

Auf der diesjährigen Hannover Messe präsentierte der SKF Konzernchef Arik Danielson das „SKF EnCompass Field Performance“-Programm und stellte das darin enthaltene „SKF Generalized Bearing Life Model“ vor.



Neuer Meilenstein in Sachen Lebensdauerberechnung

Auf der diesjährigen Hannover Messe kündigten der SKF Konzernchef Arik Danielson und Bernd Stephan, Senior Vice President, Group Technology Development, die Einführung des sogenannten „SKF Generalized Bearing Life Model“ (GBLM) an. Mit diesem innovativen Berechnungsmodell lässt sich die Wälzlagerlebensdauer realistischer bestimmen. Das neue Modell ist ein echter Meilenstein, der Erstausrüstern und Endanwendern dabei hilft, Lager und Lageranwendungen besser aufeinander abzustimmen und dadurch die Maschinenlebensdauer zu verlängern und die Gesamtbetriebskosten zu verringern.

DAS NEUE BERECHNUNGSMODELL ist Teil des „SKF EnCompass Field Performance“-Programms und basiert auf dem Lagerlebensdauer-Berechnungsmodell, das SKF bereits vor über 30 Jahren entwickelt hat. Das neue Modell unterscheidet zwischen Schäden, die von der Oberfläche ausgehen, und Schäden, die unterhalb der Oberfläche ausgelöst werden. Durch Einbeziehung weiterer Parameter liefert dieses Modell neue Erkenntnisse für die Bestimmung der Lagerlebensdauer.

Bei der Präsentation in Hannover fanden auch zweimal täglich Live-Interviews mit den GBLM-Experten statt. Dabei wurde das Berechnungsverfahren mithilfe einer Demonstrationssoftware veranschaulicht, und es gab persönliche Gespräche mit Kunden und Fachjournalisten. Das neue Konzept wurde von Publikum und Kunden gut aufgenommen und sorgte für lebendiges Interesse. Nachfolgend werden seine Grundlagen näher erläutert. →

„SKF Generalized Bearing Life Model“ – Die Macht der Tribologie

BISHER BASIERTE die Bestimmung der Wälzlagerlebensdauer auf Modellbetrachtungen, die von einer unterhalb der Kontaktoberfläche entstandenen Vergleichsspannung ausgehen, die auf das beanspruchte Volumen des Wälzkontakts einwirkt. Im Laufe der Jahre wurde die von der Oberfläche ausgehende Ermüdung infolge von verminderter Schmierung oder Verunreinigung in die Bestimmung der Lagerlebensdauer einbezogen, indem der Gesamtvergleichsspannung des Wälzkontakts ein Schwächungsbeiwert zugeordnet wurde. Beim SKF GBLM-Modell wurde ein genereller Ansatz zur Bestimmung der Lebensdauer von Wälzkontakten entwickelt, der die von der Oberfläche ausgehenden Schäden explizit in die grundlegenden Ermüdungsgleichungen für Wälzkontakte einbezieht. Mit diesem Berechnungsansatz lassen sich die tribologischen Einflussgrößen besser in der Lebensdauerberechnung von Wälzlagern darstellen. Außerdem erhält man auf diese Weise mehr Informationen über den Oberflächenzustand, der für die Leistung eines Wälzlagers in der praktischen Anwendung von entscheidender Bedeutung ist. Die Möglichkeiten der vorgestellten Berechnungsmethode zur Erfassung der tribologischen Bedingungen und der konkurrierenden Ermüdungsmechanismen von Wälzlagern an und unterhalb der Oberfläche werden diskutiert.

Moderne Wälzlager sind bei ordnungsgemäßem Betrieb und einwandfreier Schmierung immer

