

Der Einfluss von Reibkorrosion auf das Betriebsfestigkeitsverhalten im Rad-Nabe-Verbund von Nutzfahrzeugen*

Steffen Weingärtner,
Marco Breitenberger und
Johan Stöcker, Darmstadt

Das Phänomen der Reibkorrosion spielt bei Bauteilverbindungen, die zyklischen Belastungen unterliegen, eine wichtige Rolle, da sie einen erheblichen Einfluss auf das Schwingfestigkeitsverhalten oder die Minderung der Schwingfestigkeit der Bauteile hat. Im Folgenden sollen allgemeine Einflussfaktoren auf das Verhalten von Bauteilen unter Reibkorrosion erörtert werden. Es werden Ergebnisse aus Wöhler- und Betriebsfestigkeitsversuchen zweier Werkstoffgruppen vorgestellt sowie der Einfluss der Gestalt des Rad-Nabe-Verbunds in Versuchen im zweiaxialen Radprüfstand (ZWARP) beschrieben.

Die Forderungen nach Gewichtsoptimierung und der sicheren Auslegung von Bauteilen gelten grundsätzlich für eine Vielzahl von Komponenten im Automobilbereich. Hierzu gehört auch der Rad-Nabe-Verbund von Nutzfahrzeugen, der durch die Rotation dieser Bauteile sowie die Fahrdynamik des Fahrzeuges einer schwingenden Beanspruchung unter gleichzeitigem Einfluss von Reibkorrosion unterliegt. Das Phänomen der Reibkorrosion tritt im Bauteilverbund auf, in dem die kontaktgebundenen Berührflächen der Einzelkomponenten im reibschlüssigen Kontakt miteinander stehen. Dies betrifft bspw. Schrauben-, Niet- oder auch Schrupfverbindungen, die durch eine hinreichend hohe Pressung die erforderliche Lastübertragung gewährleisten müssen. Durch eine überlagerte, schwingende Belastung tritt zwischen den auf mikromechanischer Ebene elasto-plastisch verformten Kom-

ponenten eine Relativbewegung auf, die Oberflächenabrieb und Korrosion begünstigt und die Schwingfestigkeitseigenschaften der Komponenten negativ beeinflusst.

Im Schrifttum weitere gebräuchliche Begriffe zur Beschreibung dieses Phänomens sind Reiboxidation, Reibverschleiß, welcher mehr die Mechanismen einer erhöhten Relativverformung beschreibt, oder der Passungsrost, der die sichtbare Folge von Reibkorrosionsvorgängen in Form von Korrosions- bzw. Oxidationsprodukten ist.

Vorgänge bei der Entstehung der Reibkorrosion

Die Lastübertragungsvorgänge sind für die Interpretation der festigkeitsmindernden Vorgänge der Reibkorrosion wesentlich. Durch die wechselnde Relativverformung im Bereich der Kontaktzone entstehen wechselnde Axialkräfte und unter äußerer Belastung zudem Tangentialkräfte, die zu wechselnden

Schub- und Hauptspannungen führen. Dies führt zu schräg zur Probenoberfläche stehenden Hauptspannungen, die sich in schräg zur Oberfläche verlaufenden Ermüdungsrissen ausbilden. In den Kontaktstellen kommt es nach einer zunächst elastischen Verformung der Rauigkeitsberge zu einer plastischen Verformung. In lokal stark ausgeprägten Berührzonen können sogar Reibschweißungen entstehen [4]. Reibschweißstellen begünstigen durch verstärktes Wandern von Versetzungen die Oberflächenzerstörung durch Herauslösen von Metallpartikeln. Durch chemische Reaktion mit dem Luftsauerstoff bilden sich aus den abgeriebenen Partikeln oxidische Abriebsprodukte, vorwiegend α -Fe₂O₃ (Hämatit) im Temperaturbereich bis 200 °C. Die ursprünglich schwarze Farbe schlägt im pulverförmigen Zustand in Rot um. Mit zunehmender Flächenpressung und Gleitreibungswiderständen können sich weitere Oxidphasen Fe₃O₄ (400-570 °C) und FeO (> 570 °C) bei zunehmender Oberflächentemperatur bilden [2].

* Dieser Beitrag erschien bereits im DVM-Bericht 136.

