

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 87 (1969)
Heft: 2

Artikel: Stromdurchgang durch Wälzlager
Autor: Andréason, Staffan
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-70578>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 06.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Über Vorgänge beim Stromdurchgang durch Wälzlager

Lagerschäden infolge elektrischen Stromdurchgangs treten vor allem in elektrischen Maschinen und in unmittelbar daran angeschlossenen Ausrüstungen auf, zum Beispiel in Radlagern von elektrischen Schienenfahrzeugen und elektrisch beheizten Reisezugwagen. Bei Verbrauchern hoher elektrischer Leistungen, wie zum Beispiel Fahrmotoren oder Speisewagenküchen, werden die entsprechend starken Ströme durch sinnvoll konstruierte Erdungseinrichtungen abgeleitet. Den Heizstrom in Reisezugwagen leitete man dagegen bisher ohne Bedenken über die Rollenachslager zur Erde. Die Stromstärke beträgt dabei höchstens etwa 100 A. Früher wurde angenommen, dass sich dieser Strom gleichmässig auf alle Rollenachslager eines Wagens verteile. Versuche haben jedoch erwiesen, dass diese Annahme in der Praxis nicht bestätigt wird. Laboratoriums- und praktische Versuche zeigten, dass eine gleichmässige Verteilung des abzuleitenden Stromes

durch Vorschalten eines kleineren Widerstandes zu erzielen sei [1]. Diese Lösung erfordert aber einen erheblichen konstruktiven Aufwand und hat daher relativ geringe praktische Bedeutung.

Die Grösse der vom Stromdurchgang verursachten Schäden veranlasste die *Aktiebolaget Svenska Kugellagerfabriken (SKF)* in Göteborg dazu, diese Erscheinung, ihre Natur und Auswirkungen zu untersuchen, um sie qualitativ und quantitativ zu erfassen.

Kürzlich erschienen in der «Kugellager-Zeitschrift» Nr. 153, 1967¹⁾ zwei Arbeiten, die über diese Untersuchungen berichten. Nachstehend geben wir diese zwei Beiträge mit der freundlichen Genehmigung der Herausgeber in etwas gekürzter Fassung wieder. *Die Redaktion*

¹⁾ Herausgegeben von der SKF Kugellager Aktiengesellschaft, Falkenstrasse 28, 8008 Zürich.

Stromdurchgang durch Wälzlager

Von **Staffan Andréason**, Göteborg

DK 621.822.8.004.64

Einleitung

Wenn elektrischer Strom ein Wälzlager durchläuft, kann er an den Oberflächen der Wälzkörper und Laufbahnen Schäden in Form von Kratern und Riffeln hervorrufen, die zum Ausfall des Lagers führen.

Um einfache und billige Vorkehrungen gegen Stromschäden finden zu können, muss man wissen, wie diese entstehen. Man muss offensichtlich bei der Untersuchung des Stromdurchgangs das Interesse auf die Verhältnisse in der Kontaktzone von Laufbahn und Wälzkörper konzentrieren. Eine genaue Analyse erfordert Kenntnisse darüber, wie das verwendete Schmiermittel den Wälzkörper von der Laufbahn zu trennen vermag und wie der elektrische Strom den Schmiermittelfilm durchläuft. Zurzeit weiss man über diesen Vorgang noch nicht genug, so dass man darauf angewiesen ist, vereinfachte Annahmen zu machen, um der Lösung des Problems näherzukommen.

Elektrische Eigenschaften der Kontaktzone zweier Körper

Berührungsfläche

Nach *R. Holm* [3] besteht die tatsächliche Berührungsfläche zweier gegeneinander gepresster Körper aus drei verschiedenen Oberflächentypen:

- Reine Metalloberflächen*, durch die der elektrische Strom ohne zusätzlichen Widerstand fliesst.
- Quasimetallische Oberflächen*; die reinen Metalloberflächen sind von einer monomolekularen Schicht aus Oxyden, Schmiermittel usw. bedeckt. Die Dicke dieser Schicht liegt in der Grössenordnung von 10 bis 100 Å (10^{-9} bis 10^{-8} m); der Strom durchfliesst sie auf Grund des quantenmechanischen Tunneleffekts.
- Elektrisch isolierte Oberflächen*: die reinen Metalloberflächen sind durch einen relativ dicken Film aus Oxyden, Sulfiden usw. voneinander getrennt.