zuverlässiger geworden. Hierfür entscheidend waren die langjährigen Erfahrungen und die weitreichenden Kenntnisse der traditionellen Wälzkontaktermüdungsmechanismen. Eine ständig verbesserte Werkstoffreinheit und die hohe Verarbeitungsqualität sowie zuverlässige Lebensdauer-Berechnungsverfahren haben dies ermöglicht. Allerdings werden aufgrund von Forderungen der Industrie nach kompakteren Konstruktionen mit einer höheren Leistungseffizienz im Betrieb nach wie vor zusätzliche gesteigerte Anforderungen an Wälzlager gestellt, insbesondere an die Kontaktflächen. Daher sind Oberflächenschäden ursächlich für die meisten Lagerausfälle [1]. Damit Wälzlager bei weiteren Leistungssteigerungen moderner Maschinen nicht zum Engpass werden, ist es erforderlich, dass die Tribologie der Lageroberflächen hinsichtlich der Lagerleistung besser beurteilt wird. In den letzten zehn Jahren hat SKF beachtliche Fortschritte in der Modellierung von Oberflächen und deren Einfluss auf die Lebensdauer erzielt [2–8]. Schließlich konnte dieses Wissen mit der Einführung des „SKF Generalized Bearing Life Model“ (GBLM), das die Oberfläche vom darunter liegenden Bereich trennt, in die Wälzlagerlebensdauerberechnung einbezogen werden [9]. So ist es möglich, unterschiedliche physikalische Modelle auf diese beiden Bereiche anzuwenden. Die Ermüdung im Bereich unterhalb der Wälzkontaktoberfläche kann auf die übliche Weise anhand

des klassischen Ermüdungslebensdauermodells von Lundberg und Palmgren [10] bestimmt werden, während hinsichtlich der Wälzkontaktoberfläche erweiterte tribologische Modellbetrachtungen durchgeführt werden müssen, bei denen die komplexen physikalischen Wechselwirkungen in hochbeanspruchten, konzentrierten Hertz'schen Kontakten, wie Schmierung, Reibung, Verschleiß, Ermüdung oder Einlauf, berücksichtigt werden können.

Das erlaubt SKF, mehr anwendungsspezifische Lagerdesigns mit speziellen Eigenschaften, die die Lagerleistungsfähigkeit in den verschiedenen Anwendungen beeinflussen können, in die Lagerlebensdauerprognosen aufzunehmen. Beispiele hierfür sind Lager, die einer speziellen Wärmebehandlung unterzogen wurden, oder Lager mit einer weiterentwickelten Mikrogeometrie oder einer bestimmten Ausführung oder Qualität.

Die Kunden können damit die unterschiedlichen speziellen Eigenschaften der im Produktkatalog aufgeführten SKF Wälzlager vorteilhaft nutzen und in die Lebensdauerberechnungen einbeziehen. Letztendlich werden die Kunden von den Eigenschaften und der Qualität der SKF Wälzlager profitieren, die bisher nur durch die dynamische Tragzahl (C) rechnerisch dargestellt wurde [11].

Der neue Berechnungsansatz, der speziell die Schadensmechanismen und die tribologischen Gegebenheiten der Laufbahnoberfläche behandelt, ermöglicht die Integra-

tion einer erweiterten Version des GBLM-Modells in die Produktentwicklung von Wälzlagern.

Die SKF Ingenieure werden das GBLM-Modell zur Entwicklung optimierter Lagerdesigns für spezielle Anwendungen oder für bestimmte Leistungsanforderungen nutzen. Kurz gesagt: Das GBLM-Modell ist ein modernes und flexibles Hilfsmittel zur Bestimmung der Lagerleistungsfähigkeit, das neue Erkenntnisse und Technologien integrieren kann.

Generalisierter Modellierungsansatz

Das vorliegende Modell behält den standardisierten probabilistischen Ansatz bei, der bisher bei der auf der zweiparametrischen Weibull-Verteilung basierenden Wälzlagerlebensdauerberechnung angewendet wurde [12]. Mit seiner Theorie vom schwächsten Glied hat Waloddi Weibull [13] stochastische Konzepte in die Bestimmung des Festigkeits- und Bruchverhaltens von Bauteilen eingebracht.

Wenn ein Bauteil aus n Elementen besteht, die jeweils unterschiedliche Spannungszustände aufweisen, dann errechnet sich die Erlebenswahrscheinlichkeit des gesamten Bauteils gemäß den Gesetzmäßigkeiten der Zuverlässigkeitsbetrachtung aus den unterschiedlichen Erlebenswahrscheinlichkeiten S_1, S_2, \dots, S_n nach Gleichung (1).

Lundberg und Palmgren haben in ihrer klassischen ursprünglichen Formulierung der dynamischen Tragzahl von Wälzlagern [10] die Gesetzmäßigkeiten der Zuverlässigkeitsbetrachtung von Weibull angewendet; das heißt, Gleichung (1), um die Erlebensfunktion eines Bauteils aus n unabhängigen physikalischen Elementen bei einer Beanspruchung von 0 bis N Lastzyklen abzuleiten. Siehe Gleichung (2).

