



GUILLERMO E. MORALES-ESPEJEL

Vezető tudományos kutató,
SKF Engineering &
Research Centre,
Nieuwegein, Hollandia

ANTONIO GABELLI

Tudományos kutató,
SKF Engineering &
Research Centre,
Nieuwegein, Hollandia



Az Új modell komoly előrelépés

Az idei Hannoveri Vásáron (2015 áprilisában) Alrik Danielson, az SKF Csoport elnök-vezérigazgatója, valamint Bernd Stephan, a Csoport műszaki fejlesztésért felelős elnökhelyettese bejelentették egy innovatív, új modellt, az SKF egyetemes csapágy-élettartam modell (SKF Generalized Bearing Life Model – GBLM) koncepciójának megszületését. A modell kidolgozásának célja az volt, hogy segítséget nyújtson a mérnököknek a csapágy élettartamának realisabb kiszámításához. Az új modellnek fontos szerepe lesz abban, hogy a berendezégyártók és a végfelhasználók megfelelően tudják kiválasztani az adott alkalmazáshoz szükséges csapágyakat, növelve ezzel a berendezés élettartamát és csökkentve az üzemi költségeket.

Az SKF EnCompass Field Performance Programme (Üzemi teljesítmény program) keretében kidolgozott új modell a jelenleg is használt – és az SKF által mintegy 30 évvel ezelőtt kifejlesztett – csapágy-élettartam modell erősségeire épít, de sikeresen választja szét a felületi és a felszín alól induló meghibásodási módokat. Mivel a modell több paramétert tartalmaz, új megvilágításba helyezi a csapágy-élettartam számítását.

A koncepció hannoveri bemutatásának keretében naponként két interjú tartottak a GBLM szakértői, demonstrációs szoftver segítségével bemutatták a számítási módszert, majd személyes beszélgetésekre került sor a vásárlókkal és az újságírókkal. A koncepció modellét nagyon jól fogadta a közönség és a vásárlók.

Az alábbiakban bemutatjuk az új modell alaptéziseit.

Az SKF egyetemes csapágy-élettartam modellje – a tribológia hatalma

A gördülőcsapágyak élettartamának becslése eddig olyan mérnöki modelleken alapult, amelyek az érintkező felület alól induló, a gördülő érintkezés feszített tömegére alkalmazott egyenértékű feszültséget veszik figyelembe. Az évek során a csapágy-élettartam számítások a hiányos kenés, ill. a szennyeződés miatti felületi meghibásodásokat

beépítették a csapágy-élettartam számításokba úgy, hogy egy büntető tényezőt alkalmaztak a gördülő érintkezés általános egyenértékű feszültségére. Az SKF GBLM-ben a kérdés vizsgálatához a gördülő érintkezési élettartamra kidolgozott általános megközelítést alkalmazzuk, ahol a felületi sérülés kifejezetten megjelenik a gördülő érintkezés alap kifáradási egyenleteiben. Ez az új megoldás lehetővé teszi a gördülőcsapágyak tribológiájának jobb megjelenítését az élettartam számításokban. Ezen túlmenően, több információt ad a felületi kifáradásról, ami domináns tényező a gördülőcsapágyak üzemi teljesítményében. A továbbiakban azt vizsgáljuk, hogy a jelen általános módszer mennyire képes figyelembe venni a gördülőcsapágyak tribológiáját és a felületi-felszín alatti kifáradási mechanizmusokat.

A modern gördülőcsapágyak megfelelő használat és kenés mellett egyre megbízhatóbbak. Ez a jó gyakorlatoknak, valamint a hagyományos gördülő érintkezési kifáradási mechanizmusok sikeres megismerésének és alkalmazásának köszönhető. Mindezt a nagyobb anyagtisztaságnak és a jó gyártási minőségnek a megbízható élettartam számítási módszerekkel való párosítása teszi lehetővé. Ugyanakkor a méretcsökkentésre és a nagyobb üzemi teljesítmény elérésére irányuló ipari tendenciák további nehéz körülményeket teremtenek a gördülőcsapágyak, különösen azok érintkező felületei számára; ez az oka annak, hogy a csapágy-meghibásodások többsége a felületről indul ki [1]. Ahhoz, hogy a gördülőcsapágyak ne jelentsenek szűk keresztmetszetet a modern berendezések teljesítményének további növelésében, a csapágyteljesítmény vonatkozásában jobban fel kell mérni a csapágyfelületek tribológiáját. Az elmúlt évtizedben az SKF jelentős előrelépést tett a felületi élettartam modellezése területén [2–8]. Végül ezen tudásnak a gördülőcsapágy élettartamába való beépítése [9] az SKF egyetemes csapágy-élettartam modelljének (GBLM) bevezetésével vált lehetővé, amely szétválasztja a felületi és a felület alatti folyamatokat; így módon a két különböző területre eltérő fizikai modellek alkalmazhatók. A felszín alól induló gördülő érintkezési kifáradás a hagyományos

