

Identifikace parametrů vysokootáčkového přídatného vřetene

Ing. Josef Kekula

Vedoucí práce: Doc. Ing. Jaroslav Rybín, Csc.

Abstrakt:

Príspevek popisuje vytvorené měřicí stanoviště pro měření výkonových parametrů přídatných vysokootáčkových přídatných vřeten.

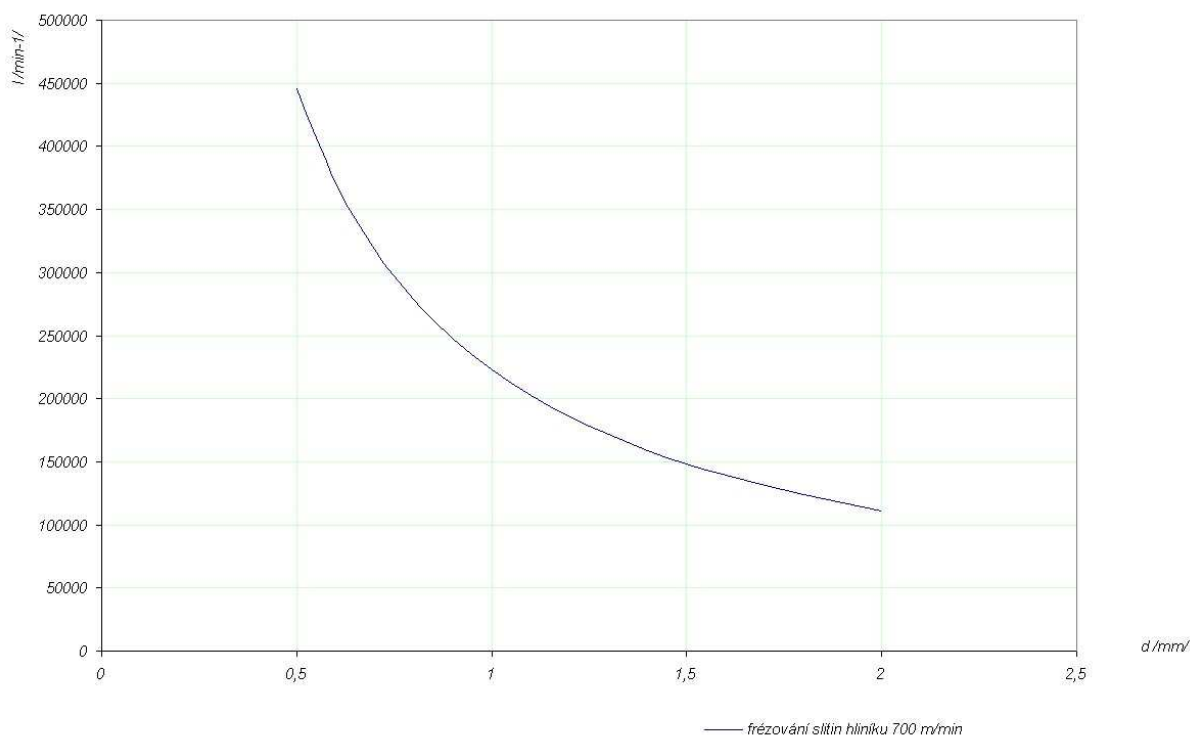
Klíčová slova:

Vysokootáčková přídatná vřetena, měření krouticího momentu, mikrofrézování, vířivá brzda

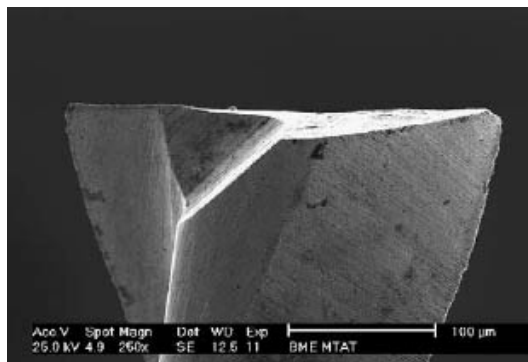
1. Úvod:

Neustálý tlak na nárůst produktivity technologie obrábění a používání nových materiálů, klade vysoké požadavky na hlavní činitele obráběcího procesu, obráběcí stroj a použité nástroje. Zamyslíme-li se nad faktory, které nám umožní snížit hlavní časy, dojdeme ke známému závěru, že je nutno užít kvalitních nástrojových materiálů, které snesou vysoké tepelné a mechanické namáhání a zvýšit řeznou rychlost díky níž můžeme následně zvýšit posuvové rychlosti. Dosažení správné řezné rychlosti je problémem, zejména v oblasti mikrofrézování, kde si nemůžeme pomoci volbou většího průměru nástroje, který případný nedostatek otáček nahradí, naopak malé průměry nástrojů nás nutí otáčky dále zvyšovat. Pro mikrofrézování a frézování složitých a hlubokých tvarových kapes jsme jasně omezeni průměrem nástroje a obráběným materiálem, který klade požadavky na řeznou rychlost. Na obrázku je zobrazena závislost potřebných otáček a průměru nástroje pro frézování slitin hliníku. Z grafu je jasně patrná potřeba vysokých hladin otáček.