Das Volumen V kann in zwei oder mehr unabhängige Schadensrisikquellen für das Bauteil unterteilt

werden. Hierbei ist zu beachten, dass G eine Werkstofffunktion ist, die für den Einfluss von Lastzyklen (Ermüdung) steht. Daher können Bereiche durch unterschiedliche Werkstofffunktionen gekennzeichnet sein, die unterschiedliche (oder nur einzelne) Beanspruchungszyklen beschreiben $G_{v,1}, G_{v,2}, \dots, G_{v,n}$. Die kombinierte Wirkung dieser Prozesse auf die Erlebenswahrscheinlichkeit des Gesamtbauteils kann durch Anwendung von Gleichung (2) ausgedrückt werden. Dabei berücksichtigt man allerdings nur zwei Bereiche, das heißt, einen Bereich unterhalb der Oberfläche (Bereich v) und einen Bereich an der Oberfläche (Bereich s), und leitet Folgendes ab: Gleichung (3).

Gemäß [14] erhält man das Ermüdungsschadensvolumenintegral anhand der vom Hertz'schen Spannungsfeld stammenden Spannungsamplitude σ_v : Gleichung (4).

Hierbei sind c und h Exponenten, e steht für die Weibull-Steigung des Bereichs unterhalb der Oberfläche, N ist die Kontaktlebensdauer in der Anzahl von Lastzyklen, z steht

für die Tiefe der Analyse, V_v ist das Integrationsvolumen, $\sigma_{u,v}$ der Ermüdungsgrenzwert beim Volumen und \bar{A} eine eingesetzte Konstante.

In ähnlicher Weise kann man die Oberflächenschadensfunktion verändern. Wenn die Konstante \hat{h} in die Proportionalitätskonstante für Oberflächenschäden \bar{B} einbezogen wird, erhält man Gleichung (5).

Hier steht m für die Weibull-Steigung der Oberfläche, A für die Integrationsoberfläche, $\sigma_{u,s}$ für den Ermüdungsgrenzwert an der Oberfläche und \bar{B} ist eine eingesetzte Konstante.

Bei der Oberflächenschadensgleichung (5) müssen die Spannungen an der Oberfläche σ_s aus der tatsächlichen Oberflächengeometrie der Kontaktspannung und Reibbeanspruchung hervorgehen.

Durch Kombination der Gleichungen (4) und (5) mit (3) ist nun eine Kontaktlebensdauergleichung für die getrennten Bereiche an und unterhalb der Oberfläche möglich. Zu beachten ist, dass durch $L = N/u$ die Lebensdauer in Millionen Umdrehungen auf die Anzahl der \rightarrow

$$S_i^n = S_1 \cdot S_2 \cdot \dots \cdot S_n = \prod_{i=1}^n S_i \quad (1)$$

$$\ln \left[\frac{1}{S(N)} \right] = \ln \left[\frac{1}{\Delta S_1(N)} \right] + \ln \left[\frac{1}{\Delta S_2(N)} \right] + \dots + \ln \left[\frac{1}{\Delta S_n(N)} \right] \quad (2)$$

$$\ln \left[\frac{1}{S(N)} \right] = \int_{V_v} G_v(N) dV_v + \hat{h} \int_A G_s(N) dA \quad (3)$$

$$\int_{V_v} G_v(N) dV_v = \bar{A} N^e \int_{V_v} \frac{\langle \sigma_v - \sigma_{u,v} \rangle^c}{z^h} dV_v \quad (4)$$

$$\hat{h} \int_A G_s(N) dA = \bar{B} N^m \int_A \langle \sigma_s - \sigma_{u,s} \rangle^c dA \quad (5)$$

Lastzyklen bezogen werden kann (u entspricht dabei der Anzahl der Lastzyklen pro Umdrehung), und wenn berücksichtigt wird, dass die beiden Weibull-Steigerungen $e = m$ sehr ähnlich sind, was bei den entsprechenden Oberflächenschäden bei Lagern der Fall ist, dies letztendlich zu Gleichung (6) führt.

Nun haben wir die Basis eines Lagerlebensdauermodells, das explizit den Bereich an der Oberfläche von dem unterhalb der Oberfläche trennt. Der Bereich unterhalb der Oberfläche, den das Volumenintegral darstellt, kann, wie in [14] erläutert, anhand der herkömmlichen Hertz'schen Ermüdungsrechnungsmethoden für Wälzkontakte berechnet werden. Allerdings bietet der durch das Flächenintegral dargestellte Bereich an der Oberfläche nun die Möglichkeit, viele der tribologischen Phänomene, die die Dauerfestigkeit der Laufbahnoberfläche kennzeichnen, konsistent in das Berechnungsmodell einzubeziehen.

