

# ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ

## Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii

Výzkumná základna oboru výrobní techniky a technologie v ČR

Vedoucí: Ing. Jan Smolík, Ph.D.

Spolupráce s průmyslem stojí v popředí aktivit pracoviště.

## Měření přesnosti chodu vřetene a jeho diagnostika

Vřeteno bývá často označováno jako srdce obráběcího stroje a jako takové si stejně jako to lidské zaslouží náležitou péči a systematickou kontrolu stavu. Zhloubáme-li se do literatury, zjistíme, že měření vlastností vřeten jsou svázána hned několika normami. Lze dohledat mnoho vědeckých článků popisujících dynamické vlastnosti vřeten, jak z hlediska modelování, tak samotného měření. Avšak metodika výstupní kontroly montáže a kvality výroby stejně jako zjišťování a vyhodnocování diagnostických charakteristik přesných vřeten jsou interní a nezveřejňované záležitosti jejich výrobců. Navíc jsou tyto charakteristiky silně závislé na konkrétní konstrukci konkrétního typu vřetene. Následující článek popisuje zdařilou realizaci stanice výstupní kontroly, kde se v poloautomatickém režimu generuje výstupní měřicí protokol pro každé z testovaných vřeten. Takto lze vřeteno expedovat ze závodu již s jeho „rodným listem“, a navíc existuje v databázi výrobce komprimovaný záznam z kompletní sady realizovaných testů. V případě reklamace vřetena jsou tato data cenným podkladem pro věcnou argumentaci.

### POŽADAVKY ZÁKAZNÍKA

Stanice výstupní kontroly byla navržena a realizována v reakci na požadavek nejmenovaného výrobce přesných brousících vřeten. V pohledu na funkcionalitu bylo skloubeno hned několik tvrdě omezujících požadavků:

- Zařízení je umístěno v montážní hale závodu, proto je třeba zajistit „necitlivost“ na okolní vibrace a elektromagnetické vlivy, zakrytování choulostivých přístrojů proti prachu a nečistotám;

- Na zařízení je testováno kompletní portfolio vyráběných vřeten. Je nutno počítat s variabilitou osové výšky testovaného vřetene, jeho délky i hmotnosti;
- Pomocí akcelerometrů jsou měřeny absolutní vibrace na tubusu vřetene, relativní vibrace jsou měřeny bezkontaktními čidly výchylek na speciálním, ultrapřesném měřicím trnu. Dále jsou zaznamenávány teploty a otáčky;
- Při častém přestavení je kladen důraz na rychlou rekonfiguraci systému, vše musí být provedeno s minimalizací náhodných chyb;
- Stanice umožňuje zkoušet jak elektrovřetena, tak i vřetena s externím (řemenovým) pohonem;

### POPIS MECHANICKÉ STAVBY ZKUŠEBNÍ STANICE A UMÍSTĚNÍ SENZORIKY

Základem celé měřicí stanice je litinová rýsplozna uložená na pružných patkách, zamezujících přenosu vibrací z/na měřicí zařízení. Na této plotně je umístěna upínací deska pro připevnění zkoušeného vřetene. Spolehlivé připevnění všech typů zkoušených vřeten je řešeno sadou šroubů, distančních vložek a příložek. Do zkoušeného vřetena je přes kleštinu upnut přesný měřicí trn, na jehož funkční plochy cílí pět bezkontaktních čidel výchylky umístěných ve speciálním domečku sensorů. Relativní vibrace jsou tak sledovány ve dvou radiálních rovinách a jednom

### POPIS MĚŘICÍHO CYKLU A ANALÝZY DAT

Po seřízení polohy sensorů výchylky vůči měřicímu trnu, po připevnění všech akcelerometrů a instalaci teplotních čidel lze přistoupit k měření. Na stanici se sledují již zaběhnutá vřetena a tak lze testy po zahřívací proceduře realizovat od minimálních až po maximální otáčky. Vřetena jsou řízena a napájena externím frekvenčním měničem, a rozběh tak může být plynulý s libovolně nastavenou dynamikou rozběhu. Základní testovací procedura je složena z pěti otáčkových částí. Otáčky v těchto částech jsou nastaveny na 10, 50, 100, 50 a 10 %. První dvě části jsou součástí prohřevu. Zbý-

ních složek výchylek a vizualizovány jednak číselně, a jednak v příslušných bar-grafech. V grafech FFT a řádových spekter lze efektivně detekovat velkou řadu možných poruch vřetene – od mechanické vůle, nevyváženého hřídele, nesouososti, poruchy ložisek až po poruchy integrovaných motorů. Signály z akcelerometrů jsou vyhodnocovány obdobným způsobem. Mimo výpočet zmíněných celkových hodnot pro příslušná frekvenční pásma jsou taktéž vyhodnocována FFT a řádová spektra. Navíc jsou zobrazována spektra obálky zrychlení pro efektivní detekci ložiskových vad.

