

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FS – Ústav technologie obrábění projektování a metrologie



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Implementace technologie strojního leštění CoCr
kolenních implantátů do sériové výroby**

Vypracoval: Bc. Jakub Svoboda

Studijní obor: Výrobní a materiálové inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Pitrmuc

Praha 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Svoboda** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **424642**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Implementace technologie strojního leštění CoCr kolenních implantátů do seriové výroby

Název diplomové práce anglicky:

Implementation of pre-developed technology of automated polishing of CoCr knee implants to serial production

Pokyny pro vypracování:

- 1) Zmapování aktuálního stavu technologie a vyhodnocení provedených technologických zkoušek
- 2) Implementace upínacích přípravků pro technologii broušení a leštění
- 3) Aplikace automatického dávkování leštících suspenzí
- 4) Využití obrobkové sondy pro navedení lapovací hlavy na povrch implantátu
- 5) Zkušební leštění prototypu v automatickém cyklu

Seznam doporučené literatury:

- 1) Struers application guide for implants
- 2) Návod k obsluze systému Mikroprog-F

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Zdeněk Pitrmuc, ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **02.04.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **19.07.2019**

Platnost zadání diplomové práce: _____


Ing. Zdeněk Pitrmuc
podpis vedoucí(ho) práce


Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

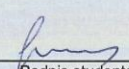

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

17.4.2019

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma **Implementace technologie strojního leštění CoCr kolenních implantátů do sériové výroby** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, které jsou uvedeny v příloze.

Dne:

Podpis:

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu, Ing. Zdeňkovi Pitrmucovi, za odborné vedení, cenné rady, vstřícnost při konzultacích, optimistický přístup a pomoc při zpracování této diplomové práce.

Anotace

Tato práce se zabývá vývojem metody strojního leštění CoCr kolenních implantátů a následným zavedením této metody do sériové výroby. V teoretické části je řešeno rozdělení CoCr slitin v biomedicínských aplikacích, provedena rešerše neodymových magnetů s poukázáním na problematiku obrábění a zasvěcení do programování frézky FCM 22 CNC. V praktické části je zmapován aktuální stav technologie a navržen postup strojního leštění Tibiálního plata vhodný pro zavedení do sériové výroby.

Klíčová slova

CoCr slitiny, Tibiální plato, neodymový magnet, leštící hlava, strojní leštění

Anotation

This diploma thesis deals with the development of the method of machine polishing of the CoCr knee implants and, subsequently, it presents introducing this method into serial production. The theoretical part covers the distribution of CoCr alloys in biomedical applications, followed by a review of neodymium magnets with referring to the problems of machining and initiation into the programming of the milling machine FCM 22 CNC. In the practical part, the current state of technology is mapped and the process of machine polishing of the Tibial plate suitable for introduction into serial production is proposed.

Keywords

CoCr alloys, Tibial plateau, neodymium magnet, polishing head, machine polishing

Abecední seznam zkratk

Označení	Legenda	Jednotka
a_p	Hloubka řezu	[mm]
Br	Remanence	[T]
$(B \times H)_{\max}$	Maximální energetický součin	[kJ/m ³]
E	Modul pružnosti	[Gpa]
f	Minutový posuv	[mm]
$f_{\text{stranový}}$	Stranový posuv	[mm]
f_z	Posuv na zub	[mm]
H_{cb}	Koercitivní síla – normální	[kA/m]
H_{ci}	Koercitivní síla – vnitřní	[kA/m]
n	Otáčky	[m/s]
Ra	Střední aritmetická úchylka profilu	[μ m]
Re	Mez kluzu	[MPa]
Rm	Mez pevnosti	[MPa]
Rmax	Maximální výška profilu	[μ m]
Rz	Výška nerovnosti profilu určená z 10 bodů	[μ m]
s	Otáčky za minutu	[ot/min]
t	čas v minutách	[mim]
v_c	Řezná rychlost	[m/min]
V_{obrobku}	Rychlost obrobku	[mm/min]
T_w	Provozní teplota	[°C]

Obsah

1	Úvod	10
2	Kobaltové slitiny v biomedicině	11
2.1	Slitiny Co-Cr-Mo.....	11
2.2	Slitiny Co-Cr-W-Ni	13
2.3	Slitiny Co-Ni-Cr-Mo.....	14
2.4	Kloubní implantáty	16
2.4.1	Rozdělené kloubních implantátů	16
2.4.2	Kolenní implantáty	16
3	Programování frézky FCM 22 CNC	17
3.1	Řídicí systém	17
3.2	Hlavní funkce programování.....	18
3.3	Pomocné funkce programování.....	19
3.4	Tvorba programu	19
4	Neodymové magnety.....	20
4.1	Výroba.....	20
4.2	Povrchové úpravy	21
4.3	Druhy neodymových magnetů	22
4.4	Obrábění neodymových magnetů	22
5	Aktuální stav technologie	23
5.1	Technologie broušení.....	23
5.2	Technologie leštění	23
6	Implementace upínacích přípravků pro technologii broušení a leštění.....	25
6.1	Přípravek pro ustavení Tibiálního plata.....	25
6.2	Stanovení velikosti upínací síly v přípravku	26
6.2.1	Utahovací moment 5Nm	28
6.2.2	Utahovací moment 10Nm	28
6.2.3	Utahovací moment 15Nm	28
7	Návrh a výroba leštících hlav	30
7.1	Hlava s lepeným plátnem.....	30
7.2	Hlava s neodymovým magnetem	32
8	Broušení Tibiálního plata	40
9	Leštění Tibiálního plata.....	42

9.1	Strojní leštění – pokus 1.....	44
9.2	Strojní leštění – pokus 2.....	46
9.3	Strojní leštění – pokus 3.....	49
9.4	Strojní leštění – pokus 4.....	53
9.5	Strojní leštění – pokus 5.....	54
9.6	Strojní leštění – pokus 6.....	57
10	Navedení hlavy na povrch implantátu.....	59
11	Automatické dávkování leštících suspenzí.....	61
12	Závěr.....	63
	Použitá literatura.....	65
	Seznam obrázků.....	67
	Seznam tabulek.....	68
	Seznam grafů.....	69

1 Úvod

Diplomová práce se zabývá technologiemi strojního leštění Tibiálního plata z CoCr slitiny a následné implementace vybrané technologie do sériové výroby. Navazuje tak na diplomovou práci zabývající se problematikou obrábění CoCr slitin a optimalizací výrobního postu Tibiálního plata.

V teoretické části jsou představeny kobaltové slitiny a jejich využití v biomedicině. Podrobněji se pak práce zaměřuje na kloubní náhrady z biokompaktních CoCr slitin. Další kapitola se věnuje řídicímu systému frézky FCM 22 CNC a jejímu programování. V závěru teoretické části je udělána rešerše neodymových magnetů a rozebrána problematika jejich obrábění.

Praktická část začíná zmapováním aktuálního stavu technologie a vyhodnocením provedených technologických zkoušek. Pokračuje návrhy a výrobou leštících hlav. Pro testy strojního leštění je vybrána konstrukce leštící hlavy s neodymovým magnetem. Dále jsou popsány průběhy jednotlivých pokusů a vyhodnoceny jejich výsledky. Praktická část se v závěru zabývá využitím obrobkové sondy k zaměření Tibiálního plata ustaveného v přípravku a návrhem řešení automatického dávkování diamantové emulze a smáčedla.

2 Kobaltové slitiny v biomedicině

Biomedicína v současné době využívá čtyři typy kobaltových slitin. Jejich chemické složení je charakterizováno zastoupením prvků Co, Cr, Ni, Mo a konkrétně se jedná o slitiny:

- ASTM F75 (Co-28Cr-6Mo – slitina)
- ASTM F799 (Co-28Cr-6Mo – termodynamicky zpracovaná slitina)
- ASTM F90 (Co-20Cr-15W-10Ni – kovaná slitina)
- ASTM F562 (Co-35Ni-20Cr-10Mo – kovaná slitina)

Kobaltové slitiny jsou citlivé na zpevňovací procesy při pokojových teplotách, a proto jsou z větší části odlévány. Vývoj kobaltových slitin nespočíval v pozměňování jejich chemického složení, ale především ve způsobu jejich zpracování. [1] [2]

První kobaltová slitina na bázi Co-Cr byla použita už v 30. letech 20. století, jako litá dentální slitina. O deset let později se začíná používat pro ortopedické aplikace. Co-Cr slitiny mají lepší mechanické vlastnosti a vyšší korozní odolnost než oceli. I vzhledem k jejich vysoce legovanému stavu se může v agresivním prostředí, jako jsou tělní tekutiny, objevit galvanická koroze. Degradace touto korozí je ale daleko nižší než u ocelí. [3]

Kobalt má při pokojové teplotě HTU strukturu, která se při teplotě 417°C mění na KPC mřížku. Zpevnění se provádí zpevněním tuhým roztokem za přítomnosti karbidů. Tvařitelnost slitin je možné zvýšit kovááním za tepla, je ale nutné snížit množství C. Pro zlepšení obrobiteľnosti se snižuje obsah Cr a zvyšuje obsah Ni. [3]

2.1 Slitiny Co-Cr-Mo

Slitiny typu kobalt-chrom-molybden jsou z kobaltových slitin ty nejpevnější, nejsilnější a nejodolnější proti únavě. V medicíně nejpoužívanější z těchto slitin je slitina ASTM F75 nazývaná také jako Vitalium a slitina ASTM F 799, kde se v podstatě jedná o modifikovanou slitinu ASTM F75. V medicíně se uplatňují především díky své dobré korozní odolnosti v prostředí lidského těla, které jsou dány vysokým obsahem chromu.

Součásti z této slitiny se odlévají metodou přesného lití s použitím vytavitelného modelu (investment casting). Slitina se taví při teplotách 1350 – 1450°C. Mohou vznikat tři různé mikrostruktury v závislosti na podmínkách lití, které mají vliv na mechanické vlastnosti odlitků. Při tepelném zpracování je nutné zabránit překročení eutektické teploty pohybující se okolo 1235°C, aby nedošlo k natavení mezidendritických vycezenin a tím ke znehodnocení slitiny. Chemické složení této slitiny dané normou ISO 5832 je uvedeno v tabulce číslo 1 [4]

Tabulka 1: Chemické složení slitin Co-Cr-Mo [5]

Prvek	Chemické složení [%]
Chrom	26,5 – 30
Molybden	4,5 – 7
Nikl	Max. 1,0
Železo	Max. 1,0
Uhlík	Max. 0,35
Hořčík	Max. 1,0
Křemík	Max. 1,0
Kobalt	zbytek

Slitina ASTM F799 se po odlití ková za tepla při teplotách cca. 800°C. Tato modifikace zvyšuje pevnostní hodnoty na dvojnásobek oproti slitině ASTM F75, viz. tabulka 2. V biomedicíně se používá na více namáhané klouby. [4]

Tabulka 2: Fyzikální vlastnosti slitin Co-Cr-Mo [4]

Slitina	E [GPa]	Re [HVN]	Rm [Mpa]
ASTM F75	210 - 253	448 - 841	655 - 889
ASTM F799	210	896 - 1200	1399 - 1586

2.2 Slitiny Co-Cr-W-Ni

Tento druh slitin má v biomedicíně zastoupení v podobě slitiny ASTM F90, známé také jako Haynes Stellite 25. Wolfram a nikl se do slitin přidávají pro zlepšení její výroby a obrobitelnosti. Mechanické vlastnosti této slitiny jsou v žíhaném stavu srovnatelné se slitinou ASTM F75, po tváření za studena s dosažením stupně přetvoření 44% však mechanické vlastnosti slitiny vzrostou téměř dvojnásobně. Takto tvářená slitina má austenitickou strukturu s protáhlými zrny. Po žíhání a rekrystalizaci vnikají polyedrická zrna austenitu s deskami hexagonálního martenzitu. Přesné chemické složení slitiny je uvedeno v tabulce číslo 3 [4] [6]

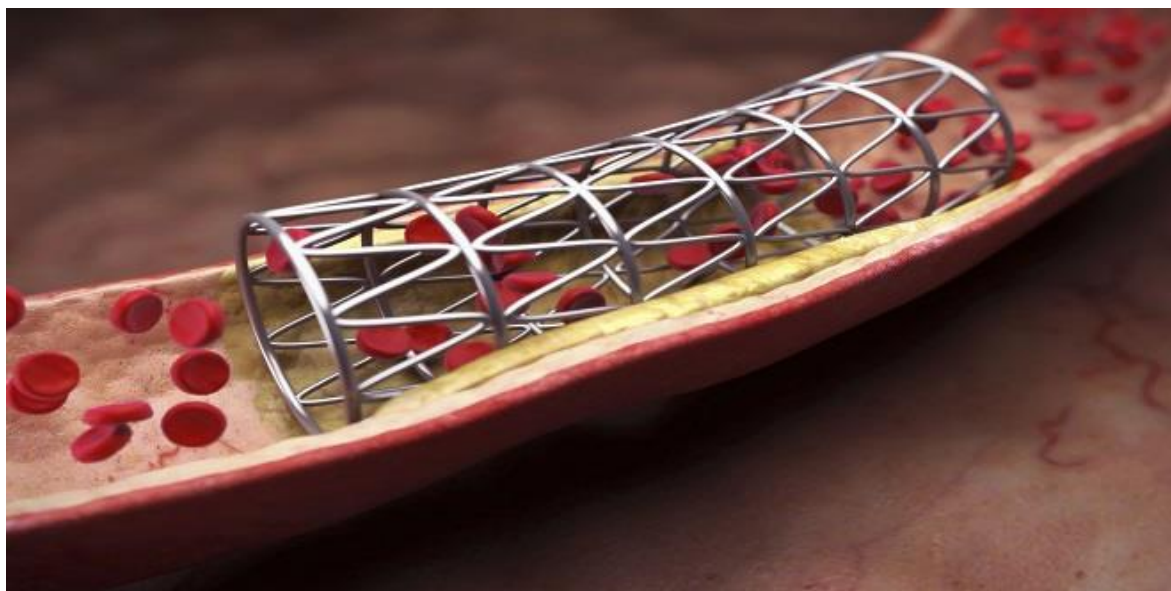
Tabulka 3: Chemické složení slitiny Co-Cr-W-Ni [7]

Prvek	Chemické složení [%]
Chrom	19 - 21
Wolfram	14 – 16
Nikl	9 – 11
Železo	Max. 3,0
Uhlík	Max. 0,15
Hořčík	Max. 2,0
Křemík	Max. 1,0
Síra	0,03
Fosfor	0,04
Kobalt	zbytek

Tabulka 4: Fyzikální vlastnosti slitin Co-Cr-W-Ni [4]

Slitina	E [GPa]	Re [HVN]	Rm [Mpa]
ASTM F90 - žíhaná	210 - 253	448 - 841	655 - 889
ASTM F90 - tvářená	210	896 - 1200	1399 - 1586

Mechanické vlastnosti slitin v žíhaném i tvářeném stavu jsou uvedeny v tabulce číslo 4. Slitina se v biomedicíně používá především na takzvané stenty, dutý trubicovitý objekt, který je zaváděn do dutých orgánů a tkání včetně krevních cév, aby zajistil jejich dobrou průchodnost. [8]



Obrázek 1: Stent [8]

2.3 Slitiny Co-Ni-Cr-Mo

Další kobaltovou slitovnou používanou v biomedicíně je slitina ASTM F562. Jde o vícefázovou slitinu s řízenou tvorbou mikrostruktury tvořenou austenitickými zrny. Může být tepelně zpracována (kovaná) a tvářena za studena. Po odlití je v litině přítomná martenzitická struktura, která je při teplotách nad 650°C transformována na austenit. Následuje řízené ochlazování se zachováním austenitické struktury. Mechanické vlastnosti slitiny kované i tvářené za studena jsou zapsány v tabulce číslo 5. [4]

Tabulka 5: Mechanické vlastnosti slitin Co-Ni-Cr-Mo [4]

Slitina	E [GPa]	Re [HVN]	Rm [Mpa]
ASTM F562 – kovaná za tepla	232	965 – 1000	1206
ASTM F90 – tvářená za studena	232	1500	1795

Tabulka 6: Chemické složení slitin Co-Ni-Cr-Mo [9]

Prvek	Chemické složení [%]
Nikl	33- 37
Chrom	19 - 21
Molybden	9 – 10,5
Železo	Max. 1,0
Titan	Max. 1,0
Mangan	Max. 0,15
Křemík	Max. 0,15
Uhlík	Max. 0,025
Fosfor	Max. 0,015
Síra	Max. 0,01
Kobalt	zbytek

V tabulce číslo 6 je uvedeno chemické složení slitin Co-Ni-Cr-Mo ze kterého je patrné, že hlavním prvkem u těchto slitin je nikl s procentuálním zastoupením až 37%. Slitina ASTM F562 se biomedicíně využívá pro výrobu kovaných kyčelních dříků, ortopedická lanka nebo třeba jako defibrilátorové elektrody. [6]



Obrázek 2: Dřík kyčelního kloubu [10]

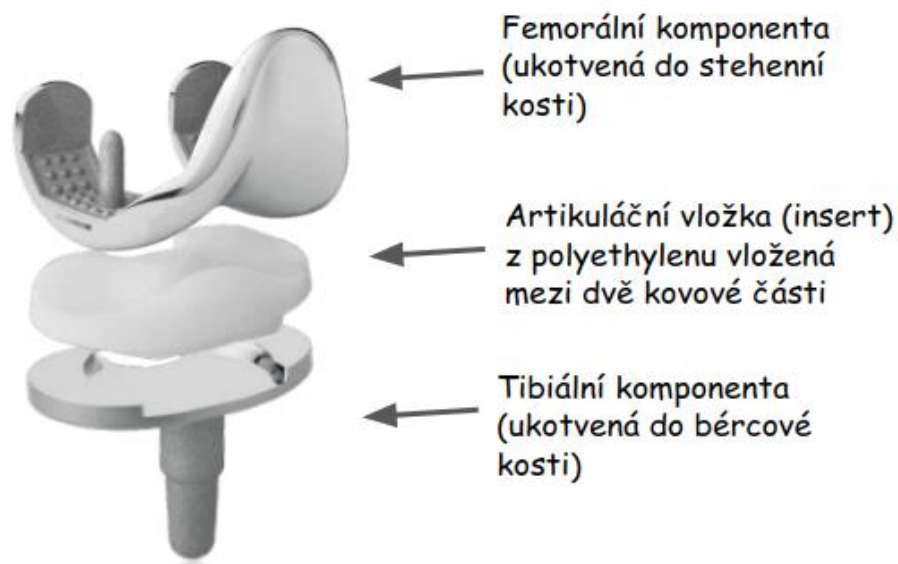
2.4 Kloubní implantáty

2.4.1 Rozdělené kloubních implantátů

- Kyčelní implantát (endoprotéza)
 - Cementovaná náhrada
 - Necementovaná náhrada
 - Hybridní náhrada
 - Hip Resurfacing
- Kolenní implantát
 - Promoimplantáty
 - Revizní implantáty