Für diese Entwicklung ist es natürlich erforderlich, dass erweiterte numerische Modelle angewendet werden. In der Tat ist es so, dass die komplexe Wechselwirkung von konkurrierenden Schädigungsmechanismen dargestellt werden muss. Beispielsweise: i) Oberflächenermüdung in Kombination mit mildem Verschleiß, ii) Entstehung von Eindrückungen, iii) tribochemische Wechselwirkungen und vieles mehr. In Bild 1 ist das GBLM-Hauptkonzept schematisch dargestellt.

Oberflächenmodelle

Ein numerisches Oberflächenzerrüttungsmodell, das Ermüdung und milden Verschleiß kombiniert, wird in [5] beschrieben. Als Modell-Input sind hier die digitalen Oberflächenrauigkeitsdaten der Kontaktflächen erforderlich (Bild 2). Dieses Modell löst das elastohydrodynamische Problem bei Mischreibung (nicht-newtonsches rheologisches Verhalten).

Die Lösung erfolgt in Zeitschritten zur Berechnung von Drücken und Spannungen. Das Berechnungsmodell setzt ein Schadenskriterium und ein Verschleißmodell ein, um die Oberflächentopografie zu aktualisieren und geht zum nächsten Berechnungszeitschritt über, bis ein vollständiger Überroll-Lastzyklus durchlaufen ist. Dieser numerische Prozess wird Millionen Mal für alle Berechnungspunkte der Oberfläche wiederholt. Auf diese Weise erreicht man eine gute Simulation der physikalischen Phänomene des fortschreitenden Verschleißes/Ermüdung auf der Laufbahnoberfläche bei jeder vorgegebenen Anzahl von Überrollungen. Bild 3 zeigt typische Ergebnisse dieses numerischen Modells und vergleicht sie mit den experimentellen Ergebnissen von Tests, die unter den gleichen Bedingungen durchgeführt wurden wie die numerische Simulation.

Andere Oberflächenmodelle, die genutzt und deren Ergebnisse in das GBLM-Modell integriert werden können, sind in [3, 6, 7] genannt. Als Beispiel dafür, dass

das GBLM-Modell flexibel genug ist, um erweiterte Oberflächenschadensmodelle zu integrieren, wird aus Gründen der Klarheit nur das in [5] beschriebene Oberflächenzerrüttungsmodell behandelt. Dieses Modell wurde für eine Parameterstudie mit unterschiedlichen Betriebsbedingungen, Rauigkeiten verschiedener Lagertypen und -größen sowie unterschiedlichen Schmier- und Verunreinigungs Zuständen genutzt [9]. Bei dieser Parameterstudie wurde das Oberflächenermüdungsintegral anhand von Lagerparametern normalisiert und an die folgende Funktion angepasst: Gleichung (7).

Hier sind f_1, f_2, \dots, f_5 Konstanten, P ist die äquivalente dynamische Lagerbelastung und P_u die Ermüdungsgrenzbelastung des Lagers. Der Parameter R_s steht für eine Oberflächenschaden-Risikobewertung, das heißt, er ist ein Maß für die auf die Lagerauflflächen einwirkenden Spannungen.

Mit Hilfe des erweiterten Oberflächenzerrüttungsmodells können die unterschiedlichen Schmier- und Verunreinigungsbedingungen eines Lagers berechnet und deren Einfluss auf die Erlebenswahrscheinlichkeit der Lageroberfläche abgeleitet werden. So kann man (um das größere oder geringere Risiko der Oberflächen-Interaktion abzubilden) durch Einführung des Parameters $\eta = \eta_b \eta_c$ [3] eine Darstellung der Gleichung (7) als Funktion der dimensionslosen äquivalenten Belastung P_u/P für einen bestimmten Lagertyp erzielen (siehe Bild 4).

Leistungsfaktoren

Anhand der vorstehenden Methodik können letztendlich die einzigartigen Konstruktionsmerkmale von SKF Wälzlagern berücksichtigt werden, um speziell ausgelegte „Leistungsfaktoren“ abzuleiten. Mithilfe dieser Faktoren können die Leistungsfähigkeit bestimmter Konstruktionsmerkmale und spe-

$$L_{1-S} = \frac{[\ln(\frac{1}{S})]^{1/e}}{u} \left[\bar{A} \int_{V_v} \frac{\langle \sigma_v - \sigma_{u,v} \rangle^c}{z^h} dV_v + \bar{B} \int_A \langle \sigma_s - \sigma_{u,s} \rangle^c dA \right]^{1/e} \quad (6)$$

$$R_s = f_1 \exp \left[\frac{f_2}{(P/P_u)^{f_3}} + \frac{f_4}{(P/P_u)^{f_5}} \right] \quad (7)$$

zielle Betriebsbedingungen besser bewertet werden.

