovině	1,08
5. Vrtání otvorů Ø 7,8 mm a řezání závitu na boku ojnice	0,84
6. Frézování zářezu	1,25
Celkem Σ	27



Obr. 5.10 Strojní čas před a po zefektivnění.

Změnou technologie obrábění, rezných nástrojů a využitím produktivního strojního zařízení mělo zásadní vliv na urychlení obrábění ojnice. Vliv provedených změn na jednotkový čas je shrnutý v Tab. 5.12 a zobrazen na Obr. 5.11.

Tab. 5.12 Jednotkový čas před a po zefektivnění.

	Jednotkový čas [min]	Strojní čas [min]	Vedlejší čas [min]
Původní stav	830	640	190
Inovovaný stav	204	74	130



Obr. 5.11 Jednotkový čas před a po zefektivnění.

5.3 Zefektivnění frézování – HURCO WMX 42

Při obrábění byly v původním stavu na finální obrobení ojnice využívány dva obráběcí stroje HURCO WMX 64 a HURCO WMX 42. Podle mého názoru je neefektivní využívat dva obráběcí stroje z důvodu, že na prvním stroji byly frézovány čela ojnice na rozměr 120,65 mm a následné dokončení děr bylo provedeno na druhém stroji, kde bylo nutné ojnice znova upnout a vyrovnat. Z toho lze usoudit, že upínání ojnice muselo být realizováno celkem třikrát.

Můj návrh spočívá v tom, že k finálnímu obrobení ojnice se využije pouze jeden obráběcí stroj, na kterém jsou provedeny všechny operace, a upnutí ojnice bude realizováno pouze dvakrát. Nebude zapotřebí ojnice celkově třikrát upínat jako v původním obráběcím stavu, protože při dokončování čela ojnice na rozměr 120,65 mm máme ojnice zcela zajištěnou a následně můžeme obrábět díry.

Další zefektivnění, které bych navrhnul implementovat do výroby, je použití jiných řezných nástrojů na hrubování děr. K hrubování byla v původním obráběcím stavu využívána fréza SECO, kde na vyhrubování byla využívána interpolace frézy, což dle mého názoru bylo značně časově zdlouhavé a z toho důvodů lze také usoudit, že strojní čas je tak vysoký. Dle mého návrhu by bylo vhodné použít hrubovací vyvrtávací hlavu od společnosti ISCAR. Jde o stejné hrubovací hlavy, které se využívají na HORIZONTÁLNÍ VYVRTÁVAČCE VHN13. Výsledný strojní čas bude mnohonásobně kratší z důvodů nastavení patřičného průměru na dané hrubovací hlavě a tím následného obrábění díry na požadovaný průměr a to bez nutnosti interpolace jako v původním obráběcím stavu.

5.3.1 Proces výroby

Tato kapitola je zaměřena na dokončení obrábění ojnice, kde je popsán proces obrábění v chronologickém členění, použité nástroje a jejich označení včetně uvedených řezných podmínek, které jsou uvedeny v Tab. 5.13 a Tab. 5.14.

Technologický postup

1. frézovat tloušťku ojnice na rozměr 120,65 mm hotově dle výkresu, ale tento rozměr je nutné dodržet pouze u díry o $\varnothing 146,0^{+0,05}$ mm,
2. dokončit otvory na $\varnothing 222,25^{+0,05}$ mm v předepsané toleranci,
3. dokončit otvory na $\varnothing 146,0^{+0,05}$ mm v předepsané toleranci,
4. přenášet značení tavby + čísla výkovku (poř. č. SANBORN) vč. seznačení polovin.

Navrhované nástroje

Tab. 5.13 Navrhované nástroje [18,28].

Operace	Druh nástroje [mm]	Číselné označení	Výrobce	Destička
1.1	Čelní fréza $\varnothing 169,5$	160C09R - S45OD06D	PRAMET	ODMT 0605ZZN; 8240
1.2	Dokončovací rovinná fréza $\varnothing 50$	50A06R - S90SO09	PRAMET	SOMT 09T304 - MI; 8240

2.1	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 221,8	TCH MB200 200x300	ISCAR	CCMT 120408E - UR; 9230
2.2	Dokončovací vyvrtávací hlava Ø 222,25 ^{+0,05}	BMF MB 80 - 80x94	ISCAR	TPGX 110304 - L, IC908
3.1	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 145,6	BHR MB80 80x140	ISCAR	CCMT 120408E - UR; 9230
3.2	Dokončovací vyvrtávací hlava Ø 146,0 ^{+0,05}	BMF MB 80 - 80x94	ISCAR	TPGX 110304 - L, IC908

Navrhované řezné podmínky

Tab. 5.14 Navrhované řezné podmínky [18,28].

