



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

**NÁVRH UPÍNACÍHO PŘÍPRAVKU PRO MĚŘENÍ TŘENÍ A
OPOTŘEBENÍ V RECIPROČNÍM MODULU TRIBOMETRU**

DESIGN OF RECIPROCAL MODULE FIXTURE FOR WEAR AND FRICTION MEASUREMENTS IN
TRIBOMETER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Zeman

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kryštof Dočkal

BRNO 2020

Zadaní bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: **Petr Zeman**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Kryštof Dočkal**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh upínacího přípravku pro měření tření a opotřebení v recipročním modulu tribometru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Důležitým krokem přípravy pro měření tření a opotřebení na zařízení Bruker TriboLab je fixace vzorků jejichž rozměry se často liší kus od kusu. Výrobce neposkytuje vyhovující řešení které by umožnilo upínat vzorky při testech a zároveň nabízelo kompenzaci proměnlivé geometrie jednotlivých vzorků. V současnosti je upnutí řešené sadou podložek, což je zdlouhavé. Nový přípravek by měl zkrátit upínací čas na přijatelnou dobu max. 10 min., zlepšit ovladatelnost zařízení a opakovatelnost upnutí.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem práce je návrh více konceptů upínacího přípravku na základě komerčně dostupných řešení a jejich následná optimalizace pro zařízení Bruker TriboLab s výstupem v podobě modelu a výrobní dokumentace.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- identifikovat provozní parametry při kterých bude přípravek používán,
- návrh mechanismu kompenzace rozdílné geometrie vzorků,
- návrh zásobníku oleje,
- návrh vyhřívání vzorku.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení, digitální data.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukoncení/>

Seznam doporučené literatury:

STACHOWIAK, Gwidon W. a Andrew BATCHELOR. Engineering tribology. 3rd ed. Boston: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. ISBN 978-0-7506-7836-0.

KIM, Jong-Su, Hongseok YOUN a Bongchul KANG. Ultra-precision 3 DOF tilting stage for workpiece setup of scalable micro-pattern machining. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing [online]. 2017, 18(8), 1103-1109 [cit. 2019-10-29]. DOI: 10.1007/s12541-017-0129-x. ISSN 2234-7593. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12541-017-0129-x>.

ASTM G133-05. Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear. West Conshohocken: ASTM International, 2016.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce řeší návrh upínacího přípravku pro upínání plošných vzorků do recipročního modulu tribometru. Upínač je konstruován pro kompenzaci tvarových odchylek vzorků naklápěním ve dvou osách v malém rozsahu. Cíl byl naplněn, mechanismus naklápění je vyřešen rotací kulové plochy. Přípravek je dostatečně tuhý a bylo dosaženo lepší ovladatelnosti a opakovatelnosti upnutí. Práce obsahuje přehled komerčně dostupných metod upnutí, jejich zhodnocení a popis konstrukce vlastního přípravku, který zjednodušuje upnutí rozdílně velkých vzorků do recipročního modulu tribometru UMT TriboLab.

KLÍČOVÁ SLOVA

naklápěcí upínač, tribometr, reciproční modul, návrh přípravku

ABSTRACT

The thesis deals with design of a clamping fixture for fastening surface samples for the reciprocating drive of the tribometer. The fixture is designed to compensate for shape deviations of the samples by tilting in two axes in a small range. The objective has been fulfilled, the tilting mechanism is achieved by rotating the spherical surface. The fixture is sufficiently rigid. It has been achieved of better user experience and repeatability of clamping. The paper contains an overview of commercially available clamping methods, their evaluation and description of the construction of the newly designed device, which simplifies the clamping of uniquely shaped samples for the reciprocating drive of the UMT TriboLab tribometer.

KEYWORDS

tilting fixture, tribometer, reciprocating drive, design of fixture

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZEMAN, Petr. *Návrh upínacího přípravku pro měření tření a opotřebení v recipročním modulu tribometru*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129759>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Ing. Kryštof Dočkal.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Kryštofu Dočkalovi za odborné vedení mé práce, cenné rady a připomínky při konzultacích. Dále děkuji mé rodině za podporu během celého studia.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Kryštofa Dočkala. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
2.1	UMT TriboLab	14
2.2	Testování na recipročním modulu	15
2.2.1	Ball-on-plate metoda	16
2.2.2	Testování abrazivního opotřebení	16
2.3	Upínací přípravky	17
2.3.1	Otočně sklopný stůl	17
2.3.2	Dvouosý svěrák	17
2.3.3	Uložení na sférických podložkách	18
2.3.4	Kulový kamerový držák	19
2.3.5	Křížový kamerový držák	20
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	21
3.1	Analýza problému	21
3.1.1	Reciproční modul	21
3.2	Specifikace parametrů navrhovaného přípravku	22
4	KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	23
4.1	Upínání na kulové ploše (koncept 1)	23
4.2	Plošina na kulových podložkách (koncept 2)	24
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	25
5.1	Výpočty	27
5.2	Sestavení	29
5.3	Horní deska přípravku – vana	29
5.4	Upnutí vzorku na přípravek	30
6	DISKUZE	31
7	ZÁVĚR	32
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	33
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	34

9.1	Zkratky	34
10	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	35
11	SEZNAM PŘÍLOH	36

1 ÚVOD

Vědní obor tribologie se zabývá procesy ve styku dvou materiálů při jejich vzájemném pohybu. Těmito procesy jsou tření, mazání a opotřebení. Ke studiu těchto procesů se využívá přístroje nazvaného tribometr, který dokáže podle konkrétního provedení zkoumat jak tření materiálů, tak například tloušťku mazacího filmu v kontaktu. Zkoumáním těchto procesů dokážeme získat lepší informace o reálném chování v kontaktu. Cílem je snižování energetických ztrát a prodloužení životnosti součástí, tím dosažení lepší ekonomické situace. Tribologie je rychle se rozvíjející vědou, která si do dnešní doby našla uplatnění téměř v každém moderním průmyslovém odvětví.

Toto téma je řešeno za účelem rozšíření schopností tribometru UMT TriboLab (Bruker) v laboratořích Ústavu konstruování na Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně. Hlavním cílem je zjednodušení procesu upnutí vzorků a tím i zkrácení času přípravy jednotlivých vzorků. Výrobce nenabízí komerčně dostupné řešení, které by řešilo kompenzaci proměnlivé geometrie jednotlivých vzorků. Geometrie vzorků je tímto omezena. Vzorek musí mít dvě paralelní plochy, aby se dal jednoduše upnout v rovině upínací desky a tím zůstala zachována horizontálnost horní testované plochy. Tato rovinnost je důležitá pro dodržení konstantní normálové síly vyvozené osou z na upínaný vzorek. Při nerovnoběžnosti testované plochy s rovinou, v níž reciproční modul osciluje, budeme při měření pozorovat změny ve velikosti normálové zátěžné síly, což je nežádoucí.

