

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B0715A270013 – Strojní inženýrství
Studijní specializace: Strojírenská technologie - technologie obrábění

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Optimalizace obrábění a následné pasování mechanismu Ball-And-Socket u radiálního naklápěcího ložiska

Autor: LUKÁŠ BÁBÍK
Vedoucí práce: Ing. Michal Povolný

Akademický rok 2021/2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Lukáš BÁBÍK**
Osobní číslo: **S21B0384P**
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**
Specializace: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**
Téma práce: **Optimalizace obrábění a následné pasování mechanismu Ball-And-Socket u radiálního naklápěcího ložiska**
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování

1. Úvod do problematiky
2. Specifikace produktu Ball and socket
3. Analýza současného stavu obrábění systému Ball and socket
4. Možnost optimalizace obrábění a následné pasování mechanismu Ball and socket v podmínkách GTW
5. Technicko-ekonomické zhodnocení
6. Závěr

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- Elektronické informační zdroje dostupné z www.knihovna.zcu.cz
- MM průmyslové spektrum, dostupné z www.mmspektrum.com
- Scopus, dostupné z <http://www.scopus.com>
- Science direct, dostupné z <http://www.sciencedirect.com>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Povolný**
Katedra technologie obrábění

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jan Dolejš**
GTW Bearings s.r.o.

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2022**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bábík	Jméno Lukáš	
STUDIJNÍ PROGRAM	B0715A270013 Strojní inženýrství		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Povolný	Jméno Michal	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST – KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Optimalizace obrábění a následné pasování mechanismu Ball-And-Socket u radiálního naklápěcího ložiska		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	54	TEXTOVÁ ČÁST	46	GRAFICKÁ ČÁST	8
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Cílem bakalářské práce je zmapování současného stavu výroby ball and socket. Navržení řešení, která napomohou k optimalizaci výroby a případného pasování ball and socket. Z 6 navržených řešení byli 3 řešení ověřeny experimentem. Po provedení experimentů se 3-osé obrábění jeví jako nejlepší aplikace pro obrábění prvků socket, ale nevhodná pro výrobu prvků ball. Prvky ball v případě potřeby vyrábět současným způsobem (soustružením).
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	kluzná ložiska, ball and socket, obrábění

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Bábík	Name Lukáš	
STUDY PROGRAMME	B0715A270013 Mechanical Engineering		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Povolný	Name Michal	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Machining optimization and subsequent fitting of the Ball-And-Socket mechanism for the radial tilting pad bearing		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2022
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	54	TEXT PART	46	GRAPHICAL PART	8
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The aim of the bachelor thesis is to map the current state of ball and socket production. Designing solutions that will help optimize production and possible ball and socket fitting. Of the 6 proposed solutions, 3 solutions were verified experimentally. After performing the experiments, 3-axis machining appears to be the best application for machining socket elements, but unsuitable for the production of ball elements. If necessary, produce the ball elements in the current way (by turning).
KEY WORDS	plain bearings, ball and socket, machining

Poděkování

Touto formou bych rád poděkoval vedoucímu této bakalářské práce Ing. Michalovi Povolnému a konzultantovi Ing. Janu Dolejšovi za odborné rady při tvorbě práce. Dále bych rád poděkoval všem zaměstnancům GTW BEARINGS a RTI za pomoc se zprostředkováním experimentů. DĚKUJI.

Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	10
Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	13
Úvod.....	14
1. Představení společnosti	15
2. Úvod do problematiky	16
2.1 Rozdělení a popis kluzných ložisek se zaměřením na radiální naklápěcí ložisko.....	16
2.1.1 Radiální profilová ložiska	17
2.1.2 Radiálně-axiální ložiska	18
2.1.3 Ložiska s naklápěcími segmenty.....	18
2.2 Problematika spojená s kluznými kompozitivními ložisky	20
2.2.1 Tření v kluzném ložisku.....	20
2.2.2 Rozložení tlaků v kluzném ložisku	21
2.2.3 Hydrostatické nadzvednutí	22
2.2.4 Vodík v kluzných kompozitivních ložiskách.....	23
3. Specifikace produktu Ball and socket.....	25
4. Analýza současného stavu obrábění systému Ball and socket.....	26
4.1 Technologičnost konstrukce	27
4.2 Současný stav obrábění	27
4.3 Sestavení mechanismu B&S.....	30
4.4 Zkouška barvou	31
5. Možnost optimalizace obrábění a následné pasování mechanismu Ball and socket v podmínkách GTW	32
5.1 Válečkování.....	32
5.1.1 Závěr válečkování	33
5.2 Špindlování pod úhlem.....	33
5.2.1 Závěr špindlování pod úhlem.....	33
5.3 Špindlování.....	34
5.3.1 Průběh experimentu ověření špindlování.....	34
5.3.2 Závěr experimentu ověření špindlování.....	35
5.4 Zabíhání/omílání.....	35
5.4.1 Průběh experimentu zabíhání.....	35
5.4.2 Průběh experimentu omílání	37

5.4.3	Závěr zabíhání/omílání.....	37
5.5	5ti-osé obrábění na frézovacím centru.....	38
5.5.1	Závěr 5-osého frézování.....	39
5.6	3-osé frézování	39
5.6.1	Průběh experimentu 3-osé frézování.....	40
5.6.2	Závěr 3-osého frézování.....	41
6.	Technicko-ekonomické zhodnocení	44
7.	Závěr	45
8.	Seznam použitých zdrojů.....	46

Seznam příloh

Příloha I – Výkres pro experimenty: ball varianta 2

Příloha II – Výkres pro experimenty: socket varianta 2

Příloha III – Výkres pro experimenty: socket varianta 1

Příloha IV – Rozřezový plán: socket varianta 2

Přehled použitých zkratk a symbolů

Označení	Legenda
B&S	Ball and socket
Ball	Kulička
Socket	Kapsa
3-osé	Třiosé
5ti-osé	Pětiosé
Špindle	Nůž určený pro špindlování
Špindlování	Metoda vyvrtávní/frézování
°	Stupně
%	Procenta
Kč	Koruny
Hod	Hodiny
Min	Minuty
mm	Milimetry
μm	Mikrometry
Ra	Střední hodnota drsnosti [μm]
Ø	Průměr
Fz	Posuv na zub [mm/zub]
Vc	Řezná rychlost [m/min]
Ap	Hloubka řezu [mm]
VBD	Vyměnitelná břitová destička

Pozn: názvosloví bylo upraveno tak, aby odpovídalo zavedenému názvosloví zadavatele bakalářské práce, firmě GTW BEARINGS.

Seznam obrázků

Obr. 1: Hlavní budova GTW	15
Obr. 2: rozdělení radiálních ložisek	16
Obr. 3: rozdělení axiálních ložisek	17
Obr. 4: Vnitřní profily ložisek s fixní geometrií	17
Obr. 5: Radiálně-axiální ložisko s fixním profilem.....	18
Obr. 6: Ložisko s radiálními naklápěcími segmenty	19
Obr. 7: Tryska ve tvaru hříbku	19
Obr. 8: Svařovaná tryska	19
Obr. 9: Stribeckova křivka	21
Obr. 10: Rozložení sil v kluzném ložisku	22
Obr. 11: Hydrostatické mazání.....	22
Obr. 12: Vada ložiska způsobená inkluzí vodíku.....	24
Obr. 13: Radiální ložisko s naklápěcími segmenty s mechanismem ball and socket	25
Obr. 14: Ball and socket varianta 1 1	26
Obr. 15: Ball and socket varianta 2	26
Obr. 16: Doosan PUMA 2600.....	28
Obr. 17: Makino a51nx	29
Obr. 18: Změřená výška segmentu.....	30
Obr. 19: Vnitřní koule po kontrole geometrie "barvou"	31
Obr. 20: Diamantový nástroj pro vnitřní obrábění - technické údaje.....	32
Obr. 21: Špindlování pod úhlem	33
Obr. 22: Otisk po špindlování	34
Obr. 23: Postupná korekce programu při špindlování.....	35
Obr. 24: Sestavený mechanismus, připravený k zabíhání.....	36
Obr. 25: Výsledný otisk barvy po dokončení zabíhání	36
Obr. 26: Závity mechanismu	38
Obr. 27: Simulace obrobení materiálu kapsy varianty 1 při 5-osém frézování.....	38
Obr. 28: Simulace obrobení materiálu kapsy varianty 2 při 5-osém frézování.....	38
Obr. 29: Dráhy nástroje, využívající strategii archimédovy spirály.....	39
Obr. 30: Dráhy kulové frézy pro strategii obrábění konstantním krokem	39
Obr. 31: Korekce dokončovací operace	41
Obr. 32: Otisk po zkoušce barvou socket varianta 2	42
Obr. 33: Otisk po zkoušce barvou socket varianta 1	42

Obr. 34: Otisk po zkoušce barvou ball varianta 2	43
Obr. 35: Porovnání strojních časů mezi jednotlivými metodami	44

Seznam tabulek

Tab. 2-1: Výběr typu ložiska.....	16
Tab. 5-1: Výhody/nevýhody válečkování	33
Tab. 5-2: Výsledná drsnost při daných parametrech zabíhání	36
Tab. 5-3: Hodnoty drsnosti po omílání	37
Tab. 5-4: Průměrné hodnoty drsnosti po dokončení zabíhání/omílání	37
Tab. 5-5: Řezné podmínky hrubovacích nástrojů	40
Tab. 5-6: Řezné podmínky dokončovacího nástroje	41
Tab. 6-1: Srovnání cen jednotlivých metod	44

Úvod

Postupem doby jsou kladeny čím dál větší nároky na rotory točivých strojů. Především u vysokorychlostních aplikací jsou kladeny požadavky na tuhost a stabilitu uložení. Aby se docílilo splnění požadavků, přešli výrobci ložisek na již běžné řešení, uložení čepů hřídelí do ložisek s naklápěcími segmenty. U segmentového ložiska je možné nastavit předpětí (preload), jenž stanovuje odolnost ložiska proti nestabilitě. Preload vzniká posunutím středu křivosti kluzných ploch segmentů ze středu ložiska. Segmentové ložisko s čárovým dotykem neumožňuje vychýlení segmentů v axiálním směru. Jinými slovy pokud se hřídel axiálně vychýlí, není zaručena dostatečná rovnoběžnost ploch statoru a rotoru. Řešením, které ponechá parametry, jenž splňuje ložisko s čárovým stykem a současně vyloučí vychýlení činných ploch proti sobě, je přidání mechanismu ball and socket. Ball and socket je uložení koule v kouli, fungující na principu kloubu.

Firma GTW se potýká s problémem dosažení předepsaných nároků, kladených na sférické plochy mechanismu. To dalo podnět vzniku této bakalářské práce. Bakalářská práce se zabývá analýzou současného stavu obrábění mechanismu ball and socket a navržením optimalizačních řešení pro výrobu mechanismu.

1. Představení společnosti

Firma GTW BEARINGS s.r.o jenž byla založena roku 1996, se v současné době řadí mezi středně velké firmy a to s počtem cca 100 zaměstnanců. Hlavním produktem jsou kluzná kompozitová ložiska, která se zde nejen vyrábí a opravují, ale také navrhuji. Podnik se nachází zhruba 10km za Plzní ve vesničce nesoucí název Příšov.[2]

Předmětem podnikání je kovoobráběčství, činnost technických poradců v oblasti strojírenství, hutnictví a energetiky, specializovaný maloobchod, velkoobchod, slévárenství. Vše se realizuje v jedné administrativní budově a 4 výrobních halách[1].

Kluzná ložiska se navrhuji dle přání zákazníka v souladu s normami ISO DIN, popř. API. Statické i dynamické vlastnosti jsou přepočítány softwarem Combros a následně se vytvoří kompletní výrobní dokumentace s ohledem na zástavbové rozměry dodané zákazníkem. Jedná se především o kusovou výrobu a malé série. Výrobky jsou dodávány zákazníkům nejen po Evropě, ale také do Afriky, Asie a USA. Níže uvedené produkty jsou v největší míře používány u generátorů, převodovek, plynových turbín, parních turbín atp., kde zajišťují oddělení rotačních součástí od nerotačních.

Výrobky:

- Radiální kluzná ložiska
- Axiální kluzná ložiska
- Axiálně-radiální kluzná ložiska
- Axiální segmenty
- Radiální segmenty
- ...[2]

Firma GTW BEARINGS s.r.o. je jedním z nejprestižnějších výrobců kluzných ložisek v Evropě.

Firma GTW BEARINGS s.r.o. byla v roce 2012 certifikována dle ČSN EN ISO 14001:2016 a v roce 2016 byla certifikována podle ČSN OHSAS 18001:2008. [1]



Obr. 1: Hlavní budova GTW

2. Úvod do problematiky

Kluzná ložiska fungují na principu olejového filmu. Síly od rotoru hřídele i reakce, jimiž působí ložisko na hřídel stroje, jsou přenášeny právě přes tenkou nosnou vrstvičku oleje. Olejový film vzniká až po roztočení hřídele a současně zaniká s jejím zastavením. Je tedy pro životnost ložiska velmi důležité aby rozběhů/zastavení, bylo co nejméně. Proto se kluzná ložiska využívají ve strojích, které tuto podmínku malého počtu rozběhů splňují jako například plynové či parní turbíny.[6]

2.1 Rozdělení a popis kluzných ložisek se zaměřením na radiální naklápěcí ložisko

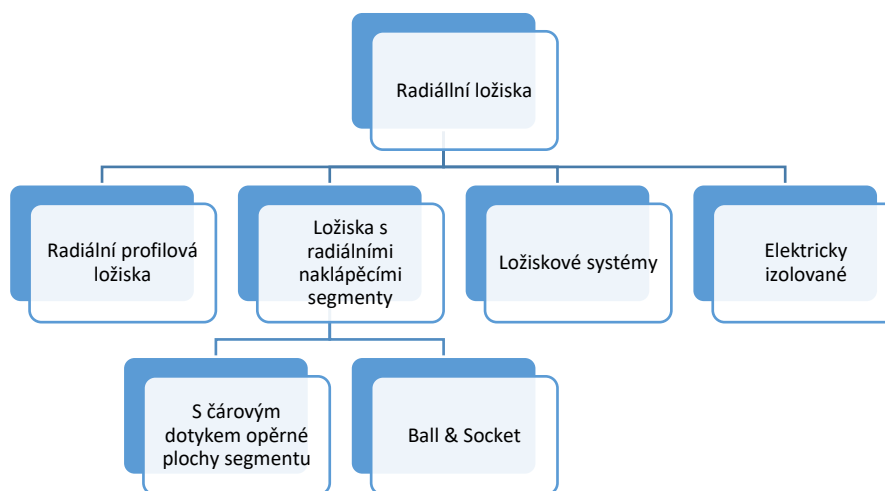
Tato podkapitola přiblíží všeobecně kluzná ložiska, navíc u vybraných typů kluzných ložisek je popsána jejich funkce, použití a vlastnosti. Nejvíce je zacíleno na ložisko s radiálními naklápěcími segmenty, jelikož z něho vychází varianta ball & socket.