Allgemeine Einflussfaktoren auf das Verhalten von Komponenten unter Reibkorrosion

Komponenten des Maschinenbaus unterliegen, je nach konstruktiver Gestaltung der Baugruppe, unterschiedlichen Einflüssen der Reibkorrosion. Die im Folgenden dargestellten Einflussfaktoren sollen grundsätzlich erörtert werden.

Es sind zunächst einmal werkstoffabhängige Reibkorrosionseigenschaften festzustellen. So ist der Abfall der Schwingfestigkeit bei Gusseisen im Vergleich zu geschmiedeten Stählen bei Reibkorrosion weniger ausgeprägt.

Einer der wichtigsten Einflussfaktoren ist die Flächenpressung P_A der Bauteile im Verbund und die hiervon abhängige Relativverformung oder -bewegung s , welche sich auf einen Abfall der Schwingfestigkeit auswirken. In Untersuchungen an Bauteilproben konnten Flächenpressungen im Bereich oberhalb $P_A > 20 \text{ N/mm}^2$ bzw. Relativbewegungen unterhalb $s < 10 \text{ }\mu\text{m}$ als eine Art Schwellenwert des Abfalls der Schwingfestigkeit festgestellt werden. In Bauteilversuchen sind diese konstant gehaltenen Flächenpressungen oder Relativbewegungen kaum zu erreichen, sondern voneinander abhängig und variieren während eines Versuchs. Ein Einfluss der Prüffrequenz ist im Bauteilverbund deutlich ausgeprägter als bei der Einzelkomponente zu beobachten. Mit reduzierter Prüffrequenz treten eine Zunahme der Reibkorrosionswirkung und ein Abfall der Schwingfestigkeit ein.

Ein Temperatureinfluss ist z.B. bei Stählen mit zunehmender Schädigung unterhalb der Raumtemperatur zu verzeichnen, während es bei erhöhten Temperaturen bis ca. $150 \text{ }^\circ\text{C}$ zu einer Stabilisierung des Einflusses kommt. Das Mittelspannungsverhältnis R zeigt, dass es zu einem erhöhten Abfall der Schwingfestigkeitseigenschaften unter wechselnder Belastung ($R = -1$) im Vergleich zu Zug-Schwell-Belastung ($R = 0$) kommt.

Einen erheblichen Einfluss hat die Reibpaarung. Hierbei ist eine Paarung aus einem harten und einem weicheren Bauteil vorteilhaft. Die Oberflächenrauigkeit der Reibpaarung im Ausgangszustand hat zunächst keinen ausgeprägten Einfluss auf die Schwingfestigkeit, da sich während des Versuchs eine von der Reibpaarung abhängige Rauigkeit ein-

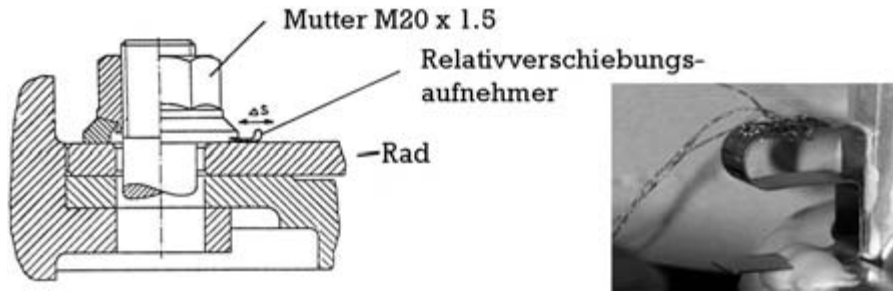


Bild 1. Relativverschiebungsaufnehmer

Figure 1. Measurement device for relative displacement

stellt, die relativ unabhängig von der Ausgangsrauigkeit ist.

Einflüsse auf die Schwingfestigkeit sind des Weiteren durch Medieneinwirkung zu verzeichnen. Der geringste Einfluss tritt im Vakuum oder in einer sauerstofffreien Atmosphäre auf. Mit zunehmender Luftfeuchtigkeit ist eine Abnahme der Schwingfestigkeit festzustellen. Einfluss hat auch die Art der Belastung. So tritt im zyklischen Einstufenversuch unter Sinusbelastung ein höherer Abfall der Schwingfestigkeit auf, als es in Versuchen unter Blocklasten festzustellen ist.

