



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ PRO PŘEBRUŠOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

DESIGN OF DEVICE FOR REGRINDING OF SPECIMENS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN MATEČKA

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DAVID SMEJKAL

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Matečka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Konstrukce zařízení pro přebroušování zkušebních vzorku

v anglickém jazyce:

Design of Device for Regrinding of Specimens

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je konstrukční návrh zařízení sloužícího pro přebroušování disku s těmito parametry: průměr přebroušovaných disku 320 mm - možnost změny rozsahu broušených poloměrů od 0 do 200 mm.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat: (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci)

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Analýza problému a cíl práce
4. Varianty konstrukčního řešení
5. Optimální konstrukční řešení
6. Diskuze
7. Závěr
8. Bibliografie

Forma bakalářské práce: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení, 3D digitální data (model), 2D digitální data (výkresy)

Typ práce: konstrukční

Účel práce: výzkum a vývoj

Seznam odborné literatury:

SVOBODA, P.; BRANDEJS, J.; DVOŘÁČEK, J.; PROKEŠ, F.

Základy konstruování, pp.1-234, ISBN 978-80-7204-750-5, (2011), Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno

SHIGLEY, J. E., Ch. R., BUDYNAS, R. G. Konstruování strojních součástí. Překlad 7. Vydání, VUT IUM, Brno 2010, 1186s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. David Smejkal

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 14.11.2012

L.S.

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

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí zařízení pro přebroušování zkušebních vzorků. V první části je popsána technologie broušení, řezné podmínky pro vnější obvodové broušení rotačních ploch, kinematické a dynamické jevy vznikající při těchto podmínkách. Dále je pojednáno o nástrojích pro broušení a jejich použití. V dalších bodech jsou popsány konstrukce základních součástí brusek. Jako poslední je v této části popsáno testovací zařízení, na kterém jsou zkušební vzorky testovány. Další část práce se zabývá popisem cíle a analýzou problémů. Následně jsou popsány různé varianty konstrukčních řešení. Po zhodnocení výhod a nevýhod všech variant je vybráno optimální konstrukční řešení, které je detailně popsáno v poslední části.

KLÍČOVÁ SLOVA

broušení, bruska, tvarové plochy

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on design of device for regrinding of specimens. In the first part is described grinding technology, cutting conditions for grinding of outer cylindrical surfaces and kinematic and dynamic phenomena arising in these conditions. There are also analyzed the grinding tools and their using. In the next points are described the designs of the grinder's basic components. The last in this chapter is described the testing device on which the specimens are tested. The next chapter is focused on description of the objectives and analyzing the problems. There are described the variants of design solutions. After assessment of advantages and disadvantages of all variants is selected optimum design solution which is detailed described in the last section.

KEYWORDS

grinding, grinding machine, shaped surfaces

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MATEČKA, M. *Konstrukce zařízení pro přebroušování zkušebních vzorků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 50 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. David Smejkal.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci Konstrukce zařízení pro přebroušování zkušebních vzorků vypracoval samostatně pod vedením Ing. Davida Smejkal a uvedl v seznamu zdrojů všechny použité literární a odborné zdroje.

V Brně 17. května 2013

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Davidu Smejkalovi za vedení, cenné rady a připomínky, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce. A za trpělivost a ochotu při konzultacích.

OBSAH

ÚVOD	13
1 PŘEDHLÉD SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	14
1.1 Broušení.....	14
1.1.1 Obvodové broušení vnějších rotačních ploch.....	14
1.1.2 Broušení tvarových ploch.....	15
1.1.3 Řezné podmínky při broušení.....	16
1.1.4 Kinematika broušení a řezné síly.....	16
1.2 Brusné nástroje	18
1.2.1 Materiál brusiva.....	18
1.2.2 Značení brusných nástrojů.....	18
1.2.3 Orovnávání	18
1.2.4 Upínání nástroje.....	19
1.3 Konstrukce brusek.....	20
1.3.1 Hlavní části	20
1.3.2 Rámy brusek.....	21
1.3.3 Pohony	21
1.3.4 Příklady konstrukce speciálních brusek	22
1.4 Zkušební zařízení Twin disk	22
1.4.1 Popis zařízení.....	22
1.4.2 Zkušební disky.....	23
2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	24
3 VARIANTY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ	25
3.1 Varianta 1	25
3.1.1 Popis varianty 1	25
3.1.2 Zhodnocení varianty 1	26
3.2 Varianta 2	26
3.2.1 Popis varianty 2	26
3.2.2 Zhodnocení varianty 2	27
3.3 Varianta 3	28
3.3.1 Popis varianty 3	28
3.3.2 Zhodnocení varianty 3	28
4 OPTIMÁLNÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	30
4.1 Konstrukce hlavního rámu.....	30
4.2 Konstrukce otočného stolu	31
4.3 Konstrukce otočného uložení	32
4.4 Konstrukce kluzných vedení otočného stolu	33
4.4.1 Nepohyblivá část podélného vedení	33
4.4.2 Pohyblivá část podélného vedení	33
4.4.3 Pohyblivá část příčného vedení	35
4.4.4 Pohybové šrouby	35
4.5 Konstrukce unášecího vřeteníku.....	36
4.5.1 Návrh hřídele	36
4.5.2 Návrh a kontrola ložiskových jednotek	38
4.5.3 Konstrukce stolu převodového motoru	39
4.5.4 Konstrukce upevnění disků	40
4.5.5 Konstrukce posuvného vedení vřeteníku.....	41

4.5.6 Přírubová spojka	42
4.6 Výběr vhodné brusky a její úpravy	42
5 DISKUZE	43
6 ZÁVĚR	44
7 BIBLIOGRAFIE.....	45
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	47
SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	48
SEZNAM PŘÍLOH.....	49

ÚVOD

V dnešní době stále více rostou nároky na kvalitu zpracování obráběných povrchů. S tím souvisí kvalitnější opracování také různých tvarových povrchů. Nejčastější metodou pro získání ploch s malou drsností je broušení a to jak pro plochy rotační tak rovinné. Současným trendem je stále častější používání číslicově řízených brusek, ale i přesto se klasické brusky používají ve většině případů. Při konstrukci brusek, stejně jako při konstrukci jiných obráběcích strojů, je třeba dbát na velkou přesnost rozměrů a také, aby byly zaručeny pracovní pohyby po přesně požadovaných trajektoriích. Dále je potřeba brát v úvahu bezpečnost práce na daném stroji. I přes dnešní kvalitní pojiva brusných kotoučů stále existuje možnost roztržení nástroje a při velké obvodové rychlosti se úlomky stávají velmi nebezpečné. Neméně důležitým je ekonomické hledisko konstrukce. S tím souvisí její jednoduchost a spotřeba materiálu a také počet dílu, ať už vyráběných či nakoupených.

Tato práce má za úkol zhodnotit současné metody pro broušení vnějších rotačních ploch válcových i tvarových. Vybrat z těchto metod jednu a navrhnout zařízení, které by bylo schopné ji vykonávat s dostatečnou přesností. Zařízení pro přebroušování musí být dostatečně jednoduché a broušení na něm efektivní a rychlé.

1 PŘEDHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1.1 Broušení

Jedná se o jednu z nejstarších metod obrábění materiálu. Broušení je charakterizováno, jako obrábění mnohobřitým nástrojem s nedefinovanou geometrií břitu. Nástrojem pro broušení je nejčastěji brusný kotouč, který se skládá z brusných zrn a pojiva. Zrna odebírají nepravidelně velké třísky, které nemají příliš vhodné řezné úhly. Nepříznivé úhly čela se vyvažují velkými řeznými rychlostmi. [1] V dnešní době patří broušení mezi nejdůležitější metody obrábění a je to hlavní metoda pro dokončovací operace. [2]

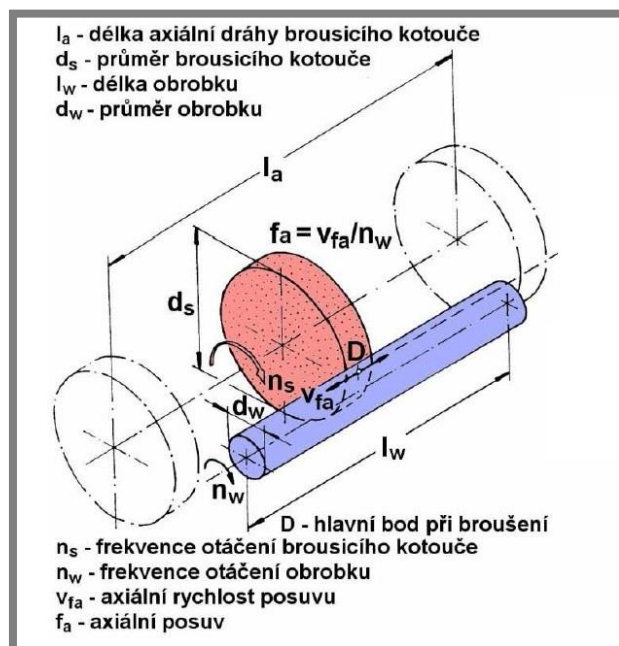
1.1.1 Obvodové broušení vnějších rotačních ploch

Při broušení rotačních ploch neboli vnějším obvodovém broušení do kulata se otáčí nástroj řeznou rychlostí a nejčastěji se proti němu podávací rychlostí otáčí obrobek, ten se může otáčet i souhlasně. Nástroj nebo obrobek mají podélný posuv ve směru osy otáčení. Dále vykonává nástroj přísuv do hloubky směrem k ose obrobku. [1]

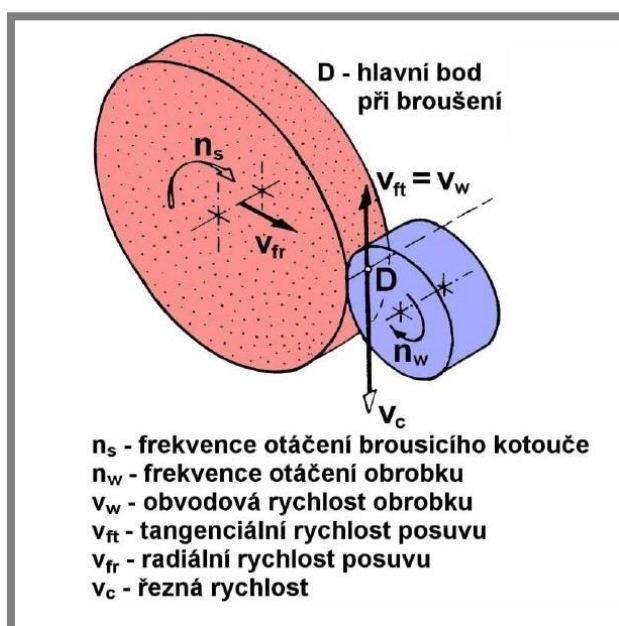
Podle hlavního pohybu posuvu stolu vzhledem k brousícímu kotouči můžeme rozdělit vnější obvodové broušení do kulata na následující způsoby.

- *Axiální broušení* (posuv stolu je rovnoběžný s osou kotouče).
- *Tangenciální broušení* (posuv stolu je rovnoběžný s vektorem obvodové rychlosti kotouče).
- *Radiální broušení* (posuv stolu je radiální k brousícímu kotouči).

Axiální broušení se používá pro broušení rotačních součástí většinou s velkou délkou. Při broušení dlouhých a štíhlých obrobků hrozí prohýbání, proto se někdy obrobek podepírá lunetou. Obrobek je upnutý mezi hroty a rotuje proti směru hlavního řezného pohybu brusného kotouče. U obrábění malých součástí koná axiální posuv obrobek, u velkých pak vřetenou brusného kotouče. Radiální broušení nebo také někdy zapichovací broušení se používá pro krátké obrobky (délka do 350 mm), které se rovněž otáčí proti směru hlavního řezného pohybu. Posuv stolu je však v radiálním směru a nejčastěji ho vykonává vřetenou brusného nástroje. Podmínkou radiálního broušení je, že brusný kotouč musí být širší nebo alespoň stejně široký jako obráběná plocha obrobku. Brusné výkony jsou mnohem vyšší než u axiálního broušení a to o 40% až 80%. [2]



Obr. 1-1 Axiální broušení [2]



Obr. 1-2 Radiální broušení [2]

1.1.2 Broušení tvarových ploch

1.1.2

Tvarové broušení slouží pro dokončovací operace rotačních ploch se složitějším tvarem. V dnešní době se pro tyto účely nejčastěji využívají dva způsoby. Broušení kotoučem, který má požadovaný konečný tvar přesně negativní ke tvaru součásti. Druhým způsobem je broušení obyčejným plochým kotoučem, přičemž vřeteno vykonává pohyb po potřebné trajektorii a kopíruje požadovaný tvar podle šablony nebo je řízeno číslicově. [2]

1.1.3 Řezné podmínky při broušení

Řezné podmínky při vnějším obvodovém broušení rotačních ploch mají velký vliv hlavně na povrch obráběné součásti, ale také na namáhání a efektivitu stroje nebo na trvanlivost nástroje. Různé podmínky také platí pro různé obráběné materiály. Následující údaje udávají nejvýhodnější řezné podmínky pro broušení ocelí. [1]

- *Řezná rychlost* - 25 až 35 m·s⁻¹
- *Podávací rychlost* (obvodová rychlost obrobku) - 8 až 20 m·min⁻¹
- *Podélný posuv stolu brusky* - 0,2 až 0,8 šířky kotouče
- *Pracovní záběr* - 0,001 až 0,07 mm
- *Radiální posuv* - 0,001 až 0,02 mm

1.1.4 Kinematika broušení a řezné síly

Jednotlivé pohyby při broušení a jejich rychlosti jsou definovány různě pro jednotlivé druhy broušení. Pro vnější obvodové broušení radiálním a axiálním způsobem platí následující vztahy. [2]

Řezná rychlost se vypočítá vztahem:

$$v_c = \frac{\pi d_s n_s}{60 \cdot 1000}$$

kde:

v_c [m·s ⁻¹]	- řezná rychlost
d_s [mm]	- průměr nástroje
n_s [min ⁻¹]	- otáčky nástroje

Obvodová rychlost obrobku se vyjádří vztahem:

$$v_w = \frac{\pi d_w n_w}{1000}$$

kde:

v_w [m·min ⁻¹]	- obvodová rychlost obrobku
d_w [mm]	- průměr obrobku
n_w [min ⁻¹]	- otáčky obrobku

Pro výpočet řezných sil je potřeba znát ekvivalentní tloušťku broušení. Ekvivalentní tloušťka broušení se pro obvodové axiální broušení do kulata spočítá ze vztahu:

$$h_{eq} = \frac{v_w}{60 v_c} a_e$$

kde:

h_{eq} [mm]	- ekvivalentní tloušťka broušení
a_e [mm]	- pracovní záběr
v_w [m·min ⁻¹]	- obvodová rychlost obrobku
v_c [m·s ⁻¹]	- řezná rychlost

A pro obvodové radiální broušení do kulata (platí také pro obvodové tangenciální broušení):

$$h_{eq} = \frac{v_w}{60v_c} f_r$$

kde:

h_{eq} [mm]	- ekvivalentní tloušťka broušení
f_r [mm]	- radiální posuv
v_w [m·min ⁻¹]	- obvodová rychlost obrobku
v_c [m·s ⁻¹]	- řezná rychlost

Celková řezná síla při broušení působí v obecném směru mezi brousícím kotoučem a obrobkem a rozkládá se do tří na sebe vzájemně kolmých směrů. Ve směru řezné rychlosti je řezná síla, ve směru podélného posuvu působí posuvová síla (odpadá v případě radiálního broušení). Poslední složkou je pasivní síla, která je kolmá k broušené ploše. Obvykle platí, že pasivní síla je největší, menší je pak řezná síla a posuvová síla je nejmenší. Poměr velikostí mezi pasivní a řeznou silou dosahuje hodnot 1,2 až 3.

