

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Příprava ploch a jejich povrchů pro proces lapování

Preparation of Areas and the Surfaces of the Lapping Process

Student:

Jiří Kalabis

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Zlámal

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Kalabis**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Příprava ploch a jejich povrchů pro proces lapování**
Preparation of Areas and the Surfaces of the Lapping Process

Zásady pro vypracování:

1. Analýza současného stavu řešené problematiky.
2. Proces lapování ve výrobě.
3. Návrh přípravy ploch a jejich povrchů.
4. Hodnocení kvality povrchu po lapování.
5. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metody v trieskovom obrábění*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [5] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Zlámal**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KALABIS, J. *Příprava ploch a jejich povrchů pro proces lapování*. Ostrava: katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014, 55 s. Bakalářská práce, vedoucí ZLÁMAL, T.

Tato bakalářská práce je zaměřena na přípravu ploch a jejich povrchů před procesem lapování. Úvod této práce se věnuje analýze současného stavu procesu lapování. Teoretická část práce se zabývá pojmem integrity povrchu a popisuje jednotlivé složky integrity povrchu. V první části práce je proveden teoretický rozbor procesu lapování. Jsou zde uvedeny a popsány metody lapování, stroje, nástroje a prostředky pro lapování. Experimentální část je zaměřena na přípravu ploch před procesem lapování a proces lapování, který je aplikován na zadanou součást.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KALABIS, J. *Preparation of Areas and the Surfaces of the Lapping Process*. Ostrava: Department of cutting and assembling, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2014, 55 p. Bachelor thesis, head: ZLÁMAL, T.

This bachelor thesis is focused on preparation surfaces and surfaces before lapping process. Introduction of this thesis is the analysis of the current state of the lapping process. The theoretical part deals with the concept of surface integrity and describes the individual components of surface integrity. The first part is a theoretical analysis of the lapping process. They are listed here and described lapping methods, machines, tools and resources for lapping. The experimental part is focused on preparing surfaces before the process of lapping and lapping process, which is applied to a given component.

Mistopisné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 10.5.2016

Kalady

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vlastní potřebě bakalářskou práci užit (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavře licenční smlouvu s oprávněním užití díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užití své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 10.5.2019



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jiří Kalabis

Adresa trvalého pobytu autora práce: Čechovická 26, Prostějov 796 01

Obsah bakalářské práce

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	8
Úvod.....	10
1. Analýza současného stavu	11
1.1 Požadavky na rovinnost a texturu povrchu hlavních těsnících povrchů kontaktních mechanických ucpávek	12
2. Integrita povrchu.....	14
2.1 Geometrická přesnost.....	15
2.2 Struktura povrchu.....	15
2.3 Zbytková napětí.....	18
2.4 Změny tvrdosti v povrchové vrstvě.....	18
2.5 Změny struktury v povrchové vrstvě	18
2.6 Teplotní změny – trhliny, opaly	19
3. Metody obrábění	20
3.1 Dokončovací metody obrábění	20
3.1.2 Metody s úběrem materiálu	21
4. Lapování	23
4.1 Druhy lapování.....	24
4.1.1 Mechanické lapování	24
4.1.2 Chemicky – mechanické lapování	25
4.1.3 Elektro – chemicky – mechanické lapování	25
4.2 Kinematika lapování	26
4.3 Lapovací stroje	26
4.4 Lapovací prostředky.....	27
4.5 Lapovací nástroje	28
4.5.1 Druhy lapovacích nástrojů	29
5. Experimentální část práce.....	31
5.1 Lapovaná součást	32
5.2 Materiál součásti	32
6. Příprava ploch před procesem lapování.....	34
6.1 Obráběcí stroj	34
6.2 Obráběcí nástroj – VBD.....	35
6.3 Řezné parametry při čelním soustružení součásti Clamp Plate	36
7. Postup lapování součásti.....	38
7.1 Kontrola rovinnosti lapovacích strojů.....	41

7.2 Hrubování.....	41
8. Kontrola rovinnosti monochromatickým světlem	43
9. Technologický postup součásti.....	46
10. Technické zhodnocení	50
Závěr	52
Seznam použité literatury	53
Seznam příloh	55

Seznam použitých zkratk a symbolů

A	Tažnost	[%]
a_p	Hloubka řezu	[mm]
Al₂O₃	Oxid hlinitý	[-]
d	Velký průměr otvoru	[mm]
d₁	Malý průměr otvoru	[mm]
f	Posuv	[mm·ot ⁻¹]
HB	Tvrdost měřená dle Brinella	[-]
HSC	Obrábění vysokými rychlostmi	[-]
IT	Mezinárodní toleranční třída	[μm]
KCU	Vrubová houževnatost	[-]
l	Délka řezné hrany	[mm]
Ra	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu	[μm]
r_e	Poloměr zaoblení špičky	[mm]
Re	Mez kluzu	[MPa]
Rm	Mez pevnosti	[MPa]
RSm	Průměrná šířka prvků posuzovaného profilu	[μm]
Rdq	Průměrná kvadratická sklon posuzovaného profilu	[μm]
Rq	Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu	[μm]
Rz	Největší výška profilu	[μm]
s	Výška vyměnitelné břitové destičky	[mm]
SiC	Karbid křemíku	[μm]
S-N-O-P	Soustava stroj – nástroj – obrobek – přípravek	[-]
S.S.	Označení pro nerezovou ocel	[-]
TiN	Nitrid titanu	[-]
TiAlN	Nitrid hlinito-titaničitý	[-]
v_c	Řezná rychlost	[m·min ⁻¹]
Xs	Šířka profilu	[μm]

Z	Kontrakce	[%]
Z_p	Výška nejvyššího výstupku hloubky profilu	[μm]
Z_v	Hloubka nejnižší prohlubně profilu	[μm]
Z(x)	Výška posuzovaného profilu v libovolné poloze x	[μm]

Úvod

V oblasti obrábění se často setkáváme se strojními součástmi, na které jsou kladeny vysoké nároky, nejen z hlediska kvality obrobeného povrchu, ale také rozměrové přesnosti či vzhledu. Ve většině případů běžnými obráběcími metodami těchto podmínek nelze dosáhnout, proto je nutné použít některé z konvenčních či nekonvenčních metod obrábění. Není tomu jinak ani ve výrobních podmínkách společnosti John Crane Sigma a.s., která se zabývá výrobou mechanických ucpávek, na kterých je proces lapování aplikován.

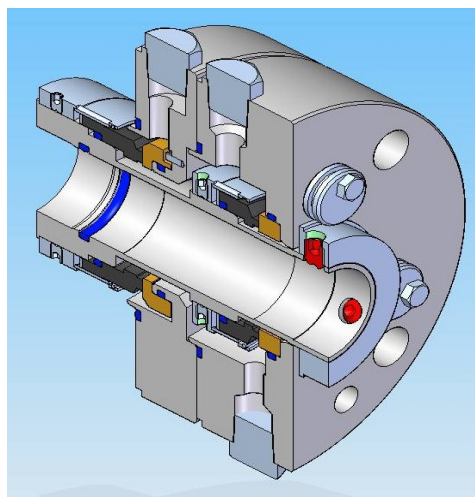
Tato bakalářská práce se zabývá přípravou ploch před procesem lapování. Teoretická část se zabývá analýzou současného stavu. Tato analýza obsahuje informace o použití technologie a procesu lapování v současné době. V této části práce je definován pojem integrity povrchu, popis jednotlivých složek integrity povrchu a požadavky na kvalitu obrobeného povrchu. Dále je v první části práce proveden teoretický rozbor technologie lapování, blíže popsány použité stroje a zařízení, nástroje pro lapování a druhy lapovacích brusiv. Pro jednotlivé metody lapování jsou uvedeny vhodné druhy lapovaných materiálů, jimi stanovené postupy lapování a požadavky na kvalitu lapovaného povrchu.

Experimentální část práce je zpracována ve spolupráci s již zmíněnou firmou John Crane Sigma a.s. v Lutíně. Tato část práce se zabývá požadavky na kvalitu obrobené plochy před procesem lapování a lapování funkčních ploch součástí. Určená součást pro lapování se jmenuje Clamp Plate, volně přeloženo jako upínací/přítlačná deska. Tato komponenta má těsnící funkci v plynové ucpávce. Jejím hlavním úkolem je dokonalé přitlačení lapované plochy druhého karbonového dílce dovnitř ucpávky. Mechanická ucpávka slouží k dokonalému utěsnění čerpaného média, tak aby nedocházelo k jeho úniku do okolního prostředí. Těsnící funkce mechanické ucpávky je závislá na dvou částech, a to na sedle a čele ucpávky. Aby mezi těmito komponenty byla co možná nejmenší propustnost, musí být u obou komponentů dosaženo vysoké kvality povrchu a vysokého stupně rovinnosti jejich vzájemně dosedajících ploch. V experimentální části práce je uveden a popsán materiál lapované komponenty, použité lapovací stroje i nástroje včetně lapovacích abrasiv. K lapované součásti je sestaven technologický postup výroby, postup při lapování a výkres této součásti. V závěru této práce je provedeno celkové technické zhodnocení.

1. Analýza současného stavu

V oblasti strojírenství se v dnešní době zvyšují nároky na kvalitu vyráběných součástí, velký důraz je kladen především na rozměrové přesnosti, ale také na kvalitu obrobeneho povrchu a vzhled. Těmto požadavkům mnohdy nelze vyhovět za použití běžných obráběcích metod. Proto se volí konvenční nebo nekonvenční dokončovací metody jako je například lapování. Lapování je výrobní proces, při kterém dochází k opracování ploch pomocí brusných zrn a lapovacích kotoučů. Touto technologií lze dosáhnout opticky plochého povrchu, vysoké přesnosti tvaru a jakosti povrchu. Proces lapování se uplatňuje při výrobě kluzných a valivých ložisek, měřidel, závitů, ozubení, pístů, válců vstřikovacích čerpadel, dosedací plochy mechanických ucpávek, funkční plochy nástrojů, lisovacích forem, zápustek. Lapování patří technicky do oblasti broušení a leštění, neupravuje se jím geometrie, ale drsnost povrchu obrobku. Lze jím dosáhnout až zrcadlový lesk při velmi přesné geometrii povrchu. Kvalita je jedním z významných činitelů ovlivňujících cenu výrobku, a proto je proces lapování pro výrobu v oblasti přesného strojírenství velmi důležitý. [18]

V ČR se problematikou lapování zabývá firma John Crane Sigma a.s., která je celosvětovým producentem mechanických ucpávek a těsnících zařízení. Hlavní funkcí mechanické ucpávky je dokonalé utěsnění čerpaného média (plyn, kapalina), tak aby nedocházelo k jeho úniku do okolního prostředí. Nejdůležitější komponenta v mechanické ucpávce je sedlo, které dosedá na plochu čela ucpávky a tím zabraňuje průniku čerpaného média. Aby byla dosažena co možná nejmenší propustnost mechanické ucpávky, musí být jak u sedla, tak i dosedací čelní plochy dosaženo vysoké kvality obrobeneho povrchu. Velice důležitá je také rovinnost obou styčných ploch. Běžnými obráběcími metodami nelze dosáhnout těchto požadavků, které jsou kladeny na dosedací plochy v mechanické ucpávce. Z těchto důvodů se volí dokončovací metody obrábění, v tomto případě se jedná o lapování. Způsob opracování na lapovací dílně zajišťuje konečnou úpravu, která nemůže být dosažena jinými běžnými způsoby. [18]



Obr. 1 – Mechanická ucpávka. [18]

1.1 Požadavky na rovinnost a texturu povrchu hlavních těsnících povrchů kontaktních mechanických ucpávek

Definují se požadavky na povrchovou úpravu vzhledem k rovinnosti povrchu čela mechanických ucpávek: [18]

Matný povrch – povrch musí být jednoduše matný, bez viditelných rýh, jamek barevných změn a znečištění. Viz tab. 1.1. [18]

