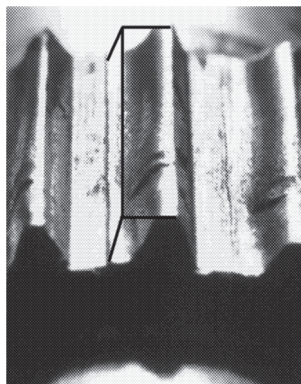


Testapparatur für Passverzahnungsverschleiß

Schäfer, G.

Neben der Gestaltfestigkeit stellt der Verschleiß eine Hauptschadensursache bei den Welle-Nabe-Verbindungen mit Passverzahnungen dar. Die Untersuchung der Einflussparameter ist dabei langwierig und mit erheblichem Energie- und Kostenaufwand verbunden. Mit der Einführung eines Zahnsegmenttesters ist es gelungen, den Versuchsaufwand deutlich zu reduzieren und gleichzeitig die Versuchsdauer zu kürzen, sowie die Prüfteildimensionen (Modul, Bezugsdurchmesser) zu vergrößern.



In addition to design strength, wear is one of the main causes of damage to shaft-hub connections with splines. The investigation of the influencing parameters is time-consuming and involves considerable energy and costs. With the introduction of a tooth segment tester, it has been possible to significantly reduce the test effort and at the same time shorten the test duration and increase the test part dimensions (module, reference diameter).

Einleitung

Das Institut für Maschinenwesen betreibt seit vielen Jahren intensive Forschungen zum Verschleißverhalten von Passverzahnungen. Die Verschleißuntersuchungen an vollständigen Zahnwellen-Verbindungen mit Passverzahnungen sind sehr zeitaufwändig und trotz Nutzung von Verspannprüfständen mit einem relativ hohen Energieaufwand verbunden. Um zukünftig einerseits den Energieverbrauch zu reduzieren und andererseits auch größere Verbindungsdimensionen betrachten zu können, wurde ein Prüfstand aufgebaut, auf dem einzelne Zahn- und Lückensegmente der Passverzahnung mit den betriebstypischen Belastungen und Relativbewegungen mit minimalem Energieeinsatz beaufschlagt werden können.

Prüfstandsvarianten

Die beiden klassischen Ausfallursachen von Zahnwellen-Verbindungen sind einerseits Brüche bei Überschreitung der Gestaltfestigkeit und andererseits verschleißbedingter Verlust der Formschlusseigenschaften mit finalem Durchdrehen der Verbindung, siehe Abbildung 1. Für die Untersuchung der Gestaltfestigkeit von Passverzahnungen werden am IMW Torsionsresonanzprüfstände eingesetzt. Sie

erlauben eine energieeffiziente Versuchsdurchführung mit dynamischen Torsionslasten im Wechsel- und Schwelllastbereich. Ein Prüfstand für statische Torsionslasten ergänzt den Bereich der reinen Torsionsprüfstände. Darüber hinaus gibt es zwei Prüfstände für die kombinierte Belastung von Passverzahnungen durch Torsion und Biegung. Diese beiden Prüfstände können auch für Verschleißuntersuchungen genutzt werden. Für die reine Wechselbiegung gibt es zusätzlich einen geeigneten Prüfstand um entsprechende Kerbwirkungszahlen zu ermitteln.