Počet otáček v závislosti na průměru nástroje



Obr. 1: závislost otáček na průměru nástroje



Obr. 2: srovnání 6mm nástroje a nástroje o průměru 0,2 mm, vpravo geometrie nástroje

Dnešní možnosti výroby nástrojů jsou značně široké a běžně dostupné jsou nástroje o průměrech v řádu desetin *mm*, ale výjimkou nejsou ani nástroje s průměry o řád níže. Záleží na konkrétní aplikaci, pro kterou je tato technologie určena a zda není výhodnější přejít k jedné z několika konkurenčních technologií, kterou je např. opracování laserem, či elektroeroze. Právě u elektroeroze se můžeme setkat s problémem výroby potřebných elektrod, které nejsou vždy po tvarové stránce jednoduché na výrobu a s výhodou se frézují pomocí vysokootáčkových vřeten. Další významnou oblastí je výroba forem či voskových modelů, kde může mikrofrézování konkurovat především produktivitou.

U frézovacích strojů, které disponují moderními elektrovřeteny, se otáčková hladina pohybuje kolem 40 tis. ot/min., což lze dnes považovat za standart v této oblasti. Speciální skupinou jsou stroje pro mikroobrábění, které jsou osazeny elektrovřeteny, která dnes běžně atakují hranici 70 tis. ot/min.

Speciální skupinou jsou přídatná vřetena, která je možno upnout do vřeten hlavních a rozšířit tak technologické možnosti a výrazně zvýšit produktivitu stroje, nebo je užít jako vřetena hlavní u speciálních jednoúčelových strojů. Další neméně významnou oblastí je nasazení těchto vřeten u strojů soustružnického typu nebo užití pro vnitřní broušení otvorů malých průměrů vyžadující otáčky co možná nejvyšších hodnot s ohledem na požadované rychlosti při broušení, které několikanásobně převyšují řezné rychlosti pro frézování (např: pro CBN nástroje se tato hodnota pohybuje kolem 120 *m/s* a více).

Na trhu je několik výrobců nabízejících tato vřetena, která můžeme dělit dle typu pohonu na elektrovřetena a vřetena která jsou poháněna turbínou na stlačený vzduch. Hlavní nevýhodou přídatných elektrovřeten je nutnost chlazení a tepelné stabilizace vřetena (někdy i ve dvou větvích, jedna pro chlazení ložisek a druhá pro chlazení statoru), neboť vinutí statoru silně ohřívá těleso vřetena. Nevýhodou vřeten hnaných vzduchem je značná rychlostní poddajnost (u vřeten bez regulace). K výhodám lze připsat tepelnou stálost a jednoduchost



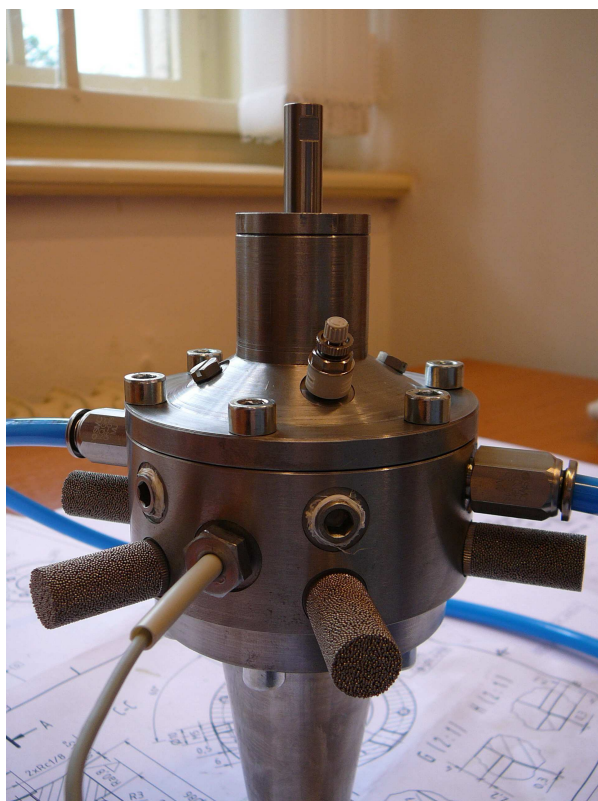
konstrukce u vřeten s turbínovým pohonem a kvalitní regulaci u elektrovřeten. Další velkou výhodou pneuvřeten je také možnost jejich použití v zásobníku nástrojů a jejich nasazení jen pro určité vybrané operace během obráběcího procesu, to je zajištěno díky tomu, že je nutností připojit pouze napájecí vzduch, což lze zajistit pomocí pomocného adaptéru, u elektrovřeten toto řešení není vzhledem k tomu, že je zde mnoho periférií (chladicí okruhy, připojení k měniči popř. okruh mazání-dle užitých ložisek) nehledě na to, že tyto agregáty zabírají prostor vedle stroje.