V současné době je upnutí vzorků do správné pozice řešené pomocí originálního upínače a do něj vkládanými podložkami různé tloušťky. To je zdlouhavé a časově náročné. Proto se tato práce věnuje návrhu nového jednoúčelového upínače schopného rychle a jednoduše upínat i neparalelní plošné vzorky.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Tribologie je vědní obor zabývající se třením, opotřebením a mazáním při vzájemném styku povrchů v relativním pohybu. Tribologie je poměrně novým pojmem, který široká veřejnost stále nezná. Přestože má tato věda již dlouhou historii, dlouho se nedařilo vědecky vysvětlit její základní mechanismy. Největšího rozvoje se dočkala až technologickým pokrokem vynuceným druhou světovou válkou. [1]

2.1 UMT TriboLab

TriboLab je univerzální systém umožňující měřit tření a opotřebení pevných materiálů a kapalin. Široký záběr použití přístroje je umožněn jeho velkým silovým a rychlostním rozsahem a také řadou výměnných horních i dolních modulů. Tyto moduly lze snadno vyměňovat a vytvořit tak specifické testovací podmínky perfektně simulující reálnou aplikaci. Horními moduly jsou testovací sondy vybavené senzory snímajícími velikost síly a kroutícího momentu, spodní základna může být osazena pohony simulujícími rotační, lineární nebo oscilační pohyb. Uživatelské rozhraní je zajištěno na připojeném počítači. Je jedním z nejrozšířenějších a nejuniverzálnějších tribometrů na trhu.

V následující části této kapitoly se nachází popis testování na samotném recipročním modulu tribometru, poté následuje výčet možností umožňujících polohování součásti v prostoru.

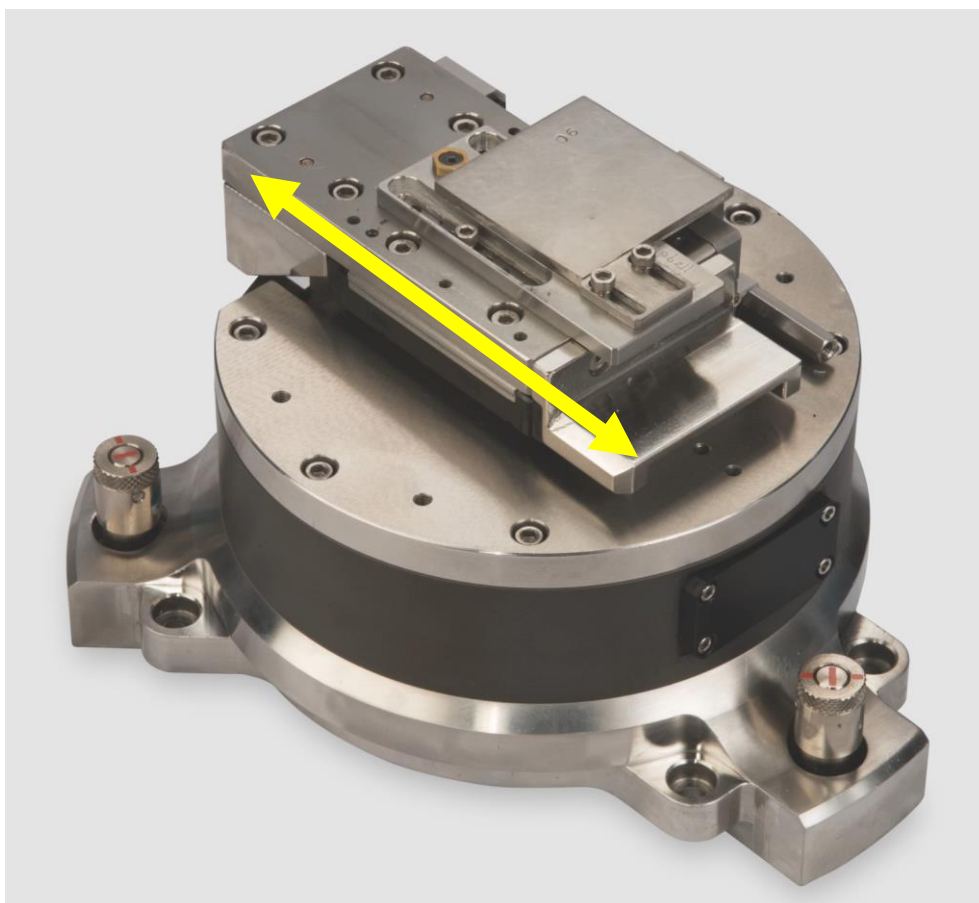


Obr. 2-1 Tribometr UMT TriboLab s jeho čtyřmi výměnnými pohony [2]

2.2 Testování na recipročním modulu

Tento modul je navržen pro simulaci lineárního oscilačního pohybu, je to jeden ze čtyř modulů sestrojených pro tribometr TriboLab. Reciproční modul obsahuje vestavěný LVDT senzor snímající pozici, a stůl obsahující více než dvacet závitových děr, umožňující upnout rozličně velké vzorky. Jediný servomotor pohání stůl se vzorky pomocí řemenu, kladek a spojky. Rotační pohyb hnací hřídele motoru je pomocí spojovací tyče propojené se stolem modulu změněn na pohyb lineární. Zdvih lze nastavit pouze ručně, a to za pomoci stavěcího šroubu měnícího excentricitu spojovací tyče. Modul lze do tribometru umístit velice rychle za použití třech vestavěných rychloupínek, bez nutnosti použití jakéhokoli nářadí. Při tomto spojení je současně připojena veškerá elektronika, senzorika a předána informace o připojeném modulu do řídicí jednotky stroje. [3]

Modul je vhodný pro metodu ball-on-plate, pin-on-plate, a testování abrazivního opotřebení. K tomuto modulu výrobce nabízí několik nadstavbových komor pro simulaci různých podmínek při testování. Jmenovitě je to komora pro teploty do 400 °C, komora pro teploty do 1 000 °C, chladič komora a komora pro úpravu vzdušné vlhkosti.



Obr. 2-2 Reciproční modul pro UMT TriboLab s originálním upínačem, žlutě směr oscilace [2]

2.2.1 Ball-on-plate metoda

Tato metoda je navržena pro simulaci pohybu dvou těles, která se o sebe periodicky třou. Dochází zde k cyklicky se opakujícímu smykovému tření mezi vzorky v relativním přímočarém pohybu tam a zpátky po stejné dráze. Zkoumaný materiál je tvaru válce s kulovým zakončením. Měřenými veličinami jsou objemový úbytek kulového vzorku, deskového vzorku nebo dynamický koeficient tření. [4]

2.2.2 Testování abrazivního opotřebení

Abrazivní opotřebení vzniká kontaktem mezi pevným materiálem a částicí o stejné nebo větší tvrdosti. Jde o úbytek materiálu způsobený pohybem tvrdých částic po jeho povrchu. Tento mechanismus opotřebení dokáže velice rychle degradovat součást a způsobit její zničení. Abraze se dá potlačit použitím tvrdého materiálu nebo použitím tvrdého povlaku na povrchu součásti. [1]

Pro všechny testy je kritické tuhé a stabilní upnutí vzorku, které při spojení s přesným měřením a znalostí problematiky dokáže poskytnout spolehlivé výsledky.

2.3 Upínací přípravky

Pro upnutí dílů, které nejdou uspokojivě upnout ve strojním svěráku, nebo ani za pomoci modulárních upínacích prvků se často vytváří speciální upínací zařízení. Specifický přípravek se vyplatí vyrobit především v sériové výrobě, kde se jeho počáteční cena rozdělí na velké množství produktů, nebo tam, kde pomáhá rapidně zvýšit produktivitu.