In Wälzlagern werden die Verhältnisse durch das vorhandene Schmiermittel und den Umstand, dass sich die Oberflächen relativ zueinander bewegen, noch kompliziert.

Widerstand der Kontaktzone

Wenn durch die Kontaktzone elektrischer Strom fliesst, werden die Stromlinien zusammengedrängt, und die Stromdichte erhöht sich,

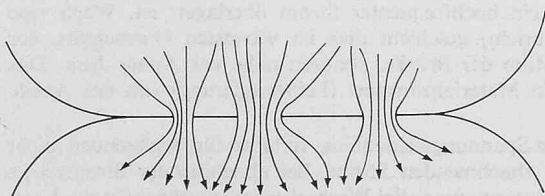


Bild 1 (links). Wenn durch eine Kontaktzone elektrischer Strom fliesst, werden die Stromlinien zusammengedrängt

Bild 2 (rechts). Darstellung des für die mathematische Berechnung des Widerstandes an der Kontaktzone benutzten Modells

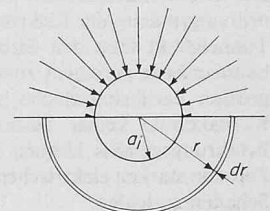


Bild 1. Dies bedeutet, dass der Strom einen zusätzlichen Widerstand, den *Engewiderstand* nach *Holm*, durchdringen muss. Zur angenäherten Berechnung der Grösse *R* dieses Widerstandes benützt man das folgende einfache Modell: es wird angenommen, die wirkliche Berührungsfläche bestehe aus *n* kreisförmigen reinen Metalloberflächen mit den Radien *a_i* (*i* = 1, 2, 3, ... *n*). Der gesamte Kontaktwiderstand *R* setzt sich dann aus *n* parallelgeschalteten Engewiderständen *R_i* zusammen.

Somit ist

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

Um die mathematische Behandlung zu vereinfachen, vernachlässigt man den Widerstand der beiden Halbkugeln mit dem Radius *a_i*, Bild 2. Dadurch wird das Problem kugelsymmetrisch, und man kann *R_i* als den Widerstand einer Reihe von hintereinandergeschalteten Halbkugelschalen betrachten und somit schreiben

$$R_i = 2 \int_{a_i}^{\infty} \frac{\sigma dr}{2\pi r^2} = \frac{\sigma}{\pi a_i} \quad (1)$$

worin σ den spezifischen Widerstand des Metalls darstellt, der als konstant angenommen wird.

Temperaturerhöhung in der Kontaktzone

Der elektrische Strom erzeugt im Kontakt Wärme. Wegen der Kugelsymmetrie sieht die Wärmeleitungsgleichung, die die Temperaturverteilung *T*(*r*, *t*) in der Berührungzone bestimmt, folgendermassen aus

$$\varrho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + q \quad (2)$$

Hier stellen ϱ , *c* und λ die Dichte, die spezifische Wärme und die Wärmeleitfähigkeit des Metalls dar, während *t* die Zeit, *r* die Koordinate und *q* die im Volumenelement erzeugte elektrische Leistung

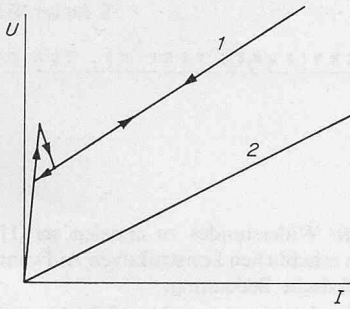


Bild 3. Strom-Spannungskennlinien

- 1 umlaufende Wälzlager
- 2 stillstehende Wälzlager

bedeuten. Wenn man wie vorher den Widerstand der Halbkugel mit dem Radius a_i vernachlässigt, erhält man q aus den Gleichungen

$$q = \begin{cases} 0 & , 0 \leq r < a_i \\ \sigma \left(\frac{I_i}{2\pi r^2} \right)^2 & , a_i \leq r \end{cases}$$