Weitere Einflussfaktoren, wie bspw. Oberflächenhärte, Kaltverformung, Wärmebehandlung, Richtung der Relativverformung und Schmiermittel, sind vorhanden, sollen jedoch an dieser Stelle nicht weiter erörtert werden.

Das Verhalten von Bauteilproben und des Rad-Nabe-Verbunds unter Reibkorrosionseinfluss

Nutzfahrzeuge haben üblicherweise eine Bemessungslebensdauer von 500 000 bis 1 000 000 km. Diese Bemessungslebensdauern werden ständig erweitert und entsprechen Schwingspielzahlen von $2 \text{ bis } 5 \times 10^8$, welche bevorzugt eine Ausbildung der Reibkorrosion zulassen.

Um die Relativverformungen im Rad-Nabe-Verbund quantifizieren zu können, wurde mit einem speziellen Messwertaufnehmer (Bild 1) gearbeitet, der zwischen Radmutter und Rad angebracht wurde. Dieser, aus speziellem Federstahl hergestellte Aufnehmer gestattete es, über Dehnungsmessstreifen die relative Verschiebung der gepaarten Verbindung zu untersuchen. Hierbei wurde ausschließlich die radiale Wirkrichtung untersucht, die als maßgebliche Verschiebungskomponente identifiziert wurde.

Die maximalen Relativverformungen ergaben sich bei simulierter Kurvenfahrt zu $s_{a,max} = \pm 6 \text{ bis } 25 \text{ }\mu\text{m}$ bei der Untersuchung von 18 unterschiedlichen Nutzfahrzeugrädern – abhängig von der Steifigkeit der Konstruktion und bei vorgeschriebenen Anzugsmomenten. Die niedrigeren Werte der Relativverformung wurden hierbei an dickwandigen Aluminiumrädern (Wandstärke ca. 25 mm), die höheren an dünnwandigen Stahlrädern (Wandstärke $10\text{-}13 \text{ mm}$) gemessen [1]. Die Flächenpressung wurde bei den Versuchen rechnerisch über die auf die Kontaktfläche bezogene Anpresskraft bestimmt. Tatsächlich sind während des Versuchs die sich unter Belastung ausbildenden Berührungszonen unterschiedlich und können nicht im Voraus bestimmt werden.

Bei einer üblichen Radschraube $M22 \times 1,5$ mit Druckteller und einem maximalen Anzugsmoment von 600 Nm ($575 \text{ Nm} \pm 25 \text{ Nm}$) kann von einer Schraubenvorspannkraft im Bereich von 160 kN (50%-Wert aus Messergebnissen) und damit von einer resultierenden Flächenpressung von 181 N/mm^2 ausgegangen werden. Wird die Streuung der Vorspannkraft mit einbezogen, so ergeben sich Flächenpressungen im Bereich von 160 N/mm^2 bis 190 N/mm^2 . Bei einer unteren Toleranzgrenze der Anzugsmomente von 400 Nm läge die Flächenpressung bei $120 \text{ N/mm}^2 \pm 20 \text{ N/mm}^2$ und damit die Gesamtschwankungsbreite der Flächenpressung zwischen 100 N/mm^2 und 190 N/mm^2 .

Für die Versuche wurde die untere Toleranzgrenze der Flächenpressung von 100 N/mm^2 gewählt. Höhere Flächenpressungen führen zu plastischen Verformungen mit Eindrückungen im Verschraubungsbereich, welche bei Nutzfahrzeugrädern häufig zu beobachten sind. Diese Eindrückungen führen zu einem Abfall der Schraubenvor-

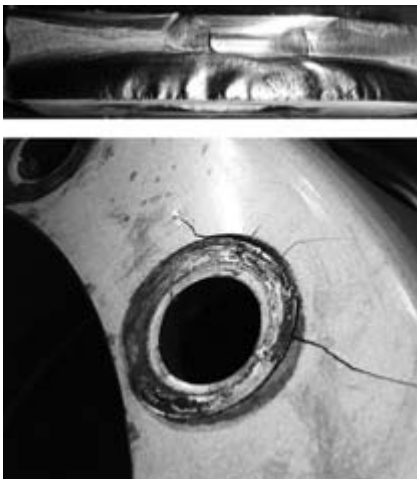


Bild 2. Reibkorrosionsrisse an einem Stahlscheibenrad - ZWARP-Versuche

Figure 2. Fretting corrosion cracks on a steel wheel - biaxial wheel tests

spannkraft. Um dies zuverlässig zu vermeiden, sind höherfeste Werkstoffe notwendig.