Hodnotu řezné síly lze vypočítat ze vztahu:

$$F_c = k_c A_D$$

kde:

k_c [MPa]	- měrná řezná síla
A_D [mm ²]	-průřez třísky

Měrná řezná síla dosahuje hodnot 10000 až 35000 MPa pro broušení ocelí, přičemž vyšší hodnoty platí pro broušení na čisto a jemné broušení. Průřez třísky závisí na způsobu broušení. Pro vnější obvodové axiální broušení do kulata platí vztah:

$$A_D = f_a h_{eq}$$

kde:

A_D [mm ²]	-průřez třísky
f_a [mm]	- podélný posuv
h_{eq} [mm]	- ekvivalentní tloušťka broušení

Pro vnější obvodové radiální a tangenciální broušení pak platí:

$$A_D = b_D h_{eq}$$

kde:

A_D [mm ²]	-průřez třísky
b_D [mm]	- šířka aktivní části brousícího kotouče
h_{eq} [mm]	- ekvivalentní tloušťka broušení

Při broušení nelze jednoznačně určit síly působící při řezném procesu, proto platí výše uvedené vztahy, které nejsou vždy naprosto přesné, ale pro určení potřebných hodnot jsou odvozeny s dostatečnou přesností. [2]

1.2 Brusné nástroje

Nástroje pro broušení kovů jsou nejčastěji brusné kotouče, které se skládají z brusných zrn a pojiva. Zrna jsou pevně uložena v pojivu, které je váže do požadovaného tvaru. V mé práci se nebudu věnovat jiným typům nástrojů, jako jsou například brusné pásy nebo brusná tělíska.

1.2.1 Materiál brusiva

Brusivo je krystalická látka zrnitého nebo mikrokrytalického složení. Zrna brusiva jsou velmi tvrdá, ostrohranná a houževnatá, proto jimi lze obrušovat ostatní jiné materiály. Brusiva mohou být buď přírodní, nebo umělá.

Umělá brusiva:

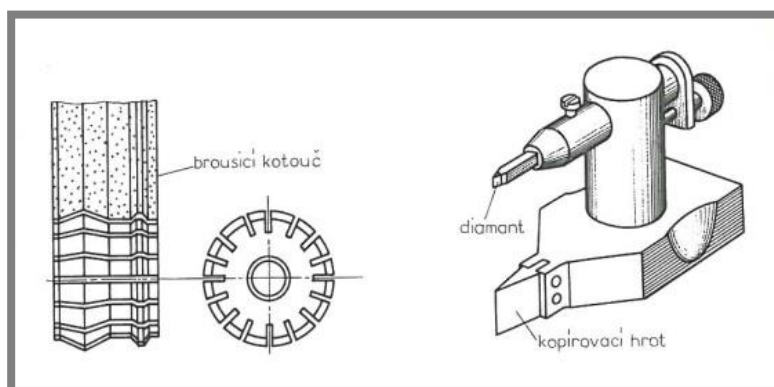
- *Umělý korund* – (tavený kysličník hlinitý Al_2O_3) je jeden z nejčastěji používaných materiálů pro brusiva, protože se používá pro broušení ocelí.
- *Karbid křemíku* – (karborundum SiC) má znatelně tvrdší zrna než umělý korund. Vhodný je zejména k broušení tvrdých a křehkých materiálů (slnuté karbidy, šedá litina), také na kovy malé pevnosti (hliník, měď, mosaz, měkký bronz).
- *Karbid boru* – (borkarbid B_4C) je velmi tvrdý, dokonce více než SiC a běžně nahrazuje diamantový prášek.

1.2.2 Značení brusných nástrojů

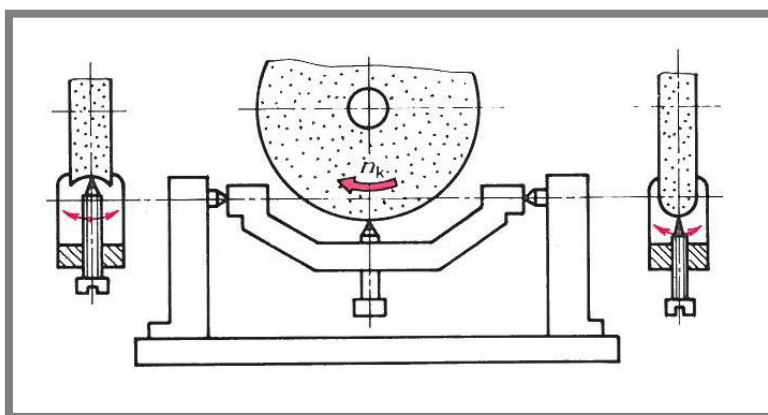
Označování brusných kotoučů podle výrobce a distributora brusných nástrojů, společnosti Tyrolit, který používá značení, dle normy ČSN ISO 525 viz Příloha I.

1.2.3 Orovnávání

Orovnávání brusného kotouče se provádí buď pro vytvoření tvaru v obvodu kotouče, nebo pro obnovení původního tvaru a pro odstranění tupých zrn z povrchu kotouče. Požadovaný tvar na obvodu kotouče lze vytvořit pomocí orovnávacích fréz nebo pomocí diamantového hrotu. Zamačkávací frézy jsou ocelové kalené kotouče tvaru, jaký požadujeme. Otáčením a přitlačováním frézy k obvodu brusného kotouče dochází k drcení a tvarování kotouče do požadovaného tvaru. To se hodí pro méně přesné práce, protože se tímto způsobem nedá dosáhnout zcela přesný povrch. Přesnější metodou orovnávání je pomocí orovnávacích diamantů upnutých v přípravku. Pro obecné tvary má přípravek ve spodní části břit, který kopíruje šablonu s požadovaným tvarem. Pro tvary složené z kruhových oblouků je nejvhodnější způsob orovnávání pomocí diamantu a brusičské kolébky [3]



Obr. 1-3 Zamačkávací fréza (vlevo) a diamant v přípravku pro kopírování [8]

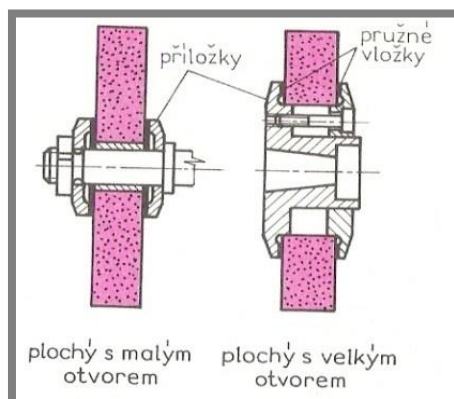


Obr. 1-4 Orovnávání diamantem pomocí brusičské kolébky [8]

1.2.4 Upínání nástroje

1.2.4

Nejjednodušší způsob a zároveň nejčastější u kotoučů menších rozměrů je upnutí přímo na hřídel mezi dvě příruby stejného průměru (0,3 až 0,5 průměru kotouče). Příruby se k sobě stáhnou maticí se závitem, který má stoupání proti směru otáčení, aby se zabránilo povolení při práci. Tento způsob upnutí není příliš přesný. Kotouče větších rozměrů se upínají na náboji. Upevní se pomocí přírub, které se ho dotýkají pouze úzkým prstencem přes podložku z lepenky nebo plastické hmoty, tlustou 0,5 až 3 mm. Náboj má vnitřní kužel (kuželovitost 1:6), kterým dosedá na hřídel pro větší přesnost[1]



Obr. 1-5 Způsoby upínání plochých kotoučů [8]

1.3 Konstrukce brusek

Pro broušení vnějších válcových ploch se nejčastěji využívají hrotové brusky. Tyto stroje lze koncepčně rozdělit na dvě skupiny. Do první patří brusky s posuvným stolem, na jehož jednom konci je unášecí vřeteník a na druhém je posuvný koník, sloužící k upnutí obrobku u dlouhých součástí. Brousící vřeteník s brusným kotoučem vykonává pouze přísuv. Do druhé skupiny patří brusky s pevným stolem a obrobek upnutý v unášecím vřeteníku se pouze otáčí. Podélný posuv i přísuv vykonává brousící vřeteník. Tento typ se využívá pro broušení větších součástí. Stroje bývají kratší a lehčí. Vedení brousícího vřeteníku nebývá tak dokonalé jako u prvního typu. [6]

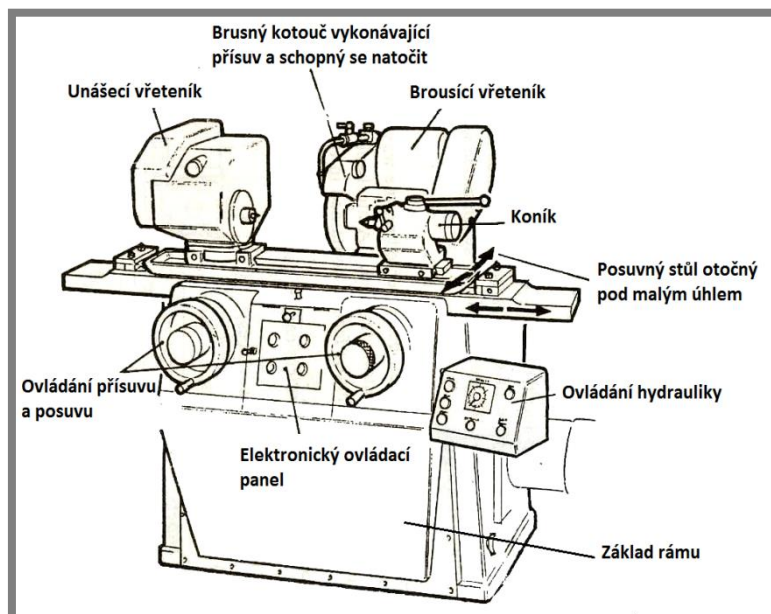
Zvláštním typem brusek pro broušení speciálních tvarů jsou např. brusky nástrojové, které umožňují natáčení všech vřeteníků a pracovního stolu. Tyto brusky lze vybavit různými tvary brusných kotoučů dle broušeného tvaru součásti. Ve většině případů se používají pro broušení obráběcích nástrojů. Lze je však použít i pro broušení rotačních válcových ploch, jak vnitřních, tak vnějších.



Obr. 1-6 Univerzální hrotová bruska KNUTH RSM 750 [12]

1.3.1 Hlavní části

Typická univerzální hrotová bruska se skládá z rámu, na kterém jsou upevněny další části. Hlavní část rámu tvoří stojan stroje, který tvoří základnu celého stroje a je pevně spojen se zemí. Další části stroje jsou brousící vřeteník, pracovní stůl s unášecím vřeteníkem a koníkem, pohybové ústrojí sloužící pro posuvy a přísuvy, ovládací prvky stroje.



Obr. 1-7 Hlavní části univerzální hrotové brusky [14]

1.3.2 Rámy brusek

1.3.2

Rám obráběcího stroje je soustava těles spojených tak, aby zachytily složky řezných sil a odporů a přenášely hmotové síly na základnu. Rám má za všech řezných podmínek zajišťovat stálou relativní polohu mezi nástrojem a obrobkem.

Hlavní požadavky na rám stroje jsou:

- *Stálost tvaru* – je ovlivněna volbou vhodného materiálu a technologií výroby.
- *Tuhost* – musí být dostatečná, aby ani největší přípustné síly za chodu stroje nezpůsobovali dovolené odchylky.
- *Dynamická stabilita* – zajišťuje dostatečnou odolnost proti chvění, aby povrch součásti měl požadovanou kvalitu.

