

VYSOKÁ ŠKOLA POLYTECHNICKÁ JIHLAVA

Katedra technických studií

**Vliv jakosti povrchu čepu na životnost
vnitřních kulových kloubů osobních
automobilů**

bakalářská práce

Autor práce: Martin Kampas

Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Horák, Ph.D.

Jihlava 2021

Vysoká škola polytechnická Jihlava

Tolstého 16, 586 01 Jihlava

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce:	Martin Kampas
Studijní program:	Aplikovaná technika pro průmyslovou praxi
Obor:	Aplikovaná technika pro průmyslovou praxi
Název práce:	Vliv jakosti povrchu čepu na životnost vnitřních kulových kloubů osobních automobilů
Cíl práce:	Jakost povrchu čepu má vliv na funkční hodnoty i životnost kloubu, kdy tato problematika není zatím detailně popsána a stále předmětem intenzivního výzkumu. Cílem této práce je otestovat čepy s vysokou jakostí povrchových vad a čepy s nekvalitním povrchem a porovnat jejich funkční hodnoty před a po životnostním testu.

doc. Ing. Zdeněk Horák, Ph.D.
vedoucí bakalářské

doc. Ing. Zdeněk Horák, Ph.D.
vedoucí katedry
Katedra technických studií

Abstrakt

Tato bakalářská práce zkoumá vliv jakosti povrchu čepu na životnost vnitřních kulových kloubů osobních automobilů. Práce obsahuje kompletní technickou analýzu kloubových momentů a jejich vliv na funkčnost vnitřního kloubu. První, teoretická část je věnována teorii o tribologii a způsobům měření drsnosti, včetně odborné problematiky jakosti povrchu. Praktická část je zaměřená na vypracování studie, která se skládá z testování kulových čepů a následného vyhodnocení naměřených hodnot. Obsahem závěrečné části práce je návrh na volbu výrobně optimálního způsobu výroby čepů, které budou splňovat vysoké kvalitativní požadavky na jejich přesnost.

Klíčová slova

Axiální kloub; Drsnost povrchu; Opotřebení; Tribologie; Tření; Kloubové momenty

Abstract

This bachelor's thesis examines the impact of a pin surface quality on the life of the inner ball joints used in passenger cars. The thesis contains a complete technical analysis of articulated moments and their effects on the functionality of the inner joint. The first, theoretical part is devoted to a description of the tribology and metrology methods, including the issue of surface quality. The practical part concentrates on the development of a study which consists of testing the ball pins and then evaluation of the results. Final part of this thesis proposes an optimal design solution for production of pins with a high surface quality

Keywords

Axial ball joint; Surface roughness; Wear and tear; Tribology; Friction; Articulated moments

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, v platném znění, dále též „AZ“).

Souhlasím s umístěním bakalářské práce v knihovně VŠPJ a s jejím užitím k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě VŠPJ.

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje AZ, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že VŠPJ má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠPJ, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených vysokou školou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše), a to z výdělku dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence.

V Jihlavě dne 2. srpna 2021

.....
Podpis studenta

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat doc. Ing. Zdeňkovi Horákovi, Ph.D., za odborné vedení mé práce, za jeho čas, cenné poznámky a připomínky. Také Ing. Mgr. Lucie Zárybnické, Ph.D. patří nemalé díky za pomoc při měření. Dále bych tímto chtěl poděkovat zástupcům firmy THK Rhythm Automotive Czech, a.s., za skvělé téma mé práce, poskytnutí vzorků a vřelý přístup. Jmenovitě bych chtěl vyzdvihnout spolupráci s panem Ing. Milošem Křivanem, Ing. Martinem Blechou a Ing. Petrem Plášilem. V neposlední řadě bych rád poděkoval i své rodině a přátelům, kteří mě podporovali při tvorbě této práce.

Obsah

Seznam použitých zkratk	8
Úvod.....	9
Motivace	11
Cíl práce	11
1 Tribologie.....	12
1.1 Typy opotřebení	12
1.1.1 Adhezivní opotřebení.....	12
1.1.2 Abrazivní opotřebení	13
1.1.3 Erozivní opotřebení.....	13
1.1.4 Únavové opotřebení	14
1.1.5 Kavitační opotřebení.....	14
1.1.6 Vibrační opotřebení	15
1.2 Druhy tření a vliv maziva.....	16
1.2.1 Suché tření	16
1.2.2 Polosuché tření.....	16
1.2.3 Smíšené tření.....	17
1.2.4 Kapalinné tření.....	17
1.2.5 Stribeckova křivka	18
2 Důvod měření drsnosti povrchu.....	19
2.1 Základní pojmy	19
3 Měření jakosti povrchu	21
3.1 Kvalitativní hodnocení	21
3.2 Kvantitativní měření.....	21
3.3 Dotykové měření.....	21
3.4 Bezdotykové měření.....	22
4 Výzkumná část.....	23
4.1 Produkt: axiální kloub (IBJ).....	24
4.2 Sestavení axiálního kloubu	25
4.3 Měření vzorků	26
4.4 Testovací zařízení a průběh testů	31
4.5 Vliv drsnosti koule čepu na funkční vlastnosti	33
4.5.1 Vliv drsnosti na kloubové momenty	35
4.5.2 Vliv drsnosti na pružnost	36
5 Diskuze	38
Závěr	40
Seznam použité literatury	41

Seznam použitých zkratek

a.s.	Akciová společnost
EA	Axiální pružnost
GradAE	Axiální gradient
IBJ	Vnitřní kulový kloub („Inner ball joint“)
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci („International Organization for Standardization“)
LEM	Laboratoř experimentálního měření
l_r	Základní délka
MK	Výkyvný moment
MKL	Utrhávací výkyvný moment
Ra	Drsnost povrchu
Rp	Nejvyšší výška výstupku
Rv	Nejvyšší hloubka prohlubně
Rz	Nejvyšší výška profilu
RzJIS	Desetibodová střední drsnost
s.r.o.	Společnost s ručením omezeným
Z(x)	Hodnota pořadnice

Úvod

Kulové klouby se využívají v automobilovém průmyslu od nepaměti a jsou důležitou součástí v systému řízení dopravních vozidel. Umožňují ovládat vozidlo a zpříjemňují jízdní vlastnosti. Kulové klouby zajišťují bezpečnou a hladkou jízdu, tím že eliminují nežádoucí vibrace způsobené nerovnostmi na vozovce. Existují různé typy a konfigurace kloubů, protože každý model vozidla má individuální hmotnost, podvozek a systém řízení. Návrh každého jednotlivého kulového kloubu je iniciován požadavkem od výrobců vozidel.

Teoretická část práce si klade za cíl prezentovat souhrnný přehled různých typů opotřebení a hodnocení kvality povrchu. Přínosem této práce bude otestování čepů s různou jakostí povrchu, která určitou mírou ovlivňuje životnost kulových kloubů. Jakékoliv prodloužení doby, po kterou vnitřní kulové klouby osobních automobilů pracují, je velice žádoucí. Životnost kulových kloubů ovlivňuje mnoho faktorů, jako např. materiál, ze kterého jsou vyrobeny, kvalita opracování, provozní podmínky atd. Moje práce je převážně zaměřena na prozkoumání kvality povrchu kulového čepu, která se na celkové životnosti podepisuje významným způsobem. Dále tato práce zkoumá, jak velký vliv má jakost povrchu kulového čepu na kloubové momenty.

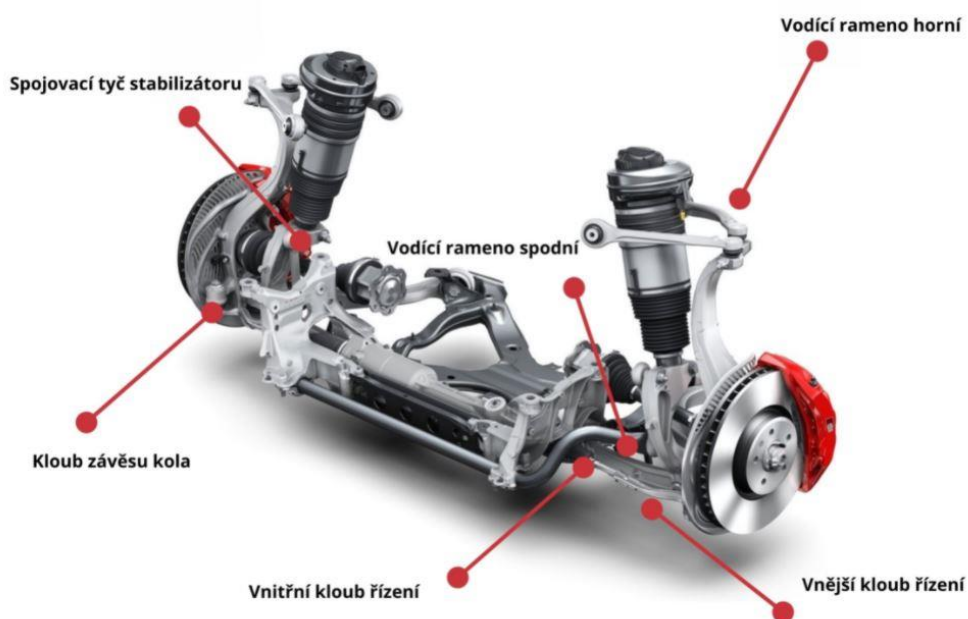
Tato práce vznikla ve spolupráci s firmou THK Rhythm Automotive Czech, a.s., z Dačic. Jedná se o společnost s dlouholetou tradicí, která vznikla již v roce 1972 a zabývá se výrobou různých druhů vnitřních a vnějších kulových kloubů, dutých čepů, vodících táhel a kontrolních ramen náprav pro osobní a nákladní automobily. [1]



Obrázek 1 – Logo firmy THK Rhythm Automotive Czech, a.s. [1]

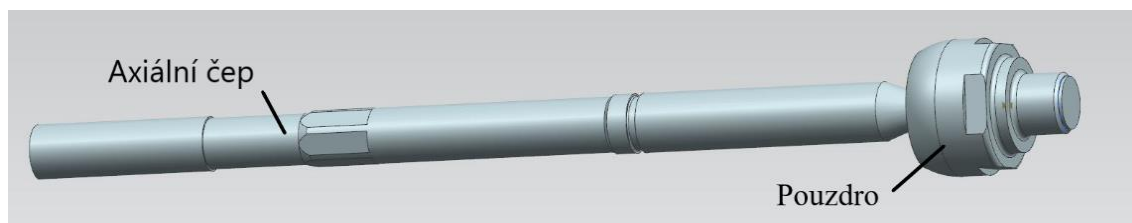
Představení vnitřního kloubu řízení

Zkoumaným předmětem je vnitřní kloub řízení, jenž je umístěn v systému řízení dopravních vozidel. Tento typ kloubu nachází své uplatnění převážně v předních nápravách, kde vypomáhá s natáčením kola. Jeho konkrétní umístění je vidět na obrázku 2. Na každé straně nápravy je umístěn jeden kloub pro jednotlivé kolo, tedy celkem jsou v systému řízení dva vnitřní klouby. K přichycení do systému řízení slouží závity na obou koncích kloubu. Po montáži do systému řízení je přes celý kloub natažena manžeta, která slouží k ochraně proti vniknutí nečistot do kloubu.



Obrázek 2 – Ukázka řízení osobního automobilu [1]

Kloub je složen vždy z axiálního čepu, hlavy (pouzdra), plastového ložiska a manžety. Výsledný 3D model vnitřního kloubu je zobrazen na následujícím obrázku. Plastové ložisko na tomto modelu není vidět, jelikož se nachází uvnitř pouzdra.



Obrázek 3 – 3D model vnitřního kloubu [zdroj dat: THK Rhythm Automotive Czech, a.s.; zpracování: vlastní]

Motivace

Motivací této práce byla spolupráce s firmou THK Rhythm Automotive Czech, a.s., z jejíž strany vzešel podnět pro zadání této práce, neboť chtěla ověřit a optimalizovat pracovní postupy při výrobě čepů s koulí. Pro firmu bylo podstatné zjistit ideální velikost drsnosti povrchu koule u čepu pro ideální funkčnost vnitřního kloubu v systému řízení dopravních vozidel.

Cíl práce

Cílem práce je provedení studie, která se bude zabývat otestováním čepů s různou jakostí povrchu, který je jedním z klíčových faktorů životnosti kulových kloubů. Výstupem bude zhodnocení, jak velký vliv má drsnost povrchu na kloubové momenty. Tato problematika doposud nebyla detailně popsána, a proto je účelné ji analyzovat. V úvodní části studie bude čtenář seznámen se základními technickými termíny a pojmy, které jsou důležité pro praktickou část této práce. V praktické části bude následně provedeno proměření drsnosti povrchu kloubu a vyhodnocení jeho vlivu na velikosti kloubových momentů.

1 Tribologie

Tribologie je věda a technologie zabývající se kontaktem povrchů těles a jejich vzájemným působením proti sobě. Jedná se o interakci dvou povrchů těles v relativním pohybu nebo při recipročním pohybu. Tribologie pokrývá nejenom procesy opotřebení, a tření, ale rovněž i oblast mazání. Vysvětluje jejich původ, příčiny, vznikající následky a jejich následný dopad. Setkáme se s ní v mnoha různých technických oborech, protože tření se vyskytuje prakticky všude v technice. [2],[3],[4]

Vlivem tření dochází k opotřebení součástí a k poklesu jejich životnosti. Z tohoto důvodu je třeba toto tření a opotřebení optimalizovat, a to pro konkrétní případ použití. Nejedná se pouze o plnění požadované funkce, ale také o zajištění vysoké účinnosti a dostatečné spolehlivosti při nejnižších možných výrobních, montážních a provozních nákladech. [2],[3],[4]

Nejprve představím základní typy opotřebení a posléze něco málo uvedu k možným typům tření. Tyto následující základní informace budou potřebné pro praktickou část práce.