Die Probenversuche wurden unter konstanter Flächenpressung, unabhängig vom möglichen Abrieb an den Kontaktstellen und von der daraus resultierenden Wanddickenverringerung durchgeführt. Die Abmessungen der Reibkörper wurden im Wesentlichen denen einer Standardverschraubung (M 22 x 1,5) nachempfunden, damit die Reibkörperauflagefläche der Realität möglichst nahekam. Für die Versuche wurde der Sphäroguss EN-GJS-400-15 (geglüht)

und der Walzstahl E195 mit einer Formzahl $\alpha_k = 1$ und einer Dicke von 8 mm verwendet. Der GJS-400-15 zeigt in seinen zyklischen Spannungs-Dehnungskurven ein verfestigendes Verhalten, der E195 eine Entfestigung. Im Betrieb sind Teilplastifizierungen möglich.

Ergebnisse der Probenversuche

Einstufenversuche. Beim Werkstoff EN-GJS-400-15 (geschliffene Oberfläche, $P_A = 100 \text{ N/mm}^2$, Reibpaarung Stahl/Guss) ergeben sich unter Einstufenbelastung für die Wöhlerlinie ohne Reibkorrosion eine Steigung von $k = 17$ und mit Reibkorrosion eine Steigung von $k = 11$. Im Bereich der Kurzzeitfestigkeit gleichen sich beide Wöhlerlinien an, da hier noch keine Reibkorrosion entsteht. Außerdem ergeben sich die Abnickpunkte der Wöhlerlinien bei einer Spannungsamplitude von $\pm 140 \text{ MPa}$ ($N = 2 \times 10^6$) ohne Reibkorrosion und $\pm 90 \text{ MPa}$ ($N = 1 \times 10^7$) mit Reibkorrosion. Damit ist bei den Reibkorrosionsversuchen ein Schwingfestigkeitsabfall von 36 % zu verzeichnen.

Bei Verringerung der Flächenpressung auf $P_A = 50 \text{ N/mm}^2$ ergab sich bei einer Schwingspielzahl von $N = 1 \times 10^7$ nur ein Abfall auf $\pm 112 \text{ MPa}$ bei einer Wöhlerliniensteigung von $k = 16$, welche nahezu der ohne Reibkorrosion entspricht. Die Versuche mit niedrigerer Flächenpressung zeigten jedoch auf den

einzelnen Versuchshorizonten größere Relativverformungen gegenüber denen mit erhöhter Flächenpressung und damit eine größere Menge an Korrosionsprodukten. Es ist allerdings davon auszugehen, dass die eingelagerten Graphitphäroliten einen Schmiereffekt bei geringerer Flächenpressung gewährleisten.

Beim Werkstoff E195 (Walzhautoberfläche, $P_A = 100 \text{ N/mm}^2$, Reibpaarung Stahl/Stahl) ergeben sich unter Einstufenbelastung für die Wöhlerlinie ohne Reibkorrosion eine Steigung von $k = 21$ und mit Reibkorrosion eine Steigung von $k = 15$ analog zum GJS-400-15 mit einer Abnahme der Schwingfestigkeitskennwerte bei erhöhter Schwingspielzahl. Es ergibt sich eine Spannungsamplitude von $\pm 125 \text{ MPa}$ bei 2×10^6 Schwingspielen ohne Reibkorrosion und $\pm 85 \text{ MPa}$ bei 1×10^7 mit Reibkorrosion. Damit liegt der Abfall der Schwingfestigkeit bei ca. 30 %. Die Relativbewegungen sind geringfügig kleiner als bei GJS-400-15. Die Versuche mit geringerer Flächenpressung von $P_A = 50 \text{ N/mm}^2$ zeigten nicht wie beim GJS-400-15 einen deutlichen Zuwachs der Schwingfestigkeit, sondern diese blieb nahezu konstant.

Betriebsfestigkeitsversuche. Im Betriebsfestigkeitsversuch am Werkstoff GJS-400-15 (geschliffene Oberfläche, $P_A = 100 \text{ N/mm}^2$, Reibpaarung Stahl/Guss) bei gleicher Maximalspannungsamplitude liegen die erzielten Lastspielzahlen um einen Faktor von ca. 1000 höher als bei dem Wöhlerversuch. Die vergleichende Darstellung zeigt einen Abfall der Schwingfestigkeit bei $N = 10^7$ im Betriebsfestigkeitsversuch von nur 20 % unter Reibkorrosionseinfluss. Bei niedriger Flächenpressung konnte im Betriebsfestigkeitsversuch eine Minderung der Schwingfestigkeit um 15 % beobachtet werden.

