

DIAGNOSTIKA POŠKOZENÍ LOŽISKA PRŮCHODEM ELEKTRICKÉHO PROUDU

Karel CHMELÍK, VŠB-TU Ostrava, FEI¹

Jiří POSPÍŠILÍK, VŠB-TU Ostrava, FEI

Anotace:

Vlivem značného rozšíření napájení elektromotorů ze statických měničů, se častěji objevují poruchy ložisek zapříčiněné průchodem elektrického proudu. Často je však také snaha každou poruchu ložiska, u motorů napájených uvedeným způsobem, přičítat ložiskovým proudům. Existuje několik možných konstrukčních úprav pro zabránění průchodu proudu ložiskem. V tomto příspěvku rozebereme možnost použití izolovaných ložisek.

1. Úvod

Poškození valivých nebo kluzných ložisek u elektrických nebo i jiných strojů není žádnou zvláštností. Úkolem diagnostiky je včasné zjištění počínající závady nebo poruchy ložiska a někdy také zjištění příčiny eventuální havárie ložiska. V poslední době, vlivem značného rozšíření napájení elektromotorů ze statických měničů, se častěji objevují poruchy ložisek zapříčiněné průchodem elektrického proudu. Objevuje se snaha každou poruchu ložiska, u motorů napájených uvedeným způsobem, přičítat ložiskovým proudům. Z tohoto důvodu se snažíme objektivně analyzovat vzniklé poruchy a hledat důvody vzniku hřídelových napětí, mechanismy degradačního působení elektrického proudu a zabránění jeho průchodu ložisky.

2. Možnosti zamezení průchodu elektrického proudu ložiskem

Existuje několik možných konstrukčních úprav pro zabránění průchodu proudu:

- Odstranění všech nesymetrií el. i mg. obvodu.
- Izolace ložisek nebo ložiskových stojanů.
- Připojení uzemněného kartáče na hřídel.
- Keramická nebo hybridní ložiska.

Odstranění jakékoliv možné nesymetrie magnetického a elektrického obvodu je žádoucí u všech elektrických strojů a to bez ohledu na jejich výkon, velikost či použití. U zbývajících úprav pak rozhoduje výkon, druh stroje a jeho konstrukční řešení a v neposlední řadě i náklady na předpokládanou konstrukční úpravu.

¹ Doc. Ing. Karel Chmelík

VŠB–TU Ostrava, FEI

Katedra elektrických strojů a přístrojů

17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba

tel.: 596994275, fax: 596919597, e-mail: karel.chmelik@vsb.cz

Takovéto hodnocení by již vybočovalo ze zaměření této konference a proto se budeme dále zabývat pouze rozбором možné degradace vlastností izolovaného valivého ložiska.

3. Analýza poškození ložiska s elektrickou izolací vnějšího kroužku

Příklad takového ložiska je na obr. 1 (převzato z katalogu výrobce).



Obr. 1

K analýze příčiny poškození jsme obdrželi dvě izolovaná ložiska, která vykazovala zvýšený hluk při běžném provozu. Ložiska jsou umístěna ve vnitřním ložiskovém štítu asynchronního motoru pohánějící tramvaj. S ložisky bylo ujetu 58500 km. Poškozené ložisko je mazané syntetickým olejem z převodovky. Motor je napájen z pulzního měniče v technice IGBT. Strmost nárůstu napětí je 5 kV/ μ s.

Poškození ložisek nebylo bez demontáže viditelné. Mazivo ložiska vykazovalo zbarvení běžné pro olej, s výjimkou okrajových oblastí kroužků ložisek kde byly přítomny grafitové vrstvy pevné formy. Tyto vrstvy nebylo možné odstranit otěrem.

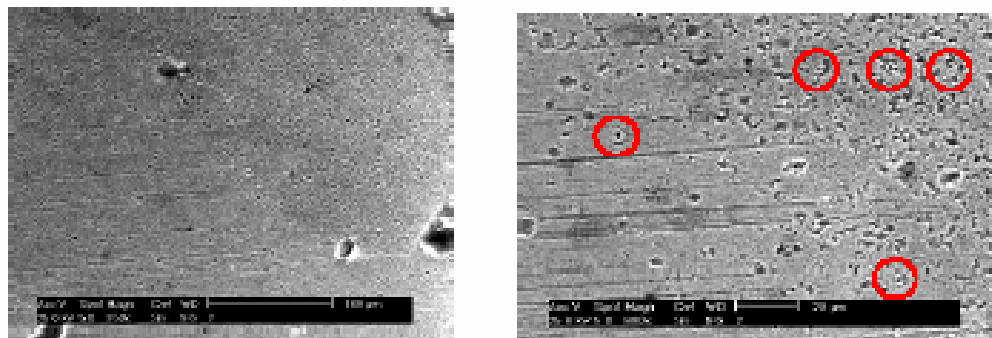


Obr.2 a 3.