1.1 Typy opotřebení

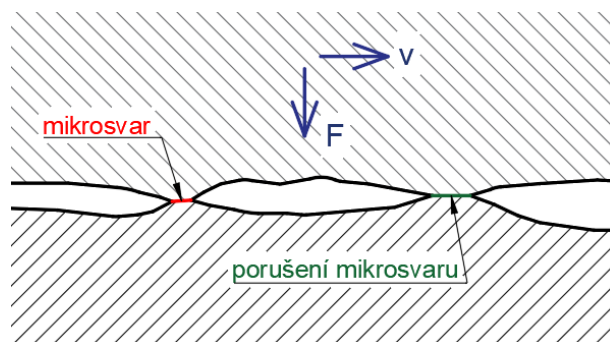
Jakmile se dvě tělesa dostanou do kontaktu, po určitém čase obvykle dochází k opotřebení. Opotřebení je progresivní ztráta materiálu z povrchu. Dochází k oddělování malých částic z povrchu z důvodu interakce těles. Následně opotřebované součásti způsobují změnu původních vlastností těles.

V tribologii lze procesy opotřebení rozdělit do různých typů. V následující části textu představím šest základních typů opotřebení, které se mohou vyskytovat v kontaktním místě těles. [2],[3],[4]

1.1.1 Adhezivní opotřebení

K adhezivnímu opotřebení dochází při kontaktu mezi povrchy materiálů, které pohybují. Vzhledem k tomu, že žádný povrch nemůže být dokonale hladký a bez jakýchkoliv nerovností, i když jen mikroskopických, dochází v místě kontaktu vždy ke kolizím mezi vyčnívajícími částicemi materiálů. Dochází k prolomení povrchových vrstev s následným zvýšením tepelného zatížení součástí. Vznikají takzvané

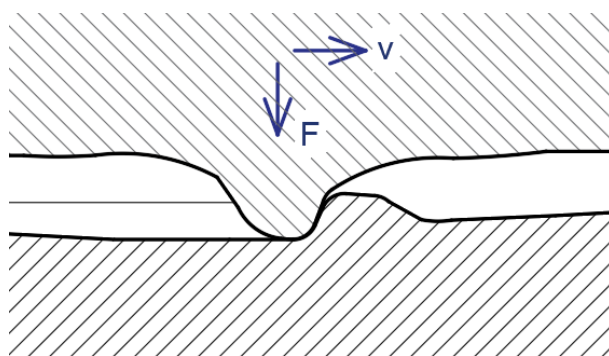
mikrosvary, které se dalším pohybem poruší. Tím to ulpívá materiál z jednoho povrchu na druhém. Nastává tak zvaná difúze, což je pronikání částic měkkého materiálu do krystalické mřížky tvrdšího materiálu. Tím dochází ke zhoršení vlastností součástí. [2],[3],[4]



Obrázek 4 – Adhezivní opotřebení [4]

1.1.2 Abrazivní opotřebení

Toto abrazivní opotřebení vzniká z důvodu vyčnívajících nebo vydrolených tvrdých částic z povrchu tělesa, která způsobují nežádoucí rýhy do měkkého materiálu a přispívají k jeho nežádoucímu zahřívání. Vydrolené neboli volné částice mohou být také nečistoty, které se dostanou mezi špatně utěsněný kontakt dvou funkčních těles se společným relativním pohybem. Dochází tak ke zvyšování tření. [3],[4]

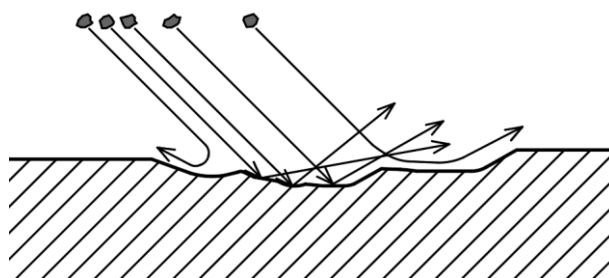


Obrázek 5 – Abrazivní opotřebení [4]

1.1.3 Erozivní opotřebení

Vzniká v případě použití mazání spojované součásti (např. kapalného, či plynného). Unášené částice materiálu proudem mazací kapaliny poškozují povrch. Částice dopadají pod určitým úhlem, v určitém počtu a určitou rychlostí, což způsobuje

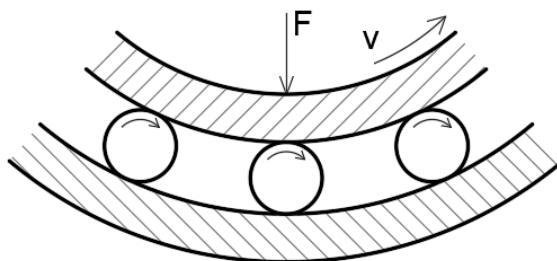
rýhy a následné nerovnoměrné prohlubně. Když dopadají částice na povrch, působí na ně kinetická energie a zapříčiní tak vlečení, respektive jejich přitlačování na povrch. Tím působí částice podobný proces jako v případě abrazivního opotřebení. Tento proces je závislý na velikosti vzniklé energie. Samotné částice mazacích kapalin nebo plynu může způsobovat jisté opotřebení materiálu. [3],[4],[5]



Obrázek 6 – Erozivní opotřebení [5]

1.1.4 Únavové opotřebení

Únavové opotřebení je velmi častou formou opotřebení. Toto kontaktní opotřebení vzniká u povrchů třecí dvojice, kde dochází ke kluznému a valivému pohybu. V místě kontaktu se tvoří dlouhodobé vysoké tlaky, skluz a tření. To vše způsobuje únavové trhliny, které zapříčiňují vydrolování materiálu a tvorbu důlků v povrchu spojené součásti, tzv. pitting. Nejčastěji se s tímto typem opotřebení můžeme setkat u valivých ložisek nebo ozubených kol. [3],[4],[5]

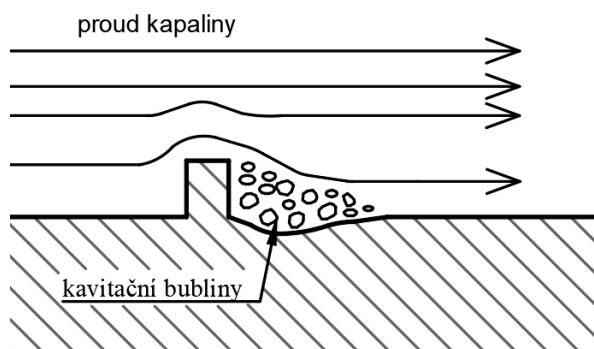


Obrázek 7 – Únavové opotřebení - pitting [6]

1.1.5 Kavitační opotřebení

U součástí pracujících v kapalných prostředích dochází ke kavitačnímu opotřebení zapříčiněné vznikem kavitačních dutin v kapalině. Jedná se o bubliny zaplněné parami

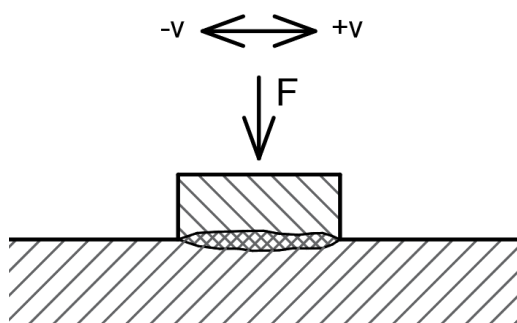
kapaliny, které vznikají v místech, kde z nějakého důvodu dochází ke snížení tlaku (prouděním zúženým průřezem, ostrá hrana apod.). Při opětovné změně tlaku dochází k impulzivnímu zanikání těchto kavitačních bublin, což působí rázy, které porušují povrch mikrotrhlinami. Opakování tohoto procesu má za příčinu uvolňování částic z povrchu součásti. [4],[5],[6]



Obrázek 8 – Kavitační opotřebení [6]

1.1.6 Vibrační opotřebení

Při zatížení součásti s kmitavými rázy o určité amplitudě dochází k vibračnímu opotřebení. Vznik opotřebení obvykle započne, když je amplituda pohybu větší, než zvládne vyrovnat povrch materiálu vlastní pružností. Roste-li pohybová amplituda zvětšuje se i vibrační opotřebení. Vzniknou malé částice, které působí mezi dvěma spojovanými povrchy abrazivně. Proti tomuto opotřebení nejsou odolné ani velmi tvrdé povrchy. S vibračním opotřebením se můžeme setkat u různých pohybových uložení, na která se přenášejí kmity. Mohou to být kmity způsobené samotnou pohybovou součástí nebo i kmity působící od okolních zdrojů. Tento typ opotřebení je typický pro různá valivá ložiska čepy, hřídele atd. Dochází k němu často i u nalisovaných spojených součástech. [4],[5],[6]



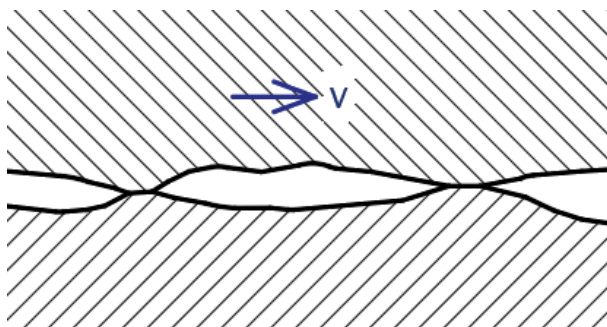
Obrázek 9 – Vibrační opotřebení [4]

1.2 Druhy tření a vliv maziva

V oblasti průmyslu je tření vnímáno jako nežádoucí jev, který je potřeba co nejvíce eliminovat. Je to důsledek vzájemného působení mezi pevnými tělesy, který brání jejich pohybu. Ve všech druzích tření vzniká třecí síla. Na rozdíl od všech ostatních sil působí pouze v jednom směru, a to vždy protisměru pohybu. Jeho orientace směřuje v opačném směru rychlosti posunutí. Mluvíme-li o tření vnitřním, jedná se o tření mezi jednotlivými vrstvami samostatného tělesa. Pokud jde o tření mezi plochami dvou těles jde o vnější tření, kterým se převážně budu zabývat v mé práci. Podle toho, jak se tělesa vůči sobě pohybují, vznikají tři druhy tření smykové, klidové, valivé. Jedná se o tření suché, které rozeberu blíže s polosuchým třením, smíšeným třením a třením v kapalině. [4]

1.2.1 Suché tření

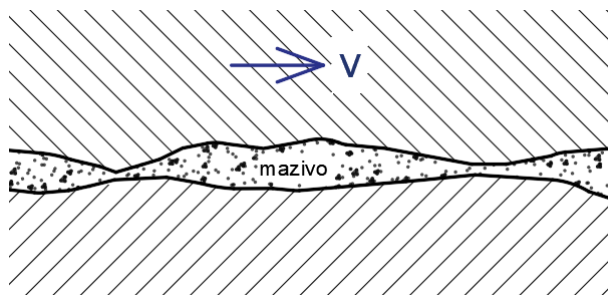
Při kontaktu povrchů dvou těles tam, kde je absence mazací kapaliny, dochází k takzvanému suchému tření. Čím je větší drsnost povrchu, tím větší je třecí síla. Následkem může dojít k adheznímu opotřebení, nežádoucímu zahřívání, různým deformacím či ztrátám materiálu. V praxi se můžeme s tímto druhem opotřebení potkat u ložisek, kde je mnohdy příčinou jejich zadření. [4],[7]



Obrázek 10 – Suché tření [7]

1.2.2 Polosuché tření

Polosuché (mezné) tření nastává tam, kde je malé množství maziva. Nedojde zde k dokonalému oddělení dvou povrchu. Nastává situace, že mazací kapalina nezamezí všem nerovnostem povrchů, aby se nedotýkaly. S tímto typem tření se setkat můžeme např. u ložisek, která pracují v nízkých otáčkách. [4],[7]



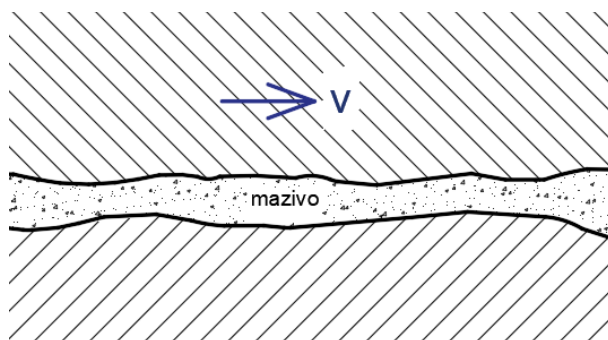
Obrázek 11 – Mezní tření [7]

1.2.3 Smíšené tření

O smíšené tření se jedná, jestliže mezi dvěma povrchy součástí není dostatek maziva, aby došlo k jejich úplnému oddělení. Ve smíšeném tření nalezneme prvky ze dvou druhů tření, a to z kapalinného tření a suchého tření. V oblastech povrchu, kde jsou vystupující nerovnosti, dochází k meznímu tření a v místech povrchu, kde se vyskytují prohlubně, nastává kapalinné tření. U smíšeného tření je koeficient tření větší, pokud je větší měrný tlak. Naopak pokud roste rychlost, koeficient tření klesá. [4],[7]