Rámy obráběcích strojů se vyrábějí zásadně jako odlitky nebo svařence. Šedá litina je jeden z nejpoužívanějších materiálů pro výrobu rámu, hlavně kvůli své vlastnosti tlumit chvění. Z litiny lze také dosáhnout značně složitých tvarů, což je výhoda při sériové výrobě stroje. Svařenec má v kusové a malosériové výrobě řadu předností oproti odlitku. Jeho výroba je rychlejší a jednodušší. Vzhledem k vyššímu modulu pružnosti a lepším mechanickým vlastnostem oceli, může být svařovaný rám lehčí. Z toho vyplývá menší spotřeba materiálu na svařované díly než na odlévané (úspory hmotnosti 25 až 60%). Hlavní nevýhodou, kterou má ocel oproti litině je snížená schopnost tlumit chvění. Tuto nevýhodu lze však odstranit vhodnou volbou tvaru svařence (žebra, výztuhy). Svařence vzhledem ke špatným třecím vlastnostem oceli mají zpravidla vždy vodící plochy vyrobeny z kalených lišt, které jsou připevněny k základnímu tělesu. [4]

1.3.3 Pohony

1.3.3

Pro pohony hlavních řezných pohybů u brusek, kde není potřeba plynulá změna otáček, se využívají třífázové asynchronní motory se stupňovitou změnou otáček

mechanickými převody. V dnešní době se však více uplatňují regulační stejnosměrné elektromotory pro automatické řízení stálé obvodové rychlosti. Krouticí moment motoru je na nástroj přenášen nejčastěji pomocí mechanické převodovky s ozubením nebo pomocí řemenového převodu popřípadě kombinací obou. U malých brusek může být brusný kotouč upnut přímo na prodloužené části hřídele vycházející z motoru. [4]

U řady obráběcích strojů, jako jsou například brusky pro vnější obvodové broušení rotačních součástí je potřeba také pohánět rotační pohyb obrobku. Pro zajištění tohoto pohybu bývá nejčastěji užíván třífázový asynchronní elektromotor s převodovkou pro změnu otáček. Nebo lze také použít regulační stejnosměrný elektromotor. [4]

1.3.4 Příklady konstrukce speciálních brusek



Obr. 1-8 Nástrojová bruska BN 102 [11]

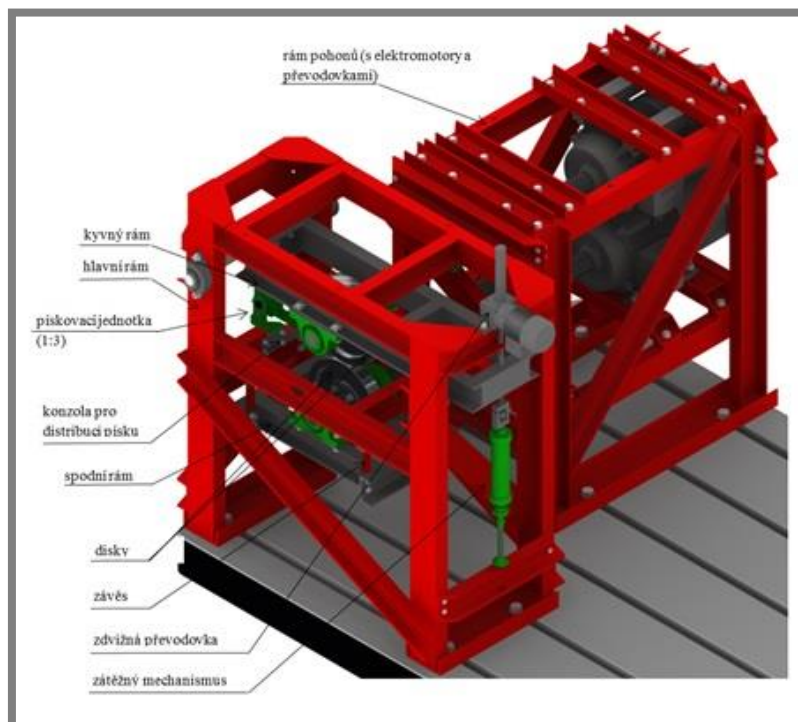


Obr. 1-9 Bruska pro broušení velkých průměrů [17]

1.4 Zkušební zařízení Twin disk

1.4.1 Popis zařízení

Twin disk je experimentální zařízení sloužící k výzkumu tribologických aspektů v kontaktu kola a kolejnice kolejových vozidel. Princip spočívá ve vzájemném odvalování dvou ocelových disků, z nichž jeden představuje kolo vozidla a druhý kolejnici. Velikost disku představující kolo je vzhledem ke skutečné velikosti kola zmenšena v poměru 1:3. Každý z disků je poháněn vlastním elektromotorem a převodovkou. Disk představující kolejnici je uložen na kyvném rámu. Druhý disk představující kolo je uložen na rámu, který je zavěšen pod ním na pásové oceli. Pomocí pohybu kyvného rámu se oba disky k sobě přitlačují, to simuluje zatížení během provozu kolejového vozidla. Součástí zařízení je pískovací aparatura, která přivádí do kontaktu disků dávky písku dle potřeby výzkumu.



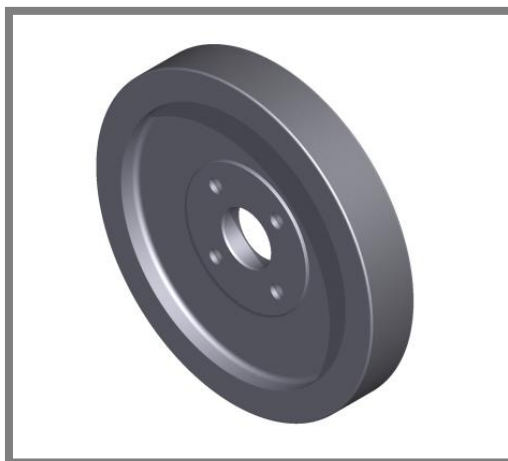
Obr. 1-11 Popis zařízení Twin disk [7]

1.4.2 Zkušební disky

1.4.2

Disky jsou vyrobené z oceli 12 050 a jsou zakaleny v celém svém objemu. Disk kolejnice na tvrdost 280 – 300 HB a disk kola na 245 HB. Způsob uložení je pro oba stejný a to pomocí dvou hřídelů, z nichž jeden je opatřen středícím průměrem, na kterém je uložen disk. Uložení bylo zvoleno pro snadnou demontáž a výměnu disků. Oba zkušební disky mají průměr 320 mm a šířku 50 mm. Navíc disk kolejnice má obvodovou plochu zaoblenou kruhovým obloukem o poloměru 100 mm. Na rozdíl od disku představujícího kolo, který má obvod válcového tvaru. [7]

Povrch zkušebních disků se bude během zatěžování poškozovat a deformovat. To by mohlo způsobit zkreslení výsledků měření a celého výzkumu. Proto je potřeba obnovit kvalitu povrchu těchto disků vhodným opracováním (např. broušením).



Obr. 1-12 Zkušební disk

2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je navrhnout jednoúčelové zařízení na přebroušování zkušebních vzorků. Navrhnout nejvhodnější metodu pro broušení rotační válcové a tvarové plochy u zkušebních disků. Tuto metodu pak aplikovat v konstrukčním návrhu zařízení. To musí být schopné provádět navrženou metodu s dostatečnou přesností a obrobené plochy musí dosahovat požadované kvality. Proto je nutné, aby konstrukce měla dostatečnou tuhost a odolnost proti chvění. Pro návrh zařízení je potřeba vypočítat některé důležité rozměry a k tomu je nutné znát síly vznikající při procesu broušení. Síly se vypočítají ze vztahů zjištěných v řešební části. Po výpočtu některých rozměrů je nutné zvolit potřebné pohony pro pracovní pohyby. Dále pak navrhnout rám zařízení a potřebné vedení pro vedlejší pohyby, které bude zařízení vykonávat. Důležitým požadavkem je konstrukční jednoduchost, z důvodu možné pozdější výroby a montáže převážně za pomoci vybavení dílen fakulty strojního inženýrství.

3 VARIANTY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

3

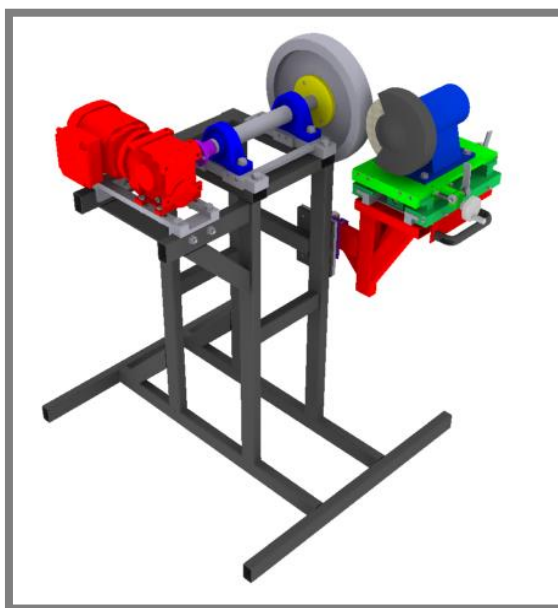
3.1 Varianta 1

3.1

3.1.1 Popis varianty 1

3.1.1

První varianta je navržena jako kopírovací bruska, která přesně opisuje oblouk s potřebným poloměrem. Varianta 1 byla konstruována jako samostatné stojanové zařízení, které má rám svařený z obdélníkových profilů. Na rámu je upevněn unášecí vřeteník. Unášecí vřeteník je v podstatě hřídel uložen v ložiskových jednotkách společnosti SKF, který je poháněn převodovým motorem značky SEW EURODRIVE. Převodový motor je složen z asynchronního motoru o výkonu 0,18 kW a šnekové převodovky, která má otáčky na výstupu $15 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Na konci hřídele je umístěna příruba sloužící k upnutí obrobku. Na hlavní rám je pomocí otočného čepu pohyblivě uložen brousící vřeteník. Ten je na svařenci z obdélníkových profilů tvořící stůl, který je schopný vykonávat rotační pohyb. Rotační pohyb kolem čepu je vykonáván ručně pomocí madla upevněného k otočnému stolu. Tomuto pohybu lze zamezit sešroubováním přílozek okolo čepu. To umožní broušení disků s rovnou válcovou plochou. Brousící vřeteník je složen z upravené dvoukotoučové brusky s brusným kotoučem o průměru 175 mm. Bruska je přišroubována k pohyblivé základně. Ta je schopna se pohybovat ve dvou osách po kluzném vedení složeném z broušených rovinných ploch. Kluzné vedení bylo zvoleno z důvodu menší spotřeby konstrukčního prostoru a větší jednoduchosti. Pro vymezení vůle, jsou vedení opatřena lištami s odtlačovacími šrouby. Pohyb vedení zajišťuje dvojice pohybových šroubů s lichoběžníkovým závitem, které se ovládají manuálně pomocí kliček. Pohybové šrouby je možné aretovat pomocí svěrných objímek, které jsou utaženy výstředníkovými páčkami.



Obr. 3-1 Zobrazení první varianty

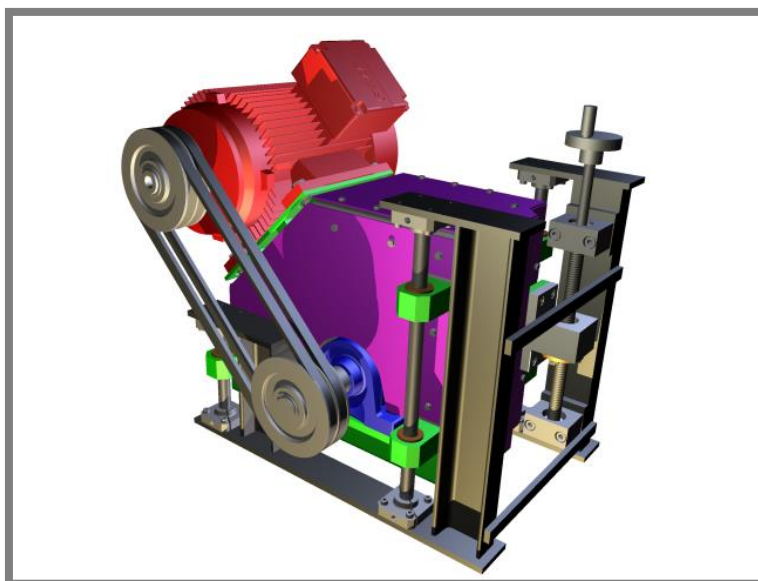
3.1.2 Zhodnocení varianty 1

Tento návrh zařízení pro přebroušování je výhodný z důvodu snadného nastavování broušeného poloměru a je schopný brousit i rovné válcové plochy axiálním způsobem. Pro změnu mezi krouživým pohybem brusky a axiálním posouváním stačí aretovat otočný čep. Další výhodou je rychlá výměna zkušebních disků, které jsou upevněny mezi dvěma přírubami a unášeny pomocí kolíku. Výzkumný tým ÚK pracující se zařízením Twin disk disponuje sadou zkušebních disků a pomocí tohoto zařízení by bylo možné v poměrně krátkém čase přebrousit všechny disky sady. Nevýhodou této varianty je hlavně obtížné dosažení přesnosti při montáži tohoto zařízení. Je potřeba, aby osa otočného čepu byla co nejpresněji umístěna v rovině, která je přesně uprostřed obrobku a je kolmá na osu jeho rotace. A to proto, že při kopírování kruhového oblouku na obvodu obrobku by mohlo dojít k tomu, že na jedné straně kotouče by bruska neodebírala žádný materiál a na straně druhé by zajela příliš do hloubky. Výsledný povrch by pak neodpovídal požadované kvalitě, navíc by mohlo dojít k poškození brusky nebo dokonce k roztržení kotouče. Je zde také možnost vzníkání gyroskopických sil, které by mohli ovlivňovat plynulost otáčení kolem čepu. Hlavní nevýhodou jsou poměrně vysoké výrobní náklady.