2.3.1 Otočně sklopný stůl

Otočně sklopné stoly se používají především v obráběcích centrech jako 4. a 5. osa, kde umožňují tuhé upnutí a obrobení i tvarově náročných obrobků. Z toho také vyplívá jejich vysoká hmotnost a velké zástavbové rozměry. Stoly tohoto typu umožňují naklápění pouze v jedné ose a také se nevyrábějí v dostatečně malém provedení, aby byly použitelné v této aplikaci.

2.3.2 Dvouosý svěrák

Nejběžnější dostupná varianta dvouosého naklápění, dostatečně tuhá, umožňuje dosáhnout velké rozsahy naklápění až 45° v první ose, a 30° v druhé ose. Nastavení úhlu je ale možné pouze manuálním naladěním na dané stupnici. Není také komerčně dostupný v rozumně malém provedení použitelném na daném recipročním modulu.

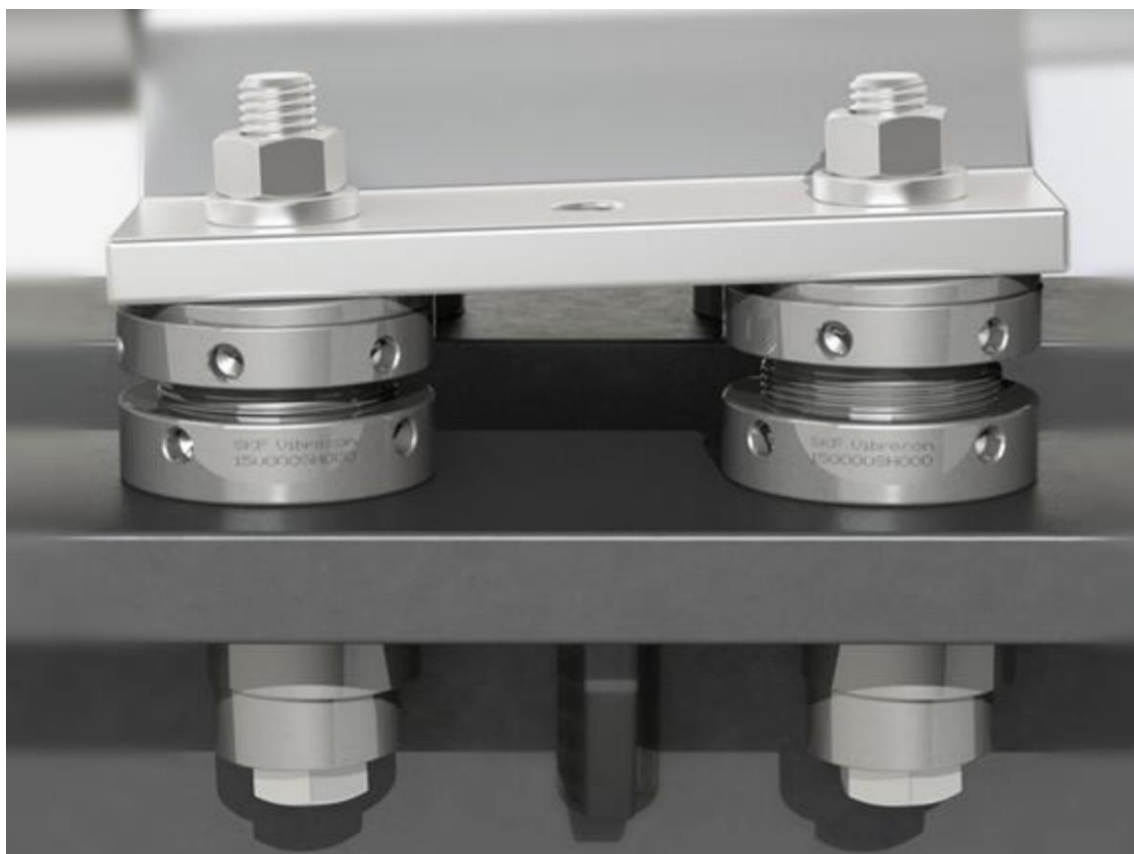


Obr. 2-3 Dvouosý otočný svěrák HOLZMANN IP 125 [5]

2.3.3 Uložení na sférických podložkách

Další možností je vytvoření plošiny uložené na sférických podložkách SKF Vibracon viz následující obrázek. Tyto kulové podložky jsou navrženy pro přesné uložení strojních součástí, kde je třeba vyrovnat nepřesnosti mezi montovanými díly. Umožňují výškové nastavení a současně i vyrovnání nerovnoběžnosti spojovaných ploch až do 4°. Správným nastavením tedy dokážou eliminovat vnitřní pnutí ve spojovaných součástech, které by vzniklo při montáži nedokonale ustavených ploch. Samotné výškové nastavení se provádí pomocí speciálních klíčů, kterými otáčíme vůči sobě spodní a horní polovinu podložky. Ty jsou v sobě zašroubovány. Vyrábí se ve velikostech (pro průchozí metrický šroub) od M12 do M64, přičemž vnější průměr nejmenšího dostupného modelu je 60 mm a jeho výška v rozmezí (30 až 38) mm. [6]

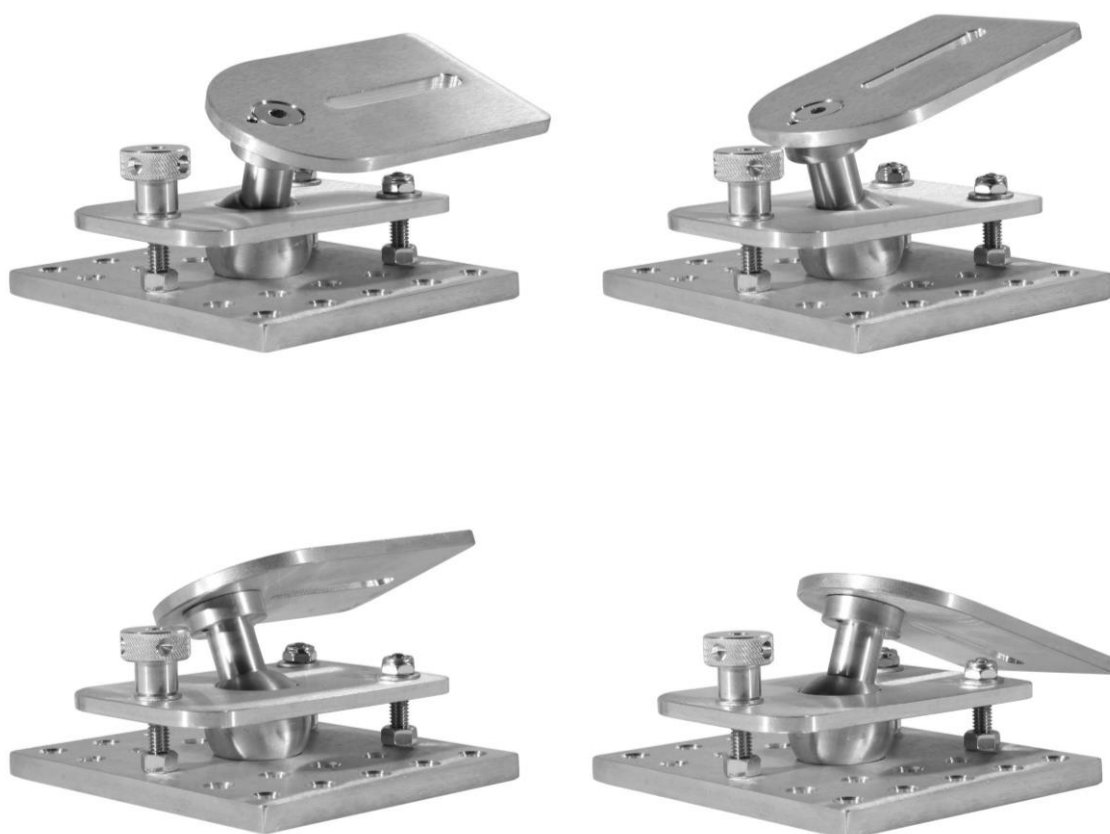
Ke správné funkci je zapotřebí na druhé straně svěrného spojení použít ještě obyčejnou kulovou podložku, která vyrovná úhlové naklonění mezi osou šroubu a druhou deskou způsobené nakloněním samotného Vibraconu. Šroub je tak zatížen pouze tahovou silou.