Im Betriebsfestigkeitsversuch am Werkstoff E195 (Walzhautoberfläche, $P_A = 100 \text{ N/mm}^2$, Reibpaarung Stahl/Stahl) ergeben sich prägnante Unterschiede in den Steigungen von $k = 16$ (ohne Reibkorrosion) und $k = 6,9$ (mit Reibkorrosion). Hier kann ein Abfall der Schwingfestigkeit um 20 % festgestellt werden, jedoch nimmt diese zudem durch den steileren Verlauf der Lebensdauerlinie im Bereich höherer Schwingspielzahlen weiter ab. Die nicht vorhandene Schmierwirkung des E195 gegenüber des GJS-400-15 wirkt sich im

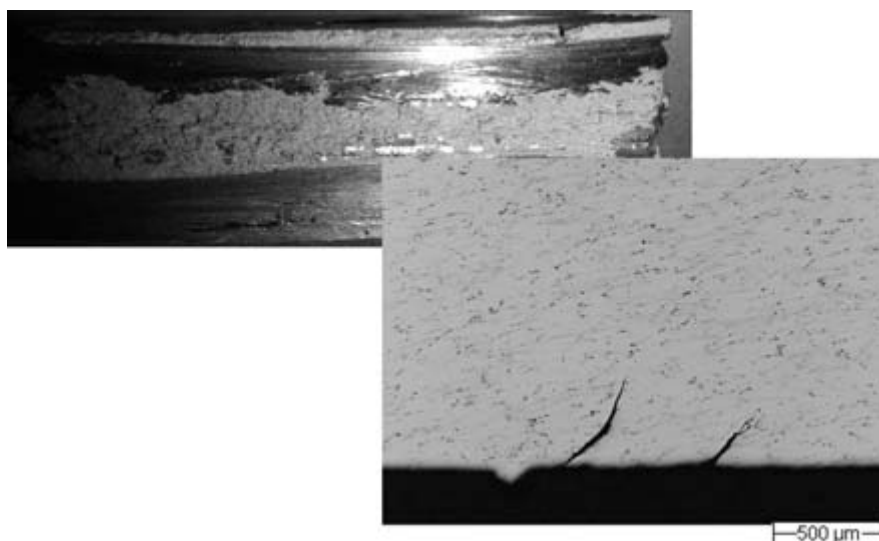


Bild 3. Reibkorrosionsrisse an einem Aluminiumschmiederad (6061T6) und Metallografie - ZWARP-Versuche

Figure 3. Fretting corrosion cracks on a forged aluminium wheel (6061T6) and metallurgy - biaxial wheel tests

Bereich höherer Lastspielzahlen aus, da höhere Reibwerte und Tangentialkräfte die stärkere Einbettung der Reibkörper begünstigen.

Bauteil-Betriebsfestigkeitsversuch im zweiaxialen Radprüfstand

Die Rad-Naben-Baugruppe wird im zweiaxialen Radprüfstand betriebsähnlichen Beanspruchungen ausgesetzt. Hierbei wird das rotierende Bauteil in einer Innentrommel mit einem Blockprogramm, bestehend aus radialen und lateralen Lastkombinationen, zeitverkürzt geprüft. Die geforderten Gesamtschwingspielzahlen sind abhängig von der Radgröße sowie dem Räderwerkstoff und für ein Standard-Rad $22,5 \times 11,75$ ergeben sich zu ca. $4,9 \times 10^6$ bei Stahlkomponenten und zu $6,1 \times 10^6$ bei Aluminiumkomponenten und liegen hiermit in dem Bereich, in dem ein ausgeprägter Reibkorrosionseinfluss festzustellen ist (Bilder 2 und 3).

Reibkorrosionsschäden sind nahezu bei allen Prüflingen im Bereich der Radanlage festzustellen [3]. Einen großen Einfluss bei der Schädigung des Rades hat die Gestalt des Nabenflansches. So kommt es bei den beiden üblichen Bauweisen - zylindrischer oder sternförmiger Nabenflansch - zu teilweise stark unterschiedlichen Prüflaufleistungen bis zur Rissinitiierung (Bild 4).