1.2.4 Kapalinné tření

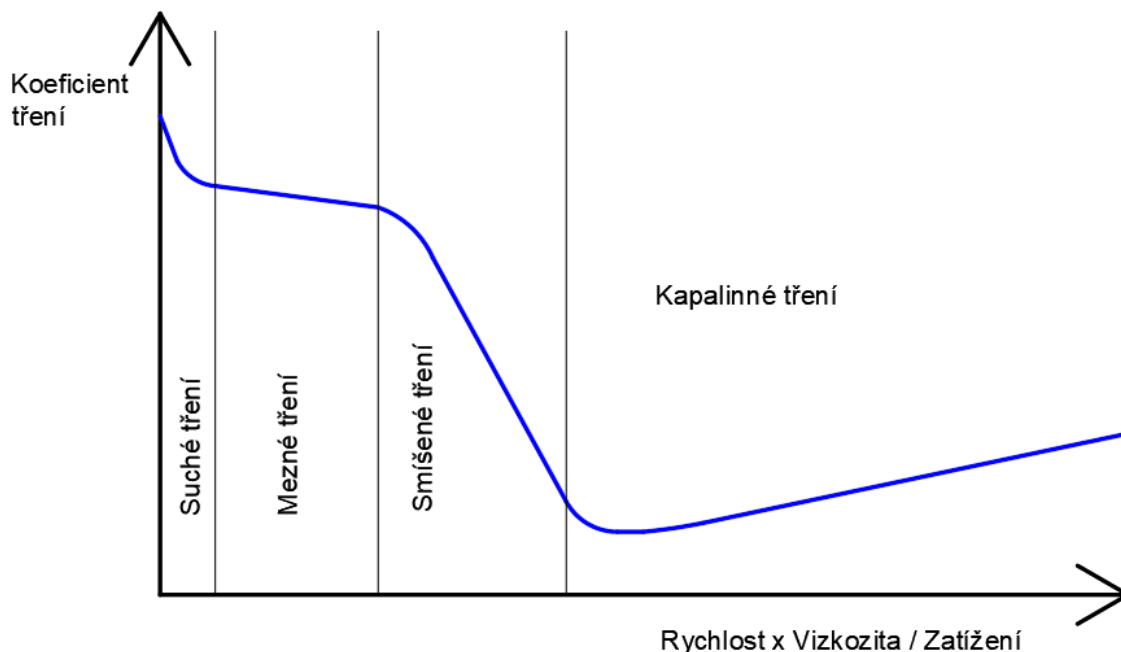
Použitím dostatku mazací kapaliny mezi třecími povrchy, dochází k jejich úplnému oddělení. Potřebujeme, aby byl tlak v mazivu větší, než je tlak vzniklý působením zatěžovací síly. Toho se docílí rychlým pohybem součástí. V tomto případě je opotřebení velice malé z důvodu nízkého koeficientu tření. Koeficient tření se mění s rostoucí rychlostí. Postupným navyšováním rychlosti dochází ke zvýšení koeficientu tření z důvodu tření v mazivu. [4],[7]



Obrázek 12 – Kapalinné tření [7]

1.2.5 Stribeckova křivka

Stribeckova křivka se často používá k popisu závislosti koeficientu tření na provozních podmínkách (viskozitě, rychlosti a zatížení). Koeficient tření je do značné míry závislý i na povaze tekutého filmu (maziva), který odděluje kontaktní povrchy. [8]



Obrázek 13 – Stribeckova křivka [4],[8]

Z obrázku 13 je patrné, že nejvyšší hodnota koeficientu tření je v momentě, kdy se součást nepohybuje, i když je přítomno mazivo. Při rozběhu má součást nízkou rychlost a vyšší zatížení, což zapříčiňuje mezi povrchy suché tření. V provozním stavu roste rychlost a mazivo začne plnit svoji úlohu. Mazací kapalina sníží statické tření i koeficient tření. Rychlost stále roste a mazivo se dostává ve větší vrstvě mezi povrchy součástí. Dochází tím ke smíšenému tření. Neustálým zvyšováním rychlosti přechází smíšené tření v kapalinné. Dochází k úplnému oddělení povrchů, které se už nedotýkají ani v místech největší nerovnosti a jsou odděleny mazivem. V této fázi je koeficient tření obvykle nejnižší. Kapalinné tření, které bývá nazýváno rovněž jako hydrodynamické tření, je dále typické tím, že tření už neprobíhá mezi povrchy součástí, ale přímo v mazací kapalině. I v tomto případě logicky dochází k pozvolnému a opětovnému nárůstu koeficientu tření, a to v důsledku rostoucího tření v samotné kapalině. [4],[8]

2 Důvod měření drsnosti povrchu

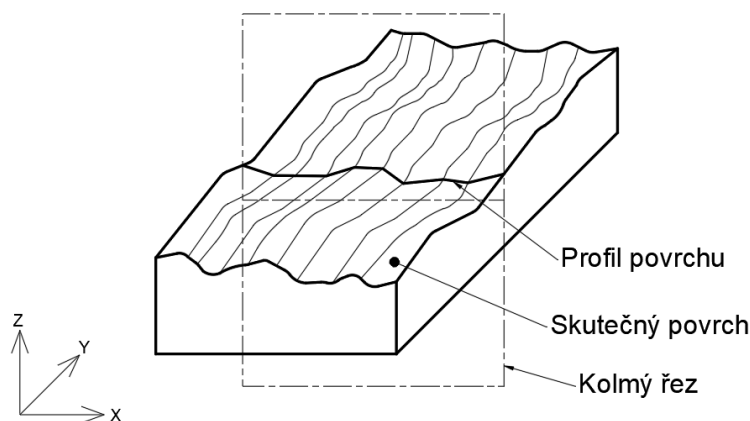
Každá, i sebedokonaleji vyvinutá metoda strojního obrábění způsobuje nerovnosti materiálu. Na povrchu jsou tyto nerovnosti zanechávány řezným a brusným nástrojem nebo jiskrovým výbojem. Skutečný obrobený povrch má pak nepatrné nerovnosti, nacházející se po celé obrobené ploše obrobku. Tyto nerovnosti mají následně podstatný vliv na funkčnost, životnost i vzhled obráběné strojní součásti. Stávají se tak důležitým parametrem výrobku, nazývaným drsnost povrchu nebo jakost povrchu. Požadovaná jakost povrchu se definuje v technickém výkrese dané obráběné součásti. [9]

2.1 Základní pojmy

Nejprve uvedu dva základní pojmy, které jsou nezbytné pro jednoznačné kvalitativní posuzování nerovnosti povrchu. Jedná se o nedokonalost povrchu a texturu povrchu.

Nedokonalosti povrchu jsou náhodně vzniklé při výrobě, skladování a nevhodnou manipulací s obrobenou součástí. Jedná se typicky o rýhy, trhliny, mikrotrhliny, póry, koroze atd. Tyto nedokonalosti však nemají podstatný vliv na funkčnost výrobku v provozu. [10]

Texturou povrchu nazýváme trojrozměrné opakované a náhodné úchyly od ideálního povrchu, viz obrázek 14 níže. Skládá se z drsností, vlnitostí a základního profilu povrchu. Velkou částí ovlivňuje vlastnosti a funkčnost v provozu. Má zejména vliv na pevnost spojení, podílí se na průběžném opotřebení kritických ploch a podporuje únavové vlastnosti. [10]



Obrázek 14 – Profil povrchu [10]

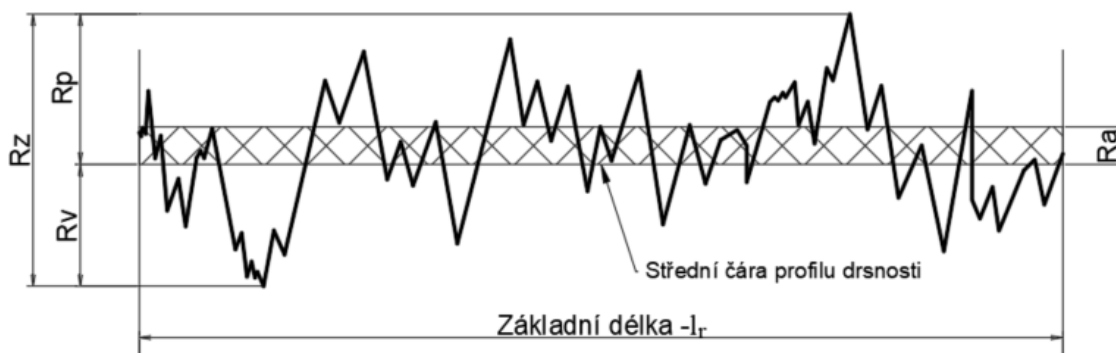
Dále je potřeba se zmínit o profilu povrchu, který vzniká jako průsečnice skutečného povrchu s rovinou kolmo tomuto povrchu. Slouží nám jako základní zdroj informací pro hodnocení textury povrchu. [10]

Parametr drsnost povrchu R_a je klíčový pro posuzování povrchu součástí.

„Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu R_a je aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky l_r .“ [10]

Tato definice popisuje rovnici (1) pro integrální metodu určení, kde $Z(x)$ je hodnota pořadnice (výška měřeného povrchu v jakékoliv pozici x). Jako základní délku l_r označujeme délku ve směru osy x , která se užívá pro rozlišení nerovností charakterizující povrch. [10]

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (1)$$



Obrázek 15 - Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu R_a [10]

Značení R_z na obrázku 15 je největší rozměr profilu. Je to součet nejvyššího bodu R_p a nejnižšího bodu R_v měřeného profilu nalezení na základní délce l_r .

3 Měření jakosti povrchu

Měření drsnosti povrchu se může provádět různými způsoby. Konkrétní způsob volby měření záleží vždy na metrologickém (měřicím) pracovišti a odvíjí se od finančních a technologických možností daného pracoviště. Dále jsou metody měření vybírány v závislosti na technické náročnosti měření, výstupních hodnotách, dostupností měřicích zařízení atd.

3.1 Kvalitativní hodnocení

Jedná se o základní a nejstarší metodu měření povrchů. Provádí se pomocí lidských smyslů. Pomocí hmatu a zraku porovnáváme hodnocený povrchu s vzorkovnicí drsnosti povrchu. Při měření se mohou také používat světelné mikroskopy, které usnadňují porovnávání hodnoceného povrchu se vzorkovnicí. Při této metodě, která není velmi přesná, lze v případě použití mikroskopu dosáhnout rozlišovací schopnost až 1 μm . [11],[12],[13]

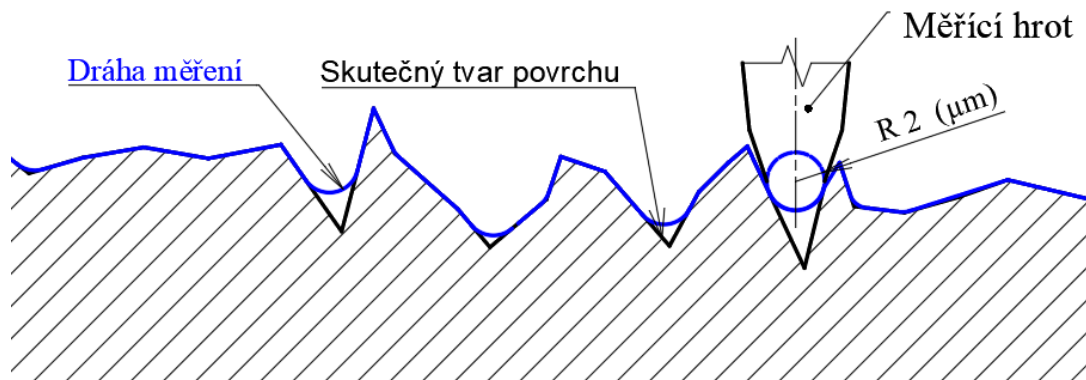
3.2 Kvantitativní měření

Měření se provádí pomocí etalonu, který porovnáváme s kontrolovaným povrchem. Výsledné číslo kvantitativního měření je vyjádření drsnosti povrchu v parametru Ra. Měření provádíme elektronickými komparátory, mechanickými komparátory, fotoelektrickými komparátory atd. [11],[12]

3.3 Dotykové měření

Tato metoda měření se provádí pomocí dotykového profiloměru (drsnoměru). Zde přístroj využívá vybroušeného diamantového nebo safírového hrotu s malým vrcholovým poloměrem, který se posouvá po měřeném povrchu a získává hodnoty jakosti povrchu. To, jak přesné měření bude, závisí na řadě aspektů, jako například na poloměru zaoblení snímacího hrotu, měřicí přitlačné síle, a rychlosti změny měřicí síly. Jedná se v praxi o nejpoužívanější metodu zjišťování přesnosti povrchu. Zařízení používaná pro tuto metodu umožňují rozlišení až 0,1 nm. Mezi výhody dotykového měření patří jednoduchost, velká rozlišovací schopnost a vysoká přesnost. Nevýhodami jsou špatná měřitelnost mikro nerovností z důvodu rádiusové špičky diamantového

