

OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Autor : Ing. Jiří Sova
Název : Zvyšování užitečných vlastností vřeten obráběcích strojů s valivým uložením
Školící pracoviště : ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav výrobních strojů a zařízení
Školitel : Doc. Ing. Petr Kolář, Ph.D.
Studijní obor : Konstrukční a procesní inženýrství
Oponent : Ing. Karel Čapek, CSc., Zkušebna VUOS, s.r.o., Praha

Autor se ve své práci zabývá komplexním pohledem na vřetenové jednotky, které obecně tvoří jeden z nejvýznamnějších uzlů obráběcího stroje. Vlastnosti vřetenových jednotek – přesnost chodu, statická tuhost, dynamická poddajnost, rychloběžnost, dynamické vlastnosti, oteplení a další – jsou v první řadě dány konstrukčním uspořádáním uložení vřeten. Z dlouhodobého hlediska jsou však tyto vlastnosti ovlivňovány velkým množstvím dalších faktorů, působících v průběhu celého životního cyklu. Z hlediska trvanlivosti uložení v tomto směru dominantní roli hrají řezné podmínky, která určují jednak velikost a směr zatížení ložisek uložení, a dále otáčky vřeten. Pro zajištění plynulosti výroby (bez zbytečných prostojů) s vysokou přesností a produktivitou je důležité průběžně sledovat případné změny (zhoršování) vlastností vřeten strojů nasazených do výroby, resp. brát v úvahu tzv. „zbytkovou“ trvanlivost uložení vřeten, tedy dobu po kterou je ještě možné vřeteno „bez větších problémů“ provozovat. Právě možností a teoreticky zdůvodněným postupem jak efektivně získat potřebné podklady a následně stanovit požadovaný údaj o „zbytkové“ trvanlivosti konkrétního vřeten se zabývá předložená práce.

Práci lze obsahově rozdělit do několika částí. V úvodní části je zmíněna motivace řešení a přehledně uveden současný stav řešené problematiky – jsou zde zmíněny např. základní konstrukce vřeten, detailně popsán vývoj návrhu vřetenových jednotek apod. Dále jsou zde vysvětleny pojmy jako technická diagnostika vřeten, monitoring vřeten a stručně popsány a kriticky hodnoceny současné modely trvanlivosti a spolehlivosti vřeten, které vesměs neberou úvahu „historii“ i „budoucnost“ konkrétního vřeten z hlediska jeho zatěžování a otáček, jež jsou pro hodnocení a předvídání stavu ložisek uložení velmi významné.

Těžiště práce spočívá ve vypracování metody hodnocení zbytkové trvanlivosti vřetenových ložisek. Tato metoda přistupuje k hodnocení spolehlivosti vřeten a jejich ložisek na základě trvanlivosti, jež je brána jako zcela klíčový parametr charakterizující aktuální stav ložisek. K vyhodnocování jsou přitom používána tzv. „zátěžová spektra“ vřeten, která prakticky znázorňují dosavadní „historii“ vřeten z hlediska jeho zatěžování, otáček a doby běhu za těchto podmínek. Při stanovení zbytkové trvanlivosti konkrétního vřeten se pak vychází z průběhu odpovídajícího zátěžového spektra a vypočtená zbytková trvanlivost je případně korigována podle chování vřeten z hlediska jeho vibrací.

Součástí předložené práce je ověření nově vyvinuté metody stanovení zbytkové trvanlivosti celkem u 9 vřeten různého konstrukčního uspořádání s různými režimy zatěžování a s různými provozními hodinami, zapojených v konkrétních výrobních procesech (s různými technologiemi). Podařilo se tak prokázat praktickou využitelnost této metody při predikci chování vřeten a využít tyto poznatky při plánování údržby či oprav strojů.

Závěrečná část práce obsahuje celkové hodnocení výsledků práce, shrnuje přínosy práce a přináší náměty pro pokračující práce v oblasti zdokonalování modelů stanovení zbytkové trvanlivosti vřeten výrobních strojů.

V předložené práci jsem nenalezl žádné závažnější nedostatky. Dále uvedené připomínky lze chápat spíše jako snahu po určitém upřesnění, či jako případné náměty do diskuse:

- Str. 77, 5. a 6. odrážka shora – Mezi měřené parametry pro hodnocení stavu vřeten by kromě házení dutiny vřetena a házení na trnu bylo vhodné zařadit i házení vřetena v axiálním směru (a rozšířit o tento údaj tabulky měřených dat – např. Tab. 25, Tab. 26, Tab. 27 a dále.

- Str. 78, Tab. 25 a dále – V tabulkách měřených dat je naopak zbytečné uvádět odchylky **a**, **b** naměřené na trnu při pohybu v ose Z, protože tyto údaje nesouvisí s vlastnostmi uložení vřetena, nýbrž dávají představu o odchylce rovnoběžnosti osy rotace vřetena s pohybem v ose Z.