módon kezelhető Lundberg és Palmgren [10] klasszikus dinamikus kapacitás modellje segítségével, míg a felület kezeléséhez fejlettebb tribológiai modellekre van szükség. Ez utóbbiak figyelembe veszik a nagy feszültségnek kitett koncentrált Hertz-féle érintkezésekben zajló komplex fizikai kölcsönhatásokat, mint a kenés, a súrlódás, a kopás, a kifáradás, ill. a bejáratás.

Ily módon az SKF a csapágy-élettartam előrejelzésekben képes megjeleníteni a speciális tulajdonságokkal rendelkező egyedi kiviteleket, mely tulajdonságok befolyásolják a csapágyazások üzemi teljesítményét. Ilyenek például a speciálisan hőkezelt, vagy fejlett mikro-geometriával rendelkező, valamint az egyedi kivitelű és minőségű csapágyak.

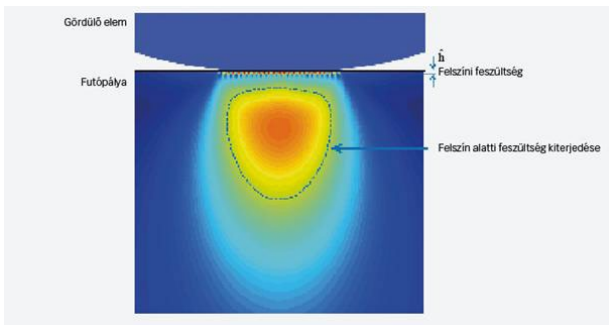
Az ügyfelek számára lehetővé válik a termékkatalógusokban található SKF csapágyak egyedülálló jellemzői által nyújtott előnyök kihasználása, és ezeknek a teljesítményszámításokban való figyelembe vétele. Végső soron a vevők jobban tudják majd hasznosítani az SKF termékek azon tulajdonságait és minőségét, amelyek nem fejezhetők ki egyszerűen a 'felület alatti' dinamikus névleges terheléssel (C), ahogyan az ma történik [11].

Az új megközelítésnek az a képessége, hogy speciálisan kezelni tudja a futópálya felület károsodási mechanizmusait és tribológiáját, lehetővé teszi a GBLM fejlettebb változatának alkalmazását a csapágy termékfejlesztésekben.

Az SKF mérnökei a GBLM segítségével a speciális alkalmazási, ill. üzemi teljesítménybeli követelményeket kielégítő jobb csapágykiviteleket tudnak kidolgozni. Röviden: a GBLM egy modern és rugalmas csapágyteljesítmény meghatározó eszköz, amely képes magába építeni a születő új ismereteket és technológiákat.

Egyetemes modell megközelítés

Ez a modell megtartja a kétparaméteres Weibull eloszláson alapuló gördülőcsapágy élettartam számítás eddig alkalmazott standard valószínűségi megközelítését, lásd [12]. Waloddi Weibull [13] a sztochasztikus koncepciókat a leggyengébb láncszem elmélet alapján vezette be a szerkezeti elemek teherbírásának és szakítószilárdságának a meghatározásába.



1. ábra: A felület és a felszín alatti rész szétválasztása a GBLM ajánlása szerint

Ha egy szerkezet különböző feszültség állapotoknak kitett n számú elemből áll, ezáltal különböző túlélési valószínűséggel rendelkezik a termék megbízhatósági törvény alapján S_1, S_2, \dots, S_n , az egész szerkezet túlélésének valószínűsége: (1) egyenlet.

$$S_1^n = S_1 \cdot S_2 \cdots S_n = \prod_{i=1}^n S_i$$

Lundberg és Palmgren a gördülőcsapágyak névleges dinamikus terhelésének eredeti klasszikus meghatározásánál [10] a Weibull-féle termék megbízhatósági törvényt alkalmazták, (1) egyenlet, hogy megkapják a 0-ról N terhelési ciklusra való meghibásodási folyamatért felelős n számú független fizikai elemből álló struktúra túlélési függvényét: (2) egyenlet.