Normalerweise betreffen diese Leistungsfaktoren das Oberflächenverhalten infolge von beispielsweise neuen Wärmebehandlungsverfahren oder Werkstoffen, die die Härte der Laufbahnen erhöhen, neuen Beschichtungen, einer verbesserten Mikrogeometrie oder Oberflächen-güte der Laufbahnen. Allerdings könnte sich die Verwendung spezieller Leistungsfaktoren künftig auch auf den Bereich unterhalb der Oberfläche und sogar auf bestimmte Aspekte von Schmierstoffen oder der Schmierung beziehen. Grundsätzlich ermöglicht die Struktur des GBLM-Modells die konsequente Einbeziehung neuer Lagertechnologien samt zugehöriger Erkenntnisse über die prognostizierte Lagerleistungsfähigkeit, sobald diese verfügbar sind.

Als Beispiel für einen auf die Erlebenswahrscheinlichkeit der Laufbahnoberfläche bezogenen Leistungsfaktor kann die Einführung von Lagerlaufbahnen mit höherer Härte gelten, das heißt, mit verbesserter Beständigkeit gegen Verschleiß und Verschmutzung, insbesondere bei verminderter Schmierfilmdicke. Das Wissen von der erwarteten Verbesserung der Oberflächendauerfestigkeit kann ein Faktor in Gleichung (7) sein, wobei ein Leistungsfaktor zu wählen ist, der, wie in Bild 5 gezeigt, das Risiko eines Oberflächenschadens verringert.

Zu beachten ist, dass in diesem speziellen Fall ein Leistungsfaktor entwickelt wurde, der lediglich auf einen bestimmten Bereich der Lagerbetriebsbedingungen ausgerichtet war. Wie in Bild 5 dargestellt, verringert sich das Oberflächenschadensrisiko R_s vor allem im Hochrisikobereich; in dem Maße, wie Parameter η ansteigt und das Risiko kleiner wird, verringert sich auch der Einfluss des Leistungsfaktors. Dies zeigt, dass dieser

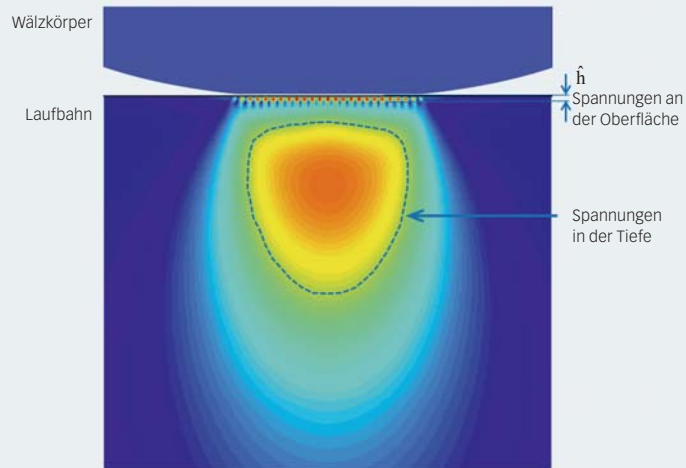


Bild 1: Trennung der Bereiche an und unterhalb der Oberfläche gemäß dem GBLM-Modell.

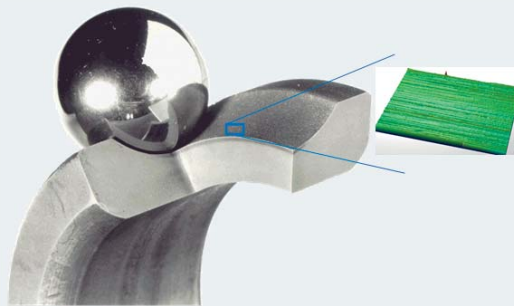
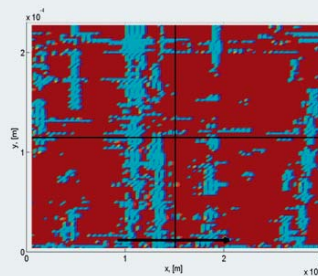


Bild 2: Digitalisierung der Lagerlaufbahnrauigkeit mit einem optischen 3D-Profilometer zur Abbildung von Oberflächen.



