

THE ANALYSIS OF THE DYNAMIC LOADING OF HIGH-SPEED SPINNING HEADSTOCK COMPONENTS

Ondrej Chlebo, Ľubomír Šooš, Stanislav Žiaran

Strojnícka fakulta Slovenskej technickej univerzity v Bratislave
Faculty of Mechanical Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava
Nám. slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovakia
ondrej.chlebo@stuba.sk; lubomir.soos@stuba.sk; stanislav.ziaran@stuba.sk

Abstract: The article deals with the effective design of vibro-diagnostics of sources caused by self-excited vibrations of a high-speed spinning headstock bearing generated by residual unbalance, the quality of production and assembly of high-speed spinning headstock components. It also analyses the dynamic load from external vibration sources, primarily from the guide and pressure pulleys of the drive belt, as well as the effect of the Eigen frequencies of the Eigen modes of the test equipment. The article suggests the possibilities of analysing the dynamic load of high-speed headstock bearings using diagnostic sensors and it also indicates the calculation of the sound power level from the vibration velocity of the high-speed spinning headstock and/or another analysed component. The aim of this article is therefore to contribute to the reduction of energetic, dynamic (vibration and noise) and economic demands using operational condition monitoring in the production of textile yarn by improving the performance properties of high-speed bearings of spinning headstocks, which form an essential part of spinning technology.

Keywords: high-speed spinning headstock, diagnostic sensor, vibration and noise reduction, monitoring.

1. INTRODUCTION

Dynamic loading has a significant effect on the lifetime of the high-speed spinning headstock bearings, as well as on increasing the noise in the working environment, which negatively affects the health and work performance of employees [1, 2]. The operability and lifetime of high-speed spinning headstocks is increased if their dynamic load is reduced, either from their primary source of vibration and/or from external sources, such as the belt drive, guide and idler pulleys and from the natural frequency of the test equipment. For high-speed spinning headstocks, the primary sources of vibration are the degree of balance of the bowl, since the centrifugal force generated from the imbalance with the given mass and geometric parameters is proportional to the square of the angular velocity of the rotor of the high-speed spinning unit [15]. Diagnostic sensors also analyse the influence of the natural frequencies of the test equipment components and by using the values of

1. ÚVOD

Dynamické zaťaženie má významný vplyv na životnosť ložísk rotujúceho vretenníka ako aj na zvyšovanie hluku v pracovnom prostredí, ktorý negatívne vplyva na zdravie a pracovnú výkonnosť zamestnancov [1, 2]. Prevádzkyschopnosť a životnosť vysokorýchlostných spriadacích vretenníkov sa zvyšuje, ak sa znižuje ich dynamické zaťaženie, či už od vlastného zdroja kmitania, alebo externých zdrojov, ako je napríklad od pohonu remeňom, vodiacich a napínacích kladiek a od vlastnej frekvencie skúšobného zariadenia. Pre vysokorýchlostné spriadacie vretenníky sú primárne vlastné zdroje kmitania, a to predovšetkým stupeň vyváženia misky, keďže generovaná odstredivá sila od nevyvážky pri daných hmotnostných a geometrických parametroch, je úmerná kvadrátu uhlovej rýchlosti rotora spriadacej jednotky [15]. Diagnostické senzory analyzujú aj vplyv vlastných frekvencií komponentov skúšobného zariadenia a pomocou hodnôt zrýchlenia kmitania na-

the acceleration of vibration measured by the sensor it is possible to calculate the sound power level of the high-speed equipment and thus also allow the calculation of the sound power level of the spinning unit itself [14, 18]. For a planned number of spinning headstocks, the sound pressure level in any workplace can be calculated from the calculated sound power levels of the spinning unit.

By reducing the dynamic load (vibration) of the high-speed spinning unit bearings, with respect to the surrounding environment and people, the emissions of noise and mechanical vibrations will be reduced, i.e. the working environment will be improved and the maintenance-free lifetime will increase, which was also the goal of the research. The previous research employing dynamic analysis confirms that minimizing dynamic forces may be achieved by a vibro-acoustic diagnosis based on creation of diagnostic models and designing diagnostic systems for determining the quality of production of high-speed spinning headstocks, or methods and techniques of monitoring, determining their operational status and measures to reduce vibration and noise [6, 7, 11, 13].

In comparison to other diagnostic methods, vibro-diagnostics makes it possible to determine not only structural defects or faults, but also their causes, namely ovality, excessive clearance, fault to bearing elements, insufficient and unprofessional technological assembly, insufficient balance, wear, insufficient lubrication. In this case, the analysis of the vibration of high-speed spinning headstocks is focused on the primary reduction of dynamic load, that is, on detecting the causes of increased dynamic load on the bearing of high-speed spinning headstocks with the use of diagnostic sensors in order to increase their lifetime and reliability without the necessary maintenance and re-lubrication during their operational lifetime [4]. Based on a performed long-term frequency analysis and the processed trend characteristics using diagnostic sensors, effective measures for increasing the lifetime of high-speed spinning units were proposed to the manufacturer and the operator. For the user, the advantage of trend characteristics lay in the appropriate selection of lubricants which extend the maintenance interval and the bearing lifetime of high-speed spinning headstocks.

meraných senzorom je možné vypočítať hladinu akustického výkonu vysokorychlostného zariadenia a teda umožňujú aj výpočet hladiny akustického výkonu samotnej spriadacej jednotky [14, 18]. Z vypočítaných hladín akustického výkonu spriadacej jednotky možno pre plánovaný počet spriadacích vretenníkov vypočítať výslednú hladinu akustického tlaku na ľubovoľnom pracovnom mieste.