Ložiska jsou dimenzována a konstruována tak, aby vznikal olejový film při současném zajištění spolehlivé provozní teploty. Provozní teploty se odvíjejí od použitého oleje. Syntetické oleje snesou vyšší provozní teplotu než minerální oleje, nicméně jsou dražší a při velkém objemu použitého oleje, který je spjat s kluznými ložisky se může provozní cena značně narůst. Olej je ohříván např. zatížením ložiska a hlavně obvodovou rychlostí – otáčkami hřídele. Typ ložiska se vybírá především podle velikosti obvodové rychlosti, viz Tab. 2-1.[2][6]

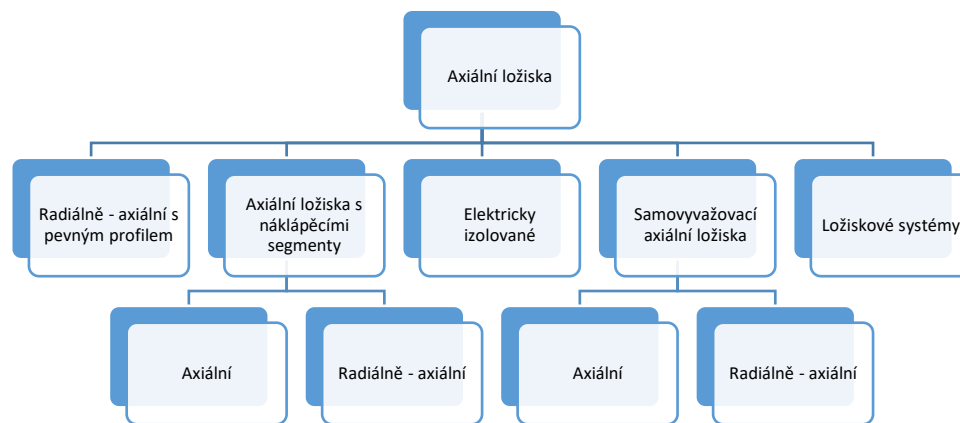
Tab. 2-1: Výběr typu ložiska [6]

Výběr typu ložiska				
Typ ložiska	Kruhové válcové	Dvouklínové ložisko	Čtyřklínové ložisko	Ložisko s rad. naklápěcími segmenty
Obvodová rychlost [m/s]	0 - 30	25 - 75	25 - 125	15 - 150

Působí-li na hřídel značně velká axiální síla (její velikost není zanedbatelná). Je nezbytné zajistit hřídel i v axiálním směru. K tomu slouží různé typy axiálních ložisek. Rozdělení ložisek je uvedeno v Obr. 2 a Ob. 3.



Obr. 2: rozdělení radiálních ložisek [2]



Ob. 3: rozdělení axiálních ložisek [2]

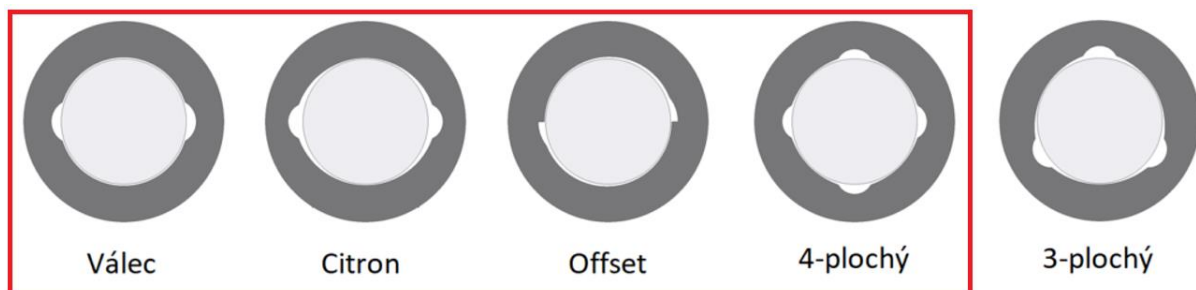
Pozn.: rozdělení ložisek v Obr. 2, Ob. 3 je podle produktů GTW a je pouze orientační. Lze najít více různých kombinací vyobrazených ložisek mezi sebou. [2]

- Radiální ložiska – zachycují sílu kolmou na osu rotačního prvku
- Axiální ložiska – zachycují sílu v ose rotačního prvku
- Radiálně axiální ložiska – dokáží přenést oba druhy zatížení

Ložiska se vyrábějí především dělená, důvodem je hlavně jednodušší montáž, v případě offsetu i jednodušší výroba. Jako spojovací materiál se používají kuželové kolíky a šrouby. Kuželový kolík slouží k vystředění horní a dolní poloviny ložiska a současně, drží poloviny u sebe. Šroubový spoj poté slouží jako další bezpečnostní pojistka, navíc závitové díry pro šrouby pomáhají při upínání a manipulaci s ložiskem.

2.1.1 Radiální profilová ložiska

Radiální profilová ložiska patří mezi nejstarší, konstrukčně nejjednodušší a cenově nejlevnější kluzná ložiska. Ložisko tohoto charakteru má fixně upravený vnitřní průměr tzv. geometrii, tak aby vzniklý tlakový klín usměrňoval hřídel do požadované pozice. Podle geometrie je rozlišováno 5 druhů profilů viz Obr. 4 s tím, že GTW preferuje první 4 profily. Olej je přiváděn 2-4 mazacími vstupy. [2]



Obr. 4: Vnitřní profily ložisek s fixní geometrií [2]

- Válec – nejjednodušší profil, používaný pro nenáročné provozní podmínky
- Citron – omezuje pohyb hřídele ve vertikálním směru
- Offset – omezuje pohyb hřídele v horizontálním směru
- 4 plochý (4hup) – mazací klín, vzniká na 4 místech

Firma dodává produkty v následujícím provedení:

- Do 1600mm
- S možností hydrostatického nadzvednutí
- S možností nastavitelného vnějšího průměru[2]

2.1.2 Radiálně-axiální ložiska

Radiálně-axiální ložiska s fixním profilem se vyrábí s axiální plochou na jedné straně nebo oboustranné. Směr otáčení udává směr zkosení plochy v blízkosti axiální drážky. Jsou možné 3 varianty: pravotočivé, levotočivé a obousměrné. Obousměrné ložisko je vyobrazeno na Obr. 5. Olej vteče přes odlehčení z radiální části ložiska do axiální drážky. Z axiální drážky je pohybem hřídele roznášen po zkosených plochách a vzniká tlakový klín, který nadzvedává hřídel. Tento typ ložisek přenáší kromě radiálního zatížení i axiální zatížení, které působí ve směru osy hřídelového čepu.[2]



Obr. 5: Radiálně-axiální ložisko s fixním profilem [2]

2.1.3 Ložiska s naklápěcími segmenty

GTW vyrábí ložiska jak s radiálními naklápěcími segmenty tak axiálními naklápěcími segmenty. Pro účel bakalářské práce budou rozepsána pouze ložiska s radiálními naklápěcími segmenty. Právě na tento produkt se vztahuje varianta ball & socket, které se věnuje následující kapitola.

Ložiska s naklápěcími segmenty jsou hojně využívána pro svou schopnost přenést velké obvodové rychlosti. Přenos velkých rychlostí je zajištěn pomocí segmentů. 4-5 segmentů je rozmístěno po obvodu ložiskové pánve. Jejich vnější rádius je menší než rádius pánve ložiska,

dochází tedy k čárovému styku, díky tomu se mohou segmenty naklápět. Naklápění zajišťuje adaptivní tvorbu tlakového klínu. Segmenty jsou do ložiska vsazeny volně. Dekly zamezují vypadnutí segmentů v axiálním směru. Trysky kromě dodávání oleje, slouží také jako zábrana pro zborcení segmentů do středu ložiska. Umožňuje-li to konstrukce, využívají se primárně trysky ve tvaru hříbku. Jedná se na výrobu o levnější variantu a efektivita dodávání oleje, je srovnatelná se svařovanou variantou. Svařované trysky poskytují chlazení po celé šířce segmentu a tak jsou využívány pro široké segmenty, nicméně jsou podstatně dražší. [2]

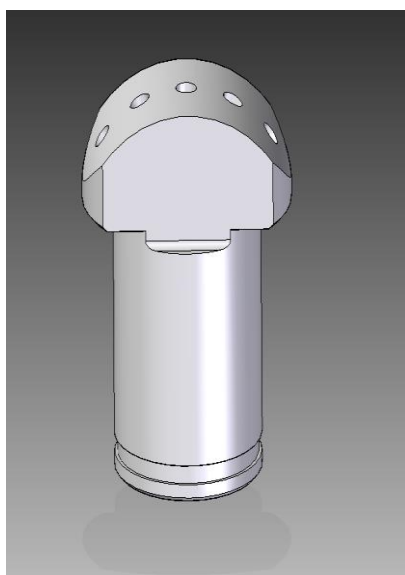
Výhody ložisek s radiálními naklápěcími segmenty:

- hydrodynamická stabilita při vysokých obvodových rychlostech
- minimalizování průtoku oleje
- malá citlivost na směr zatížení[2]

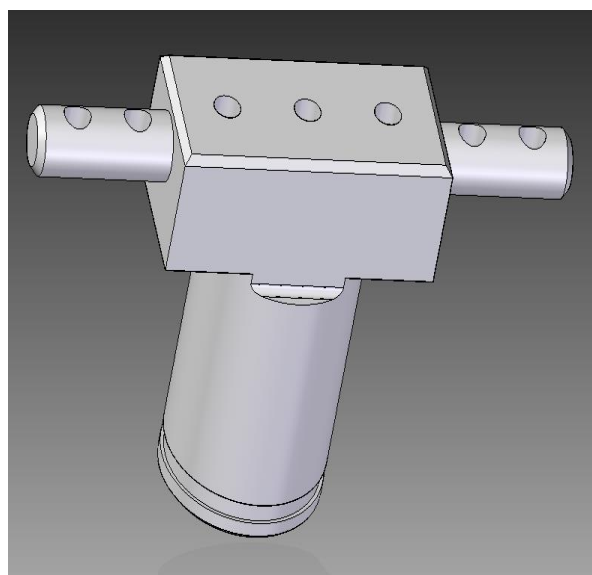


- 1) Tryska
- 2) Segment
- 3) Dekl
- 4) Tělo ložiska

Obr. 6: Ložisko s radiálními naklápěcími segmenty [2]



Obr. 7: Tryska ve tvaru hříbku



Obr. 8: Svařovaná tryska

2.2 Problematika spojená s kluznými kompozitivními ložisky

Jak již bylo řečeno na začátku práce, kluzná ložiska využívají principu olejového filmu. Tento princip funguje efektivně za vhodně nastavených provozních podmínek. Zavedení ložiska do provozu a stanovení provozních otáček je řešeno v kapitole 2.2.1. Další problém, který vyplývá z úvodu, nastává v aplikaci ložisek do točivých strojů, které se často zastavují. Řešení nabízí kapitola 2.2.3, která zmiňuje možnost hydrostatického nadzvednutí. Poslední a důležitá problematika nastíněná v kapitole 2.2.4., se věnuje vstupním materiálům ložisek a požadavkům na ně kladených.

2.2.1 Tření v kluzném ložisku

Při zavádění ložiska do provozu, lze pozorovat 3 fáze, jimiž kluzné ložisko projde.

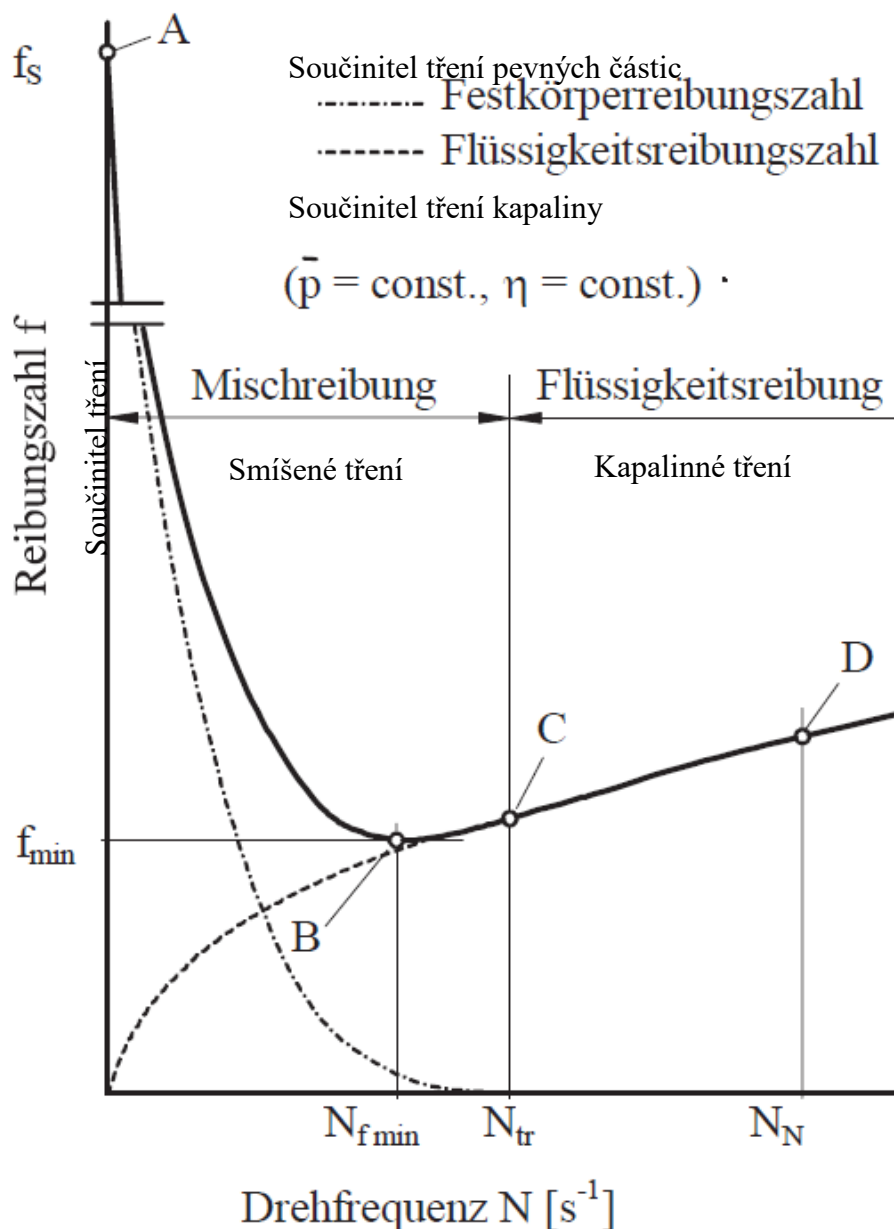
- Najetí
- Provoz
- Dojetí

Provozní stav kluzného ložiska popisuje Stribeckova křivka, kde je znázorněný průběh součinitele tření f v závislosti na počtu otáček n . (frekvenci otáček) za konstantní provozní viskozity.

Najetí začíná ze stavu klidu ($n=0$) až k dosažení provozního počtu otáček N_n . Během této fáze, musí ložisko překonat 3 odlišné stavy tření. Nejprve ložisko musí překonat tření pevných částic (tření kovu o kov). Se stále se navyšujícím počtem otáček hřídele, klesá součinitel tření, až je dosaženo minimálního otěru při otáčkách $N_{f_{min}}$. Křivka dále stoupá do bodu C, až do tohoto bodu se jednalo o tzv. smíšený otěr. Při smíšeném otěru převládá tření pevných částic a současné kapalinové tření. Oblast smíšeného tření se obtížně dopočítává a není stabilní pro chod ložiska.

Pro zajištění provozu bez opotřebení se provozní otáčky ložiska musí nacházet v oblasti čistého kapalinového tření, tedy vpravo od bodu C.

