

Systemy na diagnostiku strojov a strojnych zariadení

Každý deň čelíme požiadavke vyrábať viac a zároveň lacnejšie. Investície do nákupu nových strojov sú často realizované iba pre „najslabšie“ miesta výrobného procesu. Nároky na množstvo a kvalitu výrobkov sú oproti tomu každoročne vyššie. Tento trvalý trend núti manažerov hľadať systémy riadenia, ktoré im dajú strategickú výhodu oproti konkurencii.

Koncom 80-tych a začiatkom 90-tych rokov môžeme aj v našich krajinách badať masívny nástup komplexných systémov prediktívnej údržby – monitoringu strojov. Jej hlavnou myšlienkou je vhodnými metódami včas detegovať aj malé poškodenie strojného zariadenia dostatočne dlho pred tým, ako nastane „katastrofický“ výpadok – havária zariadenia. Prírodným dôsledkom monitorovania reálneho stavu strojov je zavádzanie prvkov proaktívnej údržby. Cieľom je zabezpečiť také podmienky prevádzky strojného zariadenia, ktoré zabráni vzniku predčasného poškodenia. Z pasívneho pozorovateľa sa stáva aktívny účastník, ktorý na základe údajov z monitoringu odstraňuje všetky negatívne vplyvy a faktory. Ide o dlhodobý proces, ktorý si často vyžaduje niekoľko mesiacov, ba i rokov systematickej práce.

Úspešné zavedenie myšlienok prediktívnej a proaktívnej údržby do každodennej údržbárskej praxe prináša očakávané konkurenčné výhody. Publikované údaje zo zahraničia, ale dnes už aj naše domáce skúsenosti ukazujú, že pri optimálnych podmienkach možno dosiahnuť:

- využitelnosť strojného zariadenia na 94 – 96 % z celkového časového fondu, a to aj pri prevádzke strojov na maximálny projektovaný výkon,
- minimalizovanie alebo aj odstránenie neplánovaných prestojov z dôvodu havárie – dosahované sú neplánované prestoje od 0 do 1 % z celkového časového fondu,
- zníženie celkových nákladov na údržbu až o 50 %,
- radikálne zvýšenie životnosti strojnych uzlov, predĺženie obdobia do opravy, v niektorých prípadoch až 10-násobne oproti pôvodnému stavu,
- nezanedbateľná je dosahovaná úspora energie, zlepšenie životného a pracovného prostredia.

Tu je dôležité zdôrazniť, že efekty zo zavádzania komplexného systému údržby sa prejavujú postupne, ale po prekonaní „detstých chorôb“ majú dlhodobý a vysokopriaznivý účinok. Po úspešnom začlenení do štruktúry riadenia spoločnosti sa po čase stávajú jej trvalou a neodmysliteľnou súčasťou.

Rozsah tohto príspevku neumožňuje venovať sa podrobne všetkým oblastiam úspešného zavedenia moderných diagnostických systémov. V konečnom dôsledku si každá spoločnosť musí nájsť svoj vlastný model a organizačnú štruktúru. Treba zvážiť investície do prístrojového vybavenia a výchovy kvalifikovaného personálu. Hlavné pre stredne veľké spoločnosti sa ukazuje efektívne veľkú časť požadovaných analýz realizovať pomocou externých špecializovaných firiem. Spomeňme teda aspoň základné oblasti – systémy na diagnostiku strojov a strojnych zariadení.

Vibrodiagnostika

Meranie a analýza vibrácií má pevné a nezameniteľné miesto v oblasti diagnostiky rotačných strojov. Stroj pri svojom chode generuje vibrácie a tento vibračný signál má v sebe zakódovanú informáciu, ktorá nám po spracovaní ukáže:

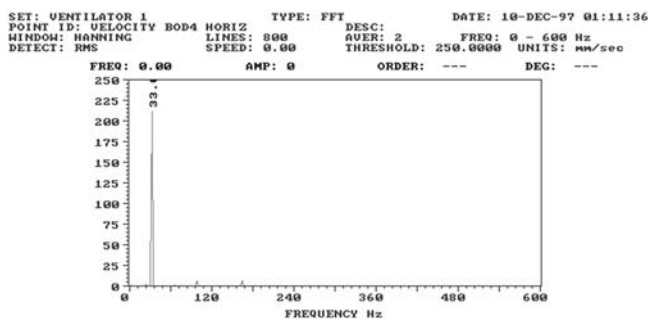
- prevádzkové podmienky stroja, hlavne silové a dynamické zaťaženie, magnetické javy, režim mazania a podobne,
- poškodenie strojného uzla alebo komponentu vrátane možnosti posúdenia jeho závažnosti a vplyv na ďalšiu prevádzku.