Znižovaním dynamického zaťaženia (kmitania) spriadacích jednotiek sa vzhľadom na okolité prostredie a človeka znížia emisie a imisie hluku a mechanického kmitania, teda zlepši sa pracovné prostredie a zvýši sa bez údržbová životnosť, čo bol aj cieľ výskumu. Doterajšia dynamická analýza potvrdzuje, že prostriedkom minimalizácie dynamických síl je vibro-akustická diagnostika spočívajúca v tvorbe diagnostických modelov, navrhovaní diagnostických systémov na zisťovanie kvality výroby vysokorychlostných spriadacích vretenníkov, metód a techník monitorovania, určovania ich prevádzkového stavu a opatrení na znižovanie kmitania a hluku [6, 7, 11, 13].

Oproti iným diagnostickým metódam vibro-diagnostics umožňuje stanoviť nielen konštrukčný nedostatok alebo poškodenie, ale aj ich príčiny, a to oválnosť, nadmernú vôľu, poškodenie elementov ložiska, nedostatočnú a neodbornú technologickú montáž, nedostatočnú vyváženosť, opotrebovanie, nedostatočné mazanie. V danom prípade sa analýza kmitania vysokorychlostných spriadacích vretenníkov sústreďuje na primárne zníženie dynamického zaťaženia, teda v detegovaní príčin zvýšeného dynamického zaťaženia ložiska spriadacích vretenníkov s využitím diagnostických senzorov tak, aby sa zvýšila ich životnosť a spoľahlivosť bez potrebnej údržby a domazávania počas ich prevádzkovej životnosti [4]. Na základe vykonávanej dlhodobej frekvenčnej analýzy a spracovaných trendových charakteristík s využitím diagnostických senzorov sa výrobcovi a prevádzkovateľovi navrhli efektívne opatrenia na zvyšovanie životnosti vysokorychlostných spriadacích jednotiek. Na strane druhej užívateľ môže využiť trendové charakteristiky pre vhodný výber mazadiel, ktoré predlžujú časový interval údržby a životnosť ložiska vysokorychlostných spriadacích vretenníkov.

2. GOAL, METHODOLOGY OF MEASUREMENT AND MEASURING EQUIPMENT

2.1. Objectives

The main aim of the experimental measurements presented in this study is to determine the magnitude of the dynamic load of the high-speed spinning headstock bearings for a given type of lubricant and a given operating rotational frequency during its planned lifetime using diagnostic sensors that are in direct contact with the outer ring of the bearing [4]. This method is based on the assumption that a damaged or worn spinning headstock will show a greater dynamic load (vibration, noise), and therefore a greater power consumption. In addition to the increased dynamic load on the headstock bearing, this also results in an increase in the temperature of the headstock body, which has so far, been the only indicator of the operating state of the high-speed spinning units. The further aim of the experimental measurements was also the analysis of the influence of external sources generating vibrations affecting the dynamic load of the high-speed spinning headstock bearing [5].

2.2. Methodology

The content of the article is also the elaboration of the methodology of measurement and monitoring of the operating condition of manufactured and operated bearings of high-speed spinning headstocks.

To measure the temperature and monitor the operating condition of the headstock, a temperature sensor mounted on the outer ring of the headstock bearing has been used so far. However, the temperature measurement proved to be insufficient and therefore, a methodology was developed to measure the acceleration of the vibration, using a special B&K 4518 accelerometer. The choice of the measurement location has a decisive influence on the correctness of the vibration measurement results too. This fact is confirmed by Tab. 1, which shows the effective vibration values for three different measurement locations. One is directly at the headstock bearing and two measurement locations that had been used before the measurement methodology was developed at a relatively inaccessible measurement location, are close to the headstock bearing [3, 9, 10, 14, 16]. From the measured values of vibration acceleration, a large

2. CIELE, METODIKA MERANIA A MERACIA TECHNICA

2.1. Ciele

Ciel' experimentálnych meraní je zistiť veľkosť dynamického zaťaženia ložísk vysokorychlostných spriadacích vretenníkov pri danom druhu maziva a danej prevádzkovej frekvencie otáčania počas jeho plánovanej životnosti s využitím diagnostických senzorov, ktoré sú priamo v kontakte s vonkajším krúžkom ložiska [4]. Pri tejto metóde sa vychádza z predpokladu, že poškodený alebo opotrebený spriadací vretenník bude vykazovať väčšie dynamické zaťaženie (kmitanie, hluk) a teda aj väčší príkon. To sa okrem zvýšeného dynamického zaťaženia ložiska vretenníka prejaví aj nárastom teploty telesa vretenníka, čo bol dosiaľ jediný ukazovateľ prevádzkového stavu spriadacích jednotiek. Ciel' experimentálnych meraní bola aj analýza vplyvu externých zdrojov generujúcich kmitanie ovplyvňujúcich dynamické zaťaženie ložiska vysokorychlostného spriadacieho vretenníka [5].