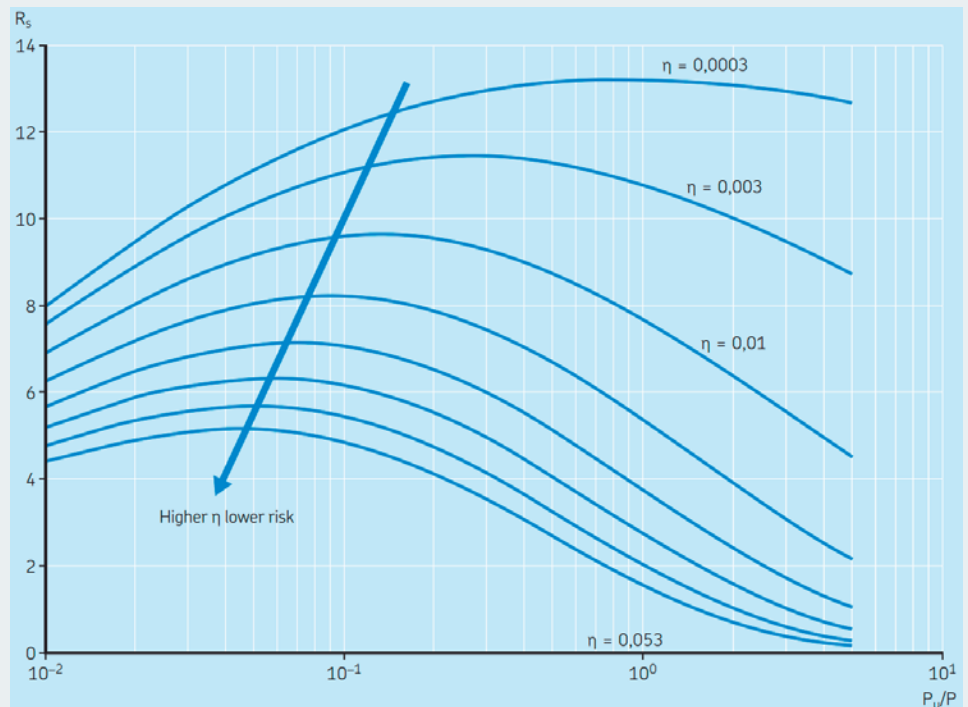
(a) Modell-Ergebnisse



(b) Versuch

Bild 3: Typische Ergebnisse einer fortgeschrittenen Oberflächenzerrüttung nach [5].

Bild 4: Beispiel einer Oberflächenschadensrisikobewertung in Abhängigkeit von der Belastung und den Schmierungs-/Verunreinigungsbedingungen.



GBLM-Leistungsfaktor speziell auf die Lagerbetriebsbedingungen bei Mangelschmierung oder starker Verschmutzung abzielt, bei denen eine ausgeprägte Verringerung des Oberflächenschadensrisikos zu erwarten ist.

Normalisiertes Oberflächenschadensrisiko

Seitdem durch das GBLM-Modell die Bereiche an und unterhalb der Oberfläche separat betrachtet werden können, lässt sich ihr relativer Einfluss auf die dynamische Gesamtleistung des Lagers messen.

Beispielsweise kann man durch Einführung von i) normalisiertes Flächenintegral oder Oberflächenschadensrisiko R_s , ii) normalisiertes Spannungsintegral für Spannungen unterhalb der Oberfläche oder Scha-

densrisiko für Schäden unterhalb der Oberfläche R_{ss} und iii) Skalierungskoeffizient c das normalisierte Oberflächenschadensrisiko des Lagers ableiten. Siehe Gleichung (8).

Dieser Parameter kann zwischen 0 und 1 variieren. Wenn der Wert nahe 1 liegt, dann betrifft die Ermüdung vorrangig die Oberfläche und nicht den Bereich unterhalb der Oberfläche; wenn der Wert nahe 0 liegt, ist das Gegenteil der Fall. Es handelt sich hierbei um einen wichtigen Parameter, um festzustellen, welcher Spannungsbereich des Lagers einem höheren Schadensrisiko ausgesetzt ist. Anhand dieser Information können Anwendungsingenieure und Kunden korrigierende Maßnahmen planen, um die Lagerleistungsfähigkeit zu maximieren und Kosten zu senken.