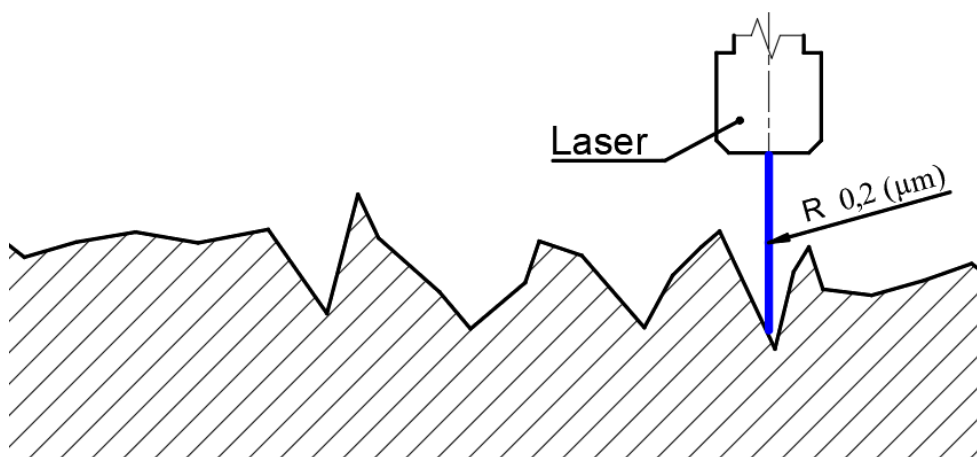
hrotu, limitovaný pohyb po měřicím povrchu a množnost odření povrchu měřené součásti. [11],[12],[13],[14],[16]



Obrázek 16 – Omezení dotikového měření drsnosti povrchu [15]

3.4 Bezdotykové měření

Jedná se o optickou metodu měření jakosti povrchu pomocí interakcí světelných paprsků s nerovností povrchu. Světelný paprsek kopíruje hodnotící povrch a tím je schopný získat potřebná data o drsnosti zkoumaného povrchu. Bezdotyková metoda dokáže velmi dobře nahradit měření dotykovými profiloměry. Optické profiloměry mají výhodu ve vyšší efektivnosti a operativnosti, protože dokážou bez sebemenšího poškození a kontaktu měřit drsnost povrchů. Oproti tomu nevýhodou této metody může být vliv okolního prostředí, např. vibrace a světelné podmínky na výsledky měření nebo možnost ztráty dat v důsledku nesprávného odrazu paprsku zpět do detektoru. Tato metoda se provádí bezkontaktními (optickými) profiloměry a dosahuje rozlišení 0,01 nm. [12],[14],[15],[16]



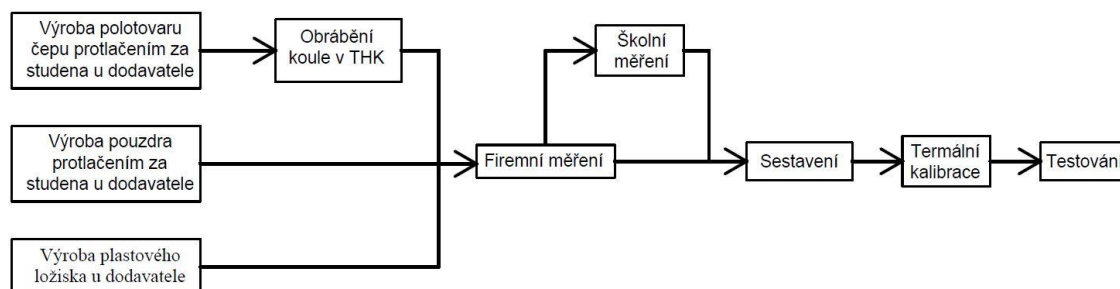
Obrázek 17 – Bezdotykové měření drsnosti povrchu [15]

4 Výzkumná část

Jak bylo uvedeno v úvodu, cílem práce je uspokojit poptávku společnosti THK Rhythm Automotive Czech, a.s., tj. připravit, realizovat a vyhodnotit testy vzorků a určit ideální drsnost povrchu pro vnitřní kulový kloub.

Následující část práce obsahuje informace o hodnocených kulových čepích, které představují skupinu vzorků, na kterých celý výzkum probíhal. Zahrnuje popis měření vzorků, které se uskutečnilo v laboratoři experimentálních měření (dále také „LEM“). Dále je v této části popsáno, jak probíhá sestavení axiálního kloubu (IBJ) na montážní lince. Zatěžovací zkoušky byly provedeny ve firemní testovací laboratoři pracovníky společnosti. Vyhodnocení testů je představeno v závěru práce, kde se nalézají i návrhy ideální drsnosti na povrchu vnitřního kulového kloubu.

Proces zkoumání se skládal z návazných kroků, které jsou přehledně vyobrazeny ve schématu níže na obrázku 18. Popsaná návaznost je jednotlivých procesů odpovídá běžně využívané praxi, samozřejmě s výjimkou fáze ve školní laboratoři.



Obrázek 18 – Schéma postupu výzkumu [zdroj: vlastní]

Celý proces započal obrobením čepu s koulí, pouzdra (hlavy) a plastového ložiska, které byly dodány dodavateli a v našem výzkumu nebyly dále zohledňovány. Pouzdra a čepy s koulí následně prošly standardním výrobním měřením průměrů a drsností koule. Čepy byly předány na přeměření do LEM. Následně jsem provedl měření drsnosti pomocí digitálního mikroskopu ve školní laboratoři. Pro tento výzkum byla vybrána plastová ložiska pouze z jedné kavity vstřikovacího zařízení, aby se eliminoval vliv mírně odlišných rozměrů jednotlivých kavit (avšak v rámci tolerancí). Následně se všechny komponenty sestavily na montážní lince. Poté se vzniklé axiální klouby vložily do horkovzdušné pece, kde proběhla jejich termální kalibrace. Po provedení kalibrace byly axiální klouby přeměřeny v testovací laboratoři technického centra v THK Rhythm Automotive Czech, a.s.

4.1 Produkt: axiální kloub (IBJ)

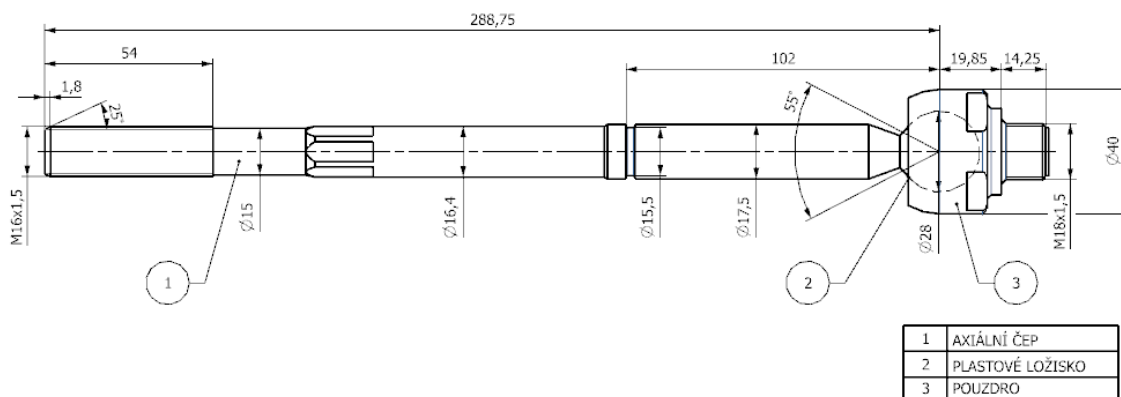
Jak již bylo uvedeno v úvodu této práce, jejím cílem je nalezení optimální jakosti povrchu u hodnoceného produktu, kterým je IBJ, který je součástí axiálního kloubu, a skládá se z čepu s koulí, pouzdra (hlavy), plastového ložiska a manžety. Koule čepů jsou obráběny s výslednými různými jakostmi povrchu, které mohou mít vliv na funkční vlastnosti kloubu. [1]

Čepy s koulí (obrázek 19) byly obrobena čtyřmi různými způsoby. První skupina po osmi vzorcích byla obrobena novým nástrojem a následně bylo provedeno rolování, což je obvyklý sériový proces. Druhá skupina po osmi vzorcích byla upravena opotřebeným nástrojem, a opět je implementováno rolování. Třetí skupina po devíti vzorcích byla opracována na maximální povolenou drsnost Rz danou výkresem. Konečně čtvrtá, opět osmičlenná skupina obrobena bez rolování.



Obrázek 19 – Ukázka čepu s koulí [zdroj: vlastní]

Schéma axiálního kloubu je pro větší přehlednost zobrazeno na obrázku 20, a to v sestavené (slisované) poloze, kdy je axiální čep (1) pevně spojen s pouzdem (3) a mezi tyto dvě části je vloženo plastové ložisko (2), které slouží ke snížení tření. Plastové ložisko proto není na schématu patrné. Jelikož se jedná o kloub, takže je zde povolen pohyb kolem středu koule v maximálním výkyvu 55°. Závity na obou koncích slouží k přichycení kloubu do systému řízení osobních automobilů. Jelikož se jedná o bezpečnostní díl, nalezneme zde i drážku pro případnou destrukci, umístěnou ve vzdálenosti 102 mm od středu koule. Na obrázku 20 jsou pro lepší ilustraci uvedeny i základní rozměry zkoumaného vzorku.



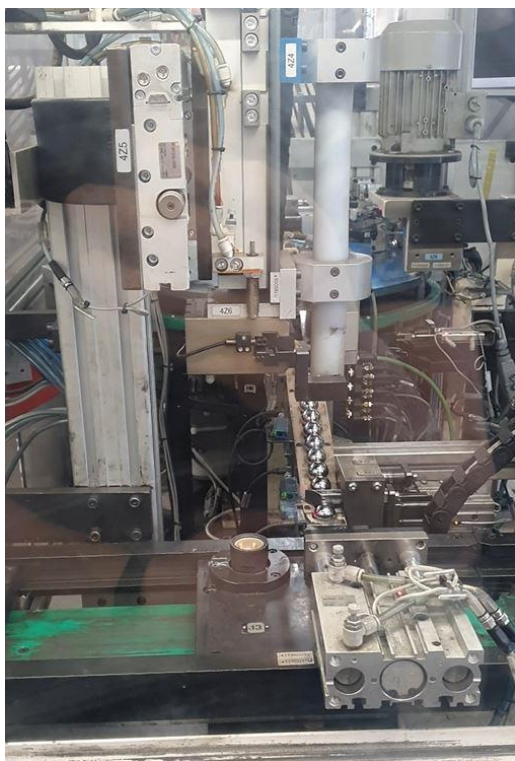
Obrázek 20 – Ukázka sestavené součásti [zdroj dat: THK Rhythm Automotive Czech a.s.; zpracování: vlastní]

4.2 Sestavení axiálního kloubu

Ve firmě THK Rhythm Automotive Czech, a.s., v Dačicích bylo provedeno sestavení všech zkoumaných axiálních kloubů. Proces se uskutečnil na montážní lince. Funkce této linky zahrnují servohydraulické lisování, kontrolu úhlů a momentů výkyvu, a robotizované vyjmutí a uložení hotového dílu do připraveného stojanu. Dále je zajištěna možnost výrobní proces plně sledovat. Celý postup byl rozdělen do několika kroků. Na montážní lince tyto kroky byly prováděny na jednotlivých stanicích. [17]

Prvním krokem montáže je vložení pouzdra do paletky montážní linky (krok 1). Poté je paletka přesunuta k další stanici, kde je vloženo plastové ložisko do dutiny pouzdra (krok 2). V další stanici dojde k dotlačení plastového ložiska tračником zakončeným kulovým tvarem o síle 100 N (krok 3). V kroku 4 je aplikováno požadované množství tuku do plastového ložiska. Po aplikaci tuku je vložena kulová tyč – krok 5 a v kroku 6 je vytvořen přítlak na kulovou tyč silou 7,2 kN. Následuje přetočení kompletované sestavy o 180° tzn. kulovou tyčí dolů (krok 7). Důvodem přetočení je potřeba tlačít na pouzdro pro zavření kulového kloubu. Tato metoda je rychlejší oproti původní metodě lisování s kulovým čepem směrem nahoru. Lis v tomto případě musel absolvovat delší dráhu zdvihu, což znamenalo delší cyklový čas. Při lisování je pouzdro vtlačeno do tzv. zavírací matrice přibližně silou 250 kN a zároveň je vyvinut přítlak 10 kN na dřík kulového čepu (krok 8).

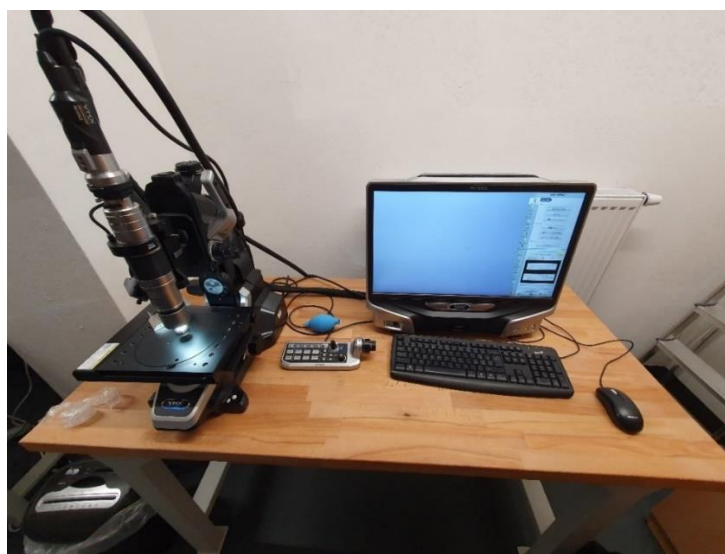
Po této operaci je na součásti implementována termální kalibrace, která se provádí za účelem uvolnění vnitřního pnutí v plastovém ložisku a stabilizace funkčních vlastností kloubu.