Obr. 3: Přídatné elektrovřeteno s příslušenstvím

2. Testované vřeteno:

V rámci projektu 3.4.1. bylo na základě diplomové práce z ústavu 12 135 vyroben funkční vzorek vysokootáčkového vřetene pro potřeby VCSVTT. Jedná se o vřeteno se vzduchovým pohonem, který zajišťuje radiální turbína na stlačený vzduch. Vstup stačeného vzduchu je v radiálním směru a po výstupu z lopatkování je proud vzduchu směřován do axiálního směru a poté do výfuku. Uložení vřetene je v keramických ložiscích s kosoúhlým stykem: (keramické kuličky + ocelové kroužky). V hybridních keramických ložiscích je zaručen klidný a přesný chod vřetene. Tato ložiska jsou mazána tukem, čímž klesá hranice dosažitelnosti jejich maximálního potenciálu, ale zjednodušuje se konstrukce zařízení. V případě, že bychom chtěli využít jejich vlastností v celé šíři, musí se tato mazat olejovou mlhou, což přináší další nepříjemnosti jak z hlediska konstrukce, tak z hlediska dalších přídatných zařízení, nicméně potom mohou tato ložiska pracovat s otáčkami do 250 tis.ot/min (průměr vnitřního kroužku je 6 mm)

2. 1 Popis vřetene



Základem vřetene je těleso vřeteníku, v němž je uložena hřídel, na tento vřeteník je napojeno těleso rozvodníku v kterém je uloženo rozváděcí kolo, které zajišťuje nasměrování proudu na příslušné lopatky oběžného kola, které je nalisováno na hřídeli. Vřeteník je těsněn pomocí labyrintových těsnění z obou stran. Rozvodník je opatřen dvěma otvory pro vstup a otvory pro výstup vzduchu, které jsou opatřeny tlumiči odpadního vzduchu, otvory pro měření tlaku a teploty vzduchu. Je zde také umístěn indukční snímač PY4-AP-1A pro měření otáček. Snímač reaguje na otáčky matice s výstupkem na hřídeli vřetene. Upínání nástroje je provedeno pomocí kleštín a jejich unášče. Maximální průměr nástroje je 3mm, popř. s jiným unáščem až 6 mm. Šestimilimetrový unášec je použit výhradně pro upínání stopky výkonové brzdy. Vřeteno disponuje upínacím kuželem ISO 40, který je napojen na těleso rozvodníku a umožňuje tak upnutí vřetena v obráběcím stroji.

Obr. 4: Pohled na vysokootáčkové vřeteno

Na obrázku je patrné uložení statorového rozvodného kola, které je možné vyjmout a zaměnit za jiné s odlišnou geometrií. Zobrazený stav je po experimentu dosažení maximálních otáček, kdy bylo vřeteno demontováno pro kontrolu vnitřních částí. Je zde také patrný mezikruhový prostor, kudy proudí vzduch do rozváděcího statorového kola. Na obr. 6 je vidět turbína pohánějící vřeteno. Abychom mohli určit parametry těchto zařízení, je nutné disponovat vhodným zázemím pro jejich testování.