Tab. 1.1 - Požadavky na drsnost povrchu – matný povrch. [18]

Materiálová skupina	Drsnost povrchu Ra (μm)
Uhlíkový grafit - všechny stupně	0,5±0,1
Karbid / keramika, SiC grafitové kompozity a silikonizovaný grafit	0,25±0,07
Porézní karbidy křemíku	0,25-1,25
Oxid hlinitý - všechny stupně	0,35-0,75
Litiny - všechny stupně	0,3-0,5

Saténový povrch – povrch musí být částečně reflexní, bez viditelných rýh, jamek, barevných změn a znečištění. Viz tab. 1.2. [18]

Tab. 1.2 - Požadavky na drsnost povrchu – saténový povrch. [18]

Materiálová skupina	Drsnost povrchu Ra (μm)
Karbidy / keramika	0,18±0,07
Porézní karbidy křemíku	0,25-1,25
Litiny - všechny stupně	0,4±0,07

Leštěný povrch – povrch musí být reflexní bez viditelných rýh, jamek, barevných změn a znečištění. Některé materiály, jako je šedá litina a některé porézní karbidy křemíku, mohou vykazovat nepatrné jamky na povrchu. Viz tab. 1.3. [18]

Tab. 1.3 – Požadavky na drsnost povrchu – leštěný povrch. [18]

Materiálová skupina	Drsnost povrchu Ra (μm)
Uhlíkový grafit - všechny stupně	0,2 Max.
Karbidy / keramika	0,1 Max.
Porézní karbidy křemíku	0,25-1,25
Sic grafitové kompozity	0,25 Max.
silikonizovaný grafity	0,15 Max.
Oxid hlinitý - 85%	0,25 Max.
Oxid hlinitý - 99,5%	0,2 Max.
Ni - odolný / bronz	0,15 Max.
Litiny - všechny stupně	0,4 Max.

Super leštěný povrch – povrch musí být zrcadlový a bez jakýchkoliv rýh, jamek, barevných změn a znečištění. Viz tab. 1.4. [18]

Tab. 1.4 – Požadavky na drsnost povrchu – super leštěný povrch. [18]

Materiálová skupina	Drsnost povrchu Ra (μm)
Karbidy wolframu	0,03 Max.
Silikonové karbidy	0,05 Max.

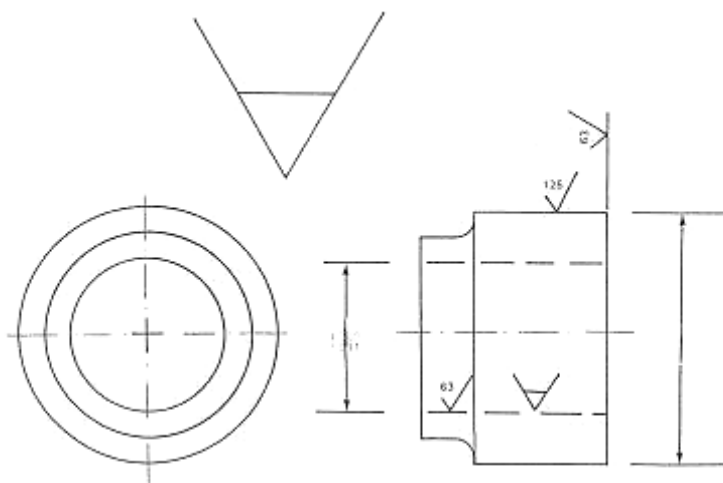
2. Integrita povrchu

Proces obrábění je velice rozmanitý, ale také složitý. Můžeme do něj zahrnout spoustu závislostí, podmínek a omezení. Technologie obrábění jako vědní obor studuje, zkoumá a analyzuje vzájemné souvislosti mezi těmito faktory. V oblasti obrábění používáme technologie s definovatelnou geometrií ostří (soustružení, frézování, vrtání, apod.) nebo technologie s obtížně nebo nedefinovatelnou geometrií ostří (broušení, honování, lapování, superfinišování, apod.). Tyto různé technologie mají jedno společné, a to vznik nového povrchu. Takto vzniklý povrch nazýváme plocha obrobena. Tato vzniklá plocha má určité vlastnosti a charakter, které jsou ovlivňovány zvolenou technologií obrábění, stanovenými a použitými podmínkami pro obrábění a také řezným prostředím. Pro komplexní posuzování kvality obrobeneho povrchu se používá pojem integrita povrchu, který je definován: [4]

„Integrita povrchu je odrazem podmínek, za kterých funkční plocha vzniká, bere v úvahu důsledky působení technologických metod na jakost obrobene plochy a dává je do vztahu k funkčním požadavkům na celý výrobek.“ [20]

Integritu povrchu nejvíce ovlivňuje poslední operace. Při nevhodně zvoleném sledu operací může v povrchové vrstvě zachováno ovlivnění z předchozích operací.

Značení integrity povrchu



Obr. 2 – Značení integrity povrchu. [20]

Integritu povrchu tvoří:

- a) geometrická přesnost,
- b) drsnost povrchu,
- c) zbytková napětí v povrchové vrstvě,
- d) změny tvrdosti v povrchové vrstvě,
- e) změny struktury v povrchové vrstvě,
- f) tepelné změny – opaly,
- g) trhliny.

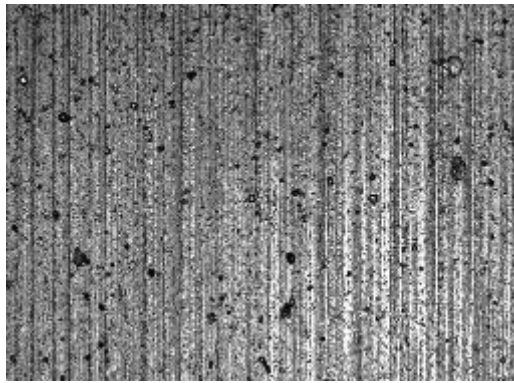
Nelze říci, že jednotlivé složky tvoří oddělené části integrity povrchu. Složky se vzájemně ovlivňují a doplňují. Například vlnitost povrchu jako geometrická veličina může vyvolat změny drsnosti povrchu, změny tvrdosti v povrchové vrstvě mohou souviset se změnami struktury a tepelnými změnami atd. [4, 6].

2.1 Geometrická přesnost

Geometrická přesnost je určena odchylkami tvaru, zejména souosostí, kruhovitostí, válcovitostí, kolmostí. Z hlediska přesnosti je geometrická přesnost určena odchylkami tvaru, jedná se zejména o souosost, kruhovitost, válcovitost, kolmost. Z hlediska ovlivnění přesnosti vlastním obráběním se jedná zvláště o kruhovitost a válcovitost. Ovlivnění geometrické přesnosti má účinek v tuhosti soustavy S – N – O – P, opotřebení nástroje, řezných podmínkách a prostředí a dalších vlivech [11].

2.2 Struktura povrchu

Struktura povrchu, která je také známa jako drsnost povrchu, je část geometrických úchylek skutečného povrchu s poměrně malou vzdáleností sousedních nerovností. Při použití různých technologií obrábění vzniká na povrchu obrobených součástí nerovnost, která má velký význam při funkci těchto ploch. Povrch představuje prostorový útvar, problém posuzování nerovností se tak řeší redukcí do roviny řezu rovinou kolmou k povrchu. Tak se získá profil povrchu, který je hlavním zdrojem informací. [3, 4, 14].

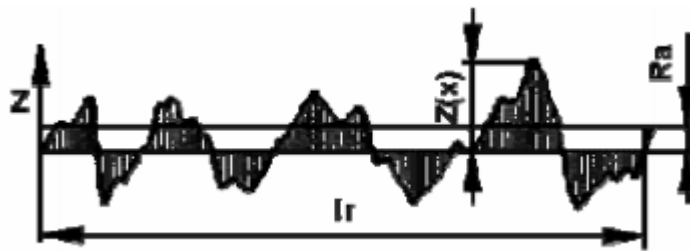


Obr. 2.1 – Drsnost povrchu obrobené plochy. [20]

Existují 3 základní parametry, na jejichž základě se hodnotí drsnost povrchu.

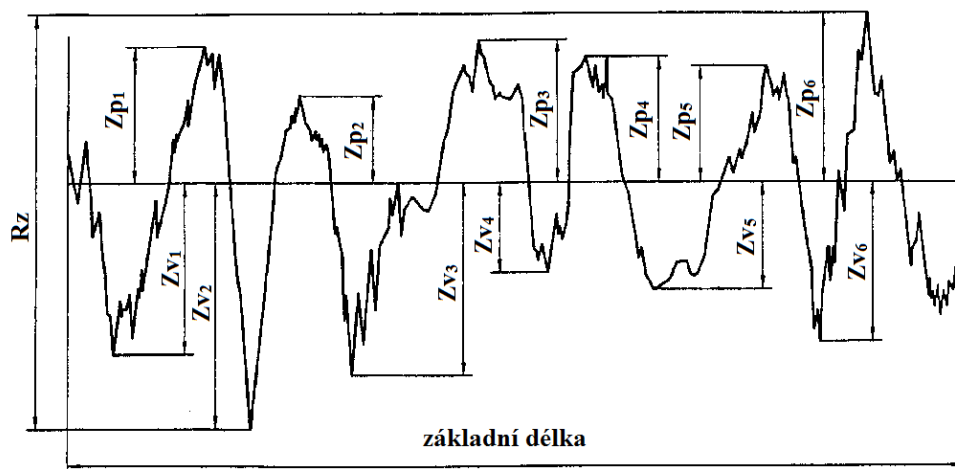
Výškové parametry:

- **střední aritmetická úchylka posuzovaného profilu R_a** – aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky. Tato hodnota nevypovídá zcela přesně o dané drsnosti, protože R_a nereaguje na extrémní výšky a hloubky měřeného profilu. [14, 19]



Obr. 2.2 – Parametr R_a . [14]

- **největší výška profilu R_z** – součet výšky Z_p nejvyššího výstupku a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky. [19]



Obr. 2.3 – Parametr R_z . [19]

- **Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu Rq** – kvadratický průměr pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky. [19]

Délkové parametry:

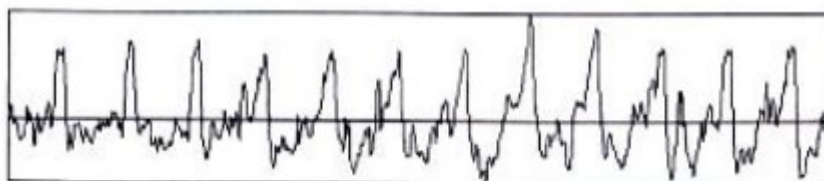
- **průměrná šířka prvků profilu RSm** – aritmetický průměr šířek Xs prvků profilu v rozsahu základní délky. [19]



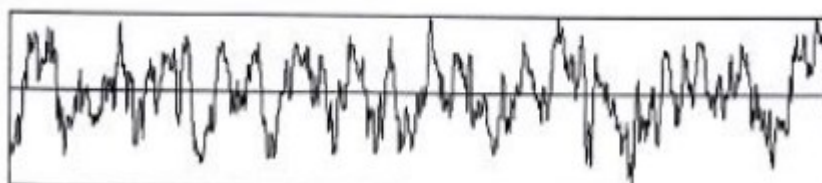
Obr. 2.4 – Parametr RSm . [14]

Tvarové parametry:

- **průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu $R\Delta q$** – kvadratický průměr sklonů pořadnic dZ/dX v rozsahu základní délky. Tento parametr je důležitý při hodnocení tribologických vlastností, odrazu světla nebo galvanickém pokovování. [14, 19]



Obr. 2.5 – Profil drsnosti soustruženého povrchu. [14]



Obr. 2.6 – Profil drsnosti broušeného povrchu. [14]

2.3 Zbytková napětí

Napětí, které se může vyskytovat v uzavřených systémech, můžeme rozdělit podle různých hledisek. Nejčastěji se do úvahy bere příčina, která napětí vyvolala. Dále doba, po kterou napětí působí nebo velikost objemu, ve kterém dosahuje rovnováhu. Napětí mohou být tahové nebo tlakové [8].