Obrázek 21 a 22 – Vyjmutí čepu s koulí ze zásobníku (vlevo) a lisování (vpravo) [zdroj: vlastní]

4.3 Měření vzorků

Celé měření proběhlo v LEM na Vysoké škole polytechnické v Jihlavě. Měření drsnosti bylo provedeno bezdotykovou metodou za pomoci digitálního optického mikroskopu Keyence VHX-6000 (Keyence, USA), který je na obrázku 23.



Obrázek 23 – Digitální mikroskop VHX-6000 [zdroj: vlastní]

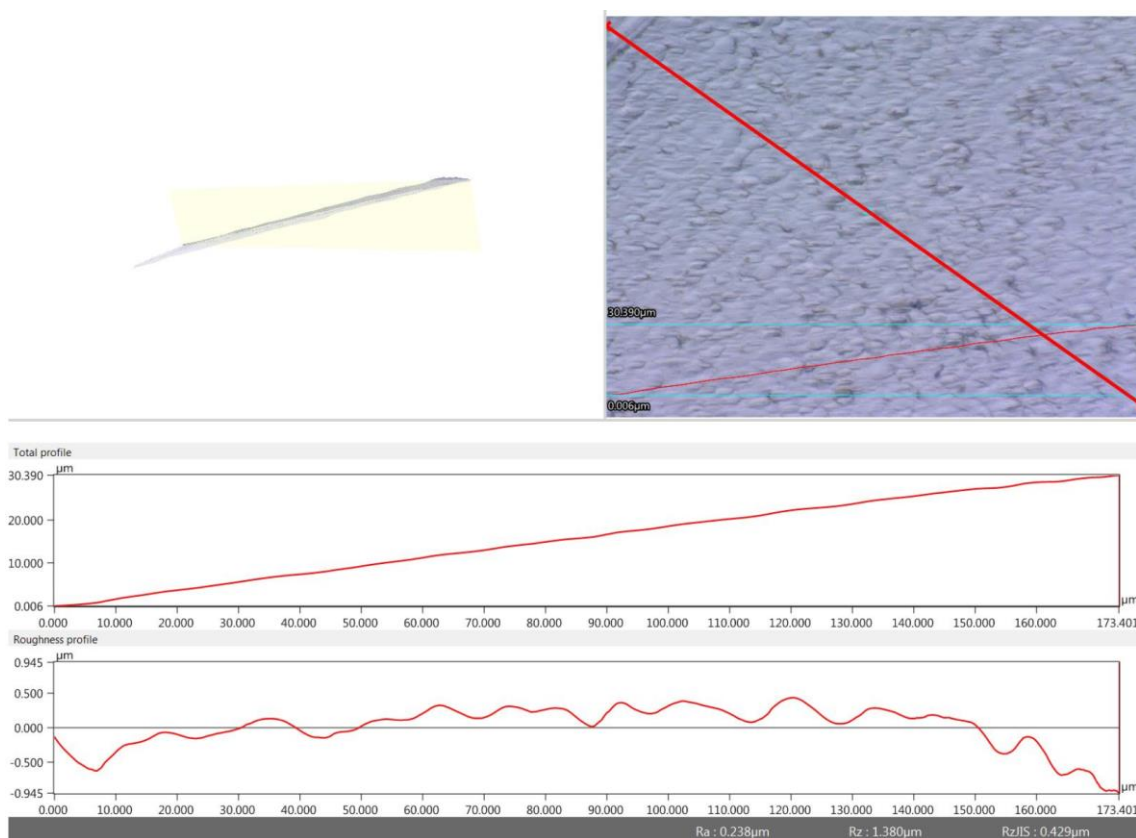
Proces měření zvolenou metodou probíhala v souladu s normou ČSN EN ISO 4287 – *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. [18] V rámci testování byl použit objektiv se zvětšením 2500×.

Samotné nastavení snímání vzorků bylo obtížné z důvodu kulového tvaru měřené plochy a nutností manuálního posunu objektivu nad střed (vrchol) kulové plochy, kde bylo neoptimálnější snímání povrchu vzorku provádět.

V rámci samotného testování byly u jednotlivých vzorků vyhodnoceny následující parametry: Rz nejvyšší výška profilu, Ra průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu a desetibodová střední drsnost RzJIS, která se vypočítá z následujícího vzorce (2).

$$RzJIS = \frac{|Zp1 + Zp2 + Zp3 + Zp4 + Zp5| + |Zv1 + Zv2 + Zv3 + Zv4 + Zv5|}{5} \quad (2)$$

Jedná se o součet absolutní průměrné výšky pěti nejvyšších vrcholů profilu (Zp) a absolutní průměrné hloubky pěti nejhlubších prohlubní profilu drsnosti (Zv). Ukázku snímku z průběhu vyhodnocení lze vidět na obrázku 24.



Obrázek 24 – Ukázka výstupu mikroskopu VHX-6000 [zdroj: vlastní]

V rámci školního proměření bylo provedeno pět měření na každém vzorku. Z těchto naměřených hodnot byly vypočteny aritmetické průměry, aby naměřené hodnoty bylo možné porovnat s hodnotami získanými po výrobě. Naměřené hodnoty drsnosti Rz firmou THK Rhythm Automotive Czech, a.s., jsou zaznamenány v tabulce 1. Jsou rozděleny do čtyř skupin, kde jsou pro přehlednost barevně odlišeny. Vzorky z výroby byly vybrány úmyslně v růstu hodnot Rz, aby byla obsazena co největší škála drsnosti, pro následné vyhodnocování vlivu drsnosti na kloubové momenty.

Tabulka 1 – Naměřené hodnoty drsnosti Rz po výrobě

Číslo vzorku	Nový nástroj a rolování [μm]	Opotřebený nástroj a rolování [μm]	Maximální povolené Rz [μm]	Pouze řezný nástroj (bez rolování) [μm]
1	0,52	1,35	2,74	4,6
2	0,52	1,38	2,77	4,63
3	0,53	1,4	2,79	4,72
4	0,54	1,42	2,9	4,8
5	0,57	1,43	2,93	4,88
6	0,61	1,44	2,94	4,89
7	0,66	1,46	2,99	5,13
8	0,73	1,52	3,07	5,21
9			3,13	

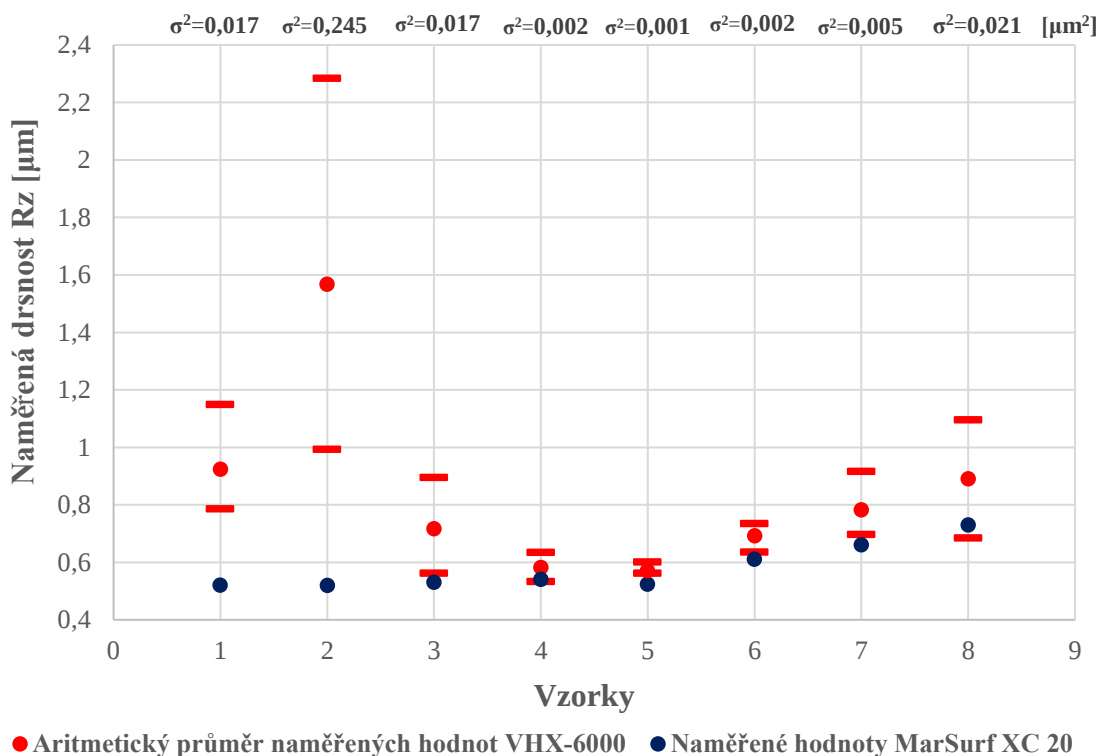
Zdroj: (THK) Zpracování: (vlastní)

Na grafu 1 a 4 lze vidět porovnání hodnot drsností Rz ze dvou různých měření. Jsou zde porovnány červeně hodnoty z vlastního proměření získané za pomoci digitálního optického mikroskopu VHX-6000. Tmavomodře jsou zaznamenány výsledky získané z výroby od firmy THK Rhythm Automotive Czech, a.s., prostřednictvím dotykové metody zařízením pro měření kontury MarSurf XC 20.

Provedené porovnání naměřených hodnot ukazuje, jaké rozdíly vznikají při měření odlišnými metodami a slouží pro ověření hodnot drsností Rz na zkoumaných vzorcích. Pro následné výpočty vlivu drsnosti Rz na kloubové momenty je primární měření od firmy THK Rhythm Automotive Czech, a.s.

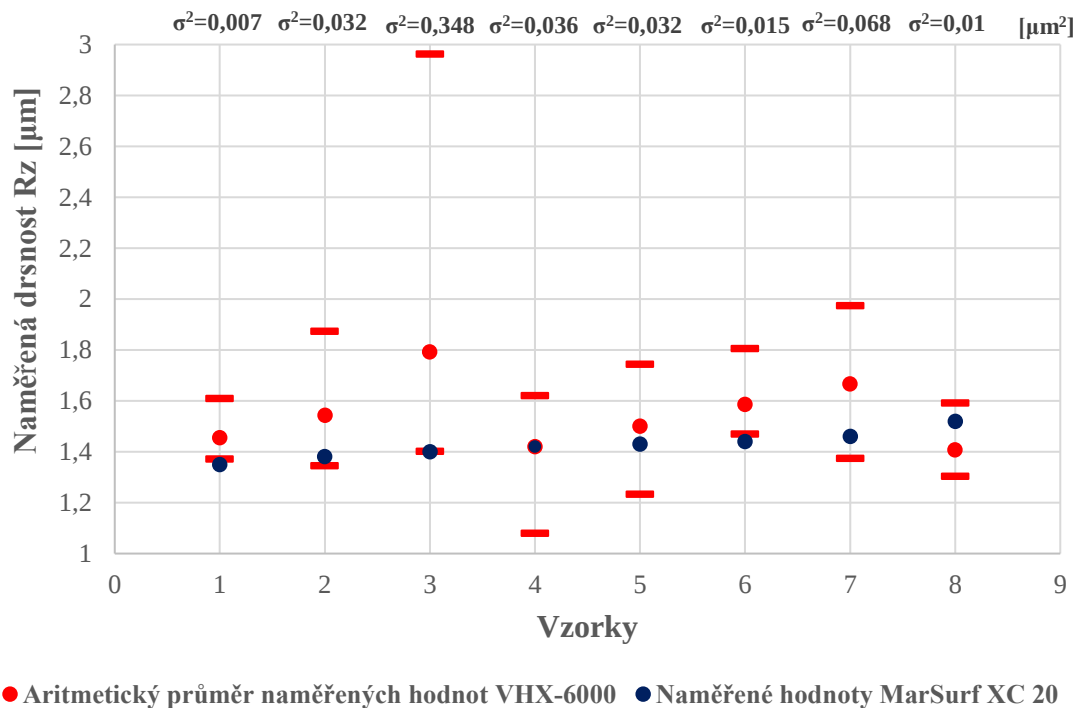
Rozptyl (σ^2) uvedený v horní části grafu je vypočítán z dat naměřených digitálním optickým mikroskopem VHX-6000 a určuje, jak přesné bylo měření daných vzorků. Červené přímky u jednotlivých vzorků představují vždy minimální a maximální naměřené hodnoty.