Operace	Druh nástroje [mm]	Otáčky [min ⁻¹]	Posuvová rychlost [mm.min ⁻¹]
1.1	Čelní fréza Ø 169,5	330	445,5
1.2	Dokončovací rovinná fréza Ø 50	850	510
2.1	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 221,8	330	49,5
2.2	Dokončovací vyvrtávací hlava Ø 222,25 ^{+0,05}	250	23
3.1	Hrubovací vyvrtávací hlava Ø 145,6	400	60
3.2	Dokončovací vyvrtávací hlava Ø 146,0 ^{+0,05}	300	25

5.3.2 Strojní časy po zavedení návrhu na zefektivnění

Na základě provedených návrhu, byly vypočteny strojní časy, které jsou uvedeny v Tab. 5.15.

ČELNÍ FRÉZA

$D = \varnothing 169,5 \text{ mm}$, $z = 9$, $i = 2$, $f_z = 0,15 \text{ mm}$, $n = 330 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 445,5 \text{ mm.min}^{-1}$, $a_p = 2,9 \text{ mm}$, $a_e = 100 \text{ mm}$.

$$L = l_n + \frac{D}{2} + l + \frac{D}{2} + l_p - l_{pf} = 5 + \frac{169,5}{2} + 200 + 5 - 30 = 264,75 \text{ mm}$$

$$t_{AS1,1} = \frac{L \times i}{f_z \times z \times n} = \frac{264,75 \times 2}{0,15 \times 9 \times 330} = 1,19 \text{ min}$$

DOKONČOVACÍ ROVINNÁ FRÉZA

$D = \varnothing 50 \text{ mm}$, $z = 6$, $i = 1$, $f_z = 0,1 \text{ mm}$, $n = 850 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 510 \text{ mm.min}^{-1}$, $a_p = 0,375 \text{ mm}$, $a_e = 50 \text{ mm}$.

Na dokončení čela ojnice bude využita interpolace frézy po kruhové dráze. Fréza najede do záběru a následně bude konat posuv po obvodu kružnice, za účelem frézování čela ojnice na požadovaný rozměr.

$$L = l_n + (\pi \times D) + l_p = 10 + (\pi \times 190) + 5 = 612 \text{ mm}$$

$$t_{AS1,2} = \frac{L}{f_z \times z \times n} = \frac{612}{0,1 \times 6 \times 850} = 1,2 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas na frézování čela na rozměr 120,65 mm oboustranně.

$$t_{AS1} = 2 \times (t_{AS1,1} + t_{AS1,2}) = 2 \times (1,19 + 1,2) = \underline{4,78 \text{ min}}$$

HRUBOVACÍ VYVRTÁVACÍ HLAVA

$D = \varnothing 221,8 \text{ mm}$, $z = 2$, $i = 1$, $f_{ot} = 0,15 \text{ mm}$, $n = 330 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 49,5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 127,2 + 3 = 133,2 \text{ mm}$$

$$t_{AS2,1} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{133,2}{0,15 \times 330} = 2,7 \text{ min}$$

DOKONČOVACÍ VYVRTÁVACÍ HLAVA

$D = \varnothing 222,25^{+0,05} \text{ mm}$, $z = 1$, $i = 1$, $f_{ot} = 0,092 \text{ mm}$, $n = 250 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 23 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 127,2 + 3 = 133,2 \text{ mm}$$

$$t_{AS2,2} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{133,2}{0,092 \times 250} = 5,79 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas na dokončení otvoru o $\varnothing 222,25^{+0,05} \text{ mm}$.

$$t_{AS2} = t_{AS2,1} + t_{AS2,2} = 2,7 + 5,79 = \underline{8,49 \text{ min}}$$

HRUBOVACÍ VYVRTÁVACÍ HLAVA

$D = \varnothing 145,6 \text{ mm}$, $z = 2$, $i = 1$, $f_{ot} = 0,15 \text{ mm}$, $n = 400 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 60 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 120,65 + 3 = 126,65 \text{ mm}$$

$$t_{AS3,1} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{126,65}{0,15 \times 400} = 2,11 \text{ min}$$