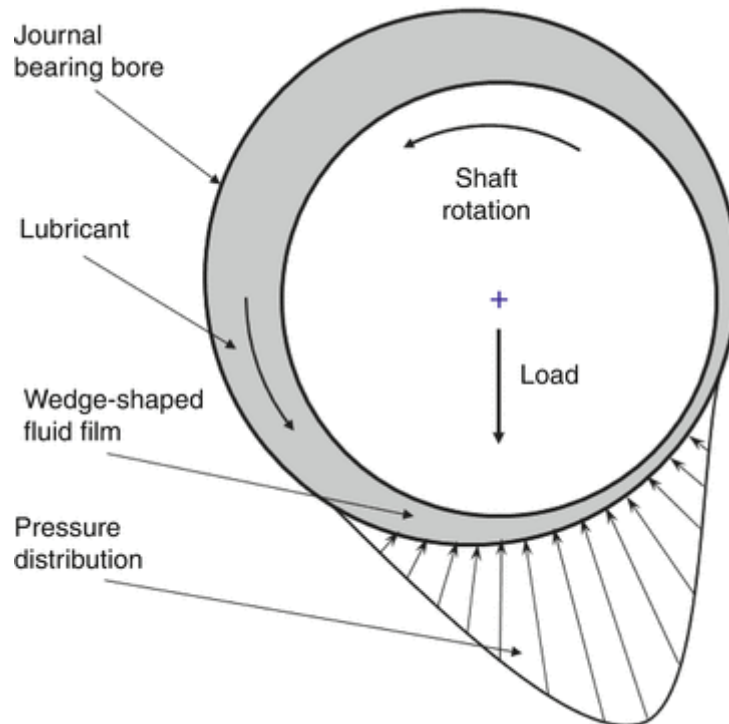
Dojetí stroje nastává při uvádění hřídele do stavu klidu. Jedná se vlastně o obrácený proces náběhu. Dojetí stroje trvá značně delší dobu než najetí, pokud nejsou instalovány brzdy, čas se prodlužuje v jednotkách hodin. [6] [8]



Obr. 9: Stribeckova křivka [6]

2.2.2 Rozložení tlaků v kluzném ložisku

Rotující hřídel roznáší mazivo ve směru otáčení, po obvodu ložiskové pánve. Není-li hřídel zatížená, je teoreticky po celém obvodu ložisková vůle stejná (platí pro válcový profil). Nicméně v praxi je každá hřídel nějakým způsobem zatížená ať už vlastní vahou nebo například působením sil zubů v převodovce. Nastává tak vychýlení hřídele ve směru zatížení a současně posunutí do strany vlivem vlastní rotace. Mazivo je postupně nanášeno do zužující se mazací vrstvy. Po obvodu zúžené ložiskové vůle se vytváří hydrodynamický tlak, který působí v opačném směru než zátěžná síla. Po vyrovnání zátěžných a tlakových sil se rotující hřídel neustaví v ose ložiska, ale zůstane mírně vyosená. Toto vyosení je odborným termínem nazýváno excentricita a značí se malé „e“. Hydrodynamická síla je závislá na obvodové rychlosti, z toho vyplývá, že rotační prvky velkých průměrů se mohou otáčet menší rychlostí než prvky o malých průměrech.[4] [6]



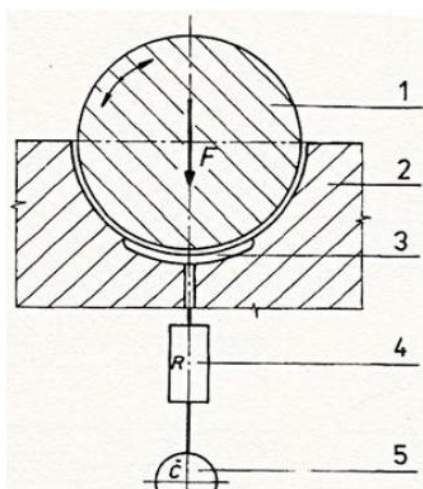
Obr. 10: Rozložení sil v kluzném ložisku [3]

2.2.3 Hydrostatické nadzvednutí

Hydrostatické nadzvednutí slouží ke snížení opotřebení ložisek. Je zaváděno v jednom z následujících případů.

- Běh stroje při nízkém počtu otáček
- Velmi dlouhé doby doběhu
- Stroj je pod vysokou zátěží už při rozběhu

Mezi stroje s dlouhou dobou doběhu patří například turbosoustrojí a sací dmýchadla. Turbosoustrojí potřebuje dlouhou dobu dojezdu, aby nedošlo k poškození stroje rychlým zchlazením. V případě sacích dmýchadel, vzniká prouděním vzduchu trvalý hnací moment. [6]



- 1 – hřídelový čep
- 2 – těleso, nebo pánev ložiska
- 3 – hydrostatická komora
- 4 – reduktor tlaku
- 5 – zdroj tlakového oleje

Tlak v mazací olejové vrstvě se vytvoří vnějším zdrojem – zubovým čerpadlem. Olej je přiváděn přes reduktor tlaku do hydrostatické komory.

Obr. 11: Hydrostatické mazání [4]

Do kluzné plochy ložiska se vytvoří kapsa pro hydrostatické nadzvednutí a připojí čerpadlo. Tlakové čerpadlo je v provozu, dokud nejsou dosaženy provozní otáčky. Po dosažení provozních otáček se ve většině případů odpojí a zapíná se znovu až při doběhu ložiska. Při hydrostatickém mazání nevzniká tlakový klín v zužující se mezeře, mazací tlak je vytvářen mimo ložisko v čerpadle. Působením tlaku od přidaného zdroje se hřídel nadzvedne a tak nevymílá ložiskovou pánev. Při působení velkých odstředivých sil anebo velkých výkyvných momentů může být vhodné zavést více hydrostatických kapes, aby se podchytilo nerovnoměrné nadzvednutí hřídele. Lze vyvinout tlakový ráz o velikosti cca 200barů.

Velikost tlaku za provozní teploty je závislá na viskozitě oleje, výrobních tolerancích, velikosti mazací kapsy a výkonu vysokotlakého čerpadla.[6] [4]

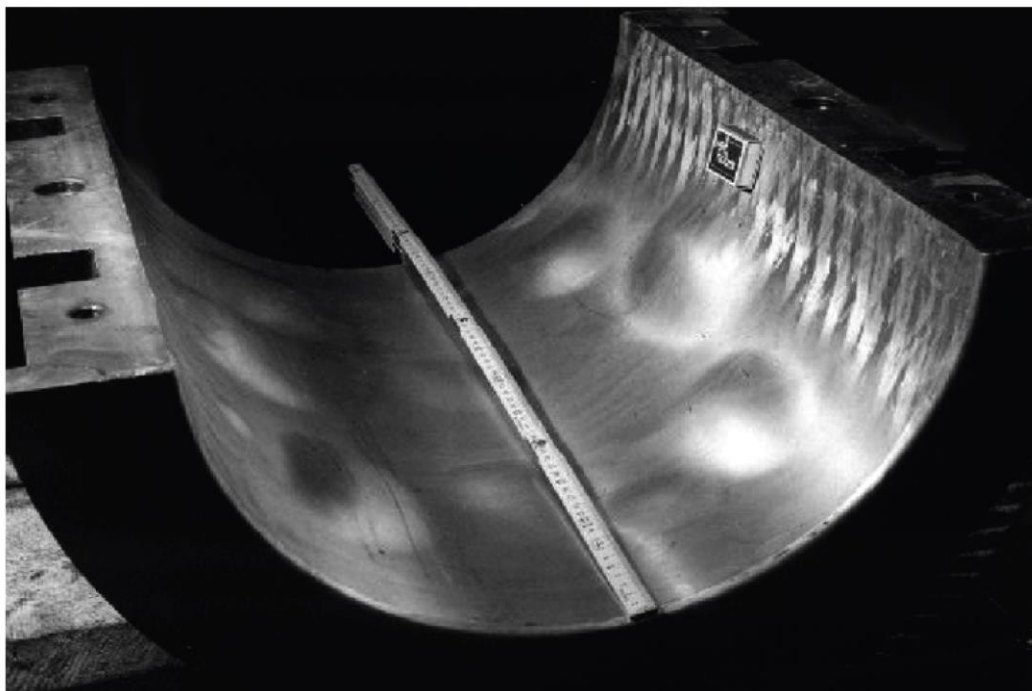
2.2.4 Vodík v kluzných kompozicových ložiskách

Kluzná ložiska jsou vyráběna většinou z ocele 12010 nebo 12023. Z jednoho ze zmíněných materiálů je vyrobeno tělo ložiska, pánev ložiska je vylita slitinou na bázi cínu nebo olova. Kovové slitině tvořící pánev ložiska se říká kompozice, je záměrně z měkčích kovů aby nepoškrábala hřídel. Pokud by mělo dojít k poškození mechanismu hřídel-ložisko, vždy se zničí právě ložisko, jehož oprava je značně jednodušší a levnější. Jako polotovary pro tělo ložisek se volí kruhová tyč KR. Od průměru 160 do 350 je dodávána kruhová tyč vrtaná na jádro. Pokud rozměry polotovarů pro tělo nevyhovují, je ukován výkovek.

Jsou kladeny velké nároky na materiálovou čistotu. Vstupní materiál může obsahovat maximálně 1,5ppm vodíku a následně je ještě žíhán proti vodíkové křehkosti, aby se snížil obsah vodíku v materiálu na minimum. Vodík je rozpustitelný prakticky ve všech kovech a má schopnost difundovat do kovů a opačně i při pokojových teplotách. Zatímco ocelové tělo ložiska je pro vodík snadno propustné, tak kompozicová výstelka (Sn nebo Pb) patří mezi kovy s nízkou teplotou tavení a ty jsou vůči propouštění (rozpuštění) vodíku velmi odolné.

Obsahuje-li vstupní materiál pro těleso ložiska velké množství vodíku, stává se, že vodík začne difundovat na povrch kovu. Problém nastává v místech ložiskové pánve, která je vylita již zmíněnou kompozicovou výstelkou. Jelikož vodík přes kompozici nedokáže proniknout, začne se v místě hromadit a rekombinuje se na molekulární vodík, který je větší než atomární. V důsledku nárůstu objemu vodíku začnou v místě jeho hromadění vznikat velké vnitřní tlaky, které začnou kompozici „odtrhávat“ od těla ložiska. V takových místech vznikají puchýře, jenž se postupem času zvětšují. Jak velikost puchýře roste, klesá lokálně tloušťka olejového filmu, až nakonec dojde ke kontaktu kovu s kovem. Při dlouhodobém tření pevných částic se ložisková pánev začne vydírat a zničí se. Příklad takových vad je znázorněn na Obr. 12.

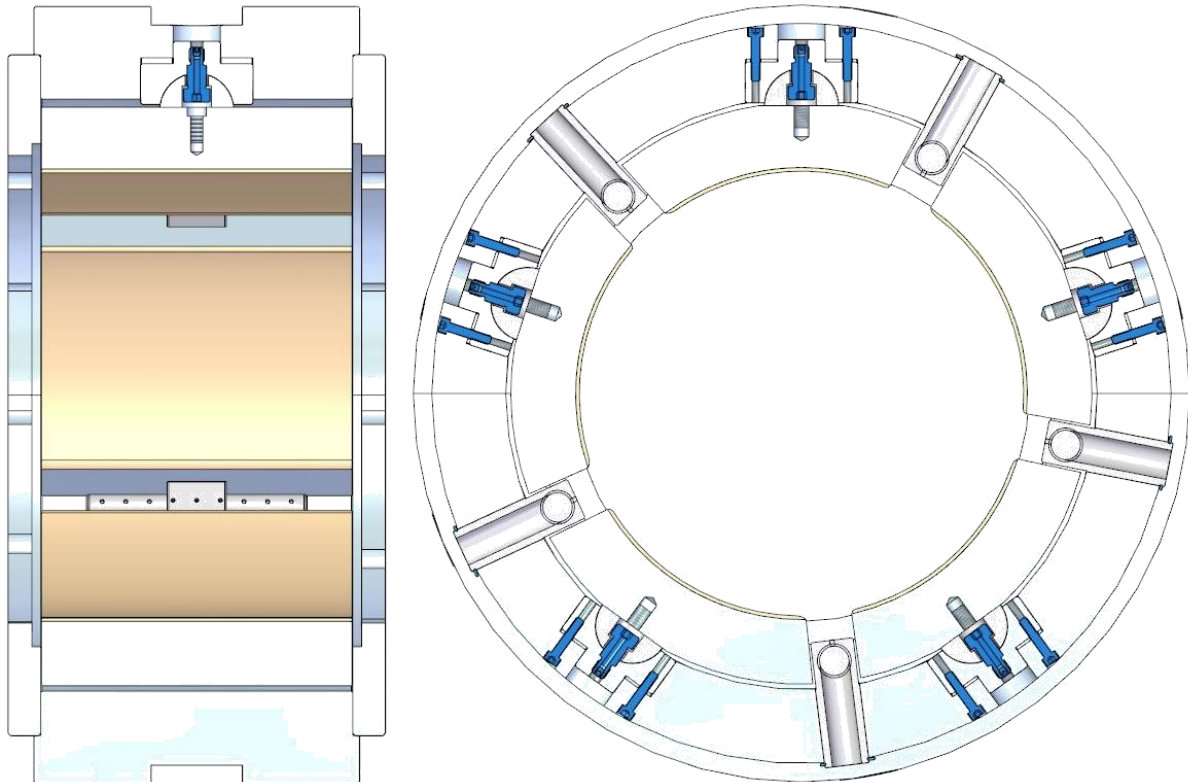
Atomární vodík se do roztavených kovů dostává rozkladem vzdušné vlhkosti v obloukových pecích a dále přidáváním technologických přísad (vápno,...) používaných při výrobě ocele. [8]



Obr. 12: Vada ložiska způsobená inkluzí vodíku[6]

3. Specifikace produktu Ball and socket

Hovoříme-li o Mechanismu Ball and socket neboli „koule v kouli“ jedná se prakticky o kloubové spojení. Při dosažení dobrého povrchu obou koulí, dochází k mnohem většímu styku ploch než u klasického radiálního naklápěcího ložiska s čárovým stykem. V počátečním stavu pohybu, vnitřní koule nesmí být samo-sevřená ve vnější kouli. K uvedení mechanismu do pohybu je zapotřebí dostatečně velká radiální síla v jednotkách KN. Velikost této síly je velmi ovlivněna právě jakostí, obrobeného povrchu koulí, kdy u jemného povrchu klesá násobně velikost potřebné síly. [5][6]



Obr. 13: Radiální ložisko s naklápěcími segmenty s mechanismem ball and socket

Výhody oproti ložisku s čárovým dotykem:

- Zachycení axiálního vychýlení hřídele

Nevýhody oproti ložisku s čárovým dotykem:

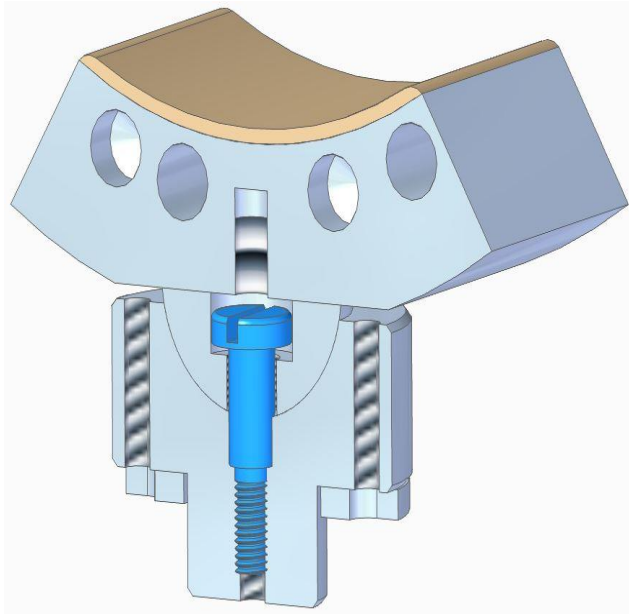
- Náročnější konstrukce
- Zvýšené nároky na kvalitu povrchu
- Cena [5][6]

4. Analýza současného stavu obrábění systému Ball and socket

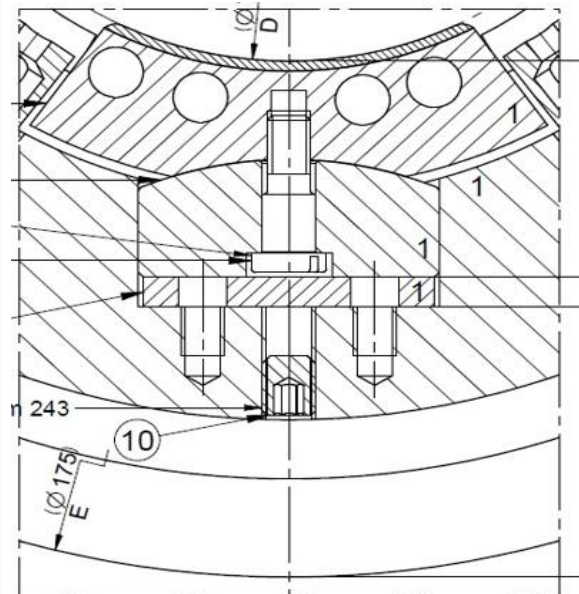
Konstrukčně firma GTW vyrábí 2 typy mechanismu. První variantou je samostatný prvek ball and socket, který se namontuje do ložiska. Prvek tedy obsahuje vnější i vnitřní kouli a na segmentu je vyfrézovaná rovina, na níž dosedá "seříznutá" vnitřní koule mechanismu viz Obr. 14.