2.4.2 Kolenní implantáty

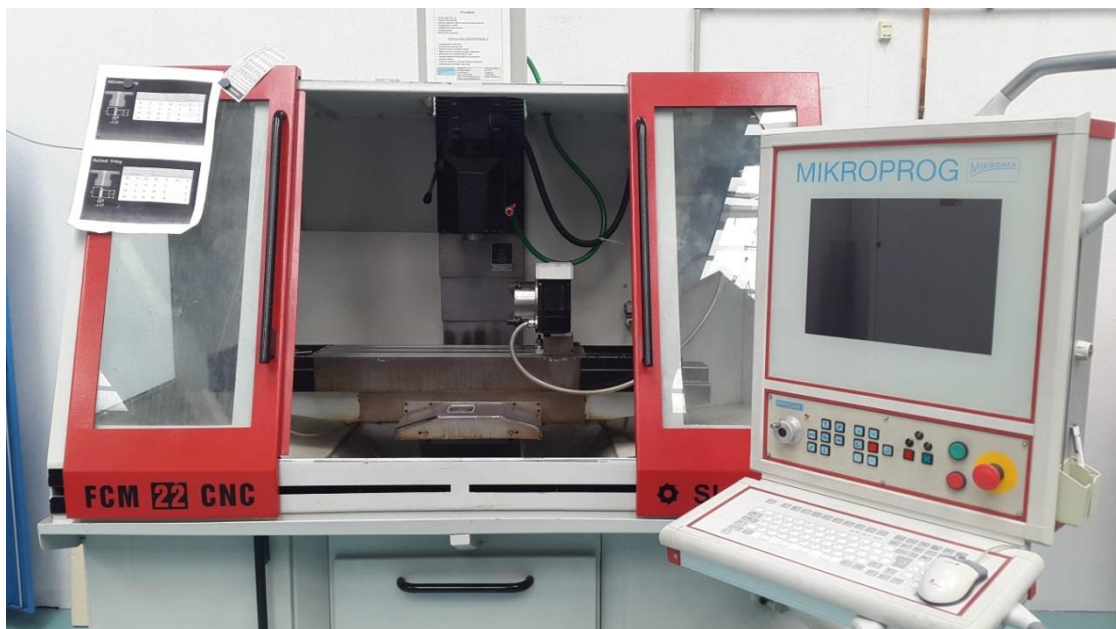
Kolenní implantáty se v dnešní době vyrábí ze dvou různých slitin, buď se jedná o slitinu titanu Ti6AlV dle normy ISO 5832-3 nebo o slitinu Co-Cr-Mo dle normy ISO 5832-4. Další části kolenních implantátů jsou takzvané artikulační vložky, které se vyrábí z ultravysokomolekulárního polyetyleny. Veškeré komponenty kolenního implantátu jsou na obrázku 3. [10]



Obrázek 3: Kolenní implantát [10]

3 Programování frézky FCM 22 CNC

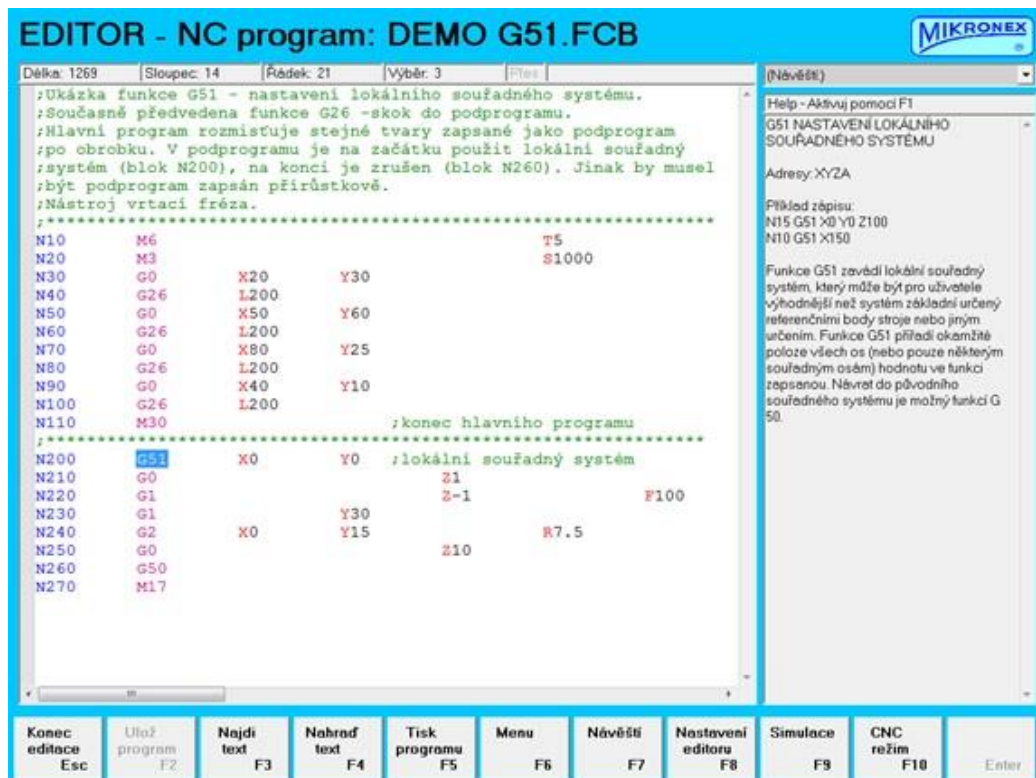
Frézka FCM 22 CNC je určena k výrobě tvarově složitých součástí středních rozměrů. Frézka je vybavena rychloběžným vřeteníkem. Skládá se ze stojanu a pevného litinového lože, na kterém se příčně a podélně pohybuje stůl. Na horní ploše stolu jsou tři upínací T drážky. O svislý pohyb se stará vřeteník, pohybující se po vedení stojanu. Samostatně poháněny jsou všechny tři osy X, Y, Z, krokovými elektromotory. Krokové elektromotory jsou propojeny pomocí ozubených řemenic a řemenů s kuličkovými pohybovými šrouby. Vřeteník pohání třífázový asynchronní motor s regulovanými otáčkami frekvenčním měničem. Výměna nástrojů probíhá ručně přes rychloupínač. [11]



Obrázek 1: Frézka FCM 22 CNC

3.1 Řídicí systém

Řídicí systém frézky FCM 22 CNC je MIKROPROG F od společnosti Mikronex s.r.o. Systém je nainstalován v počítači s displejem, upevněným na otočné konzoli ke stroji. Veškeré ovládací prvky jsou umístěny na přední straně panelu. Systém je vybaven jak modulem pro tiskárnu, tak rozhraním RS 232 pro komunikaci s nadřazeným systémem. [12]



Obrázek 2: Prostředí pro programování systému MIKROPROG F [12]

3.2 Hlavní funkce programování

V programech pro obrábění využívá systém Mikroprog základní programované funkce označované jako přípravné funkce. Zapisujeme je do programového řádku a začínají písmenem G. Hlavní g-funkce jsou popsány v tabulce číslo 1. [11]

Tabulka 7: Hlavní funkce [11]

Označení	Popis funkce	Parametry
G0	Pohyb nástroje rychloposuvem	X Y Z
G1	Pohyb nástroje po přímce	X Y Z F
G2	Pohyb po kruhové dráze ve směru hodinových ručiček	X Y Z R F
G3	Pohyb po kruhové dráze proti směru hodinových ručiček	X Y Z R F
G90	Absolutní souřadnice	-
G91	Přírůstkové souřadnice	-
G92	Nastavení souřadnic	X Y Z

3.3 Pomocné funkce programování

Pokud je potřeba v nějakém místě programu vyvolat některou z doplňkových funkcí, používají se proto základní pomocné funkce. Zapisovány jsou do samostatných řádků a začínají písmenem M. Pomocné m-funkce jsou vypsány v tabulce číslo 2. [11]

Tabulka 8: Pomocné funkce [11]

Označení	Popis funkce	Parametry
M0	Stop programu	-
M3	Start vřetena – otáčky doprava	S
M4	Start vřetena – otáčky doleva	S
M5	Zastavení otáčení vřetene	-
M6	Výměna nástroje	T
M8	Spuštění chlazení	-
M9	Vypnutí chlazení	-

3.4 Tvorba programu

Program lze editovat v poznámkovém bloku nebo přímo na stroji, jehož součástí je i editor programů, který je vybaven funkcemi pro editaci textu programu. Program se tvoří do jednotlivých řádků pod sebe v pořadí, ve kterém se bude reálně postupovat. Každý řádek začíná písmenem N a pokračuje číselným označením jednotlivých řádků. Řádek programu obsahuje obvykle adresu G nebo M funkce a další potřebné parametry. Po vytvoření programu lze provést grafickou simulaci. V grafické simulaci je potřeba nastavit velikost polotovaru a nulový bod. Vynulování jednotlivých os se provádí klávesami F6 pro osu X, F7 pro osu Y a F8 pro osu Z. Po provedení úspěšné simulace je program připraven na obrábění. [12]

4 Neodymové magnety

Neodymové magnety jsou směsí neodymu, železa a boru. Přesnější název pro tyto magnety je NdFeB. Jedná se o nejsilnější permanentní magnet na světě. Přírodní magnety tohoto typu se vyskytují v některých kamenech, v naprosté většině se ale vyrábějí pomocí práškové metalurgie kovového prachu. Neodymové magnety vyvinuli inženýři ve společnosti General Motors a Sumitomo Special Metals. Hlavní přednost je především jejich cena, která je nižší než u jejich předchůdců samarium-kobaltových magnetů a to i přes jejich větší magnetickou sílu. Neodymové magnety dokážou unést až tisícinásobek vlastní hmotnosti. [13]



Obrázek 3: Neodymové magnety [13]

4.1 Výroba

Neodymové magnety jsou nejčastěji vyráběny práškovou metalurgií. Jemný neodymový prach o velikosti pár mikronů je taven ve vakuové peci v atmosféře inertního plynu (nejčastěji Argon) a následně stlačen do ocelové či kaučukové formy. V ocelových formách jsou vyráběny magnety již finálních tvarů, které jsou posléze spečeny a opatřeny ještě povrchovou úpravou, zatím co ve formách kaučukových se vyrábí velké bloky (bochníky), které se dále dělí a obrábí do finálních tvarů. Lisování v kaučukových formách

probíhá isostaticky, kapalina kolem formy předává výsledný tlak. Magnetizace je prováděna před a během lisování za použití silného magnetického pole, které určuje směr magnetizace orientací Weissových domén. Srovnání částic vyplývá z anizotropní povahy slitin a zlepšuje magnetické charakteristiky permanentního magnetu. Po vylisování a spečení se pak chovají jako permanentní magnety. [13]

Tabulka 9: Výrobní postup NdFeB magnetů [13]

Č.	Operace
1	Příprava surovin
2	Tavení ve vakuové peci
3	Drcení
4	Míchání
5	Mletí
6	Lisování (izostatické / v magnetickém poli)
7	Sintrování
8	Opracování (broušení / elektroerozivní řezání)
9	Omílání
10	Povrchová úprava
11	Magnetování
12	Výstupní kontrola
13	Balení

4.2 Povrchové úpravy

Neodymové magnety jsou náchylné na korozi, a proto jsou chráněny povrchovými úpravami. Nejčastěji se jedná o galvanické nanášení zinku či niklu. Ve speciálních případech se pak provádí pozlacení, chromování, pasivace či povlakování hliníkem. [14]

- **NiCuNi** – galvanický, 10-30 μ m, elektricky vodivý, vysoce odolný vůči teplu, vlhku a solím.
- **Zn** – galvanický, 5-10 μ m, elektricky vodivý, odolný vůči teplu a solím.

4.3 Druhy neodymových magnetů

Magnety se vyrábějí v několika variantách rozdělených podle třídy materiálu s výrobním označením N30 – N54. Jednotlivé druhy se od sebe liší jak magnetickou silou, tak jejich maximální provozní teplotou. Jednotlivé druhy a jejich parametry jsou popsány v tabulce pod textem. [14]

Tabulka 10: Magnetické vlastnosti neodymových magnetů [15]

Materiál	B_r [T]	H_{cb} [kA/m]	H_{ci} [kA/m]	$(B \times H)_{max}$ [kJ/m ³]	T_w [°C]
N30	1,08-1,13	až 796	Až 1353	223-247	80-240
N35	1,17-1,22	až 868	Až 955	263-287	80-200
N40	1,25-1,28	až 907	Až 955	302-326	80-180
N45	1,32-1,38	až 923	Až 955	342-366	80-150
N50	1,40-1,45	až 796	Až 796	382-406	60-100
N52	1,43-1,48	až 796	Až 876	398-422	60
N54	1,45-1,51	až 939	Až 875	405-437	60

Maximální pracovní teplota je pak rozlišována dalším písmenovým označením, **M**, **H**, **SH**, **UH**, **EH**, **AH**, kde u označení **M** jsou provozní teploty zvýšené do 100°C a u označení **AH** do 240°C. [14]

4.4 Obrábění neodymových magnetů

Obrábění neodymových magnetů je problematické hned z několika důvodů. Prvním je porušení jejich ochranné galvanické vrstvy, dalšími důvody je pak jejich vysoká tvrdost a křehkost. Jako jediný způsob opracování se doporučuje broušení diamantovými nástroji a následná obnova povrchové úpravy. V neodborné literatuře jsou zmíněny další techniky jak úspěšně obrobí neodymové magnety. Většinou se jedná o karbidové nástroje v kombinaci s vysokým chlazením, aby nedocházelo ke vznícení neodymových třísek. Při obrábění také dochází k nežádoucímu zmagnetizování obráběcích nástrojů. [14]

5 Aktuální stav technologie

5.1 Technologie broušení

Tibiální plato ustavené v přípravku je upnuto do svěráku na brusku a vyrovnáno. Následuje broušení kotoučem AL 600 E. Vzhledem k velice jemné zrnitosti je broušení zdlouhavé a kvůli možnosti provádět přídavky pouze v zadní úvrati dochází k nerovnoměrnému opotřebení kotouče. Kvůli dosažení požadované drsnosti povrchu a vzhledem ke stávající technologii leštění nelze provádět broušení hrubším kotoučem.

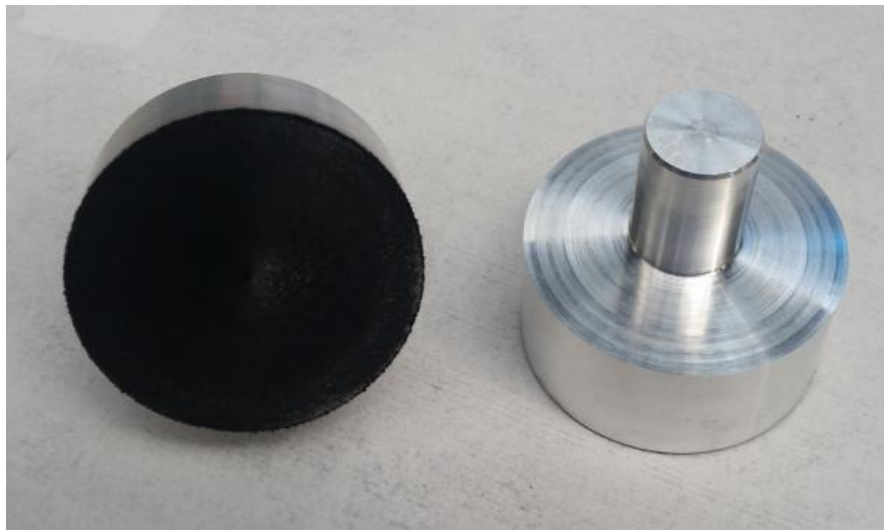
5.2 Technologie leštění

Leštění vrchní plochy Tibiálního plata je v současné době provádělo ručně hadrovým kotoučem v kombinaci s diamantovou pastou. V předchozí diplomové práci byla navržena technologie leštění lapovací hlavou na NC frézce. Hlava byla opatřena leštícím plátnem, kterým v kombinaci s $3\mu\text{m}$ a $9\mu\text{m}$ diamantovou suspenzí bylo dosahováno zrcadlového lesku na vrchní ploše Tibiálního plata. Díl se na frézku upínal do svěráku a následně vyrovnával páčkovým úchylkoměrem.



Obrázek 4: Upínání Tibiálního plata [15]

Nejlepší výsledků bylo dosahováno lapovací hlavou o průměru 55mm vybavenou leštícím plátnem MD – Dac za použití 3 μ m a 9 μ m diamantové suspenze.



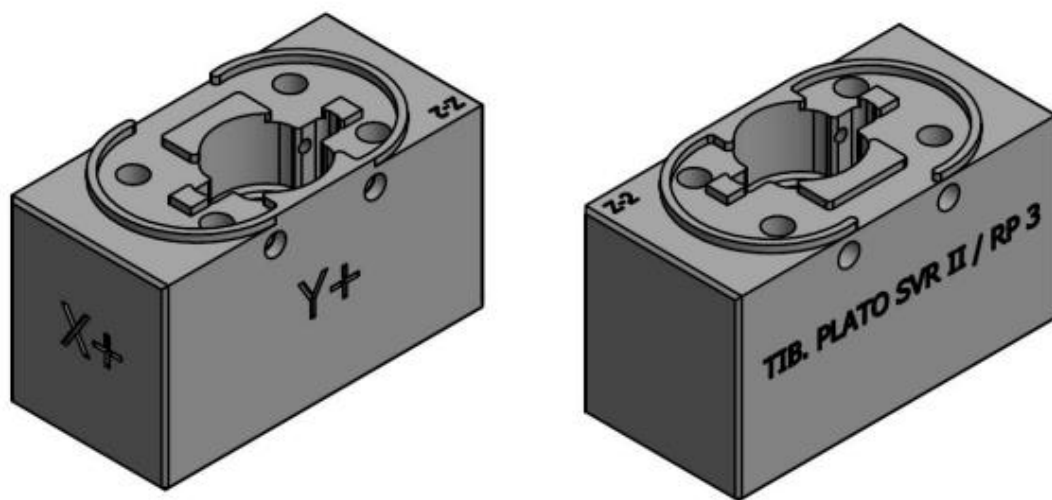
Obrázek 5: Lapovací hlava průměr 55mm [15]

Leštění bylo prováděno 560 otáčkami za minutu a posuvem 40mm za minutu. Vzhledem k vysoké tuhosti soustavy stroje, upnutí a nástroje se tato metoda však potýkala s problematikou extrémních požadavků na přesnost najetí a následných velmi malých přísuvů. Vzhledem k této problematice spojené s dlouhými časy vyrovnávání plata ve svěráku tato metoda není v současné době zařazena do výrobního postupu Tibiálního plata.