2.2. Metodika

Obsahom článku je aj spracovanie metodiky merania a monitorovania prevádzkového stavu vyrábaných a prevádzkovaných ložísk vysokorychlostných spriadacích vretenníkov. Na meranie teploty a sledovanie prevádzkového stavu vretenníka, sa dosiaľ používal senzor teploty pripevnený na vonkajšom krúžku ložiska vretenníka. Ukázalo sa však, že meranie teploty nie je dostačujúce, a preto sa spracovala metodika na meranie zrýchlenia kmitania, kde sa použil špeciálny akcelerometer B&K 4518. Rozhodujúci vplyv na správnosť výsledkov merania kmitania má však výber meracieho miesta. Túto skutočnosť potvrdzuje aj Tab. 1, kde sa uvádzajú efektívne hodnoty kmitania pre tri rôzne meracie miesta, a to priamo na ložisku vretenníka a dve meracie miesta, ktoré sa používali pred spracovaním metodiky merania, na relatívne neprístupnom meracom mieste, sú v jeho blízkosti [3, 9, 10, 14, 16]. Z nameraných hodnôt zrýchlenia kmitania je vidieť veľký rozdiel pre jednotlivé meracie miesta. V danom prípade bol akcelerometer priskrutkovaný v zaistovacej skrutke ložiska, na ráme vretenníka a na nosnom ráme v blízkosti diagnostikovaného spriadacieho vretenníka [14]. Meranie zrýchlenia kmitania sa vykonalo pri

difference can be observed for the individual measurement points. In this case, the accelerometer was screwed into the bearing locking screw, on the frame of the headstock and on the supporting frame in the vicinity of the diagnosed spinning headstock [14]. The vibration acceleration was measured at a set rotational frequency of 130 000 r/min with the sensor attached directly to the bearing of the spinning unit. However, due to belt slippage, the actual rotational frequency was lower than the set frequency. The methodology presented in this article can also be used to measure other rotating components as vibration sources, especially components with low mass for a given vibration sensor attachment method.

It can be seen from Tab. 1 that the differences in the acceleration of the headstock bearing vibration in the previous measurements are approximately 20 to 100 times smaller than in the direct measurement on the bearing, also depending on the frequency range. Thus, the previous measurements on the spinning unit support structure did not represent the actual load on the bearing of the high-speed spinning headstock. This example clearly defines the requirement for the correct choice of the measurement location of the vibration of the analysed component of the mechanical system. The significant difference in the measured vibration acceleration values is mainly due to the vibro-isolation of the headstock bearing with respect to its supporting frame structure in which the high-speed spinning headstock is mounted [14].

nastavenej frekvencii otáčania 130 000 r/min so senzorom pripevneným priamo na ložisku spriadacej jednotky. V dôsledku sklzu remeňa však skutočná frekvencia otáčania bola nižšia ako nastavená frekvencia. Metodiku uvedenú v článku je možné použiť aj na meranie iných rotačných komponentov ako zdrojov kmitania, a to najmä komponentov s malou hmotnosťou pri danom spôsobe pripevnenia senzora kmitania.

Z tab. 1 je vidieť, že rozdiely zrýchlenia kmitania ložiska vretenníka pri predchádzajúcich meraniach dosahujú hodnoty približne 20 až 100 násobne menšie, ako pri priamom meraní na ložisku, a to aj v závislosti od frekvenčného rozsahu. Teda predchádzajúce merania na nosnej konštrukcii spriadacej jednotky nereprezentovali skutočné zaťaženie ložiska vysokorýchlostného spriadacieho vretenníka. Tento príklad jasne definuje požiadavku správnej voľby meracieho miesta kmitania analyzovaného komponentu mechanickej sústavy. Výrazný rozdiel v hodnotách meraného zrýchlenia kmitania je spôsobený najmä vibro-izoláciou ložiska vretenníka vzhľadom na jeho nosnú rámovú konštrukciu, v ktorej je vysokorýchlostný spriadací vretenník uložený [14].

Frequency Frekvencia	(12 - 12 800) Hz	(2 696 - 4 332) Hz	1 636 Hz
Acceleration/ Zrýchlenie	m/s ²	m/s ²	m/s ²
Bearing/Ložisko	141,251	84,416	23,156
Frame/Rám	4,468	1,91	1,259
Support frame/Nosný rám	5,951	3,243	0,233

Tab. 1: Effective vibration acceleration values measured directly on the headstock bearing, on its frame and on the supporting frame

Tab. 1: Efektívne hodnoty zrýchlenia kmitania merané priamo na ložisku vretenníka, na jeho ráme a na nosnom ráme

2.2. Measuring equipment

When measuring mechanical vibration, the state-of-the-art measurement technique was used from the renowned Bruel & Kjaer (B&K)

2. 2. Meracia technika

Pri meraní mechanického kmitania sa použila najmodernejšia meracia technika od renomovanej firmy Bruel & Kjaer (B&K), konkrétne

company, namely the 12-channel B&K PULSE measuring card. The system consisted of piezoelectric accelerometers with a usable frequency range from 1 Hz to 20 kHz (amplitude $\pm 10\%$) with a mass of 1.5 g, a modal hammer and a display and memory module. The modal hammer was used to find the Eigen frequencies of the Eigen modes of the high-speed spinning headstock support structure. The attachment of the sensor (accelerometer) to the investigated objects was in accordance with the requirements of ISO 5348 [16] on the accelerometer and this condition was also met in previous experiments of the researchers [3, 8, 9, 10, 12]. The aim was to ensure that the accelerometer would correctly reproduce the movement of the analysed component without interfering with its sound. In addition to the frequency range, it was also very important to choose a suitable averaging method for the signal type and the number of averaging per time unit, as well as a suitable time window [15, 17]. For this reason, the Hanning window was chosen with linear averaging and 66.67 % overlap that provides completely uniform weighting, as it was deemed useful for analysing generated signals.