DOKONČOVACÍ VYVRTÁVACÍ HLAVA

$D = \varnothing 146,0^{+0,05} \text{ mm}$, $z = 1$, $i = 1$, $f_{ot} = 0,083 \text{ mm}$, $n = 300 \text{ min}^{-1}$, $v_f = 25 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$L = l_n + l + l_p = 3 + 120,65 + 3 = 126,65 \text{ mm}$$

$$t_{AS3,2} = \frac{L}{f_{ot} \times n} = \frac{126,65}{0,083 \times 300} = 5,06 \text{ min}$$

Výsledný strojní čas na dokončení otvoru o $\varnothing 146,0^{+0,05} \text{ mm}$.

$$t_{AS3} = t_{AS3,1} + t_{AS3,2} = 2,11 + 5,06 = \underline{7,17 \text{ min}}$$

Výsledný strojní čas na finální obrobení ojnice.

$$t_{AS} = t_{AS1} + t_{AS2} + t_{AS3} = 4,78 + 8,49 + 7,17 = \underline{21 \text{ min}}$$

Tab. 5.15 Strojní čas po zefektivnění.

Provedené operace	Strojní čas [min]
1. Frézování čela na rozměr 120,65 mm oboustranně	4,78
2. Obrábění otvoru na rozměr o $\varnothing 222,25^{+0,05}$ mm	8,49
3. Obrábění otvoru na rozměr o $\varnothing 146,0^{+0,05}$ mm	7,17
Celkem Σ	21



Obr. 5.12 Strojní čas před a po zefektivnění.

Změnou technologie obrábění, řezných nástrojů a využitím jednoho strojního zařízení mělo významný vliv na snížení strojního a vedlejšího času. Vliv provedených změn na jednotkový čas je shrnutý v Tab. 5.16 a zobrazen na Obr. 5.13.

Tab. 5.16 Jednotkový čas před a po zefektivnění.

	Jednotkový čas [min]	Strojní čas [min]	Vedlejší čas [min]
Původní stav	375	185	190
Inovovaný stav	161	21	140



Obr. 5.13 Jednotkový čas před a po zefektivnění.

6 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ TECHNOLOGIÍ

Změnou technologického postupu, využití nových řezných nástrojů na obrábění a produktivního obráběcího stroje, který je součástí strojového parku společnosti SANBORN a.s., došlo k výraznému snížení jednotkových časů a tím i výrobních nákladů na obrobení ojnice.

Největší ekonomická úspora byla zaznamenána při přesunu obrábění pravé a levé poloviny ojnice ze stroje TOSHIBA BMC 50E na soustružnické a frézovací centrum OKUMA MULTUS B750, který společnost zakoupila již dříve v rámci modernizace strojového parku na výrobu dílu pro energetiku a petrochemii. Použitím tohoto multifunkčního obráběcí centra se výrazně sníží jednotkový čas a náklady na obrobení, které se následně projeví v celkových nákladech na kompletní vyhotovení ojnice.

6.1 Jednotkové časy před a po zefektivnění

V Tab. 6.1 jsou uvedené jednotkové časy, které charakterizují jednotlivé operace související s obráběním ojnice, její montáží dle původní a nové technologie. Na Obr. 6.1 je uveden porovnání jednotkového času před a po zefektivnění.

Tab. 6.1 Jednotkový čas.

Provedené operace	Jednotkový čas [min] Původní technologie	Jednotkový čas [min] Nová technologie
Práce rýsovačské	30	30
Frézování – HORIZONTÁLNÍ VYVRTÁVAČKA	425	275
Broušení – Bruska rovinná svislá	215	215
Řezání – Pásová pila	60	60
Frézování, vrtání – TOSHIBA, OKUMA MULTUS	830	204
Frézování – HURCO	375	161
Zámečnické a montážní práce	315	315
Celkem Σ	2250	1260



Obr. 6.1 Jednotkový čas před a po zefektivnění.