$$\ln \left[\frac{1}{S(N)} \right] = \ln \left[\frac{1}{\Delta S_1(N)} \right] + \ln \left[\frac{1}{\Delta S_2(N)} \right] + \dots + \ln \left[\frac{1}{\Delta S_n(N)} \right]$$

A V térfogat kettő, vagy több független, a struktúra számára meghibásodási kockázatot jelentő forrásra osztható, figyelembe véve, hogy a G anyagkárosodási függvény a felelős a terhelési ciklusok halmazott hatásáért (kifáradás). Ezért az egyes területek különböző anyagkárosodási függvényekkel jellemezhetők, amelyekkel leírhatók a különböző (vagy egy adott) meghibásodási folyamatok, $G_{v,1}, G_{v,2}, \dots, G_{v,n}$. Ezeknek az egész szerkezet túlélésére gyakorolt együttes hatása a (2) egyenlettel írható le. Most azonban csak két területet veszünk figyelembe, egy felszín alatti (v terület) és egy másik, felszíni területet (s terület), amiből az alábbi egyenlet adódik: (3) egyenlet.

$$\ln \left[\frac{1}{S(N)} \right] = \int_{V_v} G_v(N) dV_v + \hat{h} \int_A G_s(N) dA$$

A [14] referencia alapján a kifáradási károsodást szenvedett térfogat integrál a Hertz-féle feszültség mezőből származtatott σ_v feszültség amplitúdó segítségével számítható ki: (4) egyenlet.

$$\int_{V_v} G_v(N) dV_v = \bar{A} N^e \int_{V_v} \frac{(\sigma_v - \sigma_{u,v})^c}{z^h} dV_v$$

Ahol c és h kitevők, az e jelenti a felület alatti rész Weibull meredekségét, az N a terhelési ciklusok számában az érintkezési élettartam, a z mutatja az elemzés mélységét, a V_v az integrál intervalluma, $\sigma_{u,v}$ a térfogat kifáradási határértéke, és \bar{A} egy állandó.

A felületkárosodási függvény hasonló módon át is írható. Ha a \hat{h} állandót is belefoglaljuk a \bar{B} felület károsodási arányossági állandóba, megkapjuk: az (5) egyenletet.

$$\bar{h} \int_A G_s(N) dA = \bar{B} N^m \int_A \langle \sigma_s - \sigma_{u,s} \rangle^c dA$$

Ebben az egyenletben az m jelenti a felület Weibull meredekségét, az A az integrációs felületet, $\sigma_{u,s}$ a felület kifáradási határértéket, a \bar{B} pedig egy beállított állandó.

A felületkárosodási egyenletben (5) a σ_s felületi feszültségeket az érintkező és súrlódási feszültségek tényleges felületi geometriájából kell kiszámítani.

Ezután, a (4) és (5) egyenleteknek a (3) egyenlettel való összevonásával megkaphatjuk az érintkezési élettartam egyenletet, külön a felületre és a felszín alatti részre. A millió fordulatszámokban kifejezett élettartam $L = N/u$ -nel viszonyítható a terhelési ciklusok számához, és tekintettel arra, hogy a két Weibull meredekség nagyon hasonló, $e = m$, ami a csapágyak felületi meghibásodási módjait jellemzi, végül megkapjuk: a (6) egyenletet.

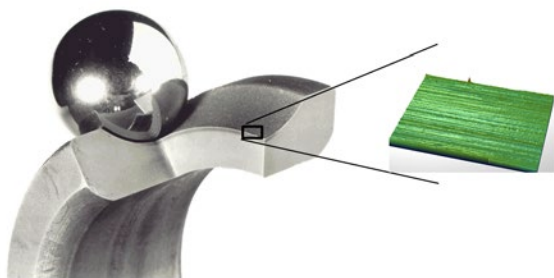
$$L_{1-s} = \frac{\left[\ln\left(\frac{1}{s}\right) \right]^{1/e}}{u} \left[\bar{A} \int_V \frac{(\sigma_v - \sigma_{u,v})^c}{z^h} dV_v + \bar{B} \int_A \langle \sigma_s - \sigma_{u,s} \rangle^c dA \right]^{-1/e}$$

Ez képezi a csapágy-élettartam modell alapját, amely világosan elválasztja egymástól a felületet és a felszín alatti részt. A térfogati integrállal kifejezett felület alatti tényező megoldható a [14] referenciában leírt módon, a hagyományos Hertz-féle gördülő érintkezési kifáradási technikák alkalmazásával. A területi integrál által leírt felületi tényező azonban lehetővé teszi, hogy a modellbe következetesen beépítsük a futópálya felület kifáradását jellemző számos tribológiai jelenséget.