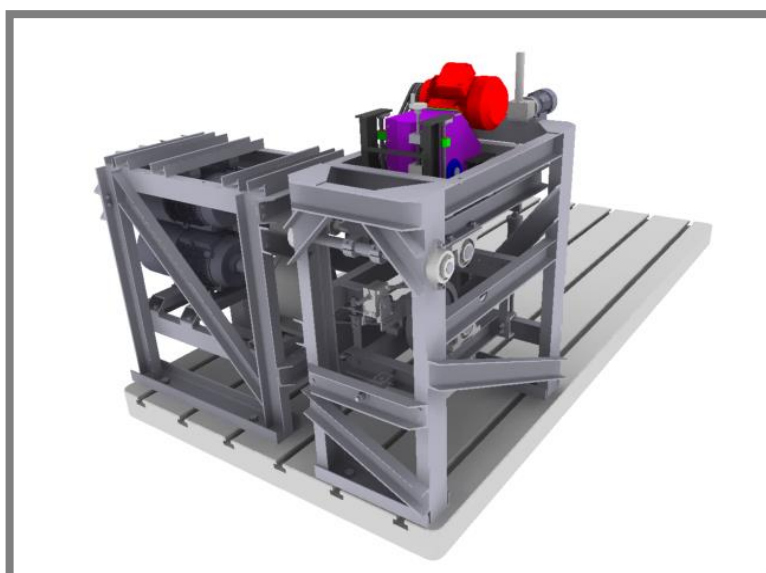
3.2 Varianta 2

3.2.1 Popis varianty 2

Návrh druhé varianty vychází z konstrukčního uspořádání univerzální hrotové brusky pro velké průměry broušených součástí. Tato varianta je v podstatě jen brousící vřeteník s přísuvem do středu obráběného materiálu. Jedná se o broušení vnější válcové plochy radiálním způsobem. Konstrukce je řešena tak, že brousící zařízení se přímo upevní na rám testovacího zařízení, a to konkrétně na horní část kyvného rámu. Samotný rám brousícího zařízení se skládá ze dvou vůči sobě pohyblivých rámu (vnější a vnitřní). Vnější rám je svařen ze svisle orientovaných U profilů velikosti 60 a plochých plátů, které tvoří základnu celého zařízení. Na vnějším rámu jsou uchyceny vodící tyče pro pohyb vnitřního rámu. Ten je svařen z obdélníkových profilů a tvoří základnu pro uložení ložiskových jednotek a motoru. Brusný kotouč je upnutý na náboji se dvěma přírubami a ten je nasazený na kuželovou plochu hřídele. Hřídel je uložen v ložiskových jednotkách od společnosti SKF a je poháněn přes řemenový převod třífázovým asynchronním motorem o výkonu 2,2 kW od společnosti SEW-EURODRIVE. Přenos krouticího momentu zajišťují dva úzké klínové řemeny SPA. Pro vedení přísuvu bylo navrženo lineární vedení pomocí vodících tyčí uložených v kluzných pouzdrech. Vyvození pohybu přísuvu zajišťuje pohybový šroub s lichoběžníkovým závitem, který je poháněn manuálně pomocí kličky. Na brusném kotouči je pomocí brusické kolébky vybroušen tvar vnitřního kruhového oblouku o poloměru 100 mm (pro disk se zaoblením). Celý prostor okolo brusného kotouče je kvůli bezpečnosti z větší části zakrytován plechovými kryty, které jsou upevněny k vnitřnímu rámu. Obrobek (zkušební disk) zůstává ve svém základním uložení a je poháněn motorem ze zkušebního zařízení Twin disk.



Obr. 3-2 Zobrazení druhé varianty



Obr. 3-3 Varianta 2 upevněná na zkušební zařízení

3.2.2 Zhodnocení varianty 2

3.2.2

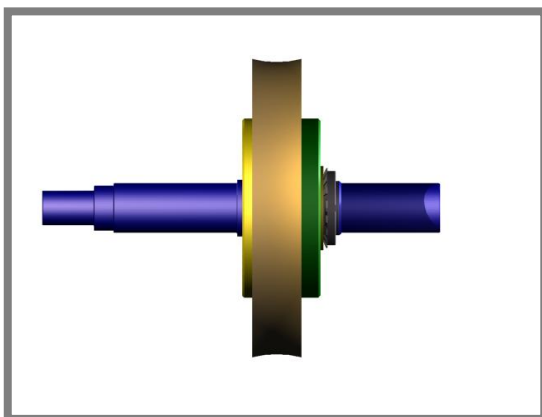
Tato varianta zajišťuje přesné vedení kotouče, který má přesně negativní tvar součásti, což by mělo zajišťovat kvalitně obrobenou plochu a požadované odebrání materiálu. Brusný kotouč je z většinové části zakrytován pro případ jeho roztržení nebo poruchy, to zvyšuje bezpečnost při použití této metody. Nevýhodou tohoto návrhu je však vysoká hmotnost celého zařízení, které by se muselo pro každé broušení nasadit a přišroubovat na zkušební zařízení Twin disk. Navíc je kyvný rám na jedné straně zavěšený pouze na zdvižné převodovce, která by hmotnost brousícího zařízení neunesla. Z toho vyplývá nutná úprava zkušebního zařízení spočívající v dostatečně pevném zajištění kyvného rámu ve stálé poloze vhodné

k broušení. Další velkou nevýhodou této varianty je, že zařízení je schopné přebroušovat pouze horní disk na zkušebním zařízení, což by znamenalo výměnu zkušebních disků a tím pádem i odmontování brousícího zařízení při každé výměně disků.

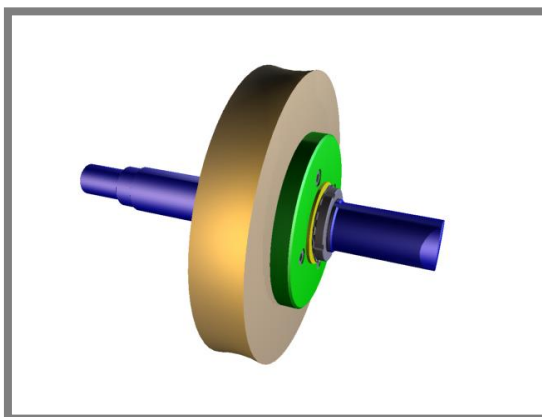
3.3 Varianta 3

3.3.1 Popis varianty 3

Třetí varianta byla zvolena jako samostatný brousící vřeteník. Tento vřeteník vykonává pouze pohyb přísuvu a je opatřen brousícím kotoučem o průměru 300 mm a šířce 50 mm. Brusný kotouč je po obvodu orovnáán do požadovaného tvaru pomocí brusíčské kolébky. Princip konstrukce vychází z nahrazení jednoho z disků na zkušebním zařízení Twin disk přímo brousícím kotoučem. Tato varianta se skládá pouze z hřídele a upínacích přírub. Hřídel je konstruována tak, aby mohla být uložena v ložiskových jednotkách použitých na zkušebním zařízení a mohla být poháněna pomocí motorů použitých na tomto zařízení. Hřídel je opatřena kuželovou plochou, na kterou dosedá náboj brusného kotouče. Ten je na tomto náboji upnut mezi dvěma stejně velkými přírubami.



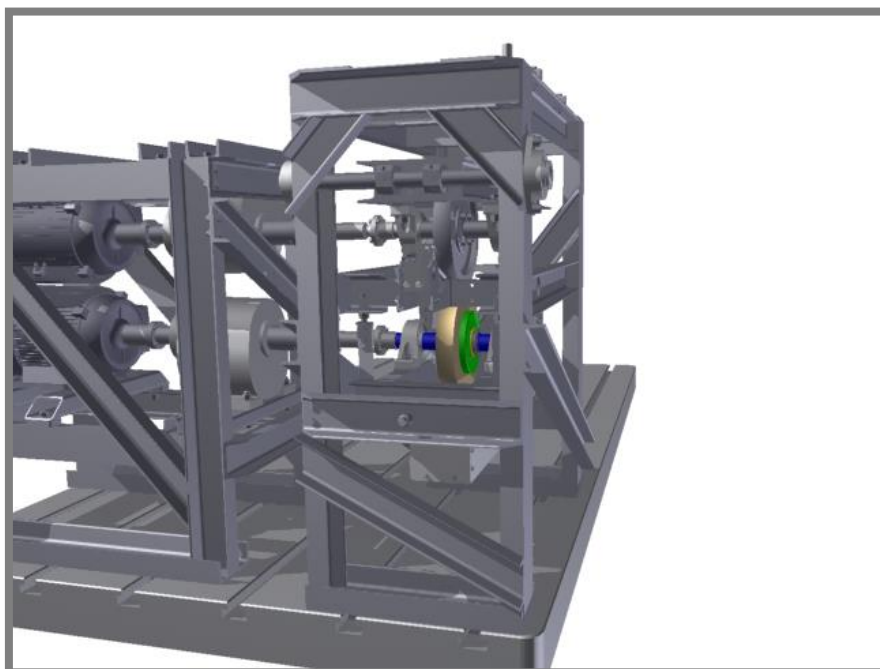
Obr. 3-4 Zobrazení třetí varianty (pohled zepředu)



Obr. 3-5 Zobrazení třetí varianty

3.3.2 Zhodnocení varianty 3

Poslední varianta je značně výhodná z důvodu jednoduchosti a nízké výrobní ceny. Neobsahuje žádné vedení a kromě rotačního pohybu nevykonává žádný jiný pohyb. Není potřeba přidavná pohonná jednotka. Velká nevýhoda spočívá v nedokonalém zajištění přísuvu, který by vykonával kyvný rám zkušebního zařízení.



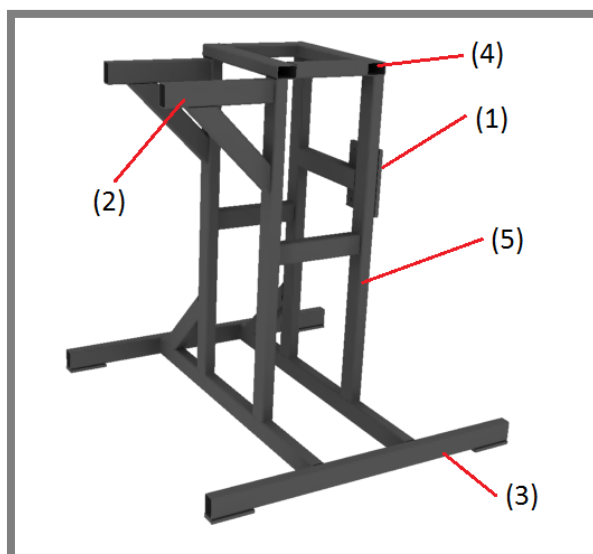
Obr. 3-6 Varianta 3 upevněná na zkušebním zařízení

4 OPTIMÁLNÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Po zhodnocení kladů a záporů všech variant byla vybrána první varianta jako optimální konstrukční řešení. Konstrukce zařízení pro přebušování zkušebních vzorků obsahuje návrh několika konstrukčních celků a součástí.

4.1 Konstrukce hlavního rámu

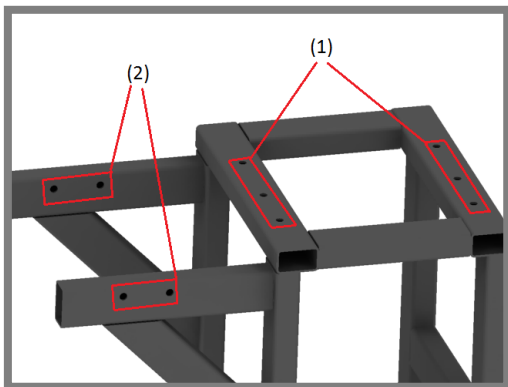
Hlavní rám byl navržen jako svařenec z větší části tvořen obdélníkovými profily z materiálu S235JRH, dle ČSN EN 10219-2. Obdélníkový profil má výšku 50 mm, šířku 30 mm a tloušťku stěny 2,5 mm. K rámu z profilů je z jedné boční strany přivařena deska (1) na obr. 4-1 sloužící k přišroubování otočného závěsu, ve kterém je uložen čep pro otáčení pracovního stolu. Na druhé straně (2) na obr. 4-1 je rám uzpůsoben pro usazení převodového motoru pohánějícího obrobek. Profily horizontálně umístěné jsou vyztuženy vzpěrami, které jsou zkosené pod úhlem 45°, pro větší tuhost rámu. Podstavec (3) na obr. 4-1 tvoří horizontálně orientované obdélníkové profily svařené do tvaru písmena I. Pod těmito profily jsou přivařené ploché tyče, které slouží jako nožky. Podstavec lze upravit, aby bylo možné ho popřípadě upnout na stejnou základní desku, na které je upnuto zkušební zařízení Twin disk. Kolmo na podstavec jsou vertikálně přivařeny 4 profily, které tvoří stojan celého zařízení (5) na obr. 4-1. Stojan je na zadní straně zpevněn profily zkosenými pod úhlem 45°, pro zajištění lepší stability. Zároveň je vyztužen dalšími třemi profily, které jsou umístěny vždy horizontálně mezi jednotlivé stojiny. Nejvyšší část rámu (4) na obr. 4-1 tvoří plochu pro uložení vedení pro ložiska. Svaření obdélníkových profilů k sobě navzájem a k ostatním součástem je provedeno koutovými svary nebo 1/2 V - svary.



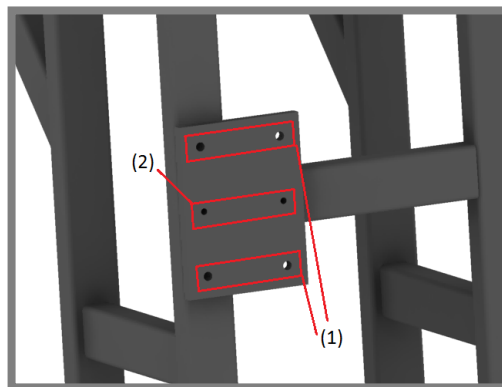
Obr. 4-1 Hlavní rám

V části rámu pro usazení převodového motoru jsou vyvrtány 4 díry, které slouží pro přišroubování stolu motoru (2) na obr. 4-2. Díry jsou vrtány skrz celý profil, aby bylo možné šrouby zajistit maticemi. Velikost těchto děr je 9 mm. V horní části

je vyvrtáno 6 děr a jsou také průchozí (1) na obr. 4-2. Díry slouží pro připevnění pohyblivé základny ložisek a mají také průměr 9 mm. Dále pak deska připevňená k boční straně rámu je opatřena čtyřmi závitovými průchozími děrami pro připevnění uložení otočného čepu (1) na obr. 4-3, a dvěma průchozími děrami pro kolíky z důvodu přesného uchycení uložení otočného čepu (2) na obr. 4-3. Závitové díry mají metrický závit velikosti M10. Díry pro kolík mají průměr 6 mm.