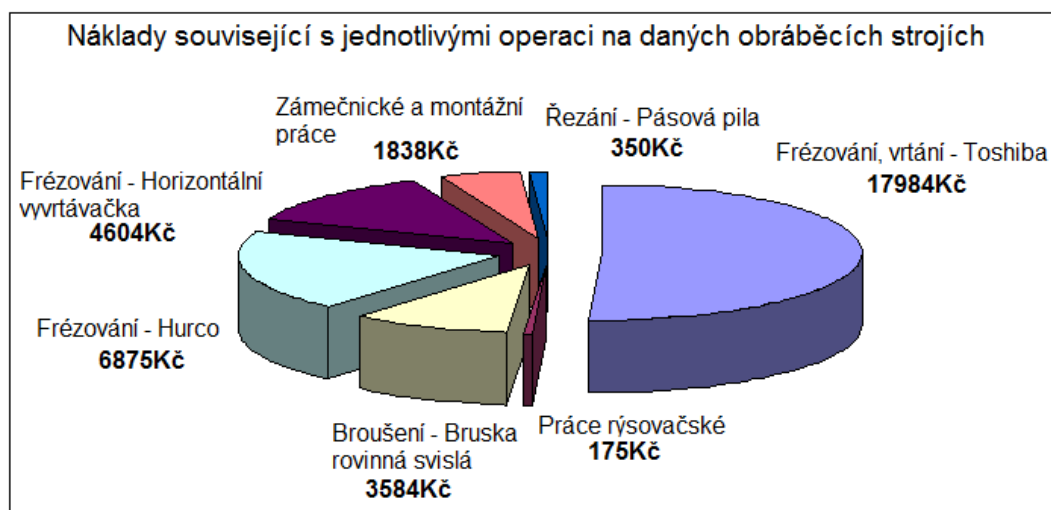
6.2 Výrobní náklady na výrobu jednoho kusu ojnice

Dalším důležitým ukazatel, na kterém je možné zefektivnění zobrazit, jsou náklady spojené s obráběním a montáží ojnice. Náklady na výrobu jednoho kusu ojnice stanovené na původní a novou technologii jsou zobrazeny v Tab. 6.2 a Tab. 6.3.

Tab. 6.2 Výrobní náklady původní technologie [39].

Provedené operace	Sazba [Kč.hod ⁻¹]	Jednotkový čas [min]	Cena [Kč]
Práce rýsovačské	350	30	175
Frézování – Horizontální vyvrtávačka	650	425	4604
Broušení – Bruska rovinná svislá	1000	215	3584
Řezání – Pásová pila	350	60	350
Frézování, vrtání – Toshiba	1300	830	17984
Frézování – Hurco	1100	375	6875
Zámečnické a montážní práce	350	315	1838
Celkem Σ	x	x	35410

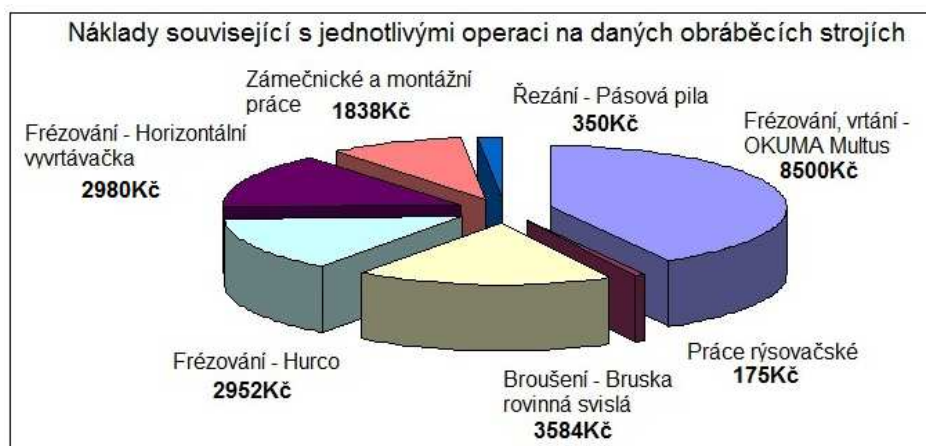
Z Tab. 6.2 je patrné, finančně nejnáročnější se jeví pracovní úkony, které jsou realizované na HORIZONTÁLNÍ VYVRTÁVAČCE, obráběcím stroji TOSHIBA a na dvou obráběcích strojích HURCO. Na Obr. 6.2 a Obr. 6.3 jsou zobrazeny náklady původní a nové technologie, které souvisí s jednotlivými operacemi na daných obráběcích strojích.