Tato konstrukční verze je využívána především pro menší průměry koulí, jelikož se využívá možnosti objednat kuličku (ball) z kuličkového ložiska. Takové kuličky mají vysokou kvalitu povrchu i geometrického tvaru, navíc se jedna kulička od druhé téměř neliší. Odpadá tedy nutnost seřazení kuličky vůči protikusu (socket), který je na kuličku pasován. Pasuje-li jedna kulička do protikusu, pasují všechny.

Druhou variantou je výrobu protikusu „socket“ do vnější části segmentu. Druhá část mechanismu „ball“ je našroubována do těla ložiska. Varianta se používá pro velké průměry styčných ploch. Kdy je zapotřebí velký průměr kuličky, překračující velikost kuličky z valivého ložiska. Nevýhodou zmíněného konstrukčního řešení je velká náročnost na výrobu. Zde se proti sobě musí spasovat 2 elementy kdy u ani jednoho není zaručená vysoká přesnost pouhým zakoupením dílu.[6]



Obr. 14: Ball and socket varianta 1



Obr. 15: Ball and socket varianta 2

4.1 Technologičnost konstrukce

Obě varianty mechanismu jsou tvarově jednoduché a plně rotační. Funkční plochy na mechanismu, zaručující správnou funkci jsou celkem 3: socket, ball a plocha dosedající na plechy. Plechy slouží k vymezení radiální vůle. Varianta 1 má navíc jednu funkční plochu, jedná se o seříznutí kuličky, na kterou následně dosedá radiální segment. Funkční plochy jsou namáhány na tlak, jsou tedy kladeny nároky na odolnost vůči otláčení. Vzhledem k podstatě mechanismu kdy se pohybuje koule v kouli, je na obě tyto plochy kladen velký důraz na tvarovou přesnost v řádu tisícín mm a jakost povrchu. Materiál obráběných součástí je dobře obrobitelná ocel třídy 16. Jedná se o středně legovanou konstrukční ocel, vhodnou pro vysoce namáhané strojní díly. Výroba jednotlivých součástí pro mechanismus je produktivní zejména pro horizontální frézovací centra a CNC soustruh. S ohledem na závity mimo osu otáčení, je vhodné vybrat pro výrobu soustruh s poháněnými nástroji, umožňující frézování v axiálním směru hlavního vřetene.[6],[9]

4.2 Současný stav obrábění

U varianty 1 se kapsa vyrábí na horizontálním soustruhu DOOSAN PUMA 2600. Zatímco kulička se zhotovuje na Makinu a51nx.

Tab. 4.2.1 Technické parametry DOOSAN PUMA 2600 [10]

DOOSAN PUMA 2600	
Počet řízených os	4
Oběžný průměr nad ložem	780
Max. průměr soustružení	376
Max. délka soustružení	725/1245
Max. průměr soustružené tyče	102
Pojezd osy Y v mm	105 (±52,5)
Hlavní vřeteno	
Průměr sklíčidla v mm (inch)	315 (12,4")
Otáčky – ot./ min.	2800
Upínání - ASA	A2 - 11
Výkon motoru - kW (30 min/ Cont.)	22 / 18,5
Automatická nástrojová hlava	
Počet nástrojů	12 (24)
Počet poháněných nástrojů	12
Otáčky poháněných nástrojů - ot/min.	5000

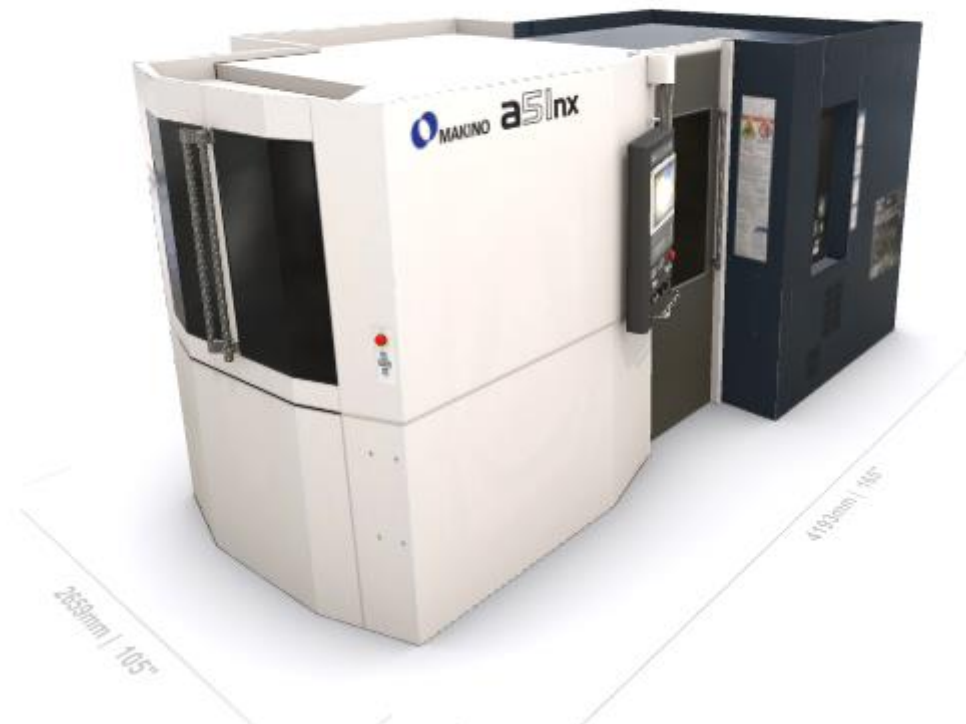


Obr. 16: Doosan PUMA 2600 [10]

Nejspíše kvůli vysoké tvrdosti materiálu a špatnému zatečení chladicího média, kdy u soustružnicko-frézovacího centra Obr. 16 se obrobek nachází ve vertikální poloze, dochází k častému lámání závitníků. Z toho důvodu se závity části socket zhotovují na frézce.

Tab. 4.2.2: Technické parametry Makino a51nx [11]

Makino a51nx	
Vřeteno ot./min	14,000 rpm (14K High Torque, 20K)
Vřetenový Kužel	CAT40 (HSK63)
Rychlý posuv	60,000 mm/min
Rychlost posuvu řezání	50,000 mm/min
Max. hmotnost obrobku	ø630 mm x 900 mm
Max. užitečné zatížení	400 kg
Max. délka nástroje (Cat)	430 mm
Max. délka nástroje HSK	420 mm
Max. průměr nástroje	170 mm
Max. hmotnost nástroje	12 kg



Obr. 17: Makino a51nx [11]

Popis obrábění varianty 1:

Ball – Výroba dílu při použití kuličky z valivého ložiska je řešena na 2 upnutí. Po upnutí kuličky se nejprve vyfrézuje ploška pro vrtání závitu. Následně se vyvrtá otvor pro metrický závit. Otvor pro metrický závit, řezání závitu. Druhé upnutí se provádí za pomoci přípravku, kdy se využívá zhotoveného závitu z předchozího kroku. Frézování zbývajících částí na hotovo v souladu s technickým výkresem. Při poslední operaci zámečnická srazí ostří, začistí a předá do sestavy.

Socket – Nejprve se na pile nařeže materiál, počet kusů nařezaného materiálu odpovídá počtu segmentů v radiálním naklápěcím ložisku. Dalším pracovištěm je soustružnické centrum, kde probíhá obrobení na 2 upnutí. Při prvním upnutí obrobku se zarovná čelo a zhotoví vnější průměr na čisto, v ose zhotoví otvor pro metrický závit, včetně zhloubení. Následuje soustružení kulové plochy na čisto, zkouška s protikusem ball na barvu na stroji a případná korekce. Přeupnutí, a obrobení druhé strany na čisto. Další pracoviště je frézovací centrum. Zde se vyvrtají díry pro zbývajících metrické závity, zhotoví se středový závit a závity po obvodu. Při poslední operaci zámečnická srazí ostří, začistí a předá do sestavy.

Popis obrábění varianty 2:

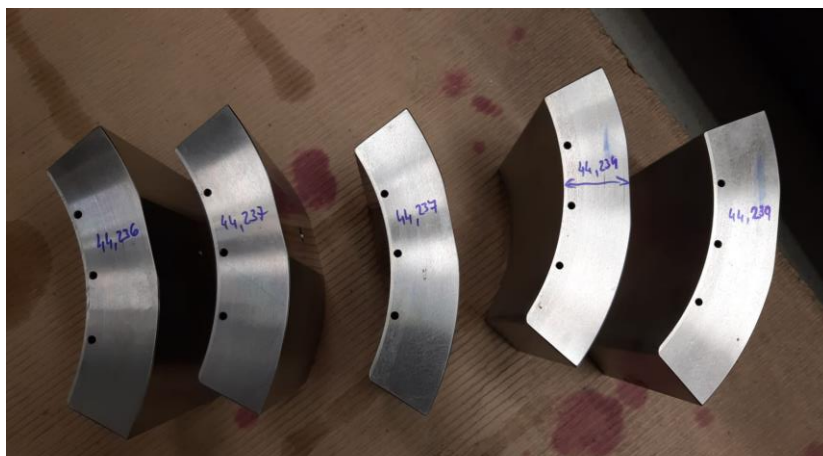
Ball – Prvním krokem je nařezání materiálu (kulatiny) s technologickým přídatkem na upnutí. Následující pracoviště je soustruh. Zde se veškeré operace provedou na 1 upnutí. Soustružení spodního čela s přídatkem pro broušení, vnější průměr na čisto. Následuje vrtání otvoru včetně osazení. Po dokončení operací na soustruhu následuje operace zámečnick, který srazí ostří a začistí. Následuje broušení čela na straně koule pro upnutí. Broušení spodního čela hotově. Zámečnick začistí kus. Další operace je opět soustruh. Kde se vysoustruží koule na hotovo. Při finální operaci zámečnick srazí ostří, začistí, proběhne sčíslování. Zkouška na barvu s protikusem a zaleštění koule.

Socket – V rámci bakalářské práce zde nebude popsána, výroba celého segmentu pouze část kdy se vyrábí kapsa pro ball and socket. Vstupním elementem pro proces výroby kapsy je tedy kruh ještě před rozřezáním na jednotlivé segmenty. Kruh se na frézovacím centru upne do přípravku a zhotoví se technologický závit uprostřed každého budoucího segmentu. Po vytvoření závitů následuje frézování koule pro kapsu. Zkouška na barvu na stroji s protikusem, případná korekce a sčíslování. Rozřezání kruhu na jednotlivé segmenty. Další pracoviště je zámečnick. Zde se provede sražení ostří, začistění. Po několika operacích netýkajících se prvku ball and socket následuje sestavení mechanismu.

4.3 Sestavení mechanismu B&S

Cílem je zajistit předepsané toleranční pole vepsané kružnice ložiska (zajištění předepsané radiální vůle kluzného ložiska).

Varianta 1 - Toleranční pole se skládá z tolerancí těla ložiska, systému ball and socket, segmentu a dobrušované podložky. Změřené hodnoty se protokolují. Měří se výška segmentu v pivotu, vnější průměr tělesa ložiska, tloušťka stěny tělesa pod ball and socket a výška sestaveného mechanismu B&S. Pro korekci tolerančního řetězce se podložka brousí na dopočítaný rozměr. Všechny členy tolerančního řetězce je potřeba sčíslovat. Příklad změřené výšky segmentu u varianty 1 je na Obr. 18.

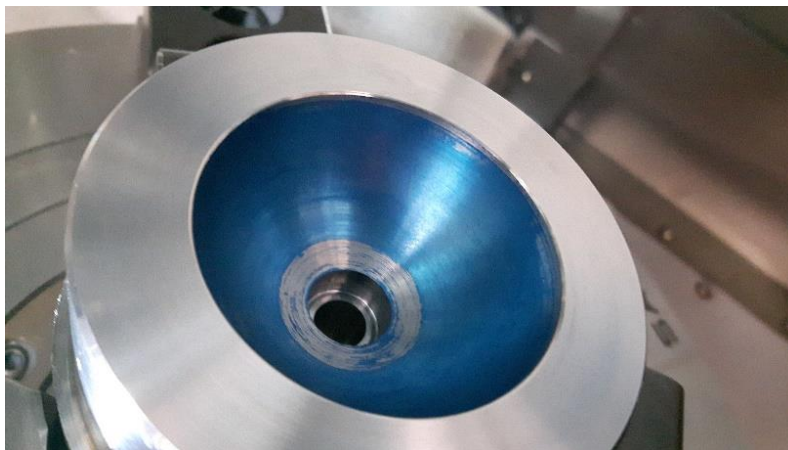


Obr. 18: Změřená výška segmentu

Varinta 2 - Toleranční pole se skládá z tolerancí těla ložiska, sestavy segmentu (socket) a kuličky, dobrušované podložky. Změřené hodnoty se protokolují. Proběhne zaaretování mechanismu segmentu a kuličky lícovaným šroubem, měří se výška sestavy. Dále se změří výška vnějšího průměru tělesa ložiska a tloušťka stěny tělesa pod mechanismem. Po dokončení měření je nutné zrušit aretaci, aby mohl mechanismus opět plnit svoji funkci. Pro korekci tolerančního řetězce se podložka brousí na dopočítaný rozměr. Všechny členy tolerančního řetězce je potřeba sčíslovat.

4.4 Zkouška barvou

Vytvořit 2 téměř identické koule je velmi náročné na výrobu. Správná funkčnost mechanismu je ověřována tzv. zkouškou na barvu. Zkouška nám dává informaci o doléhání 2 ploch na sebe v řádech 10^{-3} mm s tím, že cílem výroby je dosáhnout alespoň 80% styku 2 protikusů. Průběh zkoušky je následující: Vnější koule se obarví a odstraní se přebytečné množství barvy. Takto připravená vnější koule je vložena do protikusu a provede se kombinovaný pohyb (krouživý + kyvný). Následně je vizuálněm vjemem zkoumáno procento opsané barvy na původně neobarveném protikusu. Při nedostatečném opsání je provedena korekce obráběného dílu a zkouška se opakuje.[7]



Obr. 19: Vnitřní koule po kontrole geometrie "barvou"

5. Možnost optimalizace obrábění a následné pasování mechanismu Ball and socket v podmínkách GTW

Na výrobu mechanismu ball and socket jsou kladeny vysoké nároky. Největší nárok je kladen na geometrickou přesnost obou protikusů, která se pohybuje v řádech stovek až tisícín milimetrů. Dále je kladen důraz na vysokou kvalitu drsnosti povrchu, aby byla potřebná síla k rozpohybování mechanismu co nejmenší. Při výrobě je velmi obtížné splnit oba předepsané nároky v dobré opakovatelnosti. Proto firma hledá možnost optimalizace současného stavu, která by pomohla naplnit zadání.

Ze zkušeností se současnou výrobou bylo vytvořeno několik návrhů, které by mohli zvládnout výkresově předepsané podmínky v dobré opakovatelnosti nebo napomohli ke zkrácení strojního a přípravného času. Seznam návrhů níže:

- Válečkování
- Špindlování pod úhlem
- Zabíhání/omílání
- 5-osé frézování
- 3-osé obrábění na frézovacím centru
- Ověření špindlování kapsy

Pozn: špindlování, 3-osé frézování a zabíhání/omílání bylo experimentálně ověřeno.