Obr. 4-2 Hlavní rám – detail děr 1

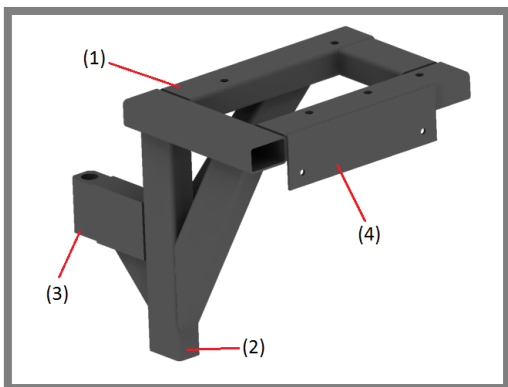


Obr. 4-3 Hlavní rám – detail děr 2

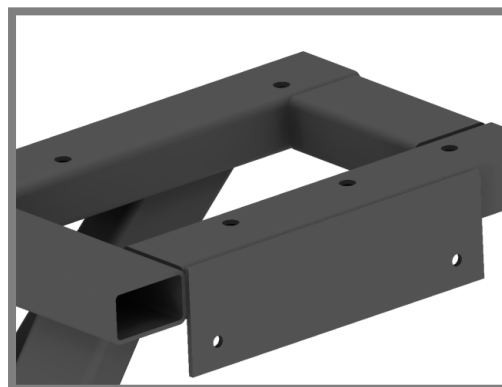
4.2 Konstrukce otočného stolu

4.2

Konstrukce otočného stolu je navržena jako svařenec z většinové části z obdélníkových profilů. Tyto profily jsou totožné velikosti a materiálu jako obdélníkové profily použité při konstrukci hlavního rámu zařízení. V horní části jsou svařeny do tvaru obdélníku (1) a slouží pro upevnění nepohyblivé části podélného kluzného vedení brusky (lože). Kolmo na tuto část je vertikálně přivařen jeden obdélníkový profil jako nosný prvek (2). Horní část je spojena s tímto profilem dvěma výztuhami pro lepší tuhost stolu, jedna je zkosena pod úhlem 30° a druhá 45°. Na vertikálně orientovaném profilu je také připevněn hranol sloužící jako zavěšení na otočný čep, který je ze spodní části podepřen žebrem (3). Hranol je opatřen dírou o průměru 18 mm pro zavedení čepu. Žebro je z plechu tloušťky P3. Na horní část je k opačné straně přivařen plech také tloušťky P3, který slouží k přišroubování madla (4). V horní části konstrukce otočného stolu je vyvrtáno pět děr pro připevnění pevné části podélného vedení brusky. Díry jsou průchozí a mají průměr 9 mm. Dále pak plech určený pro připevnění madla je opatřen dvěma průchozími děrami také o průměru 9 mm.



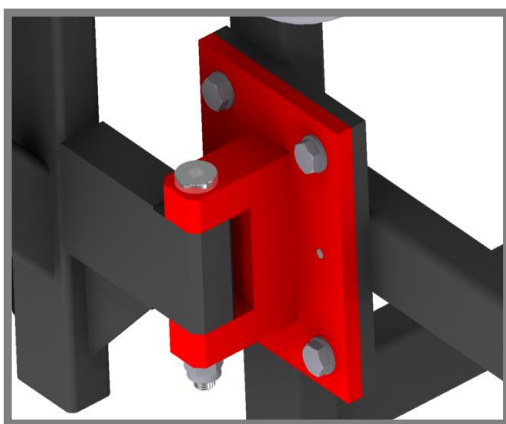
Obr. 4-4 Otočný stůl



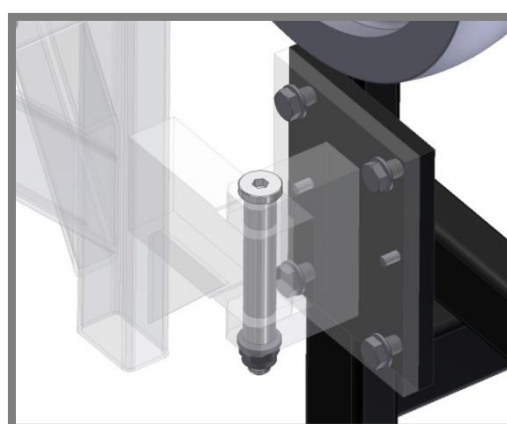
Obr. 4-5 Otočný stůl – detail děr

4.3 Konstrukce otočného uložení

Otáčivý pohyb pracovního stolu zajišťuje otočné uložení válcového čepu. Čep je vybrán ze sortimentu společnosti MISUMI a je z ušlechtilé oceli EN C45E. Jmenovitý průměr dřívku čepu je 18 mm. Na jedné straně je čep opatřen osazením s vnitřním šestihranem velikosti 8 mm, na straně druhé je opatřen vnějším závitem M12. Zajištěn je samojistnou šestihrannou maticí a podložkou. Tento čep prochází dírou ve vidlici, která je koutovými svary připevněna k závěsné desce. Tato deska má tloušťku 10 mm a je pomocí čtyř šroubů M10 a dvou kolíků o průměru 6 mm připevněna k boční straně hlavního rámu. Dále čep prochází výše popsanou částí otočného stolu, která je umístěna do vidlice. Pro snadnější zavedení čepu a menší odpor proti otáčení může být uložení mazáno tukem. Rozsah otáčení je omezen na úhel asi 34°, omezení je provedeno osazením na otočné části vložené ve vidlici.



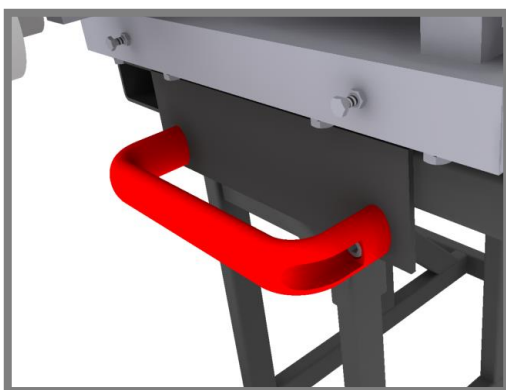
Obr. 4-6 Vidlice otočného uložení



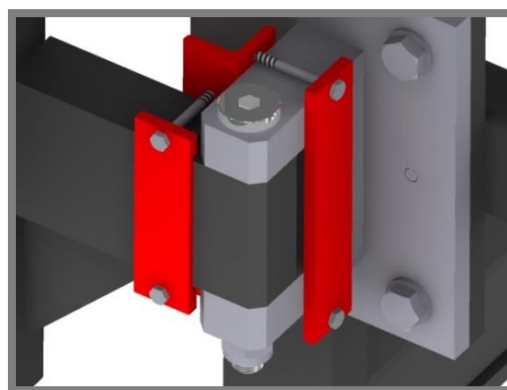
Obr. 4-7 Čep otočného uložení

Otočný pohyb je vyvozen ručně, k tomuto účelu slouží hliníkové madlo vybrané ze sortimentu společnosti MISUMI. Madlo je připevněno ke svařenci otočného stolu dvěma šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem o velikosti M6. Roztečná šířka madla je 164 mm.

Pro broušení zkušebních disků s rovnou válcovou plochou je nutné zajistit tento čepový spoj proti otáčení. To zajišťuje sada příložek utažených pomocí šroubů velikosti M4. Dvě příložky jsou vyrobené z plochých tyčí a v každé z nich jsou vyvrtány dvě průchozí díry o průměru 4,5 mm. Třetí příložka má pravoúhlý tvar a je vyrobená z rovnoramenného L profilu, je opatřena čtyřmi závitovými děrami s metrickým závitem velikosti M4.



Obr. 4-8 Madlo otočného stolu



Obr. 4-9 Zajištění proti otáčení pomocí příložek

4.4 Konstrukce kluzných vedení otočného stolu

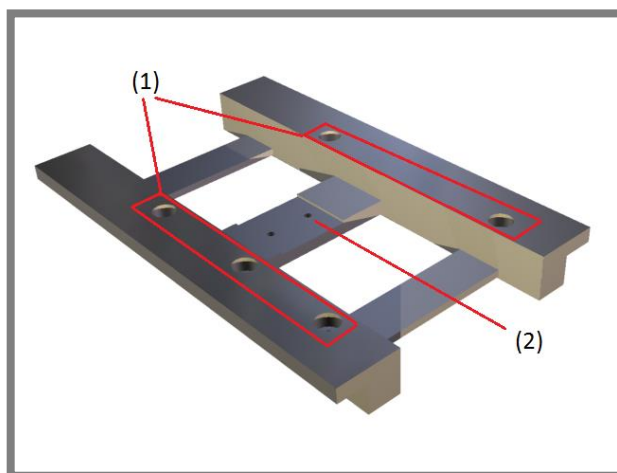
4.4

Soustava kluzných vedení pracovního vřeteníku se skládá z několika podsestav, které na sebe přiléhají vodíciími plochami. Dohromady tvoří soustavu vedení schopnou pohybu ve dvou horizontálních na sebe navzájem kolmých osách. Podsestavy jsou dále popsány v následujících podkapitolách.

4.4.1 Nepohyblivá část podélného vedení

4.4.1

Nepohyblivá část podélného vedení je konstruována jako svařenec. Hlavní části tvoří dvě vodící lišty, které mají vždy horní plochu broušenou pro lepší vedení. Na obou lištách je také broušená boční plocha orientována směrem ven. Broušené části jsou styčné plochy, které budou přenášet zatížení pracovního vřeteníku (brusky) a bude se po nich smýkat pohyblivá část podélného vedení. Vodící lišty jsou spojeny třemi spojovacími díly z plochých tyčí, z nichž jeden je uzpůsoben pro umístění matice pohybového šroubu. Ve vodících lištách je vyvrtáno dohromady pět děr pro šrouby s válcovou hranou s vnitřním šestihranem (1), kterými se vedení připevní ke svařenci otočného stolu. Díry nejsou rozmístěny na obou lištách rovnoměrně z důvodu složitějšího tvaru svařence stolu. Dále pak střední spojovací díl je opatřen obrobenou plochou pro usazení bloku matice pohybového šroubu a v této ploše jsou vyvrtány dvě průchozí závitové díry velikosti M6 (2), které slouží k připevnění tohoto bloku.



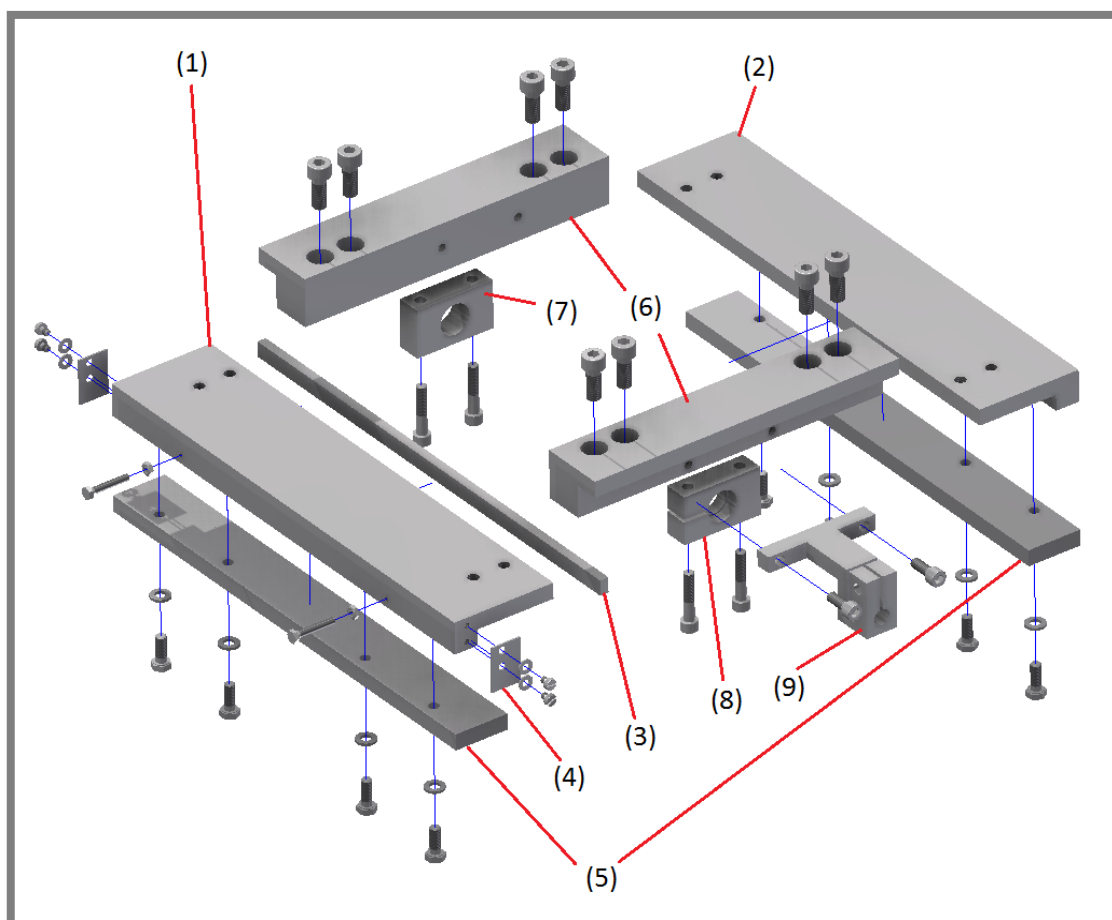
Obr. 4-10 Nepohyblivá část podélného vedení

4.4.2 Pohyblivá část podélného vedení

4.4.2

Tato část podélného vedení je konstruována jako montážní celek ze součástí spojených výhradně šroubovými spoji. Hlavní součásti jsou dvě desky sloužící jako lišty podélného kluzného vedení (1, 2), které jsou broušeny na vnitřních plochách. Deska na méně zatížené straně je upravena tak, aby do ní bylo možné vložit lištu pro vymezení vůle ve vedení (3). Ze zadní strany má dvě průchozí závitové díry pro odtlačovací šrouby velikosti M4, kterými se nastavuje vůle v podélném kluzném vedení. Dále má tato deska na každém čele dvě závitové díry pro připevnění plechových zárážek (4), které zabraňují nežádoucímu vysunutí lišty pro vymezení vůle. Tyto zárážky jsou vyrobeny z plechu tloušťky P1 a jsou k desce připevněny

šrouby s válcovou hlavou o velikosti M4. Obě hlavní vodící desky jsou opatřeny na spodní straně čtyřmi závitovými děrami s velikostí závitu M6 pro připevnění spodních lišt vedení (5). Navíc má každá deska čtyři průchozí závitové díry se závitem M8 na horní straně, které slouží k přišroubování pevné části příčného vedení (6). Ta se skládá ze dvou profilů, které mají vždy horní a jednu boční plochu broušenou. Každý profil je opatřen čtyřmi dírami pro šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem. Dále pak jsou v každém z těchto dvou profilů vyvrtány dvě díry se závitem M6 pro přišroubování bloků uložení pohybového šroubu. Na jednom profilu jsou navíc dvě díry z boční strany se závitem M6 pro připevnění bloku matice pro pohybový šroub přísuvu. Na druhém profilu jsou z opačné strany dvě díry se stejným závitem pro přišroubování prvku sloužícího jako aretace pohybového šroubu (9). Bloky uložení pohybového šroubu (7, 8) jsou vyrobeny z tvaru hranolu a oba jsou opatřeny dvěma průchozími dírami o průměru 6,4 mm pro připevnění pomocí šroubů. Dále pak mají oba bloky průchozí díru pro uložení ložiska pohybového šroubu. Jeden z bloků (8) má navíc v této díře osazení zmenšením průměru o 2 mm a je opatřen drážkou, která vytvoří z bloku svěrný spoj a zajistí tak ložisko proti axiálnímu pohybu.