6 Implementace upínacích přípravků pro technologii broušení a leštění

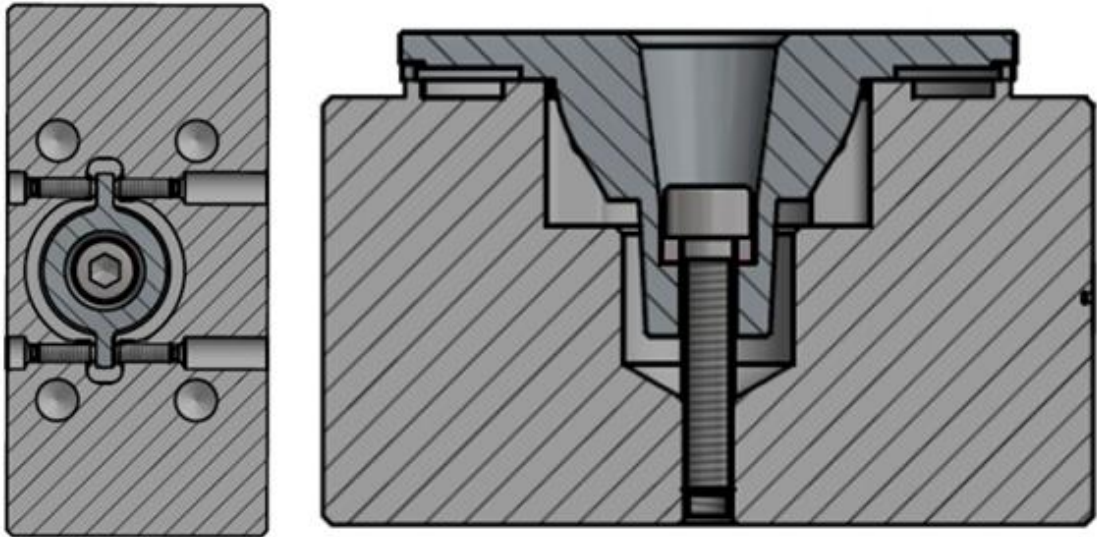
6.1 Přípravek pro ustavení Tibiálního plata

Přípravek pro ustavení Tibiálního plata byl převzat z předchozí diplomové práce zabývající se optimalizací výrobního postupu. Přípravek vidíme na obrázku číslo 6.



Obrázek 6: Přípravek [15]

Přípravek je navržen tak, aby při upínání dílu docházelo k co nejmenšímu průhybu součásti. Podpěrné plochy, na kterých dochází ke kontaktu plata s přípravkem, jsou broušené na jmenovitý rozměr. Součást je do přípravku upnuta pomocí šroubu M6 procházejícího skrze vnitřní kužel do přípravku. Šroub se dotahuje momentovým klíčem pro vyvození definované a opakovatelné přitlačné síly. Aretace v ose X a Y je pak zajištěna čtyřmi stavěcími šrouby, které zároveň slouží pro ustavení součásti. Pro opakované rychlé zakládání jsou dva z těchto šroubů na zadní straně přípravku (u zoubků) ustaveny na pevně, ke kterým je součást dotažena protějššími šrouby. Pro dlouhodobé zajištění stálé polohy je pak možno šrouby na zadní straně přípravku zajistit lepidlem na závity.

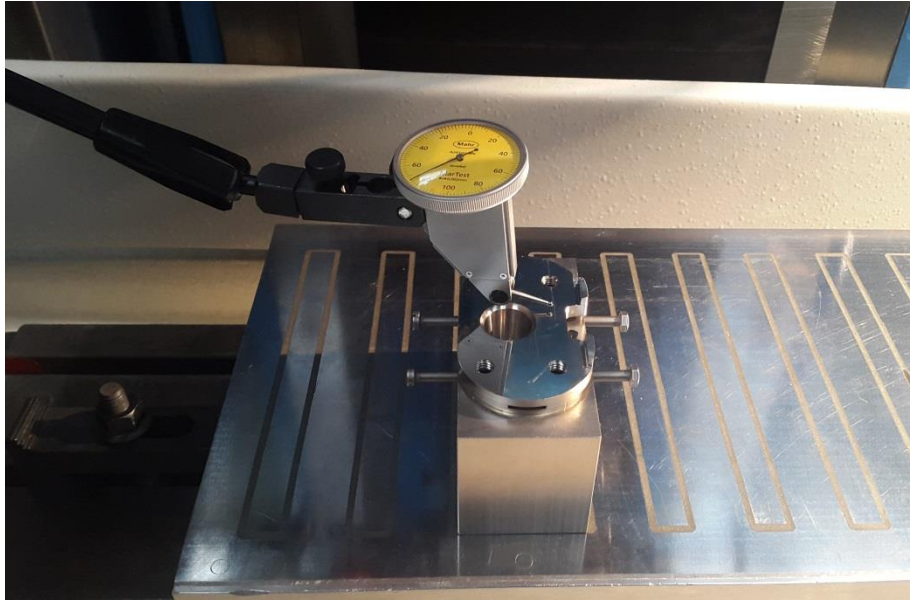


Obrázek 7: Způsob upnutí součásti do přípravku [15]

Takto ustavená součást je připravena k magnetickému upnutí na brusku a následnému broušení horní plochy. Po přebroušení je součást i s přípravkem přesunuta na frézku a stejným způsobem upnutí připravena na operaci leštění. Pro optimalizaci výrobního postupu je doporučeno, aby součást byla upnuta v přípravku již na operaci frézování horní plochy. Při upínání na magnet tak bude zajištěna stejná výška všech vyrobených dílů a tím podstatně usnadněn a urychlen proces broušení.

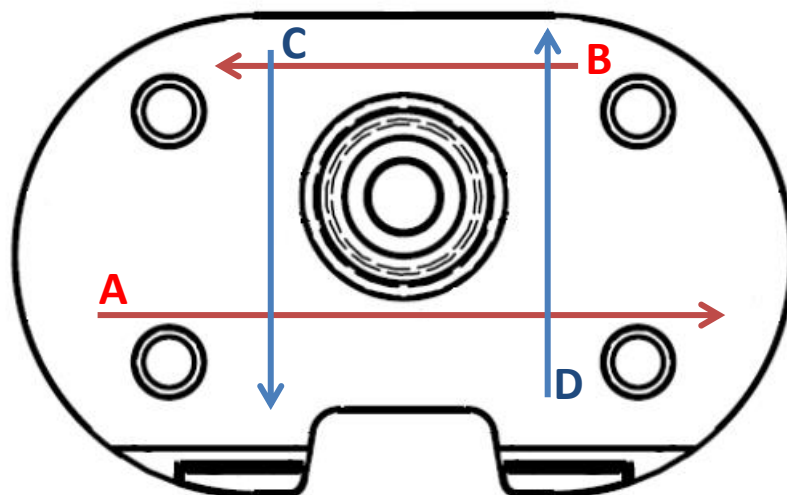
6.2 Stanovení velikosti upínací síly v přípravku

Pro zajištění co nejvyšší přesnosti výroby, bylo potřeba stanovit takovou velikost upínacího momentu, aby nedocházelo k průhybu součásti a zároveň byla zajištěna dostatečná upínací síla součásti v přípravku. To znamená, aby při probíhajících operacích nedocházelo k pohybu součásti v přípravku.



Obrázek 8: Měření průhybu číselníkovým úchylkoměrem

Při měření průhybu byla součást ustavena v přípravku a upnuta na magnet. Před upnutím byl dokonale očištěn jak magnet, tak i přípravek, aby do měření nebyla zanesena chyba měření v podobě nečistot mezi dosedacími plochami. Měření průhybu probíhalo pomocí číselníkového úchylkoměru s přesností 0,001mm. Po každém dotažení byly provedeny čtyři měření, aby byl zmapován průhyb na celé ploše součásti. Dráhy a směr měření jsou znázorněny na obrázku 9 Šroub byl utahován momentovým klíčem s možností utahovací síly až do 25Nm.



Obrázek 9: Polohy a směr měření průhybu

V tabulkách jsou ke každému měření uvedeny vždy tři hodnoty, a to: počáteční naměřená hodnota, hodnota odečtena v místě největšího průhybu a koncová hodnota. Počáteční hodnota před utažením součásti v přípravku byla nastavena na číselníkovém úchylkoměru jako 0. K té se pak vztahují všechny další naměřené hodnoty. Tyto hodnoty v závěru slouží k vyhodnocení ideálního utahovacího momentu.

6.2.1 Utahovací moment 5 Nm

Tabulka 11: Naměřené hodnoty při velikosti momentu 5 Nm

Měřená dráha	Počáteční hodnota	Hodnota max. průhybu	Koncová hodnota
A →	-0,008mm	-0,011mm	-0,010mm
B ←	-0,002mm	-0,003mm	-0,004mm
C ↓	-0,004mm	-0,005mm	-0,008mm
D ↑	-0,008mm	-0,004mm	-0,002mm

6.2.2 Utahovací moment 10 Nm

Tabulka 12: Naměřené hodnoty při velikosti momentu 10 Nm

Měřená dráha	Počáteční hodnota	Hodnota max. průhybu	Koncová hodnota
A →	-0,010mm	-0,013mm	-0,012mm
B ←	-0,004mm	-0,006mm	-0,005mm
C ↓	-0,007mm	-0,007mm	-0,010mm
D ↑	-0,010mm	-0,006mm	-0,004mm

6.2.3 Utahovací moment 15 Nm

Tabulka 13: Naměřené hodnoty při velikosti momentu 15 Nm

Měřená dráha	Počáteční hodnota	Hodnota max. průhybu	Koncová hodnota
A →	-0,009mm	-0,015mm	-0,011mm
B ←	-0,004mm	-0,009mm	-0,006mm
C ↓	-0,006mm	-0,010mm	-0,011mm
D ↑	-0,010mm	-0,009mm	-0,005mm

Při měření se ukázalo, že součást rovnoměrně padá na jednu stranu. Tento problém však nezpůsobuje upnutí do přípravku, nýbrž jedna z předcházejících operací. Nejspíš se jedná o problematiku při broušení, kdy dochází k rychlému opotřebení kotouče, a proto není broušená plocha dokonale rovná. Co se týče průhybu způsobeného utahovací silou šroubu, tak je z tabulky vidět, že při síle 5 a 10 Nm byly naměřeny téměř totožné hodnoty průhybu. Při zvýšení utahovacího momentu na 15 Nm už se průhyb začal projevovat znatelněji. Dalším parametrem této zkoušky bylo zajistit dostatečnou upínací sílu, aby nedošlo k posunu součásti v přípravku při broušení či leštění. Pro tento účel se ukázal utahovací moment 5 Nm rizikový. S ohledem na všechny okolnosti byl jako nejvhodnější utahovací moment zvolen moment o síle 10 Nm.

7 Návrh a výroba leštících hlav

7.1 Hlava s lepeným plátnem

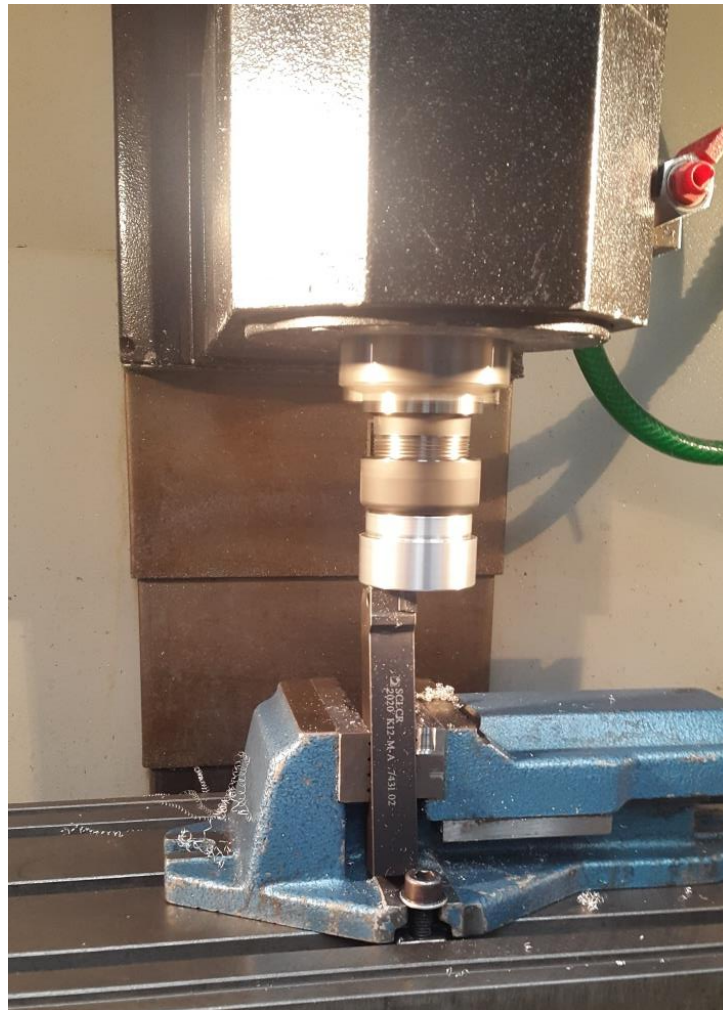
Z předchozí diplomové práce byla převzata technologie leštění Tibiálního plata pomocí leštící hlavy vyrobené z duralu, která je přes kleštinu upnuta do vřetene obráběcího centra. Kvůli vysoké tuhosti soustavy stroje, upnutí a nástroje se tato metoda však potýkala s problematikou extrémních požadavků na přesnost najetí a následných velmi malých přísuvů. Proto byly navrženy nová úprava, přidat pružný člen mezi leštící hlavu a plátno, které se dosud lepilo epoxidovým lepidlem přímo na hlavu. Byla tedy vyrobena nová leštící hlava, kde je tvrdé epoxidové lepidlo nahrazeno pružným tmelem.



Obrázek 10: Výroba leštící hlavy s lepeným plátnem

Leštící hlava byla vysoustružena na konvenčním soustruhu. Jako polotovar byla použita duralová tyč o průměru 58 mm. S ohledem na zajištění maximální tuhosti leštící hlavy, byl zvolen upínací průměr hlavy 19,8 mm. Tento rozměr je dán největší námi dostupnou kleštinou s upínacím průměrem do 20 mm a systémem upínání ER 25. Délka upínací části je pak 40 mm. Pro kvalitnější upnutí je spodní část opatřena zápichem. Pracovní část hlavy, na které je nalepeno leštící plátno byla soustružena na průměr 55 mm. Kvůli možnosti dalších úprav (výměna plátna, změna průměru pracovní části) bylo

vysoustruženo osazení, za které se bude hlava upínat, aby nedocházelo k deformaci upínací části hlavy. Osazení je taktéž opatřeno zápichem.

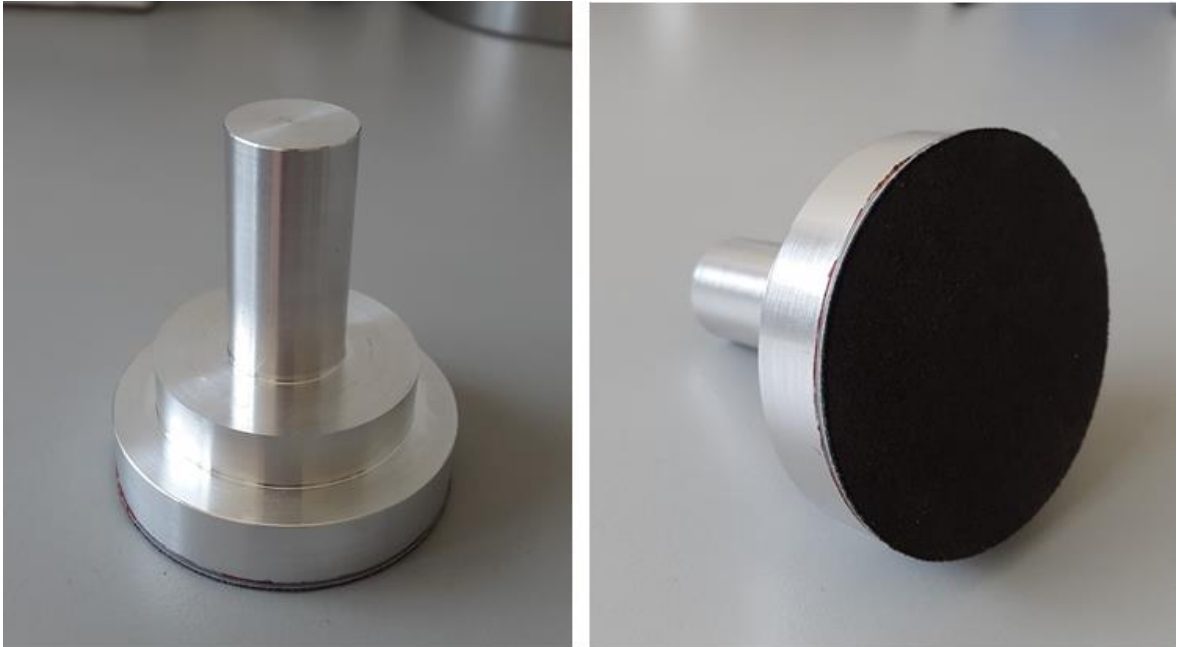


Obrázek 11: obrábění čela leštící hlavy na čisto

Aby bylo zajištěno minimální čelní házení nástroje a rovnoběžnost leštěné plochy se pracovním stolem, bylo čelo leštící hlavy zarovnáno přímo na daném obráběcím centru. Zarovnání proběhlo pomocí soustružnického nože upnutého do svěráku připevněného na pracovní desce obráběcího centra. Odebrání třísky je zajištěno posuvem v ose Y od hrany až do středu leštící hlavy.

V posledním kroku bylo nalepeno plátno na leštící hlavu. Jako pružný spoj byl vybrán tmel na motory, který svými vlastnostmi nejvíce vyhovoval stanoveným parametrům pružného spoje. Před nanesením tmelu byly obě lepené strany důkladně odmaštěny acetonem pro lepší přilnavost. Samotné lepení probíhalo na NC frézce, aby bylo možno posuvem vřetene v ose Z stanovit přesnou tloušťku vrstvy tmelu. Tato

tloušťka byla stanovena 0,5 mm, která se postupem času ukázala jako až příliš opatrná a nedostatečná pro kvalitní plnění funkce pružného členu. I to byl důvod, proč bylo od této varianty opuštěno a navržena varianta nové hlavy s vyměnitelnými plátny.

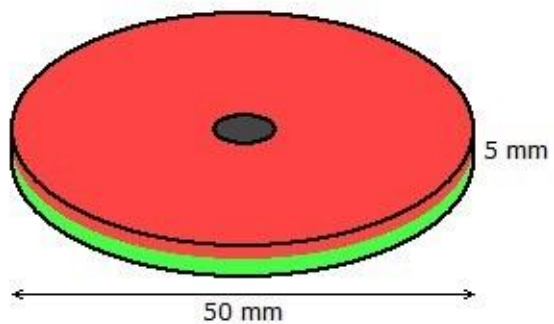


Obrázek 12: Leštící hlava s lepeným plátnem

7.2 Hlava s neodymovým magnetem

Pro zvýšení přesnosti a efektivnosti leštění Tibiálního plata bylo nutností vyrobit leštící hlavu tak, aby bylo možné jednotlivé leštící plátna měnit, aniž by docházelo k opakovanému upínání leštící hlavy na stroji.

Jako řešení této problematiky byl realizován návrh leštící hlavy s neodymovým magnetem. Zakoupen byl neodymový magnet KR-50-07-05-N viz obrázek 13. Průchozí díra v ose magnetu neplní žádnou funkci. Vzhledem k problematice dalšího obrábění těchto magnetů, byl vybrán dostupný magnet s minimálními potřebami na další opracování.



