

Auswirkungen tribologischer Beanspruchungen auf Funktion und Lebensdauer von Schraubendruckfedern

1 Einführung

Die Erhöhung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit von Maschinen, Geräten und Anlagen sowie ihrer mechanischen Bauteile ist eine wesentliche und stets aktuelle Aufgabe im Maschinenbau. Das trifft insbesondere auch für Federn zu, die vom Konstrukteur zur Lösung vielfältiger Aufgabenstellungen genutzt werden [1][2].

Ziel des Forschungsthemas [3] ist die Untersuchung der Auswirkungen tribologischer Beanspruchungen auf Funktion und Lebensdauer von Schraubendruckfedern und der Möglichkeiten zu ihrer Berücksichtigung beim Federentwurf und Federeinsatz. Bisher fehlen Untersuchungsergebnisse zum Mechanismus der Federschädigung infolge tribologischer Beanspruchungen. Es sind auch keine Anhaltspunkte zur gezielten konstruktiven Beeinflussung des tribologischen Verhaltens von Federn bekannt. Somit hat der Konstrukteur derzeit nur geringe Einwirkungsmöglichkeiten auf die tribologische Beanspruchung von Schraubendruckfedern zwecks Verbesserung der Funktion und Lebensdauer dieser häufig eingesetzten Bauteile und der damit ausgerüsteten Baugruppen.

2 Verschleißoberflächen der Federbaugruppen

Gravierende Auswirkungen auf die Funktion von Schraubendruckfedern haben Kennlinienänderungen infolge von Verschleiß. So führt Verschleiß an den Koppelstellen zwischen Feder und federumgebenden Bauteilen (Bild 1a,b) zu Längenänderungen und damit zu einer Parallelverschiebung der Kennlinie, die sich vor allem dann auswirkt, wenn sehr steife Federn (große Federrate R) vorliegen. Schwächungen des Drahtdurchmessers infolge des Verschleißes (Bild 1c,d) haben auch Änderungen der Federrate (Steigungswinkel der Kennlinie) zur Folge. Beide Auswirkungen überlagern sich und führen bei Überschreiten der Toleranzgrenzen zu Funktionsstörungen, die schon vor Erreichen der Lebensdauer einen Ausfall der Federbaugruppe bewirken können. Zuverlässigkeit und Lebensdauer sind demzufolge stets in engem Zusammenhang zu sehen.

3 Verschleißuntersuchungen unter praxisähnlichen Beanspruchungen

Die Verschleißuntersuchungen mit Schraubendruckfedern unter praxisähnlichen Beanspruchungen wurden bei gleichzeitiger Prüfung mit unterschiedlichen Hub- und Oberspannungen u.a. auf einer BOSCH-Schwinge durchgeführt. Als Versuchsproben wurden 48 Stück Schraubendruckfedern verwendet, die aus Ventildraht VD 60SiCrV6 mit $d = 3,97\text{mm}$ sowie angelegten und angeschliffenen Endwindungen gefertigt wurden und kugelgestrahlt sind. Die Federn wurden auf 8 Reihen mit jeweils unterschiedlichem Beanspruchungsniveau (unterschiedlichen Hubspannungen) verteilt

und die Versuche mit einer konstanten Schwingfrequenz von 20,8 Hz bis zu einer Lastspielzahl von 4×10^7 durchgeführt.