3. DYNAMIC ANALYSIS OF HIGH-SPEED SPINNING HEADSTOCKS

3.1. Time analysis

The recording of instantaneous vibration values versus time is usually analysed graphically to account for broadband signal peaks, beats, modulation, or envelope analysis, which is directed at the process of demodulation of low-level components in a narrow frequency band that are masked by high-level broadband vibrations (e.g. impulse excitation of the headstock bearing from the drive belt). It should be noted that envelope detection provides a means of detecting damage earlier and with greater reliability.

The time histories of the dynamic bearing load of the high-speed spinning headstock (Fig. 1) taken at different times of operation (in hours) represent the dynamic operating condition shown by the vibration waveform at the times of operation 4 430 h and 4 900 h with less pronounced peaks generated by the initial bearing damage (top). At the time of operation 6 000 h the peaks already reached sig-

12-kanálová meracia karta B&K PULSE. Systém sa skladá z piezoelektrických akcelero metrov s využiteľným frekvenčným rozsahom od 1 Hz do 20 kHz (amplitúda $\pm 10\%$) s hmotnosťou 1,5 g, modálneho kladivka a zobrazovacieho a pamäťového modulu. Modálne kladivko sa použilo na zistenie vlastných frekvencií vlastných tvarov nosnej konštrukcie vysokorychlostných spriadacích vretenníkov. Pripevnenie senzora (akcelerometra) na skúmané objekty bolo v súlade s požiadavkami normy ISO 5348 [16], ako aj v súlade s predchádzajúcimi skúsenosťami výskumníkov [3, 8, 9, 10, 12]. Cieľ bol zabezpečiť, aby akcelerometer správne reprodukoval pohyb analyzovanej súčiastky bez rušivých vplyvov na jej zvuk. Okrem frekvenčného rozsahu bolo veľmi dôležité zvoliť aj vhodnú metódu priemerovania pre daný typ signálu a počet priemerovaní za časovú jednotku, ako aj vhodné časové okienko [15, 17]. Z tohto dôvodu bolo zvolené Hanningovo okienko s lineárnym priemerovaním a 66,67 % prekrytím, ktoré poskytuje úplne rovnomerné váženie, pretože sa bralo do úvahy za užitočné na analýzu generovaných signálov.

3. DYNAMICKÁ ANALÝZA VYSOKOŤAČKOVÝCH SPRIADACÍCH VRETENNÍKOV

3.1. Časová analýza

Záznam okamžitých hodnôt kmitania v závislosti na čase sa zvyčajne analyzuje graficky s cieľom za-znamenať výkmity (špičky) širokopásmového signálu, záchvevy, moduláciu či obáľkovú analýzu, ktorá je nasmerovaná na proces demodulácie nízkoúrovňových zložiek v úzkom frekvenčnom pásme, ktoré sú zamaskované širokopásmovým kmitaním s vysokou úrovňou (napr. impulzné budenie ložiska vretenníka od hnacieho remeňa). Treba podotknúť, že detekcia obálky poskytuje prostriedok na skoršie rozpoznanie poškodení a s väčšou spoľahlivosťou.

Časové priebehy dynamického zaťaženia ložiska vysokorychlostného spriadacieho vretenníka (Obr. 1), snímané v rôznom čase prevádzky (v hodinách), reprezentujú dynamický prevádzkový stav zobrazený priebehom kmitania v čase prevádzky 4 430 h a 4 900 h s menej výraznými výkmitmi (vrcholmi, špičkami) generovanými začínajúcim poškodením ložiska (hore)

nificant values. These peaks indicate severe fault to the spinning headstock bearing, which needed to be replaced at that point. Thus, also based on the time history it was possible to determine the time for the replacement of the spinning headstock bearing if the time history at 4 430 h of operation was taken as the reference time history. As a rule, however, the reference time history is taken to be the time history after the bearing has run in.

a v čase prevádzky 6 000 h výkmity už dosahujú výrazných hodnôt. Tieto výkmity signalizujú silné poškodenie ložiska spriadacieho vretenníka, ktoré je už potrebné vymeniť. Teda, aj na základe časového priebehu je možné stanoviť čas výmeny ložiska spriadacieho vretenníka, ak sa za referenčný časový priebeh berie do úvahy časový priebeh pri 4 430 h prevádzky. Spravidla sa však za referenčný časový priebeh berie do úvahy časový priebeh po zabehaní ložiska.