V případě tahových napětí dochází ke snížení únavové pevnosti součásti, případná tahová napětí urychlují růst trhlin v povrchové vrstvě a snižují mez únavy. Naopak tlaková napětí zvyšují únavovou pevnost a zpomalují, případně uzavírají růst trhlin v povrchové vrstvě [4].

Podle doby působení vnitřního napětí rozlišujeme napětí okamžitá – časovaná, které vzniká po odstranění příčin, které je vyvolaly. Do této skupiny patří např. napětí způsobené rozdílem teplot v různých místech součásti a zanikající po vyrovnání teplot. Kromě okamžitých – časovaných napětí do této skupiny patří i napětí trvalé – zbytkové, které zůstává v soustavě i po odstranění příčin, které je způsobily. Působí neustále i bez vnějšího zatížení. Svým působením má významný vliv na funkčnost a životnost obrobených povrchů. Podmínkou jeho vzniku je, že vložené nebo jinak vyvolané napětí přesáhne mez kluzu materiálu. [4, 7, 10]

2.4 Změny tvrdosti v povrchové vrstvě

Změna tvrdosti v povrchové vrstvě je dána jak mechanickým, tak tepelným zatížením povrchu při obrábění. V praxi se vyskytují tři základní průběhy tvrdosti v povrchové vrstvě:

- a) vysoká tvrdost povrchu s poklesem na tvrdost jádra,
- b) vysoká tvrdost povrchu s poklesem tvrdosti jádra s následným růstem na tvrdost jádra součásti,
- c) nízká tvrdost povrchu, která postupně roste na tvrdost jádra.

V praxi dochází často ke složitějšímu průběhu tvrdosti v povrchové vrstvě v závislosti na fyzikálních vlastnostech materiálu, jeho struktuře a podmínkách obrábění. [4]

2.5 Změny struktury v povrchové vrstvě

Ke změnám struktury při obvyklých podmínkách obrábění nedochází, nedosahují se potřebné teploty ani doba jejich působení. Při soustružení a frézování dochází pouze k usměrnění struktury povrchové vrstvy vyvolané plastickou deformací. Tento jev se

objevuje zejména u materiálů vyšší plasticity, jako jsou například feritické a austenitické oceli, hliníkové slitiny. Ke změnám struktury dochází teprve při vysokých řezných rychlostech – obrábění HSC. Všechny tyto změny v negativním směru jsou nežádoucí, neboť ovlivňují následné užité vlastnosti materiálu. Tyto změny struktury v povrchové vrstvě během používání součásti působí jako koncentrátoři napětí, což vede k iniciaci trhlin, pittingu a tím se snižují požadované mechanické vlastnosti součásti. Zvláště citlivými na strukturní změny jsou materiály s nízkou tepelnou vodivostí. [4, 9]

2.6 Teplotní změny – trhliny, opaly

Po každém procesu obrábění mohou na povrchu nově vytvořené vrstvy vzniknout trhliny. Jedná se vždy o negativní jevy, které jsou způsobeny objemovou změnou při ochlazování. Vyskytovat se mohou na okrajích opalů, jako teplotní přechod nebo jen jako strukturní změny. Nebezpečí představují v tom, že se v nich koncentruje napětí, které následně může vlivem zatížení a používání součásti iniciovat vznik dalších trhlin nebo šíření této trhliny [9].

3. Metody obrábění

Obráběním získáváme z polotovaru odebráním materiálu (přídavku) součást splňující požadavky konstrukce z hlediska tvarů, rozměrů a kvality obrobeného povrchu. Metody, kterými dosahujeme větších úběrů materiálu, většinou s nižší kvalitou obrobené plochy (hrubovací operace, obrábění na čisto s běžnými nároky na přesnost a drsnost povrchu) se nazývají výrobní (základní). Po dosažení vyšší kvality povrchu součástí se používají metody dokončovací. [12]

3.1 Dokončovací metody obrábění

Dokončovací metody obrábění lze rozdělit do čtyř následujících skupin:

- dokončovací operace nástroji s definovanou geometrií řezného klína (jemné soustružení),
- dokončovací operace nástroji s nedefinovanou geometrií řezného klína (broušení, lapování, honování, superfinišování)
- kombinace mechanického, chemického a fyzikálního obrábění,
- beztrískové obrábění (kuličkování, válečkování)

Dokončovací způsoby obrábění jsou tak rozmanité, že je možné mezi nimi vybírat. Do úvahy je třeba brát výrobní náklady, dosahované přesnosti, kvalitu povrchu a nutno je hledat ten způsob, který by nejlépe vyhovoval daným požadavkům, ale zejména požadavku přesnosti drsnosti povrchu. Mezi nejpřesnější dokončovací způsoby obrábění patří: honování, lapování a superfinišování. [13]

Tyto dokončovací metody obrábění jsou poslední operace, kterými se dosahuje:

- konečné přesnosti rozměrů, tvarů a polohy (IT, kruhovitost, rovinnost, kolmost aj.),
- mikrogeometrie povrchu (různé parametry drsnosti a vlnitosti povrchu),
- vlastností povrchové vrstvy – mechanické a fyzikální (tvrdost, zpevnění, odolnosti proti korozi a otěru, únavové vlastnosti, přestup tepla, třecí vlastnosti, odraz záření apod.)
- konečné kvality povrchové vrstvy (struktura, zbytkové pnutí, poruchy, vady aj.)
- vzhledu povrchu – morfologie (lesk, matný reliéf apod.).

Dosažení požadované kvality povrchové vrstvy (integrity povrchu) je možné dvěma základními principy (jejich vhodnou kombinací). Předcházejícími operacemi nepříznivě ovlivněnou vrstvu materiálu, méně přesný rozměr a tvar, nevyhovující drsnost povrchu, atd. je možné zlepšit: [12]

- a) odebráním přídavku na dokončovací operace,
- b) plastickou deformací (přetvářením materiálu povrchové vrstvy).

3.1.2 Metody s úběrem materiálu

Použití těchto metod předpokládá dostačující přídavek na dokončování, který se odebere jemnými podmínkami s minimální tepelným ovlivněním nově vznikající povrchové vrstvy. Přídavek musí zajišťovat odebrání předchozími technologickými procesy narušené vrstvy. Výkon těchto operací je z uvedených důvodů posuzován nikoli odebraným objemem materiálu, ale plochou požadované kvality vytvořenou za jednotku času. [12]

Mezi metody s úběrem materiálu patří: [12]

- jemné obrábění – hlazení,
- honování,
- superfinišování,
- lapování,
- leštění,
- tryskání,
- omílání.

Jemné obrábění – hlazení

Pro beztržkové dokončování povrchu součástí vyrobených z tepelně zpracovaných ocelí se používá vyhlazování pomocí diamantu s kuželovou špičkou, která má definovaný poloměr zaoblení a je konstantní silou přitlačován k povrchu součástí. Nejvyššího účinku se dosahuje u tepelně zpracovaných ocelí s tvrdostí 50 – 55 HRC. Drsnost vyhlazené plochy závisí na materiálu součásti a pracovních podmínkách a může dosahovat hodnot kolem $Ra=0,2 \mu\text{m}$. [21]

Honování

Honování je dokončovací metoda obrábění, při které se obráběný materiál odebírání abrazivním účinkem brusiva honovacích kamenů a lišt nebo kartáčků, upevněných v honovací hlavě, případně tělísek nebo vláken nesených tenkou válcovou stopkou. Honování se nejčastěji používá pro dokončování vnitřních válcových ploch, méně často se honují vnější válcové plochy. Honovat lze i válcové díry průchozí i neprůchozí, s drážkami různých tvarů a velikosti v rozsahu průměrů 1 – 750 mm a délek až 24 m. S přídatným zařízením lze honovat i kuželové díry. [21]

Superfinašování

Superfinašování je zvláštní druh broušení, při němž se z dokončovaného povrchu odřezávají vrcholky nerovností abrazivním účinkem velmi jemných zrn superfinašovacích kamenů. Jedná se o vysoce produktivní metodu dokončovacího obrábění vnějších a vnitřních rotačních ploch, tvarových a rovinných ploch s vysokou přesností a nízkou drsností povrchu. Nejčastěji se uplatňuje při dokončování valivých ložisek a součástí v automobilovém průmyslu. Superfinašovat lze součásti z kalených i nekalených ocelí, slitin těžkých kovů, litin a plastů. [21]

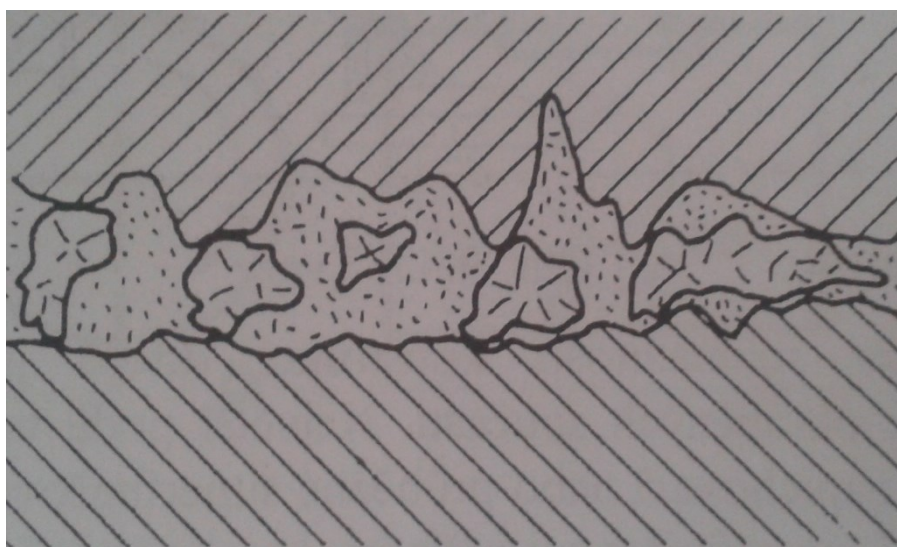
Tryskání

Tato metoda beztržkové úpravy ploch je založena na principu vrhání aktivních částic (abrazivní zrna, kovové, skleněné nebo keramické kuličky) proti povrchu upravovaného předmětu pomocí proudu stlačeného vzduchu nebo kapaliny. Výsledná jakost povrchu a čas potřebný na jeho úpravu závisí na rozměrech, tvaru, hmotnosti a materiálu částic. Z pracovních podmínek má největší vliv rychlost částic a směr dopadu na upravovaný povrch. [21]

4. Lapování

Lapování je proces, který se svým charakterem řadí mezi operace dokončovacího obrábění. Lapováním lze dokončovat rovinné nebo tvarové plochy. Při tomto procesu se obrobek i nástroj s volným brusivem vzájemně po sobě pohybují a brusná zrna odebírají velmi malé třísky. Brusné zrna nejsou vázaná do určitého tvaru brusného nástroje, ale jsou volně rozptýlená v kapalině nebo tvoří s jinými příměsemi měkkou pastu. [2]

Nástrojem jsou pevná nebo nastavitelná lapovací pouzdra (na vnější válcové plochy), pevné nebo rozpínací trny (na vnitřní válcové plochy) a lapovací desky (na rovinné plochy). Na pracovní plochu nástroje nebo součástky se nanáší pasta, suspenze, popřípadě volný lapovací prášek. [2]



Obr. 4 – Princip úběru materiálu. [1]

Lapováním je možné zhotovit opticky přesné plochy se zrcadlovým leskem a drsností až $0,001 \mu\text{m}$. Jeho nevýhodou je poměrně vysoká cena a potřeba velmi přesného předchozího opracování. Tímto způsobem dokončujeme rovinné, válcové a tvarové povrchy z tvrdých i měkkých materiálů s vysokou přesností tvaru a rozměrů a nároky na stupeň lícování. Takto se například zhotovují základní měrky, měřidla, součástky automobilů apod. Na důležitých součástkách se lapují vnější i vnitřní závit, profilové díry, ozubené profily apod. [2]

Podle charakteru úběru materiálu je možno odlišit hrubovací lapování, při kterém se odřezávají mikronerovnosti a velmi jemné lapování, při kterém se povrch leští. [1]

4.1 Druhy lapování

Lapování můžeme obecně rozdělit na: [2]

- mechanické,
- chemicky – mechanické,
- elektro – chemicky – mechanické.