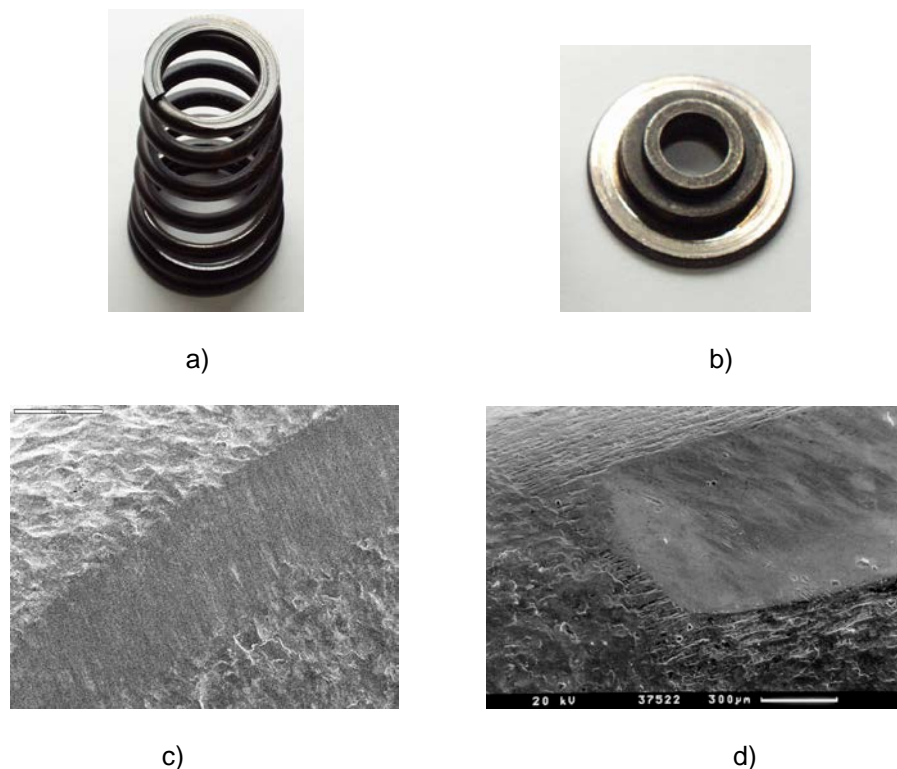


Bild 1: Beispiel einer tribologisch beanspruchten konischen Schraubendruckfeder und Federteller
a) starker Verschleiß an der Federstirnfläche;
b) oberer Federteller nach Beanspruchung an Federstirnfläche;
c) wellenartige Struktur des Abrasivverschleißes an der Windungsoberfläche;
d) Verschleiß an den Übergangswindungen an der Federseite mit dem kleineren Windungsdurchmesser

Die Versuche ergaben, dass alle Federn der ersten beiden Reihen auf der Oberseite des Schwingbalkens, d.h. bei höheren Hubspannungen ($1090,5 \text{ N/mm}^2$ und $1019,2 \text{ N/mm}^2$), gebrochen sind.

Die Verschleißmessungen ergaben, dass die Schraubendruckfedern bei höheren Hubspannungen größeren Masseverschleiß aufweisen. Bei niedrigen Hub- und Oberspannungen war der Verschleiß dann relativ klein gegenüber dem bei höheren Beanspruchungen. Dies verdeutlicht Bild 2, in dem die gemessenen mittleren Verschleißmassen der Federn dargestellt sind, die sich während des Versuchs auf der Oberseite des Schwingbalken befanden. Den Messwerten kann entnommen werden, dass bei einer Hubspannung von $568,1 \text{ N/mm}^2$ (Reihe 8) der Masseverschleiß ca. 5,5 mal geringer ist als bei höchstbeanspruchten Federn mit einer Hubspannung von $942,6 \text{ N/mm}^2$ (Reihe 3), die während der Dauerschwingversuche nicht gebrochen sind.

Exemplarische auffichtmikroskopische Aufnahmen verschlissener Federwindungsoberflächen nach 4×10^7 Lastspielen bei unterschiedlichen Hubspannungen sind in den Bildern 3 und 4 dargestellt.

Bild 4 zeigt die Verschleißstellen, die am Übergang zwischen Endwindung und Übergangswindungen durch deren gleitende Berührung beim Ein- und Ausfedern entstehen. Die Windungen liegen hier auch im entspannten Zustand eng beieinander bzw. aneinander, weswegen die Windungsoberflächen nicht kugelgestrahlt werden

können. Die Praxis zeigt, dass sich in diesem Bereich des Übergangs zwischen End- und Übergangswindung die am häufigsten gebrochene Stelle der Schraubendruckfedern befindet. Hinzu kommt, dass dieser Bereich hoher tribologischer Beanspruchung mit Zonen großer plastischer Umformungen während der Federherstellung zusammenfällt.

Die Oberflächenprofilmessungen zeigen ein Ergebnis von ca. 60 µm Abrieb durch Verschleiß an dieser Stelle. An den Verschleißoberflächen bildeten sich Korrosionsprodukte durch Fretting.

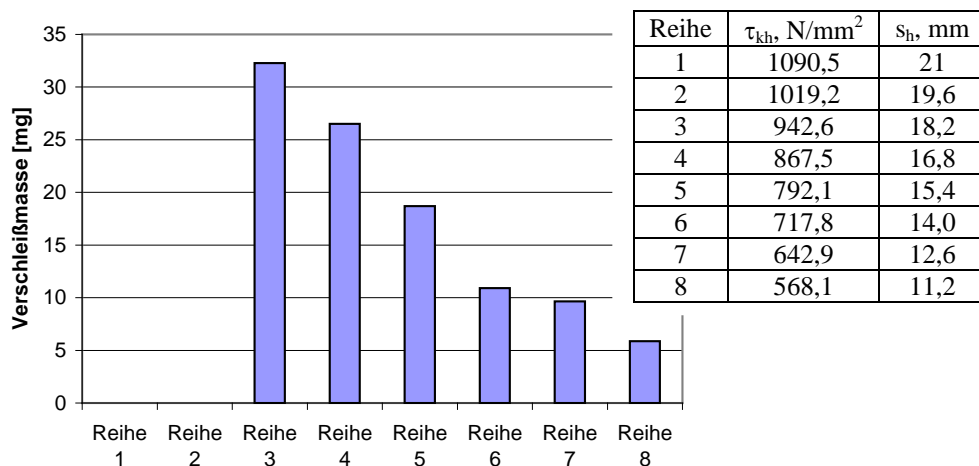
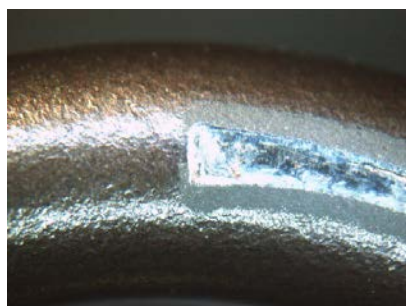