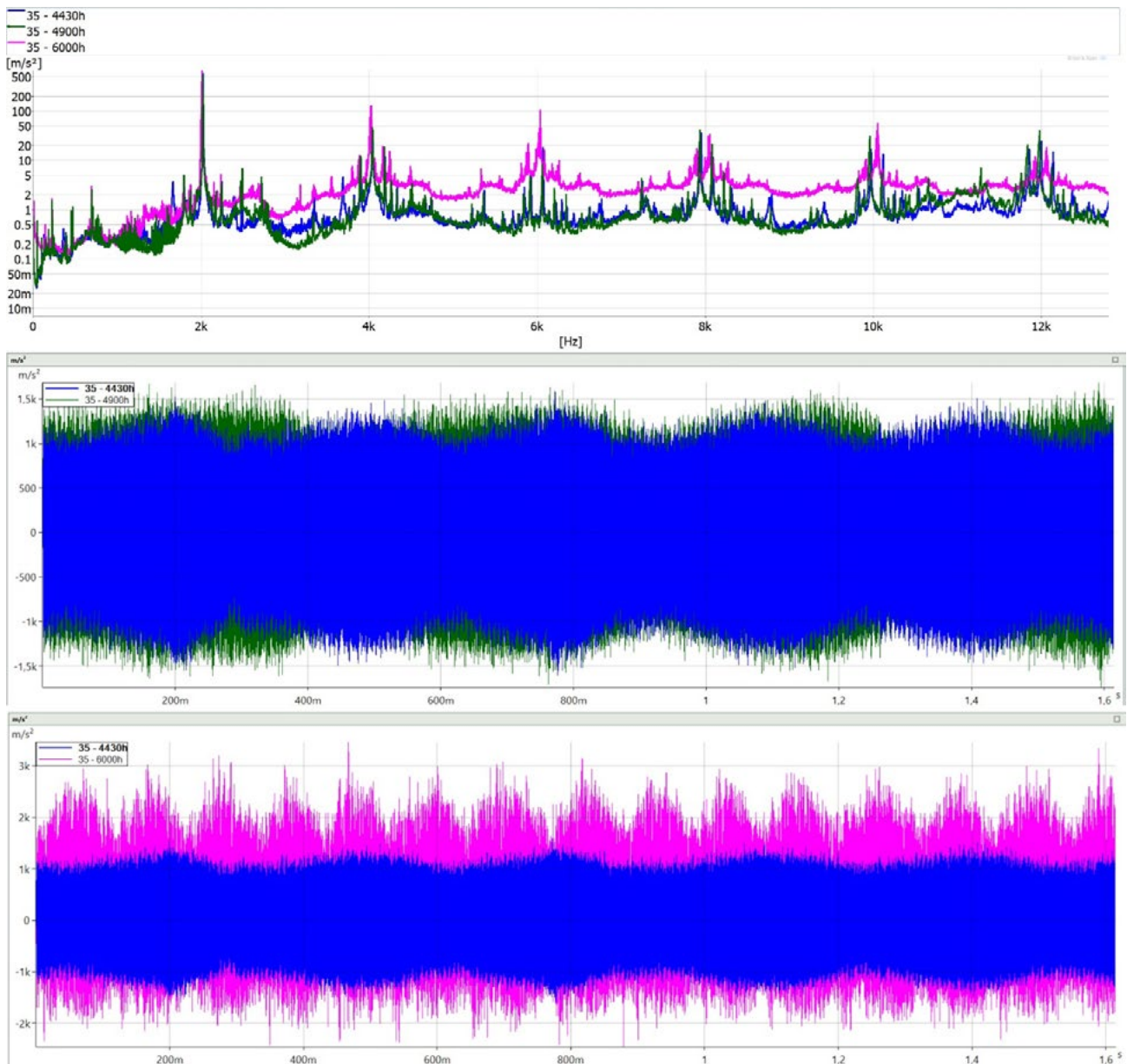


Fig. 1: Time history recorded on the bearing of the high-speed spinning headstock after 4 900 h of operation (top) and after 6 000 h of operation (bottom) at a reference time history of 4 430 h

Obr. 1: Časový priebeh snímaný na ložisku vysokorýchlostného spriadacieho vretenníka po 4 900 h prevádzky (hore) a po 6 000 h prevádzky (dole) pri referenčnom časovom priebehu po 4 430 h

3.2. Frequency analysis

From the measured time history, a frequency spectrum was processed to identify the exact rotational frequency, which was 121 200 r/min at the set rotational frequency of 130 000 r/min. Based on the rotational frequency, the characteristic frequencies attributed to the individual bearing components were calculated and subsequently, their degree of damage was identified, as shown in Fig. 2.

The parameter for comparison was chosen to be the effective value of the acceleration of the vibration for the selected frequency range. Two frequency ranges were selected, namely the full measured frequency range from 12 Hz to 12 800 Hz, and a narrower frequency range from 2 696 Hz to 4 332 Hz. The second frequency range was selected due to the most common type of fault in the measured spinning headstock bearings, namely outer ring wear. The frequency range was chosen with respect to the different operating conditions to which the bearing was subjected (rotational frequency, contact angle of the rolling elements and raceways). The frequency spectra in Fig. 2 represent the operating condition of the bearing at a rotational frequency of 121 200 r/min, which corresponds to a set rotational frequency of 130 000 r/min.