Obr. 2-4 Plošina uložená na sférických podložkách SKF Vibracon [6]

2.3.4 Kulový kamerový držák

Tento druh držáku je tvořen upínací deskou připojenou na vnější kulovou plochu umožňující nastavení ve třech stupních volnosti. Tvar koule umožňuje její rotaci v libovolném směru. Po ustavení v cílené pozici je kulová plocha sevřena mezi pevnou spodní deskou a horní pohyblivou deskou. Horní deska je spojena s pevnou deskou pomocí tří šroubů, přičemž dva z nich mají pevně nastavenou vzdálenost sevření a fixace se tak docílí pouze dotažením třetího šroubu. Fixace pouze jedním šroubem zajišťuje rychlou aretaci v dané poloze. Držák je vyráběn z precipitačně tvrzené hliníkové slitiny 6061. Výrobce uvádí nosnost až 13 kg.



Obr. 2-5 Vyrovnávací kulový kamerový držák v různých polohách [7]

2.3.5 Křížový kamerový držák

Vedení pohybu v tomto případě zajišťuje kardanův kloub umístěný ve středu výrobku, který dává možnost naklápět horní desku ve dvou navzájem kolmých osách. Přesné nastavení pozice je dosaženo pomocí čtyř šroubů v rozích držáku, vždy dva a dva antagonisticky působící proti sobě. Držák je vyráběn z precipitačně tvrzené hliníkové slitiny 6061, stejně jako kulový držák uvedený výše. V případě zatížení horní desky se síla různě rozkládá mezi kardanův kloub a šrouby, podle jejího umístění a tuhosti horní desky. Při změně zatížení dochází k vymezování vůlí a vibrace také mohou povolovat šrouby. Proto je držák pro aplikaci v tribometru nevhodný i jako koncepční řešení, nehledě na příliš velké rozměry komerčně dostupné verze.



Obr. 2-6 Držák využívající kardanův kloub [8]

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

Vzorky materiálu přicházející do laboratoře k testování není často možné upnout jednoduše a rychle do přístroje. Upnutí předchází úprava geometrie vzorku nebo zdlouhavé vyrovnávání vzorku pomocí sady podložek. Cílem je navržení správného upínače, který bude dostatečně tuhý, umožňující naklápění ve dvou na sobě kolmých osách v relativně malém rozsahu a zároveň dostatečně malý. Přestože výrobce hmotnost zátěže daného modulu explicitně neomezuje, nižší hmotnost je vzhledem k pohybu, který bude upínač konat, výhodou. Těžší přípravek by více namáhal převodové ústrojí modulu.

Z rešerše vyplívá, že se nenabízí vhodné komerčně dostupné řešení polohování vzorků, které by šlo jednoduše upravit pro danou aplikaci. Je potřeba zkombinovat přesné úhlové natočení a po jeho dosažení pevné uchycení bez změny polohy vzorku. Vzorek se upne a pod malým zatížením horní sondy se v daném směru provede testovací měření, při kterém se sledují změny normálové zatěžující síly. Tyto změny reflektují úhel sklonění plochy vzorku v daném směru, a dodatečným nastavením úhlu upnutí vzorku docílíme konstantní velikosti normálové síly, a tím i rovnoběžnosti plochy vzorku s pohybem modulu.

3.1.1 Reciproční modul

Reciproční modul je navržen pro maximální zatížení 2 000 N, které tribometr dokáže vyvinout. Pro nadstavbový upínač navrhovaný v této práci bylo stanoveno maximální normálové zatížení pouze 400 N, protože na daném modulu většina testů nepřesahuje tuto hodnotu zatížení. Další údaje poskytuje tabulka níže.

Tab. 3-1 Specifikace recipročního modulu – převzato z [3]

Maximální rozsah pohybu	25 mm
Minimální rozsah pohybu	0,1 mm
Rozlišovací přesnost	1 μ m
Frekvence	(0,1–60) Hz
Maximální zatížení	2 000 N
Max. frekvence při zdvihu	60 Hz při 2 mm 20 Hz při 25 mm

3.2 Specifikace parametrů navrhovaného přípravku

Provozní parametry

- normálové zatížení až 400 N
- vysoce dynamický periodický pohyb
- rozsah teplot (-25 až 100) °C

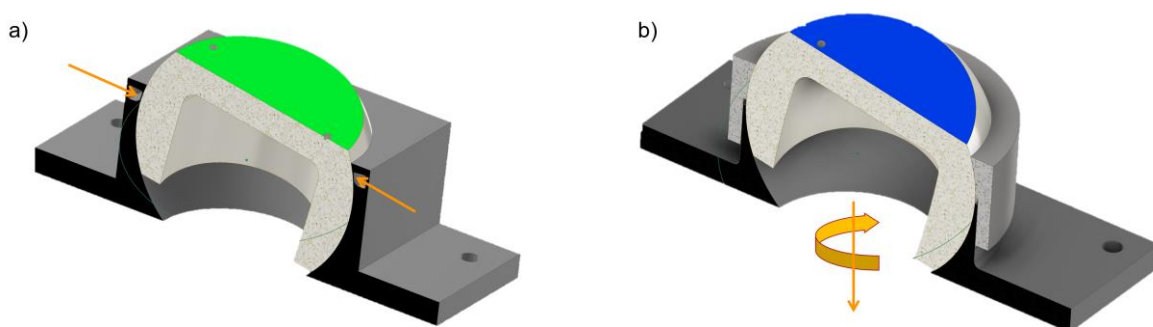
Požadavky na konstrukci

- možnost naklápění ve dvou navzájem kolmých rovinách v rozsahu $\pm (4 \text{ až } 6)^\circ$
- manuální plynulá regulace výše uvedeného naklápění
- aretace nastavené polohy
- možnost montáže ke stávající desce recipročního modulu o rozměru (60 × 110) mm
- schopnost upnutí deskových vzorků o rozměrech (50 × 25) mm
- upínací čas maximálně 10 minut
- jednoduché ovládání
- možnost testování v olejové lázni
- možnost vyhřívání vzorku