Na vnitřním povrchu vnějšího kroužku ložiska – obr. 2, a to v jeho dolní části, bylo na 20-25% souvislého povrchu viditelné drážkování. Tato oblast je nejpravděpodobněji oblastí kde se soustředí zatížení ložiska a proto je toto místo

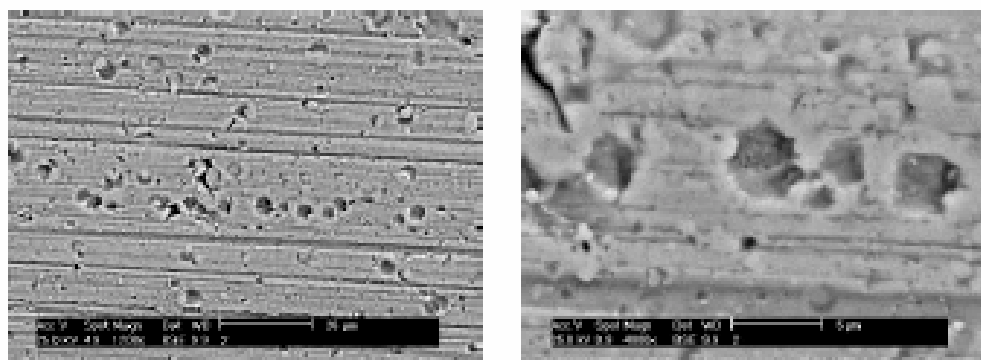
namáháno extrémně. V této oblasti je olejová mazací vrstva nejtenčí. Protože je ložisko vystaveno vibracím generovaným z převodovky a vlastními vibracemi ložiska, jsou místa kde dochází k výraznějšímu ztenčení olejového filmu. Obr. 3 ukazuje rovnoměrně rozprostřené drážkování na vnitřním kroužku, viditelné pouze při specifickém nasvícení, kdy odrazivost plochy umožní jeho zobrazení. Toto drážkování je rovněž rozprostřené s pravidelným vzorem, lze proto předpokládat, že tyto drážky souvisle pokrývající povrch pracovních ploch, byly vytvořeny za stejných podmínek. Pravidelné rozprostření na povrchu ukazuje na souvislý účinek po celou dobu chodu ložiska. Je nutné podotknout, že na rozdíl od vnějšího kroužku ložiska, je povrch vnitřního kroužku poškozování rovnoměrné po celém obvodu, a proto není tak výrazné jako na vnějším kroužku.

Povrchy vnitřních kroužků obou ložisek na první pohled jeví dojem kvalitního zaběhání ložiska a nedává důvod k předpokladu průchodu proudy ložiskem. Navíc použitím ložiska s keramickou izolační vrstvou tento předpoklad podporuje. Při bližším pohledu rastrovacím elektronovým mikroskopem (dále REM), však byly zjištěny následující skutečnosti.



Obr. 4 a 5

Snímek (obr. 4 a zvětšení na obr. 5) z oblasti s krajem drážky ukazuje v levé části oblast původního povrchu zvrásněného podélnými stopami po obroušení (tedy technologickém kroku výroby ložiska). V pravé a horní oblasti povrchu jsou ale patrné díry a houbovitě zvrásnění povrchu. Při bližším pohledu jde o místa, kde jsou patrné díry připomínající ztuhlý povrch „bublajícího“ kovu při teplotě tavení resp. varu.



Obr. 5 a 6

Při pohledu na povrch vnitřních kroužků v hraniční oblasti pracovních ploch při velkém zvětšení – obr. 5 a 6, jsou patrné na původním broušeném povrchu místa, jenž vykazují hluboké díry, rozprostřené náhodně po povrchu a dále povrchové krátery.

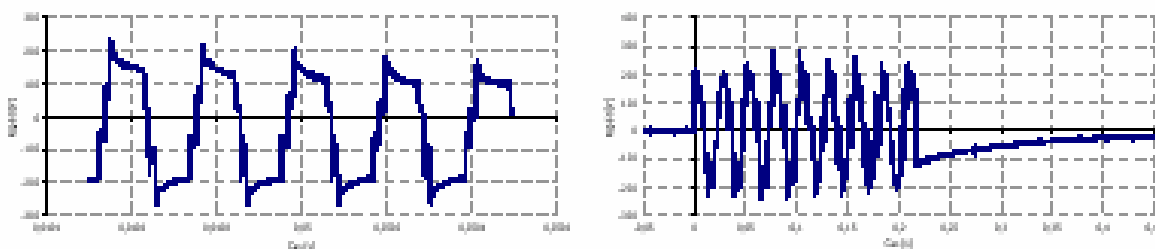
4. Laboratorní zkoušky poškození el. proudem

Výrobce těchto ložisek garantuje elektrickou pevnost 1000V při stejnosměrném napětí, laboratorně byla výrobcem údajně změřena pevnost 3000V DC.

