

Lebensdauerprüfung von Gelenkwellen

Tawil, M.

In der letzten Ausgabe wurde der Versuchsaufbau, die Meßwerterfassung sowie Inbetriebnahme eines im Institut für Maschinenwesen (IMW) betriebenen Prüfstandes zur Untersuchung von Gleichlauflastgelenken an der Vorderachse von PKW beschrieben. Nach erfolgreichem Abschluß der Versuche werden nun die Untersuchungsergebnisse präsentiert.

In the last issue the test structure, the measurement registration as well as the starting up of a test bench in the Institut für Maschinenwesen (IMW) for examination of synchronized fixed joints at the front of cars have been described. After successful close of the attempts the results will be presented.

1 Rückblick

Die Gelenkwellen eines PKW sorgen für die Drehmomentübertragung vom Getriebe an die Räder unter Winkerversatz $/1/$. Dabei entstehen Torsionsbeanspruchungen, die einen hohen Verschleiß in den Gelenken hervorrufen. Dieser Verschleiß äußert sich durch Pittingbildung an den Kugellaufbahnen und wird vom Schmiermittel beeinflusst. Die Größe der Pittingflächen gibt einen Aufschluß über die Gelenklebensdauer. Die vorliegende Untersuchung soll das Verhalten von Gleichlauflastgelenken bei Variation des Schmiermittels unter Betriebsbedingungen aufzeigen.

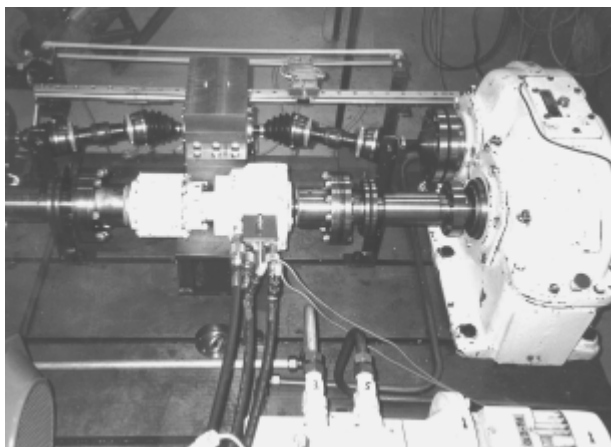


Bild 1: Verspannprüfstand

Bild 1 zeigt den zur Versuchsdurchführung aufgebauten Verspannprüfstand. Der Versuchsaufbau besteht hauptsächlich aus zwei Wellensträngen und erlaubt die gleichzeitige Prüfung von vier

Gleichlauflastgelenken. Die zu untersuchenden Gelenke sind im vorderen Strang eingespannt. In der Mitte des vorderen Stranges befindet sich das Mittellager, durch dessen Verschiebung der gewünschte Winkel der Gelenkwellen eingestellt werden kann. Im hinteren Strang steht ein hydraulischer Verspannmotor zur Erzeugung eines konstanten Torsionsmoments zur Verfügung. Der vordere und hintere Strang werden über zwei Getriebe miteinander gekoppelt und bilden so einen geschlossenen Torsionsverspannkreis. Zur Überwachung des Torsionsmoments wurde im vorderen Wellenstrang zusätzlich eine Torsionsmeßwelle mit Dehnungsmeßstreifen (DMS) und Telemetrieübertragung integriert. Der gesamte Verspannkreis wird von einem E-Motor über einen Riemen angetrieben. Dabei wird die Drehzahl mit Hilfe eines elektromagnetischen Pulsgebers registriert. Damit kann die Lastwechselzahl in Umdrehungen festgehalten werden. Die Überwachung des Verschleißes in den Gelenken erfolgt indirekt über berührungslose Temperaturmessung während des Betriebes. Hierfür ist ein Infrarotsensor zur Erfassung der Temperatur in den einzelnen Gelenken auf einer linearen Verfahrenseinheit installiert. Die vom Sensor erfaßten Temperaturwerte werden in einem Meßrechner gespeichert. Die Kühlung der Gelenke wird über ein Gebläse gewährleistet. Die Steuerung der verschiedenen Prüfstandkomponenten erfolgt über eine SPS, die außerdem mit dem Meßrechner verbunden ist.