Obr. 6.2 Výrobní náklady původní technologie.

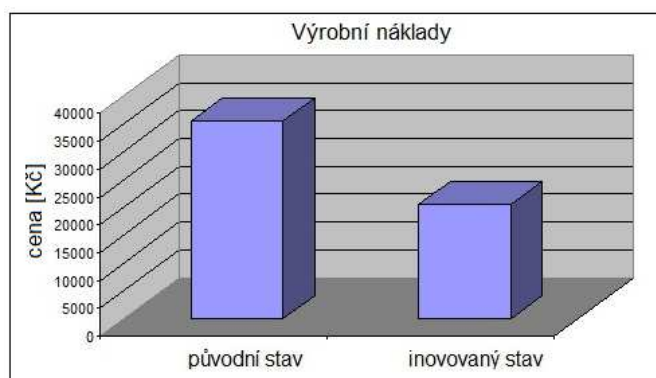
Tab. 6.3 Výrobní náklady nové technologie [39].

Provedené operace	Sazba [Kč.hod ⁻¹]	Jednotkový čas [min]	Cena [Kč]
Práce rýsovačské	350	30	175
Frézování – HORIZONTÁLNÍ VYVRTÁVAČKA	650	275	2980
Broušení – Bruska rovinná svislá	1000	215	3584
Řezání – Pásová pila	350	60	350
Frézování, vrtání – OKUMA MULTUS	2500	204	8500
Frézování – HURCO	1100	161	2952
Zámečnické a montážní práce	350	315	1838
Celkem Σ	x	x	20379



Obr. 6.3 Výrobní náklady nové technologie.

Porovnáním původní a nové technologie lze konstatovat, že výrobní náklady poklesly o 42%. Na Obr. 6.4 jsou zobrazeny náklady před a po navrženém zefektivnění.



Obr. 6.4 Výrobní náklady před a po zefektivnění.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout zefektivnění procesu obrábění ojnice kompresoru při využití stávajícího strojního parku společnosti SANBORN a.s., která je významným dodavatelem široké škály dílů – komponentů pro energetický, petrochemický a dopravní průmysl.

V počáteční fázi se autor zaměřil na analýzu současného stavu a to především:

- stávající technologický postup výroby a stanovené normativy spotřeby výrobních časů,
- použité nástroje a stanovené řezné podmínky,
- využití strojní zařízení a jejich parametry.

V další části byly navrženy a realizovány konkrétní opatření na zefektivnění jednotlivých obráběcích operací, které byly detailně konzultovány s odpovědnými pracovníky společnosti a to hlavně z důvodu výrobní náročnosti tohoto dílce, kapacitního využití multifunkčního obráběcího centra OKUMA MULTUS B750 a praktického ověřování některých návrhů na zefektivnění ve výrobním procesu.

Tam kde nebylo možné využít jiné produktivní strojní zařízení, byly detailně provedeny analýzy původního stavu, za účelem zjištění nedostatků při obrábění, které byly následně vyřešeny s využitím nových a produktivních řezných nástrojů, čímž dojde k celkovému urychlení obrábění. V návaznosti na realizované návrhy byly vypočteny nové strojní časy, které pozitivně ovlivní výrobní náklady na daných strojních zařízeních, kde byla ojnice obráběna.

Po provedení všech možných činností, které souvisely s procesem zefektivnění obrábění tohoto složitého dílce, bylo konstatováno, že v návaznosti na provedené změny v technologii obrábění, využití produktivních řezných nástrojů a multifunkčního obráběcího centra OKUMA MULTUS B750 došlo:

- k redukci výrobních nákladů o 42% (z 35.410 Kč.ks⁻¹ na 20.379 Kč. ks⁻¹),
- k redukci jednotkového času o 44% (z 2250 min na 1260 min),
- ke zvýšení kvality výroby a její přesnosti.

Zefektivnění obrábění ojnice je značným přínosem pro společnost SANBORN a.s. a to hlavně v oblasti úspory finančních nákladů a uvolnění kapacit jednotlivých pracovišť.