Vibračné metódy, spôsob spracovania signálu zo snímača sa neustále zdokonaľujú. Každá z používaných metód má svoje silné, ale aj slabšie miesta. Pre čo najlepšie posúdenie stroja a dosiahnutie minimálnej poruchovosti je nevyhnutné používať multiparametrické monitorovanie. Spomeňme aspoň dve základné vibračné metódy a druhy porúch, ktoré možno pomocou nich identifikovať.

Meranie a spektrálne vyhodnotenie absolútnej rýchlosti chvenia poskytuje informáciu o základných typoch porúch rotačných strojov. Analyzujú sa vibrácie snímané na nerotujúcich častiach stroja (ložiskové domce, veká ap.), blízke frekvencii otáčok stroja. Vyhodnotením merania rôznych strojov a zariadení môžeme posúdiť množstvo porúch, ale všeobecne je uvedená metóda vhodná hlavne na posúdenie týchto prípadov:

- dynamická nevyváženosť rotujúcich kotúčov alebo valcov,
- nesúosové spojenie hriadeľov na spojkách,
- rezonančné javy a prevádzka strojov v oblasti kritických otáčok,
- mechanické uvoľnenie a porušené základy strojov,
- ohnutý hriadeľ,
- poškodenie valivých ložísk a zubových prevodov.

Pri tejto metóde vyhodnocujeme absolútnu rýchlosť chvenia meraného povrchu, pričom je dobré si uvedomiť, že súčin rýchlosti a hmotnosti zodpovedá v mechanike hybnosti telesa, čo je veličina energie. Na obr. 1 je ukážka prejavu extrémne vysokej dynamickkej nevyváženosti obežného kolesa ventilátora.

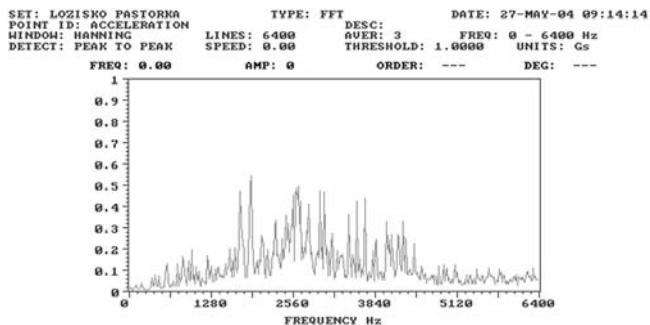


Obr.1

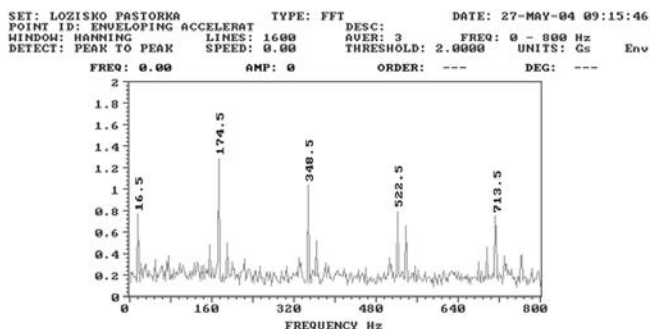
Amplitúda vibrácie na frekvencii otáčania dosahovala hodnoty 212 mm/s, čo je zhruba 20-násobok nebezpečnej úrovne. Následkom takejto prevádzky s vysokou energiou vibrácií dochádza opakovane v priebehu niekoľkých dní k zničeniu valivých ložísk, ložiskových domcov, lomu hriadeľa, vytrhávaniu základových skrutiek či porušeniu základu. Prevádzkovým dynamickým vyvážením obežného kolesa možno uvedenú hodnotu vibrácie znížiť 100-krát. Tým sa dosiahne 100-násobné zníženie silového – dynamického zaťaženia ložísk aj základu stroja.