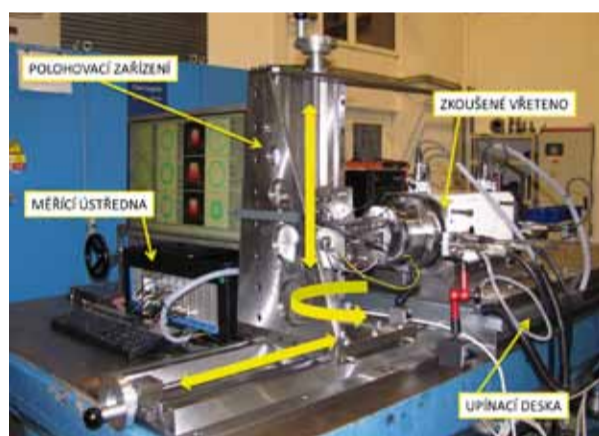
Po ukončení základní měřicí procedury lze přistoupit k rozběhovému a doběhovému zkouškám. Tyto zkoušky sestávají z rozběhu na maximální otáčky a poté odpojení motoru od měniče a ponechání vřetene volnému, nebrzděnému doběhu. V průběhu těchto zkoušek probíhá kontinuální měření všemi snímači. Rozběh resp. doběh vřetene je v SW zobrazen hned několika grafy – průběhem otáček, komprimovanou podobou časového záznamu, kontur grafů a 3D grafy rozběhů / doběhů. Tyto vizualizují postupnou změnu jednotlivých FFT nebo řádových spekter v závislosti na aktuální výšce otáček vřetene. V těchto grafech lze nalézt rezonanční oblasti vřetene a jejich případné vybudování od vlastní rotace. Velkou výhodou těchto zkoušek je možnost identifikace poruch elektrického původu pomocí rozdílu mezi rozběhem a volným doběhem.

### PROTOKOL Z MĚŘENÍ A DATABÁZE NAMĚŘENÝCH DAT

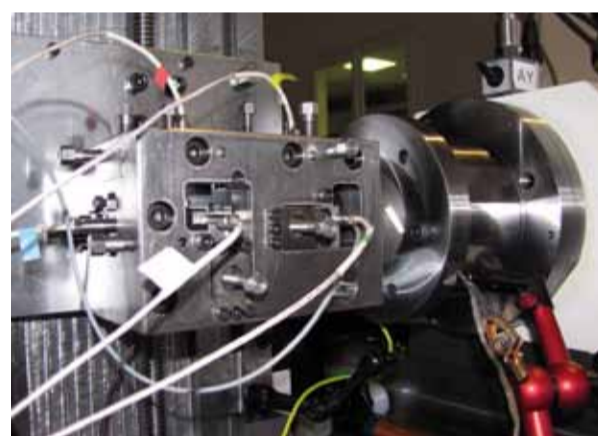
Po dokončení sady měření je automaticky vygenerován měřicí protokol v předpřipraveném formátu. S generováním protokolu je samozřejmě úzce spjata tvorba a doplňování databáze naměřených dat. Vzhledem k množství analýz probíhajících současně v jednom okamžiku je surový záznam signálů ukládán do mezipaměti a složitější výpočty jsou řešeny v rámci postprocesingu. Během záznamu měření jsou vyhodnocovány pouze nejdůležitější parametry (celkové hodnoty signálů, výpočty FFT a řádových spekter).

Zkušební stanice pro výstupní kontrolu vřeten realizovaná skupinou Měření je jednou z praktických ukázek zapojení pracoviště do spolupráce s průmyslem. Celá akce byla výsledkem ryze komerční spolupráce našeho pracoviště se zadavatelskou firmou. Stanice byla spuštěna v průběhu roku 2012. Postupem času se objem testovaných typů vřeten bude navyšovat až na konečné číslo cca 80 různých artiklů.