Obr. 5: Detail rozvodného ústrojí

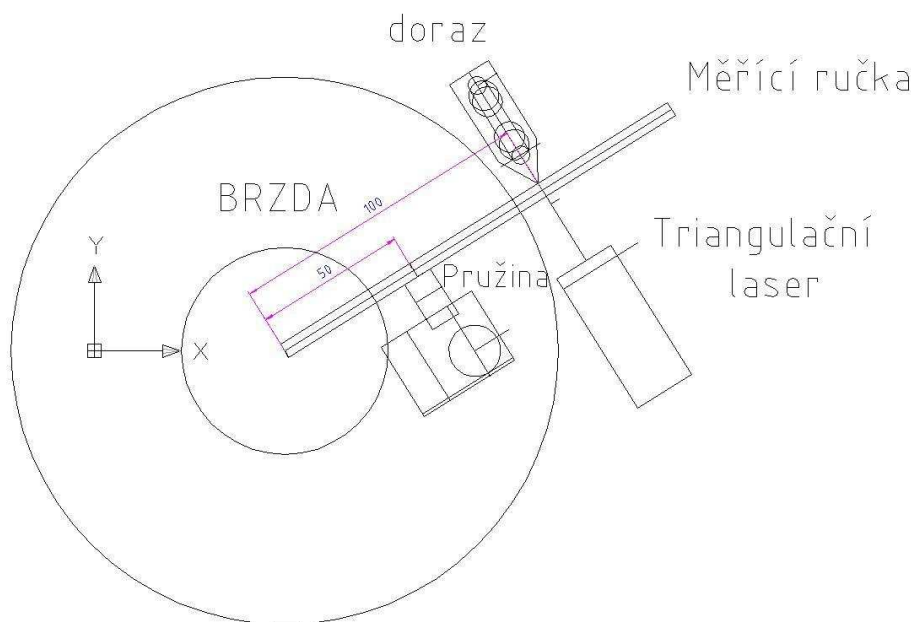


Jedná se tedy o potřebu určit jejich výkon, čili mít možnost měřit krouticí moment a otáčky. Měření otáček nečiní žádné velké problémy, pro tento účel spolehlivě slouží miniaturní indukční snímač, který je schopen detekovat jevy do maximální frekvence 5 kHz. Problém je však se zátěžovým členem pro takto vysoké otáčky.