Závěrem lze konstatovat, že v diplomové práci bylo uvažováno pouze jen se stávajícím strojním parkem společnosti SANBORN a.s., který nemusí být ideální pro provádění příslušných obráběcích operací. V budoucnu by společnost měla uvažovat o investici do nákupu moderního pětiosého obráběcího centra, kde by bylo možné uskutečnit veškeré obráběcí operace na jednom strojním zařízení a čímž by došlo k dalším úsporám i na úrovni vedlejších časů.

Všechny cíle diplomové práce byly splněny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DRESSER – RAND A.S. *Process Reciprocating Compressors*. [online]. [vid. 10. dubna 2012]. USA, 2009, 8 s. 85170-9. Dostupné z: <http://www.dresser-rand.com/literature/ recip/85170-Process-Recip.pdf>
2. HOLUB Milan. *Řešení montážní a obráběcí technologie pro stožáry vysokého napětí*. Bakalářská práce v oboru „Strojírenská technologie“. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie. 2010. 49 s.
3. SANBORN A.S. *Výroční zpráva*. [online]. [vid. 10. prosince 2011]. Czech Republic, Velké Meziříčí, 2010, 35 s. Dostupné z: http://www.sanborn.cz/wp-content/uploads/2011/09/vz2010_cze.pdf
4. SANBORN A.S. *Strojový park*. [online]. [vid. 10. prosince 2011]. Czech Republic, Velké Meziříčí. Dostupné z: <http://www.sanborn.cz/strojni-park/>
5. KOČMAN, K a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
6. BRYCHTA, J., ČEP, R., SADÍLEK, M., NOVÁKOVÁ, J., PETŘKOVSKÁ, L. *Nové směry v progresivním obrábění*. [online]. [vid. 21. ledna 2012]. 1. vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO, 2007, 251 s. ISBN 978-80-248-1505-3. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO/texty.pdf>
7. *Základy obrábění*. [online]. [vid. 23. ledna 2012]. Dostupné z: <http://jhamernik.sweb.cz/obrabeni.htm>
8. *Základy obrábění* [online]. [vid. 29. ledna 2012]. Dostupné z: http://www.sps-ko.cz/documents/STT_obeslova/Základy%20obrabění.pdf
9. FOREJT, M a PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
10. FOREJT, M., HUMÁR, A., PÍŠKA, M., JANÍČEK, L. *Experimentální metody* [online]. Syllabus pro magisterský studijní program 23-01-T Strojní inženýrství, obor Strojírenská technologie – obrábění – tváření, II. stupeň. 2. ročník magisterského studia. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie 2003. [online]. [vid. 2. února 2012]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory/save/Exp_metody_he2.pdf
11. KOČMAN, K. *Speciální technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2004, 227 s. ISBN 80-214-2562-8.
12. *Technologie frézování: pracovní listy* [online]. [vid. 10. ledna 2012]. Šumperk, červen 2007. ISSN CZ.04.1.03/3.1.15.2/0091. Dostupné z: http://www.sossou-spj.cz/esf/TEC_fr.pdf
13. *Strojírenství - Frézování*. [online]. [vid. 10. ledna 2012]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-frezovani.blogspot.com/>