Ing. David Burian,  
Ing. Petr Chvojka, Ph.D.  
[www.rcmt.cvut.cz/zkuslab](http://www.rcmt.cvut.cz/zkuslab)



Mechanická stavba testovací stanice



Domeček sensorů výchylky

- Z měření musí vzniknout v poloautomatickém režimu měřicí protokol a současně záznam v databázi měření;
- Pro každý typ vřetene vzniká tzv. referenční měření, které slouží pro porovnání s aktuálně měřeným kusem stejného typu. Je tak sledována kontinuita a opakovatelnost výroby a montáže vřeten.

axiálním směru. Takto lze sledovat nejen axiální a radiální pohyb hřídele, ale zároveň jeho eventuální naklápění způsobené např. nedostatečnou tuhostí či vůlí v uložení hřídele. Domeček sensorů je připevněn na konzolu tak, aby byl snadno výškově přestavitelný (v závislosti na aktuální osové výšce testovaného vřetene). Takto se zhruba nastaví poloha bezkontaktních čidel. Pro jemné seřízení a aretaci finální polohy sensorů slouží důmyslná sestava stavěcích a aretačních šroubů. Celá konzola má možnost malého natočení (a následně aretace) podél vertikální osy tak, aby mohlo být dosaženo rovnoběžnosti osy vřetene (měřicího trnu) a domečku sensorů. Akcelerometry – senzory absolutních vibrací – jsou připevňovány na tubus vřetene pomocí speciálních silných magnetů. Opět jsou měřeny vibrace ve dvou radiálních rovinách – na přední a zadní ložiskové skupině a současně i v axiálních směrech. Pro záznam podmínek zkoušky jsou na obou ložiskových skupinách magneticky připevněny odporové teploměry. Dále je zaznamenávána teplota okolí (taktéž odporové čidlo) a bezkontaktně, pomocí IR čidla, je sledována teplota rotoru. V domečku sensorů je upevněna bezkontaktní tachosonda na principu vířivých proudů.

vající tři části slouží pro sběr opakovatelných dat z teplotně stabilizovaného vřetene. Během celého testu jsou vyhodnocovány důležité parametry (vibrace, výchylky, teploty) kontrolovací, zda nedochází k nestandardnímu chování vřetene, které by mohlo vést k jeho poškození. V případě detekce takového „anomálie“ je obsluha upozorněna a test může být přerušeno.

Výsledky měření výchylek pomocí bezkontaktních snímačů (tzv. přesnosti chodu vřeten) jsou zobrazovány jednak ve formě FFT a řádových spekter, ale také velice ilustrativní formou zobrazení grafů orbit. V grafech orbit je zobrazováno přes sebe hned několik jednotlivých běhů současně se střední hodnotou tvořící orbitu synchronních výchylek. Asynchronní složky výchylek jsou vyhodnocovány zvlášť pro každou úhlovou polohu a poté průměrovány. Tímto je dosaženo vysoké opakovatelnosti měření. Díky sledování výchylek ve dvou radiálních rovinách lze sestavit prostorový graf naklápění vřetene během rotace. Takto mohou být přímo sledovány projevy dynamické poddajnosti rotoru a jeho uložení. Vedle grafů orbit jsou vyhodnocovány jednočíselné celkové hodnoty synchronních a asynchron-

## Zkušební laboratoř VCSVT

Vám nabízí:

### AKREDITOVANÉ ZKOUŠKY

- Stanovení přesnosti chodu vřeten za rotace
- Stanovení přesnosti kruhové interpolace
- Stanovení přesnosti a opakovatelnosti nastavení polohy v číslicově řízených osách
- Stanovení přesnosti nastavení polohy na diagonálách tělesa
- Měření geometrické přesnosti obráběcích strojů
- Měření statické tuhosti obráběcích strojů
- Měření vibrací
- Měření hladin akustického tlaku
- Měření hladin akustického výkonu
- Měření hladin akustické intenzity
- Měření tepelného chování a teplot obráběcích a jiných strojů
- Diagnostická měření strojů



ZKUŠEBNÍ LABORATOŘ VCSVT

135 Ústav výrobních strojů a zařízení



Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii

[www.rcmt.cvut.cz](http://www.rcmt.cvut.cz)