2 Versuchsdurchführung

Zunächst wurden die Gelenke mit Fett gefüllt, ca. 100 g pro Gelenk. Anschließend wurden vier Gelenke in den vorderen Strang des Prüfstandes eingebaut. Der geforderte Beugewinkel von 10° wurde durch das Verschieben des Mittellagers eingestellt. Danach wurde, zum Aufbringen des Torsionsmoments, der Verspannmotor eingeschaltet. Um den Verspannkreis in Drehung zu versetzen wurde der E-Motor angelassen. Mit Hilfe der Torsionsmeßwelle-DMS-Telemetrie-Einheit konnte das Torsionsmoment kontrolliert werden. Zur Gewährleistung einer fehlerfreien Temperaturmessung mit dem Infrarotsensor wurden die reflektierenden Ge-

lenkoberflächen schwarz lackiert. Die Gelenktemperaturen im Laufe eines jeden Versuches wurden kontinuierlich erfaßt und im Meßrechner gespeichert. Dies diente zum einen der Versuchsauswertung und zum anderen der Versuchsüberwachung. Als Abbruchkriterium für einen Versuch wurde der Temperaturanstieg in den Gelenken gewählt. Dies liegt darin begründet, daß der Verschleißbeginn mit einer Temperaturerhöhung in den Gelenken verbunden ist. Die Meßwerte des Sensors werden an den Rechner geschickt. Lagen die gemessenen Temperaturen außerhalb des am Rechner eingestellten Bereiches, so schaltete sich der Prüfstand ab und der Versuch konnte abgebrochen werden. Die im Rechner eingestellten Temperaturgrenzwerte sind Erfahrungswerte und vom verwendeten Schmiermittel abhängig. Aus diesem Grund wurden die Gelenke nach dem Versuch ausgebaut und der Verschleißbeginn kontrolliert. Im Falle eines fehlenden Verschleißes wurde das entsprechende Gelenk wieder eingebaut und weiter belastet. Die verschlissenen Gelenke wurden durch neue getauscht und ein neuer Versuch konnte begonnen werden. Die Versuche wurden unter den folgenden Betriebsbedingungen durchgeführt:

- Torsionsmoment: 500 Nm
- Beugewinkel: 10°
- Drehzahl: 308 min⁻¹

Während der gesamten Versuchszeit herrschte eine nahezu konstante Umgebungstemperatur zwischen 18 - 20 °C. Außerdem wurden die Gelenke während des Betriebes über ein Gebläse konstant gekühlt. Bei der Untersuchung wurden 7 Schmiermittelsorten verwendet. Dabei wurden, um eine statistische Sicherheit zu gewährleisten, mehrere Gelenke je Sorte geprüft (**Tab. 1**). Aus Geheimhaltungsgründen dürfen die Bezeichnungen der verwendeten Schmiermittelsorten nicht veröffentlicht werden. An Stelle der genauen Bezeichnungen wurden hier die Buchstaben A - G eingesetzt.

| Versuchsreihe | Schmiermittel | Gelenkanzahl |
|---------------|---------------|--------------|
| 1 | A | 12 |
| 2 | B | 12 |
| 3 | C | 20 |
| 4 | D | 12 |
| 5 | E | 10 |
| 6 | F | 10 |
| 7 | G | 10 |

Tab. 1: Durchgeführte Versuchsreihen

3 Versuchsauswertung

Nach jedem Versuch wurden die verschlissenen Gelenke ausgebaut und vom Schmiermittel befreit. Danach wurden die einzelnen Gelenkkomponenten (Käfig, Gelenkstück, Kugelnabe und Kugeln) nummeriert. Dies ist notwendig, um nach dem Zerlegen des Gelenkes eine Zuordnung der einzelnen Komponenten zu gewährleisten.



Bild 2: Kugelabdrücke in der Kugelnabe nach einer Lastwechselzahl von ca. 3 Mio.



Bild 3: Kugelabdrücke am Käfig nach einer Lastwechselzahl von ca. 3 Mio.



Bild 4: Pitting auf den Kugellaufbahnen im Gelenkstück nach ca. 3 Mio. Lastwechseln

Anschließend wurden die einzelnen Komponenten auf Kantenbrüche untersucht und die Verschleißflächen (Pitting) vermessen. Die **Bilder 2 - 4** zeigen einige Beispiele für die aufgrund der Beanspruchung typischen Beschädigungen an den Gelenkkomponenten.