Obrázek 13: Neodymový magnet

Neodymový magnet byl následně nalepen na leštící hlavu pomocí epoxidového lepidla značky SOUDAL, EPOXY EXTRA STRONG, s garantovanou pevností spoje 200 kg/cm^2 .



Obrázek 14: Lepení neodymového magnetu

Před samotným lepením byly obě lepené plochy odmaštěny acetonem, aby byla zajištěna lepší přilnavost epoxidového lepidla. Pro dosažení rovnoměrné plochy lepidla, byla celé hlava zatížena a zajištěna proti pohybu.

V prvním návrhu byla zvolena nejjednodušší možná varianta výměny brusných pláten. Vzhledem k faktu, že brusná plátna jsou sama o sobě magnetická, byla vize taková, že se jednotlivá plátna budou upínat pomocí magnetické síly přímo na magnet leštící hlavy.

Leštící plátna byla vybrána na základě předchozích studií o leštění CoCr slitin, tak aby bylo možno dosáhnout požadovaného zrcadlového lesku. Konkrétně se jedná o plátna MD – Allegro v kombinaci s 9 μ m diamantovou suspenzí pro jemné broušení a MD – Dac v kombinaci s 3 μ m diamantovou suspenzí pro leštění. Povrch tohoto plátna je ze saténového tkaného acetátu. Tato dvojice byla ještě doplněna o plátno MD – Piano 500. Jedná se plátno s diamantovými zrny v pryskyřičné matrici, které se používá na broušení pod vodou materiálů HV 100 – 2000. Hrubost tohoto plátna lze přirovnat k SiC-brusnému papíru o tvrdosti 500.



Obrázek 15: Leštící plátna, zprava MD-Piano 500, MD-Allegro a MD-Dac.

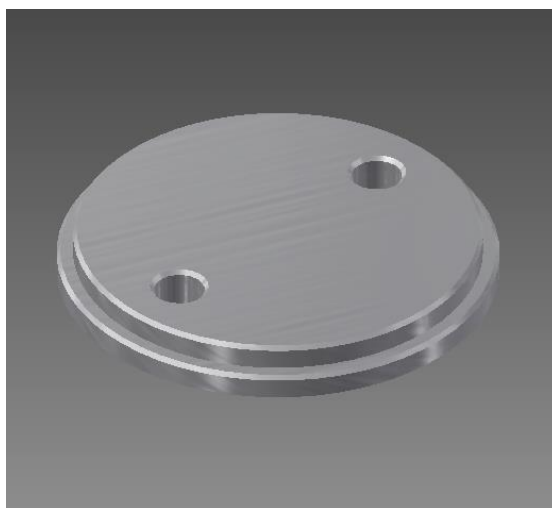
Plátna byla stejně jako v předchozí variantě vystřižena na pákových nůžkách a následně ručně dobroušena na průměr 50 mm.

Při zkoušce leštění se však ukázalo, že vzhledem k malé tloušťce plechu leštícího plátna (0,3 mm) není zajištěna dostatečná přitlačná síla, aby při kontaktu leštící hlavy s Tibiálním platem nedocházelo ke smykovému posunu plátna mimo osu hlavy. Vzhledem

k této problematice bylo potřeba navrhnout novou variantu upnutí plátna na leštící hlavu s vyšší upínací silou.

Novým návrhem bylo přidání mezivrstvy, mezi plátno a hlavu, pro zvýšení přilnavosti povrchu. Do úvahy se bral gumový nástřik, který by mohl být aplikován na plátno a tím zvýšit smykové tření. Dalším návrhem byla oboustranná lepicí páska aplikovaná mezi plátno a magnet. Tato varianta byla nakonec uskutečněna a otestována. Z počátku testu se řešení s oboustrannou lepicí páskou zdálo být dostačující. Postupem času se ale ukázalo, že vlivem ohřívání materiálu, působení chladicí kapaliny a diamantové suspenze, dochází k degradaci pásky a náhlednému vysmeknutí plátna.

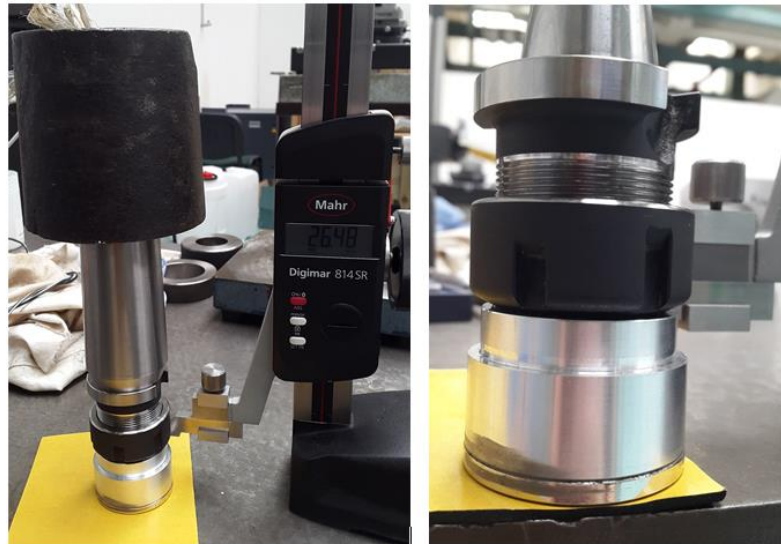
Vzhledem ke zkušenostem z předchozích návrhů, byla pro další variantu navržena ocelová podložka, jejíž model je vidět na obrázku 16. Podložka, na kterou bude nalepeno leštící plátno, slouží ke zvýšení přitlačné síly mezi plátnem a magnetem.



Obrázek 16: Podložka pod leštící plátno

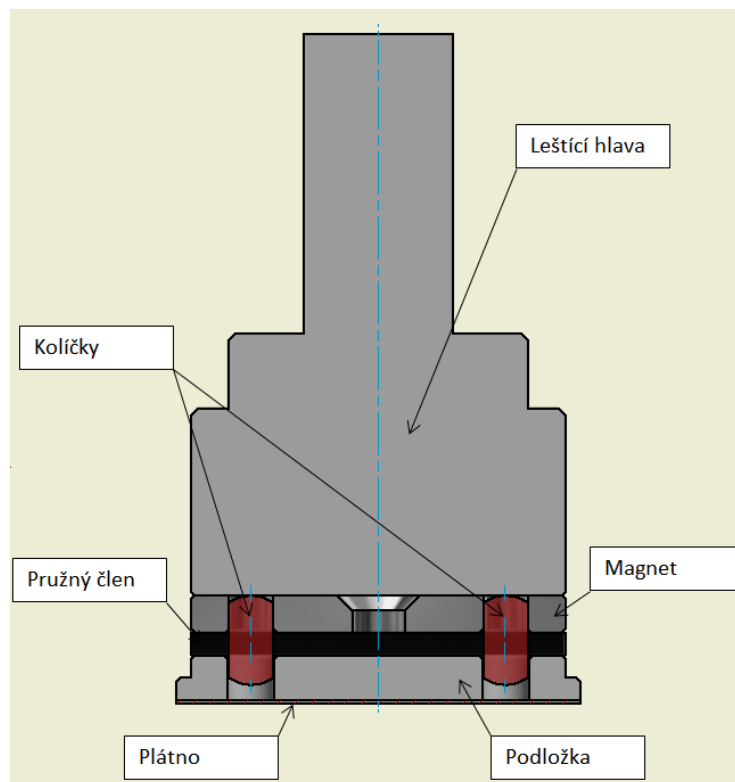
Díry na podložce jsou určeny pro kolíčky, které byly do konstrukce přidány pro přenos krouticího momentu a také, aby se zamezilo možnosti pohybu podložky mimo osu leštící hlavy. Vzhledem k přidání těchto kolíčků bylo nutné vyvrtat otvory také do neodymového magnetu. Díky této konstrukci, bylo možné doplnit leštící hlavu ještě o pružný člen, který sníží nároky na přesnost najetí na leštěnou plochu a bude schopen vymezovat případné nedokonalosti povrchu leštěné plochy tak, jak už bylo zamýšleno u varianty hlavy s lepením plátna na pružný tmel. V tomto případě byl však použit daleko houževnatější materiál, a to konkrétně samolepicí pěna. Pro představu, jakou deformaci a při jaké zátěži je materiál schopen pojmout, byla provedena zkouška pomocí leštící hlavy a

závaží, jejíž průběh je vyobrazen na obrázku 17. Otestována byla také schopnost pružné deformace z hlediska času. Pěna byla zatížena leštící hlavou se závažím, po dobu několika dní a po odlehčení pozorována schopnost rekonvalescence pěny na původní výšku.



Obrázek 17: deformační zkouška

Před dalšími úpravami leštící hlavy byl nejprve vytvořen 3D model sestavy kompletního návrhu, která je v řezu na obrázku 18.



Obrázek 18: Model sestavy leštící hlavy

Po schválení kompletního návrhu vedoucím diplomové práce byla započata jeho konstrukce. Do již stávající leštící hlavy s nalepeným neodýmovým magnetem bylo v první řadě potřeba vyvrtat dva otvory o průměru 6 mm, hloubky 12 mm a vzdálenosti 17mm od osy leštící hlavy. Vrtání proběhlo na obráběcím centru MAS VMS 500 karbidovým vrtákem o průměru 6 mm. Řezné podmínky byly přizpůsobeny problematice obrábění neodýmových magnetů, viz tabulka níže.

Tabulka 14: Řezné podmínky

Nástroj	v_c [m/min]	f_z [mm/ot]
Karbidový vrták \varnothing 6mm	6	0,05

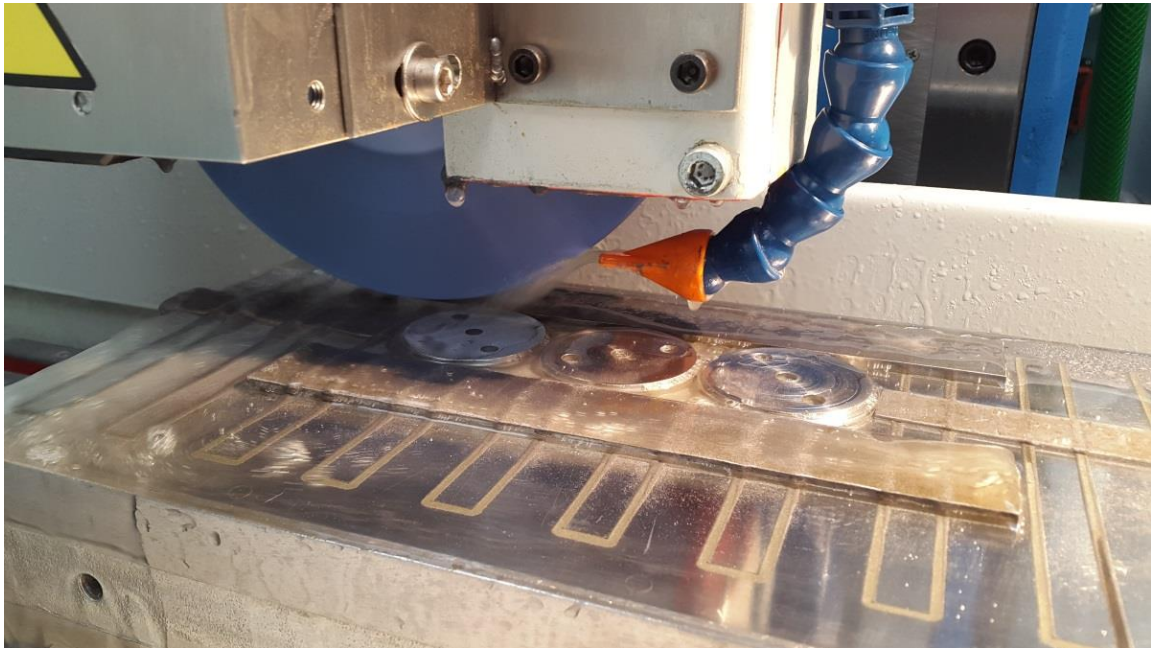
Kolíčky byly koupeny o průměru 6h6, kde se jedná o uložení s malým přesahem a délkou 12 mm. Díky uložení s přesahem byly kolíčky po umístění do děr dostatečně zafixovány a nebylo tak třeba žádných dalších opatření.



Obrázek 19: Vrtání neodýmového magnetu a usazení kolíčků

Výroba podložek probíhala postupně na třech strojích. Polotovarem byla ocelová tyč o průměru 56 mm. Jako první byly vyvrtány otvory pro kolíčky na obráběcím centru

MAS VMS 500. Díry byly nejprve předvrtány karbidovým vrtákem o průměru 6 mm do hloubky 20 mm (omezeno délkou vrtáku) a následně vrtány ocelovým vrtákem na výslednou délku 47 mm pro výrobu 4 kusů podložky. Pro zamezení vzpříčení kolíčků v dírách a zaručení tak snadné výměny podložek, byly nakonec otvory převrtány na průměr 6,2 mm. Následující obrobení proběhlo na obráběcím centru OKUMA GENOS L200E-M, dílenským programováním přímo na stroji. Posledním krokem bylo broušení stykové plochy podložky s pružným členem leštící hlavy. Průběh broušení je vidět na obrázku 20.



Obrázek 20: Broušení podložek

Broušení probíhalo na univerzální brusce BRH 20 CNC. Aby byla zaručená stejná výška všech podložek, byla leštící plátina nalepena na podložky ještě před broušením. Pro nalepení bylo použito epoxidové lepidlo (EPOXY EXTRA STRONG od značky SOUDAL). Upnutí podložek na brusku bylo provedeno pomocí magnetu a zářezek, aby byla zajištěná pevná poloha podložek.

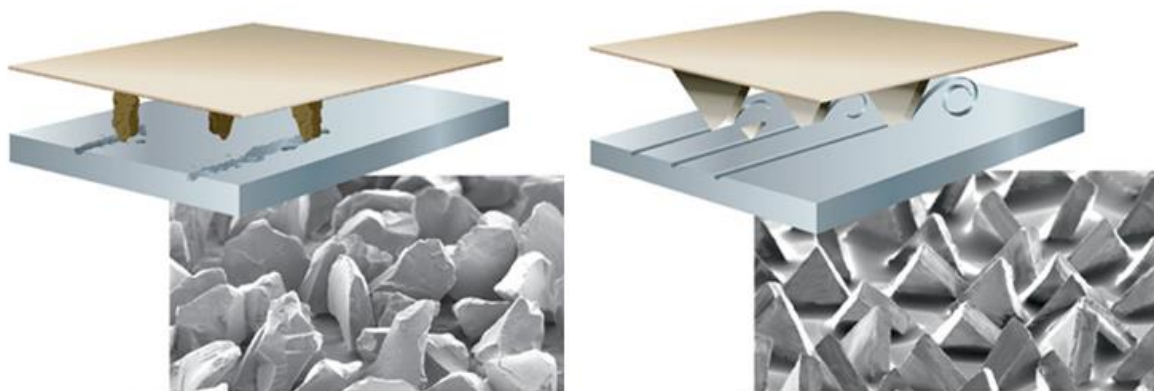
Výsledkem jsou tedy tři typy vyměnitelných podložek s odlišnými leštícími plátny pro tvorbu optimálního postupu dosažení zrcadlového lesku leštěné plochy Tibiálního plata. Kompletní leštící hlava je vidět na obrázku číslo 21.



Obrázek 21: Kompletace leštící hlavy

8 Broušení Tibiálního plata

Vhledem k tomu, že na experimenty byly k dispozici dvě plata, bylo zapotřebí po vyleštění plochy znovu přebrousit, aby se experiment mohl opakovat. Broušení bylo prováděno na univerzální brusce BRH 20 CNC, podmínkami uvedenými v tabulce níže. Brusný kotouč byl použit Cubitron II 99 % 240x15x50, 8 99DA54/80 F15VPLF901W od firmy 3M. Tento kotouč je tvořen z 99 % přesně tvarovanými keramickými zrny (trojúhelníkovými), díky této technologii kotouč brousí rychleji s konzistentním úběrem a déle vydrží.



Obrázek 22: Rozdíl mezi konvenčním materiálem (vlevo) a Cubitromen (vpravo)

Před zahájením broušení, byly obě součásti ustavené v přípravku magneticky upnuty na pracovní stůl brusky. Pro optimalizaci podmínek broušení byly součásti upnuty v jedné linii za sebou a vyrovnány. Broušeny tak byly obě součásti v jednom cyklu zároveň. Po upnutí a vyrovnání součástí byl brusný kotouč orovnan jednokrystalovým diamantovým orovnávačem s přívodem vody, aby bylo dosaženo rovného obvodu kotouče. Při orovnávaní dochází k jemnému obrábění brousícího kotouče, při kterém jsou vylamována jeho zrna. Orovnaní se skládalo ze dvou hrubovacích průchodů s úběrem 0,02 mm a posuvem 3000 mm/min, jednoho průchodu na čisto s úběrem 0,01 mm a posuvem 500 mm/min a nakonec následovaly dva vyjiskřovací průchody. Vzhledem k velké drsnosti kotouče (80), který byl jako jediný pro dané slitiny k dispozici, byly zvoleny velmi nestandardní podmínky pro orovnaní, kvůli eliminaci hlubokých stop po velkých zrnech kotouče. Tyto podmínky orovnaní jsou pro konvenční broušení

nevhodné a řezivost kotouče prakticky degradují. Doporučení je používat na broušení za těmito účely kotouč s jemnějšími zrny.



Obrázek 23: Průběh orovnávaní brusného kotouče

Takto orovnaným kotoučem byl zahájen proces broušení. Aby nedocházelo k takzvanému ometání kotouče, byl naprogramován přídavek v obou úvratích (přední i zadní). Ometení kotouče by mohlo způsobit nerovnosti broušeného povrchu. Brusný kotouč byl také dynamicky vyvážen na hodnotu oscilace $0,2 \mu\text{m}$, aby bylo dosaženo minimálního chvění vřetene.

Tabulka 15: Řezné podmínky při broušení

v [m/s]	30
$f_{\text{stranový}}$ [mm]	2
a_p [mm]	0,005
v_{obrobnku} [mm/min]	3000

Na poslední broušenou třísku byl stranový posuv změněn z dvou milimetrů na tři, aby došlo k překryvu drah kotouče a tím ke zlepšení kvality broušeného povrchu. Závěrem bylo provedeno šest průchodů na vyjiskření.