worin I_i der gesamte durch die Kontaktfläche fließende Strom ist. Rand- und Anfangsbedingungen für Gleichung (2) sind

$$T(0, t) \text{ und } T(\infty, t) \text{ endlich gross}$$

$$T \text{ und } \partial T / \partial t \text{ stetig für } r = a_i$$

$$T(r, 0) = 0$$

Wenn λ und σ konstant sind, erhält man die stationäre Temperaturverteilung aus der Gleichung

$$T(r, \infty) - T_\infty = \begin{cases} \frac{\sigma}{8\lambda} \left(\frac{I_i}{\pi a_i} \right)^2 & , 0 \leq r < a_i \\ \frac{\sigma}{8\lambda} \left(\frac{I_i}{\pi a_i} \right)^2 \frac{a_i}{r} \left(2 - \frac{a_i}{r} \right) & , a_i \leq r \end{cases}$$

worin T_∞ die Temperatur in grossem Abstand von der Kontaktfläche darstellt.

Der Spannungsabfall über der Kontaktzone ist

$$U = R_i I_i$$

und die stationäre Übertemperatur in der Kontaktzone beträgt dann

$$\Delta T_\infty = U^2 / 8 \lambda \sigma \quad (3)$$

Aus Gleichung (2) erhält man auch

$$\left(\frac{\partial T}{\partial t} \right)_{r=a_i, t=0} = \frac{\sigma}{\rho c} \left(\frac{I_i}{2\pi a_i^2} \right)^2 = \frac{U^2}{4 \rho c \sigma a_i^2}$$

Wenn die Kontaktzeit sehr kurz ist, kann die Temperaturerhöhung in der Kontaktzone mit Hilfe der folgenden Gleichung abgeschätzt werden

$$\Delta T_i = \frac{U^2 t_i}{4 \rho c \sigma a_i^2} \quad (4)$$

Dabei ist t_i die Kontaktzeit. Wenn die Relativgeschwindigkeit zwischen den Kontaktflächen v ist, kann man

$$t_i = 2 a_i / v$$

setzen.

Stromdurchgang in der Kontaktzone von Wälzkörper und Laufbahn

Stillstehende Lager

In einem stillstehenden Lager ist die wirkliche Berührungsfläche verhältnismässig gross und besteht aus quasimatellischen Oberflächen. Die Schmiermittelschicht ist etwa 50 \AA dick; dies entspricht grössenordnungsmässig der Elektronenwellenlänge. Der quantenmechanische Tunneleffekt lässt den Strom durch die Berührungsflächen bei verhältnismässig geringem zusätzlichem Widerstand fließen. Wegen der grossen Berührungsfläche ist der Engwiderstand so klein, dass die Kontaktzone keiner besonders hohen Temperatur ausgesetzt ist. Erfahrungsgemäss können stillstehende Lager während einer langen Zeit von starken elektrischen Strömen durchlaufen werden, ohne dabei Schaden zu leiden.

Umlaufende Lager

In einem umlaufenden, gut geschmierten Lager ist die wirkliche Berührungsfläche kleiner als bei einem stillstehenden, da sich ein verhältnismässig dicker Schmiermittelfilm zwischen Wälzkörpern und Laufbahnen bildet. Die mittlere Filmdicke ist in erster Linie von der Drehzahl und dem Schmiermittel, in geringerem Masse von der Wälzkörperbelastung abhängig. Die elasto-hydrodynamische Schmiertheorie ergibt für ein Rollenlager $0,1$ bis $2 \mu\text{m}$ (1000 bis 20000 \AA).

Die Grösse der wirklichen Berührungsfläche hängt sehr von der Rauhtiefe der Metalloberflächen ab, wie aus Versuchen hervorgeht, die in den Laboratorien der SKF Industries, Philadelphia, von *T. Tallian* und anderen [8] durchgeführt wurden. In einem umlaufenden Wälzlager besteht die wirkliche Kontaktfläche zum grossen Teil aus Spitzkontakten («asperity contacts»).