4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

4.1 Upínání na kulové ploše (koncept 1)

Použití kulové plochy je jednoduchý způsob, jak docílit velké volnosti pohybu. Problémem nutným vyřešit je pak mechanismus naklánění koule a její následná aretace v cílené pozici. Níže na obrázku první modely tohoto koncepčního řešení. V prvním stadiu nebylo řešeno naklápění kulové plochy, horní rovná plocha (označena modře a zeleně) je určena přímo pro upínání vzorků. Šedá základna upínače je namontována přímo na stávající desku recipročního modulu, v ní co nejnižše usazená koule. Proti pohybu směrem dolů je kulová plocha fixována dobře, podnětem k řešení je její fixace z horní strany. Možností je použití centrálního upínacího prvku, to je zajištěním pomocí převlečné matice nebo tlakovou silou za využití hydraulického oleje. V případě použití hydrauliky je základna dělená, aby do ní šla koule umístit, a zeslabená stěna fixující pohyb koule je umístěna nad jejím středem, aby docházelo k tlačení směrem dolů.



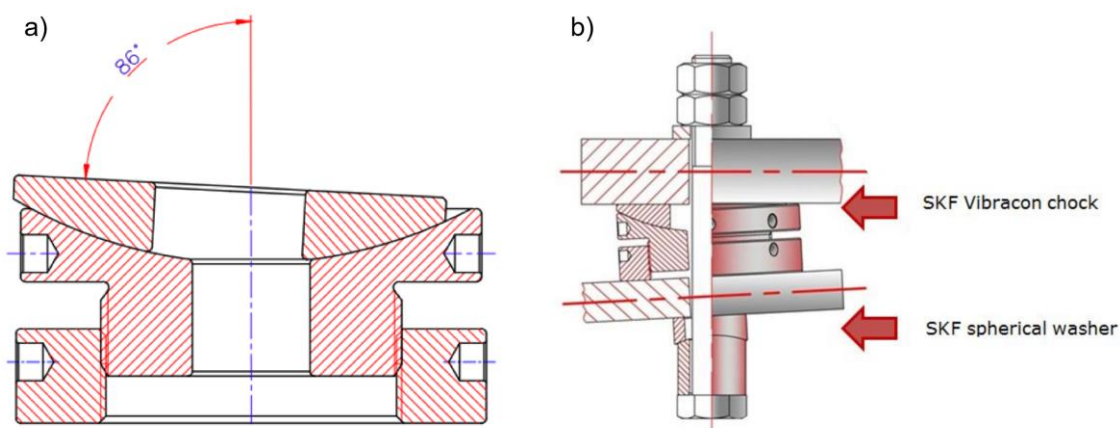
Obr. 4-1 a) návrh upínače s hydraulickým upnutím kulové plochy, b) upnutí kulové plochy dotažením převlečné matice

Je zde ale problém s nastavením cíleného sklonu horní desky, takto uzavřená koule není dostupná. Možným řešením je vytvoření kulisového mechanismu ve spodní části upínacího přípravku, který by pomocí dvou kulis uložených kolmo vůči sobě v rovině stolu mohl řídit její náklon, nebo vyvedení nastavitelných šroubů z rovinné horní části kulové plochy. Využití hydraulického upínání je náročné jak výpočtově na zvolení správné tloušťky stěny a potřebného tlaku, tak i na samotnou výrobu. Proto byla pro další postup vybrána možnost mechanického upnutí. Převlečnou matici by bylo vhodné rozdělit na dvě části s kluzným elementem, aby při jejím dotahování nebyl kroutící moment přenášén na samotnou kulovou plochu, což by způsobilo její nechtěnou rotaci.

4.2 Plošina na kulových podložkách (koncept 2)

Kulové podložky SKF Vibracon se díky náklonu až čtyř stupňů těsně vejdou do rozsahu požadovaných náklonů. Pro spolehlivé ustavení v prostoru je třeba uložit podložku na alespoň tři takovéto podložky. První problém ale nastává již při zhodnocení rozměrových požadavků tohoto řešení, nejmenší vyráběný model má vnější průměr 60 mm. To udává zástavbový prostor v ploše čtverce o délce hrany minimálně 120 mm, což je v porovnání se základní deskou recipročního modulu, na který má být přípravek upnut, mnohem větší plocha. Upínací přípravek by z hlediska dostupného prostoru mohl být i takto rozměrný, ale z hlediska velikosti samotných upínaných vzorků je zbytečně mohutný.

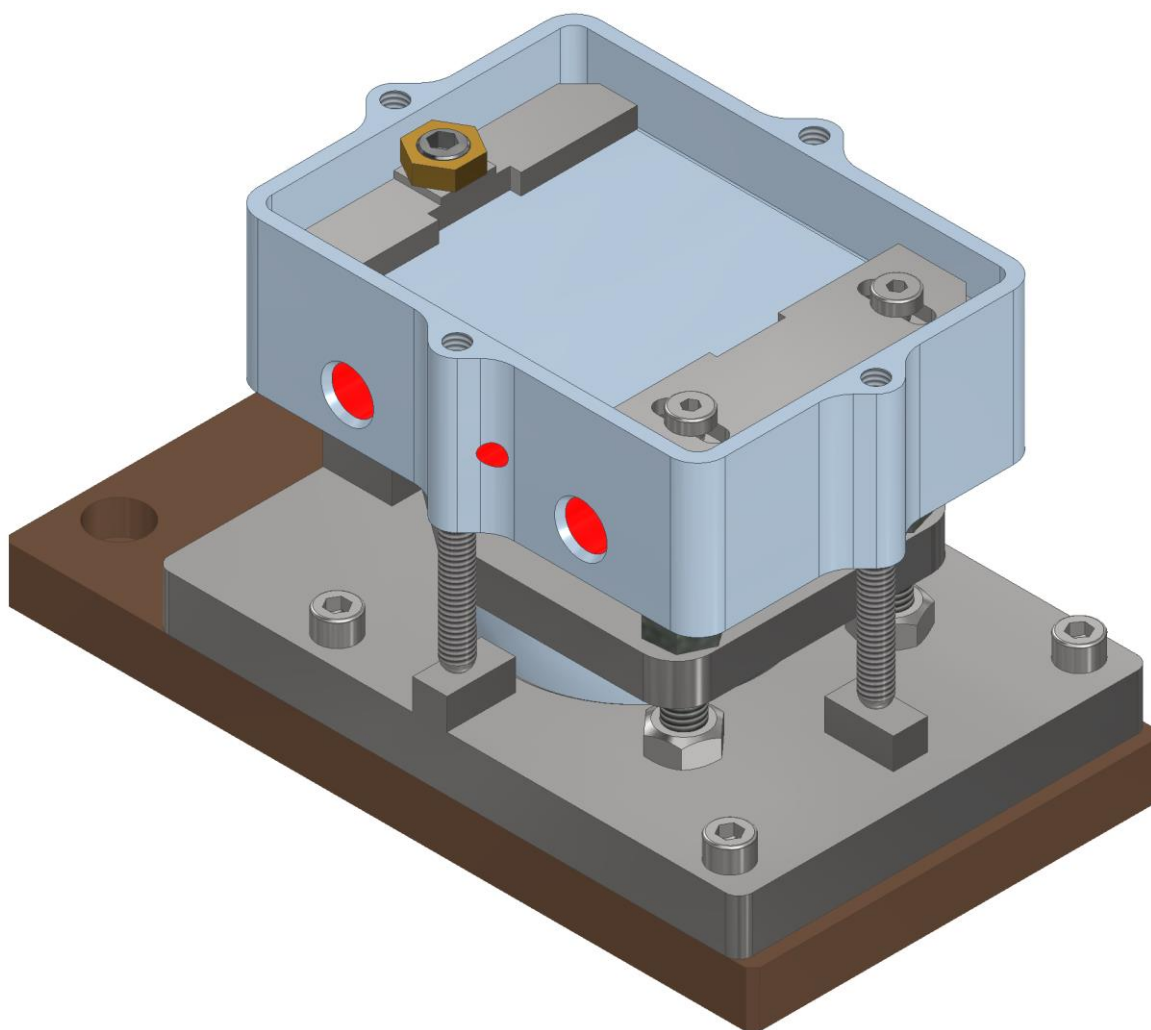
V tomto případě se musí výškově nastavit jednotlivě všechny tři nebo čtyři podložky a poté ještě zafixovat utažením jednotlivých šroubů vedoucích skrze zmiňované podložky. Tato varianta slibuje stabilní uložení, ale výškové nastavení je časově náročné. Úhlové vyklonění desky a šroubu je dole nutné kompenzovat další sférickou podložkou, a ta potřebuje pod samotným přípravkem svůj prostor. Spodní deska upínače nemůže být přišroubována přímo k desce recipročního modulu, musí být odsazena, aby pod ní mohlo dojít ke zmiňované kompenzaci vyklonění šroubu. To způsobuje zvednutí celé plošiny ještě více nad modul, a z horní upevňované desky také stoupá část šroubů, což je nevhodné.