Természetesen ehhez a fejlesztéshez korszerű számítási modellek alkalmazására van szükség. Szükség van a kompetitív kopási mechanizmusok komplex kölcsönhatásának figyelembevételére. Például: i) felületi kifáradás enyhe kopással párosítva, ii) a benyomódásos sérülések kialakulása, iii) tribo-kémiai interakciók, és sok egyéb. Az 1. ábra a GBLM alapkoncepció vázlatos rajzát mutatja.

Felületi modellek

Az [5] hivatkozás a kifáradást és enyhe kopást kombináló numerikus felületi károsodási modellt írja le; ebbe a modellbe kell bevinni az érintkező felületek felületi egyenet-

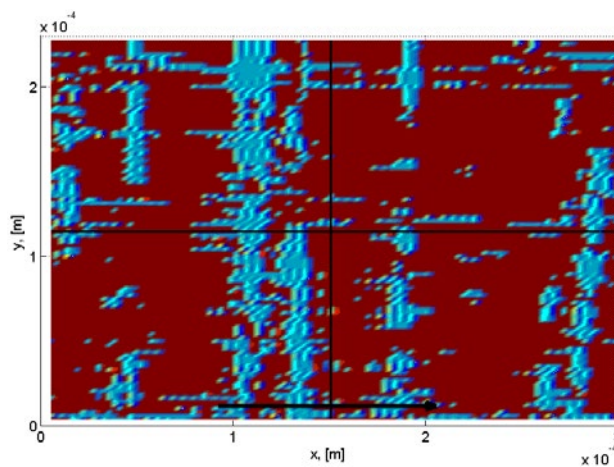


2. ábra: Csapágy futópálya felületi érdességének digitalizálása optikai érdességmérő segítségével a felület 3D-s feltérképezéséhez

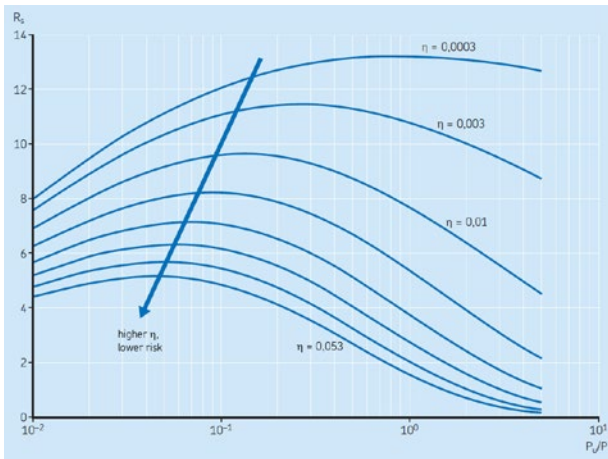
lenségének digitalizált térképét (2. ábra), és a modell megoldja a vegyes kenés elasztohidrodinamikai problémáját (a nem-newtoni folyadék reológiával, viselkedéssel).

A megoldás a számított nyomásra és feszültségre időlépcsőkben történik. A számítási modell egy sérülési tényezőt és egy kopási modellt alkalmaz a felületi topográfia aktualizálására és egy komplett gördülési terhelési ciklus lezajlása alatt lép tovább a következő számítási lépcsőre. Ez a folyamat több milliószor ismétlődik a felület összes számítási pontjára vonatkozóan. A folyamat lehetővé teszi minden adott számú átgördülésnél a futópálya felületén lezajló kopási/kifáradási sérülés halmozódási folyamat fizikai jelenségeinek megfelelő szimulációját. A 3. ábra ennek a numerikus modellnek a jellemző eredményeit mutatja, összehasonlítva az azonos körülmények között végzett numerikus szimuláció kísérleti teszt eredményeivel.