Durch die unterschiedlichen Steifigkeitsverhältnisse und geometrischen Kanten der Flanschbauweisen begünstigt die sternförmige Ausführung eine Entstehung von Reibkorrosionsprodukten. Reibkorrosionsprodukte entstehen bei verminderter Flächenpressung im Bereich der höchsten Relativverformungen am äußeren Rand der Kontaktstellen.

Analog hierzu entstehen die Reibkorrosionsrisse auf der Radaußenseite direkt an der Anlagekante der Radmutter.

Die Detektion der Reibkorrosionsrisse ist insofern als teilweise problematisch anzusehen, als die miteinander verspannten Bauteile nach Lösen der Schraubenverbindung eine Risschließung begünstigen. Bei Verwendung von zerstörungsfreien Prüfverfahren, wie der üblichen Farbeindringprüfung, kann eine Detektion der Schadensbereiche - speziell bei anfänglich kleinen Risslängen und -tiefen -

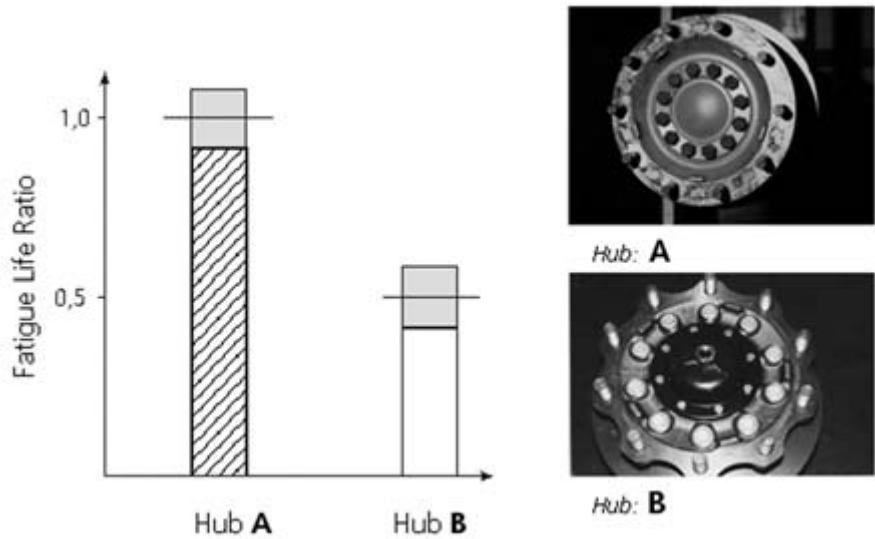


Bild 4. Einfluss der Nabenflanschgestalt auf Versuchslaufzeiten

Figure 4. Influence of the hub flange design on the fatigue behaviour

nicht immer zuverlässig sichergestellt werden. Magnetpulververfahren sind nur für ferritische Bauteile anwendbar, nicht aber für die häufig eingesetzten Aluminiumräder [5]. Deshalb findet auch eine zerstörende Prüfung, nämlich das Aufbrechen der Fehlstellen nach Beendigung der zweiaxialen Radprüfung Anwendung, wobei auch gleichzeitig die Risstiefe sicher quantifiziert werden kann.

Dagegen gestaltet sich eine Detektion von Schäden an Bauteilen im Feld (Bild 5) wesentlich schwieriger, da hier die notwendigen Prüfverfahren bei Inspektionen nicht angewendet werden können. Zum Teil ist auch die Kenntnis über das mögliche Vorhandensein solcher durch die Reibkorrosion begünstigten Schäden bei den Prüfern nicht vorhanden, so dass diese Bereiche kaum Beachtung finden.



Bild 5. Schäden an Stahlscheibenrädern aus dem Fahrbetrieb

Figure 5. Damages on steel wheels from field operation

Abstract

The Influence of Fretting Corrosion on the Fatigue Life of Wheel-Hub Assemblies of Commercial Vehicles. The phenomena of fretting corrosion is influencing the fatigue behavior or the reduction of fatigue material properties of assembly interconnections. The following text shows the general effects of fretting fatigue on specimen. Results of the behavior of two different materials under constant and variable amplitude loading are shown as well as the influence of the design of the wheel-hub-assembly of commercial vehicles. For the simulation of operational field usage the biaxial wheel test procedure was used.