Obr. 4-2 a) řez sférickou podložkou SKF Vibracon, b) svěrné spojení s použitím sférických podložek [6]

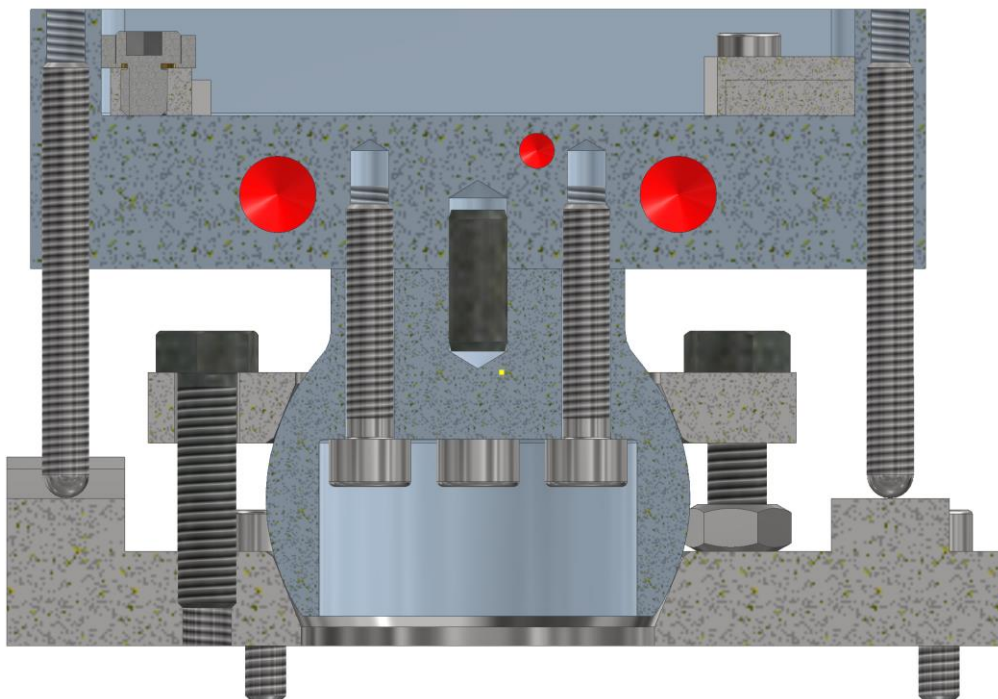
5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Vybrané řešení je rozvinutím prvního konceptu, kde nosnou část přípravku tvoří kulová plocha umožňující pohyb ve všech třech rotačních stupních volnosti. Je tvořeno kombinací posledních dvou upínačů uvedených v rešerši. Přípravek tvoří čtyři hlavní součásti: spodní deska, stahovací deska a koule a stůl. Nosná kulová plocha je uložena mezi spodní základovou a horní stahovací deskou. Tyto desky jsou přitahovány k sobě pomocí tří šroubů a mezi sebou svírají kulovou plochu přípravku, přičemž při polohování se pracuje pouze s jedním z dvojice šroubů proti sobě. Po nastavení náklonu v jedné rovině se nastaví náklon v té druhé. Desky obsahují výřez, do kterého se kulová plocha opírá. Tento výřez má tvar kuželové plochy s vrcholovým úhlem 44° . Koule je usazena s dostatečným prostorem pod ní, aby při náklonu šesti stupňů nedošlo vespod ke kolizi s deskou samotného modulu, ke které je přípravek upnut.



Obr. 5-1 Finální verze upínacího přípravku, uložená na desce (hnědá) recipročního modulu

Naklápění je řešeno čtyřmi šrouby umístěny dva a dva proti sobě v 90° rozestupech kolem vertikální osy, šrouby působí v dané rovině proti sobě, vždy je třeba jeden z nich povolit a druhý dotahovat proti němu. Tyto stavěcí šrouby se opírají podložky ve výšce shodné s výškou středu otáčení koule. Díky tomu se při nastavování druhého směru náklonu zachová ten první. Aretace cílené polohy se provádí dotažením jednoho šroubu velikosti M5 s šestihrannou hlavou.