14. *Materiálové listy: Přehled vlastností oceli 42CrMo4.* [online]. [vid. 15. února 2012]
Dostupné z: http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprir/tycovaocel/EN10083/Prehled_vlast_42CrMo4/
15. SANBRON A.S. *Technické a výrobní postupy.* Czech Republic. Velké Meziříčí, červen 2011, 7 s.
16. *NC HORIZONTÁLNÍ VYVRTÁVAČKA: TOS Varnsdorf. typ: VHN 13A. 1980, Složení pracoviště a technické parametry.* SANBORN a.s., 45 s.
17. *Frézování: Hlavní katalog – řezné nástroje pro frézování od firmy Innotool.* Germany: INNOTOOL CZ, 2010, 585 s.
18. *Rotační nástroje: Hlavní katalog nástrojů - řezné nástroje od firmy Iscar.* Plzeň: ISCAR CZ, s.r.o., 2008, 850 s. Výrobky pro obrábění kovů.
19. *Vyvrtávací systémy: Vyvrtávací hlavy od firmy Narex.* Praha: NAREX PRAHA a.s., 2009, 55 s.
20. *Frézování: Hlavní katalog – řezné nástroje pro frézování od firmy Carbide.* Měříň: CARBIDE TOOLS CZ, 2009, 21 s.
21. *Guhring Tools: Kompletní katalog nástrojů – řezné nástroje od firmy Guhring.* Germany: GURHING CZ s.r.o., 2012, 1646 s. 00000 5919; Nástroje pro obrábění kovu.
22. *Řezání: Hlavní katalog – nástroje pro řezání od firmy Pilana Tools.* Hulín: PILANA TOOLS CZ a.s., 2010, 19 s.
23. *BRUSKA ROVINNÁ SVISLÁ: KOVOSVIT Holoubkov, typ: BVP 40. 1982, Složení pracoviště a technické parametry.* SANBORN a.s., 75 s.
24. *Brousící nástroje: Hlavní katalog - brousící nástroje od firmy Tyrolit.* Benátky nad Jizerou: TYROLIT CZ, leden 2012, 169 s. T5411-M-1-CZ02-0311.
25. *STROJNÍ PÁSOVÁ PILA NA KOV: Jesenice s.r.o. typ: PP 362 A. 2002, Složení pracoviště a technické parametry.* SANBORN a.s., 25 s.
26. *CNC HORIZONTÁLNÍ OBRÁBĚCÍ CENTRUM: TOSHIBA, typ: BMC 50E. 1996, Složení pracoviště a technické parametry.* SANBORN a.s., 350 s.
27. *Soustružení, Vrtání, Frézování: Hlavní katalog - řezné nástroje od firmy Walter.* Kuřim: WALTER CZ, s.r.o., 2010, 234 s; Nástroje pro obrábění kovu.
28. *Frézování: Hlavní katalog – řezné nástroje pro frézování od firmy Pramet.* Šumperk: PRAMET TOOLS CZ, s.r.o., 2012, 304 s.
29. *CNC VERTIKÁLNÍ OBRÁBĚCÍ CENTRUM: HURCO typ: WMX 64. 2006, Složení pracoviště a technické parametry.* SANBORN a.s., 112 s.
30. *CNC VERTIKÁLNÍ OBRÁBĚCÍ CENTRUM: HURCO typ: WMX 42. 2006, Složení pracoviště a technické parametry.* SANBORN a.s., 112 s.

31. *Seco Tools: Kompletní katalog nástrojů - řezné nástroje od firmy Seco.* Brno: SECO TOOLS CZ, s.r.o., 2009. Výrobky pro obrábění kovů. ST 20096200.
32. *CNC MULTIFUNKČNÍ OBRÁBĚCÍ CENTRUM: OKUMA, typ: MULTUS B750.* 2011, *Složení pracoviště a technické parametry.* SANBORN a.s., 52 s.
33. *Rotační nástroje: Hlavní katalog - řezné nástroje od firmy Sandvick Coromant.* Praha: SANDVICK CZ, s.r.o., 2011, 1535 s.
34. *Vrtací nástroje: Vrtací nástroje od firmy Kennametal.* Germany: KENNAMETAL HERTEL AG Werkzeuge + Hartstoffe, 2009, 359 s. katalog 8070.
35. *Systémy pro hluboké vrtání: Dělové vrtáky od firmy Botek.* Plzeň: BOTEK CZ, 2011, 16 s.
36. BOSMAN, Oldřich. *Obrábění: Vrtání hlubokých otvorů na obráběcích centrech.* [online]. [vid. 15. března 2012]. *MM Průmyslové spektrum*, červenec 2006, s. 66. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vrtani-hlubokych-otvoru-na-obrabecich-centrech.html>
37. GUHRING. *Nástroje pro hluboké vrtání: RT 100T.* [online]. [vid. 16. března 2012]. s. 20, Dostupné z: http://www.guhring.cz/data/produkty/de_92.pdf
38. AB SANDVICK COROMANT – SANDVICK CZ s.r.o. *Příručka pro obrábění – Kniha pro praktiky.* Přel. M. Kudela. Praha. Scientia, s.r.o. 2010. ISBN 91-97 22 99-4-6. Přel. Z: *Modern Metal Cutting – A Practical Handbook.*
39. SANBORN A.S. *Technicko organizační postup: Náklady, kalkulace a tvorba cen.* Czech Republic, Velké Meziříčí, červen 2011 – 2012, 30 s