- Str. 126, Tab. 48, resp. Str. 127, Tab. 141 a Str. 128, Tab. 143 – U vřetena C1 byly naměřeny velké hodnoty rychlosti vibrací v_{RMS} , podle kterých je pak korigována velikost zbytkové trvanlivosti vřetena. Z naměřených frekvenčních spekter rychlosti vibrací je patrné, že dominantní frekvenční složkou v tomto (i v jiných případech) je složka odpovídající frekvenci otáčení vřetena, která má zřejmě souvislost s nevyváhou vřetena. Je otázkou do jaké míry nevyváha vřetena ovlivňuje trvanlivost uložení vřetena. Navíc by bylo jistě vhodné věnovat pozornost (a případně také zohlednit) i úroveň frekvenčních složek vibrací (rychlosti), které odpovídají předem zjištěným „ložiskovým“ frekvencím.

Obecná poznámka – Při měření vibrací vřetena by (s ohledem na opakovatelnost výsledků a následné posuzování trendů) mělo být přesně definováno jednak měřicí místo a směr měření, dále by měly být při tomto měření stanoveny otáčky vřetena (při běhu naprázdno). Přitom je důležité aby měření vibrací bylo prováděno v definované poloze vřetena na stroji (souřadnice X, Y, Z – např. ve střední poloze zdvihů jednotlivých os) aby výsledky měření nebyly zkresleny případnými rezonancemi stroje.

- Otázka do diskuze - Jak se projeví velikost předpětí ložisek (malé, střední, velké), resp. případná vůle na (zbytkové) trvanlivosti uložení vřetena?

- Str. 148, kap. 5.3 Doporučení dalšího rozvoje metodiky – Je zde zmíněna možnost rozšíření metodiky i pro řemenové pohony vřeten. Jak by bylo možno konkrétně v tomto směru dále postupovat, co všechno by bylo třeba u vřeten s řemenovým pohonem brát v úvahu?

Hodnocení předložené práce

1. Hlavním cílem předložené práce bylo navrhnout způsob hodnocení aktuálního stavu uložení vřetena výrobního stroje na základě znalosti jeho „historie“ a s využitím výsledků některých diagnostických měření, dále vytvořit metodiku pro hodnocení aktuálního stavu ložisek vřeten, která by bylo vhodná i pro malé a střední podniky a provést ověření nové metodiky na vybraných případech v praxi, Lze konstatovat, že stanovený cíl se autorovi podařil v plném rozsahu splnit.
2. Rozboru současného stavu sledování vlastností vřeten na základě monitorování aktuálního stavu klíčových uzlů stroje je v předložené práci věnována mimořádná pozornost.
3. Za hlavní teoretický přínos práce lze považovat vytvoření relevantního modelu pro hodnocení aktuálního stavu uložení vřeten výrobních strojů, který respektuje skutečnou „historii zatěžování a otáček“ daného vřetena, zachycenou v konkrétním „zátěžovém spektru“ vřetena, a stanovenou teoretickou hodnotu zbytkové trvanlivosti uložení následně koriguje podle výsledků měření vibrací.
4. Hlavní praktický přínos práce spočívá v rozsáhlém ověření vytvořené metodiky při hodnocení stavu ložisek uložení celkem na 9 vřetenových jednotkách, pracujících v různých režimech zatížení v provozních podmínkách.
- 5., 6. V předložené práci byly aplikovány „standardní“ analytické a experimentální metody, které se podobným způsobem používají při řešení uvedené problematiky na výzkumných a vývojových pracovištích špičkové úrovně. Výsledky práce ukazují, že si autor tyto metody dobře osvojil, což významným způsobem přispělo k celkově velmi dobré úrovni celé práce.

7. Lze konstatovat, že autor ve své práci prokázal, že se mu podařilo získat dostatečné teoretické znalosti v daném oboru. Využil dostupných pramenů, dokázal je systematicky prostudovat, rychle a správně se v nich orientovat, jejich závěry s přehledem vyhodnotit a dále vhodným způsobem rozpracovat. Velmi dobré znalosti dokázal pak široce uplatnit jak v oblasti teoretické, tak i při přípravě podkladů a zpracování výsledků měření, realizovaných na konkrétních případech včetně v provozních podmínkách.
8. Také po formální stránce lze úroveň práce hodnotit velmi dobře. Práce je přehledně a logicky uspořádána. Obrázky, tabulky, grafy a fotografie byly zpracovány na vysoké technické úrovni.
9. Závěrem lze konstatovat, že autor práce prokázal, že ovládá vědecké metody práce a že ve své práci přinesl nové poznatky v oblasti hodnocení trvanlivosti uložení včetně výrobních strojů.

Na základě výše uvedeného hodnocení **d o p o r u č u j i** disertační práci doktoranda Ing. Jiřího Sovy k obhajobě před komisí v oboru „Konstrukční a procesní inženýrství“ na Fakultě strojní ČVUT v Praze.

Ing. Karel Čapek, CSc.
Zkušebna VUOS, s.r.o., Praha

V Praze 10. 02. 2023