5.1 Válečkování

Jedná se o dokončovací operaci, která by následovala po současném stavu obrábění především u soustružené varianty 1. Při válečkování dochází ke tváření materiálu stlačením, nejedná se tedy o třískové obrábění. Je velmi výhodné použít tuto tvářecí metodu jako dokončovací operaci po soustružení, jelikož při soustružení vzniká pravidelný profil se stálou drsností a výraznými výstupky. To vše dohromady zajišťuje velmi kvalitní a ustálené podmínky pro válečkování. Výsledkem této metody je zpevněný povrch s vysokou jakostí povrchu, respektive s hodnotou drsnosti pohybující se okolo 0,1 Ra. [12]

Válečkovací nástroje lze hrubě rozdělit na jednoválečkové, víceválečkové a diamantové hladící nástroje. Příklad diamantového hladícího nástroje vhodného pro aplikaci tváření mechanismu je na Obr. 20. Typ nástrojů s diamantem disponuje malým průměrem a možností obrobít tvrdé materiály až do 60HRC. [12]



Obr. 20: Diamantový nástroj pro vnitřní obrábění - technické údaje [12]

Tab. 5-1: Výhody/nevýhody válečkování [12]

Válečkování	
Výhody	Nevýhody
Velmi rychlá operace	Dokončovací operace
Drsnost $Ra < 0,1$	Nezlepšuje geometrickou přesnost!
Zvýšení tvrdosti povrchu	Metoda ve firmě GTW není zavedena
Zvýšení odolnosti proti opotřebení	

5.1.1 Závěr válečkování

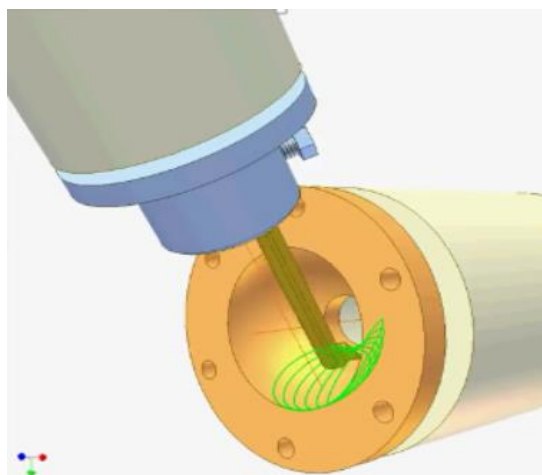
Z Tab. 5-1 vyplývá, že Válečkování je rychlá dokončovací metoda, dosahující vysoké kvality povrchu s jeho současným zpevněním. Metoda vyžaduje materiál s tažností $A > 5\%$ a tvrdostí do 60HRC, což ocel třídy 16, používaná pro mechanismus splňuje. Nicméně po provedení metody nedojde ke zlepšení geometrické přesnosti, která je zásadní pro mechanismus Ball and socket. Navíc tuto metodu firma celkově nevyužívá. Proto byla pro experimenty vyloučena.

5.2 Špindlování pod úhlem

Příklad této metody je znázorněn na Obr. 21. Z podobnosti lze vyvodit, že metoda stejně jako klasické špindlování (více popsáno v kapitole 5.3), bude dosahovat také vysoké kvality drsnosti povrchu a dobrou geometrickou toleranci. Zde oproti klasickému špindlování je nástroj vyložen pod úhlem. Posuv nástroje je zprostředkován pomocí rotace stolu s upnutým obrobkem. To vede k nevýhodám této metody, kterými jsou složité dopočítávání vyložení a vyosení nástroje, s tím i spojená ztížená možnost korekce. Další nevýhodou je, že metoda není schopna obrobek opravdu malý rádius kuličky, jelikož nůž nástroje má sám o sobě jisté nezanedbatelné rozměry a navíc sám rotuje na nenulovém poloměru.

5.2.1 Závěr špindlování pod úhlem

Jelikož špindlování pod úhlem není schopno obrobek skutečně malé rozměry kuliček a je spojeno s náročnou korekcí, byla tato metoda taktéž vyloučena z experimentální části.



Obr. 21: Špindlování pod úhlem [13]

5.3 Špindlování

V rámci bakalářské práce je pod pojmem špindlování myšleno nestandardní použití vyvrtávací metody, kdy soustružnický nůž je upnut do vyvrtávací tyče. Zde ovšem nůž nerozšiřuje díru, ale rotací a současným posuvem ve 2 osách zároveň, rovnou vytváří povrch koule. Ze zkušeností je známo, že špindlování dosahuje vysoké kvality povrchu okolo Ra 0,8 s relativně dobrým opisem ovšem nestandardního tvaru.

Tato metoda výroby kapsy byla prozatím testována na obráběném protikusu ball. U protikusu tedy nebyla zaručena dostatečná přesnost jako u kupované kuličky. To dalo námět na provedení experimentu zaměřeného na ověření vhodnosti metody pro výrobu kapes mechanismu.

5.3.1 Průběh experimentu ověření špindlování

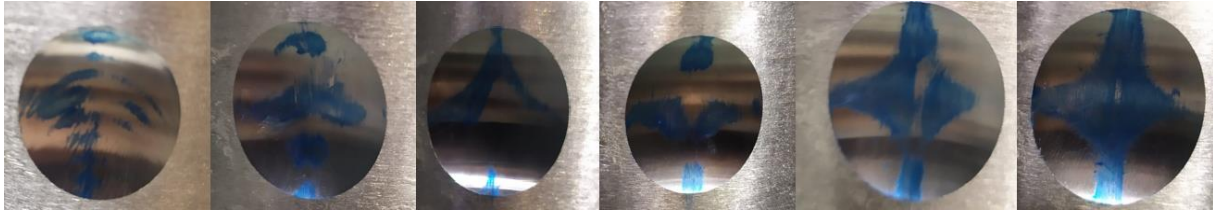
Podstatou experimentu je vyrobit kouli (socket), pro kupovanou kuličku průměru 50, s dostatečným opisem a dobrou opakovatelností. Obrobek je segment radiálního ložiska z oceli třídy 11. Obrábění probíhá na stroji Makino a51nx. Strategie obrábění je zvolena tak, aby koule byla vyrobena na 1 upnutí s použitím hrubovací a dokončovací špindle.

Postup obrábění:

- Špindlování s přídávkem 0,3mm
- Špindlování na čisto
- Zkouška na barvu
- Korekce
- Zkouška na barvu



Obr. 22: Otisk po špindlování



Obr. 23: Postupná korekce programu při špindlování

5.3.2 Závěr experimentu ověření špindlování

Výše zmíněnou metodou lze vyrobit opakovaně kapsu s otiskem 50-70% se současnou nízkou drsností povrchu Ra 0,8. Nejlepší kvality bylo dosaženo při otáčkách $s=2400$ a hloubce řezu $A_p=0,005$. Z Obr. 22 je patrné, že vzniklý opis má tvar kříže. Původem tohoto opisu je nejspíše podstata metody špindlování, kdy vždy bude docházet k přerušovanému řezu. Nůž je tak při vjezdu do materiálu natahován a zase při výjezdu z řezu odtlačován od materiálu. Ideální podmínky pro nůž nastávají až při dostatečně dlouhém řezu, k němuž dochází v prostředí kapsy. Výsledkem je již zmíněný tvar kříže.

Pokud se v prostředí kapsy nachází závit potřebný pro spasování mechanismu, dochází ke zhoršení řezných podmínek, rozkmitání nože a výsledkem je mnohdy značně horší opis na barvu. Navíc jelikož špindlovaná kapsa má nosnou plochu hlavně uprostřed, dojde závitem k odstranění (podle opisu) nejvýznamnějšího místa.

Stálo by za úvahu v případě použití této metody přesunout technologický závit mimo kapsu. Přesunutím závitu ovšem vzniká problém spojený s nemožností zamknutí mechanismu, nutného pro finální spasování do sestavy ložiska. Další možností je tvorba závitu až po zhotovení koule, kdy nastává otázka, zda špony vznikající při tvorbě závitu nepoškodí již obrobek ve tvaru koule.

Po provedení korekce a vložení dalšího kusu bylo nutné znovu provádět korekci => metoda má špatnou opakovatelnost.

5.4 Zabíhání/omílání

Principem zabíhání je simulování pracovního pohybu sestaveného mechanismu s vloženou brusnou pastou mezi styčné plochy. Stejně jako u válečkování se jedná o dokončovací operaci. Nicméně zabíhání zlepšuje kromě drsnosti povrchu i tíženou geometrickou přesnost. U omílání je využíváno pasty s hrubšími zrny a dochází tedy rychleji ke zlepšení drsnosti obrobku, ovšem pro geometrickou přesnost je nutné opět aplikovat zabíhání.

Experiment zabíhání/omílání byl otestován firmou ve spolupráci se ZČU.

5.4.1 Průběh experimentu zabíhání

Experiment proběhl pro 5 sestav mechanismů ball and socket (varianta 1) na 5ti-osém frézovacím centru, kdy zkoumanými parametry jsou: velikost přtlaku protikusy do kapsy zprostředkovanou pomocí posuvu v ose z, jemnost brusné pasty, celková doba zabíhání. Upnutý mechanismus v přípravku a připravený na operaci zabíhání je vidět na Obr. 24.

[14][15][16]



Obr. 24: Sestavený mechanismus, připravený k zabíhání [14] [15] [16]

Tab. 5-2: Výsledná drsnost při daných parametrech zabíhání [14] [15][16]

Zabíhání				
B&S varianta 1	Brusná pasta - poměr [μm]	přítlak (posun) v ose Z	Doba zabíhání	Průměr Ra
A	20, 9+3	0,15 mm	2 min + 4 min	1,7
E	20	0,15 mm	12 min	1,1
B	9+3 (1:2)	0,15 mm	8 min	-
D	9+3 (1:2)	0,05 mm	16 min	0,6
C	9+3 (1:2)	0 mm	16 min	-

Zabíhání u každé sestavy bylo ukončeno až poté, co byl splněn požadavek 80% opisu barvy. Otisky na barvu po zabíhání jsou znázorněny na Obr. 25.



Obr. 25: Výsledný otisk barvy po dokončení zabíhání [14][15][16]

5.4.2 Průběh experimentu omílání

Po zabíhání bylo dosaženo požadované geometrické tolerance, nicméně pro další snížení drsnosti bylo pro jednu ze sestav použita metoda omílání. Pro experiment byl zvolen mechanismus s nejhorsí hodnotou drsnosti po zabíhání. Obě součásti byly omílány 6 minut v hrubém brusivu a poté následovalo jemné brusivo. Kdy u kapsy byla operace po 10 minutách ukončena pro nedostatečnou možnost omlít žádaný povrch, způsobenou špatným přístupem brusiva do kapsy. U části ball, byla operace úspěšně dokončena po 20 minutách viz Tab. 5-3.

[14][15][16]

Tab. 5-3: Hodnoty drsnosti po omílání [14][15][16]

Omílání			
B&S varianta 1	Brusivo	Doba omílání [min]	Průměr Ra
A_socket	Hrubé; jemné	6; 10	-
A_ball	Hrubé; jemné	6; 10+10	0,3

5.4.3 Závěr zabíhání/omílání

Předepsaného opisu s požadovanou drsností Ra 0,2 je možné dosáhnout kombinací metod s využitím hrubé a následně jemné pasty. Další možností naplnění podmínek je pouze zabíhání po velmi dlouhou dobu s využitím jemné pasty. Výsledky experimentu s naměřenými hodnotami drsnosti jsou v tabulce níže. Nevýhodou těchto dvou operací je dlouhý strojní čas, navíc se jedná o dokončovací operaci. Tudíž je nezbytné brát ohled i na předchozí operaci soustružení, která přivedla výrobek do výchozího stavu pro dokončení. Dalším mínusem těchto metod je brusná pasta, u níž je nezbytné zajistit, aby nevnikla do stroje a následně nevydírala ložiska a znehodnocovala obráběcí stroj. [14][15][16]

Tab. 5-4: Průměrné hodnoty drsnosti po dokončení zabíhání/omílání [14][15][16]

Drsnost Ra										
B&S (ball)	Rovina U			Rovina V			Rovina W			Ra
	Bod 1	Bod 2	Bod 3	Bod 1	Bod 2	Bod 3	Bod 1	Bod 2	Bod 3	
A_zabíhání	1,4	1,7	1,8	1,5	2	1,7	1,6	2,1	1,5	1,7
A_omílání	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,2	0,4	0,4	0,2	0,3
E_zabíhání	0,9	0,4	2,4	0,8	0,5	1,8	0,7	0,5	1,8	1,1
D_zabíhání	0,8	1,6	0,2	0,4	1	0,3	0,3	0,9	0,2	0,6

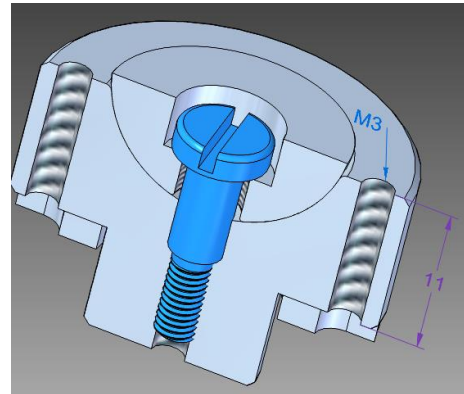
Drsnost byla vyhodnocena pro prvek ball, jenž bylo možné i omílat. Měření drsnosti proběhlo ve 3 výškových rovinách (U, V ,W). Dále v každé rovině se odečetla hodnota ve 3 různých bodech. Hodnoty v Tab. 5-4 jsou barevně rozlišeny, nejlepší hodnota drsnosti tmavě zelenou barvou, nejhorsí hodnota drsnosti tmavě červenou barvou. [14][15][16]

5.5 5ti-osé obrábění na frézovacím centru

Námětem k tomuto typu obrábění bylo praskání závitníků při tvorbě závitů u soustružené kapsy varianty 1. Každý mechanismus varianty 1 obsahuje 2-5 závitů o délce cca $4 \times \text{ØD}$. Pravděpodobně špatným přístupem chladiwa, kdy při soustružení se nachází obrobek v horizontální poloze, dochází kolem tvorby 4. závitů k již zmíněnému prasknutí závitníků. Problém je řešen tak, že se závitů dodělávají na frézovacím centru, kde je již možné zajistit dostatečný přísun chladicí kapaliny a nedochází tak k praskání závitníků. Tento postup ale vede k rapidnímu navýšení neproduktivních časů jako je převoz a upínání obrobku.

Prvním návrhem pro dokončení kulové plochy bylo využít kulovou frézu se zvolenou frézovací strategií archimédova spirála. Celkový postup obrábění uveden níže:

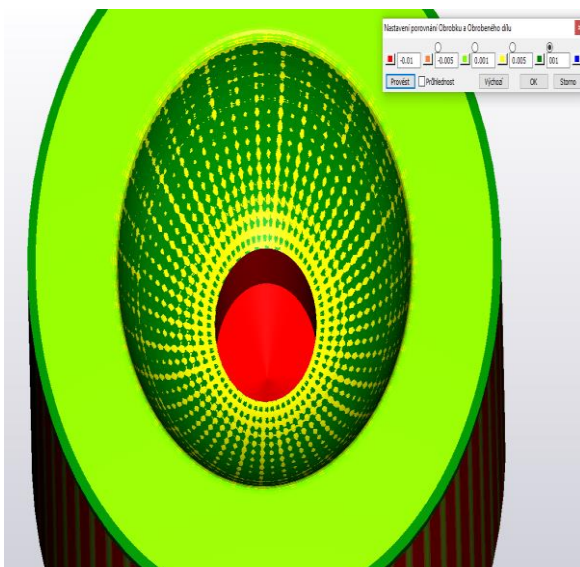
- Sražení čela
- Navrtání
- Vrtání
- Hrubování plochy toroidní frézou
- Frézování kulovou frézou s přídavkem
- Frézování kulovou frézou na čisto



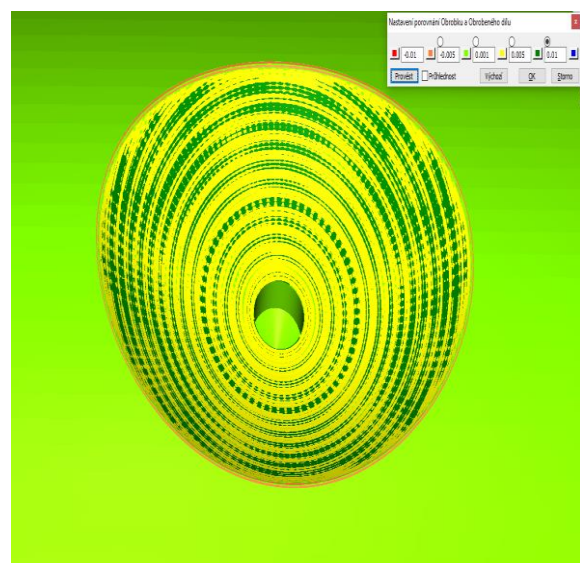
Obr. 26: Závitů mechanismu

Výsledkem simulace je dobrý povrch s přijatelným strojním časem, viz Obr. 27 a Obr. 28.