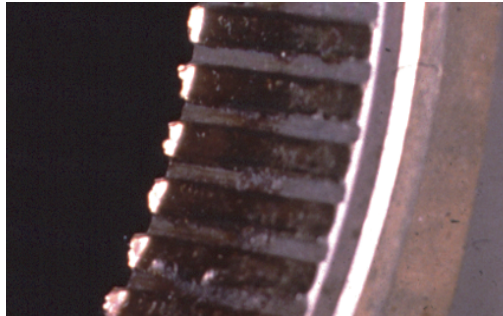


Abbildung 1: *Vollständig verschlissene Nabe einer Passverzahnung*

Für die Untersuchung der zweiten Ausfallursache „Verschleiß“ werden im IMW neben den beiden bereits genannten Prüfständen mit kombinierter Torsions- und Biegebelastung, bei denen die Zahnwellen nicht rotieren, sondern die Biegebelastung um die Zahnwelle herumgeführt wird, aktuell fünf Verspannprüfstände genutzt. Bei den Verspannprüfständen wird die Prüfbelastung im Kreis geführt, so dass nur die Verlustleistung von ca. 10 – 15 % der Prüfleistung in das System eingespeist werden muss. Dies bedeutet aber auch bei nur mittleren Prüfleistungen von 500 kW und durchschnittlichen verschleißtypischen Prüfdauern von 2 bis 4 Wochen nicht unerhebliche Energiekosten. Vor diesem Hintergrund wurde die folgende Testapparatur entwickelt.

Zahnsegment-Verschleißtester

Entscheidend für den Verschleiß der Zahnflanken einer Passverzahnung sind die Relativbewegung zwischen den Flanken der Wellen- und Nabenverzahnung, sowie die dabei vorherrschende Flankenpressung. Grundsätzlich hat der Schmierungs-zustand (trocken, fett- oder ölgeschmiert) ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf den Verschleiß, und ist im Zusammenhang mit dem hier vorgestellten Verschleißtester als Untersuchungsparameter vorgesehen. Abbildung 2 lässt die dazu geeignete Ölwanne, in der sich das Prüfsegment befindet, erkennen. Abhängig von der Relativbewegungsamplitude kann in reibkorrosiven Verschleiß (Fretting) bei minimalen Amplituden um 15 µm und Coulombschen Reibverschleiß bei Amplituden im mm-Bereich unterschieden werden, der Übergang ist dazwischen fließend. Für die Erzeugung der Relativbewegung wurde in der ersten Ausbauvariante ein

Unwuchterregerantrieb gewählt, der auf einem federelastischen Parallelogramm montiert ist und so nur Bewegungen in Zahn­längsrichtung erlaubt. Damit kann die reine Axialverschiebung der Passverzahnung abgebildet werden. Alternative Antriebe, die eine Taumelbewegung, wie sie bei radialem Achsversatz auftreten, realisieren, sind in Vorbereitung und können modular gegen den Parallelogramm­ tisch ausgetauscht werden.