Der Stromdurchgang durch die Kontaktzone zwischen Wälzkörper und Laufbahn kann anhand der Strom-Spannungskennlinien ermittelt werden, die den Zusammenhang zwischen der am Lager liegenden Spannung und dem durch das Lager fließenden Strom darstellt. Bild 3 zeigt den grundsätzlichen Verlauf der Strom-Spannungskennlinien bei stillstehenden und umlaufenden Wälzlager. Die letztgenannte Kennlinie ist dadurch gekennzeichnet, dass mit von null wachsender Spannung bei Erreichen eines Schwellwertes, der Frittspannung (Kurzschlussspannung), eine Minderung des Widerstands im Lager erfolgt. Diese äussert sich dadurch, dass die Spannung im Kontakt sprunghaft zurückgeht bei gleichzeitiger Stromerhöhung. Danach wächst die Spannung wieder mit der Stromstärke, jedoch langsamer als vorher.

Das Bestehen einer Sperrspannung kann folgendermassen erklärt werden: bei niedrigen Spannungen wird der gesamte elektrische Strom durch die Berührungsspitzen übertragen. Bei wachsender Stromstärke erhöhen sich Spannung und Temperatur schnell, weil die wirkliche Kontaktfläche klein, der Engwiderstand also gross ist. In der Berührungszone entsteht eine hohe Temperatur. Wenn die Spannung ausreichend gross ist, wird die Schmelztemperatur des Werkstoffs erreicht. Das geschmolzene Metall fliesst ab und vermindert Widerstand und Spannung.

Sehr häufig wird die Kurzschlussspannung (Frittspannung) durch ein Phänomen verursacht, das in der Theorie der elektrischen Kontakte *Fritten* genannt wird und dann auftritt, wenn die elektrische Feldstärke im trennenden Schmiermittelfilm 10^6 bis 10^7 V/m übersteigt. Die elektrische Feldstärke im Film ist

$$E = U/h$$

worin U die Spannung und h den Abstand zwischen den Metallflächen bedeuten. Wenn die Filmdicke $0,1$ bis $2 \mu\text{m}$ beträgt, ergibt diese Gleichung, dass Fritten bei $0,1$ bis 20 V eintritt. Auf experimentellem Wege hat man gefunden, dass das Fritten von Kontakten bei $0,2$ bis $1,0 \text{ V}$ eintritt, entsprechend einer Spannung am Lager von $0,4$ bis $2,0 \text{ V}$.

Die Widerstandsverringering beim Fritten beruht darauf, dass sich durch den Schmiermittelfilm hindurch Metallbrücken bilden. Eine endgültige Erklärung dafür, wie diese Brücken entstehen, gibt es noch nicht. Nach *Pearson* [5] können freie Elektronen bei hohen Feldstärken einige der Atome, mit denen sie zusammentreffen, ionisieren. Die Ionen werden von den grossen elektrostatischen Kräften an die Metallfläche gezogen und bilden so den Anfang einer Brücke. Andere Theorien darüber wurden von *Burstyn* [2] und *Holm* [3] aufgestellt.

Kohaut [4] hat experimentell nachgewiesen, dass diese Metallbrücken in Wälzlager nach elektrischem Stromdurchgang tatsächlich existieren. Es ist denkbar, dass beim Verschleiss einer Brücke durch die Lagerumdrehung Spannung und Feldstärke wachsen, so dass sich eine neue Brücke bilden kann, wonach die Spannung wieder abnimmt. Dies läuft sehr schnell hintereinander ab und kann mit Hilfe von Zeigerinstrumenten nicht registriert werden. Dagegen gibt es Aufnahmen von Oszillographenbildern, wonach dem normalen Wechselstrom ein hochfrequenter Strom überlagert ist. Wenn eine Metallbrücke bricht, geschieht dies im wärmsten Querschnitt, der nicht in der Mitte der Brücke, sondern nahe der Anode liegt. Das Ergebnis ist ein Materialtransport (Feinwanderung) von der Anode zur Kathode.