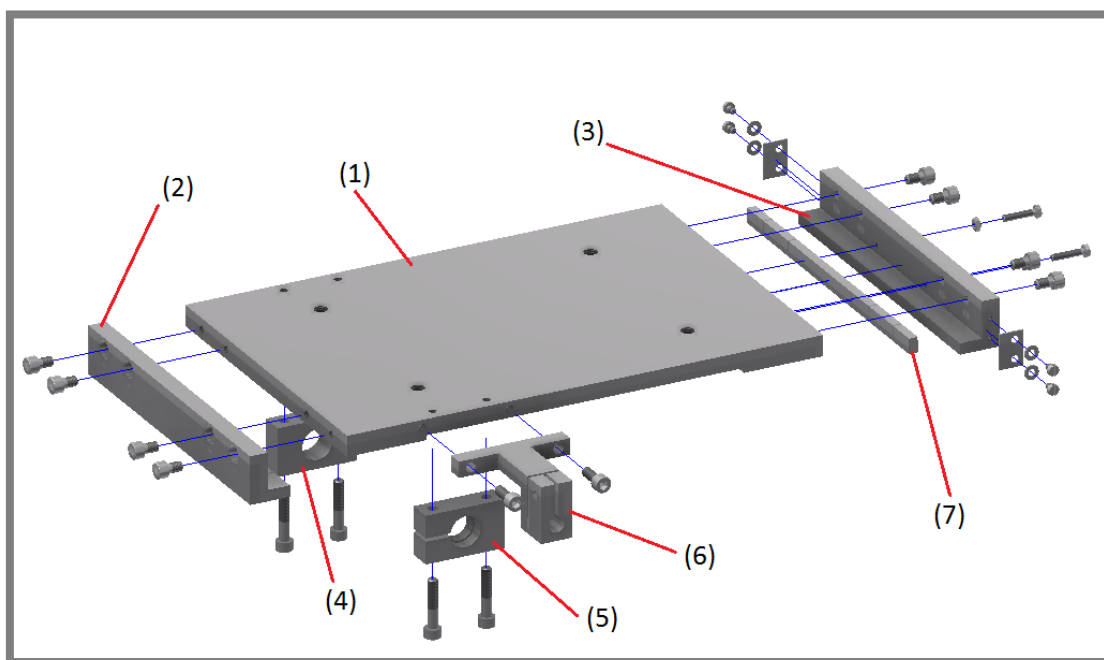


Obr. 4-11 Součásti pohyblivé části podélného vedení

4.4.3 Pohyblivá část příčného vedení

4.4.3

Pohyblivá část příčného vedení zajišťuje pohyb přísuvu brusky. Je konstruována jako montážní celek ze součástí, které jsou k sobě připevněny šroubovými spoji. Horní díl tvoří deska (1), na kterou je připevněna upravená dvoukotoučová bruska. K tomuto účelu jsou v desce vyvrtány čtyři závitové díry. Velikost rozteče děr závisí na výběru brusky. Brusku je možné při montáži podložit podložkami, které zajistí, že osa brusného kotouče a osa obrobku budou ve stejné výšce. Ze spodní strany desky jsou broušené plochy, které jsou určeny jako stykové plochy kluzného vedení. Na každé ze dvou bočních stran desky jsou vyvrtány čtyři díry se závitem M6 pro připevnění bočních lišt vedení (2, 3). Tyto lišty mají profil L a jejich vnitřní plochy jsou broušeny. Jsou opatřeny čtyřmi otvory pro šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem. Dále pak lišta na nezátížené straně vedení (3) je upravena k vložení lišty pro vymezení vůle (7) obdobným způsobem, jako je tomu u podélného vedení. K hlavní desce jsou přišroubovány bloky uložení pohybového šroubu přísuvu (4, 5) pomocí šroubů s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem velikosti M6. Jeden z bloků (5) je upraven podobným způsobem jako u podélného vedení pro axiální zajištění ložiska pohybového šroubu. Ze zadní strany je k desce přišroubována součást (6), která slouží jako aretace pohybového šroubu přísuvu.



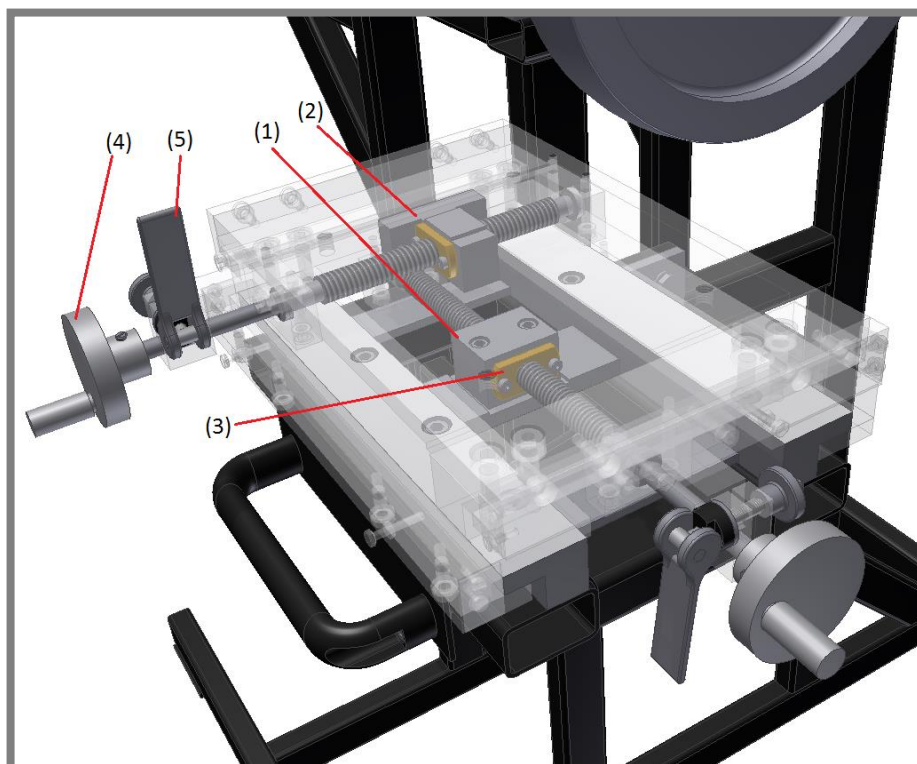
Obr. 4-12 Součásti pohyblivé části příčného vedení

4.4.4 Pohybové šrouby

4.4.4

Lineární pohyb kluzných vedení zajišťují pohybové šrouby s lichoběžníkovým závitem s rozměrem TR 16x3. Šrouby jsou vysoustruženy na požadované rozměry ze závitových tyčí, které byly vybrány ze sortimentu společnosti MISUMI. Pohybové šrouby jsou uloženy v uzavřených radiálních kuličkových ložiskách 61800-2Z od společnosti SKF. Na šroubech jsou ložiska zajištěna pojistnými kroužky. Ložiska jsou dále uložena v blocích popsaných v předchozí podkapitole. Jedno z ložisek

je vždy axiálně zajištěno v bloku svěrným sevřením. Na konci pohybového šroubu je umístěna ruční klika (4), která je upevněna pomocí stavěcího šroubu. Matice pohybových šroubů (3) jsou z mosazi a jsou také od společnosti MISUMI. Jsou upevněny v ocelových blocích (1, 2) dvěma šrouby se závitem M4. Blok matice pro podélný posuv (1) je přišroubován k pevné části podélného vedení dvěma šrouby se závitem M6. Blok pro příčný posuv (2) je upevněn na nepohyblivé části příčného vedení šrouby se závitem také M6. Pro zajištění vedení v požadované poloze jsou šrouby sevřeny pomocí aretačních prvků zmíněných v předchozích podkapitolách. Tyto prvky jsou utahovány pomocí rychloupínacích pák od společnosti MISUMI (5).



Obr. 4-13 Zobrazení pohybových šroubů v sestavení

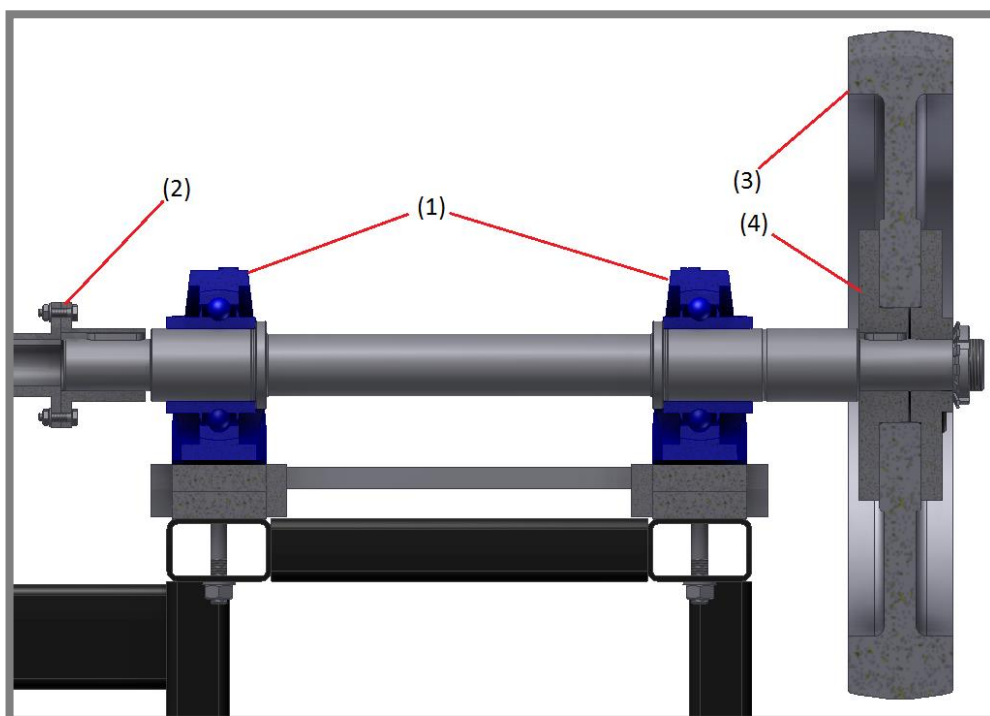
4.5 Konstrukce unášecího vřeteníku

Unášecí vřeteník je tvořen hřídelem uloženým v ložiskových jednotkách od společnosti SKF (1) na obr. 4-14. Tyto jednotky jsou připevněny na pohyblivý stůl, který umožňuje pohyb radiálně proti brusnému kotouči. Tento pohyb je nutný pro případ velkého úbytku obráběného materiálu, aby bylo možné dodržet požadovaný rádius. Hřídel je poháněn přes přírubovou spojku převodovým motorem, který je na vlastním stole a je možné ho také posunovat do požadované polohy.

4.5.1 Návrh hřídele

Hnací hřídel je z materiálu E295 dle ČSN EN 10025-2. Rozměry hřídele byly navrženy z provedených výpočtů (Příloha II). Pro zjištění výsledných vnitřních účinků musely být určeny síly vznikající při procesu broušení. Hřídel je zatížen nejen silami od brousícího procesu, ale také gravitační silou působící na obrobek.

Při výpočtu byly uvažovány dva stavy. První stav byl při uvažování řezných sil působících kolmo na osu rotace, druhý pak při působení pod maximálním úhlem natočení brusného kotouče. Bylo zjištěno, že ohybový moment je větší při maximálně natočeném brusném kotouči. Dále pak bylo uvažováno pouze s tímto ohybovým momentem. Mez kluzu dané oceli je cca 285 MPa. Návrhový součinitel byl zvolen 2. Návrhový průměr byl určen s ohledem na statické porušení z redukovaného napětí pro podmínku $\max \tau$. Dále byl určen druhý návrhový průměr s ohledem na únavové porušení z Gerberova kritéria. Následně byly navrženy rozměry hřídele a hřídel zkontrolován v kritickém bodě proti statickému i únavovému porušení. Nejmenší průměr hřídele je 25 mm a kontrolované kritické místo je v místě ložiska A (blíže obrobku) kde je průměr 35 mm. Součinitel bezpečnosti proti statickému porušení je 8,25 a součinitel bezpečnosti proti únavovému porušení je 10,8.



Obr. 4-14 Zobrazení uložení hřídele

Konce hřídele jsou opatřeny drážkami pro těsná pera. Na straně umístění spojky (2) je délka drážky 28 mm, na straně obrobku (3) jsou dvě pera délky 20 mm z důvodu úzkého náboje. Tyto pera svírají úhel 120° . Navíc je na straně, kde jsou dvě pera, závit pro pojistnou matici velikosti KM 5, která axiálně zajišťuje příruby (4) unášející obrobek. Při výpočtu per byl uvažován krouticí moment dodávaný šnekovou převodovkou. Tento moment je však mnohonásobně vyšší než moment vyvolaný řeznou silou. Návrh rozměrů per vychází z následujícího výpočtu.

Znamé hodnoty:

$$d_2 = 25 \text{ mm}; M_k = 68 \text{ Nm}; p_0 = 150 \text{ MPa} [9]; t_1 = 2,9 \text{ mm}; b = 8 \text{ mm}$$

kde:

d_2 [mm]	- průměr hřídele v oblasti drážky pro pero
M_k [Nm]	- krouticí moment na hřídeli
p_0 [MPa]	- dovolený tlak na bok drážky náboje
t_1 [mm]	- hloubka drážky pro pero v náboji
b [mm]	- šířka drážky pro pero

Určení skutečného dovoleného tlaku:

$$p_D = 0,7p_0 = 0,7 \cdot 150 \text{ MPa} = 105 \text{ MPa}$$

Určení obvodové síly na daném průměru:

$$F_o = \frac{2M_k}{d_2} = \frac{2 \cdot 68 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{25 \text{ mm}} = 5440 \text{ N}$$

Určení délky pera:

$$l = \frac{F_o}{p_D t_1} + b = \frac{5440 \text{ N}}{105 \text{ MPa} \cdot 2,9 \text{ mm}} + 8 \text{ mm} = 25,87 \text{ mm}$$

Zvolená minimální délka pera je 28 mm.