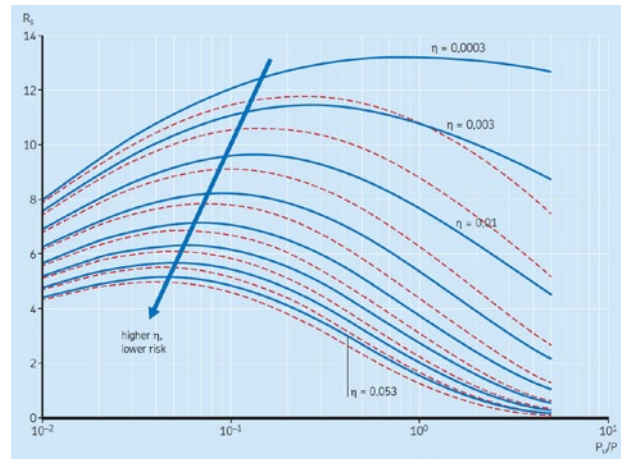
A további használható modellek és a GBLM-be integrálható eredmények a [3, 6, 7] referenciákban olvashatók. A GBLM-nek a fejlett felületi károsodási modellek rugalmas beépítésére való képességének példaként, az egyértelműség kedvéért csak az [5] referenciában ismertetett felületi károsodási modellt vesszük figyelembe. A modell segítségével paraméteres vizsgálatot végeztek különböző üzemi körülmények, a különböző típusú és méretű csapágyak felületi érdességének és eltérő kenési és szennyeződési viszonyoknak az alkalmazásával [9].



3. ábra: Előrehaladott felületi károsodás jellemző eredményei az [5] egyenletből



4. ábra: Példa a felületi kockázatnak a terhelési és kenési/szennyeződési viszonyok függvényében való meghatározására



5. ábra: Példa a felületi kockázatnak a terhelési és kenési/szennyeződési viszonyok függvényében való meghatározására. A piros szaggatott vonal a futópálya felület keménységét fokozó hőkezelés által elért teljesítménytényező hatását mutatja.

A paraméteres vizsgálat alapján szabványosították a felületi kifáradási integrált, és a csapágyparaméterek segítségével ráillesztették az alábbi függvény görbéjére: (7) egyenlet.

$$R_s = f_1 \exp \left[\frac{f_2}{(P/P_u)^{f_3}} + \frac{f_4}{(P/P_u)^{f_5}} \right]$$

Itt az f_1, f_2, \dots, f_5 állandók, P az egyenértékű dinamikus csapágyterhelés, és P_u a csapágy kifáradási határterhelése. Az R_s paraméter a felületi sérülés kockázatát mutatja; más szavakkal, a csapágy futófelületeire jutó feszültségek mértékét mutatja.

A fejlett felületi károsodási modell alkalmazásával kiszámíthatók a csapágy különböző kenési és szennyeződési viszonyai, majd ebből meghatározható a felület túlélésének valószínűsége. Ily módon, az $\eta = \eta_b \eta_c$ [3] paraméter (a felületi kölcsönhatás erősebb vagy gyengébb kockázatának jelzője) segítségével felállítható a (7) egyenlet, egy adott csapágytípus P_u/P méret nélküli egyenértékű terhelésének függvényeként, lásd 4. ábra.

Teljesítménytényezők

Az SKF csapágyak egyedi kiviteli jellemzői figyelembe vehetők a fent említett módszer segítségével, így megkapjuk a speciális „teljesítménytényezőket”. Ezen tényezőkre azért van szükség, hogy jobban figyelembe tudjuk venni a kivitel adott jellemzőinek teljesítményét, és a speciális üzemi körülményeket.

A teljesítménytényezők jellemzően azon felületi teljesítményre vonatkoznak, amely pl. az új hőkezelési eljárásokból, vagy a futópálya jobb keménységét biztosító anyagok, bevonat használatából, a futópálya jobb mikro-geometriájának és felület megmunkálásának bevezetéséből ered. A speciális teljesítménytényezők alkalmazása ugyanakkor a jövőben kiterjedhet a felszín alatti területekre, valamint a kenőanyagok, ill. a kenés különleges aspektusaira is. A

GBLM struktúrája alapvetően lehetővé teszi a megjelenő új csapágy-technológiák és az ezekhez kapcsolódó teljesítmény előrejelzési ismeretek következetes beépítését.