V případě přítomnosti střídavého napětí na keramické vrstvě je nutno tuto vrstvu chápat jako dielektrikum keramického kondenzátoru, jehož hodnota se pohybuje v rozmezích hodnot 1-100nF. V aplikacích kde střídavá složka napětí dosahuje frekvence řádově několik kHz představuje pro cestu ložiskových proudů kapacitní reaktanci řádově 10k Ω .

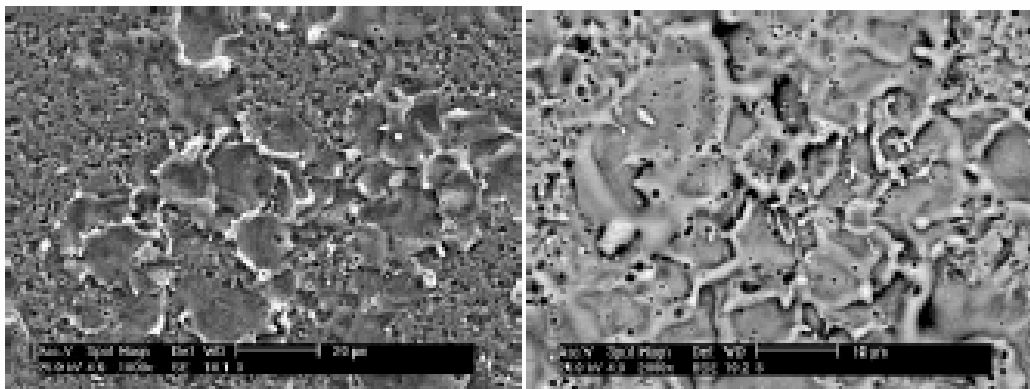
V případě použití tohoto ložiska u motoru napájeného z frekvenčního měniče kde spínací procesy dosahují nárůstu napětí stejně jako je při této aplikaci (5kV/ μ s), představuje izolační vrstva dielektrikum kondenzátoru. Ten je s frekvencí danou spínací frekvencí neustále nabíjen a vybíjen napěťovými pulsy, jejichž strmost lze přirovnat frekvenci řádově MHz. Při této strmosti jsou nabíjecí procesy tak intenzivní, že proud procházející kontaktními styky, má intenzivní krátkodobé tepelné účinky narušující povrch krátery. Z nich je materiál z místa povrchu ve směru iontů vystřelován, nebo naopak je na druhém povrchu nanášen ve formě nataveniny.

Abychom si ověřili elektrické vlastnosti (zvláště elektrickou pevnost) vytvořili jsme podmínky dané provozem stroje napájeného z měniče. Vnější kroužek byl obalen vrstvou vodivé fólie, která byla přiložena k potenciálu, danému kostrou motoru napájeného z měniče frekvence a odizolovaného od základu. Druhý potenciál byl přikládám k povrchu oběžné plochy jako hrot, tak aby napodobil bodový styk.



Obr. 7 a 8

Na obr. 7 je průběh napětí na keramické vrstvě ložiska a záznam vybíjecího děje po odebrání přiloženého potenciálu napětí je na obr. 8. Tyto průběhy svědčí o ryze kapacitním charakteru izolační vrstvy na povrchu ložiska.



Obr. 9 a 10

V okamžiku přiblížení zkušebního hrotu k povrchu vznikalo jiskření, narušující povrch oběžné dráhy. Po provedení snímků na REM (obr. 9 a 10) bylo zjištěno, že povrch ložiska netvoří jenom krátery vytvořené expanzí nataveného kovu ale i oblasti, které ukazují na nataveniny a oblasti v nichž jsou patrné stopy po varu kovu, tedy podobné útvarům, jaké byly zjištěny v poškozených oblastech ložisek vybudovaných z tramvajového motoru. Je nutno ještě podotknout, že tento tvar si povrch nezachová a je při následném styku, při odvalování neustále deformován a viditelné zůstanou pouze oblasti s výraznější deformací.

5. Závěr

Srovnáme-li předchozí poznatky a analýzy snímků pracovních ploch ložisek z tramvaje s poškozením ložiska v laboratoři, můžeme konstatovat, že poškození ložiska tramvaje vzniklo s největší pravděpodobností průchodem proudem ložiskem. Charakter poškození povrchů ukazuje na kapacitní proudy, vznikající při nabíjecích a vybíjecích procesech izolační keramické vrstvy při přítomnosti napětí pulzního charakteru. Přítomnost vibrací, které není možné 100% eliminovat, napomáhá soustředit tepelné účinky proudu do stejných míst a tedy i vibrace se mohou podílet na tvorbě drážkování. Závěrem je nutno konstatovat, že pro úplné zabránění poškození ložisek kapacitními proudy je nutné použít hybridní ložiska.