Die mit einem Kreis markierten Beschädigungsflächen werden ermittelt und in Tabellen mit den dazugehörigen Lastwechselzahlen eingetragen. Diese Verschleißwerte werden zur Ermittlung der Lebensdauer herangezogen.

Wie bereits erwähnt gibt das Temperaturverhalten der Gelenke während des Betriebes einen Aufschluß über das Verschleißverhalten. Anhand der im Laufe der Versuche erfaßten Temperaturwerte konnte festgestellt werden, daß der Temperaturverlauf von der Schmierstoffsorte sowie den Kühlungsverhältnissen abhängt. **Bild 5** zeigt die Temperatur-Zeit-Verläufe für die durchgeführten Versuchsreihen. Repräsentativ für die einer Versuchsreihe angehörenden Gelenke wurden die Meßwerte eines Gelenkes zur Erzeugung der jeweiligen Kurven benutzt. Um den Einfluß der Schmiermittelsorte

auf den Verschleiß zu verdeutlichen, wurden alle Kurven in einem Diagramm gezeichnet. Die Versuchsreihe mit dem Schmiermittel C und ein Teil der Versuchsreihe mit dem Schmiermittel G (im Diagramm mit G' bezeichnet) wurde unter, im Vergleich zu den restlichen Versuchsreihen, veränderten Kühlungsverhältnissen (doppelter Kühlungsabstand zu den Gelenken, halbe Luftmenge) durchgeführt. Dadurch wird der Kühlungseinfluß auf den Verschleißverlauf deutlich.

Besonders auffällig sind dabei drei Fettsorten (B, C und G). Das Fett B hat die höchste Beharrungstemperatur mit geringem Einlaufverhalten. Das Fett C hat ein extrem stark ausgeprägtes Einlaufverhalten mit zunächst überhöhter Temperatur. Das dritte Fett G hat ein ganz besonderes Temperatur-Zeit-Verhalten; nach einer kurzen Einlaufphase kommt es zu einem starken Temperaturanstieg der dann allmählich wieder abklingt.

Probemessungen haben gezeigt, daß die Temperatur des Schmiermittels um 20 °C höher liegt als die der Gelenkoberfläche. Die hier erfaßten Meßwerte gelten für die Gelenkaußenseite.