Bild 2: Mittlere Verschleißmassen von Federn in Abhängigkeit von den verschiedenen Hubspannungen und Oberspannungen bei 20,8 Hz Schwingfrequenz nach 4×10^7 Lastspielen



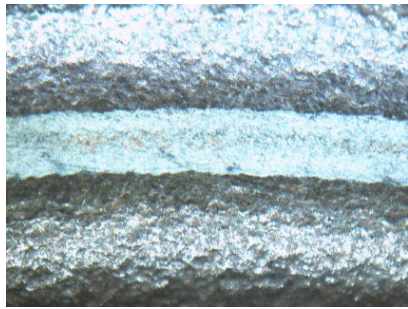
Übergangswindung



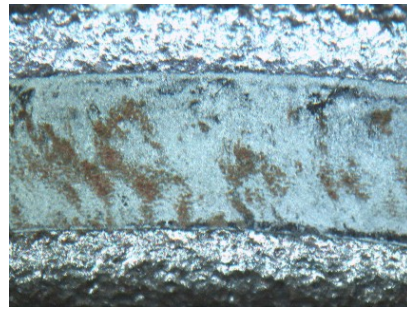
Endwindung

Bild 3: Verschleißoberflächen der Federwindungen am Übergang zwischen End- und Übergangswindung nach 40 Millionen Lastspielen

Auch die Berührung an anderen Stellen zwischen End- und Übergangswindungen führt zum Verschleiß. Zu dessen Verdeutlichung sind im Bild 4 lichtmikroskopische Aufnahmen verschlissener Federwindungsoberflächen dargestellt, die bei unterschiedlichen Hubspannungen (568,1 N/mm² und 867,5 N/mm²) nach 4×10^7 Lastspielen entstanden sind. Wie die Auswertung der Verschleißuntersuchungen anhand der lichtmikroskopischen Aufnahmen zeigt, ist die Breite der Verschleißspuren (Tragspuren) an gleichen Stellen der Federn bei einer Hubspannung von 867,5 N/mm² ca. 2,5 mal größer als bei Federn mit einer Hubspannung von 568,1 N/mm².



a)



b)

Bild 4: Verschleißoberflächen der Federwindungen unter verschiedenen Hubspannungen nach 40 Millionen Lastspielen: a) bei 568,1N/mm²; b) bei 867,5 N/mm²

4 Zusammenfassung

Auswirkungen auf die Funktion von Schraubendruckfedern haben Kennlinienänderungen infolge von Verschleiß an den Koppelstellen zwischen Feder und federumgebenden Bauteilen sowie an den End- und Übergangswindungen. Der Verschleiß an Schraubendruckfedern ist abhängig von den Beanspruchungsbedingungen. Verschleißuntersuchungen unter praxisähnlichen Beanspruchungsbedingungen mit Schwingmaschinen ergaben, dass die Schraubendruckfedern bei höheren Hub- und Oberspannungen größeren Masseverschleiß aufweisen.

Literatur

- [1] Meissner, M.; Wanke, K.; Schorcht, H.-J.: Handbuch Federn (Berechnung und Gestaltung im Maschinen- und Gerätebau). Verlag Technik GmbH, Berlin, München. 2., bearbeitete Auflage, 1993
- [2] Meissner, M.; Schorcht, H.-J.: Metallfedern (Grundlagen, Werkstoffe, Berechnung und Gestaltung). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. 1997
- [3] Schorcht, H.-J.; Gevorgyan, G. u.a.: Auswirkungen tribologischer Beanspruchungen auf Funktion und Lebensdauer von Schraubendruckfedern. Zwischenbericht DFG-Forschungsthema, TU Ilmenau 2004

Ansprechpartner

[Dipl.-Ing. Vahan Gevorgyan](#), TU Ilmenau, Fak. für Maschinenbau, [Forschungsgruppe Draht und Federn](#), Max-Planck-Ring 12, 98693 Ilmenau, Tel.: +49 3677 - 69 29 34, Fax: +49 3677 - 69 12 59, <mailto:vahan.gevorgyan@tu-ilmenau.de>