Nový nástroj a rolování

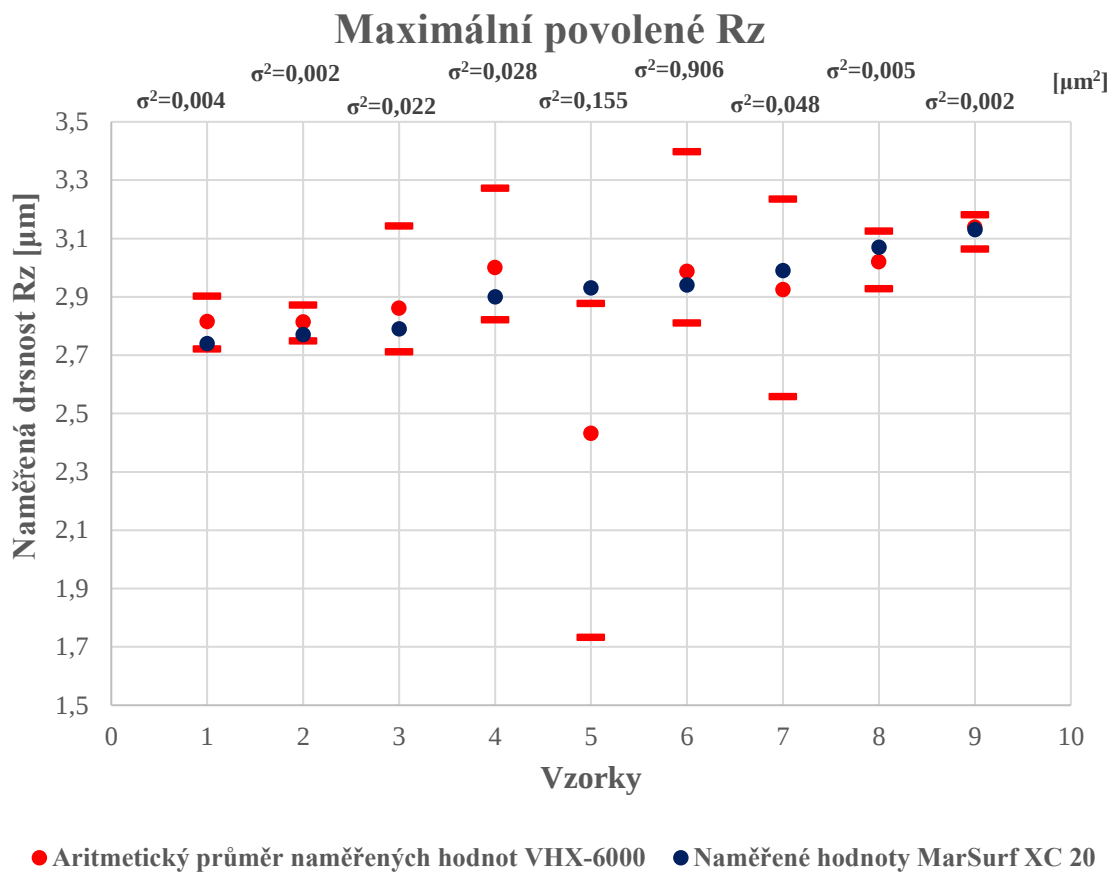


Graf 1: Porovnání naměřených drsností Rz vzorků z první skupiny [zdroj: vlastní]

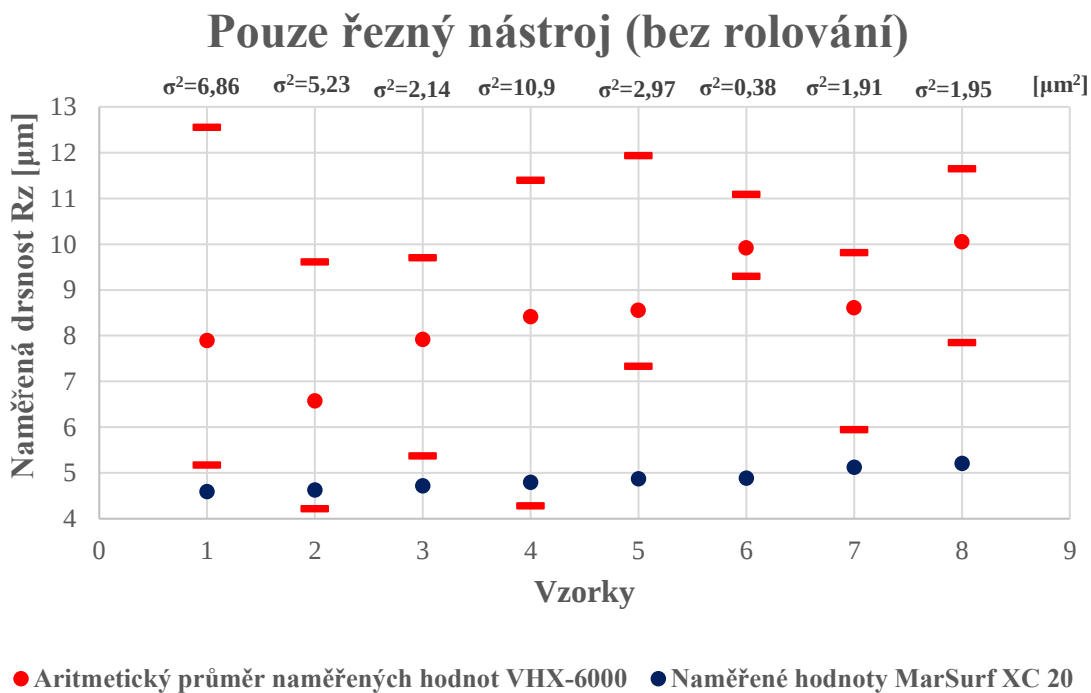
Opotřebený nástroj a rolování



Graf 2: Porovnání naměřených drsností Rz vzorků z druhé skupiny [zdroj: vlastní]



Graf 3: Porovnání naměřených drsnosti Rz vzorků z třetí skupiny [zdroj: vlastní]



Graf 4: Porovnání naměřených drsnosti Rz vzorků z čtvrté skupiny [zdroj: vlastní]

4.4 Testovací zařízení a průběh testů

Experimentální testy byly realizovány v testovacích laboratořích firmy THK Rhythm Automotive Czech, a.s., v Dačicích. Byly to testy, kterými jsou obvykle všechny podobné zakázky kontrolovány. Vzorky byly zkoušeny na dvou testovacích zařízeních.

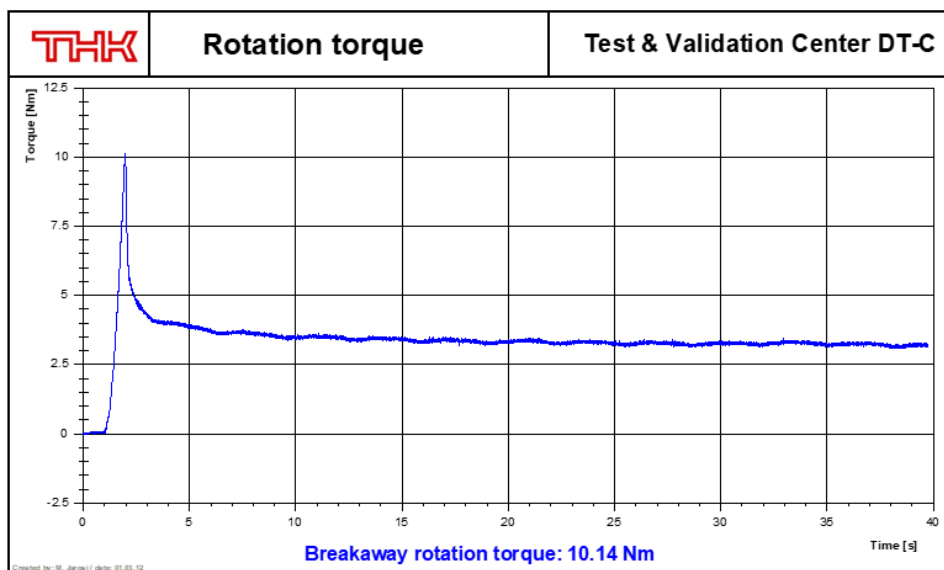
Jedním ze dvou testovacích strojů byl přístroj Rexroth Syeanl A140, jehož dodavatelem je společnost Bosch Rexroth. Toto testovací zařízení je vybaveno softwarem Ceaser. Tímto strojem lze s vysokou přesností měřit výkyvný, rotační a utrhávací moment. V neposlední řadě s ním lze provádět i univerzální měření krouticího momentu, a to do hodnot maximálního krouticího momentu 20 Nm a maximálního předpětí 5 kN.



Obrázek 25 - Rexroth Syeanl A140 [zdroj: od firmy THK Rhythm Automotive Czech, a.s.]

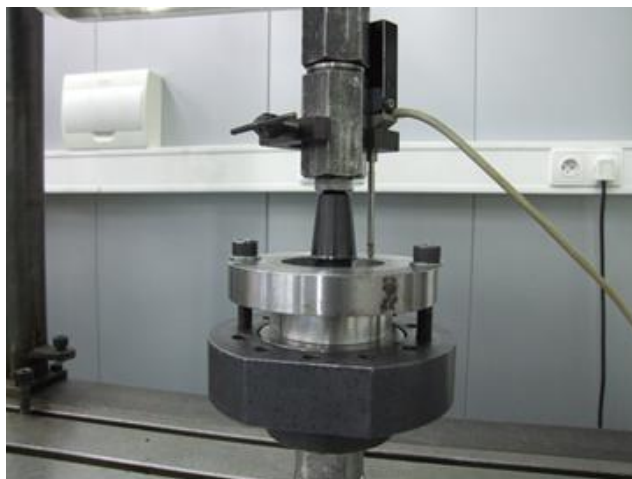
Na testovacím zařízení Rexroth Syeanl A140 probíhala zkouška kloubových momentů v horizontální poloze. Testovaný vzorek byl pevně upnut do zařízení za pouzdro kloubu. Poté se čep s koulí vychýlil o 30° od horizontální polohy. Vyhodnocovány byly kloubové a utrhávací výkyvné momenty.

Názorný příklad výsledku zkoušky utrhávacího výkyvného momentu lze vidět na obrázku 26, kde je na vodorovné ose vynesena čas v sekundách a na svislé ose zjištěné hodnoty utrhávacího výkyvného momentu. Utrhávacím výkyvným momentem se rozumí okamžik, kdy dojde k rozpohybování kloubu a dochází v místě kontaktu k razantnímu snížení statického tření.



Obrázek 26 – Výkyvný moment [zdroj: od firmy THK Rhythm Automotive Czech, a.s.]

Druhým zařízením byl testovací stroj Schenck PSA 0153, jehož dodavatel je Schenck Process s.r.o., což je německý koncern, jehož historie sahá až do roku 1881. Jeho systém využívá software Inova. Základní účel zařízení je měření axiální a radiální pružnosti. Stroj umožňuje maximální zatížení 25 kN.

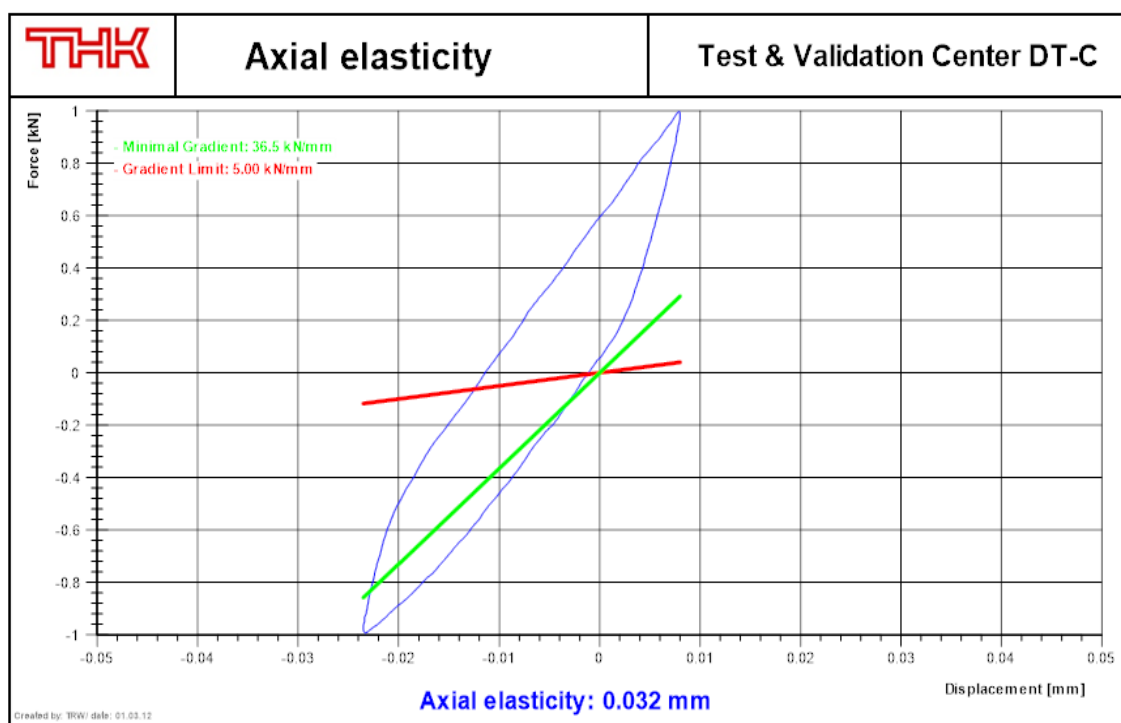


Obrázek 22 a 23 - Schenck PSA 0153 (vlevo) a detail na testovací prostor zařízení (vpravo)

[zdroj: od firmy THK Rhythm Automotive Czech a.s.]

Zkouška axiální pružnosti probíhala ve vertikální poloze na testovacím zařízení tak, že nejprve se vzorek upnul za konec pouzdra do přípravku a čep se sevřel do aktuátoru. Následně zatěžovací síla ± 3 kN působí v ose čepu s koulí. Růst zatížení je 500 N/s.

Vzorový příklad zkoušky axiální pružnosti se nalézá na obrázku 24. Je zde na horizontální osu vynesena síla v kN a posun na vertikální osu. Naměřená data jsou zobrazena modrou křivkou. Červená přímka vyznačuje limit gradientu, což je minimální stoupání výsledné (zelené) křivky a je stanoven buď specifickým výpočtem nebo je zadán zákazníkem. Pro stanovení zelené křivky se ve firmě THK Rhythm Automotive Czech, a.s. používá skript, který je založen na derivacích. Hledá se nejmenší stoupání či sklon v celém průběhu naměřené křivky, vyjma 20 % od vrcholu, kdy stroj brzdí. Tato křivka minimálního gradientu musí být větší než limit gradientu (pokud je stanoven). Z tohoto příkladu vidíme, že test proběhl v pořádku a axiální pružnost byla 0,032 mm. V tomto případě je minimální gradient 36,5 a splňuje limit 5 kN/mm.