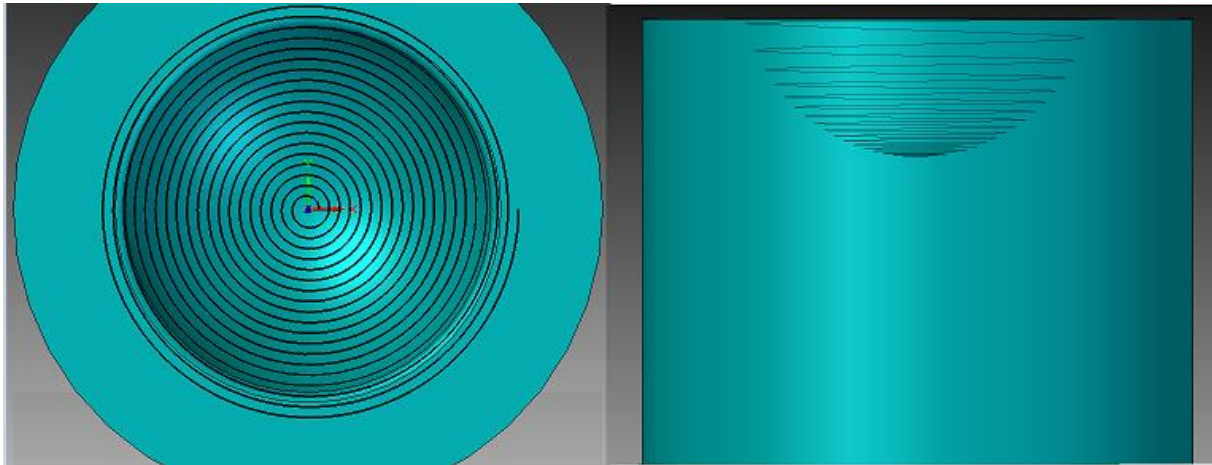
Nicméně po přezkoumání drah kulové frézy bylo zjištěno, při pohledu z boku, že vznikají poměrně nerovnoměrné mezery mezi jednotlivými drahami. Zhuštěné dráhy na začátku i konci kulové plochy a řídká hustota drah uprostřed kulové plochy. To by mohlo mít za následek nepravidelnost obrobení plochy a tím i nedostatečný opis. K průvodnímu jevu docházelo zejména u kapsy s malým rádiusem viz Obr. 29. Dalším nepříznivým faktorem pro obrábění je vnášení nepřesnosti způsobené obráběním v 5 osách současně, kdy je kinematikou stroje možné vnést chybu klidně o velikosti 0,01 mm.



Obr. 27: Simulace obrobení materiálu kapsy varianty 1 při 5-osém frézování



Obr. 28: Simulace obrobení materiálu kapsy varianty 2 při 5-osém frézování



Obr. 29: Dráhy nástroje, využívající strategii archimédovy spirály

5.5.1 Závěr 5-osého frézování

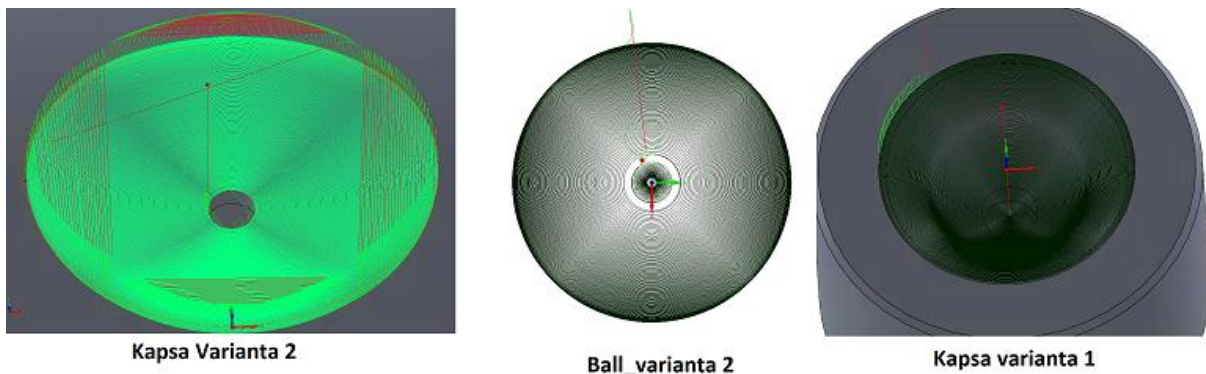
Přestože, simulace ukazuje příznivé výsledky. Po zjištění 2 výše zmíněných nepříznivých vlastností a také k přihlídnutí k faktu, že CAM používaný v GTW neumožňuje efektivně obrábět v 5 osách současně, bylo od 5ti-osého obrábění upuštěno. Jako náhrada bylo zvoleno 3-osé frézování s konstantním krokem. Přesný postup frézování i s řeznými podmínkami a nástroji je uveden níže.

5.6 3-osé frézování

Postup pro obrábění koule je téměř stejný jako u 5ti-osého frézování. Jediný rozdíl je právě v posledních 2 operacích kdy místo frézování po spirále je využita strategie konstantního kroku u které se jedná o pohyb pouze ve 3 osách. Dráhy kulové frézy při konstantním kroku jsou vyobrazeny na Obr. 30.

Postup frézování:

- Sražení čela
- Navrtání
- Vrtání
- Hrubování plochy toroidní frézou
- Frézování kulovou frézou s přídávkem (s konstantním krokem)
- Frézování kulovou frézou na čisto (s konstantním krokem)



Obr. 30: Dráhy kulové frézy pro strategii obrábění konstantním krokem

Pozn: viditelné malé kruhy, ve svislé a vodorovné ose, v drahách na Obr. 30 u Ball_varianta 2 jsou způsobeny pouze nepřesným vykreslením programu. Po přiblížení je každá dráha skutečně kruh s odsazením od předešlé dráhy neobsahující žádné výstupky, jenž by mohli vytvářet další malé kruhy.

5.6.1 Průběh experimentu 3-osé frézování

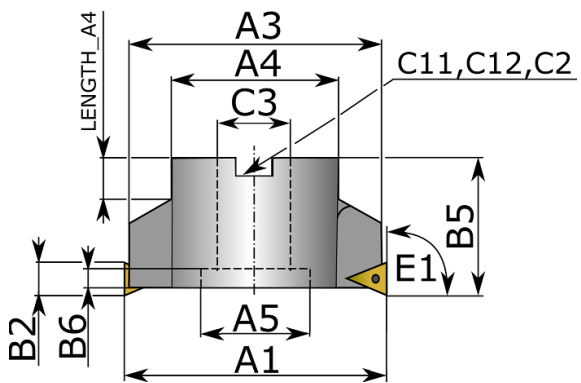
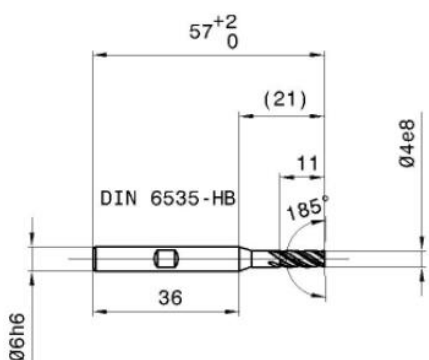
Experiment byl proveden na obou variantách ball and socket. U varianty 1 se testovala výroba hlubší kapsy, s ověřím na barvu protikusu. Protikus je kulička z valivého ložiska o průměru $\varnothing 18\text{mm}$, menším průměrem kuličky bylo rovnou ověřeno, zda je tato metoda vhodná pro malé rozměry kapsy.

U ball and socket varianty 2 byla obráběna jak kapsa, tak i kulička. Nejprve se vyráběla kapsa, která byla průběžně kontrolována na barvu s protikusem. Jako protikus sloužila nejdříve kalibrovaná kulička o průměru $\varnothing 50\text{mm}$. Po dosažení dostatečného opisu styčných ploch, začala sama kapsa sloužit jako kalibr pro vyráběný prvek ball.

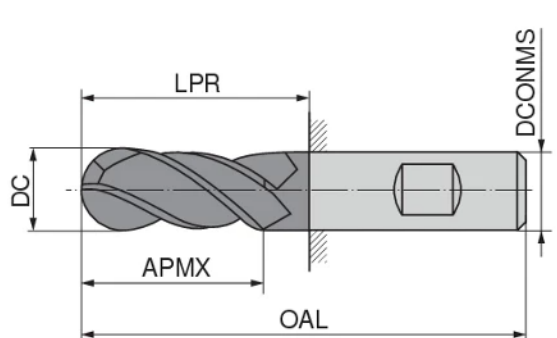
Volba řezných podmínek

Řezné podmínky byly odladěny na variantě 1 a poté zůstaly stejné pro všechny obráběné dílce.

Tab. 5-5: Řezné podmínky hrubovacích nástrojů [18][19][20]

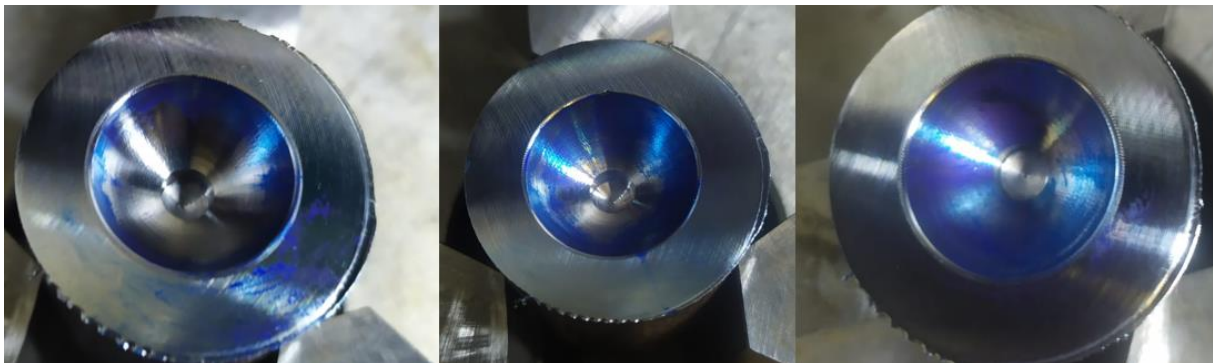
<p>Čelní fréza: $\varnothing 40$ MEC040R-17-4T-M</p> 	<p>VBD: BDMT 170408 ER-JT</p> <p>$V_c = 200 \text{ m/min}$</p> <p>$F_z = 0,1 \text{ mm/zub}$</p> <p>$A_p = 0,1 \text{ mm}$</p>
<p>HPC stopková fréza (4 břity): $\varnothing 4 \text{ mm}$ / e8 / DIN 6527L / VHM / FIRE / Typ: N / Směr řezu: doprava /</p>	 <p>$V_c = 56,5 \text{ m/min}$</p> <p>$F_z = 0,1 \text{ mm/zub}$</p> <p>$A_p = 0,1 \text{ mm}$</p>

Tab. 5-6: Řezné podmínky dokončovacího nástroje [17]

HPC TK rádiusová fréza Ø 6 mm: N.H-RD.6,0.35°.Z4.R3,0.HB.K TI1000		
	S přídavkem	Dokončení
	$V_c=85$ m/min	$V_c = 85$ m/min
	$F_z= 0,06$ mm/zub	$F_z = 0,06$ mm/zub
	$A_p -$	$A_p -$

Z Tab. 5-6 to na první pohled vypadá, že jsou nastaveny stejné řezné podmínky pro frézování s přídavkem jako pro dokončení. Ale není tomu tak, operace s přídavkem vstupuje po hrubování, jejím účelem je srazit „schody“ vzniklé po hrubování a zajistit tak co nejvíce konstantní řezné podmínky, včetně hloubky řezu A_p , pro dokončovací operaci.

Korekce byla aplikována na dokončovací operaci kulové frézy po každém otestování opisu, korigovalo se nejdříve po 0,01 a poté po 0,005 mm. Průběh opisů je vidět na Obr. 31, kde je patrné, že nejdříve byla kapsa zavřená a tak postupnou korekcí docházelo k otevírání kapsy.



Obr. 31: Korekce dokončovací operace

5.6.2 Závěr 3-osého frézování

Metoda frézování ve 3 osách byla aplikována na všechny prvky představující ball and socket. Provedením experimentů byli získány časy uvedené níže.

Strojní časy:

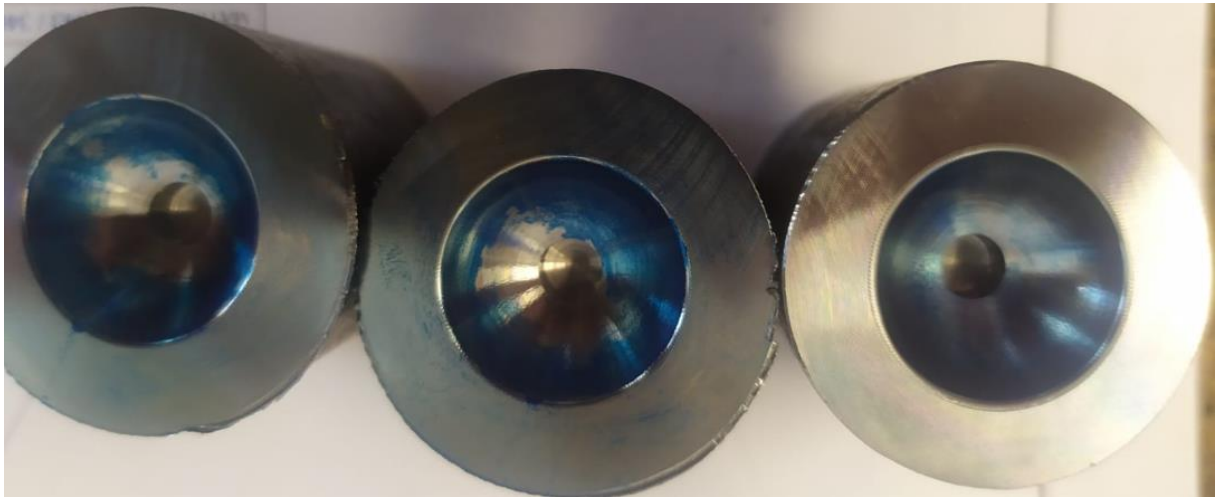
- Socket varianta 1 Ø18: $t_s=4,5$ min (z toho 40s dokončovací operace)
- Socket varianta 2 Ø50: $t_s=7$ min (z toho 2 min dokončovací operace)
- Ball varianta 2 Ø50: $t_s=11$ min (z toho 4,5 min dokončovací operace)

Po odladění programu pomocí korekce nebylo nutné aplikovat korekci na další kusy => metoda má dobrou opakovatelnost.

Zkouška barvou a kvalita povrchu

Při 3-osém frézování s konstantním krokem vzniká horší kvalita povrchu než u špindlování, ale srovnatelná až lepší kvalita než u soustružení. Otvor/závit v prostředku koule zde neubírá na kvalitě řezných podmínek, naopak je zlepšuje.

Vzniká obdobný opis jako u soustružení, tedy v opisu jsou patrné drážky po obvodu koule. Drážky jsou pouze optické. Drážkovaná plocha má sice horší drsnost, ale umožňuje oleji zatéct do mezer a tak snížit sílu potřebnou na rozpohybování mechanismu. Opakovaně lze dosáhnout zbarvení v rozmezí 70-90% viz Obr. 33 a Obr. 32. Metoda je velmi vhodná na tvorbu prvků socket i malých rozměrů, zde je možné i rychlé dokorigování. Ovšem pro prvky ball se nejvíce jako nejvhodnější metoda, dochází zde k delším strojním časům a násobně delší doby korekce i horšímu opisu při tenké vrstvě barvy (při tenké vrstvě barvy docházelo k opakovanému opisu pouhých 20-50% více Obr. 34). Původem bude nejspíše pozitivní tvar prvku ball, který má snahu odtlačovat frézu od sebe.