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
ANSI	[-]	Americký národní standardizační institut
a_e	[mm]	Šířka záběru
a.s.	[-]	Akciová společnost
a_p	[mm]	Šířka záběru ostří
A_d	[mm ²]	Průřez tříšky
B	[mm]	Šířka frézované plochy
Cr	[-]	Chrom
CNC	[-]	Číslicově řízený počítačem
CAD	[-]	Počítačem podporované konstruování
CAM	[-]	Počítačem podporovaná výroba
ČSN	[-]	Česká státní norma
DIN	[-]	Německá národní norma
D	[mm]	Průměr frézy
E_e	[J]	Práce řezného procesu
E_c	[J]	Práce řezání
E_f	[J]	Práce posuvu
EU	[-]	Evropská unie
F_c	[N]	Řezná síla
F_e	[N]	Pracovní síla
F_f	[N]	Posuvová síla
FNM	[-]	Fond národního majetku
f	[mm]	Posuv na otáčku
f_z	[mm]	Posuv na zub
HRC	[-]	tvrdost dle Rockwella
i	[-]	Počet záběrů
l_n	[mm]	Délka náběhu
l_p	[mm]	Délka přeběhu
L	[mm]	Celková délka, kdy je zapnut posuv
LRQA	[-]	Lloyd's Register Quality Assurance
m	[kg]	Hmotnost

Mo	[-]	Molybden
n	[min ⁻¹]	Otáčky
NŠS	[-]	Nerozebíratelný šroubový spoj
NC	[-]	Číslicově řízeny
P _c	[W]	Celkový příkon
P _e	[W]	Pracovní výkon
Q _e	[J]	Celková tepelná energie
Q _n	[J]	Teplo odvedené nástrojem
Q _o	[J]	Teplo odvedené obrobkem
Q _{pr}	[J]	Teplo odvedené řezným prostředím
Q _t	[J]	Teplo odvedené třískou
Ra	[μm]	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
Rz	[μm]	Největší výška profilu
RO	[-]	Rychlořezná ocel
Rm	[MPa]	Mez pevnosti materiálu
Re	[MPa]	Mez kluzu materiálu
SK	[-]	Slinutý karbid
SMJ	[-]	Systém managementu jakosti
SR	[-]	Slovenská republika
s.r.o.	[-]	Společnost s ručením omezením
t _{AS}	[min]	Čas jednotkové práce za chodu stroje
t _{A11}	[min]	Čas jednotkové práce za klidu stroje
t _p	[min]	Čas řezného procesu
USA	[-]	Spojené státy americké
UF	[-]	Ultrafiltrační zařízení
UNC	[inches]	Unifikovaný palcový závit
UNF	[inches]	Unifikovaný palcový závit
V _c	[m.min ⁻¹]	Řezná rychlost
V _e	[m.min ⁻¹]	Rychlost řezného pohybu
V _f	[mm.min ⁻¹]	Posuvová rychlost
V _t	[dm ³]	Objem volně ložených třísek

V_m	[dm ³]	Objem odebraného materiálu
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička
W	[-]	Objemový součinitel třísek
Ø	[mm]	Průměr
ϕ	[°]	Úhel střížné roviny
β	[°]	Úhel řezu
η	[%]	Účinnost

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Certifikát systému managementu jakosti.
Příloha 2	Certifikát šroubů se šestihrannou hranou, pevnostní třídy 8.8.
Příloha 3	Materiálová zkouška.
Příloha 4	Magnetická zkouška.
Příloha 5	Kontrola mikrostruktury.
Příloha 6	Kontrola mikrostruktury – velikost zrna.
Příloha 7	Materiálový atest vstupního polotovaru.
Příloha 8	Naměřené hodnoty levé poloviny ojnice.
Příloha 9	Naměřené hodnoty pravé poloviny ojnice.
Příloha 10	Výkres kolíku pro zakolíkovaní.
Příloha 11	Výkres šroubu.
Příloha 12	Výkres podložky.
Příloha 13	Naměřené hodnoty ojnice po finálním obrobení.
Příloha 14	Magnetická zkouška na obrobené ojnici.
Příloha 15	Výkres lisovaného pouzdra.
Příloha 16	Osvědčení o jakosti a kompletnosti.
Příloha 17	Finální rozměrový protokol pro DRESSER RAND.
Příloha 18	Výrobní výkres ojnice.