Unter der Annahme, dass diese Schäden kaum zu vermeiden sind, spielt die Kenntnis über das Risswachstum eine große Rolle, um mit den Erprobungsergebnissen aus dem Labor zuverlässig sicherzustellen, dass im Feld keine sicherheitsrelevanten Schäden oder Totalausfälle auftreten können.

Das Wichtigste in Kürze

Das Phänomen der Reibkorrosion spielt im Bauteilverbund eine wichtige Rolle bei der Abschätzung schwingfestigkeitsmindernder Bauteileigenschaften.

Die wesentlichen, hier beschriebenen Einflussfaktoren sind die Werkstoffpaarung, die Flächenpressung sowie die Relativbewegung zwischen den Bauteilen.

Es wurden Wöhlerversuche an Materialproben (GJS-400-15; E195) unter konstanter Flächenpressung durchgeführt, wobei ein Abfall der Schwingfestigkeit von ca. 30 bis 35 % festzustellen war. In Betriebsfestigkeitsversuchen liegt der Abfall der Schwingfestigkeit bei nur ca. 20 % und verhält sich gegenüber den Versuchen unter konstanter Amplitude etwas weniger auffällig.

In der experimentellen Betriebslastensimulation im zweiaxialen Radprüfstand konnte ein deutlicher Einfluss der Radnabenflanschform auf Reibkorrosionsschäden festgestellt werden.

Literatur

- 1 G. Fischer: Zum Einfluss der Reibkorrosion auf das Festigkeitsverhalten von Stahl und Stahlguss unter sinusförmiger und zufallsartiger Belastung, Dissertation TU München (1987), LBF-Bericht Nr. FB 177
- 2 TU München: Berichtsband zum Statusseminar Reibkorrosion: Begriffsbestimmung, Mechanismen und Erscheinungsformen, Ingenieurdienst für Sichere Technik (1988)
- 3 G. Fischer: Komplexe Rad-Naben-Baugruppen: Experimentelle Simulation von Betriebsfestigkeit und Einflussgrößen, Materialprüfung 45 (2003), No. 5, S. 194-199

- 4 O. Buxbaum, G. Fischer: Reibkorrosion – ihre wichtigsten Ursachen und ihr Einfluss auf das Festigkeitsverhalten mechanischer Fügungen, Berichtsband zum Statusseminar Reibkorrosion – Begriffsbestimmung, Mechanismen und Erscheinungsformen, TU München (1988)
- 5 G. Fischer: Ermüdungsfestigkeit bei Reibkorrosion, LBF-Bericht Nr. TB 180 (1988), S. 185-194

Die Autoren dieses Beitrags

Steffen Weingärtner, M.Sc., Jahrgang 1977, studierte Maschinenbau an der Hochschule Mannheim. Seit 2006 ist er wiss. Mitarbeiter des Fraunhofer Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit – LBF in Darmstadt im Kompetenzcenter Rad/Nabe/Welle, wo er im Bereich der zweiaxialen Radprüfung mit den Schwerpunkten der Belastungsprogrammentwicklung, Numerik sowie Prüfmaschinenentwicklung beschäftigt ist. Ende 2009 beendete er sein berufsbegleitendes Aufbaustudium zum Master of Science an der Hochschule Mannheim.

Dipl.-Ing. Marco Breitenberger, Jahrgang 1980, studierte Maschinenbau an der Hochschule Mannheim. Seit 2008 ist er wiss. Mitarbeiter des Fraunhofer Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit – LBF in Darmstadt im Kompetenzcenter Rad/Nabe/Welle, wo er im Bereich der zweiaxialen Betriebslastensimulation mit dem Schwerpunkt Nfz-Komponenten beschäftigt ist.

Dipl.-Wirt.-Ing. Johan Stöcker, Jahrgang 1980, studierte Wirtschaftsingenieurwesen Fachrichtung Maschinenbau an der Hochschule Darmstadt. Seit 2008 ist er wiss. Mitarbeiter des Fraunhofer Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit – LBF in Darmstadt im Kompetenzcenter Rad/Nabe/Welle, wo er als Projektleiter für zweiaxiale Räderprüfung mit dem Schwerpunkt Nfz und Prüfstandsentwicklung beschäftigt ist.

You will find the article and additional material by entering the document number MP110159 on our website at www.materialstesting.de