Die Strom-Spannungskennlinie verläuft für wachsenden nicht gleich wie für abnehmenden Strom. Bei abnehmender Stromstärke gibt es keine Frittspannung. Bei Wechselstrom verschwindet die Fritt-

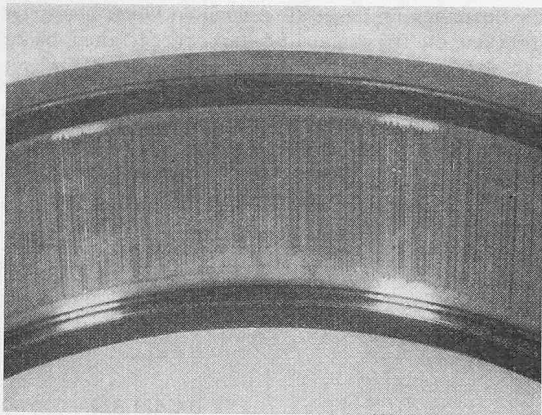


Bild 4 (links). Riffelbildung in einem Lagerring, verursacht durch Stromdurchgang

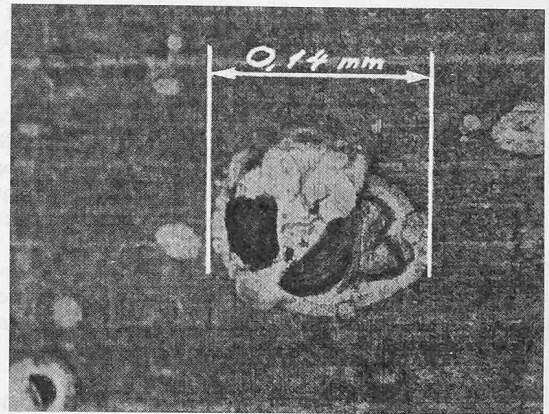


Bild 5 (rechts). Kraterbildung in einem Lagerring, verursacht durch Stromdurchgang

spannung auch bei wachsender Spannung nach einer Anzahl von Perioden. Eine endgültige Erklärung dafür gibt es zurzeit noch nicht, doch vermutet man, dass Metallteilchen, die nach einer gewissen Zeit das Schmiermittel verunreinigen, den Strom zwischen den Metallflächen leiten können. In diesem Zusammenhang muss auch erwähnt werden, dass unter sonst gleichen Verhältnissen das Schmiermittel einen entscheidenden Einfluss auf Grösse und Dauer der Frittspannung ausübt.

Nach *Holm* [3] ist eine Mindestspannung von 10 bis 20 V erforderlich, um einen Funken in einem Spalt zu erhalten. Da aber Metallbrücken schon bei bedeutend niedrigeren Spannungen gebildet werden, ist es unwahrscheinlich, dass der Strom normalerweise mit Hilfe von Funken durch den Schmiermittelfilm befördert wird.

Wirkung des Stromdurchganges in Wälzlagern

Ein Wälzlager, das während einer bestimmten Zeit von Gleich- oder Wechselstrom mittlerer Stärke durchströmt wurde, zeigt an den Oberflächen der Laufbahn und der Wälzkörper Krater, die im allgemeinen auch noch dunkel gefärbt sind. Ausserdem sieht man häufig axial verlaufende Riffeln sowie Riefen in Umfangsrichtung, Bild 4. Alle Wälzlagerarten können Stromschäden erleiden, doch entstehen auf Kugeln in einem Kugellager wegen der Kreisbewegung keine Riffeln.

Es gibt zwei Arten von Kratern. Die meisten sind so klein, dass die Metalloberfläche unter dem Mikroskop porös aussieht. Diese Krater können eine Folge der Feinwanderung sein. Ab und zu findet man auch grössere Krater, mit Durchmessern in der Grössenordnung von 0,1 mm, von typischem Aussehen, Bild 5. Die Schliiffuntersuchung eines solchen Kraters, Bilder 6a und 6b zeigt, dass die weisse Zone aus gehärtetem Stahl (HRC 66 bis 68) die schwarze Zone aus angelassenem Stahl (HRC 56 bis 57) die graue Zone aus unverändertem Stahl (HRC 65) besteht. Offensichtlich war die Lageroberfläche stellenweise sehr hohen Temperaturen ausgesetzt. Dies kann folgendermassen erklärt werden: unter bestimmten Betriebsverhältnissen, je nach Art des Schmiermittelfilms, ist eine relativ hohe Spannung erforderlich, um Fritten hervorzurufen. Dann dauern vorhandene Spitzenkontakte unter Umständen so lange, dass die Temperatur in der Berührungzone sehr hoch wird. Wird der Kontakt unterbrochen, entsteht ein Lichtbogen, der einen grossen Krater erzeugt.