4.5.2 Návrh a kontrola ložiskových jednotek

Hřídel je uložen ve dvou ložiskových jednotkách SY 35 TF od společnosti SKF. Ložiskové jednotky obsahují radiální kuličkové ložisko YAR 207-2F. Kontrolováno bylo pouze více zatížené ložisko. Výpočet trvanlivosti byl proveden pro spolehlivost 90 %. Pro kontrolní výpočet ložiska byly použity následující vztahy [9].

Znamé hodnoty:

$$C = 25500 \text{ N}; C_0 = 15300 \text{ N}; f_0 = 14; F_A = 25,71 \text{ N}; F_R = 300,41 \text{ N}; n_w = 15 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$$

kde:

C [N]	- základní dynamická únosnost
C_0 [N]	- základní statická únosnost
f_0 [-]	- výpočtový součinitel
F_A [N]	- axiální zatížení ložiska
F_R [N]	- radiální zatížení ložiska
n_w [ot·min ⁻¹]	- otáčky obrobku

Pro určení mezní hodnoty e je nutné znát hodnotu následujícího výrazu:

$$\frac{f_0 F_A}{C_0} = \frac{14 \cdot 25,71 \text{ N}}{15300 \text{ N}} = 0,024$$

Pro tuto hodnotu byla lineární interpolací zjištěna mezní hodnota $e = 0,265$, která určuje, zda je při výpočtu nutné uvažovat axiální zatížení. Body pro lineární interpolaci byly získány z katalogu výrobce daného ložiska [10].

Určení poměru radiální a axiální síly:

$$\frac{F_A}{F_R} = \frac{25,71N}{300,41N} = 0,086$$

Zjištěný poměr je menší než mezní hodnota e . Z toho vyplývá, že při výpočtu zanedbáváme axiální sílu působící na ložisko a jako ekvivalentní zatížení uvažujeme pouze hodnotu radiální síly [9].

Určení ekvivalentního zatížení

$$P = F_R = 300,41N$$

kde:

- $P[N]$ - ekvivalentní zatížení
 $F_R[N]$ - radiální zatížení ložiska

Určení základní trvanlivosti ložiska v počtech otáček:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 10^6 = \left(\frac{25500N}{300,41N}\right)^3 10^6 = 6,116 \cdot 10^{11} ot$$

kde:

- $L_{10}[ot]$ - základní trvanlivost ložiska v otáčkách
 $C[N]$ - základní dynamická únosnost
 $P[N]$ - ekvivalentní zatížení

Určení základní trvanlivosti ložiska v provozních hodinách:

$$L_h = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \frac{10^6}{60n_w} = \left(\frac{25500N}{300,41N}\right)^3 \frac{10^6}{60 \cdot 15ot \cdot min^{-1}} = 679,57 \cdot 10^6 hod$$

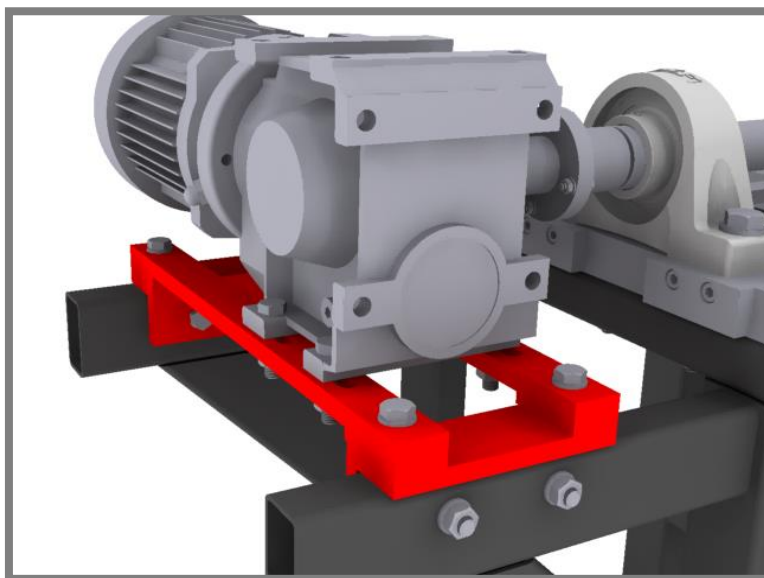
kde:

- $L_h[hod]$ - základní trvanlivost ložiska v provozních hodinách
 $C[N]$ - základní dynamická únosnost
 $P[N]$ - ekvivalentní zatížení
 $n_w[ot \cdot min^{-1}]$ - otáčky obrobku

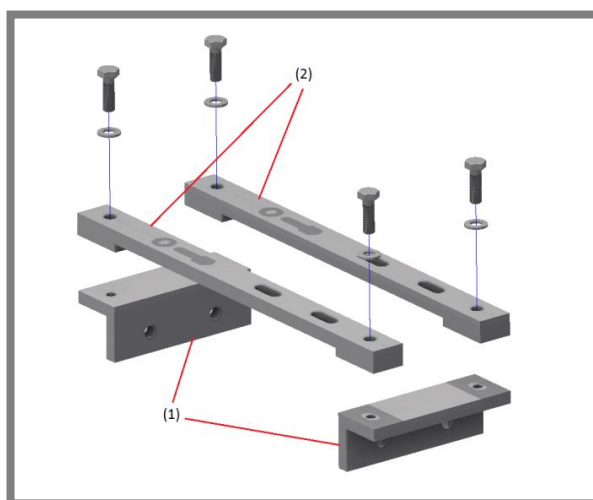
4.5.3 Konstrukce stolu převodového motoru

4.5.3

Převodový motor je usazen na stole, který je konstruován jako montážní celek čtyř součástí navzájem připevněných šroubovými spoji. Základ tohoto stolu tvoří dva prvky, které mají profil L (1). V každém z nich jsou z horní strany vyvrtány dvě závitové díry se závitem M8. Z boční strany má každý prvek dvě průchozí díry o průměru 9 mm pro připevnění k hlavnímu rámu. Na horní stranu těchto profilů jsou přišroubovány dvě tyče (2) šrouby velikosti M8. Tyče mají obdélníkový průřez a slouží jako základna pro připevnění převodovky. Na každé tyči jsou dvě drážky šířky 9 mm a délky 25 mm. Těmito drážkami prochází šrouby M8, které drží převodovku a pomocí nich lze motor posunovat.



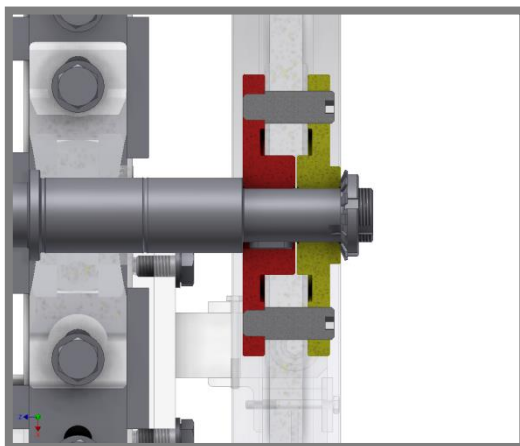
Obr. 4-15 Stůl pro uložení převodového motoru



Obr. 4-17 Součásti stolu převodového motoru

4.5.4 Konstrukce upevnění disků

Zkušební disk je na zařízení připevněn pomocí dvou přírub. Příruby mají stejný vnější průměr 130 mm a vnitřní průměr 25 mm. Jedna z přírub má na vnitřním průměru dvě drážky pro pero šířky 8 mm, drážky svírají úhel 120°. Tato příruba má přesný průměr pro usazení disku 55 mm a dvě závitové díry M12 na roztečném průměru 55 mm a dvě závitové díry na roztečném průměru 100 mm, které jsou na roztečné kružnici po 180°. Díry slouží k upevnění čepů, které unášejí obrobek. Druhá příruba má vnitřní průměr bez drážek pro pera. Na této přírubě je obrobek jen malou částí a plocha pro usazení obrobku má menší průměr, než je vnitřní průměr obrobku. Úkolem této příruby je hlavně axiální zajištění obrobku na první přírubě a zajištění první příruby. Druhá příruba má dvě díry o průměru 15 mm na roztečném průměru 130 mm po 180°. Příruby jsou k sobě přitlačovány kruhovou maticí KM 5 s pojistnou podložkou MB 5. Unášivý pohyb obrobku zajišťují dva čepy o jmenovitém průměru 14,8 mm.

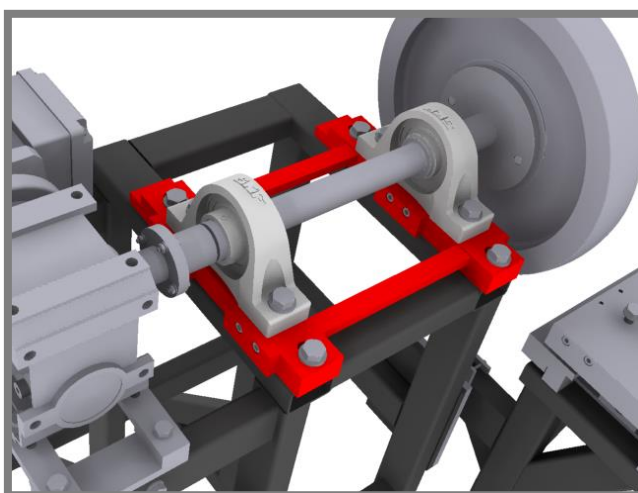


Obr. 4-18 Uložení zkušebního disku na brousícím zařízení

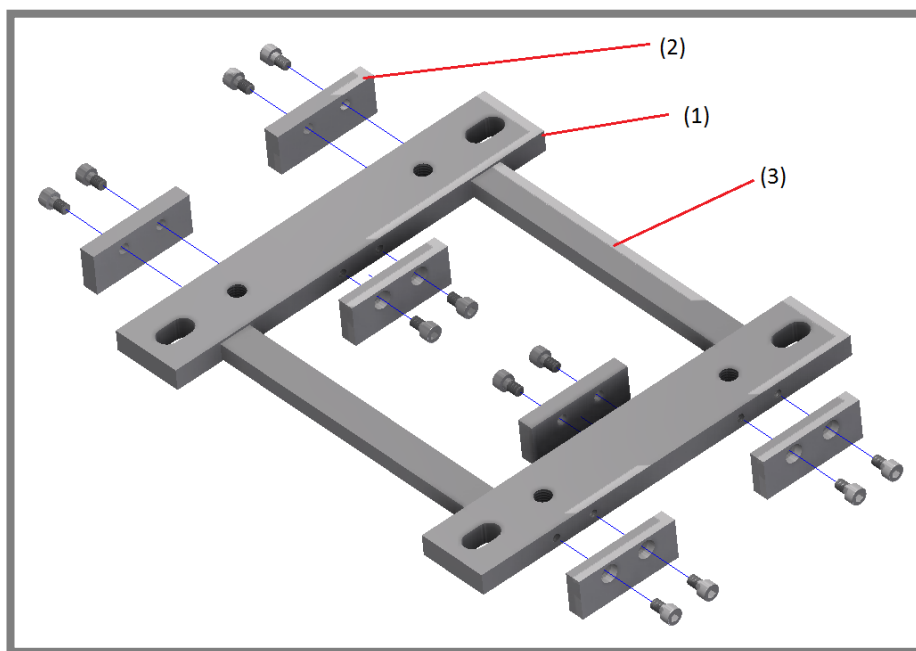
4.5.5 Konstrukce posuvného vedení vřeteníku

4.5.5

Kluzné vedení vřeteníku je konstruováno ze dvou celků. První celek jsou nepohyblivé lišty, které tvoří spojovací díl mezi hlavním rámem a pohyblivou částí. V každé nepohyblivé liště jsou vyvrtány tři díry pro šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem. Těmito šrouby o velikosti M8 je tato část vedení následně připevněna na horní část hlavního rámu. Dále mají obě nepohyblivé lišty vyvrtány dvě průchozí závitové díry se závitem M12 pro upevnění šroubů přitlačujících horní pohyblivý díl. Pohyblivou část tvoří svařenec ze dvou pohyblivých lišt (1), které jsou spojeny dvěma příčnými tyčemi obdélníkového průřezu (3). Pohyblivé lišty a příčné tyče jsou spojeny koutovými svary. V pohyblivých lištách jsou z horní strany vyvrtány závitové díry rozměru M12 pro šrouby držící ložiskové jednotky. Dále pak jsou lišty opatřeny drážkami o šířce 13 mm a délce 23 mm, aby byla zajištěna možnost posuvu vřeteníku. Po stranách každé lišty je vyvrtáno šest závitových děr se závitem M6. Ty slouží k přišroubování vodících patek (2), které zaručují pohyb pouze v jedné ose.



Obr. 4-19 Posuvné vedení unášecího vřeteníku



Obr. 4-20 Součásti pohyblivé části posuvného vedení unášecího vřeteníku

4.5.6 Přírubová spojka

Spojka unášecího vřeteníku je navržena jako přírubová s tím, že příruby jsou k sobě přišroubovány čtyřmi šrouby velikosti M4. Šrouby jsou rozmístěny na roztečné kružnici o průměru 50 mm. Příruba na konci hnaného hřídele má vnitřní průměr 25 mm. Druhá příruba, která je na výstupním čepu ze šnekové převodovky, má vnitřní průměr 20 mm.

4.6 Výběr vhodné brusky a její úpravy

V 3D modelu byla bruska zpracována pouze schematicky. Její rozměry však vychází z běžně dostupných dvoukotoučových brusek. Znázorněná bruska má také parametry uvažované při výpočtech (Příloha II). Bruska sloužící jako pracovní vřeteník brousícího zařízení musí být upravena minimálně následujícími kroky:

- Jeden brousící kotouč je odstraněn a následně výstupní čep hřídele pod tímto kotoučem je zabezpečen např. zakrytváním.
- Je odstraněna opěrka před brusným kotoučem.
- Kryt brusky je upraven způsobem, aby nezamezoval správnému provedení požadovaných operací.
- Požadovaná osová výška brusky je dosažena pomocí distančních podložek tak, aby osa brusného kotouče byla ve stejné výšce, jako je osa obrobku.