4.1.1 Mechanické lapování

U mechanického lapování převažuje mechanický řezný proces úběru jemných třísek volnými brusnými zrny rozptýlenými v suspenzích nebo pastách. Podstata tohoto procesu lapování je popsána v kapitole 1. Lapování. [2]

Kromě rovinných, válcových vnitřních i vnějších ploch a kulových ploch se často lapují i ozubená kola. Lapujeme pastou a přesným litinovým protikolem se stejným modulem ozubení. Lapováním ozubených kol můžeme zlepšit drsnost povrchu boků zubů, tvar evolventy se prakticky nemění. [2]

Mechanické lapování můžeme dále rozdělit na:

- lapování diamantovými prášky,
- magnetické lapování,
- lapování ultrazvukem,
- lapování proudem kapaliny

Lapování diamantovými prášky díky výborné řezné vlastnosti diamantového prášku je lapování diamantovými prášky vysoce efektivní. Nehodí se však na dokončování dotykových ploch měřidel nebo kluzných ložisek, protože diamantová zrna se zadírají i do tvrdých povrchů a způsobují potom jejich rychlé opotřebování. Diamantové prášky se však výborně hodí na lapování velmi tvrdých materiálů, např. slinutých karbidů, skla apod. [2]

Magnetické lapování využívá na řezný proces silové působení magnetického pole. Používá se hlavně na dokončování povrchů složitých tvarů, kde použití běžných metod lapování způsobuje těžkosti nebo se jimi dosahuje nízká produktivita. Při magnetickém lapování se umísťuje obráběná součást mezi póly elektromagnetu, pracovní pomůckou je směs brusných a feromagnetických částic, případně suspenze těchto částic v kapalině. Princip magnetického lapování je možné použít i na lapování ozubených kol a je také výhodný na dokončování součástek jakéhokoliv tvaru. [2]

Ultrazvukové lapování je kombinací mechanického lapování a ultrazvukových kmitů nástroje s frekvencí 18 až 22 kHz. Ultrazvukové kmity zvyšují úběr materiálu, zkracují čas lapování a příznivě působí i na přesnost tvaru lapovaného povrchu. [2]

Lapování proudem kapaliny - obrábíme povrchy součástí volnými brusnými zrnky rozptýlenými ve vodě, které se vrhají velkou rychlostí šikmo na obrobek. Tím se vyhladí nerovnosti, zvýší se kvalita povrchu, odstraní se případné otřepy a částečně se změní struktura povrchu. Voda s brusnými zrnky se vtlačí do lapovací pistole čerpadlem nebo proudem stlačeného vzduchu bez čerpadla a v pistoli se ještě zrychluje stlačeným vzduchem. Neoptimálnější tlak vzduchu má hodnotu 0,5 až 0,6 MPa. Na výsledku procesu závisí druh a zrnitost lapovacích prášků, ale také úhel dopadu proudu kapaliny na lapovaný povrch. Největší rychlost plošného úběru materiálu dosahuje při úhlu dopadu kapaliny 45 až 50°. Lapováním proudem kapaliny je možné výhodně dokončovat pracovní dutiny zápusťek a forem na lisování plastů, přitom se zpevní i povrch a prodlouží se jejich životnost. [2]

4.1.2 Chemicky – mechanické lapování

Podstatou chemicky – mechanického lapování je spojení procesů chemického působení na obráběný povrch s mechanickým úběrem jemných povrchových vrstev. V procesu lapování chemicky aktivních látek, nacházejících se v lapovací pastě nebo suspenzi, vzniká na povrchu kovu tenká méně odolná vrstvička rozličných chemických sloučenin. Pohybem lapovacího nástroje po povrchu součástky rozrušuje a odstraňuje se tato chemicky ovlivněná vrstva.

Při chemicky – mechanickém lapování musí být nástroje z takových materiálů, které dobře odolávají vlivu chemických látek v pastě nebo suspenzi. V opačném případě nástroje ztrácí přesný rozměr a lapováním nedosáhneme požadovanou přesnost. [2]

4.1.3 Elektro – chemicky – mechanické lapování

Principem elektro – chemicky – mechanického lapování je elektrolytické obrábění. Jde o anodické rozpuštění povrchových vrstev materiálu působením elektrického proudu, chemickým působením elektrolytu a mechanické odstraňování produktů tohoto rozkladu. Proces zabezpečuje vysokou jakost povrchu a několikrát zkracuje jeho trvání. [2]

Nástroje na lapování jsou obvykle z nevodivých materiálů, nejčastěji z lipového dřeva. Nerezové oceli se lapují v 7 až 10 % vodném roztoku dusičnanu sodného při napětí

6 až 12 V a plošné hustotě proudu 0,3 až 0,7 A.cm⁻². Při lapování bývá součástka ponořena celá v roztoku elektrolytu, který je v nádrži z nerezové kyselinovzdorné oceli. [2]

Zařízení, která pracují na principu elektrolytického lapování, jsou značně rozšířena. Jejich společným znakem je anodicky – chemické rozpouštění povrchových vrstev materiálu

a mechanické odstraňování anodické vrstvy. [2]

4.2 Kinematika lapování

Při lapování volným zrnem se lapovací rychlosti (výsledná řezná rychlost) pohybují od 4 do 400 m.min⁻¹. Nejčastější používaná rychlost je asi 30 m.min⁻¹. Dokončovací lapování používá nižší rychlost než hrubovací. Řezný pohyb brusných zrn vyvolává lapovací nástroj, který se se zřetelem na lapovanou plochu pohybuje v neustále se měnících dráhách a je na ni přitlačený. [3]

4.3 Lapovací stroje

Podle způsobu práce rozdělujeme lapování na ruční a strojní. Při ručním lapování pohybujeme lapovacím nástrojem ručně, při strojním lapování určuje pracovní pohyby nástroje lapovací stroj. Typickým ručním lapováním je rovinné lapování, kdy při mírném tlaku pohybujeme obrobkem krouživými stále se měnícími pohyby po přesné rovinné desce, na které je nanesený jemný brusný prášek. Ruční lapování obvykle dokončíme zabrušovacím pilníkem, kterým dosáhneme velmi lesklý povrch. Ruční lapování je však drahé a únavné, proto ho nahrazujeme lapováním strojním.

Strojní lapování je v porovnání s ručním lapováním mnohem výkonnější. Lapovací stroje mohou najednou dokončovat až 100 součástek za stejný čas, jaký je potřeba na vylapování jedné součástky ručním způsobem. Lapovací stroje podle jejich určení rozdělujeme na universální a speciální. Universální stroje jsou určeny na lapování rovinných i válcových vnějších povrchů a otvorů. Lapují se na nich ploché destičky, pístové čepy, válečky, kroužky, pouzdra apod. Speciální lapovací stroje jsou určeny na lapování určitého druhu součástek, například na boky zubů ozubených kol, čepy klikových hřídelí, kuličky i válečky ložisek apod. Speciální stroje mívají obvykle poloautomatický nebo automatický cyklus, bývají plně mechanizované a umožňují tak maximální produktivitu lapování. [2]

Podle konstrukčního řešení dělíme lapovací stroje na: [2]

- a) stroje s jedním hnaným a jedním pevným kotoučem,
- b) stroje s dvěma hnanými kotouči,
- c) bezhrotové lapovací stroje,
- d) lapovací stroje na otvory.

4.4 Lapovací prostředky

Jsou to různé pasty, suspenze a roztoky, jejichž podstatnou složku tvoří zrna brusného materiálu, uskutečňující vlastní řezný proces lapování. Používají se přitom zrna z normálního korundu, bílého korundu, karbidu křemíku, syntetického i přírodního diamantu, karbidu bóru, nitridu bóru apod. Použitý lapovací prášek zpravidla váže stearín, parafín, vazelínu, tuk, olej apod. ve formě kašovitých past nebo suspenzí. Kapalinou suspenze bývá nejčastěji směs petroleje s lehkým olejem. [2]

Tab. 4.4 - Složení lapovacích past ze SiC a Al₂O₃. [2]

Brusný materiál	Rozměr brusného zrna (μm)	Obsah (%)				
		Brusný prášek	Oleínová kyselina	Stearín	Petrolej	Vazelína
Bílý korund, legovaný Cr	3 až 20	70	20	8	2	-
Bílý elektrokorund, legovaný Ti	14 až 40	50 až 70	20 až 27	8 až 17	2 až 6	-
Monokorund	1	48	48	4	-	-
Karbid křemíku	10 až 14	60	-	-	2	38

Složení běžných lapovacích past uvádí tab. 4.4. Kromě past uvedených v tabulce se používají i pasty, ve kterých jsou prášky ze syntetických diamantů namísto SiC nebo Al₂O₃, karbidů nebo nitridů bóru. Osobitou skupinu lapovacích past tvoří chemicko-mechanické pasty, jejichž je podstatnou složkou je kysličník chromitý. Složení těchto past je uvedené v tab. 4.5.

Tab. 4.5 - Složení chemicko-mechanických lapovacích past (v hmotnostních %). [2]

Název složek	Druh pasty		
	hrubá (zrna 40 μm)	střední (zrna 16 μm)	jemná (zrna 7 μm)
Oxid chromitý	81	76	74
Tuhá kyselina křemičitá	2	2	1,8
Stearín	10	10	10
Štěpený tuk	5	10	10
Kyselina oleínová	-	-	2
Dvojuhličitan sodný	-	-	0,2
Petrolej	2	2	2

Chemicko-mechanické pasty vykazují oproti pastám ze SiC a Al₂O₃ až dvojnásobně vyšší rychlosti úběru materiálu, ale vlivem zbytků opracovaného materiálu, který se dostává do pasty, poměrně rychle ztrácí svoje aktivní působení. Proto je potřeba je periodicky odstraňovat z nástroje a dávat nové nepoužité dávky pasty. [2]

Velikost zrna v lapovacích pastách se volí podle požadavků kladených na jakost povrchu. Pokud příliš nezáleží na hladkosti povrchu kvůli vyšším úběrům, volíme obvykle větší zrno, maximálně 100 μm. Nejčastěji používané zrna mají velikost 10 až 16 μm. [2]

Důležitým činitelem při lapování je velikost mezery mezi součástí a lapovacím nástrojem. Čím je rozměr zrna menší, tím menší musí být i mezera mezi lapovanou plochou součástí a nástrojem. Z hlediska dosahované jakosti lapované plochy je důležité, aby použitá zrna brusného materiálu měla rozměr příslušný dané zrnitosti. [2]

Důležitou otázkou zabezpečení optimálních podmínek lapování je kontrola nasycení obráběného povrchu pastou nebo suspenzí. Míru nasycení můžeme úspěšně kontrolovat mikroskopicky, pomocí elektronkového mikroskopu, radioaktivních izotopů, spektrální analýzy nebo ultrazvukových kmitů. [2]

4.5 Lapovací nástroje

Lapovací nástroje mají negativní tvar lapovaných ploch. Vyrábějí se nejčastěji z kvalitní jemnozrné perlitické litiny, z mědi, měkké oceli, olova, plastických hmot apod. Tyto měkké nástroje umožňují zamáčknutí brusiva do jejich činné části. Pro velmi jemné lapování se obvykle používá nástrojů z kalené oceli nebo tvrdě chromovaných nástrojů. [1] Používanými materiály jsou také sklo, bronz a dřevo.