Riefen in Umfangsrichtung und die axial verlaufenden Riffeln müssen als Sekundärerscheinung des Stromdurchganges gedeutet werden. Riefen können dadurch verursacht werden, dass harter, umgehärteter Stahl, der in weicherem Material eingebettet liegt, sich von den grossen Kratern löst und in den Oberflächen der Laufbahnen und Wälzkörper Markierungen bildet.

Wie aus dem nachfolgenden Aufsatz hervorgeht, gibt es zwei Arten von Riffeln. Bezüglich der Entstehung der sogenannten Anlassriffeln hat *Kohaut* [4] die folgende Theorie vorgelegt: Die dunkel gefärbte Schicht, die man in durch Strom beschädigten Lagern findet, besteht aus weichem, angelassenem Stahl, der sich bei der hohen Temperatur bildet, die bei Stromdurchgang entsteht.

Der Stoss beim Eintritt der Wälzkörper in die belastete Zone lässt die Wälzkörper zwischen Innen- und Aussenring aufprallen, wodurch die Riffeln auf den Ringlaufbahnen als Abdruck in der weichen Schicht der Wälzkörper erscheinen und umgekehrt. Dagegen gibt es zurzeit noch keine Erklärung für die Entstehung der sogenannten Umhärtungsriffeln, sowie dafür, dass solche Riffeln auf einem Wälzkörper im allgemeinen in diametralen Gruppen erscheinen.

Früher glaubte man, dass die Stromdichte, berechnet auf Grund der gesamten scheinbaren (Hertzschen) Berührungsfläche im Lager, für das Entstehen ernsthafter Lagerschäden bestimmend sei. Demnach begänne die Riffelbildung bei einer Stromdichte von 2 A/mm² nach fünf Stunden und bei 1,4 A/mm² nach 500 h. Nähere Angaben darüber und unter welchen Umständen diese Werte erhalten wurden, liegen aber nicht vor. Die Ergebnisse wurden extrapoliert, und man fand, dass bei 0,7 A/mm² nach etwa 50000 h die Riffelbildung einsetzt. Aufgrund der obigen Ausführung ist es klar, dass diese Zahlenwerte in vielen Fällen der Grundlage entbehren. *Simpson* und *Crump* [7] geben an, dass Ströme der Grössenordnung von 0,01 und 0,1 A unter bestimmten Verhältnissen Lagerschäden verursachen, die zu einer Lebensdauerverminderung um 20 bzw. 80% führen.

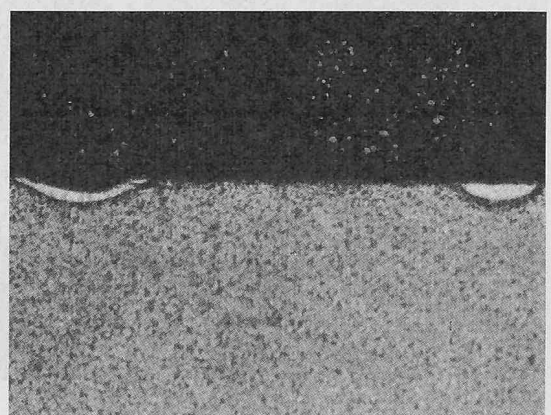
Schutz gegen Lagerschäden durch elektrischen Stromdurchgang

Wenn Lager so eingebaut werden müssen, dass sie von elektrischem Strom durchlaufen werden, muss man sehr wahrscheinlich mit Stromschäden rechnen. Es gilt dann, Massnahmen zu ergreifen, die ernstere Stromschäden erst nach so langer Zeit auftreten lassen, dass die Gebrauchsdauer des Lagers nicht beeinflusst wird. Demnach darf die Temperatur in den Berührungszonen nicht zu hoch werden,

Bilder 6a und 6b. Mikroaufnahmen einer Schliiffprobe durch Krater in einem durch Stromdurchgang beschädigten Lagerring



a (rechts). Vergrösserung 50fach



b (links). Ausschnitt aus Bild 6a, Vergrösserung 1000fach

das heisst, die Spannung an den Lagern darf unter keinen Umständen 0,4 bis 0,8 V übersteigen. Andererseits hat man aber auch keine Gewähr gegen das Auftreten von Stromschäden, wenn die Spannung kleiner als die angegebenen Werte ist.