Obr. 33: Otisk po zkoušce barvou socket varianta 1



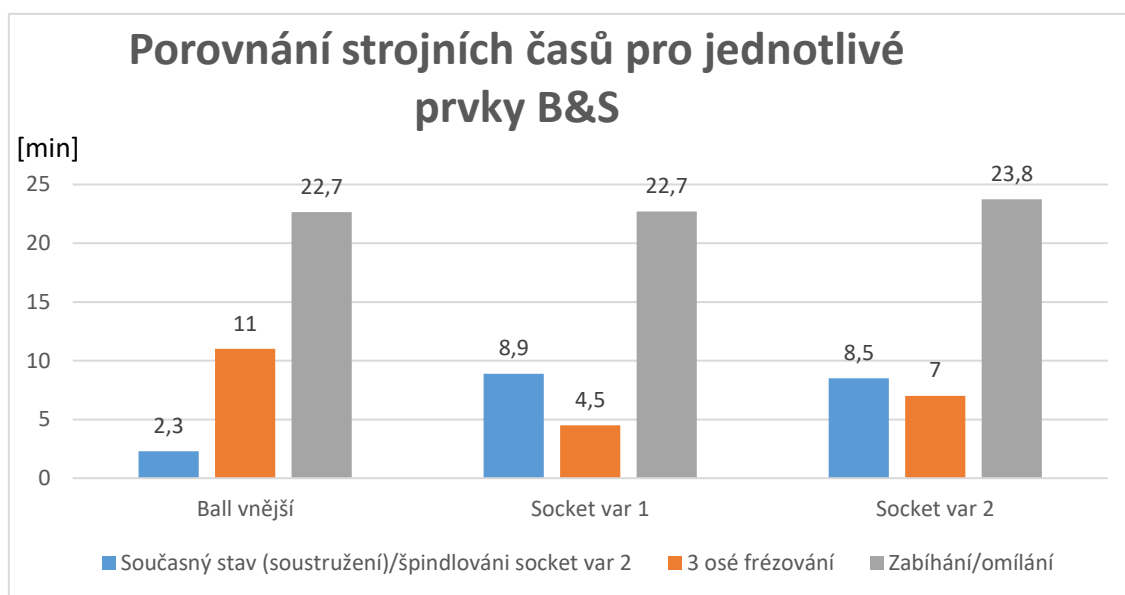
Obr. 32: Otisk po zkoušce barvou socket varianta 2



Obr. 34: Otisk po zkoušce barvou ball varianta 2

6. Technicko-ekonomické zhodnocení

Do technicko-ekonomického hodnocení byli zahrnuti pouze metody ověřené experimentem. Nejprve byli hodnoceny strojní časy jednotlivých metod mezi sebou, spojené čistě s výrobou kulových ploch. U dokončovací metody je čistý strojní čas 16 minut, ale je nutné do celkového času promítnout i operace, které uvedou obrobky do stavu vhodného pro Zabíhání/omílání, výsledky jsou na Obr. 35. Přípravné časy mají všechny metody podobné, proto nebyly zahrnuty. Nicméně u socket varianta 1 (současný stav) stojí za zmínku, že kvůli praskání závitníků a tím spojené následné zhotovení závitů na frézovacím centru je nutné zahrnout přípravný čas 2-krát.



Obr. 35: Porovnání strojních časů mezi jednotlivými metodami

Z důvodu nemožnosti zveřejnění jednotlivých hodinových sazeb stroje, byly strojní náklady na výrobek procentuálně srovnány se strojními náklady na výrobek při současném stavu výroby. Výrobek je zde myšlena zhotovená kulová plocha. Výsledkem je tabulka uvedená níže. Z Tab. 6-1 vyplývá, že metoda zabíhání/omílání je výrazně dražší vůči současnému stavu i proti 3-osému frézování. Pro prvky socket u obou variant je cenově výhodné použít metodu frézování, nikoli však pro prvek ball kdy je nejvýhodnější se držet výchozího stavu.

$$\text{Strojní náklady na výrobek [kč]} = \frac{\text{Hodinová sazba stroje [kč/hod]}}{60} * \text{Strojní čas [min]}$$

Tab. 6-1: Srovnání cen jednotlivých metod

Cenové porovnání metod vůči současnému stavu [%]			
Prvek	Ball vnější	Socket var 1	Socket var 2
Současný stav (soustružení)/špindlování socket var 2	100	100	100
3 osé frézování	598	63	82
Zabíhání/omílání	1132	284	261

7. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zmapování současného stavu obrábění mechanismu ball and socket a navrhnutí řešení, která by pomohla optimalizovat proces obrábění/pasování mechanismů. Po uvedení do celkové problematiky kluzných ložisek a s nimi spojeného mechanismu bylo navrženo celkem 6 návrhů pro možnou optimalizaci, z nichž 3 návrhy byly ověřeny experimenty.

Ověření špindlování

Experiment prokázal, že metoda špindlování je náchylná na změnu řezných podmínek a má nízkou hodnotu opakovatelnosti. Drsnost povrchu je Ra 0,8 a opakovaně udržitelný opis 50-70% ve tvaru kříže. Pokud se v místě řezu navíc nachází technologický závit, dochází ještě ke snížení procentuální hodnoty opisu. Stálo by za úvahu při použití této metody přesunout technologický závit do jiného místa.

Zabíhání/omýlání

Nejvhodnější variantou je pouze zabíhání jemnou brusnou pastou po dobu alespoň 16 minut. Drsnost povrchu Ra 0,2-0,6 s opisem 80-90%. Metoda má vysokou opakovatelnost. Technologický závit pro zabíhání není přítěží. Velkou nevýhodou je, že se jedná o časově náročnou a navíc dokončovací operaci. V podmínkách GTW-BEARINGS není dosud tento druh operace zaveden. Pro malý objem ložisek s mechanismem ball and socket není zavedení rentabilní.

3-osé frézování

Vyazuje velmi dobré výsledky pro výrobu kapes, ale špatné výsledky u prvku ball. Drsnost povrchu Ra 0,8-1,2 s opakovatelným opisem u kapes 70-90%. Tvar opisu je podobný jako u soustružení. Metoda není náchylná na změnu řezných podmínek a má dobrou opakovatelnost. Technologický závit zde dokonce napomáhá vyvarovat se problémovému místu řezu. Malý rádius kapsy zde nevytváří problém jako u soustružení.

Celkové hodnocení

Po provedení experimentů se jeví metoda 3-osého frézování jako nejlepší volbou pro výrobu kapes u obou variant mechanismů. Kdy je dosaženo obdobné procento opisu, nižší hodnoty strojního času a nedochází k praskání závitníků. Nižší hodnota drsnosti oproti zabíhání není na škodu, protože povrch tvoří ideální prostor pro zatečení oleje, který napomáhá rozpohybovat mechanismus.

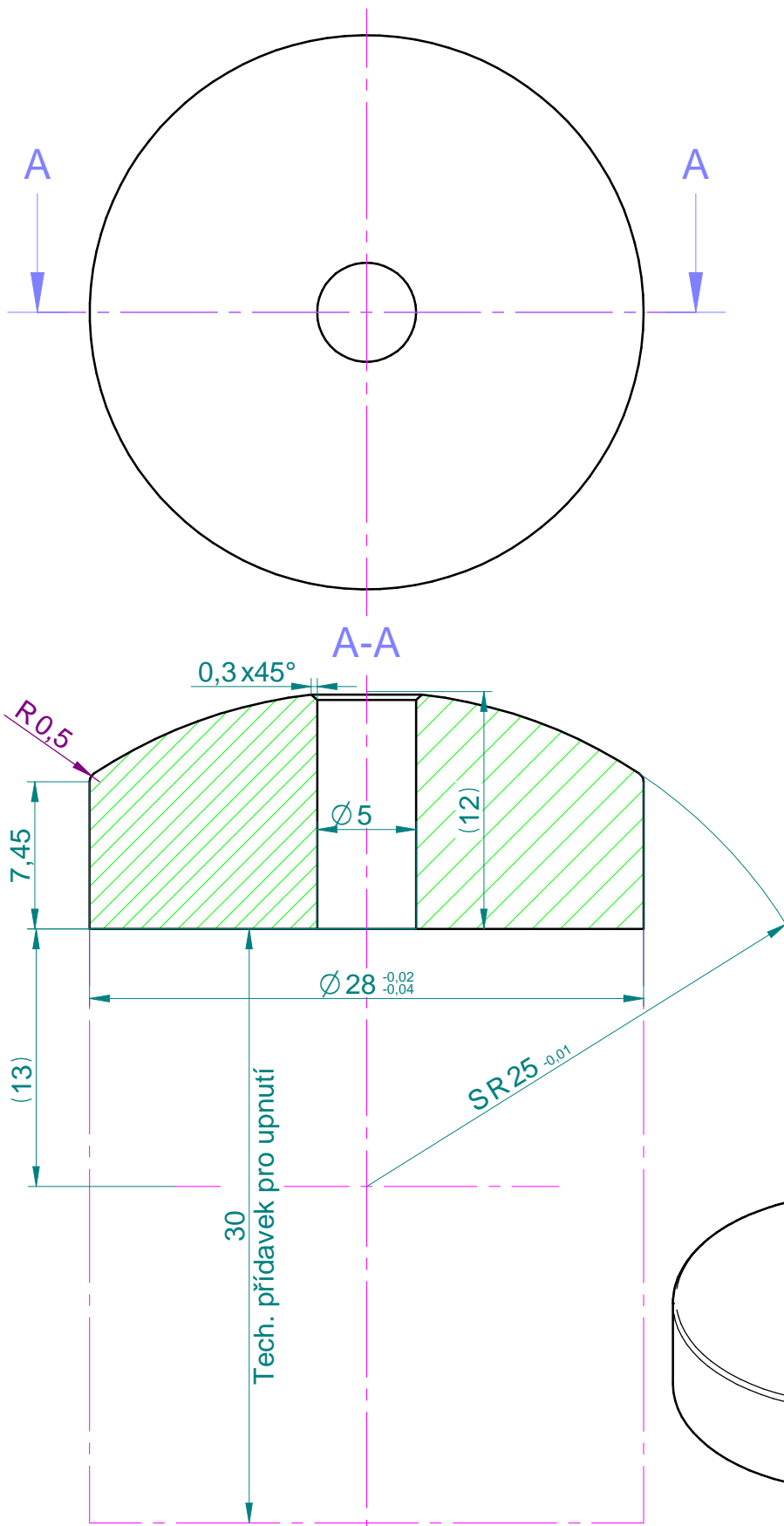
U prvku ball, pokud je to možné se vždy přiklonit ke kupované variantě. Vychází ekonomicky i technologicky nejlépe. V případě nutnosti vlastní výroby ponechat současný stav výroby.

8. Seznam použitých zdrojů

- [1] GTW BEARINGS s.r.o. rejstrik-firem.kurzy.cz [online]. [cit. 2.11.2021]. Dostupné z: <https://rejstrik-firem.kurzy.cz/25205242/gtw-bearings-sro/>
- [2] GTW.s.r.o [online]. [cit. 02.11.2021]. Dostupné z: <https://www.gtw.cz/produkty/>
- [3] WANG, J; CHUNG, Y. *Encyclopedia of Tribology* [online]. Springer, 2013 [cit. 26.11.2021]. ISBN 978-0-387-92897-5. Dostupné z: <https://link.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-0-387-92897-5%2F1.pdf>
- [4] ŠVEC, P. Ložiska [online]. [cit. 02.11.2021]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2921914/>
- [5] Tilt Pad Journal Bearings. BearingsPlus.com [online]. [cit. 26.11.2021]. Dostupné z: <https://www.bearingsplus.com/en/products/tilt-pad-bearings/tilt-pad-journal.html>
- [6] Interní dokumenty firmy
- [7] PAVLÍK, J. *Měření otisků ozubených kol*. Ostrava, 2016. Diplomová práce. Technická univerzita Ostrava. Fakulta strojí.
- [8] KŘÍŽ, A; HÁLA, M; HÁJEK, J. *Rešeršní zpráva k vlivu vodíku na vznik povrchových defektů*. Plzeň, 2016.
- [9] Ocel k zušlechťování. Epointavka.cz [online]. [cit. 21.12.2021]. Dostupné z: http://old.epointavka.cz/files/soubor_2439bea0.pdf
- [10] Doosan puma 2600. Tecnotrade.cz [online]. [cit. 21.12.2021]. Dostupné z: <https://www.tecnotrade.cz/obrabeci-stroje/horizontalni-soustruhy/doosan-puma-2600/>
- [11] a51nx. Makino.eu [online]. [cit. 21.12.2021]. Dostupné z: <https://www.makino.eu/cs-cz/machine-technology/machines/horizontal-4-axis/a51nx-pro-6>
- [12] Optimalizované povrchy díky válečkování. Baublies.com [online]. [cit. 21.5.2022]. Dostupné z: <https://www.baublies.com/index-cs.html>
- [13] Making spheare on a milling machine 3. youtube.com [online]. [cit. 21.5.2022]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=F22IBTB3cxY&ab_channel=thang010146
- [14] HRONEK, O; POVOLNÝ, M; KROFT, L. *Přípravek pro zabíhání kulových ploch*. Plzeň, 2018.
- [15] POVOLNÝ, M; HRONEK, O; HNÁTÍK, J; FULEMOVÁ. *Technologie pro dokončování kulových ploch*. Plzeň, 2018
- [16] POVOLNÝ, M; ŘEHOŘ, J. *Nová hydrodynamická naklápěcí ložiska s velmi vysokou tuhostí a útlumem*. Plzeň, 2018.
- [17] Rádiová fréza. Cuttingtools.cerazit.com [online]. [cit. 21.5.2022]. Dostupné z: <https://cuttingtools.cerazit.com/cz/cs/products/5407406130.html>
- [18] Stopkové frézy HPC. Webshop.guehring.cz [online]. [cit. 21.5.2022]. Dostupné z: <https://webshop.guehring.cz/000009199810040000>
- [19] MEC lead angle 0° Milling cutter. Tollsunited.com [online]. [cit. 21.5.2022]. Dostupné z: <https://www.toolsunited.com/App/EN/Article/ArticleDetailsPage/21051816098>
- [20] BDMT 170408 ER-JT ST1400. hoffmann-group.com [online]. [cit. 21.5.2022]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/Modul%C3%A1rn%C3%AD-obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD/Fr%C3%A9zy-s-vym%C4%9Bniteln%C3%BDmi-desti%C4%8Dkami/BDMT-170408-ER-JT-PR1225/p/227537-ST1400>

Příloha I

Výkres pro experimenty: ball varianta 2



DOPLŇ.VÝKR. ; ; ;

MATERIÁL
ZÁKAZNÍK

HMOTNOST 0,0 kg
MĚŘÍTKO 2:1

ISO 13715

NÁZEV

Ball
Vnější koule
Testy ball - V2

ČÍSLO VÝKRESU

670809-05

INDEX

00



GTW BEARINGS s.r.o.
Příšov 24, CZ - 330 11 Třemošna u Plzně

TOLERANCE ISO 8015
PŘESNOST ISO 2768-mK
PROMÍTÁNÍ

JMÉNO DATUM

SAFETY COMMENT DIN 34

KRESLIL babik 4.3.2022

FORMÁT A2

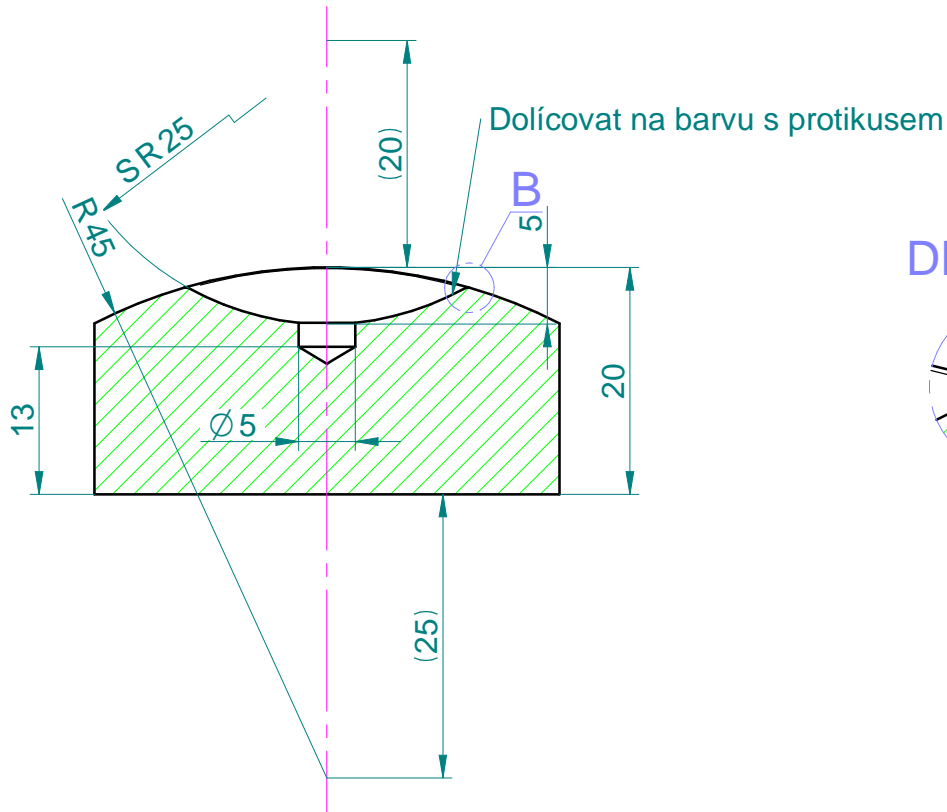
LIST/POČ.LISTŮ 1/1

KONTR.