Nejvhodnějším materiálem na lapovací nástroje je litina. Jako mazivo se používá grafit, který se nachází v litině. Nejvhodnější chemické složení litiny na lapovací nástroje je 2,80 až 3,10 % C, 0,5 až 0,7 % Mn, 1,8 až 2,0 % Si, 0,10 až 0,12 % S, 0,1 až 0,3 % P. [2]

Měkká ocel má větší výkon než litina, ale nedrží dobře geometrický tvar. Kalené a někdy i pochromované nástroje používané na lapování velmi tvrdých materiálů nebo tehdy, když je požadavkem dosáhnout velmi jemného povrchu. Olovo a jiné měkké kovy jsou vhodné materiály na profilové lapovací nástroje, protože se profil může poměrně snadno zhotovit odléváním. Tvrdé dřevo a plasty jsou vhodným materiálem na mimořádně těžké hrubovací práce. [2]

Dobrých výsledků je dosaženo lapováním pomocí skleněných kotoučů a desek. Sklo na lapovací nástroje musí mít dostatečnou tvrdost i pevnost, chemickou stálost, vysokou otěruvzdornost a nízký koeficient tepelné roztažnosti. Nejvýhodnějším materiálem je sklo Pirex. Skleněnými nástroji se lapují většinou součástky z hliníkových a měďnatých slitin. [2]

Tvary lapovacích nástrojů jsou určeny tvarem lapovaných ploch. Jsou to lapovací desky (pohybuje se obrobek) nebo destičky (pohybuje se nástroj) pro rovinné plochy, lapovací trny pro vnitřní plochy, lapovací prstence pro vnější rotační plochy. Pro strojní lapování rovinných ploch se používají litinové lapovací kotouče nebo brousící kotouče s vázaným brusivem a keramickou vazbou, pro rotační plochy se používá bezhrotý zapichovací nebo průběžný způsob, přičemž je nástrojem opět kotouč s brusivem v keramické vazbě. [1]

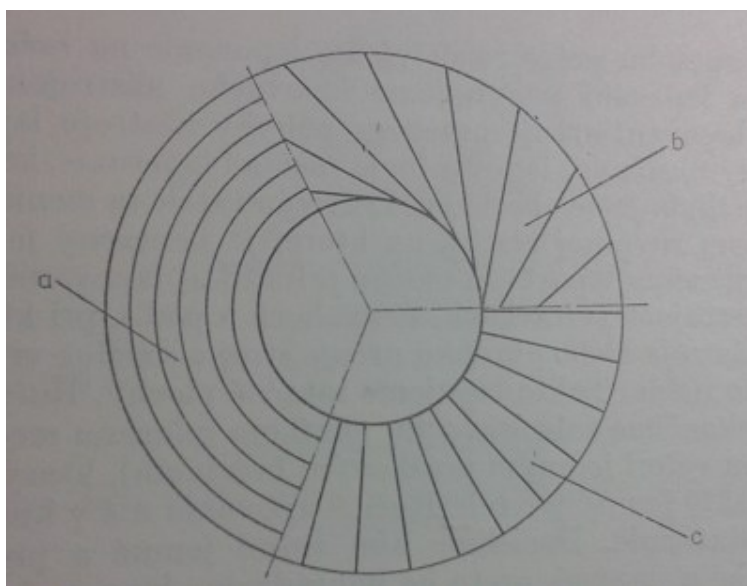
4.5.1 Druhy lapovacích nástrojů

Pro lapování vnějších válcových ploch jsou určeny nastavitelné prstencové pouzdra nebo objímky, které je možné v malých mezích nastavit na průměr obrobku. S těmito nástroji se obvykle lapuje na soustruhu, kde je možné snadno měnit smysl otáček. Odchylky kruhovitosti a válcovitosti je možné lapováním odstranit až na 0,001 μm . [2]

Na lapování vnitřních válcových ploch se používají pevné nebo nastavitelné lapovací trny. Pevné trny s odstupňovanými průměry se uplatňují nejvíce při lapování menších otvorů. Na lapování středních a větších otvorů se používají nastavitelné nástroje s rozřezaným pouzdem, které rozpíná kuželový trn přitahovaný maticí. [2]

Rovinné plochy se lapují na přesné rovinné tuhé desce ze šedé litiny s jemnou vrstvičkou lapovacího prostředku. Na dokončování se používají hladké lapovací desky. Nástroje lapovacích strojů u strojního lapování jsou lapovací kotouče s činnou plochou

tvaru mezikruží. Bývají ze šedé litiny s průměrem podle typu stroje až do 2000 mm. Kotouče na dokončování jsou obvykle hladké, hrubovací kotouče nebo kotouče s velkou činnou plochou se zhotovují s rýhami nebo drážkami podle obrázku 8.1. [2]



Obr. 4.1 – Hrubovací lapovací kotouče s velkou činnou plochou. [2]

Lapovací nástroje jsou nejdůležitější prostředky lapovacího procesu. V podstatné míře ovlivňují výsledek i efektivnost dokončování. Proto je třeba jim věnovat dostatečnou pozornost. [2]

5. Experimentální část práce

Experimentální část práce byla konzultována a vytvořena na základě spolupráce s firmou John Crane Sigma a.s. Lutín. Praktická část této bakalářské práce je zaměřena na přípravu ploch před procesem lapování a aplikaci tohoto procesu na zadanou součást.

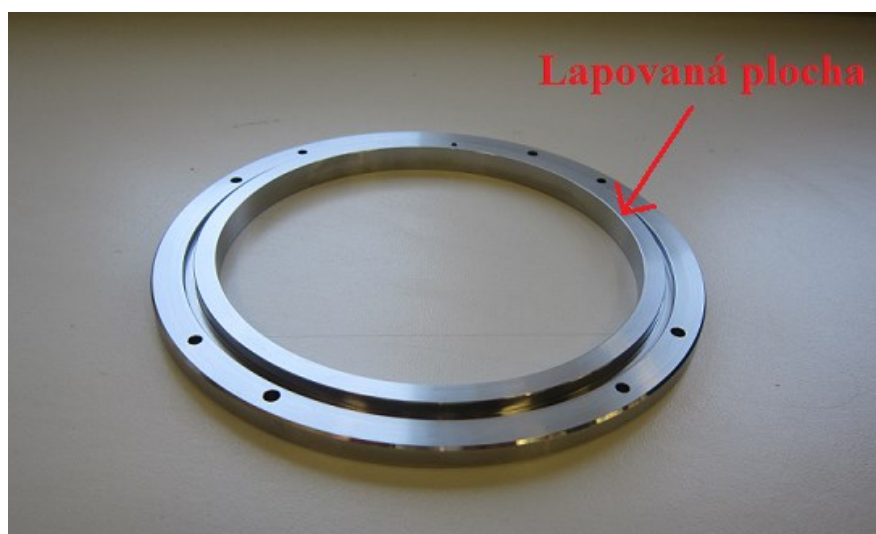
Firma John Crane, a.s. je součástí skupiny John Crane a částí koncernu Smith Group plc. Zabývá se výrobou mechanických ucpávek, těsnění a těsnících systémů a jejich prodejem na území České Republiky a Slovenska. Tyto produkty se používají ve všech oblastech průmyslu k těsnění rotačních zařízení, jako jsou kompresory, čerpadla, míchadla atp. Firma John Crane Sigma je současně zodpovědná za řízení prodeje firmy John Crane v oblasti střední a východní Evropy. Firma byla založena v roce 1993 jako jeden z prvních joint-venture podniků v tehdejší Československu mezi britskou firmou John Crane a čerpadlářským výrobcem Sigma Lutín. Součástí vkladu Sigmy Lutín do společného podniku byl výrobní areál, který společnost JCS využila k další expanzi. Do roku 1999 byla společnost organizována jako jeden podnik s vnitřním členěním na útvary, po roce 1999 se vzhledem ke změnám ve struktuře aktivit objevily prvky divizního uspořádání. Dnes se firma skládá ze tří divizí podle zaměření činnosti – komerční divize (Commercial), výrobní divize (Operations) a divize konstrukce (Design). Tyto divize jsou spojeny sdílenými procesy (zejména finance a lidské zdroje), mají však své vlastní rozpočty. [16]



Obr. 5. – Mechanická ucpávka. [18]

5.1 Lapovaná součást

Zadaná součást se jmenuje Clamp Plate, volně přeloženo jako upínací/přítlačná deska. Tato komponenta má významnou funkci v plynové ucpávce, a to dokonalé přitlačení lapované plochy druhého karbonového dílce dovnitř ucpávky. Mechanická ucpávka slouží k utěsnění čerpaného média, tak aby nedocházelo k jeho úniku do okolního prostředí. Základní těsnící funkce je závislá na dvou částech, a to na sedle a čele ucpávky. Aby mezi těmito komponenty byla co možná nejmenší propustnost, musí být u obou komponentů dosaženo vysoké kvality povrchu a vysokého stupně rovinnosti jejich vzájemně dosedajících ploch. Způsob opracování na lapovací dílně zajišťuje tuto konečnou úpravu, kterou nelze dosáhnout jinými běžnými metodami obrábění.



Obr. 5.1. – Lapovaná součást - Clamp Plate.

5.2 Materiál součásti

Lapovaná součást je vyrobena z materiálu ČSN 17021. Jedná se o martenzitickou nerezovou ocel, která vykazuje dobré mechanické vlastnosti v kombinaci s odolností vůči korozi v mírně agresivním prostředí. Martenzitická nerezová ocel s obsahem 12-18% chromu a do 1,5% uhlíku je schopna zakalení za austenitizační teploty. Oceli můžeme po kalení vyžíhat mezi 60-750°C pro získání feritické struktury s karbidy. Pokud není požadována houževnatost nebo tažnost, lze dosáhnout zušlechťováním až 2000 MPa pevnosti v tahu. Tyto nerezové oceli mohou být vytvrzené a zpevněné legujícími prvky (Cu, Ti, Ni, Al, Mo) při obsahu uhlíku do 0,1%. [15]

Vlastnosti materiálu ČSN 17021 [22]

- Martenzitické oceli jsou feromagnetické,
- odolné vůči korozi,
- velmi dobře svařitelné,
- dobře obrobitelné,
- vhodné pro lapování a leštění.

Obrobitelnost materiálu ČSN 17021 [26]

Obrobitelnost korozivzdorných ocelí závisí na mnoha faktorech, z nich nejdůležitější je především způsob jejich výroby a tepelné zpracování, mikrostruktura, chemické složení, fyzikální a mechanické vlastnosti, metoda obrábění, pracovní prostředí, geometrie nástroje, druh a vlastnosti nástrojového materiálu. Doporučené řezné parametry pro obrábění materiálu ČSN 17021 jsou uvedeny v tabulce 5.

Tab. 5 – Doporučené řezné parametry pro materiál ČSN 17021. [22]

	Hloubka řezu (mm)	6	3	1
	Rychlost posuvu (mm ⁻¹)	0,5	0,4	0,2
Žíhaná ocel R_m=600 -750 Mpa	Řezná rychlost (m·min ⁻¹)	170	240	300
Tvrzená ocel R_m = 780- 930 Mpa	Řezná rychlost (m·min ⁻¹)	160	230	280

Chemické složení

Tab. 5.1 – Chemické složení nerezové oceli 410. [15]

Jakost oceli				Chemické složení v %						
AISI	ČSN	DIN	EN	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
410	17021	1.4006	X12Cr13	0,08-0,15	1	1,5	0,4	0,03	11,5-13,5	0,75

Mechanické vlastnosti

Tab. 5.2 – Mechanické vlastnosti nerezové oceli 410. [15]

Mechanické vlastnosti							
Re [MPa]	Rm [MPa]	Tvrдость [HB]	Vrub. Houževnatost		Koncentrace Z [%]	Tažnost [%]	
			KCU 2	KCU 3		A3	A10
295-450	490-800	150-245	49-88	-	60	18-20	-

6. Příprava ploch před procesem lapování

Většina strojních součástí, které se vyrábí ve firmě John Crane Sigma a.s. se zhotovují obráběním, a to soustružením nebo frézováním. Strojní dílna má k dispozici cca 80 CNC obráběcích strojů, převážně soustruhů s poháněnými nástroji a přídatnou osou Y. Dále se jedná o 5-ti osé CNC frézky.