Obrázek 24 – Axiální pružnost [zdroj: od firmy THK Rhythm Automotive Czech, a.s.]

4.5 Vliv drsnosti koule čepu na funkční vlastnosti

Při testování bylo provedeno měření funkčních hodnot, a to výkyvného momentu (MK), utrhávacího výkyvného momentu (MKL) a axiální pružnosti (EA) nebo axiálního gradientu (GradAE). Zkoušky podléhaly zadaným parametrům a limitům, které jsou uvedeny v tabulce 2. Pro první dva testy (MK) a (MKL) se využívaly momentové parametry a při zbylých byla parametrem zatěžovací síla. Neúspěšnost testu se hodnotila podle horních a dolních limitů.

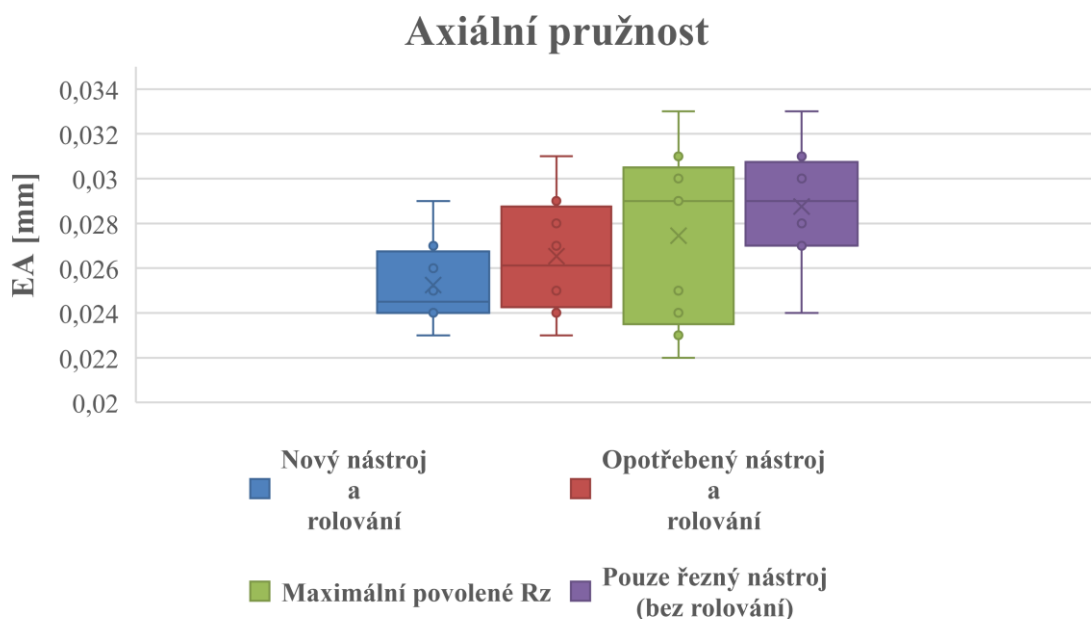
Tabulka 2 – Vlastnosti testů

Test:		MK	MKL	EA	GradEA
Parametry:		30 %/s		$\pm 3\text{ kN}$	
Limits:	Dolní	0.5 Nm	–	–	–
	Horní	6 Nm	13 Nm	0,06 mm	–

Zdroj: (THK) Zpracování: (vlastní)

Naměřené zkouškové hodnoty byly porovnávány mezi čtyřmi skupinami vzorků uvedenými v podkapitole 4.1. Všechny hodnocené aspekty měření se nachází v následujících grafech a tabulkách.

Zkouška pružnosti spočívá v tom, že se sleduje, o kolik se posune čep při zatížení $\pm 3\text{ kN}$. Pružnost (AE) je nejdůležitější vlastnost pro hodnocení správnosti sestavených axiálních kloubů. Podle naměřených hodnot, které jsou zachyceny na grafu 5 lze konstatovat, že sestavení komponent proběhlo v pořádku. Hodnoty testů axiální pružnosti (AE) se vyskytovaly u všech testovaných skupin v rozmezí od 0,022 do 0,033 mm, kdy nepřesáhly horní limit 0,06 mm.



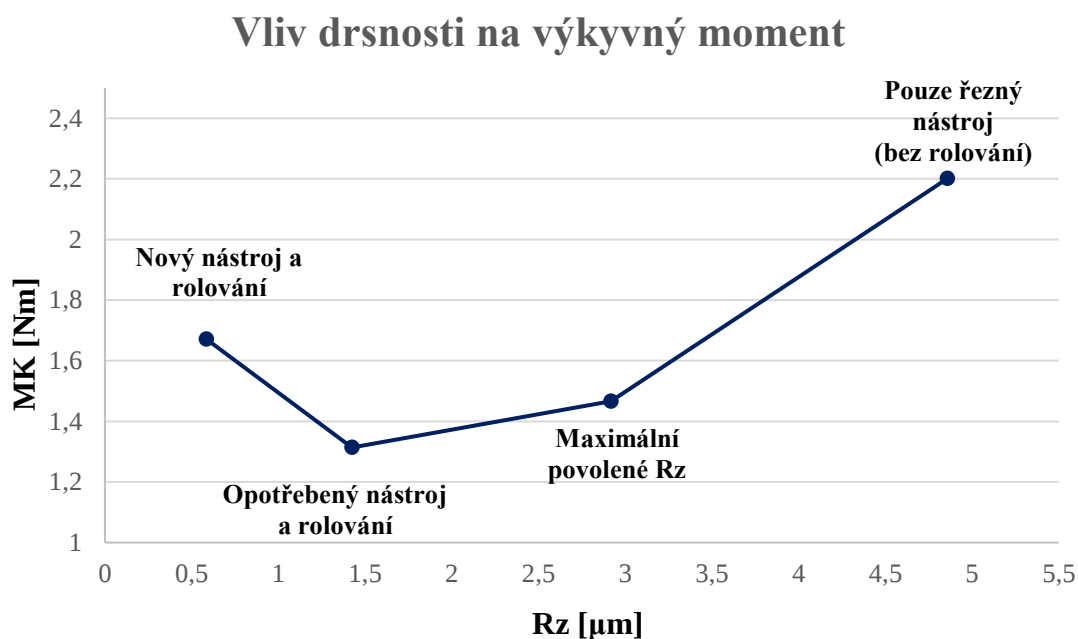
Graf 5 – Axiální pružnost [zdroj dat: THK Rhythm Automotive Czech, a.s.; zpracování: vlastní]

Tento test je z hlediska praxe tohoto konkrétního výrobního závodu nejdůležitější. U zbylých zkoušek (MK, MKL a GradAE) jsou kontrolovány pouze limity naměřených hodnot a nepřinášejí okamžité zásadní výsledky, ale při zkoumání závislosti na drsnost Rz jsou potřebné.

4.5.1 Vliv drsnosti na kloubové momenty

Závislost drsnosti povrchu koule zkoumaných vzorků na výkyvné kloubové momenty je zobrazená v následujících grafech 6 a 7. Čím je nižší hodnota na ose x, tím menší je výkyvný kloubový moment. Předpokládalo se proto, že čím bude koule hladší a tedy i, mít nižší drsnost, tím nižší budou naměřeny i výkyvné kloubové momenty. Jak je ale patrné z grafu, tomu jevu ve skutečnosti překvapivě nedošlo. Nejlepší výsledky měření totiž zaznamenala druhá skupina vzorků s optimální jakostí povrchu. Na grafu 6 je začátek křivky ovlivněn velkým působením adheze, která navyšuje hodnoty momentů. Při hodnotách drsnosti Rz kolem 1,5 do 2 mikrometrů bylo dosaženo nejnižší momenty. Dále křivka závislosti opět roste z důvodu zhoršující se drsnosti povrchu koule čepu.

Z toho tedy plyne závěr, že optimální volba drsnosti obrábění koule by měla odpovídat hodnotám drsnosti Rz z druhé skupiny. Vzorky z této skupiny jsou obrobeny klasickým výrobním způsobem a mají hodnoty drsnosti mezi 1 až 2 mikrometry.

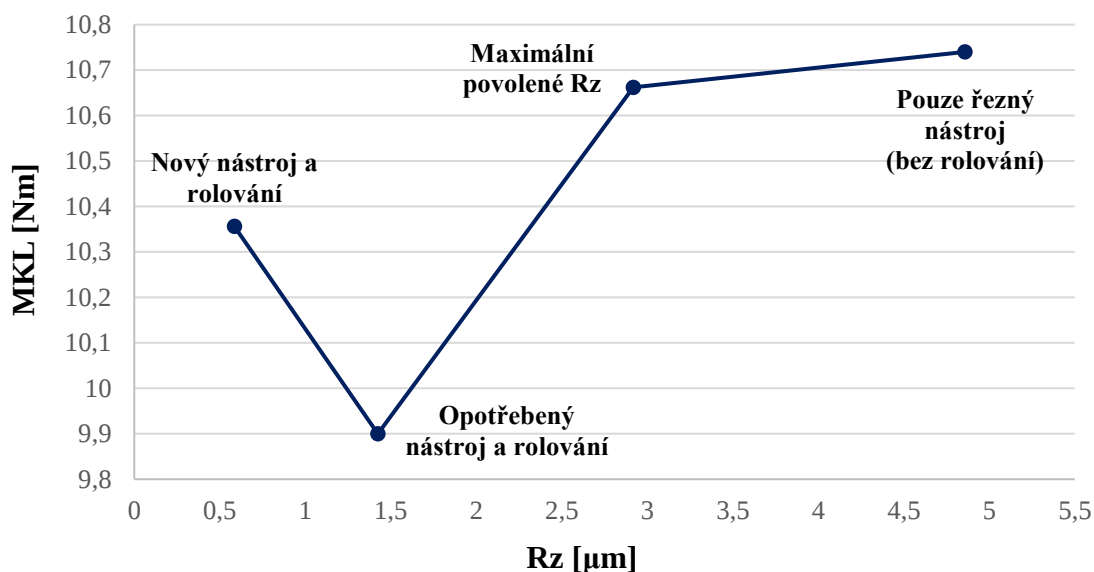


Graf 6 – Vliv drsnosti na výkyvný moment [zdroj dat: THK Rhythm Automotive Czech a.s.; zpracování: vlastní]

Podobný výsledek měření je vidět také na grafu 7, kde je zachycena závislost drsnosti na utrhávacím výkyvném momentu. Křivka závislosti začíná nejprve klesat až do oblasti drsnosti Rz kolem 1,5 mikrometrů, kde posléze s narůstající drsností opět začala strmě stoupat, a pak přešla do pozvolného růstu. Stejně jako u grafu 6 lze konstatovat, že příliš nízká nebo vysoká drsnost není optimální. I při tomto zkoumání ideální drsnost

povrchu vykazují vzorky z druhé skupiny. Za konečné povšimnutí také stojí naměřené výsledky u vzorků zařazených do třetí skupiny. V této skupině se sice nacházejí vzorky opracované na obvykle povolenou horní hranici drsnosti Rz, ale jak je patrné z grafu, tyto hodnoty už znatelně ovlivňují utrhávací výkyvný moment kloubu a přibližují se tak k limitním hodnotám.

Vliv drsnosti na utrhávací výkyvný moment



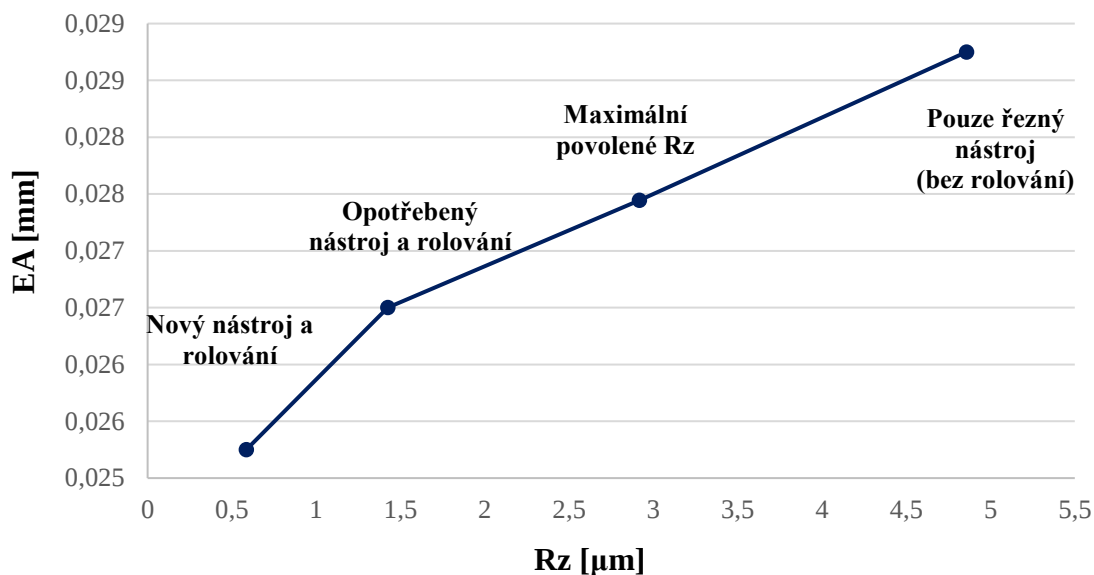
Graf 7 – Vliv drsnosti na utrhávací výkyvný moment [zdroj dat: THK Rhythm Automotive Czech, a.s.; zpracování: vlastní]

Při zkoušce utrhávacího výkyvného momentu se nadlimitní hodnoty vyskytly, ale to pouze u jednoho vzorku v každé ze čtyř testovaných skupin. Šlo o překročení stanoveného horního limitu 13 Nm. Tyto neoptimální hodnoty však nebyly nikterak velké, jelikož maximální výše odchylky dosáhla 2,2 Nm. V klasických firemních postupech by pravděpodobně došlo k vyřazení těchto vzorků z důvodů předepsaných požadavků od zákazníka. Pro účely této práce jsou však zanedbatelné a nemají vliv na správnost získaných výsledků.