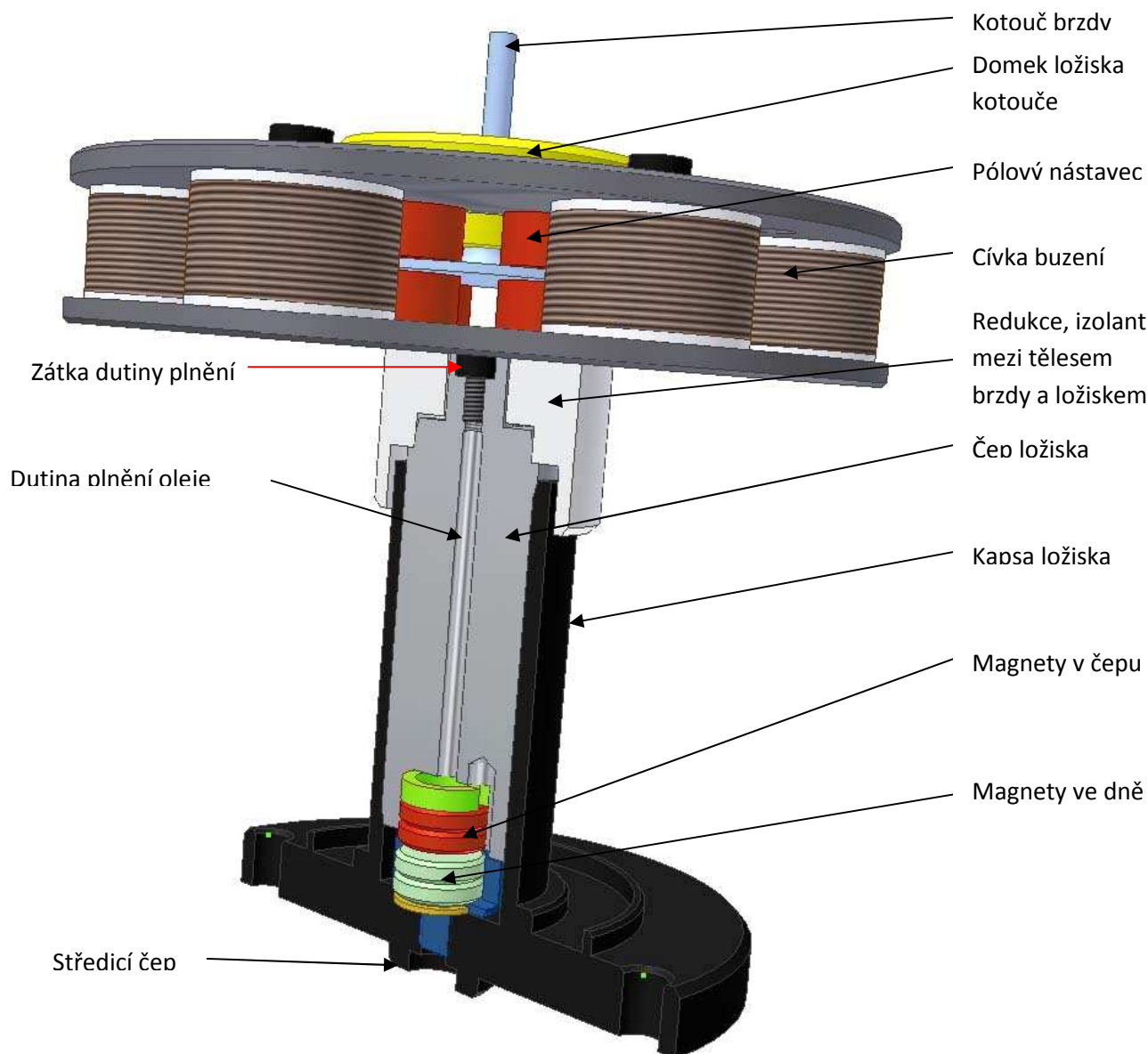
Obr. 6: Pohled na turbínu

3. Měření kroutícího momentu:

Za účelem zatěžování vřetene byla zkonstruována vysokootáčková elektromagnetická vířivá brzda. Tato brzda je včleněna do nového měřicího stanoviště. Brzda pracuje na principu vířivých proudů, mezi dvěma ocelovými kotouči jsou po obvodu umístěny cívky s železným jádrem, magnetický tok se uzavírá přes vzduchovou mezeru mezi pólovými nástavci. V této mezeře rotuje kotouč z nemagnetického, ale elektricky vodivého materiálu (dural). V materiálu kotouče se indukují vířivé proudy, jejichž silový účinek působí proti směru změny, která je vyvolala a tím dochází k bezkontaktnímu brzdění kotouče. Brzda je určena pro měření momentu v ustáleném stavu, neboť vzhledem k principu funkce brzdy (cívky představují člen s velkou časovou konstantou) nejsou tyto vhodné k dynamickým zkouškám. Změnou velikosti proudu, který protéká cívkami můžeme ovlivňovat brzdící účinek zařízení, které je napájeno stejnosměrným napětím. Vlivem brzdícího účinku vzniká reakční moment ve statoru, který je uložen tak, že je mu dovoleno natáčet se, stator je opatřen opěrným ramenem, které se opírá o pružinu. Ze známé tuhosti pružiny a délky ramene lze odečíst výchylku ramene a určit tak působící moment. Výchylka ramene je bezkontaktně snímána pomocí triangulačního laseru. Měření momentu probíhá v rozsahu jednotek setin Nm až desetin Nm .