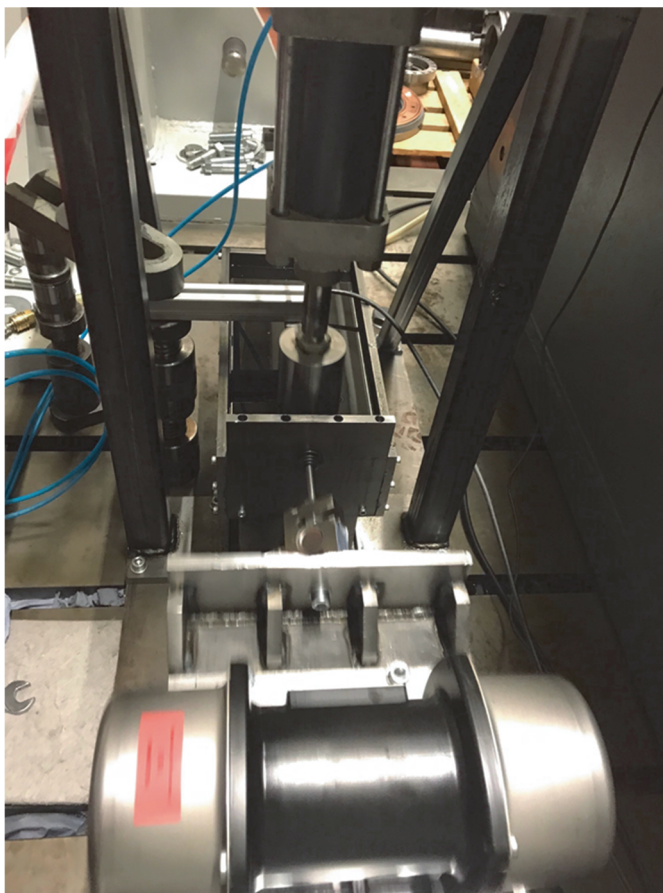


Abbildung 2: Zahnsegment-Verschleißtester mit Pneumatikzylinder oben für die Flanken­ druckung und Exzenterantrieb im Vordergrund zur Verschiebeanregung

Die zweite Verschleiß initiiierende Belastungskomponente neben der Relativbewegung ist die Flanken­ druckung, sie wird primär durch die Torsionsmomentübertragung in der Passverzahnung hervorgerufen. Passverzahnungen sind in der Regel flanken­ zentriert, so dass eine Torsionsmomentsteigerung das

Zentrierverhalten verbessert und damit die Relativbewegung reduziert. Verschleißschäden treten daher bevorzugt im „Kleinlastbereich“ der Zahnwellenverbindung auf. Der Verschleißtester wird daher häufig mit relativ geringen Flankenpressungen betrieben. Grundsätzlich erlaubt er mittlere Flankenpressungen auch oberhalb von 200 MPa, was aber zu erheblichen Versuchszeiten führt und daher bei Schmierungs- und Werkstoffvergleichsuntersuchungen nur eingeschränkt sinnvoll ist. Die Flankenpressung kann im Zahnsegment-Verschleißtester daher durch einen Pneumatikzylinder aufgebracht werden. Der Zylinder drückt dabei das Zahnsegment radial in die entsprechende Zahnücke. Durch den von 0° verschiedenen Flankenwinkel (üblicherweise zwischen 20° und 45°) ergibt sich beim Hereindrücken des Zahns in die Lücke eine Flankenpressung. Im Fall des Testers ist diese Flankenpressung an beiden Zahnflanken vorhanden, was einen Unterschied zur einseitigen Flankenpressung unter Torsionsbelastung darstellt. Dies ist bei der Auswertung von Verschleißvolumina und Verschiebekräften zu beachten. Die Symmetrierung der Torsionsbelastung auf beide Zahnflanken stellt aber ansonsten keine Einschränkung für die Versuchsergebnisinterpretation dar.

Mit dem Verschleißtester können aktuell Verschiebefrequenzen von bis zu 40 Hz erreicht werden, womit eine deutlich schnellere Versuchsdurchführung als in den Verspannprüfständen erreichbar ist. Gleichzeitig ist die Messung von Verschiebekraft und Verschiebeweg an den Segmentproben einfach und genau realisierbar. Neben der angestrebten energieeffizienten Versuchsdurchführung erlaubt der Zahnsegmentverschleißtester auch die Untersuchung großmoduliger Passverzahnungen bis zum Modul 10, was in real ausgeführten Verbindungen zu Drehmomentkapazitäten führen würde, die im Gesamtsystem mehr als 1 MW-Verspannleistung für die Prüfdurchführung notwendig machen würden.

Zusammenfassung

Mit dem vorgestellten Zahnsegment-Verschleißtester konnte das IMW seine Prüfausstattung für die Untersuchung von Zahnwellenverbindung durch eine extrem energieeffiziente Prüfeinrichtung erweitern, die umfangreiche Reihenuntersuchungen zum Schmierungs- und Werkstoffeinfluss in Passverzahnungen mit sinnvollem Material- und Kostenaufwand erlaubt. Die dazu isolierte Untersuchung an einzelnen Passverzahnungssegmenten, kann im übrigen IMW-Prüffeld durch die Untersuchung an vollständigen Zahnwellenverbindungen in das Gesamtsystemverhalten unter Verschleiß und Gestaltfestigkeit sinnvoll eingeordnet werden und ergänzt diese ideal.