Požadavky kladené na funkční plochy součástí, které se zhotovují obráběním (soustružením, frézováním) před procesem lapování nejsou příliš vysoké. Především je zapotřebí dodržet rovinnost obrobených ploch, ale co se týče drsnosti povrchu, zde nejsou nároky vysoké, jelikož procesem lapování se drsnost povrchu upraví. Díky obrábění na CNC strojích je zaručena vysoká jakost obrobeného povrchu součástí a tím i drsnosti povrchu. Dále je zapotřebí, aby po obrábění zůstal dostatečný přídavek na lapování. Ve většině případů se jako přídavek volí horní mezní rozměr tolerance, která je uvedena na výkrese součásti.

Kovové komponenty jsou pouze obráběny a po té se dokončují lapováním. Komponenty s lisovaným nebo navařeným uhlíkovým dílcem se před procesem lapování podrobují broušení, aby byla zaručena rovnoběžnost funkčních ploch obou segmentů.

6.1 Obráběcí stroj

Zadaná součást Clamp Plate se zhotovuje soustružením. Pro soustružení byl použit obráběcí stroj Integrex 200Y od firmy MAZAK. Jedná se o obráběcí centrum, které může pro obrábění využívat čtyři osy (X, Y, Z, C). Technické parametry tohoto obráběcí centra jsou uvedeny v tabulce 6.



Obr. 6 – Obráběcí centrum Integrex 200Y. [23]

Tab. 6 - Parametry obráběcího centra Integrex 200Y. [23]

Obráběcí centrum INTEGRIX 200Y	
Parametry stroje	Hodnota
Maximální Ø součásti	540 mm
Maximální Ø průchozí tyče	51 mm
Délka	3485 mm
Šířka	2105 mm
Výška	2416 mm
Příkon	32,7 kW
Potřebná plocha	7,34 m ²
Hmotnost stroje	6800 kg
Havní vřeteno	
Maximální otáčky vřetene	5000 min ⁻¹
Výkon	22 kW
Maximální hmotnost obrobku	25 kg
Nástrojová hlava	
Max. otáčky hnaného nástroje	10000 min ⁻¹
Výkon	7,5 kW
Maximální otáčky vřetene	12000 min ⁻¹
Rychlost posuvu - osy X/Y/Z	30/15/33 m·min ⁻¹
Zásobník nástrojů	
Počet nástrojových míst	20
Výměna nástroje	1,2 s
Maximální hmotnost nástroje	4 kg

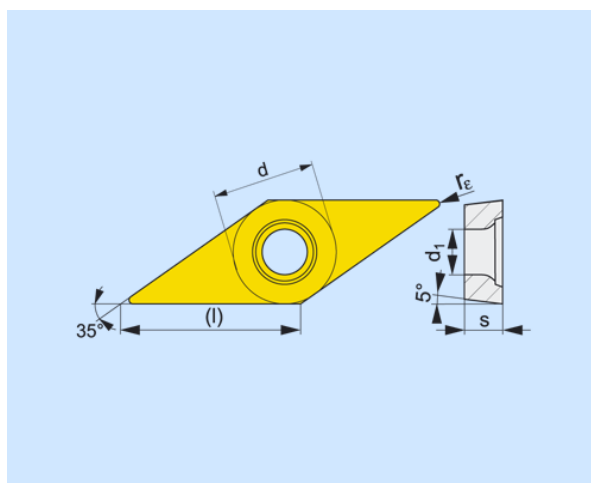
6.2 Obráběcí nástroj – VBD

Korozivzdorné oceli obvykle vykazují vyšší tažnost než je tomu u běžných ocelí. To znamená, že řezné materiály musí být houževnatější a povlakovány povlaky s nižší tendencí k adhezi. Mikrogeometrie řezné hrany musí kompenzovat vysokou tažnost a musí dobře utvářet třísky. Nerezové oceli jsou abrazivní materiály, což klade zvláštní nároky na povlak vyměnitelné břitové destičky, který musí být otěruvzdorný. Zvláštní pozornost je třeba věnovat drobnému vylamování řezné hrany, vrubovému opotřeбенí a odlupování povlaku. [25]

Pro čelní soustružení součásti se používá vyměnitelná břitová destička VBMT 160404 – FM od firmy PRAMET. Tato vyměnitelná břitová destička je určena pro dokončování.

Materiál této VBD je tvořen kombinací submikronových substrátů s rozdílným obsahem pojící kobaltové fáze a nově vyvinutého PVD povlaku. Nový povlak má nanovrstevnatou strukturu na bázi TiN/TiAlN s gradientními přechody. Povrch je opatřen

krycí vrstvou TiN k zabránění vzniku nárůstku a snadné identifikaci otěru destičky. Povlak vyniká optimální kombinací vysoké tvrdosti a dobré houževnatosti s vynikající adhezí k podkladovému slinutému karbidu. Tento materiál lze použít pro širokou škálu řezných rychlostí a posuvů. [24]



Obr. 6.1 – Vyměnitelná břitová destička VBMT 160404- FM. [24]

Tab. 6.1 – Rozměrové parametry břitové destičky VBMT 160404- FM. [24]

VBD	l	d	d ₁	s	r _e
VBMT 160404 - FM	16,6	9,525	4,5	4,76	0,4

6.3 Řezné parametry při čelním soustružení součásti Clamp Plate

Vzhledem k mechanickým a fyzikálním vlastnostem chromových slitin není možné obrábět tyto slitiny stejnými řeznými podmínkami, které se používají pro obrábění běžných ocelí. Hlavní omezení se klade na řeznou rychlost a posuv. Doporučené řezné rychlosti a posuvy jsou uváděny v katalogích výrobců řezných materiálů. [25]

Posuv - musí být dostatečný pro zajištění efektivního řezu, neměl by však být větší než polovina rádiusu břitové destičky, jinak by mohlo dojít k vylomení břitu. Pokud se zvolí příliš nízká hodnota posuvu, vzniká vláknitá tříska, rychlé opotřebení hřbetu, nárůstek na břitu a neekonomický provoz. Příliš vysoká hodnota posuvu způsobuje ztrátu kontroly utváření třísek, špatnou kvalitu obrobeného povrchu, opotřebení ve tvaru žlábků, vzniká vysoká spotřeba energie, navařování a zasekávání třísek. [25]

Hloubka řezu - musí být větší než rádius břitové destičky, což zajistí správné formování třísek, avšak nesmí být příliš velká, aby nedocházelo k vylomení břitu. Při zvolení příliš malé hloubky řezu se ztrácí kontrola utváření třísek, vznikají vibrace, nadměrný vývin tepla a neekonomický provoz. Pokud zase naopak je zvolena příliš velká hloubka řezu vzniká vysoká spotřeba energie, lom VBD a vyšší řezné síly. [25]

Řezná rychlost - musí být dostatečně velká, aby nedocházelo k opotřebení typu nárůstku na hraně, při příliš vysoké řezné rychlosti ale může vzniknout opotřebení vlivem chemických jevů. Při zvolení příliš nízké řezné rychlosti vzniká nárůstek na břítu, otupení břítu, neekonomický provoz a špatná kvalita obrobeneho povrchu. U příliš vysoké řezné rychlosti vzniká rychlé opotřebení hřbetu, špatná kvalita obrobeneho povrchu, zvýšené opotřebení ve tvaru žlábků a plastická deformace. [25]

Pro čelní soustružení zadané součásti se používají tyto řezné parametry:

- **řezná rychlost v_c** – $180 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$,
- **posuv f** – $0,09 \text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}$,
- **hloubka řezu a_p** – $0,02 \text{ mm}$.

Požadavky na obrobenou plochu nebývají vysoké. Co se týče drsnosti povrchu, tak ta je zanedbatelná, jelikož po obrábění následuje proces lapování, kterým se povrch upraví na požadovanou drsnost. Při použití vyměnitelné břitové destičky se zaoblením špičky $r = 0,4 \text{ mm}$ a posuvu $f = 0,09 \text{ mm}\cdot\text{ot}^{-1}$ vznikne poměrně kvalitní povrch. Dosažená drsnost povrchu po obrábění na obráběcím centru se pohybuje okolo $Ra 1,6$. Důležitým požadavkem, na který se klade velký důraz po soustružení je rovinnost čelní plochy součásti. Předepsaná rovinnost po obrábění je $0,02 \text{ mm}$. Tato rovinnost se kontroluje na kruhoměru.



Obr. 6.2 – Čelní plocha součásti Clamp Plate po soustružení.

7. Postup lapování součástí

Cílem je definovat postup při lapování, který bude v souladu s požadavky uvedenými v normě IS-107. Tento postup je určen pro pracovníky provádějící lapování všech dílců ve firmě John Crane Sigma a.s. [18]

Lapovací stroj

Lapování se provádí na stroji č. 1, jedná se o stroj Lapmaster LM36.



Obr. 7. – Lapmaster LM36. [17]

Standartní funkce: [17]

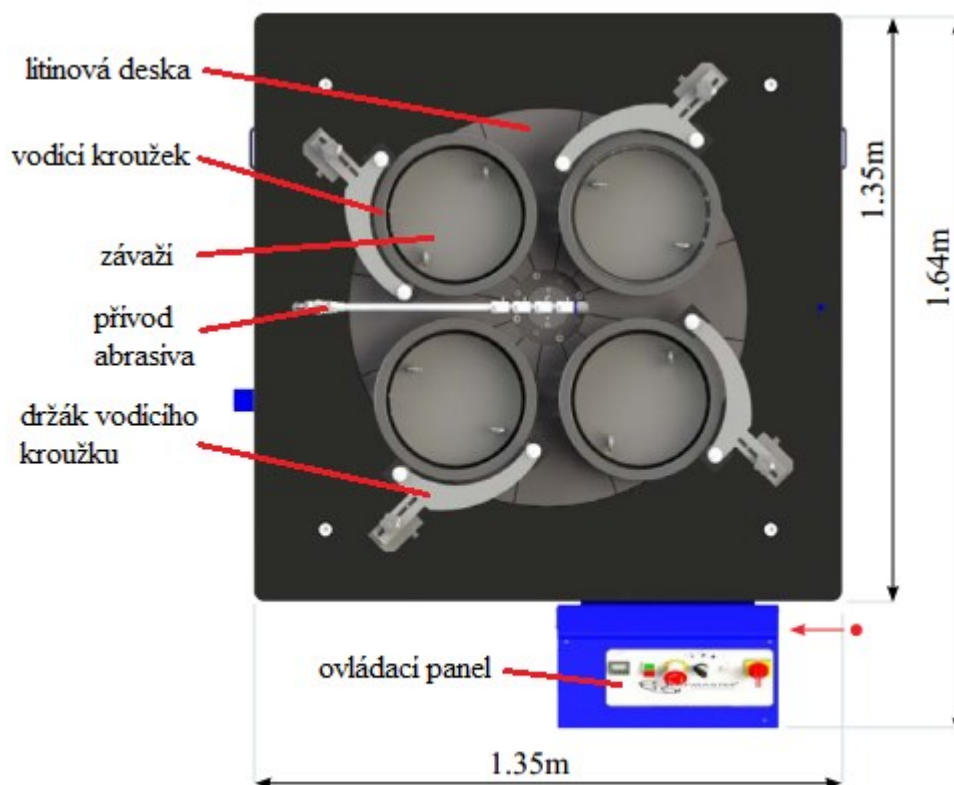
- stacionární základna s integrálně montovaným hnacím motorem + převodovka,
- vertikálně nastavitelný pracovní stůl,
- vysoký točivý moment pohonné jednotky, která se skládá z 4kW motoru a převodovky
- rychlost lapovací desky 58 ot/min
- ovládací panel start/stop + časovač
- odpadní nádrž.