Eine niedrige Spannung am Lager erreicht man meist mit Hilfe eines geeigneten Schmiermittels. Man muss aber bei der Schmiermittlwahl einen Kompromiss schliessen zwischen der Forderung nach einem dünnen Schmiermittelfilm, der den Stromdurchgang erleichtert, und einem ausreichend tragfähigen Film, der die mechanische Zerstörung des Lagers verhindern soll.

Wenn ein vom Gesichtspunkt des Stromdurchganges aus geeignetes Schmiermittel aus irgendwelchen Gründen nicht verwendet werden darf, kann man durch eine Nebenschlussverbindung ver-

hindern, dass die Spannung im Lager die genannten Werte übersteigt [6]. Mit Strombrücken, die Bürsten aus Bronzekohle enthalten, bleibt der Spannungsabfall kleiner als 0,3 V. Manchmal werden Wälzlager auch so eingebaut, dass mehrere Lager elektrisch gesehen parallel geschaltet sind. Die Kurzschlussspannungen (Frittspannungen) der einzelnen Lager sind jedoch verschieden, weshalb unter Umständen ein einziges Lager den gesamten Strom aufnehmen muss. Dies führt innerhalb kurzer Zeit zur Lagerzerstörung. Um den Strom gleichmässig zu verteilen und dadurch die Entstehung ernsterer Stromschäden soweit wie möglich hinauszuschieben, kann man einen Widerstand von 0,05 bis 0,10 Ω zu jedem Lager in Serie schalten. Versuche an Eisenbahn-Rollenachslagern bestätigten die gute Wirkung dieser Schutzmassnahmen.

Stromdurchgang in einem Wälzkontakt

DK 621.822.8.004.64

Von Per Arne Botö, Göteborg

Die Gefahr von Stromschäden in einem von elektrischem Strom durchflossenen Lager vermindert sich, wenn die Spannung am Lager unterhalb eines bestimmten Wertes gehalten werden kann. Mehrjährige Laboratoriumsversuche über den Stromdurchgang durch Lager und praktische Erfahrungen mit durch Strom beschädigten Lagern deuten darauf hin, dass das Schmiermittel hierbei eine nicht unbedeutende Rolle spielt, und dass die Spannung durch Verminderung der Dicke des Schmiermittelfilms begrenzt werden kann. Um diese Möglichkeit zu untersuchen und die im vorausgehenden Aufsatz aufgestellten Theorien zu belegen, wurde im Zentrallaboratorium der SKF ein Prüfstand mit Wälzkontakt entwickelt, in dem die Probleme des Stromdurchganges unter genau definierten Verhältnissen untersucht werden können.

Die Versuchsausrüstung

Der Wälzkontakt besteht aus zwei verschiedenen grossen Zylinderrollenlager-Innenringen, Bild 7. Der Aussendurchmesser der Ringe beträgt 77 bzw. 38 mm. Der grössere Ring hat eine gerade Laufbahn, während der kleinere eine Balligkeit von 7 μm je 10 mm aufweist. Die Umfangsgeschwindigkeit der Ringe 2 beträgt 4 m/s. Dies entspricht der Umfangsgeschwindigkeit einer Rolle in einem Eisenbahn-Rollenachslager bei einer Zuggeschwindigkeit von 100 km/h. Der Strom wird der Kontaktstelle über Schleifringe 4 und zwei parallel geschaltete Bürsten 3 je Schleifring zugeführt. Mit Hilfe eines Druckkolbens 1 kann die Belastung verändert werden.

Bei den Versuchen wurde die Spannung am rotierenden Kontakt mit Hilfe eines motorgetriebenen Potentiometers in sechs Sekunden linear von null auf sechs Volt gesteigert. Die Stromstärke wird vom Widerstand im Kontakt und in den Zuleitungen, sowie einem 1- Ω -Widerstand begrenzt, über dem der Strom gemessen wird, Bild 8.