Obr. 7: Princip snímání výchylky měřicího ramene



Obr. 8: Řez ložiskem vířivé brzdy

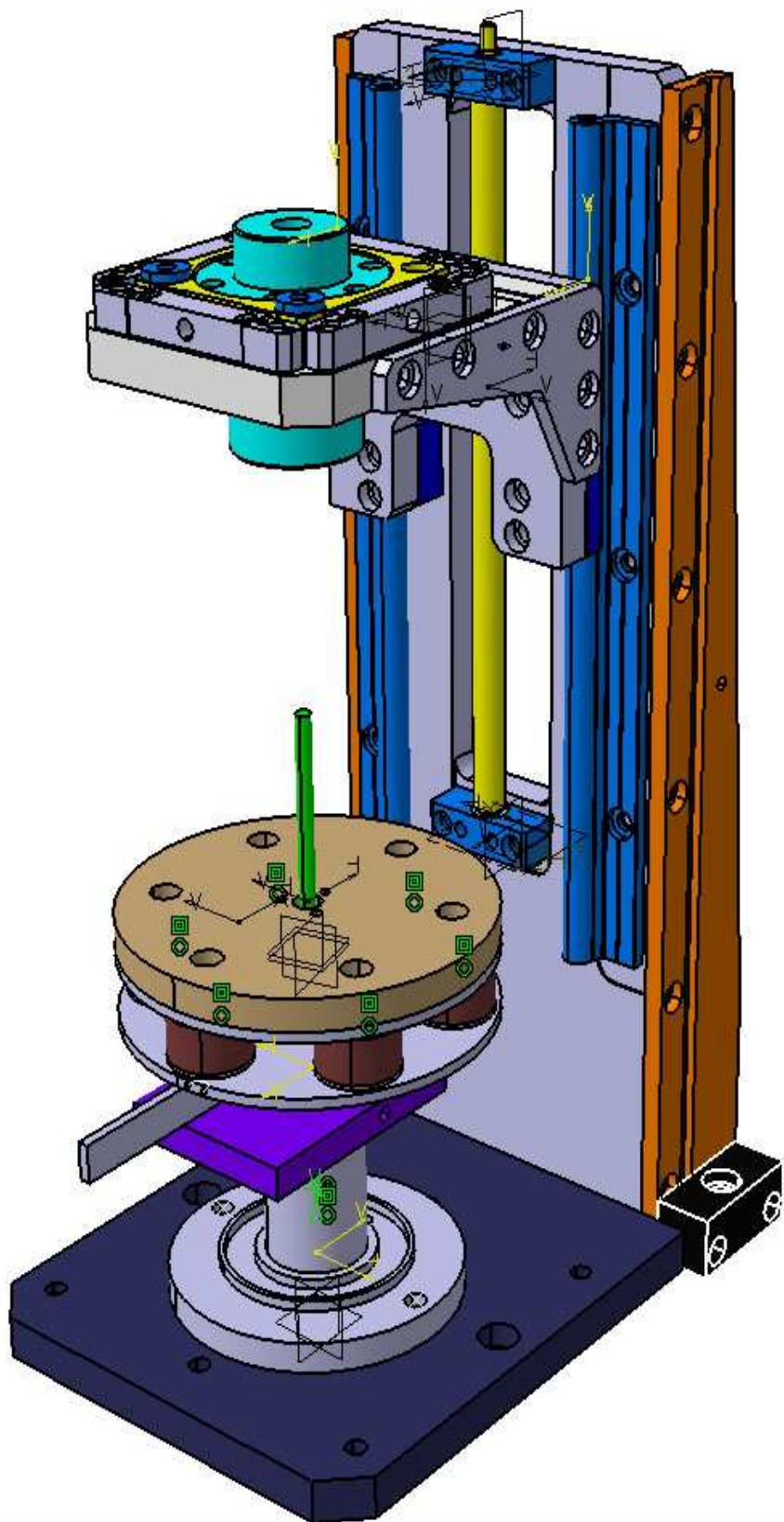
Na obrázku je detail ložiska statoru vířivé brzdy, a má za cíl minimalizovat tření v uložení statoru. Ložisko má konstrukci skládající se z kapsy se základem, který je v masivním provedení přišroubován k základu měřicího standu. Tělo kapsy je opatřeno středícím čepem usnadňujícím středění soustavy vřeteno-brzda. Otvor kapsy je přesně nabroušen a ve spodní části vybaven zátkou. Do kapsy je vsunut broušený čep a vzájemnou konfigurací je zajištěna vůle 0,02 mm. Prostor mezi čepem a otvorem je vyplněn olejem, který musí být zbaven nečistot. Čep je tedy ponořen v olejové lázni a umožňuje natáčení statoru v závislosti na velikosti zatížení vyvolaného brzdícím účinkem. Aby nedocházelo k zanořování čepu do kapsy, bylo užito pasivní magnetické levitace čepu. Na dně kapsy jsou v zátce soustředěně uloženy silné NdFeB magnety, které se vzájemně odpuzují s magnety uloženými v čepu. Olej se doplňuje prostřednictvím dutiny středem čepu. Toto řešení odstranilo dřívější neduh zanořování čepu do dutiny ložiska. Rychlost natáčení statoru je velmi malá, což eliminuje ztráty kapalným třením na minimum, neboť odpor proti pohybu je závislý na rychlosti rotace.

4. Měřicí stanoviště:

Pro testování bylo navrženo a zhotoveno experimentální měřicí stanoviště, kde je možné tato vřetena proměřovat z hlediska výkonových parametrů.