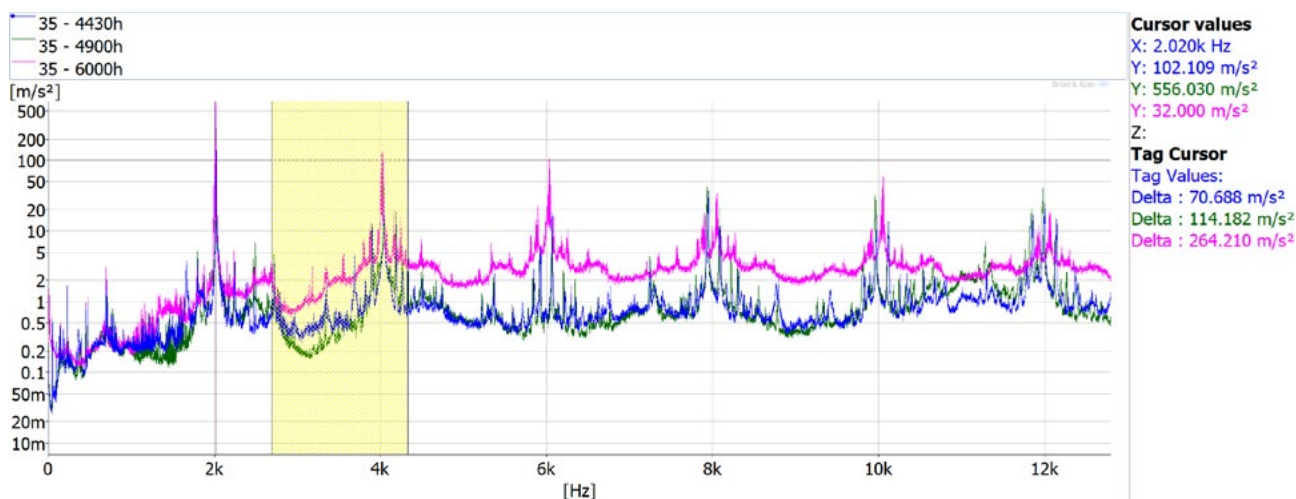


Fig. 2: Frequency spectra of the analysed bearing characterising the operating condition at different hours of operation of the spinning unit

3.3. Monitoring of operational condition

As mentioned above, when monitoring the operating condition, it is very important to

3.2. Frekvenčná analýza

Z nameraného časového priebehu sa spracovalo frekvenčné spektrum na určenie presnej frekvencie otáčania, ktorá bola 121 200 r/min pri nastavenej frekvencii otáčania 130 000 r/min. Na základe frekvencie otáčania sa vypočítali charakteristické frekvencie prislúchajúce jednotlivým komponentom ložiska a následne sa identifikoval ich stupeň poškodenia, ako je znázornené na Obr. 2.

Parametrom pre porovnávanie sa vybrala efektívna hodnota zrýchlenia kmitania pre zvolený frekvenčný rozsah. Vybrali sa dva frekvenčné rozsahy, a to celý meraný frekvenčný rozsah od 12 Hz do 12 800 Hz a užší frekvenčný rozsah od 2 696 Hz do 4 332 Hz. Druhý frekvenčný rozsah sa vybral vzhľadom na najčastejší druh poškodenia meraných ložísk spriadacích vretenníkov, a to na opotrebenie vonkajšieho krúžku. Frekvenčný rozsah sa vybral s ohľadom na rôzne prevádzkové podmienky, ktorým bolo ložisko vystavené (frekvencia otáčania, dotykový uhol valivých telies a dráh). Frekvenčné spektrá na Obr. 2 reprezentujú prevádzkový stav ložiska pri frekvencii otáčania 121 200 r/min, ktorá zodpovedá nastavenej frekvencii otáčania 130 000 r/min.

Obr. 2: Frekvenčné spektrá analyzovaného ložiska charakterizujúce prevádzkový stav pri rôznych hodinách prevádzky spriadacej jednotky

3.3. Monitorovanie prevádzkového stavu

Ako sa už vyššie uviedlo pri monitorovaní prevádzkového stavu je veľmi dôležité správne

correctly determine the measurement points, which must be as close as possible to the observed source of vibration. The objective of the one-time measurements was the verification of the proposed measurement methodology for vibro-diagnostics of the bearing spinning headstocks, as well as the analysis of the operating state of the bearings near the planned end of their lifetime. The sensing elements, also called headstock diagnostic vibration sensors [4], were mounted directly on the bearing, which had not been done before. However, the wavelength of the excited frequency should also be considered in relation to the maximum amplitude of the generated vibration. Otherwise, a smaller or larger distortion of the useful signal occurs, see Tab. 1.

The principal purpose of vibration condition monitoring of machinery is to provide information on the operating condition of the machine for protection and predictive maintenance or component replacement. An integral part of this process is the evaluation of the vibratory condition of the machine over operating time. An example of the values from the monitoring of the operating condition of a high-speed spinning headstock is shown in Tab. 2, where the effective values of the acceleration of the vibration have been measured at a selected time interval, at the specified number of operating hours, corresponding to the frequency spectra of the analyzed bearing of the spinning headstock.

určiť meracie body, ktoré musia byť čo najbližšie k sledovanému zdroju kmitania. Cieľ jednorazových meraní bol overenie navrhutej metodiky merania na vibrodiagnostiku ložísk spriadacích jednotiek, ako aj analýza prevádzkového stavu ložísk v blízkosti plánovaného konca ich životnosti. Snímacie prvky, nazývané aj diagnostické senzory kmitania vretenníka [4] boli pripevnené priamo na ložisku, čo sa doteraz nerobilo. Má sa však zohľadniť aj vlnová dĺžka budenej frekvencie vo vzťahu k maximálnej amplitúde generovaného kmitania. V opačnom prípade dochádza k menšiemu alebo väčšiemu skresleniu užitočného signálu, pozri Tab. 1.

Hlavný cieľ monitorovania stavu kmitania strojného zariadenia je poskytnúť informácie o prevádzkovom stave stroja na jeho ochranu a pre prediktívnu údržbu alebo výmenu komponentu. Neoddeliteľnou súčasťou tohto procesu je vyhodnotenie vibračného stavu stroja počas jeho prevádzky. Príklad hodnôt z monitorovania prevádzkového stavu vysokorýchlostného spriadacieho vretenníka sa uvádza v Tab. 2, kde vo zvolenom časovom intervale sa namerali efektívne hodnoty zrýchlenia kmitania, a to pri stanovených počtoch prevádzkových hodín, ktoré zodpovedajú frekvenčným spektrám analyzovaného ložiska spriadacieho vretenníka.