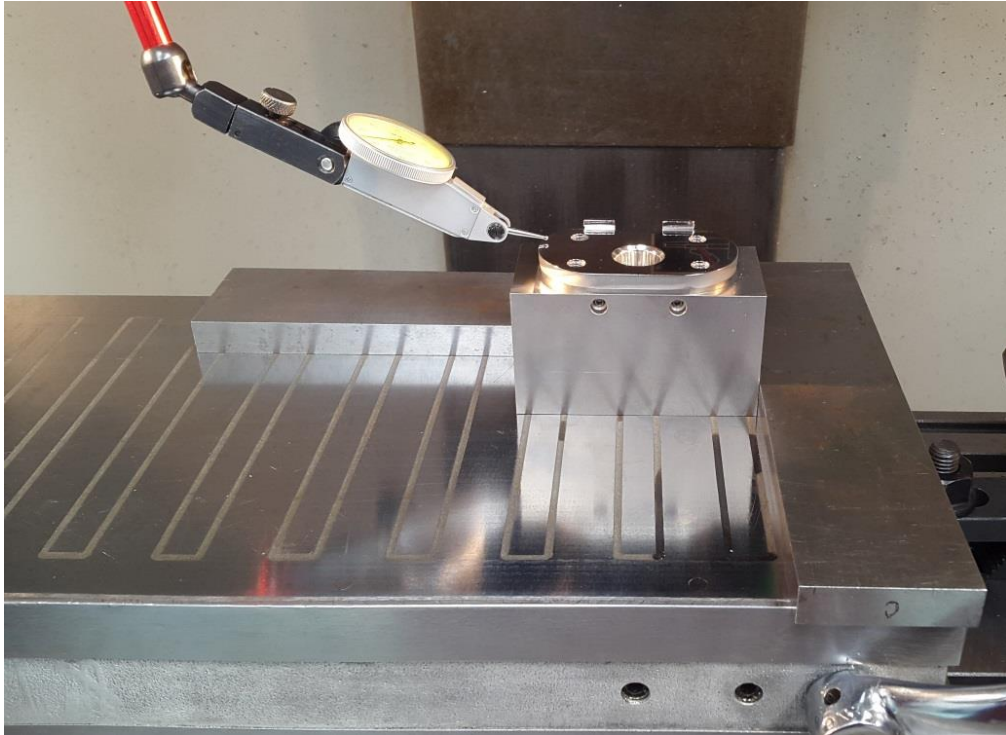
9 Leštění Tibiálního plata

Leštění součástí bylo realizováno na frézce FCM 22 CNC, lešticí hlavou s neodymovým magnetem a vyměnitelnými plátny.

Tabulka 16: Technické parametry frézky FCM 22 CNC

Rozměry pracovního stolu	250x700 mm
Pracovní posuv os X, Y a Z	450x250x320 mm
Výkon motoru vřetene	2,2 – 4 kW
Otáčky vřetene	50 – 3000 ot/min
Rychlost posuvu	0 – 5000 mm/min
Inkrement pohybu	0,001 mm
Napájecí napětí	3x400 V
Rozměry d, š, v	2370x1170x2000 mm
Hmotnost	1250 kg

Na pracovní stůl frézky byl umístěn magnet a upevněn pomocí upínek a T drážek. Číselníkovým úchylkoměrem byl magnet vyrovnán a překontrolován, jestli leží v rovině. Na takto připravené pracoviště byla přesunuta součást z brusky, aniž by došlo k jejímu vyjmutí z přípravku. Pro zachování rozměrové přesnosti je potřeba tento postup dodržovat a mezi operacemi součást z přípravku nevyjímat. Před upnutím součásti na magnet byl důkladně očištěn jak magnet, tak přípravek, abychom se zbavili všech případných nečistot a tudíž nerovností. Rovinnost broušené plochy je překontrolována číselníkovým úchylkoměrem.



Obrázek 24: Vyrovnání součásti před leštěním

Namísto frézy je do vřetena upnuta leštící hlava. Jednotlivé leštící cykly byly programovány přímo na stroji v softwaru MIKROPROG – F. Jednalo se o jednoduché programy o cca 15 řádcích, ve kterých byly za použití základních funkcí nastaveny všechny potřebné parametry. Konkrétně byla nastavena hodnota v ose Y, tak aby leštící hlava pokrývala celou šíři plata, a zároveň nedošlo ke kolizi s výstupky na zadní straně. V ose X bylo potřeba nastavit počáteční a koncovou hodnotu, tedy v jakém prostoru se bude leštící hlava pohybovat. Tyto hodnoty byly nastaveny tak, aby se na jedné straně hlava nedostala svou osou přes okraj leštěné plochy. Toto nastavení zaručuje stejnou přítlačnou sílu po celé leštěné ploše a navíc je časově úsporná. Hladina v ose Z byla při experimentech nastavována přes spárovou měрку. Ta byla přiložena na vrchní plochu Tibiálního plata a leštící hlavou se došlo na kontakt. Výsledná hodnota tedy byla $Z_0 +$ hodnota použité spárové měrky. Program pro leštění pak byl přes funkci G27 (programový skok) zacyklen, aby leštící hlava jezdila z X_1 do X_2 a zase zpět, dokud nebyl program manuálně přerušen. Smáčedlo a diamantové suspenze byly dávkovány ručně v průběhu cyklu přímo na leštěnou plochu Tibiálního plata.

9.1 Strojní leštění – pokus 1

V prvním pokusu byly použity dva typy leštících plátén. Před začátkem a po každém následujícím cyklu byla vždy změřena drsnost povrchu přístrojem MarSurf PS 10 od firmy MAHR. Postup leštění a naměřená drsnost byly zaznamenány do tabulky a následně byla vynesena závislost drsnosti povrchu na jednotlivých cyklech leštění do grafu. Pro první fázi leštění bylo nasazeno plátno MD – Alegro v kombinaci s 9 μ m diamantovou suspenzí. Tímto plátnem byly provedeny čtyři cykly po třech minutách, kdy se v hladině Z sjíždělo po 0,1 mm. Takto byla zvyšována přitlačná síla mezi leštící hlavou a součástí. Chlazení smáčedlem na alkoholové bázi, které má jak chladicí, tak lubrikační funkci. Ve druhé fázi bylo nasazeno plátno MD – Dac v kombinaci s 3 μ m diamantovou suspenzí. Oproti první fázi byl ubrán jeden cyklus. Časy a přísuvy v jednotlivých cyklech byly zachovány totožné. Chlazení smáčedlem.

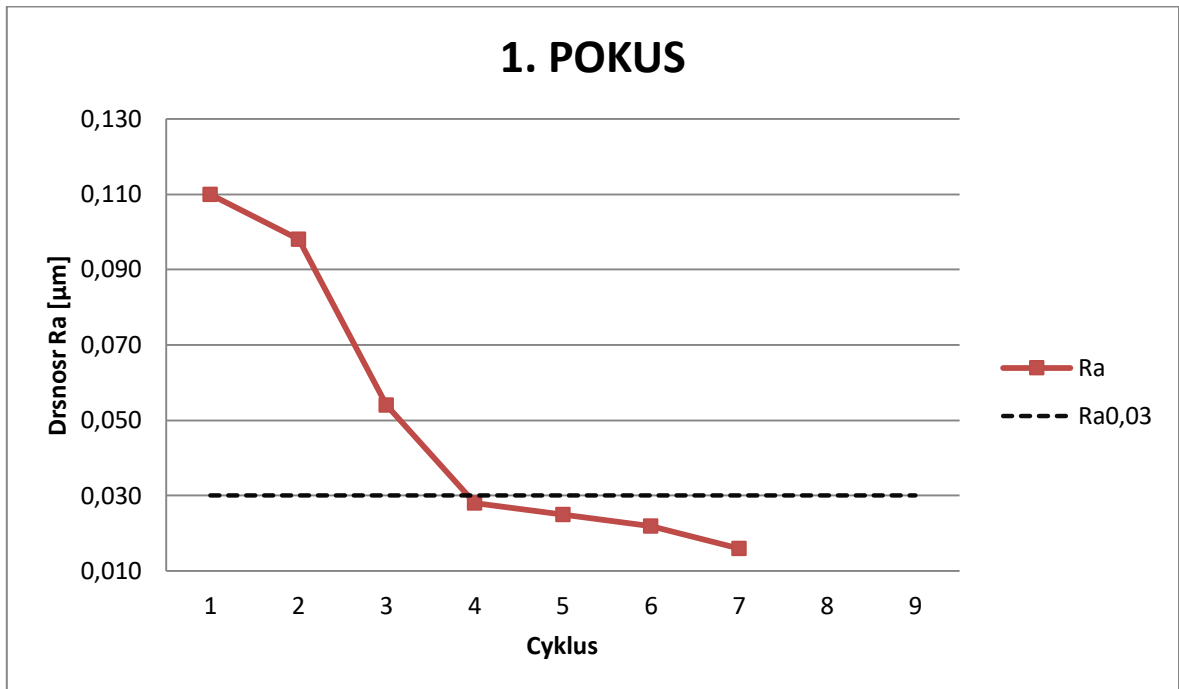
Tabulka 17: Naměřené drsnosti broušeného povrchu

1. Součást				2. Součást		
Č.	Ra [μ m]	Rz [μ m]	Rmax [μ m]	Ra [μ m]	Rz [μ m]	Rmax [μ m]
1.	0,123	0,969	1,207	0,121	0,983	1,224
2.	0,118	0,929	1,070	0,131	0,944	1,097
3.	0,142	1,236	1,748	0,142	1,022	1,147

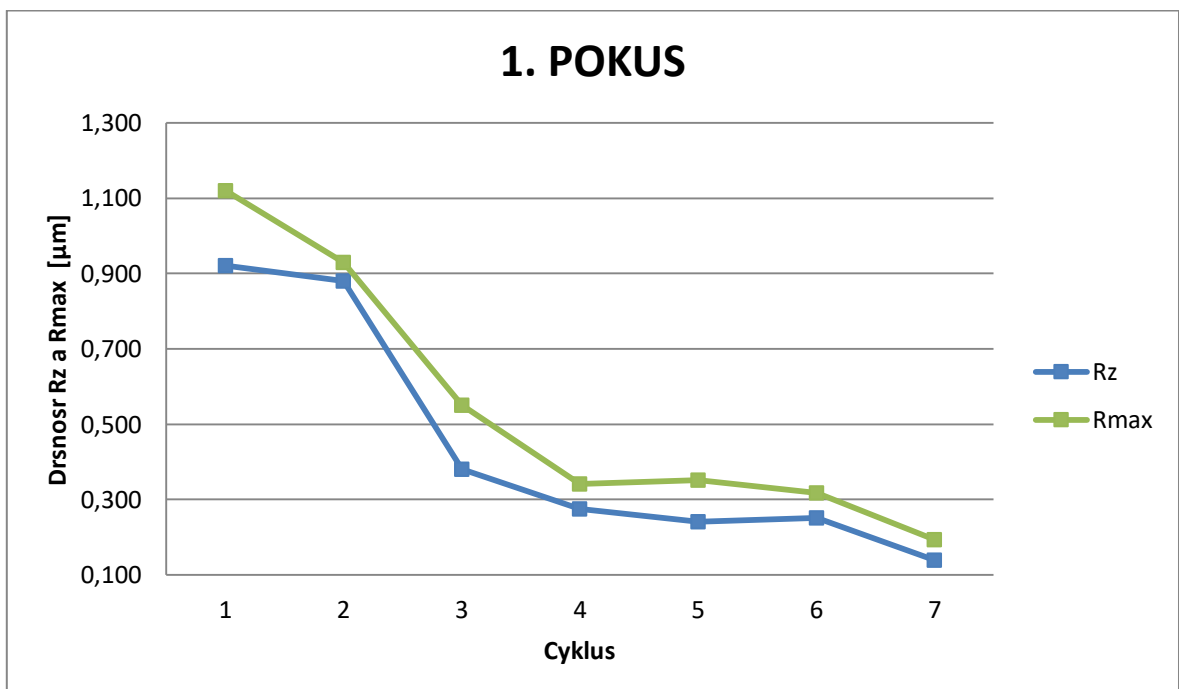
Tabulka 18: Naměřené hodnoty s řeznými podmínkami v 1. pokusu

	Cyk.	s [ot/min]	f [mm/min]	Ra [μ m]	Rz [μ m]	Rmax [μ m]	t [min]	Osa Z
MD - Allegro	1	650	200	0,110	0,920	1,120	3	0
	2	650	200	0,098	0,880	0,930	3	-0,1
	3	650	200	0,054	0,380	0,550	3	-0,2
	4	650	200	0,028	0,275	0,342	3	-0,3
MD - Dac	5	650	200	0,025	0,241	0,351	3	-0,2
	6	650	200	0,022	0,252	0,318	3	-0,3
	7	650	200	0,016	0,140	0,194	3	-0,4

Hodnoty z tabulky byly následně vyneseny do grafu, ve kterém je znázorněna změna drsnosti povrchu na jednotlivých cyklech leštění. Hodnoty v ose Z jsou pro všechny cykly vždy zadávány absolutně od hladiny Z0.



Graf 1: Závislost drsnosti povrchu Ra na jednotlivých cyklech leštění pro 1. pokus



Graf 2: Závislost drsnosti povrchu Rz a Rmax na jednotlivých cyklech leštění pro 1. pokus

Pro velké rozměrové rozdíly, byl vytvořen jeden graf pro parametr drsnost Ra a druhý pro parametry drsnosti Rz a Rmax. Hodnota Ra0,03 je drsnost povrchu předepsána výkresem. Tedy podmínka, která při experimentech musela být splněna, aby se pokus mohl považovat za úspěšný. Z grafu je patrné, že podmínka dosažení drsnosti povrchu pod Ra0,03 je splněna. Razantní skok nastal při třetím cyklu leštění plátnem MD – Allegro v kombinaci s 9 μ m diamantovou suspenzí, kdy během tohoto cyklu klesly všechny měřené parametry drsnosti téměř o polovinu. Tento skok je způsoben především navyšováním přitlačné síly mezi hlavou a součástí.



Obrázek 25: Vyleštěné Tibiální plato po 1. pokusu (vpravo) v porovnání s broušeným (vlevo)

I z obrázku číslo 25 je patrné, že ve středu leštěné plochy zůstaly viditelné dráhy po broušení, které byly vzhledem k hrubší předúpravě při broušení příliš hluboké na to, aby se odstranily leštícími cykly. Mimo těchto estetických vad povrch splňuje zadané parametry.

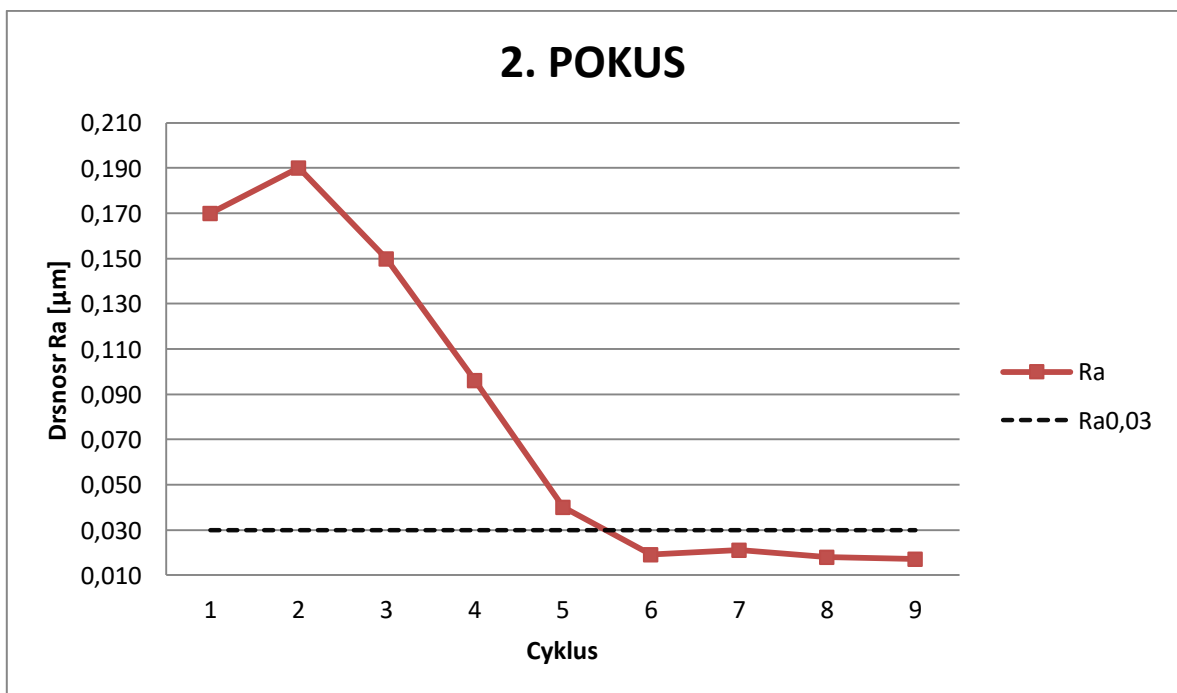
9.2 Strojní leštění – pokus 2

Ve snaze odstranit všechny stopy po broušení, bylo do druhého pokusu zařazeno i třetí plátno MD – Piano 500. Jedná se o diamantové brusné plátno s pryskyřickou matricí pro hrubší broušení. Chlazené pouze vodou. Toto plátno bylo zařazeno na první pozici ve třech cyklech po třech minutách. Zbytek postupu leštění byl zachován stejný jako v prvním pokusu.

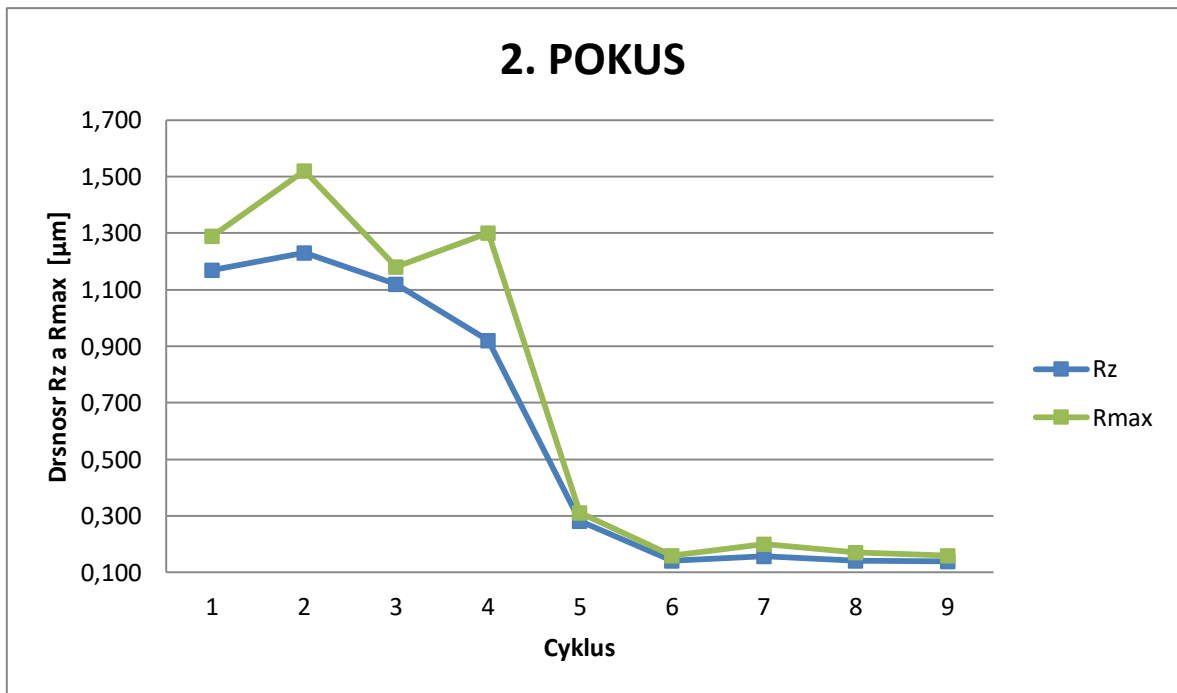
Tabulka 19: Naměřené hodnoty s řeznými podmínkami ve 2. pokusu

	Cyk.	s [ot/min]	f [mm/min]	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmax [μm]	t [min]	Osa Z
MD - Piano 500	1	650	200	0,170	1,170	1,290	3	0
	2	650	200	0,190	1,230	1,520	3	-0,1
	3	650	200	0,150	1,120	1,180	3	-0,2
MD - Allegro	4	650	200	0,096	0,921	1,300	3	-0,1
	5	650	200	0,040	0,281	0,310	3	-0,2
	6	650	200	0,019	0,142	0,160	3	-0,3
MD - Dac	7	650	200	0,021	0,158	0,200	3	-0,1
	8	650	200	0,018	0,140	0,170	3	-0,2
	9	650	200	0,017	0,139	0,160	3	-0,3

Hodnoty z tabulky byly vyneseny do grafu stejným způsobem, jako v předešlém případě.