4.5.2 Vliv drsnosti na pružnost

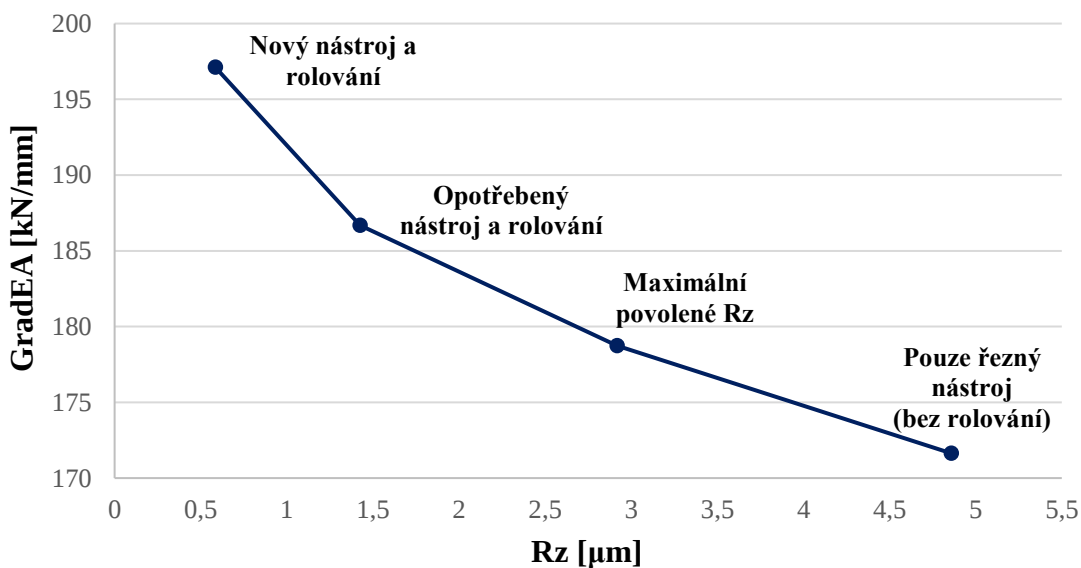
Dalším zkoumaným faktorem byl vliv jakosti povrchu čepu na axiální pružnost (elasticitu) kloubu. Při zkoušce pružnosti se získávají hodnoty o pohybu koule v kloubu. Pružnost je v grafu 8 vynesena na svislé ose a měří se v milimetrech. Síla, kterou musí vygenerovat testovací zařízení, aby se čep s koulí pohnul v ložisku, je takzvaný axiální gradient. Jeho hodnoty jsou zaznamenány v grafu 6 na svislé ose a uvádí se v kN/mm.

Vliv drsnosti na axiální pružnost



Graf 8 – Vliv drsnosti na axiální pružnost [zdroj dat: THK Rhythm Automotive Czech a.s.; zpracování: vlastní]

Vliv drsnosti na axiální gradient



Graf 9 – Vliv drsnosti na axiální gradient [zdroj dat: THK Rhythm Automotive Czech, a.s.; zpracování: vlastní]

Hodnoty naměřené při těchto testech vykazují, že čím je větší drsnost povrchu koule, tím více roste pružnost axiálního kloubu. Naopak je tomu u axiálního gradientu. Zde s rostoucí jakostí povrchu koule se snižuje hodnota gradientu. (graf 9).

5 Diskuze

První oblastí, kterou je třeba na základě provedení praktické části této práce diskutovat je měření drsnosti R_z u jednotlivých vzorků. Provedené měření ve školní laboratoři totiž přineslo rozdílné výsledky v porovnání s měřením provedeným firmou THK Rhythm Automotive Czech, a.s., což ilustrují grafy 1 až 4 v kapitole 4.3.

Odlišnost dat měření mohlo být zapříčiněno rozdílnou volbou techniky mezi firemním a školním měřením, kdy pro školní měření byla využita bezdotyková metoda a pro firemní dotyková metoda měření drsnosti povrchu. V rámci školního proměření mohl také nastat problém při již zmiňovaném obtížném měření na poloměru koule. K dalším možným nesrovnalostem u školního proměření mohlo dojít vlivem nezkušenosti autora a současně poměrně obtížné technice měření drsností povrchu digitálním mikroskopem. Dále se domnívám, že k největším odchylkám u poslední (čtvrté) skupiny vzorků došlo kvůli volbě obrábění, kde u měřených vzorků nedošlo k rolování při opracování povrchu.

Z tohoto důvodu bych do budoucna doporučil zvážit pro příští školní proměření volby jiné metody, a to například kontaktní (dotykové) měření. Konkrétně by mohl být vhodný snímač na měření konkávních a konvexních ploch.

Dále je potřeba detailněji interpretovat výsledky z momentových zkoušek. U vlivu drsnosti na kloubové momenty, konkrétně u výkyvného a utrhávacího výkyvného momentu, došlo k naměření neočekávaných hodnot. Nejvhodnější volba jakosti povrchu nebyla ta nejnižší, což se předpokládalo, nýbrž ty s hodnotou drsnosti R_z mezi 1 až 2 μm , což ilustrovaly výsledky měření naměřené u vzorků ze druhé skupiny. Pravděpodobně za vyšší hodnotu momentu u první skupiny vzorků může působení adheze. U třetí a čtvrté skupiny dochází k předpokládanému průběhu křivky vlivu drsnosti R_z na kloubové momenty, a to k takovému, že pokud roste hodnota drsnosti, roste i hodnota kloubových momentů.

Poslední zkoumanou oblastí byl vliv jakosti povrchu čepu na axiální pružnost (elasticitu) kloubu. Zde provedené měření ukázalo, že čím je větší drsnost R_z , tím je větší elasticita, a to znamená menší GradAE, což může být zapříčiněno případnou přilnavostí ocelové koule k plastovému ložisku. Z důvodu nízké drsnosti povrchu koule může docházet k tomu, že se mazací médium nerovnoměrně rozprostře a neplní svoji roli

správně. Tím se stane povrch příliš hladký a médium se nemá kde zachytit. Naopak při vyšší drsnosti se na povrchu koule nachází drobné výstupky, které mohou napomáhat k rovnoměrnějšímu rozprostírání mazacího média, a tedy k lepšímu uvolnění koule při axiálním měření. Dále se na výsledné hodnoty může projevit i vliv rychlosti uvolnění kloubu.

Závěr

Tato bakalářská práce se věnovala problematice související se zkoumáním jakosti povrchu u vnitřního kloubu v systému řízení dopravních vozidel. V teoretické části bylo pojednáno o různých způsobech měření drsnosti povrchu, o tribologii a obecně o kontaktech povrchů těles a jejich vzájemného působení proti sobě.

Praktická část této práce se nejdříve zabývala představením zkoumaného produktu, kterým byl axiální kloub a jeho sestavením. Následně byla řešena metodika měření drsnosti povrchu u axiálního čepu kloubu a porovnání měření firmy THK Rhythm Automotive Czech, a.s. a školního měření provedeného autorem této práce, které provedl osobně. Na tuto část práce poté navázalo představení základních informací o způsobech testování a použitých a zařízeních. Následovalo získání výsledků měření vzorků, které bylo nezbytné pro vyhodnocení různých vlivů drsnosti na kloubové momenty, jejich parametry byly zadány ze strany společnosti THK Rhythm Automotive Czech, a.s. Součástí výsledků této práce bylo rovněž zjištění vlivu drsnosti na pružnost vnitřního kloubu řízení. Lze tedy konstatovat, že předkládaná bakalářská práce splnila všechny body zadání.

Zásadním přínosem této bakalářské práce je to, že poskytla informace zástupcům firmy THK Rhythm Automotive Czech, a.s., o vlivu drsnosti na kloubové momenty, kterými si chtěli ověřit svoje výrobní postupy. Doporučení autora opírající se o provedená měření a analýzu výsledků je, aby firma obráběla axiální čep na hodnotu drsnosti v rozmezí 1,5 až 2 mikrometry. Bakalářská práce dále odhalila jisté nedostatky u školního měření, kdy se naměřené hodnoty ne zcela shodovaly s naměřenými hodnotami firmou po výrobě.

Dalším možným pokračováním a doplněním této bakalářské práce by mohla být analýza faktorů ovlivňujících životnost vnitřních kloubů řízení, kdy by se provedly, porovnaly a vyhodnotily testy životnosti. Domnívám se, že výsledky takové práce by byly pro firmu také velmi přínosné a mohly by přinést řadu inovativních řešení a možností pro zlepšení technologických postupů výroby.

Osobní přínos plynoucí ze zpracování této práce spatřuji zejména v tom, že jsem měl možnost seznámit se detailněji s poznatky týkajícími se jakosti povrchu, s metodami a přístroji pro vyhodnocování drsností, a získal vědomosti spjaté s kompletním sestavením a funkčními vlastnostmi vnitřního kloubu řízení. V neposlední řadě oceňuji i možnost propojení tématu mé bakalářské práce možnostmi praktického poznání výrobních procesů reálné firmy úspěšně působící na českém trhu.

Seznam použité literatury

- [1] THK RHYTHM AUTOMOTIVE CZECH, a.s.: O NÁS [online]. Dačice [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <http://thkdacice.cz/>
- [2] KOVAŘÍKOVÁ, Ingrid, Beáta SZEWCZYKOVÁ, Pavel BLAŠKOVITŠ, Erika HODÚLOVÁ a Emil LECHOVIČ. STUDY AND CHARACTERISTIC OF ABRASIVE WEAR MECHANISMS [online]. Trnava, Slovak Republic [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: https://www.mtf.stuba.sk/buxus/docs/internetovy_casopis/2009/1/kovarikova.pdf. Institute of Production Technologies, Faculty of Materials Science and Technology.
- [3] HELEBRANDT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. Technická diagnostika a spolehlivost I. Tribodiagnostika. 2000. Ostrava. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
- [4] KLEČKA, Vojtěch. Vliv olejových aditiv na tribologické vlastnosti DLC povlaků [online]. Praha, 2015 [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/63545/F2-BP-2015-Klecka-Vojtech-Bakalarska%20prace.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Ladislav Cvrček, Ph.D.
- [5] POŠTA, J. - VESELÝ, P. - DVOŘÁK, M.: Degradace strojních součástí. [Monografie]. Praha, ČZU, 2002, 67 s., ISBN 80-213-0967-9
- [6] ČTVERÁČEK, M. Testování motorových olejů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Maršálek.
- [7] LESÁK, T. Moderní kluzná ložiska. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Maršálek.
- [8] A. JABBARZADEH,. Tribological Properties of Interfacial Molecular Films [online]. Australia, 2018 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.13128-2>. The University of Sydney.
- [9] ŠŇUPÁREK, Petr a Martin MAREK. Technická dokumentace: Drsnost povrchu [online]. 15 [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/td/01-textyVSB/005_Drsnost%20povrchu.pdf
- [10] SVOBODA, P, J, BRANDEJS a J. DVOŘÁČEK. Základy konstruování. 6. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2015, 230 s. ISBN 978-80-7204-921-9.
- [11] BUMBÁLEK, Bohumil; ODVODY, Vladimír; OŠŤÁDAL, Bohuslav. Drsnost povrchu. Praha: SNTL -Nakladatelství technické literatury, 1989. 338 s
- [12] KEHLER, Roman. Měření drsnosti povrchů [online]. České Budějovice, 2014 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: https://theses.cz/id/nf4w4l/BP-_men_drsnosti_povrch_-_Kehler_Roman.pdf. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce RNDr. Pavel Kříž, Ph.D.
- [13] Měření drsnosti: Profily povrchu a parametry profilu povrchu. M & B Calibr, spol. s r.o. [online]. [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://www.mbcaltbr.cz/mereni-drsnosti.html>

- [14] Dotykové, nebo bezdotykové měření struktury povrchu?: Výroba a technologie. MM Průmyslové spektrum [online]. Praha, 15. 06. 2005, (6) [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/dotykové-nebo-bezdotykové-měření-struktury-povrchu>
- [15] Advanced Measurement Performance. Olympus Corporation [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://www.olympus-ims.com/en/metrology/ols4000/>
- [16] ACCRETECH: Přístroje pro měření povrchu [online]. Mnichov, 2019 [cit. 2021-7-2]. Dostupné z: <https://www.accretech.eu/cs/produkty/prumyslova-merici-technika/mierniki-powierzchni/surfcom-nex-001/>
- [17] MONTÁŽNÍ LINKY VNITŘNÍCH (IBJ) KLOUBŮ. LANBI – Customized solutions for ball joints [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <http://www.lanbi.com/cs/portfolio/montazni-linky-vnitrnich-ibj-kloubu/>
- [18] ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu. Praha. Český normalizační institut, březen 1999.