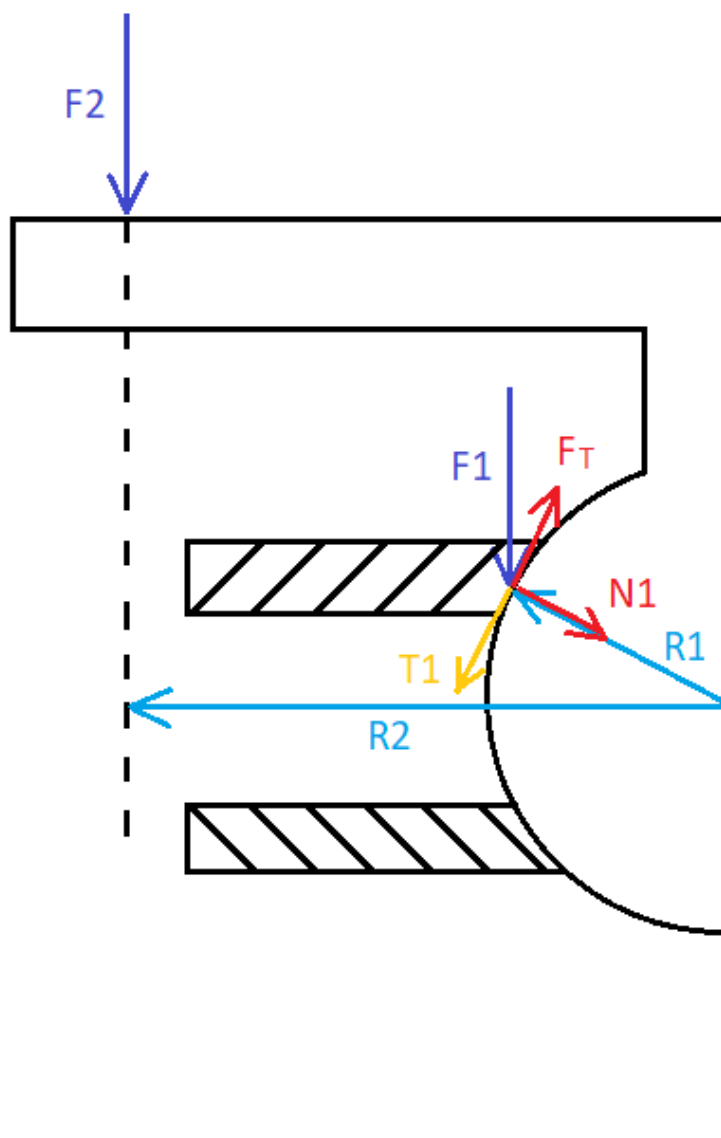


Obr. 5-2 Pohled v polovičním řezu přípravku v neutrální pozici, modře kulový stůl, šedě spodní, stahovací deska, červeně otvory pro topné součásti

Povrch kulové plochy stolu je zakalen a vybroušen do přesného tvaru kvůli tvarové stálosti. Jeho povrch je konstruován tvrdší než kuželové povrchy, na které dosedá v základové a stahovací desce. Je důležité, aby si koule zachovala svůj tvar a při jejím upínání v různých pozicích dosedala vždy stejnou geometrií na povrchy v deskách, kde je usazena, u kterých mírná deformace nevadí. Vyrobit přesnou vnější kouli není příliš náročné, dokončuje se lépe než vnitřní kulový povrch. Vyrábět dosedací plochy s geometrií kulové plochy by bylo drahé a zbytečné, protože i tak by se nedocílilo příliš velké styčné plochy kvůli nepřesnostem ve výrobě. Pro omezení rotace kolem svislé osy je na jedné z podložek stavěcích šroubů vytvořena zábrana proti pootočení. Všechny vyráběné díly jsou vyrobeny z oceli, desky z materiálu ST60-2, koule a stůl z materiálu C45.

5.1 Výpočty

Základním parametrem je, jakou silou je třeba sevřít kouli mezi danými deskami, aby bylo dosaženo dostatečné velikosti třecí síly mezi deskami a kulovou plochou, která udrží moment vytvořený zatížením přípravku.



Obr. 5-3 Nákres silového rozložení na přípravku

Výpočet vychází z rovnosti momentů, první moment je tvořen třecí silou působící tangenciálně k povrchu koule, druhý moment je vyvolán normálovou zátěžnou silou 400 N. Cílem výpočtu je zjistit velikost síly F_1 , která stahuje desky k sobě a vytváří tak třecí sílu na povrchu koule bránící jejímu pootočení.

$$M_1 = M_2$$

$$F_t \cdot R_1 = F_2 \cdot R_2$$

$$N_1 \cdot \mu_0 \cdot R_1 = F_2 \cdot R_2$$

$$F_1 \cdot \cos \alpha \cdot \mu_0 \cdot R_1 = F_2 \cdot R_2$$

...

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot R_2}{\mu_0 \cdot R_1 \cdot \cos \alpha} = \frac{400 \text{ N} \cdot 25 \text{ mm}}{0,39 \cdot 18 \text{ mm} \cdot \cos 68^\circ} \cong 3\,800 \text{ N}$$

Statické tření mezi dvěma povrchy tvrdé oceli: $\mu_0 = 0,39$ [9]

R... rameno působící síly

F... zátěžná síla

N... normálová síla

α ... úhel odklonu tečné plochy od zátěžné síly

Síla stahující desky k sobě musí být o velikosti nejméně 3800 N. Desky jsou uchyceny pomocí tří šroubů o velikosti M5, což je zatížení přibližně 1300 N na jeden šroub. Toto zatížení vyvolává ve šroubu napětí přibližně 92 MPa a mez kluzu šroubu pevnostní třídy 8.8 je 640 MPa. Z toho vyplývá koeficient bezpečnosti $k_1 \cong 7$. Zkušební zatížení šroubu M5 třídy 8.8 je stanoveno na 8230 N. Z tohoto omezení vyplývá koeficient bezpečnosti $k_2 \cong 6$. Třecí síla na kulové ploše tedy zvládne přenést požadovanou sílu, ikdyž po nastavení přípravku do cílené polohy lehce dotáhneme čtyři obvodové nastavovací šrouby, takže část zátěže se přenesse přes tyto šrouby a upnutí bude velice tuhé.

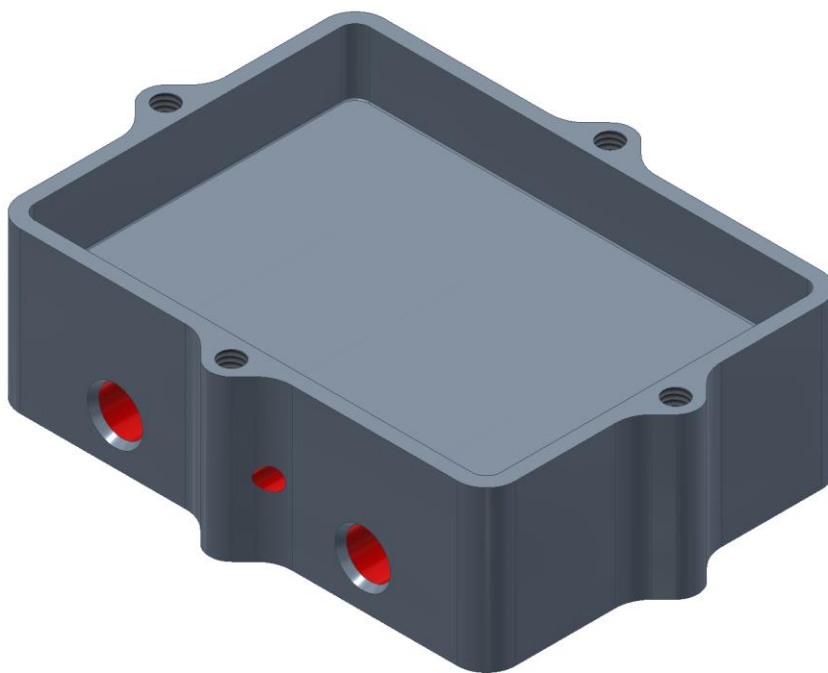
5.2 Sestavení

Přípravek musí být přišroubován k desce modulu šrouby normy ANSI UNC v palcových rozměrech, jelikož modul obsahuje právě takovéto závitové díry, protože přístroj pochází ze Spojených států amerických. Je třeba zaprvé usadit kouli mezi spodní a stahovací desku, až poté přišroubovat horní stůl ke kouli, poté přidat obvodové stavěcí šrouby, a nakonec sestavu přišroubovat k desce recipročního modelu. Obvodové stavěcí šrouby mohou po fixaci koule ve správné poloze být lehce dotaženy a zvýšit tak celkovou tuhost uložení.