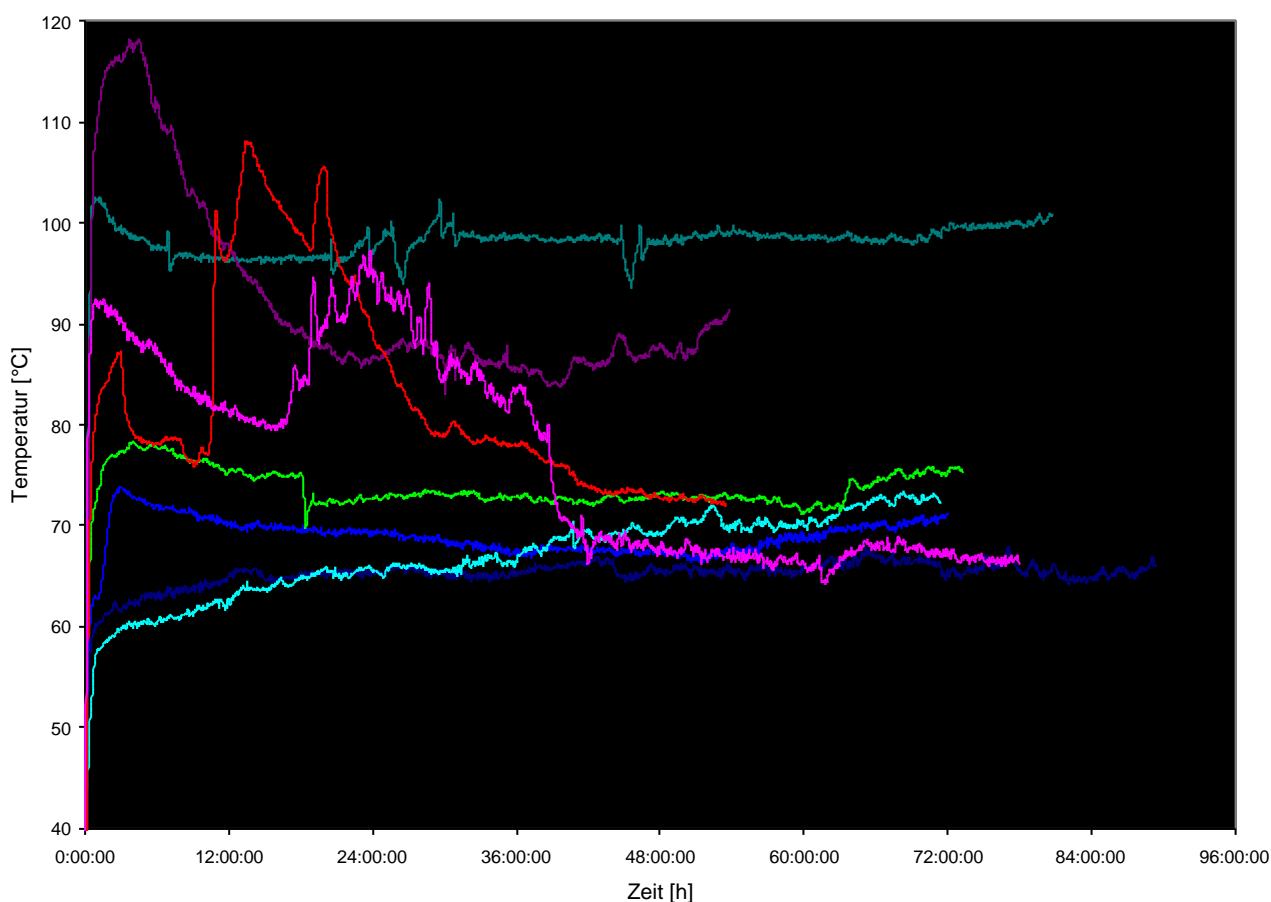


Bild 5: Temperatur-Zeit-Verläufe unter folgenden Betriebsbedingungen: Torsionsmoment = 500 Nm, Beugewinkel = 10°, Drehzahl = 308 min⁻¹, Kühlungsabstand = 150 mm, Luftaustrittsdurchmesser = 60 mm

4 Zusammenfassung

In den Entwicklungsabteilungen der Automobilhersteller und -zulieferer wird ständig daran gearbeitet, den Kraftstoffverbrauch bei steigender Motorleistung zu reduzieren. Denn heute sucht der anspruchsvolle Kunde umweltverträgliche und zuverlässige Fahrzeuge. Es wird intensiv versucht diese Eigenschaften durch den Einsatz von leichten Materialien zur Gewichtsreduzierung, dynamisches Eingreifen in die Motorsteuerung zur Leistungsoptimierung sowie Verbesserung der Antriebselemente zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und des Wirkungsgrades.

Im Antriebsstrang werden Gelenkwellen zur Übertragung des Drehmomentes vom Getriebe an die Räder verwendet. Dabei spielt das Schmiermittel eine zentrale Rolle in Bezug auf der Lebensdauer der Gelenke. In der durchgeführten Untersuchung wurde das Verschleißverhalten der Gleichlaufstgelenke unter Betriebsbedingungen bis zur Schädigung betrachtet. Während der Untersuchung wurde das Ende der Gelenklebensdauer mit den ersten Verschleißerscheinungen erreicht, die sich durch eine merkliche Temperaturerhöhung ankündigten. Schon ab diesem Zeitpunkt muss das Gelenk zur Vermeidung eines größeren Leistungsabfalls durch den mit der Lastwechselzahl exponentiell ansteigenden Verschleißfortschritt (**Bild 6 - 9**) ausgetauscht werden.

5 Literatur

/1/ Birkholz, H.; Judith, M.; Tawil, M.: Prüfstand zur Lebensdauerprüfung von Gelenkwellen. Institutsmitteilung Nr. 24, IMW Clausthal 1999



Bild 6: Extrem beschädigte Kugeln nach einer Lastwechselzahl von ca. 23 Mio.



Bild 7: Pitting und Kantenabbrüche der Kugellaufbahnen im Gelenkstück nach ca. 23 Mio. Lastwechseln



Bild 8: Kantenabbrüche am Käfig nach einer Lastwechselzahl von ca. 23 Mio.



Bild 9: Kantenabbrüche in der Kugelnabe nach einer Lastwechselzahl von ca. 23 Mio.