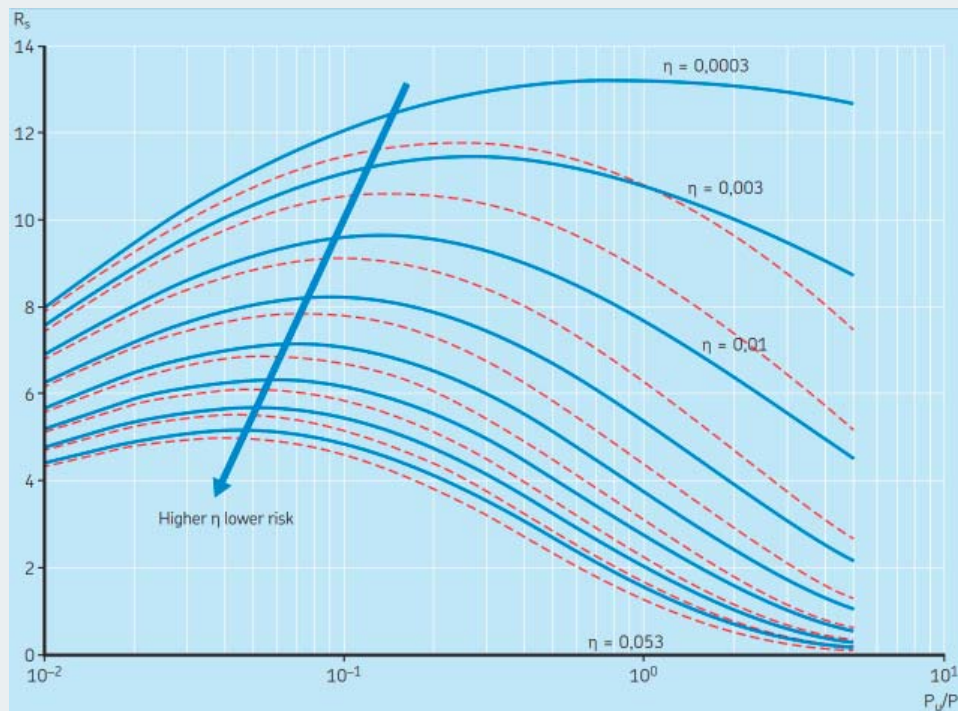
Modellvalidierung

Sind Betriebsbedingungen vergleichbar, stimmen die Ergebnisse des GBLM-Modells mit denen des bisherigen SKF Lebensdauerberechnungsverfahrens und auch weitgehend mit den Lebensdauerberechnungsmodellen nach ISO 281 überein. Der Grund dafür ist, dass das GBLM-Modell anhand der umfangreichen SKF Datenbank mit Lebensdauerprüfergebnissen validiert wurde. Diese Datenbank wird kontinuierlich erweitert und aktualisiert, damit sie dem neusten Stand der Entwicklung auf dem Gebiet Lager-technologie entspricht.

Die Einführung von Leistungsfaktoren wird die prognostizierte Lebensdauer schließlich verändern. Dies ist bedingt durch die Leistungsveränderungen, die sich aufgrund von neuen Aspekten des Lagerdesigns ergeben und nun in der Lebensdauerberechnung sichtbar werden. Auf jeden Fall wird SKF dafür sorgen, dass Leistungsänderungen auf Basis von

$$S_R = \frac{cR_s}{R_{ss}} \quad (8)$$

Bild 5: Beispiel einer Oberflächen-schaden-Risikobewertung in Abhängigkeit von der Belastung, Schmierung und Verunreinigung. Die rot gestrichelten Linien zeigen den Einfluss eines Leistungsfaktors aufgrund der Einführung einer Wärmebehandlung, die für eine höhere Härte der Laufbahnoberfläche sorgt.



ordnungsgemäß durchgeführten Ermüdungstests erfolgen.

Vorteile für die Kunden

Die Einführung des GBLM-Modells in die Lagerlebensdauerberechnung ist äußerst vorteilhaft für die Kunden. Die Berechnung der erwarteten Lebensdauer eines Lagers wird ergänzt durch Erkenntnisse über das Oberflächenschadensrisiko der jeweiligen Anwendung. Falls die Anwendungsbedingungen des Lagers ein zu großes Risiko für die Oberfläche darstellen, können Abhilfemaßnahmen ergriffen werden, deren Einfluss auf das Oberflächenschadensrisiko quantifizierbar ist. Das heißt, das GBLM-Modell kann als diagnostisches Werkzeug dazu genutzt werden, die Lagerleistungsfähigkeit in der Praxis zu steigern, indem es hilft, die Anzahl der durch Oberflächenschäden verursachten Ausfälle zu senken.