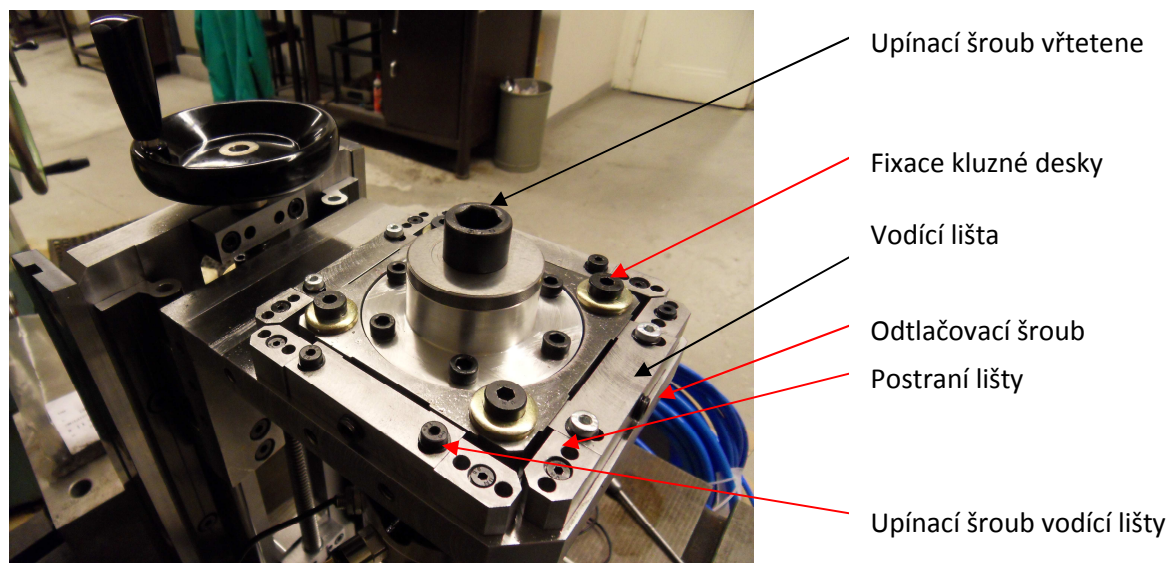
4.1 Popis měřicího stanoviště:

Toto stanoviště se skládá z masivní ocelové základové desky, která je přišroubována k litinové upínací kostce pomocí šroubů, k tomuto základu je připevněna stojina se stabilizátory, které jsou opět kotveny ke kostce pomocí patek přes šrouby s kameny. Ke stojině připevněno kluzné vedení, po kterém se pohybuje šroubovaná masivní konzola v kluzných pouzdrech. Konzola je zhotovena jako posuvná, aby bylo možno testovat různé stavební délky vřeten. Pohyb konzoly je vyvozen trapézovým šroubem, který je v záběru s maticí. Matice je upevněna ke konzole pomocí držáku. Pohybový šroub je uložen v kluzných pouzdrech domečků na stojině. Pohyb šroubu je vyvozen ručním kolem. Na horní desce konzoly je upevněna kluzná deska s držákem vřetena s kuželovou dutinou ISO 40. Kluzná deska umožňuje pohyb držáku k snadnému vystředění soustavy brzdavřeteno. Vedení desky v žádaném směru je zajištěno pomocí lišt, které v sobě mají odtlačovací šrouby a je možno tyto lišty aretovat v požadované poloze dle potřeby. V základu je vystředěna soustava brzdy s ložiskem, které je přišroubováno k základu. Celou soustavu brzdy obepíná masivní kryt, který má zajistit bezpečnost obsluhy při provádění testů. Kryt není na obrázku zobrazen.