Alle früheren Untersuchungen über die Erscheinungen des Stromdurchganges, bei SKF und anderswo, galten kompletten Lagern. Die Ergebnisse wurden in Form von Kurven vorgelegt, in denen die Spannung als eine Funktion der Stromstärke aufgezeichnet war. Wenn man jedoch dazu übergeht, die Verhältnisse nur in einem Wälzkontakt zu untersuchen, so findet man, dass die oben erwähnte Art der Darstellung oft schwer zu deuten ist.

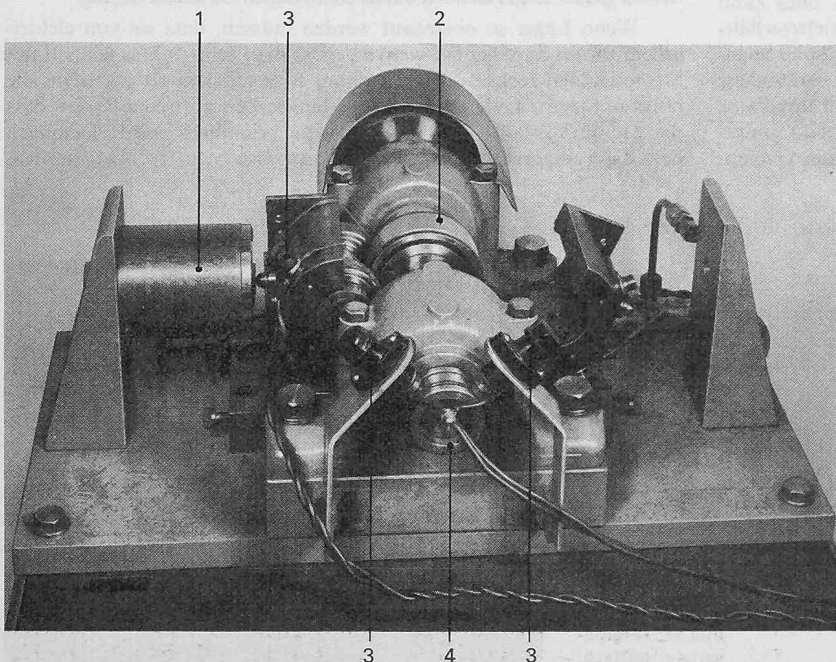
Alle Aufzeichnungen wurden daher mit einem Zweistrahl-Oszillographen gemacht, auf dem die Kurven Spannung und Stromstärke als Funktion der Zeit darstellen.

Versuche und Ergebnisse

Einfluss der Viskosität

Nachdem der oben beschriebene Prüfstand fertiggestellt war, wurden systematische Untersuchungen mit Ölen eingeleitet. Es zeigte sich, dass die Spannung linear von null bis zu einer bestimmten Höhe, der sogenannten Frittspannung (Kurzschlussspannung) steigt. Die Stromstärke ist dabei gleich null. Wenn die Frittspannung erreicht ist, erhöht sich der Strom augenblicklich, während die Spannung gleichzeitig auf den Betrag der Frittspannung (Übergangsspannung) abnimmt. Während einer kurzen Übergangszeit wechseln Spannung und Stromstärke zwischen zwei Werten, das heisst der Stromkreis wird in kurzen Abständen unterbrochen und wieder geschlossen, was auf das Entstehen von Lichtbögen aus glühendem Metall im Kontakt zurückzuführen ist.

Die Messungen mit den Ölen ergaben, dass sich die Frittspannung mit der Viskosität änderte und, wenn letztere nicht zu hoch war, ein Zusatz von Graphit die Form der Strom-Spannungs-Kennlinie beeinflusste. Da jedoch die Mehrzahl der Wälzlager mit Fett geschmiert wird, wurde der Versuch mit etwa 100 Fettsorten mit ver-



Legende:

- 1 Druckkolben
- 2 Zylinderrollenlager-Ring
- 3 Bürsten
- 4 Schleifring

Bild 7. Prüfstand für die Untersuchung des Stromdurchganges in einem Wälzkontakt