A futópálya felület túlélési valószínűségéhez kapcsolódó teljesítménytényezők között pl. fontolóra vehető a nagyobb keménységű, azaz – különösen rossz kenési viszonyok között – jobb kopás- és szennyeződésálló csapágy futópályák bevezetése. A (7) egyenletben szerepeltethető a felületi szilárdság elvárt jobb teljesítményéről meglévő ismeret olyan teljesítménytényező alkalmazásával, amely csökkenti a felületi károsodást, ahogy ez az 5. ábrán látható.

Ne felejtjük el, hogy ebben az esetben a teljesítménytényező csak a csapágy működési feltételeinek egy bizonyos területére vonatkozik. Ahogy az 5. ábrán látható, hogy a felületi károsodás kockázatának nagyobb arányú csökkentése a felület nagy kockázatnak kitett részén következik be; ahogy nő az η paraméter és csökken a kockázat, és a teljesítménytényező hatása is. Ez a GBLM teljesítménytényező azon képességét mutatja, mely speciálisan a csapágy rossz kenési és nagy szennyeződési viszonyait tudja megcélózni, mivel ezeken a területeken a leginkább elvárt a felület túlélési kockázatának jelentősebb csökkentése.

Normalizált felületi kockázat

Mivel a GBLM képes különválasztani a felületi és a felszín alatti kifáradási tényezőket, lehetőség van ezeknek a csapágy általános dinamikus teljesítményére gyakorolt hatásának mérésére.

Például: i) a normalizált felületi integrál, ill. felületi károsodási kockázat, R_s , ii) a normalizált felület alatti integrál, ill. felület alatti károsodási kockázat R_{ss} , valamint iii) a c méretezési együttható bevezetésével, amelyekkel kiszámítható a csapágy normalizált felületi kockázata, vagyis: (8) egyenlet.

$$S_R = \frac{cR_s}{R_{ss}}$$

A paraméter értéke 0 és 1 között változik. Ha 1-hez közeli az érték, a felületen a kifáradási terhelés dominál a felszín alatti rész vonatkozásában; ha az érték 0-hoz közeli, ennek éppen az ellenkezője igaz. Ez a paraméter rendkívül fontos annak megértéséhez, hogy a csapágy melyik feszültség alatt lévő területe hordoz nagyobb kockázatot. Ennek az információnak a birtokában az alkalmazástechnikai mérnökök és a vevők képesek előirányozni a csapágy teljesítményének maximalizálásához és a költségek csökkentéséhez szükséges javító intézkedéseket.

Modell jóváhagyása

Hasonló üzemi körülmények esetén a GBLM olyan eredményeket ad, amelyek összhangban vannak az aktuális SKF élettartam modell, és nagymértékben az ISO 281 élettartam számítási modell eredményeivel. Ennek az az oka, hogy a GBLM-et az SKF jelentős élettartam vizsgálati adatbázisával összehasonlítva validálták. Ez az adatbázis állandóan nő és frissítésre kerül az új csapágy-technológiai fejlesztéseknek megfelelően.

A teljesítménytényezők bevezetése végső soron megváltoztatja a várható élettartamot. Ez azonban az új csapágytervezési szempontok bevezetése által előidézett teljesítmény változások következménye, amelyek most már a névleges élettartamban is megjelennek. Mindenesetre az SKF ügyel arra, hogy a csapágyak teljesítményének változását megfelelően elvégzett élettartam vizsgálatokkal támassza alá.

A GBLM előnyei a vevők számára

Az ügyfelek jelentős előnyökre tehetnek szert a GBLM-nek a csapágy-élettartam meghatározásba való bevezetésével. A csapágy várható élettartamának kiszámítása kiegészül az alkalmazás felületi kockázatáról szerzett ismeretekkel. Ha a csapágy alkalmazási körülményei lényeges kockázatot jelentenek a felület számára, javító intézkedések megtételére kerülhet sor, és számszerűen meghatározható a felület túlélési kockázata. Más szavakkal a GBLM diagnosztikai eszközt kínál a csapágy teljesítményének javítására a felületről kiinduló meghibásodások számának csökkentésével.

Általánosságban a gyenge kenés és a fokozott szennyeződés miatt a felületet ért nagy kockázat nem oldható meg nagyobb dinamikus teherbírású és nagyobb méretű csapágyak alkalmazásával. Ez könnyen ellenőrizhető a nagyobb teherbírású és csapágméretnek a normalizált felületi kockázatra gyakorolt hatásával. Ezért az ügyfél oly módon is profitálhat a GBLM számítás alkalmazásából, hogy jobb információk alapján tud döntést hozni a megfelelő csapágy kiválasztásáról, a körülötte lévő alkat-

részekről és a kenési rendszerről a teljesítmény maximalizálása és a csapágyazás összköltségeinek csökkentése érdekében.