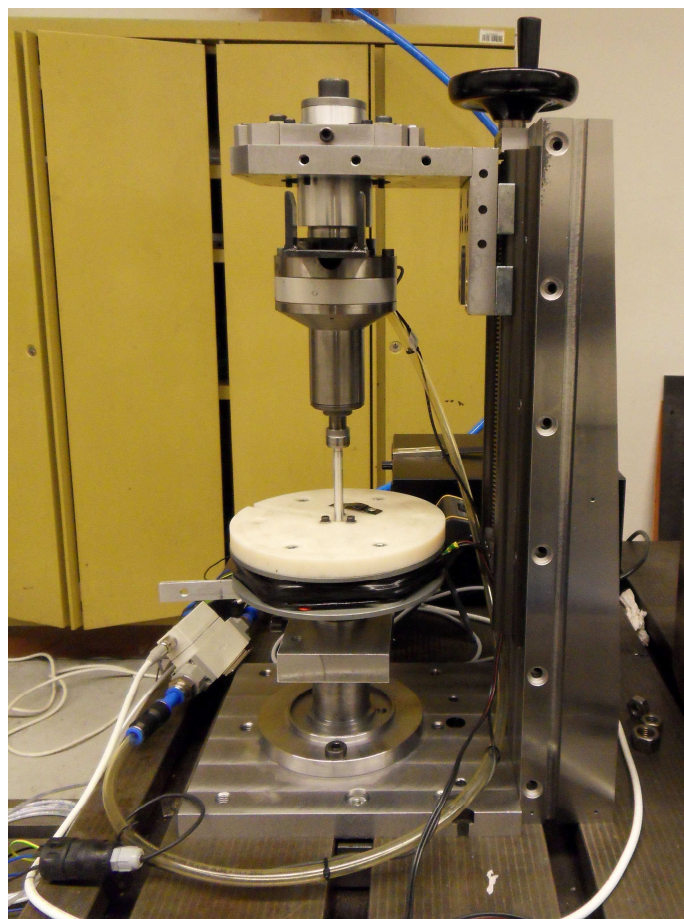
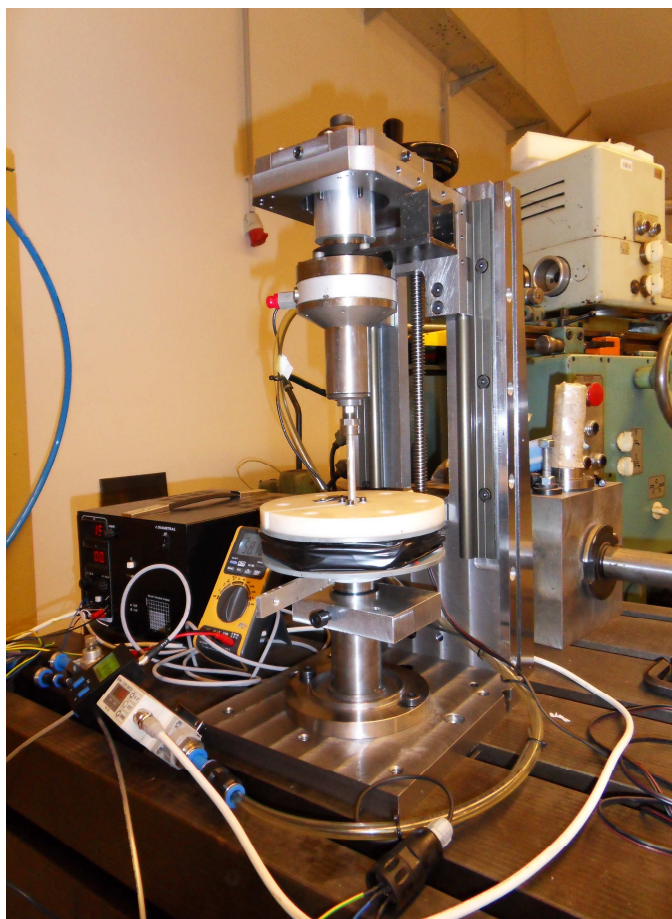
Obr . 9: Model měřicího stanoviště

Odtlačovací šrouby slouží k posuvu desky s držákem v žádaném směru a to tak, že se nejdříve uvolní šrouby kluzné desky a upevňovací šrouby protilehlé lišty. Otáčením odtlačovacího šroubu v liště dojde k pohybu kluzné desky, která je vedena vodicími lištami. Po dosažení požadované polohy se vše opět zajistí šrouby. Vřeteno je v držáku upevněno pomocí šroubu. V případě zalehnutí kuželu je držák opatřen závitem pro odtlačovací šroub, který vřeteno vytlačí z kuželu.



Obr. 10: Detail seřizování souososti vřetena se stopkou brzdy

Součástí měřicí soustavy je i průtokoměr, který umožňuje měřit spotřebu vzduchu vřeten, která je důležitým ukazatelem ekonomie provozu těchto zařízení. Prvním měřením bylo porovnávací měření spotřeby vzduchu a porovnávala se spotřeba nového vřetena V1 a vřetena Deuschle DPZ 45.



Obr. 11: Celkový pohled na měřicí stanoviště při zkouškách funkce

5. Závěr:

Bylo navrženo a zhotoveno měřicí stanoviště, pro testování přídavných vysokootáčkových vřeten. Soustava umožňuje měřit krouticí moment při vysokých otáčkách. Stanoviště bude sloužit k testování vřeten vlastní konstrukce. Jako zátěžového členu je užito vysokootáčkové vířivé brzdy, která je navržena pro tento účel a její funkce je odzkoušena, novinkou je její užití na novém stanovišti a nové uložení statoru brzdy. Na stanovišti je též možno proměřovat spotřebu vzduchu vřeten. Soustava byla odzkoušena a byla shledána jako funkční celek, který poslouží k realizaci testů vřeten různých modifikací.

Seznam použité literatury:

- [1] Kekula, J.: Možnosti ověřování vlastností vysokootáčkového vřetena, Výzkumná zpráva RCMT (V-09-074)
- [2] Bazala, Z.: Vysokootáčková přídavná pneumatická vřetena, Diplomová práce, Praha 2007
- [3] Novák, M.: Měření parametrů vysokootáčkového vřetena, Výzkumná zpráva, RCMT (V-07-024)