Graf 3: Závislost drsnosti povrchu Ra na jednotlivých cyklech leštění pro 2. pokus



Graf 4: Závislost drsnosti povrchu Rz a Rmax na jednotlivých cyklech leštění pro 2. pokus

Podmínka dosažení drsnosti povrchu pod Ra0,03 je u druhého pokusu taktěž splněna. Velké zlepšení nastalo opět během jednoho cyklu leštění, plátnem MD – Allegro v kombinaci s 9 μm diamantovou suspenzí, kdy během tohoto cyklu klesly všechny měřené hodnoty drsnosti o více jak polovinu.



Obrázek 26: Vyleštěná Tibiální plato – pokus 2

Na obrázku 26 je vidět, že přidání hrubšího plátina do procesu nepomohlo a stopy po broušení i nadále zůstaly viditelné. Navíc na levé straně leštěné plochy zůstaly viditelné dráhy právě od hrubšího plátina, které ani následujícím leštěním nebyly odstraněny. Po

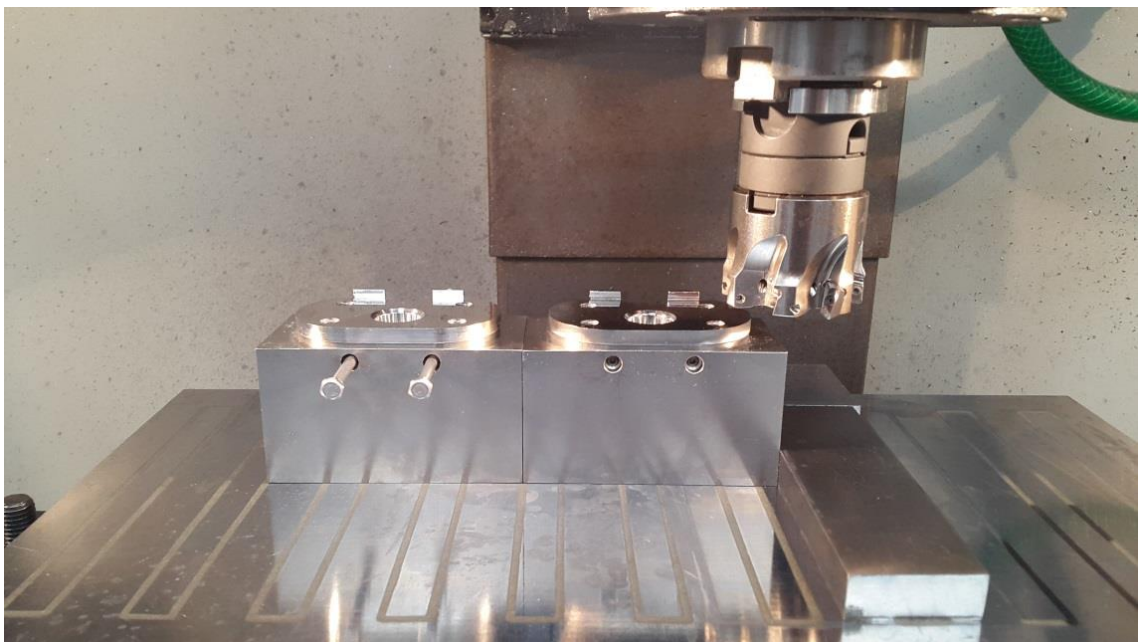
provedení těchto dvou pokusů lze usuzovat, že nejdůležitější částí pro dosažení požadované drsnosti povrchu, je leštění plátnem MD – Allegro v kombinaci s 9 μ m diamantovou suspenzí. Následující leštění plátnem MD – Dac v kombinaci s 3 μ m diamantovou suspenzí, je podstatně spíše z estetického hlediska docílení zrcadlového lesku součásti. Dráhy po broušení, které zůstaly viditelné, jsou nejspíš zapříčiněny vylomeným zrnem na brusném kotouči. Došlo tak místy k vyššímu úběru třísky.

9.3 Strojní leštění – pokus 3

Vzhledem k dočasné indispozici brusky, byly pokusy 3 a 4 realizovány na frézovaném povrchu. Frézování proběhlo na stejném stroji jako leštění. Snaha byla dosáhnout co nejkvalitnějšího povrchu už po frézování. Proto byly nastaveny specifické řezné podmínky a ponechána byla jen jedna řezná destička. Ostatní byly demontovány.

Tabulka 20: Řezné podmínky

v_c [m/min]	f_z [mm]	a_p [mm]
35	0,5	0,08

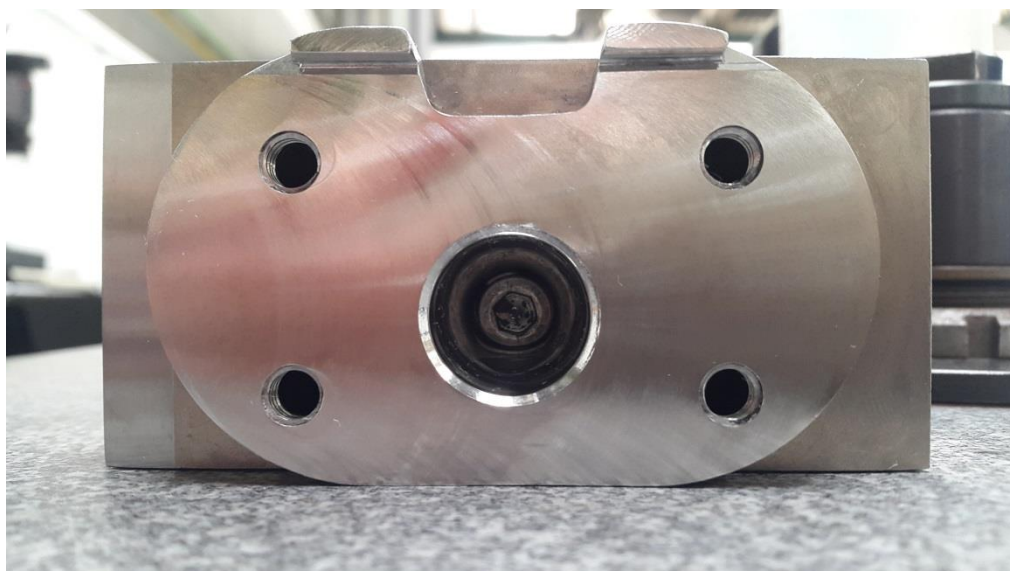


Obrázek 27: Frézování Tibiálního plata

Pro dosažení stejné výšky obráběných ploch, byly obě součásti upnuty za sebe a vyrovnány, jak můžeme vidět na obrázku 27. Obrobenou plochu pak můžeme vidět na obrázku 28. Na obou obrobených plochách byla ve třech místech změřena drsnost povrchu.

Tabulka 21: Drsnost povrchu po frézování

3. Součást				4. Součást		
Č.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmax [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmax [μm]
1.	0,16	1,37	1,64	0,29	2,18	2,55
2.	0,18	1,58	1,83	0,25	2,06	2,44
3.	0,17	1,29	1,42	0,30	2,34	2,77



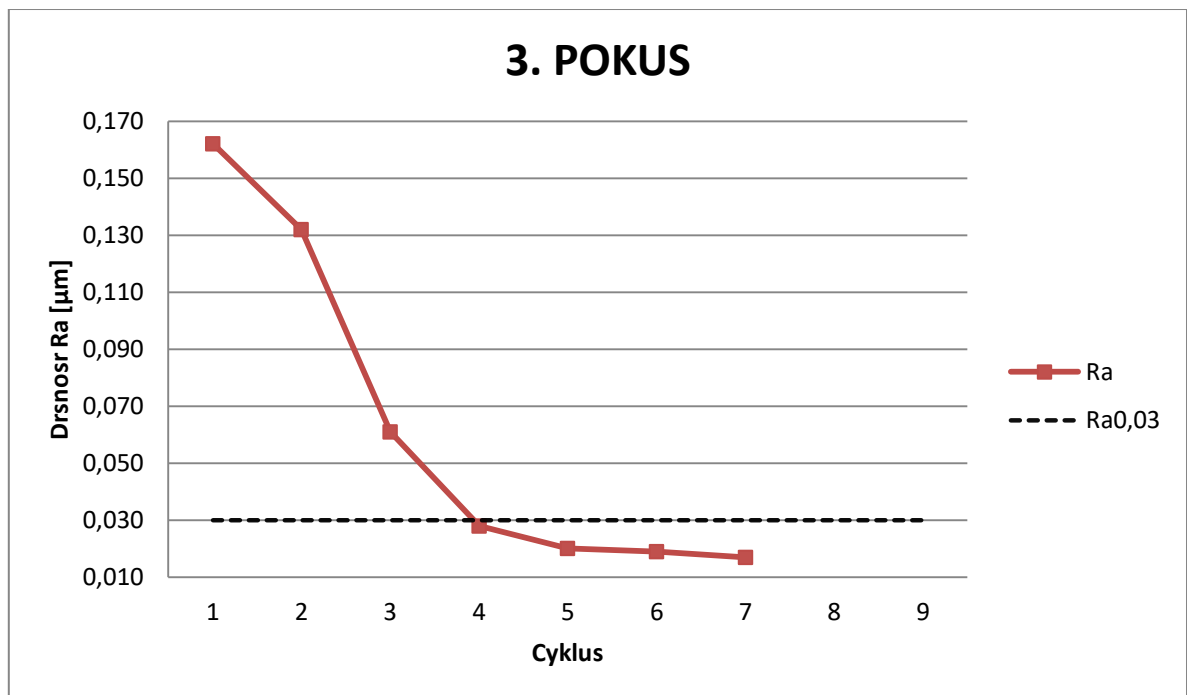
Obrázek 28: Povrch po frézování

Jak vizuální stránka, tak i naměřené hodnoty jsou velmi dobré s ohledem na to, že je jedná o frézovaný povrch. Z tabulky lze vyzorovat, že naměřená hodnota mezi první a druhou součástí se značně liší. Takové zhoršení povrchu je nejspíš zapříčiněno rychlým opotřebením rezné destičky. Součást s vyšší naměřenou drsností povrchu byla frézována jako druhá v pořadí. Nicméně drsnost povrchu na první součásti se zásadně neliší od povrchu broušeného. Po naměření drsností bylo přistoupeno ke třetímu pokusu leštění, jehož podmínky byly identické jako u prvního pokusu. Naměřené hodnoty a graf závislosti drsnosti povrchu na jednotlivých cyklech leštění je uvedeno níže.

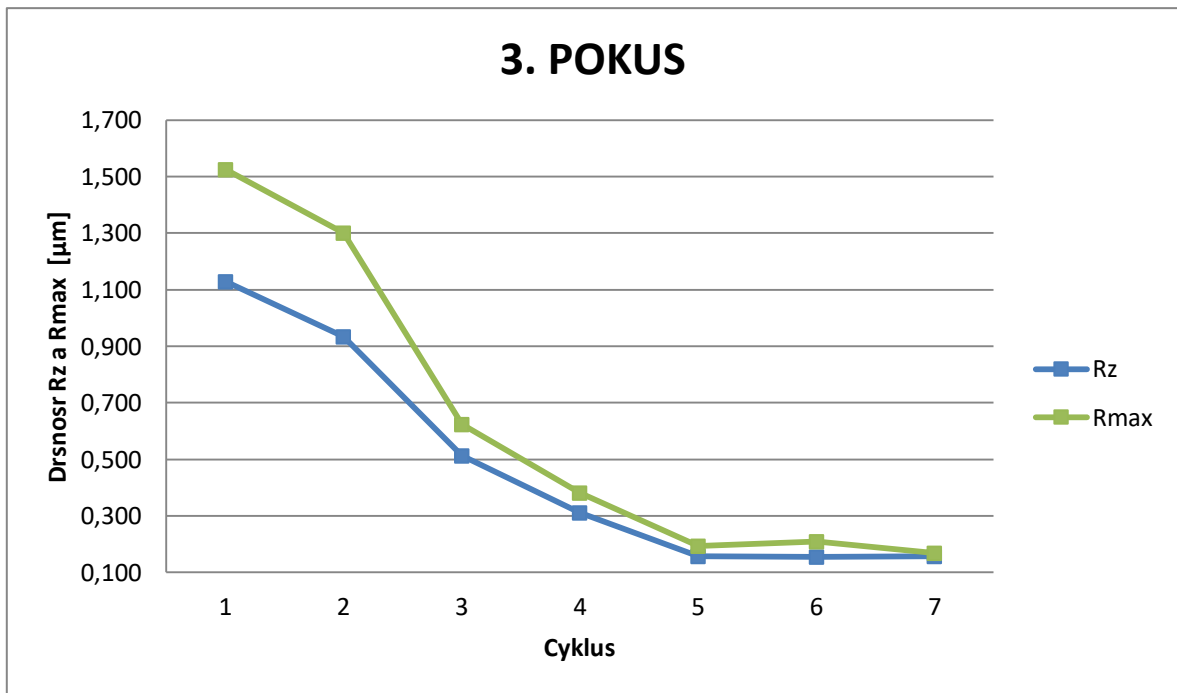
Tabulka 22: Naměřené hodnoty s různými podmínkami ve 3. pokusu

	Cyk.	s [ot/min]	f [mm/min]	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmax [μm]	t [min]	Osa Z
MD - Allegro	1	650	200	0,162	1,128	1,526	3	0
	2	650	200	0,132	0,935	1,302	3	-0,1
	3	650	200	0,061	0,512	0,624	3	-0,2
	4	650	200	0,028	0,312	0,382	3	-0,3

MD - Dac	5	650	200	0,020	0,156	0,194	3	-0,2
	6	650	200	0,019	0,155	0,208	3	-0,3
	7	650	200	0,017	0,158	0,169	3	-0,4



Graf 5: Závislost drsnosti povrchu Ra na jednotlivých cyklech leštění pro 3. pokus



Graf 6: Závislost drsnosti povrchu Rz a Rmax na jednotlivých cyklech leštění pro 3. pokus

Z grafu je patrné, že se povrch zvonu podařilo vyleštit pod požadovanou drsnost. Na obrázku... ale můžeme vidět, že na součásti zůstalo mnoho míst, která se vyleštit nepodařilo. Dráhy po frézování v těchto místech byly příliš hluboké. Ke značným defektům také došlo na okrajích otvorů leštěné plochy.



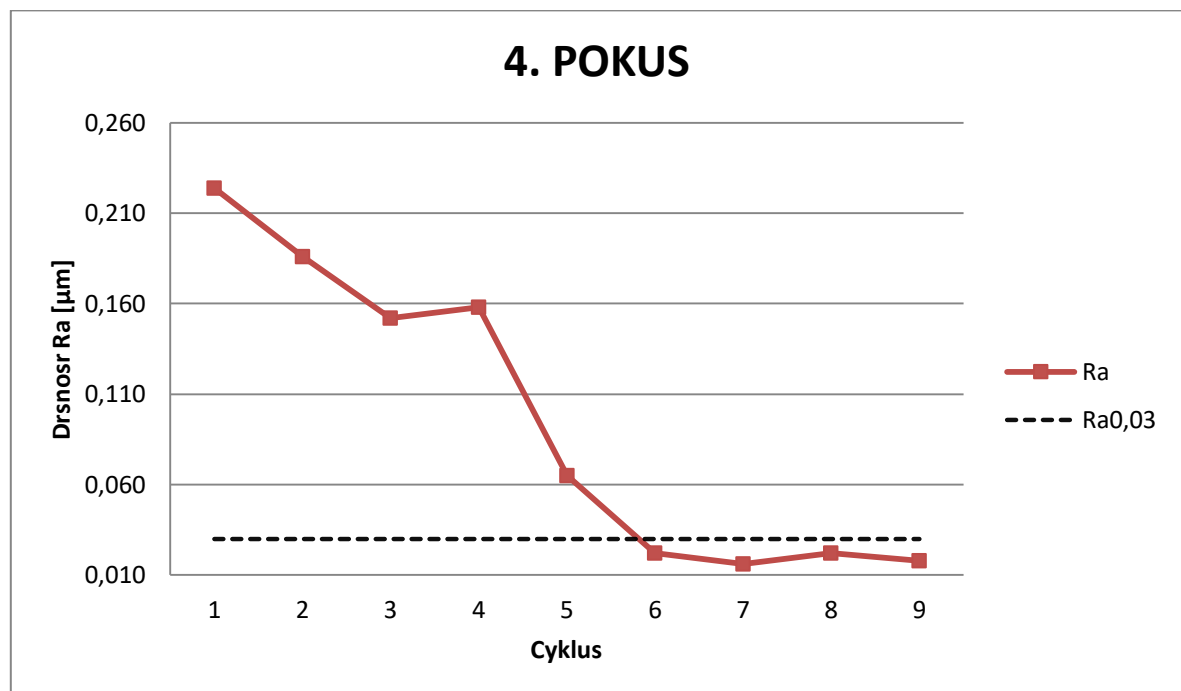
Obrázek 29: Vyleštěný frézovaný povrch

9.4 Strojní leštění – pokus 4

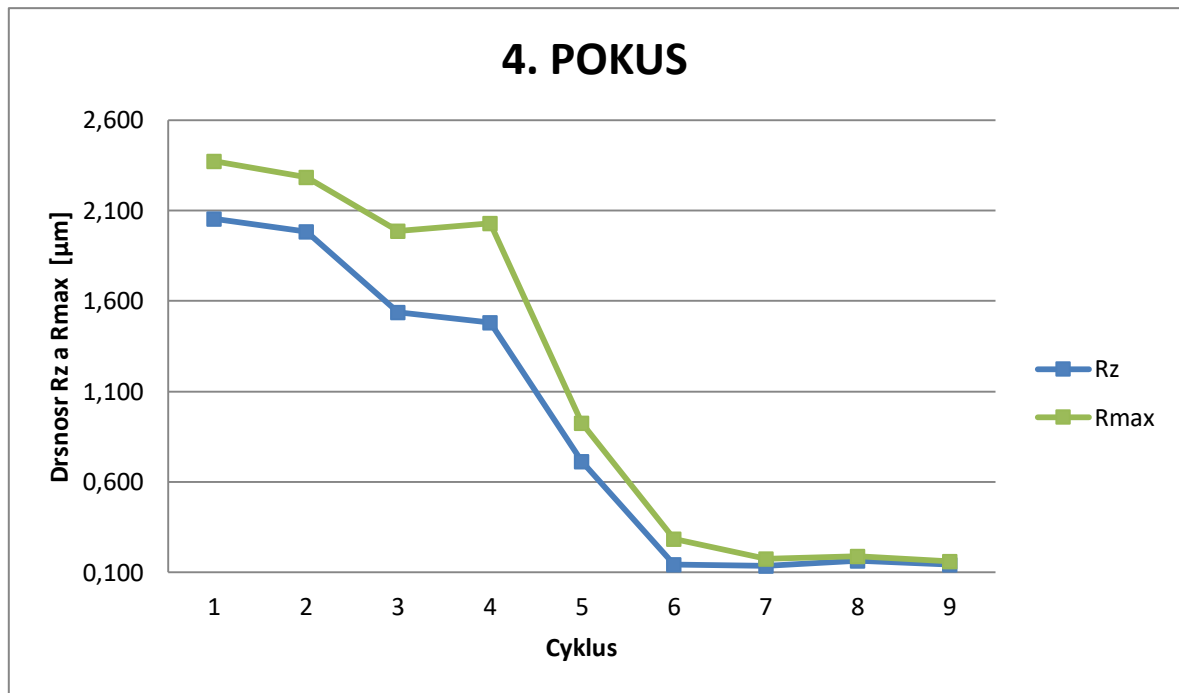
Ve snaze docílit vyššího úběru materiálu, aby došlo k vyleštění celé plochy, byly ve čtvrtém pokusu znovu nasazeny všechny tři typy pláten a prodlouženy časy některých cyklů leštění.