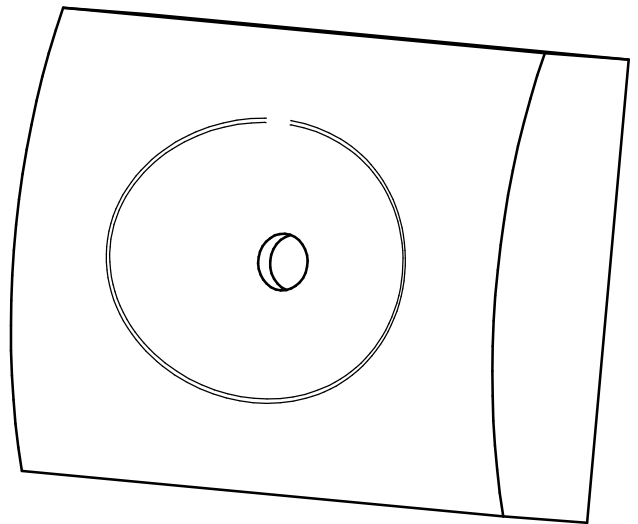
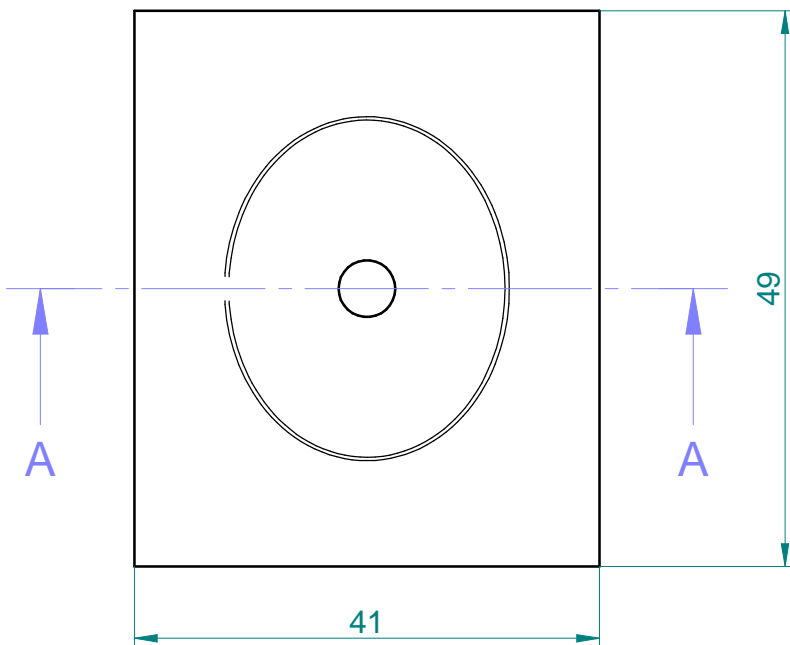
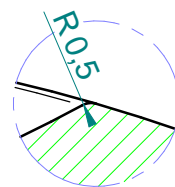
Příloha II

Výkres pro experimenty: socket varianta 2

A-A



DETAIL B



DOPLŇ. VÝKR. : : :

MATERIÁL
ZÁKAZNÍK

HMOTNOST 0,3 kg
MĚŘÍTKO 1,5:1

ISO 13715

NÁZEV

BP_BAS
Socket - kostka



GTW BEARINGS s.r.o.
Příšov 24, CZ - 33011 Třemošná u Plzně

TOLERANCE ISO 8015
PŘESNOST ISO 2768-mK
PROMÍTÁNÍ

JMÉNO
DATUM

ČÍSLO VÝKRESU

INDEX

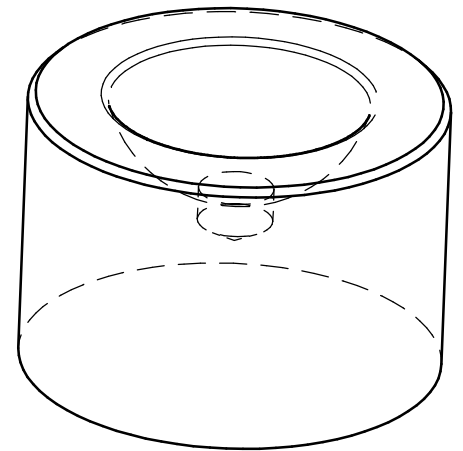
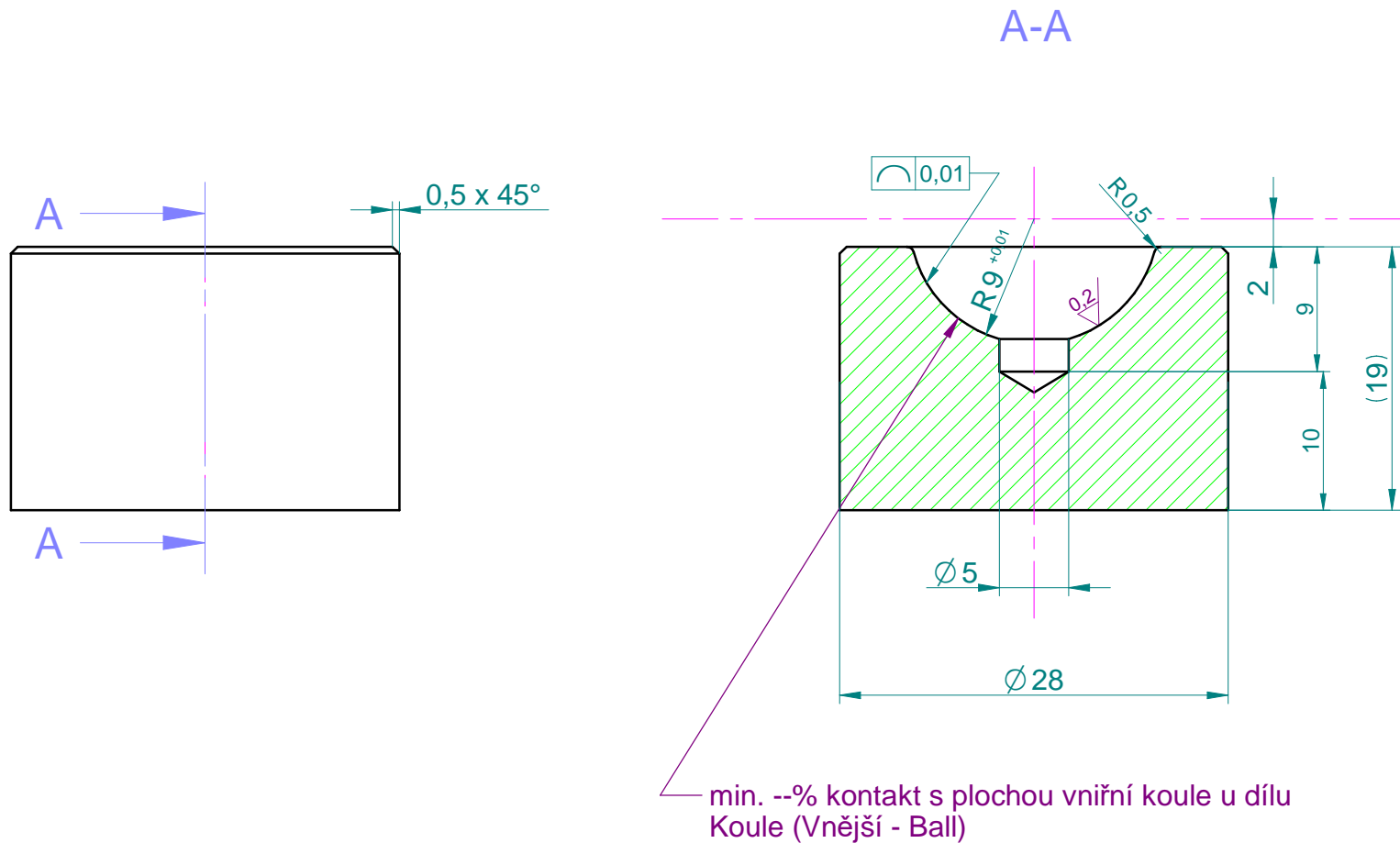
FORMÁT A2
LIST/POČ.LISTŮ 1/1


KRESLIL **lbabik**
24.2.2022
KONTR.

3osy socket Var 2

Příloha III

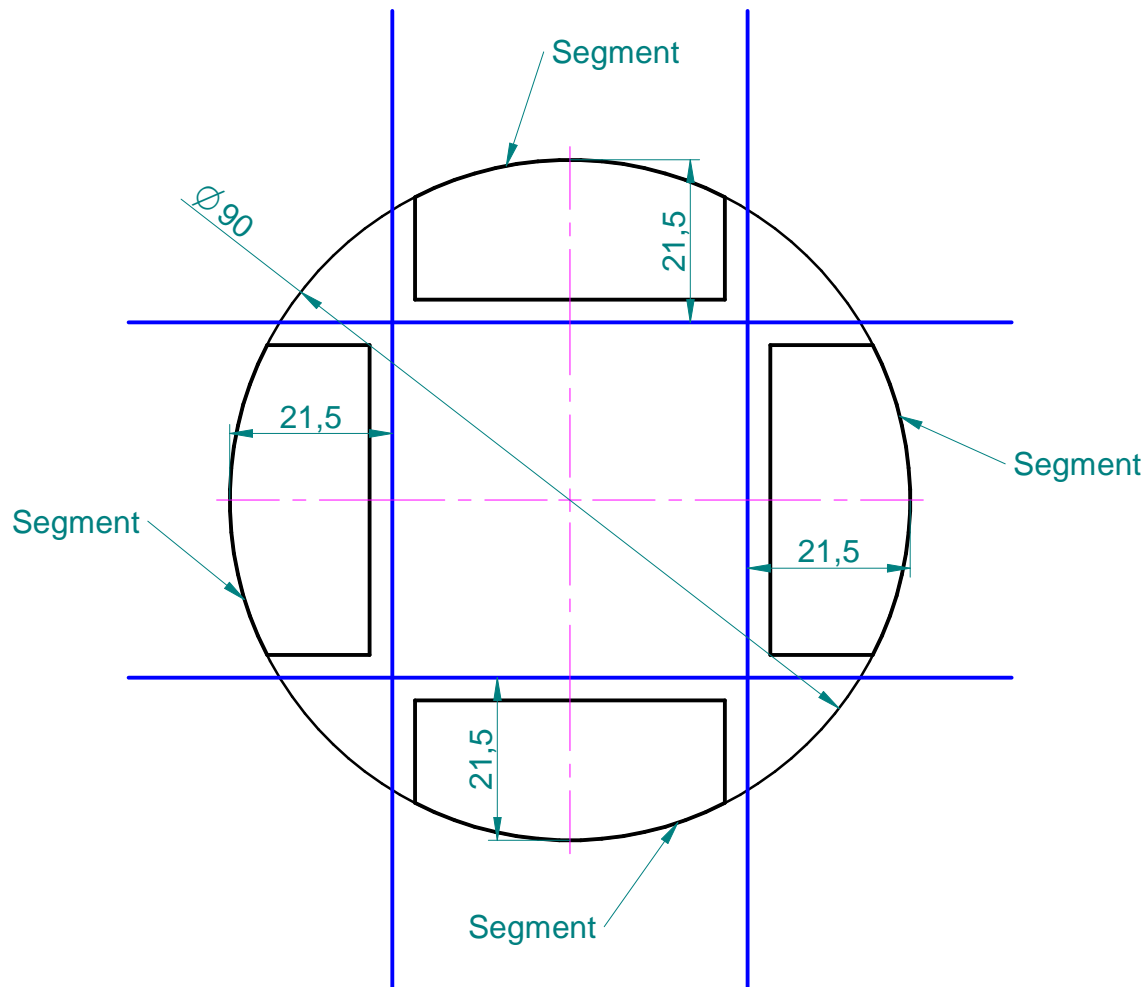
Výkres pro experimenty: socket varianta 1



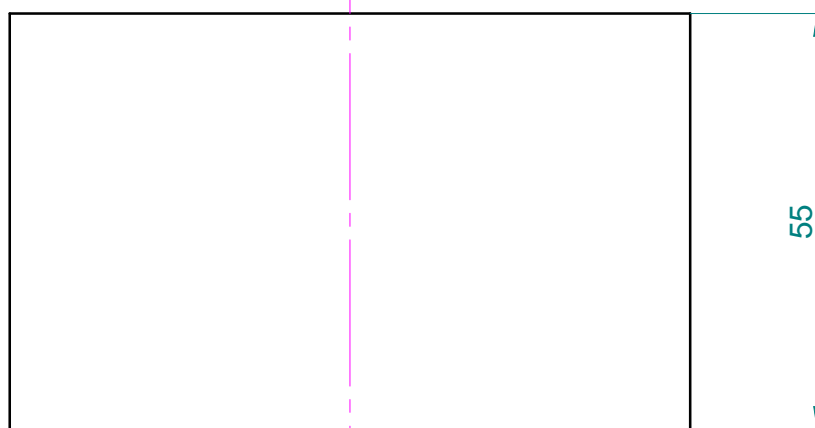
DOPLŇ.VÝKR. ; ; ;		NÁZEV	
MATERIÁL	HMOTNOST 0,1 kg	Koule - Vnitřní	
ZÁKAZNÍK -	MĚŘÍTKO 2:1	Socket	
 GTW BEARINGS s.r.o. Přišov 24, CZ - 330 11 Třemošna u Plzně	TOLERANCE ISO 8015	ČÍSLO VÝKRESU	
	PŘESNOST ISO 2768	INDEX	
FORMÁT A4	LIST/POČ.LISTŮ 1/1	JMÉNO lbabik	DATUM 18.3.2022
SAFETY COMMENT DIN 34		670849-101	
KRESLIL lbabik		00	
KONTR.			

Příloha IV

Rozřezový plán: socket varianta 2



PILA ŠÍŘKY 3mm



DOPLŇ. VÝKR. : : :

MATERIÁL	HMOTNOST 2,7 kg
ZÁKAZNÍK	MĚŘÍTKO 1:1

	ISO 13715
--	-----------

TOLERANCE	ISO 8015
PŘESNOST	ISO 2768-mK
PROMÍTÁNÍ	

JMÉNO	DATA
-------	------

babik	18.3.2022
-------	-----------

NÁZEV

Polotovár pro 4 segmenty
Testy Socket kostka

ČÍSLO VÝKRESU

RP2022

INDEX

00

GTW BEARINGS s.r.o.
Příšov 24, CZ - 33011 Třemošná u Plzně

FORMÁT A2 SAFETY COMMENT DİN 34

FORMÁT A2

LIST/POČ.LISTŮ 1/1

KRESLIL

KONTR.

KRESLIL

KONTR.

18.3.2022