Im Allgemeinen kann ein hohes, von der Oberfläche ausgehendes Schadensrisiko aufgrund von ver-

minderteter Schmierung oder erhöhter Verschmutzung nicht gemindert werden, indem ein größeres Lager mit einer höheren dynamischen Tragzahl vorgesehen wird. Dies kann schnell anhand des Einflusses der höheren Tragzahl und Lagergröße auf das normalisierte Oberflächenschadensrisiko überprüft werden. Folglich hilft das GBLM dem Kunden, anwendungsspezifisch optimierte Lager, Umbauteile und Schmiersysteme auszuwählen. Das maximiert nicht nur die Lagerleistungsfähigkeit, es senkt gleichzeitig auch die Gesamtbetriebskosten der Anwendung.

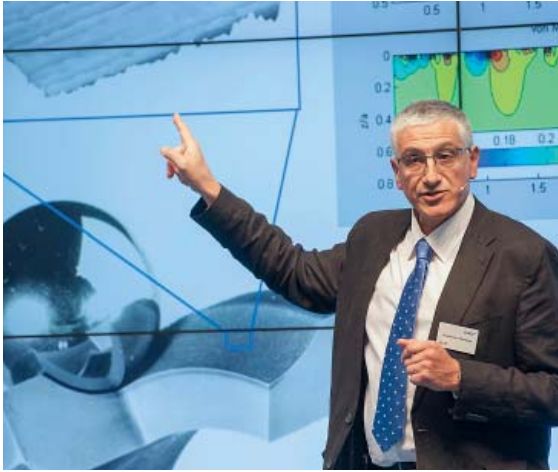
Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Mit der Einführung des SKF Generalized Bearing Life Model (GBLM) ist eine flexiblere Berechnung der Lagerlebensdauer möglich geworden, und zwar durch die Unterscheidung in oberflächeninitiierte Schäden und generelle Ermüdungsschäden unterhalb der Oberfläche. Bei diesem Modell

werden erstmals Leistungsfaktoren verwendet, die auf spezielle Lagereigenschaften, Lagerdesigns oder Lageranwendungen abzielen. Mit diesem Modell kann nicht nur die Lagerlebensdauer bestimmt werden, sondern auch das normalisierte Oberflächenschadensrisiko S_R , das eindeutig auf den Ermüdungszustand an der Oberfläche im Vergleich zu dem unterhalb der Oberfläche hinweist.

Ganz allgemein lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

1. Das SKF Generalized Bearing Life Model ist ein neues Lagerlebensdauer-Berechnungsmodell, das eine eindeutige Unterteilung in Schäden an und unterhalb der Oberfläche ermöglicht und ein flexibleres Hilfsmittel für das derzeitige SKF Lebensdauerberechnungsverfahren darstellt.
2. Dieses Modell ist das einzige existierende Lagerlebensdauer-Berechnungsmodell, das die Betrachtung getrennter Bereiche an und unterhalb der Oberfläche →



Auf der diesjährigen Hannover Messe präsentierte Dr. Guillermo E. Morales-Espejel das „SKF Generalized Bearing Life Model“ (GBLM).

sowie die einfache Einbeziehung von Erkenntnissen, die bei der Anwendung erweiterter numerischer Tribologiemodelle gewonnen werden, erlaubt.

3. Neue Modellbestandteile sind die Leistungsfaktoren, die eingeführt wurden, um spezielle, von SKF entwickelte Verbesserungen beim Lagerdesign und/oder bei den Konstruktionsmerkmalen zu berücksichtigen, die die Leistungsfähigkeit eines Lagers in einer Anwendung unter bestimmten Betriebsbedingungen beeinflussen.
4. Das GBLM-Modell kann als Modellplattform angesehen werden, die durch neue Erkenntnisse erweiterbar ist und eine einfache Einbeziehung der Betrachtung unterschiedlicher Phänomene ermöglicht, die sich insbesondere an oder unterhalb der Lagersoberfläche auswirken.
5. Das SKF Generalized Bearing Life Model wird den Kunden von SKF demnächst zur Verfügung stehen. ●

Autoren:

Guillermo E. Morales-Espejel,
 Chef-Wissenschaftler, SKF Forschungs- und Entwicklungszentrum (ERC), Nieuwegein, Niederlande

Antonio Gabelli,

Senior Scientist, SKF Forschungs- und Entwicklungszentrum (ERC), Nieuwegein, Niederlande

Literatur

- [1] Gläntz 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.