Time of operation Čas prevádzky	Effective value of acceleration Efektívna hodnota zrýchlenia		Acceleration value at the measured rotational frequency Hodnota zrýchlenia pri meranej frekvencii otáčania	Measured rotational frequency Meraná frekvencia otáčania
	(12 - 12 800) Hz	(2 696 - 4332) Hz		
Number of hours Počet hodín	m/s ²	m/s ²	m/s ²	Hz
4 430	667,021	70,688	102,109	2 020
4 900	724,883	114,182	556,03	2 020
6 000	847,773	264,21	670,293	2 009

Tab. 2: Example of effective values obtained from vibration acceleration measurements when monitoring the operating condition of spinning headstocks

Tab. 2: Príklad efektívnych hodnôt získaných z meraní zrýchlenia kmitania pri monitorovaní prevádzkového stavu spriadacích vretenníkov

CONCLUSION

This article suggests the importance of the correct way of monitoring and diagnosing high-speed spinning headstocks. The results presented in this article were based on experimental tests of six randomly selected high-speed spinning headstocks, and one of them was selected for this paper. With the use of diagnostic sensors, the analysis of data from experimental tests showed a discrepancy between the temperature and dynamic parameters. When diagnostic sensors were used, the analysis of the experimental test data revealed a discrepancy between the measured thermal and dynamic parameters [13, 14]. Experimental measurements of the diagnostics and monitoring of the operating condition of the high-speed spinning headstocks clearly confirmed the use of vibration sensors with their attachment directly to the bearing of the spinning headstock [4]. When diagnosing the operational condition of machines and machine components with the help of a diagnostic sensor, all potential problems related to the operational condition of machines and machine components can be identified in time. Thus, the long-term use of a diagnostic sensor also brings significant financial benefits savings that typically reach up to 60 % of maintenance costs for machine components [6, 15].

ACKNOWLEDGEMENT

The research presented in this paper is an outcome of the project No. APVV-19-0538 "Progressive hybrid high-speed spinning actuator" funded by the Slovak Research and Development Agency. The research presented in this paper is an outcome of the project No. 030STU-4/2022 "RORESA - Application of augmented reality in the education process of machine tools and production systems" funded by the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic.

REFERENCES

- Argalasova L., Lekaviciute J., Jeram S., Sevcikova L. and Jurkovicova J.: Environmental Noise and Cardiovascular Disease in Adults. *Noise Health*, 62:22-31, 2013
- Balazikova, M., Sinay, J.: Implementation of Auditory and Non-auditory Effects of Noise in the Risk Assessment Process in Mechanical Engineering. *Procedia Engineering*, No. 48, p. 621-628, 2012

ZÁVER

Tento článok poukazuje na dôležitosť správneho spôsobu monitorovania a diagnostiky vysokorychlostných rotujúcich spriadacích vretenníkov. Výsledky uvedené v tomto článku sú založené na experimentálnych skúškach šiestich náhodne vybraných vysokorychlostných rotujúcich spriadacích vretenníkov a pre tento článok sa vybral jeden z nich. Pri použití diagnostických senzorov sa analýzou údajov z experimentálnych skúšok zistil nesúlad medzi nameranými teplotnými a dynamickými parametrami [13, 14]. Experimentálne merania diagnostiky a monitorovania prevádzkového stavu spriadacích vretenníkov jednoznačne potvrdili použitie senzorov kmitania s ich pripevnením priamo na ložisko spriadacieho vretenníka [4]. Pri diagnostike prevádzkového stavu strojov a strojných súčiastok pomocou diagnostického senzora možno včas identifikovať všetky potenciálne problémy súvisiace s prevádzkovým stavom strojov a strojných súčiastok a pri jeho dlhodobom používaní prináša aj významné finančné úspory, ktoré zvyčajne dosahujú až 60 % nákladov na údržbu strojných súčiastok [6, 15].

POĎAKOVANIE

Výskum prezentovaný v tomto príspevku je výstupom projektu č. APVV-19-0538 „Progressívny hybridný vysokootáčkový spriadací aktuátor“ financovaného Agentúrou na podporu výskumu a vývoja SR. Výskum prezentovaný v tomto príspevku je aj výstupom projektu č. 030STU-4/2022 „RORESA – Aplikácia rozšírenej reality vo vzdelávacom procese obrábacích strojov a výrobných systémov“ financovaného Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR.

Darula, R., Žiaran, S.: On experimental study of optimal measurement point location for gear wheel state-of-wear measurements by means of vibro-acoustic diagnostics. *Journal of Mechanical Engineering*. Vol. 62/2, p. 61-79, 2011

Chlebo, O., Žiaran, S., Šooš, Ľ.: Headstock diagnostic sensor. Patent 9571, Industrial property office of the Slovak Republic 2022

Chlebo, O., Žiaran, S., Šooš, Ľ.: Analysis of Vibration and Noise of High-Speed Headstocks During Spinning. Book of extended abstracts acoustics, International Conference ACOUSTICS High Tatras Slovakia, p. 57-60, 2024, ISBN 978-80-228-3419-3

Randal, R.B.: Vibration-based condition monitoring industrial, aerospace and automotive applications. John Wiley & Sons, Ltd. 2011

Šooš, Ľ.: Headstock for high speed machining – from machining analysis to structural design. *Machine Tools* 2020; DOI: 10.5772/intechopen.92713

Žiaran, S., Musil, M., Chlebo, O.: Determination of the Bearing Quality by Means of Vibroacoustic Response. Proceedings of Internoise/ASME NCAD Noise control and acoustics division conference, Article number: V001T01A004-1, 2015