Kompletní přípravek v ploše desky modulu nepřesahuje rozměry desky modulu, a na výšku měří v základní nevychýlené poloze 54 mm.

5.3 Horní deska přípravku – vana

Slouží jako vana pro testování za přítomnosti kapalin, zároveň může být vyhřívána pomocí dvou topných patron o průměru 6,5 mm. Jejich činnost kontroluje teplotní čidlo umístěné v tělese stolu, mezi topnými patronami. Tyto tři válcové komponenty jsou uloženy v otvorech v tělese stolu, normálově k delší boční straně stolu, na obrázku červeně. Řízení teploty je zajištěno samostatným přístrojem – regulátorem HotSet Hotcontrol C248. Topné patrony jsou dlouhé 40 mm, čidlo o průměru 3 mm je dlouhé 20 mm, každá z těchto součástí je zajištěna proti axiálnímu pohybu stavěcím šroubem o velikosti M3.



Obr. 5-4 Upínací deska (vana)

Obvodová stěna je zúžena z důvodu odlehčení a snížení setrvačných sil při provozu přípravku. Silnější tloušťka stěny je zbytečná, a pevnostně by také ničemu nepomohla.

5.4 Upnutí vzorku na přípravek

Upnutí je pomocí sevření vzorků s obdélníkovým tvarem mezi upínací desky. Pomocí vybrání v desce lze upnout i kruhové vzorky o průměru 24 až 46 mm. Na jedné straně se nachází nastavitelné destičky k hrubému nastavení rozměru pro danou velikost vzorku, menší destička na protější straně umožní pevné upnutí pomocí excentrického šroubu s šestihrannou maticí, která má rozsah pohybu 0,8 mm.

6 DISKUZE

Vybrané konstrukční řešení splňuje požadavky stanovené v cíli práce. Poskytuje pohodlnou možnost plné kontroly nad naklápěním ve dvou osách, v každé s rozsahem minimálně 6° v obou směrech. Finální řešení obsahuje pouze jeden upínací stůl, který může sloužit k suchým testům za pokojové teploty nebo za zvýšené teploty pomocí vyhřívání stolu, díky zvýšenému okraji lze provádět současně také testy v olejové lázni.

Upínací stůl (vana) má dostupný rozměr pro vzorky velikosti až $(46 \times 54,5)$ mm. Díky rozpěrné desce lze upínat kruhové vzorky i obdélníkové vzorky o délce 35 až 42 mm. Celá sestava váží 880 g (bez součástí ohřevu).

7 ZÁVĚR

Práce obsahuje popis zařízení, pro které je upínač konstruován, dále uvádí komerčně dostupné varianty polohovacích přípravků. Proběhla identifikace provozních parametrů, při kterých bude přípravek používán. Na základě rešerše je vybrán koncepční návrh kombinující nalezené varianty v jeden celek o požadovaných parametrech. Obsahuje popis vybrané konstrukční varianty ukazující její přednosti. Navržené konstrukční řešení splňuje parametry zadání, jedním návrhem řeší dílčí cíle návrhu zásobníku oleje a vyřihání vzorku. Dalším pokračováním této práce by mohla být konstrukce přípravku, který se automaticky vyrovná do správné pozice na základě dat z tribometru, čímž by odpadlo manuální seřizování. Model upínače a výkresy byli vytvořeny v programu Autodesk Inventor 2020.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. STACHOWIAK, Gwidon W. a Batchelor, Andrew W. *Engineering Tribology (3rd Edition)*. Burlington : Elsevier, 2005. 978-0-7506-7836-0.
2. UMT TriboLab. *BRUKER*. [Online] 2020. [Citace: 12. 2 2020.] Dostupné z: <https://www.bruker.com/products/surface-and-dimensional-analysis/tribometers-and-mechanical-testers/umt-tribolab/overview.html>.
3. Bruker Nano, Inc. UMT TriboLab Hardware & Installation guide. San Jose, CA : Bruker Nano, Inc, 2015.
4. ASTM G133-05(2016), Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.
5. Svěráky. *DOBŘÉ STROJE*. [Online] [Citace: 23. 3 2020.] Dostupné z: <https://www.dobrestroje.cz/dobrestroje/eshop/28-1-KOVOOBRABEČI-NASTROJE/120-2-SVERAKY/5/2653-DVOUOSY-OTOCNY-SVERAK-HOLZMANN-IP125/download#anch1>.
6. Vibracon. *MAPROTOOLS*. [Online] [Citace: 7. 4 2020.] Dostupné z: http://maprotools.com/download/vibracon/Application_and_Installation_guide_SKF_Vibracon.pdf.
7. Leveling mounts. *MODERN*. [Online] [Citace: 25. 3 2020.] Dostupné z: <https://modernstudio.com/products/mini-ball-camera-leveling-mount>.
8. Leveling mounts. *MODERN*. [Online] [Citace: 25. 3 2020.] Dostupné z: <https://modernstudio.com/products/mini-4-way-leveling-camera-mount-with-3-8-slot>.
9. Fuller, Dudley D. MIT web education. *MIT web*. [Online] [Citace:] <https://web.mit.edu/8.13/8.13c/references-fall/aip/aip-handbook-section2d.pdf>.
10. ASTM G99-17, Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

9.1 Zkratky

FSI	Fakulta strojního inženýrství
VUT	Vysoké učení technické v Brně
ÚK	Ústav konstruování
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
UMT	Universal Mechanical Tester

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1 Tribometr UMT TriboLab s jeho čtyřmi výměnnými pohony [2].....	14
Obr. 2-2 Reciproční modul pro UMT TriboLab s originálním upínačem, žlutě směr oscilace [2]	15
Obr. 2-3 Dvouosý otočný svěrák HOLZMANN IP 125 [5]	17
Obr. 2-4 Plošina uložená na sférických podložkách SKF Vibracon [6]	18
Obr. 2-5 Vyrovnávací kulový kamerový držák v různých polohách [7]	19
Obr. 2-6 Držák využívající kardanův kloub [8].....	20
Obr. 4-1 a) návrh upínače s hydraulickým upnutím kulové plochy, b) upnutí kulové plochy dotažením převlečné matice	23
Obr. 4-2 a) řez sférickou podložkou SKF Vibracon, b) svěrné spojení s použitím sférických podložek [6]	24
Obr. 5-1 Finální verze upínacího přípravku, uložená na desce (hnědá) recipročního modulu	25
Obr. 5-2 Pohled v polovičním řezu přípravku v neutrální pozici, modře kulový stůl, šedě spodní, stahovací deska, červeně otvory pro topné součásti	26
Obr. 5-3 Náskres silového rozložení na přípravku	27
Obr. 5-4 Upínací deska (vana)	29

11 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres sestavení přípravku
Příloha 2	Výkresová dokumentace komponent
Příloha 3	Digitální data – modely přípravku