Összefoglalás és következtetések

Az SKF egyetemes csapágy-élettartam modelljének (GBLM) bevezetése lehetőséget ad a csapágy-élettartam rugalmasabb meghatározására azáltal, hogy egyértelműen különválasztja a felületi meghibásodásokhoz kapcsolódó tényezőket, a felszín alatti általános gördülő érintkezési kifáradási tényezőktől. A modell bevezeti a teljesítménytényezők használatát, és lehetővé teszi speciális csapágyjellemzők és egyedibb kivitelek, ill. alkalmazások vizsgálatát. A csapágyak élettartamának előrejelzésén kívül a modell kiszámítja az SR normalizált felületi kockázati értéket is, amely világosan mutatja a felületi kifáradás súlyát a felszín alatti kifáradáshoz képest.

Összességében az alábbi következtetések vonhatók le:

1. Az SKF egyetemes csapágy-élettartam modellje olyan új modell, amely világosan különválasztja a felületet és a felszín alatti réteget érő tényezőket, és a jelenlegi SKF élettartam meghatározás rugalmasabb változatának tekinthető.

2. Ez a modell a jelenleg létező egyetlen csapágy-élettartam modell, amely képes világosan különválasztani a felszín alatti és a felületi tényezőket, és könnyen magába építeni a korszerű numerikus tribológiai modellekkel szerzett ismereteket.

3. A modellben új elemet jelentenek a teljesítménytényezők, amelyek tükrözik a csapágyban és / vagy a kiviteli jellemzőkben végrehajtott speciális SKF saját fejlesztéseket, amelyek a vizsgált üzemi körülmények között befolyásolják a csapágy teljesítményét.

4. A GBLM különböző modellek alapján tekinthető, amely az új ismeretek létrejöttével bővíthető, és lehetővé teszi ezen ismeretek beépítését a csapágy felületi és felszín alatti területeit különösen érintő különböző jelenségek figyelembe vételével.

5. Az SKF egyetemes csapágy-élettartam modellje hamarosan elérhető lesz a vevők számára.

Referenciák:

- [1] Glantz W., Contamination in Lubrication Systems for Bearings in Industrial Gear Boxes, Ball Bearing Journal, 242, pp. 20-26, 1993.
- [2] Morales-Espejel, G.E., Gabelli, A., Ioannides, E., Micro-geometry Lubrication and Life Ratings of Rolling Bearings, Proc. IMechE, Part C, J. of Mech. Eng. Sci., vol. 224, pp. 2610-2626, 2010.
- [3] Gabelli, A., Morales-Espejel, G.E., Ioannides, E., Particle Damage in Hertzian Contacts and Life Ratings of Rolling Bearings, Trib. Trans., 51, pp. 428-445, 2008.

- [4] Morales-Espejel, G.E., Gabelli, A., Ioannides, E., Micro-Geometry Lubrication and Life Ratings of Rolling Bearings, Proc. IMechE, 224, Part C: J. of Mech. Eng. Sci., pp. 2610-2626, 2010.
- [5] Morales-Espejel, G.E., Brizmer, V., Micropitting Modelling in Rolling-Sliding Contacts: Application to Rolling Bearings, Trib. Trans., 54, pp. 625-643, 2011.
- [6] Morales-Espejel, G.E., Gabelli, A., The Behaviour of Indentation Marks in Rolling-Sliding Elastohydrodynamically Lubricated Contacts, Trib. Trans. 54, pp. 589-606, 2011.
- [7] Brizmer, V., Pasaribu, H.R., Morales-Espejel, G.E., Micropitting Performance of Oil Additives in Lubricated Rolling Contacts, Trib. Trans., 56, pp. 739-748, 2013.
- [8] Morales-Espejel, G.E., Gabelli, A., The Progression of Surface Rolling Contact Fatigue Damage of Rolling Bearings with Artificial Dents, Trib. Trans. 58, pp. 418-431, 2015.
- [9] Morales-Espejel, G.E., Gabelli, A., de Vries, A., A Model for Rolling Bearing Life with Surface and Subsurface Survival – Tribological Effects, Tribology Transactions, Volume 58, Issue 5, 2015.
- [10] Lundberg, G., Palmgren, A., Dynamic Capacity of Rolling Bearings, Acta Polytechnica, Mec. Eng. Ser., 1(3), pp. 1-52, 1947.
- [11] Gabelli, A., Doyer, A-L, Morales-Espejel, G.E., The Modified Life Rating of Rolling Bearings – A Criterion for Gearbox

Design and Reliability Optimization, AGMA Technical paper 14FTM16, ISBN: 978-1-61481-108-4, 2014.