Meranie a spektrálne vyhodnotenie vysokofrekvenčných vibrácií do 20 kHz, hlavne zrýchlenie chvenia a moderné metódy obáľovania (enveloping), sa najlepšie uplatňujú pri posudzovaní prevádzkového stavu alebo zisťovaní poškodenia:

- uložení s valivými ložiskami, hlavne pre otáčky nad 200 ot./min.,



Obr.2



Obr.3

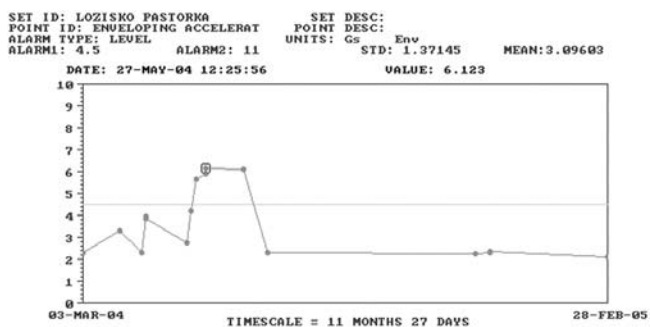
- zubových prevodov aj viacstupňových a planétových prevodoviek,
- v mnohých prípadoch mazania, identifikácie kovového kontaktu alebo nízkej únosnosti olejového filmu.

Na obr. 2 a 3 je ukážka merania vibrácií na ložiskovom uložení pastorku zubového prevodu kuželového súkolesia. Pastorok mal otáčky 1 000 ot./min. a zubový prevod prenášal výkon 350 kW.

Na obr. 2 je FFT spektrum zrýchlenia. Vo frekvenčnej oblasti 2 až 4 kHz sa nachádza typický frekvenčný „kopec“, signalizujúci poruchu prevádzky ložísk. Obr. 3 je ukážkou spracovania vibračného signálu metódou obkľokovania. Použitím tejto metódy sa podarilo určiť, že základným, dominantným zdrojom vibrácie meraného uzla v sledovanej oblasti je frekvencia 174 Hz a jej harmonické násobky. Zároveň bol tento zdroj vibrácií určený ako očakávaná frekvencia valivého ložiska (BPFI, poškodenie vnútorného ložiskového krúžku).

Na obr. 4 je ukážka trendovej analýzy uvedeného uzla. Opakovaným diagnostickým meraním možno zistiť zmeny vibrácií sledovaného stroja. Pri náraste vibrácií určíme, čo je zdrojom vibrácie, prípadne závažnosť poškodenia. V prípade potreby spoločne s prevádzkovateľom zariadenia naplánujeme termín opravy, v uvedenom príklade výmenu ložiska. Opakované diagnostické meranie po oprave nám potvrdí:

- správnosť a úplnosť určenia poruchy strojného uzla, ktoré sme urobili pred opravou,
- úspešnosť opravy z hľadiska dodržania montážnych postupov a nastavenia príslušných parametrov (ložisko, nastavenie záberu zubov a podobne).



Obr.3

Optické merania a ustanovenie

Svetové štatistiky ukazujú, že až 40 % strojov je prevádzkovaných mimo odporúčaných tolerancií pre ustavenie. Typický príklad je nesúosové spojenie hriadeľov na spojkách. Stále veľká časť prevádzkovateľov rotačných strojov je presvedčená, že odchýlky od odporúčaných tolerancií pre ustavenie súosovosti v plnej miere kompenzujú pružné spojky.

Technická prax a dlhodobé analýzy príčin havárií ukázali, že napríklad až 50 % ložísk v elektromotoroch bolo zničených v dôsledku nesprávneho ustavenia súosovosti na spojke. Trvanlivosť valivých ložísk dobre ustavených elektromotorov je 6- až 8-násobne vyššia. Prirátajme k tomu náklady na opravu, neplánované odstavenie prevádzky alebo poškodenie celého stroja pri havárii. Nesprávne ustavené stroje zvyšujú spotrebu energie o 2 – 9 %. Túto energiu menia zväčša na teplo a nárast vibrácií, čo sekundárne znižuje životnosť celého stroja.

Tribotechnika

Dosiahnuť režim trenia s úplným oddelením kontaktných povrchov, súvislým a dostatočne únosným olejovým filmom je pre tribotechniku to isté, ako pre horolezca vystúpiť na Mont Everest. Je to vysnívaná meta pre prevádzkovateľov valivých ložísk, zubových prevodov, ale aj hydraulických systémov alebo spaľovacích motorov. Pri úplnom olejovom trení dosahujeme:

- minimálne opotrebenie trecích alebo valivých povrchov počas celej prevádzky stroja,
- zníženie ustálenej teploty uzlov, často o 50 – 70 °C,
- radikálne zvýšenie životnosti komponentov, často 10-násobne, teoreticky až 50-násobne,
- zníženie nárokov na energiu, v niektorých prípadoch až o 20 %,
- zníženie vibrácií a hluku počas prevádzky stroja,
- zníženie ekologickej záťaže životného prostredia.