Tabulka 23: Naměřené hodnoty s reznými podmínkami ve 4. pokusu

	Cyk.	s [ot/min]	f [mm/min]	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmax [μm]	t [min]	Osa Z
MD - Piano 500	1	650	200	0,224	2,054	2,373	3	0
	2	650	200	0,186	1,982	2,285	5	-0,1
	3	650	200	0,152	1,536	1,986	7	-0,2
MD - Allegro	4	650	200	0,158	1,482	2,028	4	-0,2
	5	650	200	0,065	0,713	0,925	5	-0,3
	6	650	200	0,022	0,143	0,284	5	-0,4
MD - Dac	7	650	200	0,016	0,135	0,175	3	-0,1
	8	650	200	0,022	0,165	0,188	3	-0,2
	9	650	200	0,018	0,143	0,159	3	-0,3



Graf 7: Závislost drsnosti povrchu Ra na jednotlivých cyklech leštění pro 4. pokus



Graf 8: Závislost drsnosti povrchu Rz a Rmax na jednotlivých cyklech leštění pro 4. pokus

V grafu je vidět, že i přes daleko horší počáteční drsnost se na vyleštěných podařilo dosáhnout velmi podobné jakosti povrchu. Bohužel i v tomto pokuse na součásti zůstaly nevyleštěná místa v totožných polohách jako u pokusu předcházejícího. Závěrem lze říci, že přes veškeré snahy a úpravy jednotlivých cyklů leštění se frézovaný povrch nepodařilo optimálně vyleštit a tudíž je postup bez operace broušení považován jako nevhodný.

9.5 Strojní leštění – pokus 5

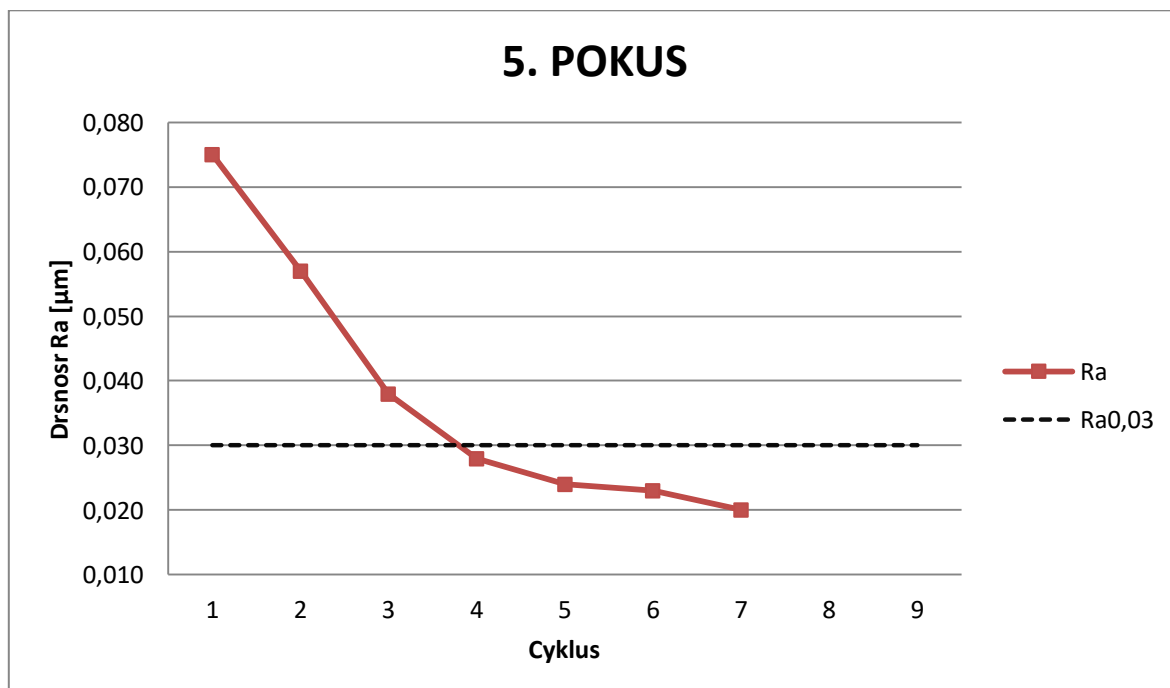
V pátém a šestém pokusu leštění probíhalo na broušeném povrchu. Pro zvýšení jakosti leštěného povrchu byl oproti předchozím pokusům upraven posuv v závěrečné části leštění plátnem MD – Dac v kombinaci se 3µm diamantovou suspenzí z 200 na 100 mm/min. Vzhledem ke snížení posuvu byly prodloužené jednotlivé časové sekvence těchto cyklů.

Tabulka 24: Drsnost povrchu po leštění

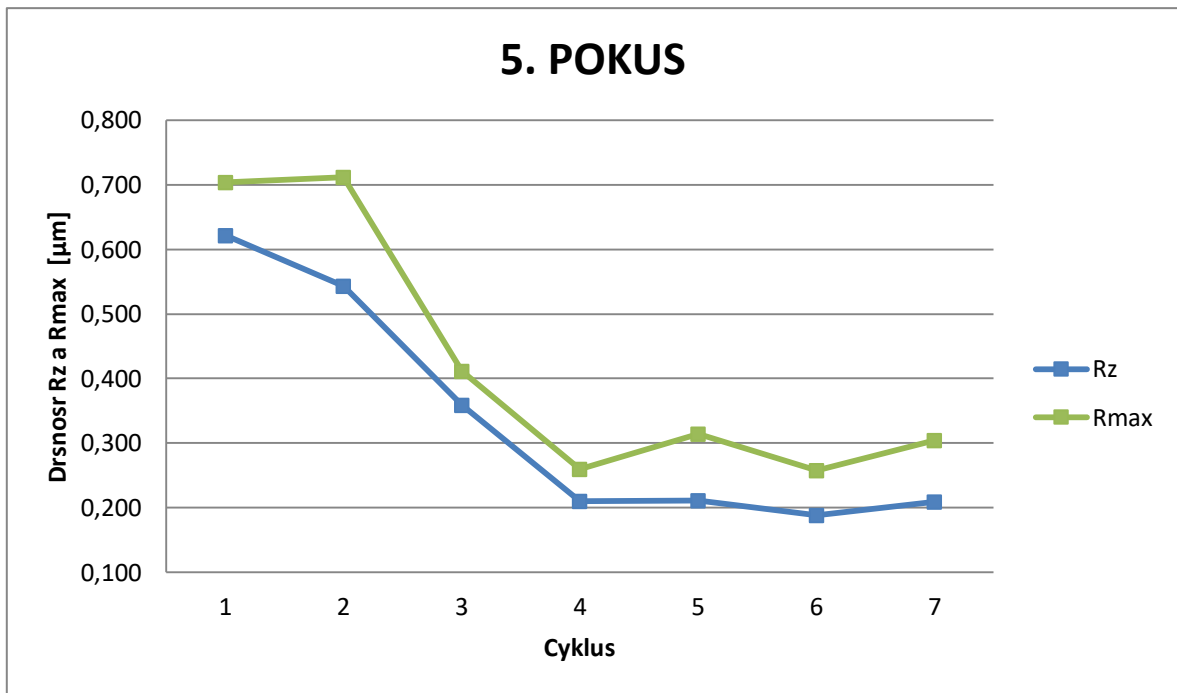
1. Součást				2. Součást		
Č.	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmax [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmax [μm]
1.	0,110	0,651	0,766	0,092	0,642	0,742
2.	0,088	0,614	0,706	0,086	0,612	0,721
3.	0,090	0,656	0,656	0,088	0,615	0,708

Tabulka 25: Naměřené hodnoty s řeznými podmínkami v 5. pokusu

	Cyk.	s [ot/min]	f [mm/min]	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmax [μm]	t [min]	Osa Z
MD - Allegro	1	650	200	0,075	0,621	0,704	3	0
	2	650	200	0,057	0,543	0,712	3	-0,1
	3	650	200	0,038	0,359	0,411	3	-0,2
	4	650	200	0,028	0,210	0,260	3	-0,3
MD - Dac	5	650	100	0,024	0,211	0,314	6	-0,1
	6	650	100	0,023	0,188	0,258	6	-0,2
	7	650	100	0,020	0,209	0,304	6	-0,3



Graf 9: Závislost drsnosti povrchu Ra na jednotlivých cyklech leštění pro 5. pokus



Graf 10: Závislost drsnosti povrchu Rz a Rmax na jednotlivých cyklech leštění pro 5. pokus

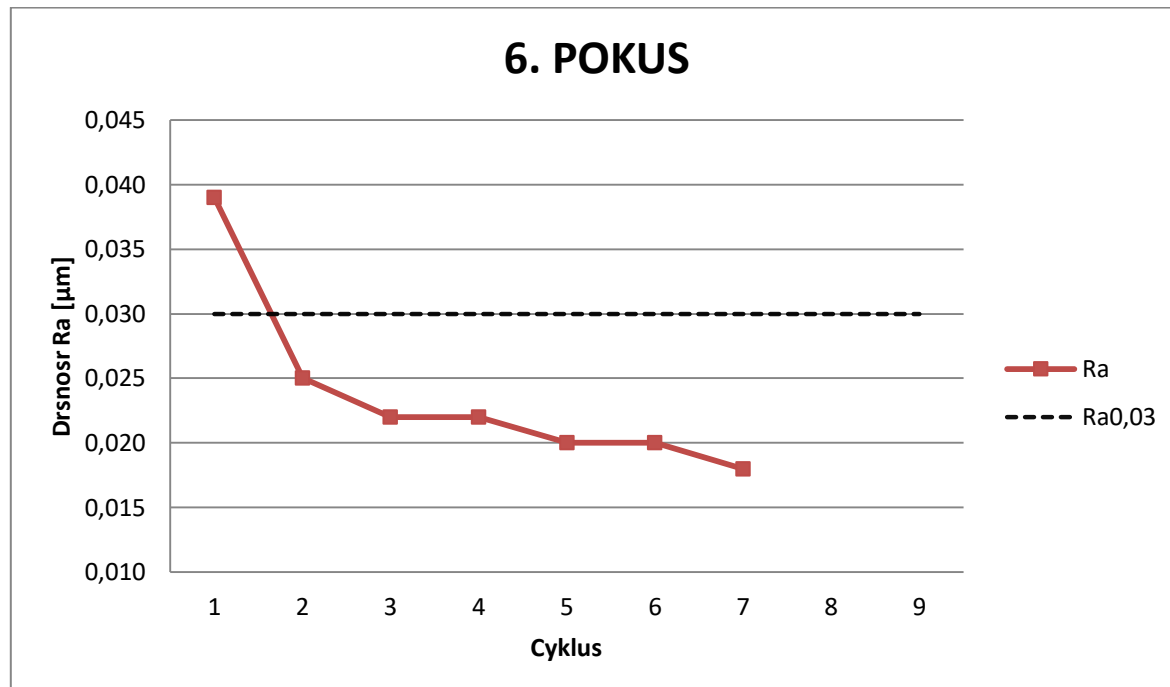
V tomto pokusu se podařilo odstranit téměř všechny stopy po broušení. Asi na jedné čtvrtině leštěné plochy však zůstaly viditelné dráhy jak po broušení, tak po leštění plátnem MD – Allegro. Na zbylých třech čtvrtinách bylo dosaženo zrcadlového lesku se splněnou podmínkou maximální drsnosti povrchu $R_a = 0,03$.

9.6 Strojní leštění – pokus 6

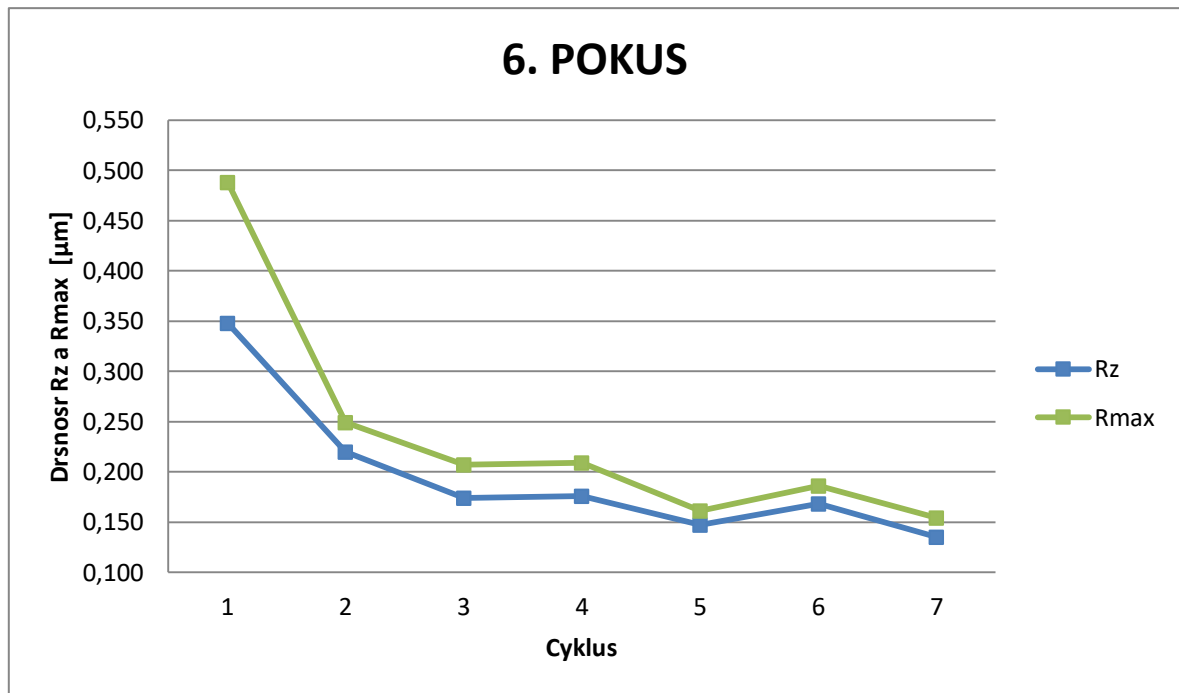
Ve snaze dosáhnout zrcadlového lesku na celé ploše byl v tomto pokuse snížen posuv ve všech leštících cyklech. Taktéž byly upraveny časy a nájezdy v ose Z.

Tabulka 26: Naměřené hodnoty s řeznými podmínkami v 6. pokusu

	Cyk.	s [ot/min]	f [mm/min]	Ra [μm]	Rz [μm]	Rmax [μm]	t [min]	Osa Z
MD - Allegro	1	650	100	0,039	0,348	0,488	6	-0,2
	2	650	100	0,025	0,220	0,249	6	-0,3
	3	650	100	0,022	0,174	0,207	6	-0,4
	4	650	100	0,022	0,176	0,209	6	-0,5
MD - Dac	5	650	100	0,020	0,147	0,161	6	-0,2
	6	650	100	0,020	0,168	0,186	6	-0,3
	7	650	100	0,018	0,135	0,154	6	-0,4



Graf 11: Závinnost drsnosti povrchu Ra na jednotlivých cyklech leštění pro 6. pokus



Graf 12: Závislost drsnosti povrchu Rz a Rmax na jednotlivých cyklech leštění pro 6. pokus

Vzhledem k nižším sjezdům hlavy v ose Z a navýšení tak přítláčné síly na leštěnou plochu, bylo zaznamenáno vyšší zahřívání součásti, a proto byla zvýšena intenzita chlazení. Přes veškerou snahu docílit zrcadlového lesku na celé ploše, dopadl tento pokus téměř stejně jako pokus předchozí. Vzhledem k faktu, že při frézování leštěné plochy, které bylo prováděno na stejném stroji jako leštění, docházelo k úběru třísky vždy jen zadní částí frézy a po rozebrání celé problematiky s vedoucím diplomové práce, byly vyvozeny závěry, že vřeteno frézky je nepatrně vychýleno z osy a tudíž přítláčná síla leštící hlavy nebyla rovnoměrná. Proto část leštěné plochy, přes kterou přejížděla jen přední část leštící hlavy a zadní nikoliv, není dokonale vyleštěná.

Závěrem je potřeba říci, že pro dosažení zrcadlového lesku po celé ploše je nezbytné optimální nastavení stroje. Díky konstrukci leštící hlavy s neodýmovým magnetem lze provádět rychlé výměny jednotlivých leštících pláten bez nutnosti vyjímání leštící hlavy z vřetene stroje. Tento postup je vhodný jak z hlediska časové úspory, tak i v přesnosti opakovaného najíždění hlavou na souřadnice.