Standartní příslušenství: [17]

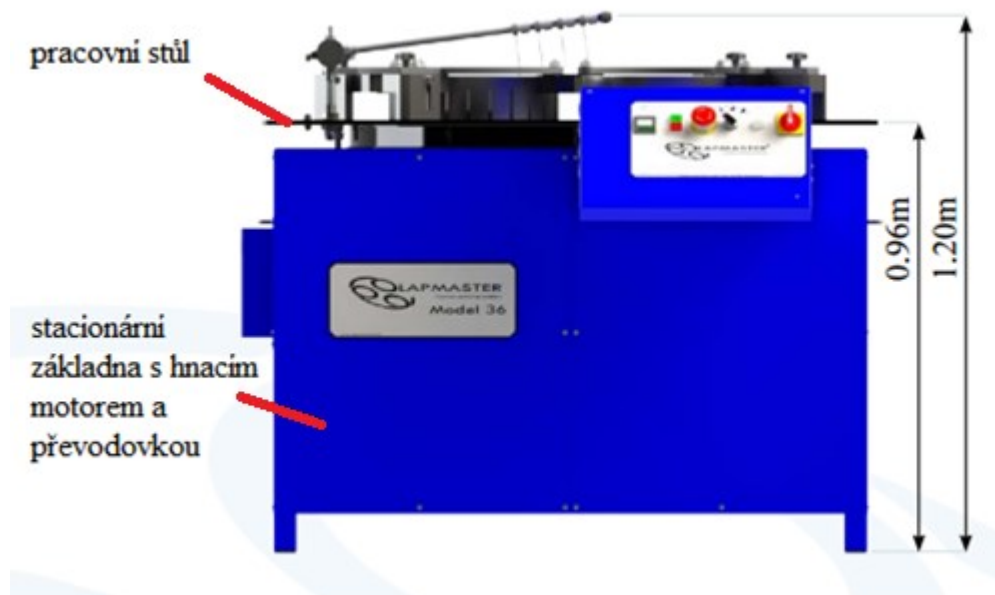
- litinová drážkovaná deska o průměru 914 mm,
- 4 litinové zoubkované vodící kroužky (vnější/vnitřní průměr 377/322 mm)
- 4 závaží,
- 4 držáky vodících kroužků,
- Příručka o provozu a údržbě stroje.

Technické parametry: [17]

- el. zdroj – 280/320V, 3 fáze, 50Hz,
- tlak vzduchu – 400 kPa
- tlak vody – 100 kPa



Obr. 7.1 – Lapmaster LM36. [17]



Obr. 7.2 – Lapmaster LM36. [17]

Lapovací prostředky

Mezi lapovací prostředky řadíme různé lapovací pasty, oleje a abraziva. Jako abrazivum se používá lapovací prášek. Používají se zrna karbidu křemíku nebo syntetického diamantu. Velikost brusných zrn je různá, volí se podle toho, zda chceme povrch součásti hrubovat, matovat nebo leštit. Lepší drsnost povrchu dosáhneme použitím abraziva s menším brusným zrnem. Nejčastěji mohou mít zrna velikost 3, 6, 9 a 14 μm .



Obr. 7.3 – Směs oleje a diamantového prášku 3 μm .

7.1 Kontrola rovinnosti lapovacích strojů

Před procesem lapování je velice důležité, aby lapovací stroje, eventuálně lapovací desky splňovaly požadavky na rovinnost. Proto se před lapováním musí zkontrolovat rovinnost lapovacího stroje.

Postup kontroly rovinnosti hrubovacích strojů pomocí lapovacího puku [18]

- Lapovací puk se umístí na lapovací stroj na lapovací desku. Používá se lapovací puk stejného označení, jako má samotný lapovací stroj. Puk se lapuje 15 minut.
- Následuje vizuální kontrola, jestli je povrch správně vylapovaný po celé ploše. Pokud není vylapován po celé ploše znamená to, že lapovací deska není v rovině, proto se musí pokračovat v lapování.
- Jakmile je puk vylapovaný, je třeba ho řádně očistit a vyleštit na leštičce po dobu 5 minut.
- Po té puk opět řádně očistit a zjistit jeho rovinnost pomocí monochromatického světla podle níže uvedeného postupu (kapitola 8.). Důležitý je počet světelných pruhů, které se vytvoří na součásti po položení na skleněnou desku a ozáření monochromatickým světlem.
- Jestliže je počet pruhů vyšší než 4, potom se musí začít rovinnost lapovacího stroje upravovat vychýlením vodícího kruhu a zapsat jeho novou pozici do protokolu.

7.2 Hrubování

- Materiály součástí, které jsou určeny pro lapování lze rozdělit do 3 skupin viz tabulka 7.1. Materiál lze rozpoznat podle vzhledu nebo pomocí průvodky, kde je uveden název materiálu.

Tab. 7.1 – Rozdělení dílců dle materiálu. [18]

Kovové součásti	Jsou to všechny materiály, které mají kovový vzhled. Nejvíce používané materiály jsou označené v průvodce jako Cast Iron, Ni-resist, St Steel .
Bronzové součásti	Bronzový vzhled, různé slitiny. Nejvíce používaný materiál je v průvodce označen Bronze .
Nástříky a návary	Vzhledem lze rozpoznat podle odlišné barvy nástříku nebo návary. Na průvodce je uvedeno Nástřík v řádku Externí operace.

- Jednotlivé druhy materiálu se mohou skombinovat do skupin tak, aby se mohly lapovat najednou.

- Před lapováním se musí přeměřit a překontrolovat délky všech kusů pro jistotu, že nejsou krátké a pro představu, jaký je přírůstek na lapování.
- Podle průměru dílce je potřeba vybrat vhodné závaží a zatížit jím lapovaný kus. Pokud nelze nalézt vhodné závaží, může se součást lapovat bez závaží. V takovém případě se automaticky prodlužuje čas lapování na dvojnásobek. Důležité je vždy brát v potaz velikost lapované plochy a hmotnost dílce.
- Před lapováním je nutné zkontrolovat množství abraziva a mazací kapaliny v zásobnících, případně je doplnit. Lapovací prášek s olejem se namíchá v poměru 0,45l prášku na 15 litrů oleje.
- Nastavení času lapování jednoho cyklu v minutách se volí podle tabulky 7.2.

Tab. 7.2 – Čas lapování jednoho cyklu (min). [18]

Kovové součásti	45
Bronzové součásti	max. 15
Nástřiky a návary	max. 5

- Pokud je nastaven čas lapování, může se spustit stroj a zkontrolovat, případně upravit kapání abraziva, aby bylo rozloženo rovnoměrně po celé ploše lapovací desky.
- Po ukončení lapování se kusy vyperou nejdříve v obyčejné pračce a poté v ultrazvukové pračce. Ultrazvuková pračka má samostatný návod k obsluze. [18]

8. Kontrola rovinnosti monochromatickým světlem

Po lapování se musí zkontrolovat rovinnost lapované plochy. Používá se kontrola monochromatickým světlem, která spočívá v osvětlení povrchu součásti ležící na průhledné skleněné desce. Po osvětlení monochromatickým světlem se na lapované ploše objeví světelné pruhy.

Postup kontroly rovinnosti monochromatickým světlem [18]

- Kontrolní sklo i samotný lapovaný povrch, který se bude měřit, se řádně očistí nejdříve lihovým čističem a potom utře do sucha. Kontrolované kusy se musí před přeměření utřít antistatickou utěrkou.



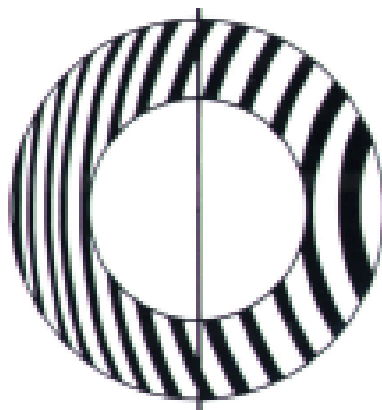
Obr. 8 – Čištění součásti před měřením. [18]

- Součást se opatrně položí kontrolovanou plochou - čelem na sklo. Na zrcadle by se měly objevit světelné pruhy. Opětným pozvednutím s pootočením až se najde taková poloha – dotyk, kdy jsou vidět pruhy nejostřeji a zároveň které se budou blížit ideální rovině, tzn. pruhy jsou rovné a mezery mezi tmavým a světlým pruhem budou stejné. Kus se nesmí potahovat po desce, poškrábe se jak kus, tak i sklo.



Obr. 8.1 – Ideální tvar a poloha pruhů. [18]

- Jakmile se najde nejlepší pozice, je třeba si představit pomyslnou osu na dílci natočenou tak, aby byla co nejvíce souběžná s pruhy. Obr. 8.2 ukazuje rovinnost jednoho pruhu.



Obr. 8.2 – Rovinnost jednoho pruhu. [18]

- Jestliže je potřeba z nějakého důvodu zjistit typ zakřivení, potom je třeba lehce zatlačit prstem na kraj, jak je znázorněno obrázku 8.3 a sledovat, kterým směrem se pruhy začnou pohybovat. Pokud se pruhy začnou pohybovat směrem k prstu, znamená to, že lapované čelo je konvexní, pohybují-li se pruhy směrem od prstu pak je čelo konkávní.



Obr. 8.3 – Konkávní zakřivení. [18]

- Požadavek na patřičnou rovinnost by měl být uvedený na výkrese. Pokud není uveden na výkrese, nebo je na výkrese pouze odkaz na normu IS-107, pak se řídit níže uvedenou tabulkou 8. V těchto případech mohou být kusy jak konvexní, tak i konkávní.

Tab. 8 – Požadavek pro patřičnou rovinnost dle velikosti kusů. [18]

Vnitřní – tzn. menší průměr	Max.počet svět. pruhů
do 100mm	2
od 101 do 200	3
od 201 do 300	4
od 301 do 400	5

9. Technologický postup součásti

Nařezaný surový materiál



Obr. 9 – Polotovary.

Obrábění – soustružení



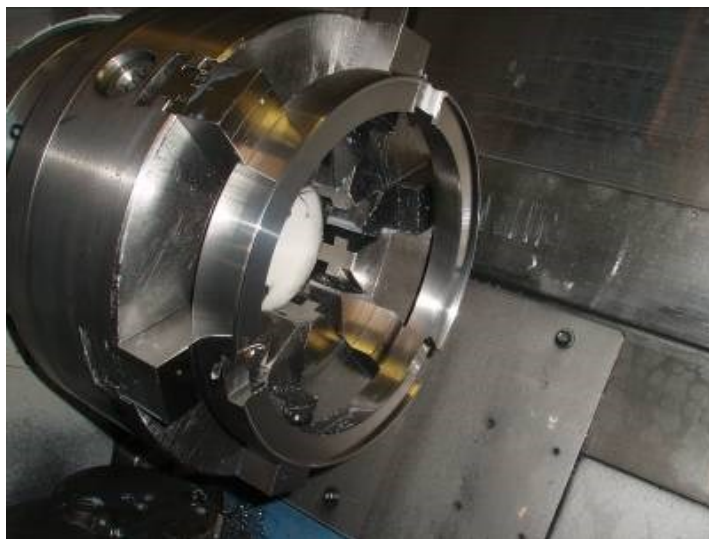
Obr. 9.1 – Soustružení.

Mezioperační kontrola



Obr. 9.2 – Mezioperační kontrola operátorem.

Obrábění – frézování



Obr. 9.3 – Frézování.

Mytí a čištění dílců



Obr. 9.4 – Mytí a čištění dílců.