5 DISKUZE

5

Po zhodnocení výsledků vycházejících z návrhů třech různých variant bylo vybráno nejvhodnější brousící zařízení. Toto zařízení podrobně popisuje kapitola nazývající se Optimální konstrukční řešení. Na základě provedených výpočtů byl zpracován 3D model celého zařízení v programu Autodesk Inventor. Následně byly vypracovány výrobní výkresy součástí, které je potřeba vyrobit. Také byl vypracován výkres sestavení celého zařízení. Zařízení je možné upravit podle nakoupené dvoukotoučové brusky, která slouží jako pracovní vřeteník. A to konkrétně výšku otočného stolu, která musí být taková, aby osa rotace brusného kotouče byla ve stejné výšce jako osa rotace obrobku. Zvolená varianta vychází z prvotního koncepčního návrhu. Ten nebyl v práci zmíněn. Byl však postupně zdokonalován, až v konečnou verzi v podobě první varianty. Tato varianta byla vyhodnocena jako nejvhodnější i přesto, že je výrobně nejnáročnější. Její výhody v podobě rychlé výměny disků a rychlé změny mezi broušením rovné válcové plochy a tvarové plochy předčily zmíněné nevýhody. Zařízení pro přebroušování zkušebních vzorků bude s největší pravděpodobností vyrobeno a bude se používat k vykonávání potřebných úkolů v rámci výzkumu probíhajícího na zkušebním zařízení Twin disk. Tento výzkum provádí tým sestavený z pracovníků Ústavu konstruování.

6 ZÁVĚR

Tato práce se zaměřila na výběr vhodné metody pro přebroušování rotační plochy zkušebních vzorků. Na základě vybrané metody bylo navrženo několik variant brousícího zařízení, které byly následně zkonstruovány.

Prvním návrhem je samostatné zařízení, které má vlastní rám a pohony pro pohyb jak nástroje, tak obrobku. Toto zařízení je poměrně složité, ale jeho velká výhoda je v rychlosti výměny obrobků. Zařízení je schopné přebrousit celou sadu zkušebních disků a to ve velmi krátkém čase. Jeho konstrukce byla založena na principu kopírovacího broušení, kdy bruska opisuje kružnici o zvoleném poloměru. Nebo lze otáčivému pohybu zamezit a bruska vykonává pouze přímočaré pohyby. Jako pracovní vřeteník je zde zakoupená dvoukotoučová bruska, na které je potřeba provést úpravy tak, aby byla schopna vykonávat potřebnou práci.

Druhým návrhem je zařízení, které by se připevnilo na zkušební zařízení Twin disk. Brousící zařízení by využívalo pohonu zkušebního zařízení pro pohánění obrobku. Tato varianta návrhu je značně jednodušší než první návrh, ale jelikož je potřeba brousící zařízení pro každé přebroušování nasadit na testovací zařízení, je jeho velkou nevýhodou vysoká hmotnost. Navíc by díky složité montáži na zkušební zařízení, každé přebroušení trvalo příliš dlouho. Konstrukce tohoto zařízení vychází z radiálního broušení. Je zde použit brusný kotouč většího průměru a šířky tak, aby bylo možné do něj vytvořit tvar potřebný pro broušení.

Posledním návrhem je pouze hřídel s upevněným brusným kotoučem. Hřídel je uložen do ložisek na zkušebním zařízení místo hřídele jednoho zkušebního disku. Tato varianta je nejjednodušší a nejméně nákladná. Ale je také nejméně přesná a nelze u ní zaručit přesné hodnoty přísuvu. Další nevýhodou je také dlouhá doba při přebroušování více disků, což je způsobeno tím, že by se musely disky vždy měnit na zkušebním zařízení.

Po zhodnocení a zkonzultování všech variant s vedoucím práce byla jako nejvhodnější zvolena první varianta. Zařízení je schopné vykonávat všechny požadované pohyby a je schopné rychlému uzpůsobení mezi broušením válcové plochy nebo plochy tvarové. Na rozdíl od ostatních variant kdy by bylo potřeba vyměnit brusný kotouč (rovný za tvarový) nebo ho vždy orovnat na potřebný tvar. První varianta není nejvýhodnější z ekonomického hlediska, ale značný počet součástí je možné vyrobit za pomoci dílen Fakulty strojního inženýrství. To značně sníží cenu výroby tohoto zařízení. Brousící zařízení by mělo urychlit proces testování vzorků na zkušebním zařízení Twin disk, kdy není potřeba zkušební disky vracet výrobci pro obnovení původního povrchu, ale stačí je přebrousit pomocí navržené metody.

Byly vypracovány výrobní výkresy součástí a výkres sestavy brousícího zařízení. Pro lepší návrh konstrukce a správnou funkčnost celého zařízení by bylo vhodné provést modální analýzu hlavního rámu pomocí výpočetního systému ANSYS, to však nebylo řešeno v rámci této bakalářské práce.

7 BIBLIOGRAFIE

- [1] DOBROVOLNÝ, Bohumil. *Broušení kovů: Teoretické i praktické základy brusičské praxe s příklady nové techniky v broušení*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959, 104 s.
- [2] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 3. část. Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program* [online]. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005, 57 s. [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf
- [3] PŘIKRYL, Zdeněk. *Nauka o obrábění*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959, 298 s.
- [4] BERNÍK, Přemysl et al. *Obráběcí stroje: Konstrukce a výpočty*. 1. vyd. Praha: STNL-Nakladatelství technické literatury, 1982, 576 s.
- [5] PÍČ, Josef et al. *Výrobní stroje I.: Základy konstrukce obráběcích strojů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961.
- [6] BORSKÝ, Václav. *Obráběcí stroje*. Vyd. 1. Brno: Nakladatelství VUT, 1992, 216 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0470-1.
- [7] TRIBOTEC, spol. s r. o. *Konstrukce pískovacího zařízení: Technická zpráva, příloha k průběžné zprávě za rok 2012*. Brno, 2012.
- [8] Způsoby broušení. ZOZEI: *Za odbornými znalostmi evropsky a interaktivně* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://zozei.sssebrno.cz/brouseni---zpusoby/#content1143>
- [9] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [10] SKF GROUP. *Y-bearings and Y-bearings units*. 2009, 316 s. Dostupné z: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/bearing-units/ball-bearing-units/index.html>
- [11] TUMLIKOVO: *Metal cutting technologies*. [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/brouseni-nakulato-prislusenstvi-brusky-bn-102/>
- [12] PILART. [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.pilart.cz/produkt/KNUTH-RSM-750-386/>
- [13] *KATALOG SKLADOVÝCH VÝROBKŮ PRO UNIVERZÁLNÍ BROUŠENÍ*. 2009. Dostupné z: <http://www.carborundum.cz/produkty.html>
- [14] Introduction to grinding and drilling in basic workshop technology. *EDU-SUPPORT: Free study materials* [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://edu-support.blogspot.cz/2012/07/introduction-to-grinding-and-drilling.html>
- [15] Lineární vedení. *T.E.A. TECHNIK s.r.o.: Lineární vedení a pohony* [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.teatechnik.cz/linrace/>
- [16] MADE IN CHINA. [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://gdgrinder.en.made-in-china.com/productimage/honxuVQUVvkY-2f0j00YjCasTtKVQqf/China-Universal-Tool-Grinding-Machine-MQ6025A-.html>

- [17] High Precision Horizontal Boring Machine Overview. *CRANFIELD PRECISION* [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.cranfieldprecision.com/hpb43-cs-1.php>
- [18] Brusky. *SORTE TRADE s.r.o.: Kovoobráběcí a tvářecí stroje* [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.sortetrade.cz/nabidka-stroju/brusky/>
- [19] SVOBODA, P.; BRANDEJS, J.; DVOŘÁČEK, J.; PROKEŠ, F. *Základy konstruování*, pp.1-234, ISBN 978-80-7204-750-5, (2011), Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno
- [20] SVOBODA, Pavel. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 3. Brno: CERM, 2009, 223 s. ISBN 978-80-7204-636-2.
- [21] LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2005, 907 s. ISBN 80-736-1011-6.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

A_D [mm ²]	- průřez třísky
a_e [mm]	- pracovní záběr
b [mm]	- šířka drážky pro pero
b_D [mm]	- šířka aktivní čisti brousícího kotouče
C [N]	- základní dynamická únosnost
C_0 [N]	- základní statická únosnost
d_2 [mm]	- průměr hřídele v oblasti drážky pro pero
d_s [mm]	- průměr nástroje
d_w [mm]	- průměr obrobku
e [-]	- mezní hodnota pro ložiska typu YAR
f_0 [-]	- výpočtový součinitel
f_a [mm]	- podélný posuv
F_A [N]	- axiální zatížení ložiska
F_o [N]	- obvodová síla
f_r [mm]	- radiální posuv
F_R [N]	- radiální zatížení ložiska
h_{eq} [mm]	- ekvivalentní tloušťka broušení
k_c [MPa]	- měrná řezná síla
l [mm]	- délka pera
L_{10} [ot]	- základní trvanlivost ložiska v otáčkách
L_h [hod]	- základní trvanlivost ložiska v provozních hodinách
M_k [Nm]	- krouticí moment na hřídeli
n_s [min ⁻¹]	- otáčky nástroje
n_w [min ⁻¹]	- otáčky obrobku
P [N]	- ekvivalentní zatížení ložiska
p_0 [MPa]	- dovolený tlak na bok drážky náboje
p_D [MPa]	- skutečný dovolený tlak na bok drážky náboje
t_1 [mm]	- hloubka drážky pro pero v náboji
v_c [m·s ⁻¹]	- řezná rychlost
v_w [m·min ⁻¹]	- obvodová rychlost obrobku

SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1-1 Axiální broušení [2]	15
Obr. 1-2 Radiální broušení [2]	15
Obr. 1-4 Orovňávání diamantem pomocí brusičské kolébky [8]	19
Obr. 1-3 Zamačkávací fréza (vlevo) a diamant v přípravku pro kopírování [8]	19
Obr. 1-5 Způsoby upínání plochých kotoučů [8]	19
Obr. 1-6 Univerzální hrotová bruska KNUTH RSM 750 [12]	20
Obr. 1-7 Hlavní části univerzální hrotové brusky [14]	21
Obr. 1-8 Nástrojová bruska BN 102 [11]	22
Obr. 1-9 Bruska pro broušení velkých průměrů [17]	22
Obr. 1-11 Popis zařízení Twin disk [7]	23
Obr. 1-12 Zkušební disk	23
Obr. 3-1 Zobrazení první varianty	25
Obr. 3-3 Varianta 2 upevněná na zkušebním zařízení	27
Obr. 3-2 Zobrazení druhé varianty	27
Obr. 3-5 Zobrazení třetí varianty	28
Obr. 3-4 Zobrazení třetí varianty (pohled zepředu)	28
Obr. 3-6 Varianta 3 upevněná na zkušebním zařízení	29
Obr. 4-1 Hlavní rám	30
Obr. 4-3 Hlavní rám – detail děr 2	31
Obr. 4-2 Hlavní rám – detail děr 1	31
Obr. 4-4 Otočný stůl	31
Obr. 4-5 Otočný stůl – detail děr	31
Obr. 4-7 Čep otočného uložení	32
Obr. 4-6 Vidlice otočného uložení	32
Obr. 4-9 Zajištění proti otáčení pomocí přílozek	32
Obr. 4-8 Madlo otočného stolu	32
Obr. 4-10 Nepohyblivá část podélného vedení	33
Obr. 4-11 Součásti pohyblivé části podélného vedení	34
Obr. 4-12 Součásti pohyblivé části příčného vedení	35
Obr. 4-13 Zobrazení pohybových šroubů v sestavení	36
Obr. 4-14 Zobrazení uložení hřídele	37
Obr. 4-17 Součásti stolu převodového motoru	40
Obr. 4-15 Stůl pro uložení převodového motoru	40
Obr. 4-18 Uložení zkušebního disku na brousícím zařízení	41
Obr. 4-19 Posuvné vedení unášecího vřeteníku	41
Obr. 4-20 Součásti pohyblivé části posuvného vedení unášecího vřeteníku	42

SEZNAM PŘÍLOH

Přílohou k této práci jsou výrobní výkresy součástí, výkresy podsestav svařenců a celkový výkres sestavy. Dále pak provedené výpočty, které nebyly zmíněny v hlavním textu bakalářské práce a tabulka označování brusných nástrojů.

Příloha I:	Značení tvaru, rozměrů a specifikace brusných kotoučů
Příloha II:	Provedené výpočty
Výkres sestavy:	00-00/BP-FSI
Výkres podsestavy:	01-01/BP-FSI
Výkresy svařenců:	01-02/BP-FSI
	01-03/BP-FSI
	02-04/BP-FSI
	02-05/BP-FSI
	03-06/BP-FSI
Výkresy součástí:	02-07/BP-FSI
	03-08/BP-FSI
	03-09/BP-FSI
	04-10/BP-FSI
	04-11/BP-FSI
	03-12/BP-FSI
	03-13/BP-FSI
	04-14/BP-FSI
	04-15/BP-FSI
	03-16/BP-FSI
	03-17/BP-FSI
	04-18/BP-FSI
	03-19/BP-FSI
	04-20/BP-FSI
	04-21/BP-FSI
	04-22/BP-FSI
	02-23/BP-FSI
	03-24/BP-FSI
	03-25/BP-FSI
	04-26/BP-FSI
	04-27/BP-FSI
	04-28/BP-FSI
	03-29/BP-FSI
	04-30/BP-FSI
	04-31/BP-FSI
	04-32/BP-FSI
	04-33/BP-FSI
	04-34/BP-FSI
	03-35/BP-FSI
	04-36/BP-FSI
	04-37/BP-FSI
	04-38/BP-FSI
	04-39/BP-FSI

04-40/BP-FSI
03-41/BP-FSI
03-42/BP-FSI
03-43/BP-FSI
04-44/BP-FSI
04-45/BP-FSI
04-46/BP-FSI