Žiaran, S., Chlebo, O.: Evaluation of the Response Vibration of Emo12 Electrical Switchgear Cabinets. Research report – VUJE, a.s. Trnava for Mochovce nuclear power plant, p. 45, 2019

Žiaran, S., Chlebo, O.: Measurement and Evaluation of Seismic Resistance of Uniblock Enclosures. Research report – VUJE, a.s. Trnava for the Mochovce nuclear power plant, p. 16, 2019

Žiaran, S., Chlebo, O., Šooš, Ľ.: Methodology of objective evaluation of quality bearings by vibro-acoustics and its comparison with a subjective method. *AKUSTIKA* ISSN 1801 9064, Studio D – Akustika s.r.o., České Budějovice, VOLUME 37, p. 58-66, 2020, <https://journalakustika.com/old/journal/volume-37-2/>

Žiaran, S., Šooš, Ľ., Chlebo, O.: Primary Noise Control in the Work Environment by Increasing the Quality of Bearings and Effective Mounting of Machines. *Archives of Acoustics*, Vol. 45, No. 2, p. 253-262, 2020

Žiaran, S., Chlebo, O., Šooš, Ľ.: Condition Monitoring of Machinery Components During their Life Cycle. *Journal of Mechanical Engineering*. Vol. 74(1), p. 181-190, 2024, <http://www.sc-jme.com>

Žiaran, S., Chlebo, O., Šooš, Ľ.: Determination of the Acoustic Power Level Emitted by a Machine Component by Measuring Vibration. *Akustika*, Vol. 46/October, p. 3-18, 2023

Žiaran, S.: Technical diagnostics. Scientific monograph. Issued by STU in Bratislava, p. 332, 2013, ISBN 978-80-227-4051-7

STN ISO 5348: Mechanical Vibration and Shocks. Mechanical Mounting of Accelerometers

STN ISO 18431-2: Mechanical vibration and shock. Signal processing. Part 2: Time domain windows for Fourier Transform analysis

STN P CEN ISO/TS 7849-1: Acoustics. Determination of airborne sound power levels emitted by machinery using vibration measurement. Part 1: Survey method using a fixed radiation factor



Ondrej Chlebo completed his PhD.

In 2014, at the Slovak University of Technology in Bratislava. His PhD. thesis was vibro-diagnostic method for determining the damage gears. He defended his habilitation thesis with the topic Reduction of operational shapes of vibration of the moving structure in 2024 at Slovak University of Technology in Bratislava. He is the author and co-author of more than 75 scientific and technical articles. He is the author and co-author 6 utility models. He has solved more than 13 technical and scientific problems for practice. As a member of the team, he collaborated on 3 European project, 5 APVV projects and 5 VEGA projects. He is member of the Slovak Acoustical Society at the Slovak Academy of Sciences (SKAS). At the present time

he deals with problems of noise and vibration control, the transmission of vibro-acoustic energy through the environment and its effects on human beings, the vibro-diagnostics of machines, determination of the quality of machines and their parts, and solving problems from other areas of applied mechanics and acoustics.



Dr.h.c. Prof. Ing. Ľubomír Šooš, PhD.

Dean of the FME STU in BA

Ľubomír Šooš is currently Dean of the Faculty of Mechanical Engineering the Slovak University of Technology in Bratislava. Since 2015 to 2017 he has been Head of the Institute Production System, Environment Technique and management of Quality and since 2007 to 2015 he has been Dean of the Faculty of Mechanical Engineering. As the ordinary Professor he guaranties Program study "Production Engineering" in first, second a thirst degree. His professional background is in the theory and design, especially design of Machine Tools and Equipment for Machinery Production. Mr. Šooš in the last time has considerable experience in the research and development

of machines and equipment for treatment and recycling of waste, the transfer it to alternative sources as a new row material or as energy. Professor Šooš has got very good collaboration with Industry. He is also Vice-President of the Automotive Industry Association and Vice-President of Mechanical Engineering Association of the Slovak Republic.



Stanislav Žiaran completed his M.Sc., Ph.D.

and Professor at the Slovak University of Technology in Bratislava. He established 4 subjects into teaching: Noise and Vibration Control, Engineering Diagnostics, Protection of Human Beings against Noise and Vibration, Strategy of Noise and Vibration Control. He undertook a one semester graduate study at the Institute Sound and Vibration Research in UK. He is the author and co-author of 22 textbooks and 5 monographs from mechanics, acoustics and vibration, the author and co-author of more than 300 scientific articles, he worked out 160 standards and solved more than 120 technical and scientific problems for practice and within the framework of science-research activity at the university. He presented 18 requested lectures at World Congresses abroad; 10 invited lectures at InterNoise (Canada, Portugal, Japan, USA 3x, Austria, Australia, Germany, Hong Kong), 1 at EuroNoise (Netherlands) where he organized and led one section, 2 plenary lectures on Noise Control (Poland), 2 at the IFToMM World Congress (Taiwan, Poland) and 3 at the ICSV (UK, Japan, Canada) Congress. He also lectured at ICSV congresses in Australia, InterNoise in China, COMPDYN in Greece and ICME in South Africa. He is chair and editor of the proceedings of the annual conference Noise and Vibration in Practice (26 conferences organized). At the present time he deals with problems of noise and vibration control, the transmission of vibro-acoustic energy through the environment and its effects on human beings, the vibro-diagnostics of machines, determination of the quality of machines and their parts.