V súvislosti s uvedeným nie je prekvapujúci nárast monitorovania stavu mazív za posledných 10 – 15 rokov. V technickej praxi môžeme v zásade rozlišovať rozborov:

- chemicko-fyzikálnych vlastností mazív (napr. kinematická viskozita, množstvo aditív, kyslosť a podobne),
- úrovně znečistenia, hlavne z okolia, ako je voda a tuhé nečistoty, a tiež rozbor oterových častíc vznikajúcich vo valivom alebo trecom kontakte.

Pre komplexné posúdenie režimu trenia a stavu mazania je jednou z odporúčaných metód ferrografický rozbor oterových častíc. Rozborom oterových častíc, ktoré vznikajú pri kovovom kontak-

TYP ČASTICE	OBSAH VO VZORKE			VELKOSŤ (µm)
	malý	stredný	veľký	
ADHEZÍVNE, ŠUPINKOVITÉ	do 3			
ABRAZÍVNE, ŠPIRÁLOVÉ				
ÚNAVOVÉ, VEĽKÉ				
LAMINÁRNE				
SFÉRIKÉ				
GAMA - HEMATIT, Fe ₃ O ₄				
ALFA - HEMATIT, Fe ₂ O ₃				
KOROZÍVNE				
NEŽELEZNÉ, KOVOVÉ				
NEKOVOVÉ				

Hodnotenie režimu trenia – stavu mazania
DOBRY – VYHOVUJÚCI – NEVYHOVUJÚCI – HAVARIJNÝ

Komentár ku rozboru maziva:
 V mazive boli zistené tieto obsahy nečistôt:

■ celkové množstvo nečistôt	CN	= 0,6 %
■ množstvo oterových častíc	WPC	= 1,6 %
■ podiel makročastíc na oter. časť	PLP	= 0,6 %
■ obsah vody v mazive	H ₂ O	= stopy

Obr.5

te valivých alebo trecích povrchov, možno určiť kvalitu olejového filmu a jeho únosnosť. Z rozboru oterových častíc možno identifikovať také poruchy, ako je preťaženie kontaktných povrchov (mechanické alebo aj tepelné), únavové poškodenie povrchov, abrazívny oter, ale aj prítomnosť vody alebo zlyhávanie fyzikálno-chemických vlastností maziva vplyvom starnutia.

Na obr. 5 je ukážka ferrografického rozboru oterových častíc z olejovej náplne presnej prevodovky. Vo vzorke oleja sa nachádzajú iba adhezívne častice v malom množstve. Takýto režim trenia je predpokladom dosiahnutia vysokej životnosti a spoľahlivej prevádzky prevodovky.

Záver

Systémy na diagnostiku strojov a zariadení sú v súčasnosti rozsiahle a rozmanité. Tento trend sa bude s najväčšou pravdepodobnosťou rozmáhať do netušených možností. Napriek tomu základné princípy a postupy sú v súčasnosti dobre overené a prínos zo zavedenia je pre používateľa viditeľný aj pri minimálnom nasadení spomenutých metód.

V príspevku sme okrajovo a značne zjednodušene naznačili najmasovejšie oblasti využívania prístupov prediktívnej a proaktívnej údržby strojov. Každá z uvedených oblastí tvorí špeciálny technický odbor a mnohé, veľmi úspešné diagnostické techniky neboli ani spomenuté. Technologické procesy a výrobné linky sú však také rozmanité a špecifické, že je najlepšie zvoliť individuálny prístup.

Opäť uvedieme názor technikov, ktorí sa touto oblasťou zaoberajú profesionálne, ako to už bolo spomenuté v úvode: efekty zo zavádzania komplexného systému údržby sa prejavujú postupne, ale po prekonaní „detských chorôb“ majú dlhodobý a vysokopriaznivý účinok pre celú spoločnosť.

Ing. Pavel Adamčík

Technická diagnostika, spol. s r. o., Prešov
e-mail: tdg@nexta.sk

10