10 Navedení hlavy na povrch implantátu

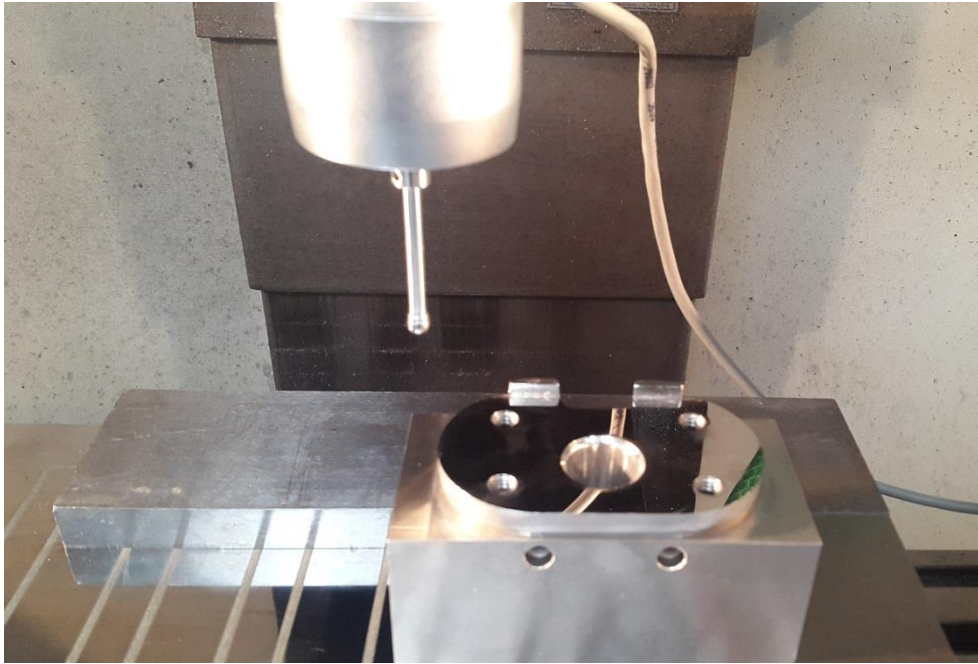
Pro rychlejší a přesnější stanovení hladiny Z0, tedy hladiny, ve které dochází ke kontaktu hlavy s leštěnou plochou, byla testována metoda navedení leštící hlavy na povrch implantátu pomocí obrobkové sondy. Konkrétně se jednalo o měřicí dotykovou sondu DS4-R, která je plně kompatibilní s frézkou FCM 22 CNC na níž probíhalo leštění. Pro přesné zaměření polohy leštěné plochy byla vytvořena broušená plocha na jedné straně přípravku, přes kterou bude sonda zaměřovat polohu leštěné plochy v ose Z.



Obrázek 30: Broušená plocha přípravku

Stanovit přesnou souřadnici v ose Z můžeme pak dvojitým způsobem. Jedna z možností je nájezd sondou na broušenou plochu přípravku, od tohoto bodu odměříme vzdálenost na povrch broušené plochy implantátu a připočteme tuto vzdálenost ke korekci leštící hlavy. Výsledná hodnota je do stroje zadána jako hodnota Z0. Nebo druhá varianta, kdy sondou najedeme přímo na broušenou plochu implantátu a dále pracujeme standardně jako při výměně nástroje. Leštící hlava má svou korekci, programově se načte nástroj i s touto korekcí a v momentě, kdy dojde ke kontaktu plátna s povrchem implantátu, tak by stroj měl být v poloze Z0. Vzhledem k faktu, že součást je broušená v přípravku si do zaměřování nevnášíme žádné další nepřesnosti, tudíž je varianta najíždění sondou přímo na povrch implantátu vhodnější.

Dotyková sonda lze využít i pro určení zbylých souřadnic v ose X a Y. Přes cyklus pro nalezení rohu, kdy se sonda dotkne z jednoho a druhého boku přípravku a určí tak, že v nalezeném rohu jsou souřadnice X_0 a Y_0 . Díky tomuto zaměření se urychlí jinak časově náročnější proces na zakládání přípravků. Dostačující pak bude zajištění rovnoběžnosti zoubků implantátu s osou Y.



Obrázek 31: Zaměření leštěné plochy sondou

11 Automatické dávkování leštících suspenzí

Pro zautomatizování dávkování diamantové suspenze a chladícího smáčedla byl vytvořen návrh, ve kterém je frézka doplněna o automatický dávkovač. Základní podmínkou bylo, aby měl dávkovač tři a více samostatných výstupů. Jeden pro chladící smáčedlo a další dva pro diamantové suspenze. Dalším požadavkem byla velikost jedné dávky od jednoho mililitru a dostatečná délka přírodních hadic, pro zajištění přívodu kapalin skrz pracovní prostor frézky až k součásti.

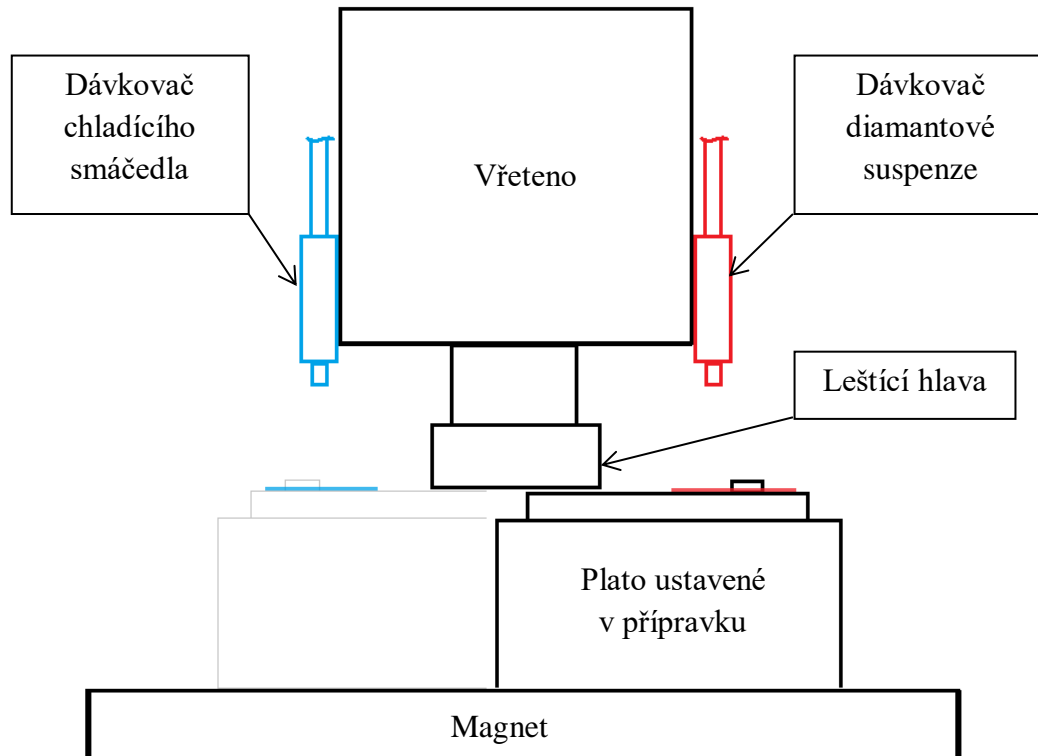
Pro náš návrh byl vybrán digitálně řízený dávkovač kapalin KC-II se čtyřmi oddělenými výstupy.



Obrázek 32: Automatický dávkovač kapalin KC-II

Dávkování bude probíhat vždy, když se leštící hlava dostane do koncového bodu v ose X. V jednom koncovém bodě proběhne dávkování diamantové suspenze, ve druhém pak dávkování chladícího smáčedla. Leštící hlava kapaliny absorbuje a zajistí tak přenos po celé leštěné ploše. Odhadovaný poměr jedné dávky diamantové suspenze je 5 až 10 ml. U chladícího smáčedla bude potřeba naprogramovat dávky dle jednotlivých cyklů leštění, tak aby nedocházelo k vysokému zahřívání leštěné plochy. To znamená, zvyšovat dávky s rostoucí přítlačnou silou. Aby nedošlo ke kontaminaci plátna MD – Dac 9 μ m diamantovou suspenzí je nutné mezi výměnami pláten provést oplach povrchu součásti. Tento oplach lze provést automaticky přívodem chladící kapaliny.

V rámci návrhu bylo vytvořeno jednoduché schéma automatického dávkovače implementovaného na frézku.



Obrázek 33: Schéma automatického dávkovače implantovaného na frézku

Další variantou by bylo použití směsi diamantové emulze s chladícím smáčedlem, které je běžně dostupné a využít tak všechny čtyři výstupy dávkovače. Dva, kdy jeden bude umístěn vpravo a druhý vlevo od leštící hlavy, na 9 μ m diamantovou suspenzi a dva na 3 μ m diamantovou suspenzi.

Vzhledem k vyšším pořizovacím cenám dávkovacích zařízení nebyl návrh realizován v rámci této diplomové práce.

12 Závěr

Teoretická část diplomové práce shrnuje nejpoužívanější biokompatibilní kobaltové slitiny využívané pro výrobu implantátů v biomedicíně. Zaměřuje se především na chemické složení těchto slitin a konkrétní využití každé z nich. Podrobnějšímu rozboru jsou podrobeny implantáty kolenních kloubů. Dále je rozepsán způsob programování frézky FCM 22 CNC, která je používána v praktické části pro experimenty strojního leštění Tibiálního plata a seznámení s jejím řídicím systémem. Závěrem teoretické části je podrobně zpracován přehled neodymových magnetů a vysvětlena problematika jejich obrábění.

Pro pochopení problematiky leštění Tibiálního plata byly podrobně zmapovány aktuální technologie jak samotného leštění, tak i jeho předúprav. Převzat byl přípravek pro ustavení Tibiálního plata navržený v diplomové práci zabývající se optimalizací obráběcího procesu této součásti. Přípravek byl doplněn stavěcími šrouby a implementován pro technologii broušení a leštění. Pro správné upínání plata do přípravku byla stanovena optimální velikost upínacího momentu, aby nedocházelo k deformaci leštěné plochy.

Pro leštění v automatickém cyklu byla navržena a vyrobena leštící hlava s neodymovým magnetem, která díky své jedinečné konstrukci umožňuje snadné a rychlé výměny jednotlivých leštících plátén, bez nutnosti vyjímání hlavy z vřetene stroje. Provedeno bylo celkem šest zaznamenávaných pokusů leštění v automatickém cyklu na frézce FCM 22 CNC. Plato bylo vždy ustaveno v přípravku a upnuto na magnet. V pátém a šestém pokusu byly odstraněny veškeré stopy po broušení. Bohužel pro nerovnoměrný přítlak leštící hlavy na povrch Tibiálního plata způsoben nepatrným vybočením vřetene stroje mimo svou osu, se nepodařilo dosáhnout zrcadlového lesku po celé leštěné ploše. Požadované drsnosti povrchu $R_a = 0,03\mu\text{m}$ bylo dosaženo ve všech pokusech leštění.

Pružný člen leštící hlavy s neodymovým magnetem vyřešil problematiku nájezdu na povrch implantátu a podstatně zvýšil možnosti regulace přítlačné síly mezi hlavou a povrchem implantátu. Díky zařazení plátén pro hrubé a jemné broušení se také otevírá možnost změny parametrů broušení a zvolit tak hrubší kotouč než AL 600 E. To je

výhodné jak z hlediska času, tak i opotřebení kotouče a jeho následných vlivů na rovinnost povrchu.

Závěrem je potřeba říci, že pro dosažení zrcadlového lesku po celé ploše je nezbytné optimální nastavení stroje. Postup leštění v automatickém cyklu pomocí lešticí hlavy s neodymovým magnetem je vhodný jak z hlediska časové úspory, tak i v přesnosti opakovaného najíždění hlavou na souřadnice.

Použitá literatura

- [1] HALLAB, Nadim James, JACOBS, Joshua James. Chapter II.5.6. - Orthopedic Applications. In: RATNER, Buddy D., HOFFMAN, Allan S., SCHOEN, Frederick J., LEMONS, Jack E. *Biomaterials Science - An Introduction to Materials in Medicine* (3rd ed.). Chicago: 2013. (cit. 13. 3. 2017). ISBN: 978-0-12-374626-9.
- [2] FILIP, Peter. *Progresivní typy biomateriálů*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1995. ISBN 80-707-8273-0.
- [3] LOSERTOVÁ, Monika. *Progresivní materiály: učební text*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN isbn978-80-248-2575-5.
- [4] *Biomaterials science: an introduction to materials in medicine*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2004. ISBN 0125824637.
- [5] ISO 5832-4. *Implants for surgery - Metallic materials - Part 4: Cobalt-chromiummolybdenum casting alloy*. Second edition. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [6] FILIP, Peter. *Progresivní typy biomateriálů*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1995. ISBN 8070782730.
- [7] ISO 5832-5. *Implants for surgery - Metallic materials - Part 5: Wrought cobaltchromium-tungsten-nickel alloy*. Third edition. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [8] *Coronary Stent Market Segments, Opportunity, Growth and Forecast by End-use Industry, Key Competitors and Market value upto 2023* [online]. Maharashtra, India: Market Research Future, 2018 [cit. 2019-07-29]. Dostupné z: <https://www.medgadget.com/2018/10/coronary-stent-market-segments-opportunity-growth-and-forecast-by-end-use-industry-key-competitors-and-market-value-upto-2023.html>
- [9] ISO 5832-6. *Implants for surgery - Metallic materials - Part 6: Wrought cobalt-nickelchromium-molybdenum alloy*. Second edition. Praha: Český normalizační institut, 1997.

- [10] *Beznoska.cz. Beznoska.cz* [online]. Kladno, Česká republika, 2019 [cit. 2019-07-29]. Dostupné z: <http://www.beznoska.cz/pro-odborniky/>
- [11] *Www.mikronex.cz* [online]. Praha: MIKRONEX [cit. 2019-07-29]. Dostupné z: <http://www.mikronex.cz/FCM16CNC.pdf>
- [12] *Www.mikronex.cz* [online]. Praha: MIKRONEX [cit. 2019-07-29]. Dostupné z: <http://www.mikronex.cz/MIKROPROG%20V3%20WIN.pdf>
- [13] *Www.unimagnet.cz* [online]. Praha: unimagnet s.r.o, 2019 [cit. 2019-07-29]. Dostupné z: <https://www.unimagnet.cz/>
- [14] *Magnety.cz: neodymy* [online]. 2019 [cit. 2019-07-29]. Dostupné z: <https://www.magnety.cz/neodymy/>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Stent [8]	14
Obrázek 2: Dřík kyčelního kloubu [10].....	15
Obrázek 3: Kolenní implantát [10].....	16
Obrázek 4: Upínání Tibiálního plata [15].....	23
Obrázek 5: Lapovací hlava průměr 55mm [15]	24
Obrázek 6: Přípravek [15]	25
Obrázek 7: Způsob upnutí součásti do přípravku [15]	26
Obrázek 8: Měření průhybu číselníkovým úchylkoměrem	27
Obrázek 9: Polohy a směr měření průhybu	27
Obrázek 10: Výroba leštící hlavy s lepeným plátnem.....	30
Obrázek 11: obrábění čela leštící hlavy na čisto.....	31
Obrázek 12: Leštící hlava s lepeným plátnem	32
Obrázek 13: Neodymový magnet.....	33
Obrázek 14: Lepení neodymového magnetu	33
Obrázek 15: Leštící plátna, zprava MD-Piano 500, MD-Allegro a MD-Dac.....	34
Obrázek 16: Podložka pod leštící plátno	35
Obrázek 17: deformační zkouška.....	36
Obrázek 18: Model sestavy leštící hlavy	36
Obrázek 19: Vrtání neodymového magnetu a usazení kuliček	37
Obrázek 20: Broušení podložek	38
Obrázek 21: Kompletace leštící hlavy.....	39
Obrázek 22: Rozdíl mezi konvenčním materiálem (vlevo) a Cubitromen (vpravo).....	40
Obrázek 23: Průběh orovnávaní brusného kotouče	41
Obrázek 24: Vyrovnání součásti před leštěním	43
Obrázek 25: Vyleštěné Tibiální plato po 1. pokusu (vpravo) v porovnání s broušeným (vlevo).....	46
Obrázek 26: Vyleštěná Tibiální plato – pokus 2.....	48
Obrázek 27: Frézování Tibiálního plata	49
Obrázek 28: Povrch po frézování.....	50
Obrázek 29: Vyleštěný frézovaný povrch	52
Obrázek 30: Broušená plocha přípravku	59
Obrázek 31: Zaměření leštěné plochy sondou	60
Obrázek 32: Automatický dávkovač kapalin KC-II.....	61
Obrázek 33: Schéma automatického dávkovače implantovaného na frézku.....	62

Seznam tabulek

Tabulka 1: Chemické složení slitin Co-Cr-Mo [5]	12
Tabulka 2: Fyzikální vlastnosti slitin Co-Cr-Mo [4].....	12
Tabulka 3: Chemické složení slitiny Co-Cr-W-Ni [7]	13
Tabulka 4: Fyzikální vlastnosti slitin Co-Cr-W-Ni [4]	13
Tabulka 5: Mechanické vlastnosti slitin Co-Ni-Cr-Mo [4]	14
Tabulka 6: Chemické složení slitin Co-Ni-Cr-Mo [9]	15
Tabulka 7: Hlavní funkce [11]	18
Tabulka 8: Pomocné funkce [11]	19
Tabulka 9: Výrobní postup NdFeB magnetů [13].....	21
Tabulka 10: Magnetické vlastnosti neodymových magnetů [15]	22
Tabulka 11: Naměřené hodnoty při velikosti momentu 5 Nm	28
Tabulka 12: Naměřené hodnoty při velikosti momentu 10 Nm	28
Tabulka 13: Naměřené hodnoty při velikosti momentu 15 Nm	28
Tabulka 14: Řezné podmínky	37
Tabulka 15: Řezné podmínky při broušení.....	41
Tabulka 16: Technické parametry frézky FCM 22 CNC	42
Tabulka 17: Naměřené drsnosti broušeného povrchu	44
Tabulka 18: Naměřené hodnoty s řeznými podmínkami v 1. pokusu.....	44
Tabulka 19: Naměřené hodnoty s řeznými podmínkami ve 2. pokusu	47
Tabulka 20: Řezné podmínky	49
Tabulka 21: Drsnost povrchu po frézování	50
Tabulka 22: Naměřené hodnoty s řeznými podmínkami ve 3. pokusu	51
Tabulka 23: Naměřené hodnoty s řeznými podmínkami ve 4. pokusu	53
Tabulka 24: Drsnost povrchu po leštění	55
Tabulka 25: Naměřené hodnoty s řeznými podmínkami v 5. pokusu.....	55
Tabulka 26: Naměřené hodnoty s řeznými podmínkami v 6. pokusu.....	57

Seznam grafů

Graf 1: Závislost drsnosti povrchu R_a na jednotlivých cyklech leštění pro 1. pokus	45
Graf 2: Závislost drsnosti povrchu R_z a R_{max} na jednotlivých cyklech leštění pro 1. pokus	45
Graf 3: Závislost drsnosti povrchu R_a na jednotlivých cyklech leštění pro 2. pokus	47
Graf 4: Závislost drsnosti povrchu R_z a R_{max} na jednotlivých cyklech leštění pro 2. pokus	48
Graf 5: Závislost drsnosti povrchu R_a na jednotlivých cyklech leštění pro 3. pokus	51
Graf 6: Závislost drsnosti povrchu R_z a R_{max} na jednotlivých cyklech leštění pro 3. pokus	52
Graf 7: Závislost drsnosti povrchu R_a na jednotlivých cyklech leštění pro 4. pokus	53
Graf 8: Závislost drsnosti povrchu R_z a R_{max} na jednotlivých cyklech leštění pro 4. pokus	54
Graf 9: Závislost drsnosti povrchu R_a na jednotlivých cyklech leštění pro 5. pokus	55
Graf 10: Závislost drsnosti povrchu R_z a R_{max} na jednotlivých cyklech leštění pro 5. pokus.....	56
Graf 11: Závislost drsnosti povrchu R_a na jednotlivých cyklech leštění pro 6. pokus	57
Graf 12: Závislost drsnosti povrchu R_z a R_{max} na jednotlivých cyklech leštění pro 6. pokus.....	58