- [12] Blachère, S. and Gabelli, A. Monte Carlo Comparison of Weibull Two and Three Parameters in the Context of the Statistical Analysis of Rolling Bearings Fatigue Testing, STP 1548, J. Beswick, Ed., pp. 126, STP104519, ASTM Int., West Conshohocken, PA 2012.
- [13] Weibull, W., A Statistical Theory of Strength of Materials, IVA Handlingar No. 151, Proc. Roy. Swed. Acad. of Eng. Sci., pp. 1-45, 1939.
- [14] Ioannides, E., Harris, T.A., A New Life Model for Rolling Bearings, ASME, J. of Trib., vol. 107, pp. 367-378, 1985.

Az SKF a világpiac vezető szállítója a csapágyak, a tömitések, a mechatronika, a kenéstechnikai rendszerek és a szerviz területén, mely utóbbi terület magába foglalja a műszaki támogatástól kezdve a karbantartási és megbízhatósági szolgáltatásokon át a mérnöki tanácsadást és képzést is. Az SKF a világ több mint 130 országában 15 000 viszonteladóval képviselteti magát. A cég éves bevétele 2014-ben 70 975 millió svéd korona, alkalmazottainak száma pedig 48 593 fő volt. www.skf.com

® Az SKF az SKF Csoport bejegyzett védjegye.

™ A BeyondZero az SKF Csoport védjegye.

HÍREK A VASÚT VILÁGÁBÓL

Terjed a gyártói támogatású járműkarbantartás

Lengyelország:

Stadler nyerte el a karbantartást

A PKP a Stadlerrel 15 évre szóló szerződést kötött, hogy fenntartsa az általuk szállított 20 db, Flirt 3 villamos motorvonatot. A Stadler, a FLIRT-ek karbantartására a PKP Varsó mellett lévő Olszynka Grochowska vontatási telep IC fenntartó bázisát lízingelte.

Az Alstom karbantartó bázist létesített

Az Alstom Train megnyitotta Braunschweig-i karbantartó telepét ahol a vonat üzemeltetőkkel kötött szerződések alapján több részes villamos vonatok szervizét, karbantartását végzi.

A beruházás értéke 15 millió euró. Ennek eredményeképpen új gépeket telepítettek, két javító műhely létesült, 1,5 km 15 kV 16,7 Hz vonal villamosítását végezték el.

Üzembe helyeztek egy padló alatti kerékeszterga gépet, és telepítettek egy vasúti járműmosó berendezést. Az Alstom kijelentette ez a projekt 130 munkahelyet teremtett. Az elkövetkező években további fejlesztéseket hajtanak végre. Elkészül, pl. egy modern festő részleg. Az Alstom

e javító bázist 20 négy kocsis Coradia Continental villamos motorvonat fenntartására használja. E munkát a Braunschweig közlekedési hivatal, a ZGB, rendelte meg az Elektro-Netz Niedersachsen- Ost üzemében dolgozó motorvonatokra, melyeket a Metronom üzemeltet 2015. decembertől.

Nagy-Britannia:

A Knorr- Bremse RailServices újított fel ScotRail vonatokat

A Knorr- Bremse RailServices befejezte annak a 40 Class 158 dízel motorvonat első szerelvényének a felújítását, amelyet ScotRail számára végez, mintegy 14 millió font értékű program keretében. A ScotRail dízel motorvonatok felújítását az Abellio és a Porterbrook finanszírozza.

Svédország:

Az Alstom karbantartó céget vásárolt

Az Alstom, megvette a Motala Verkstad Group-tól, a személyszállító járművek javításával, felújításával, és karbantartásával foglalkozó Motala Train vállalatot. A Motala Train 5600 négyzetméteres karbantartó műhellyel rendelkezik Motalában, és egy másikkal Vasterasban. A foglalkoztatottak száma, 73 fő, és forgalmuk eléri a 15 millió eurót. Az üzlet 70 százalékát a felújítások teszi ki.