Finální kontrola dílců



Obr. 9.5 – Finální kontrola.

Zabalení dílců



Obr. 9.6 – Zabalení dílců.

Tab. 9 – Sled operací. [18]

Č.	OPERACE	STŘEDISKO	ČAS				POPIS
1	DĚLENÍ MATERIÁLU	ŘEZÁRNA MATERIÁLU	0	min	0	min	-
2	GS_A_TU	HRUBOVÁNÍ	10	min	10	min	Hrubování - hrubovat dílec s přídávky pro žíhání
3	JINÉ	ŽÍHÁNÍ	0	min	0	min	Žíhání - žíhat na teplotu pro odstranění prnutí dle tabulky pro žíhání - technolog
4	GS_A_TU	SU 'A' + SU 'B'	40	min	40	min	SU 'A' + SU 'B' 1) Lehce upnout do 6ti čelistního sklíčidla za vnější vyhrubovaný průměr. (upínat s citem) Soustružit vnější a vnitřní průměr dílce na hotovo. 2) Vytočit segmentové čelisti a soustružit dílec ze strany čelního zápichu na hotovo (před šlichtováním opatrně uvolnit dílec a znovu ho lehce dotáhnout + srovnat na hodinky). Celkovou délku dělat s přídávkem 0,3mm. 3) Otočit dílec, upnout za vnější průměr + srovnat rovinnost čela pomocí hodinek na max. 0,02mm. Odsoustružit přídavek 0,3mm na čele. pozn. Tolerovanou délku (pro matování) dělat na horní mez tolerance!!!
5	GS_A_MI	FR	35	min	22	min	FR - Vrtat, závitovat dílec z obou čel a z průměru dle výkresu.
6	GS_A_MI	KONTROLA	0	min	0	min	Kontrola
7	MYTÍ	MYTÍ, ČIŠTĚNÍ	0	min	0	min	
8	MYTÍ	POPIS DLE INSTRUKCE	0	min	0	min	
9	GS_INSP	KONTROLA	0	min	0	min	Kontrola 100% kontrola dílců pro Gas Seals včetně protokolů z měření na CMM. Popis dle instrukce.
10	LAPOVÁNÍ	LAPOVNA	0	min	10	min	Lapování. Matování čela dle výkresu.
11	KOLÍKOVÁNÍ	KOLÍKOVÁNÍ	0	min	0	min	
12	KONTROLA	KONTROLA	0	min	0	min	
13	ULOŽENÍ NA SKLAD	SKLAD	0	min	0	min	

10. Technické zhodnocení

V průběhu návštěv a konzultací ve společnosti John Crane Sigma a.s. proběhlo seznámení s problematikou procesu lapování. V rámci řešení bakalářské práce v této společnosti bylo zjištěno několik nedostatků, na které bylo upozorněno. Proto byly navrženy drobné úpravy. Jedná se zejména o tyto nedostatky:

Lapování kalených kroužků „HCC“

Na lapovacím stroji vybaveném speciální lapovací vrstvou MM plate, kde se provádí lapování velmi tvrdých zakalených kroužků byl zjištěn nedostatek v systému přítlaku dílců na lapovanou plochu. Na standardních strojích se k zatížení používají jednotlivá závaží, která jsou vyráběna pro specifické dílce. Oproti ostatním strojům je tento stroj specifický tím, že k přítlaku používá pneumatické písty na jejichž konci je litinová deska o vnitřním průměru unášecího kruhu. Tato litinová deska potom působí jako závaží na skupinu komponentů o stejné výšce. Drobné nerovnosti a rozdíly v délkách komponentů jsou eliminovány pomocí vatové tkaniny o vysoké tloušťce. Společnost si stěžovala na nerovnoměrnost přítlaku a zvýšenou hlučnost způsobenou „poskakováním“ dílců po lapovací desce. Společnosti bylo doporučeno vyměnit výše zmíněnou tkaninu za gumový plát o tloušťce 6 mm. Společnost tuto možnost otestovala a došlo nejen ke snížení hlučnosti, ale také ke zlepšení výsledné rovinnosti.



Obr. 10 - Lapování kalených kroužků „HCC“.

Změna vstříkovacího systému

Dále bylo vyzorováno, že vstříkovací jednotka u lapovacích strojů aplikuje abrazivum na stále stejné místo. To je znatelné i na ploše lapovací desky, kde je povrch na kružnici pod vstříkáním výrazně opotřebenější. Na tento fakt byla společnost upozorněna a aktuálně poptává vstříkovací jednotku s pístem, která zajistí vstříkání rovnoměrně od vnějšího průměru až po střed lapovací desky.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo popsat přípravu ploch a jejich povrchů před procesem lapování i proces lapování samotný. Tato problematika byla konzultována ve společnosti John Crane Sigma a.s. v Lutíně. Tato firma se zabývá výrobou mechanických ucpávek, těsnění a těsnících systémů, na jejichž komponentech je proces lapování aplikován.

Zadaná součást se jmenuje Clamp Plate. Jedná se o přitlačnou desku, která má významnou funkci v plynové ucpávce. Jejím hlavním úkolem je dokonalé přitlačení lapované plochy druhého karbonového dílce dovnitř ucpávky. Soustružení zadané součásti se provádí na obráběcím centru Integrex 200Y. Jako nástroj se používá vyměnitelná břitová destička VBMT 160404 – FM.

Požadavky kladené na funkční plochy po obrábění těsnící přitlačné desky nejsou příliš vysoké. Drsnost povrchu po obrábění na obráběcím centru se pohybuje okolo Ra 1,6, ale na drsnosti povrchu není kladen velký důraz, jelikož drsnost se upraví při lapování. Důležitá je po obrábění rovinnost obrobené plochy. Požadavek na výslednou rovinnost po obrábění je 0,02 mm.

Před procesem lapování je důležité, aby byla provedena kontrola rovinnosti lapovacího stroje. Lapování se provádí na lapovacím stroji Lapmaster LM36. Při lapování se používají lapovací pasty, roztoky nebo emulze. Pro výrobu komponenty Clamp Plate se používá směs lapovacího prášku Karbidu křemíku a oleje Unilap.

Po několika návštěvách a konzultacích ve společnosti John Crane Sigma a.s. v Lutíně proběhlo seznámení s procesem lapování. Pro odstranění nedostatků v procesu lapování bylo navrženo určitá zlepšení. Jedná se o tato opatření: výměna vatové tkaniny za 6 mm silný gumový plát, který slouží k přitlaku při lapování HCC kroužků. Dalším opatřením je změna vstřikovacího systému, jelikož abrasivum bylo při lapování aplikováno na stále stejné místo. To je znatelné i na ploše lapovací desky, kde je povrch na kružnici pod vstřikováním výrazně opotřebenější.

Proces lapování je v praxi nepostradatelný, protože v dnešní době jsou kladeny vysoké nároky na kvalitu obrobeného povrchu strojních součástí. Těmto požadavkům mnohdy nelze vyhovět za použití běžných obráběcích metod. Proto se volí konvenční nebo nekonvenční dokončovací metody, mezi které lapování patří.

Seznam použité literatury

- [1] MÁDL, Jan, Jindřich KAFKA, Martin VRABEC a Rudolf DVOŘÁK. *Technologie obrábění: 3. díl*. ČVUT, 2000.
- [2] GAŠPÁREK, Jozef. *Dokončovacie sposoby obrábania*. Bratislava: ALFA, 1979.
- [3] EL-WARDANY, T. I., KISHAWY, H., ELBESTAWI, M. Surface Integrity of Die Material in High Speed Hard Machining, Part 1: Micrographical Analysis. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 1999, vol. 122, no. 4, p. 620–632. DOI: 10.1115/1.1286367.
- [4] HOLEŠOVSKÝ, F. *Jakost obráběných povrchů*. 1st ed. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, 2003. 179 p. ISBN 80-7044-539-4.
- [5] HOLEŠOVSKÝ, F., NOVÁK, M. New knowledge in Properties of Ground Surfaces. *Manufacturing Engineering*, 2009, vol. 2, no. IX, p. 17–21. ISSN 1335-7972.
- [6] KONIG, W. Turning versus Grinding – A Comparison of Surface Integrity Aspects and Attainable. *Cirp Annals-Manufacturing Technology*, 1993, vol. 42, no. 1, p. 39–43. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)62387-7.
- [7] MASLOV, J., KLUŇA, J. *Teorie broušení kovů*. 1st ed. Praha: SNTL, 1979. 246 p.
- [8] NESLUŠAN, M., BRYCHTA, J., ČEP, R., et al. *Experimentálna metódy v trieskovom obrábani*. 1st ed. Žilina: EDIS, 2007. 349 p. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [9] NOVÁK, M., HOLEŠOVSKÝ, F. *Studium integrity broušeného povrchu*. In *Manufacturing Engineering*. 2008. Prešov: FVT TU Košice, 2008. s. 11-13. ISSN 1335-7972.
- [10] VASILKO, K., BOKUČAVA, G. *Brúsenie kovových materiálov*. 1. st ed. Bratislava: Alfa, 1988. 248 p.
- [11] WERNER, D., SMEJKAL, E., LUTZE, H. *Spanende Formung. Theorie, Berechnung, Richtwerte*. 16th ed. Carl Hanser Verlag GmbH & CO, 2009. 416 p. ISBN 978-3446417137.
- [12] MÁDL, Jan, Jindřich KAFKA, Martin VRABEC a Rudolf DVOŘÁK. *Technologie obrábění: 3. díl*. ČVUT, 2000.
- [13] JANÁČ, Alexander, Bohumil BÁTORA, Ivan BARÁNEK a Zdenko LIPA. *Technológia obrábania*. Bratislava: STU, 2004. ISBN 80-227-2031-3.
- [14] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘOVSKÁ, L. *Technologie II 1.díl* Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.

- [15] Nerezové materiály, Nerez ocel – TERAPOL spol. s.r.o. [online]. [cit. 2014-5-5]. <<http://www.terapol.cz/clanek/no-vap-hlavni-skupiny>>.
- [16] BĚLOHLÁVEK, František. Jak vést svůj tým. Vyd. 1. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-1975-7.
- [17] Lapping Machine and Polishing Machine Systems from Lapmaster International [online]. C2006, poslední revize 10.4.2014 [cit. 2014-6-5]. <<http://www.lapmaster.co.uk/files/machines/Lapmaster%2036%20OF%204R.pdf>>.
- [18] Interní předpisy a normy společnosti John Crane Sigma a.s.
- [19] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1999.
- [20] KRÍŽ, A. *Integrita povrchu*. [online]. [cit. 2014-6-5]. <http://integrita.zcu.cz/download/skola2/plzen_prez1.pdf>.
- [21] HUMÁR, A. Technologie I (Technologie obrábění – 3. část). Studijní opory pro magisterskou formu studia “Strojírenská technologie“. Brno: VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Dostupné na World Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf>.
- [22] Nerezová martenzitická chromová ocel – DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE. [online]. [cit. 2014-6-5]. <http://www.dew-stahl.com/fileadmin/files/dew-stahl.com/documents/Publikationen/Werkstoffdatenblaetter/RSH/1.4006_en.pdf>.
- [23] Operating manual INTEGREGX 200Y., Japonsko: Yamazaki MAZAK, 2001. Číslo publikace E135WG0017E0.
- [24] Vyměnitelné břitové destičky – PRAMET. [online]. [cit. 2014-7-5]. <<http://ecat.pramet.com/insertsGrid.aspx>>.
- [25] DE VOS, P. *Příručka pro technology – Obrobitelnost*. MM Průmyslové spektrum, 2011/ 12, str. 58. Kód článku: 111218.
- [26] STAHL, J-E. METAL CUTTING (2012) *Theories and models*. Sweden: Division of Production and Materials Engineering. Lund University Sweden, p. 580. ISBN 978-91-637-1336-1.

Seznam příloh

Příloha 1 - Výkres součásti Clamp Plate