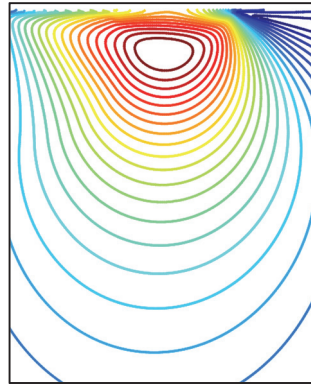


Spannungsverlauf eines Volumenelements im Freilauf-Wälzkontakt

Martinewski, V., Lohrengel A.

Der Freilauf ist ein Maschinenelement, welches die Funktion der richtungsabhängigen Drehmomenttransmission erfüllt. Die Übertragung des Drehmoments erfolgt über das Abwälzen des Klemmelements zwischen den An- und Abtriebskomponenten. Für den Fall des Klemmrollenfreilaufs beträgt das überwälzte Volumen während dieses Wälzvorgangs in der Regel nur wenige Millimeter. Das gleiche Volumen wird sowohl in Belastungsrichtung als auch in Entlastungsrichtung beansprucht. In der Berechnung der Lebensdauer von Freiläufen wird angenommen, dass durch diesen Zustand das Volumen doppelt belastet wird. Werden die zeitlich abhängigen Spannungsverläufe einzelner Volumen unterhalb der Oberfläche betrachtet, ist zu erkennen, dass diese Annahme nicht für jedes Volumenelement gilt: einige weisen ein doppeltes Schwingenspiel je Belastung auf, andere wiederum nur ein einfaches Schwingenspiel. Es wird die Möglichkeit geboten die Beanspruchung des Materials unterhalb der Oberfläche für die Optimierung der Berechnungsansätze neu zu quantifizieren.



The freewheel clutch is a machine element that fulfills the function of direction-dependent torque transmission. The special geometry of the freewheel enables an almost friction-free overtaking operation. In the opposite direction of rotation a torque is transmitted through a frictional rolling process. The traveled distance of the roller during the loading and unloading process is generally only a few millimeters. When calculating the service life of freewheels, it is assumed that the volume underneath the rolling contact is rolled-over twice and thus a load cycle has also to be counted twice. Considering the time-dependent stress curves of individual volume elements, it can be seen that this assumption does not apply to every volume element. It is possible to re-quantify the subsurface-stresses for the calculation approaches.

Einleitung

Der Freilauf wird im industriellen Umfeld verwendet, wenn die Aufgabe der richtungsabhängigen Drehmomentübertragung realisiert werden soll. Durch die spezielle Bauweise wird eine nahezu reibungsfreie Überholfunktion und in umgekehrter Drehrichtung das Übertragen eines Drehmoments gewährleistet. Während des Wälzvorgangs in Sperrichtung treten hohe Belastungen auf, die zu hohen Beanspruchungen der beteiligten Freilaufkomponenten (Abbildung 1) führen. Im speziellen Fall der Klemmrollenfreiläufe beträgt die Länge des Wälzweges nur einige wenige Millimeter. Dies hat zur Folge, dass nur ein kleiner Volumenbereich diesen hohen Beanspruchungen standhalten muss. In der Dimensionierung der Freiläufe wird dieser Zustand berücksichtigt, in dem für einen Wälzvorgang die doppelte Anzahl Lastwechsel gezählt wird (/1/). Hintergrund ist die Verdopplung des überrollten Volumens, welche in der Lagertheorie einen zentralen Bestandteil der Lebensdauerbetrachtung darstellt. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens zum Thema Freiläufe wurde ein Simulationsmodell entwickelt, welches den Wälzvorgang eines Klemmrollenfreilaufs untersucht. Eine feine Vernetzung und die Möglichkeit, die Knoten für einzelne Zeitabschnitte auszulesen, haben zu der interessanten Erkenntnis geführt, dass einige der belasteten Volumenelemente durchaus die Annahme des doppelten Schwingspiels je Wälzvorgang bestätigen, andere wiederum nur mit einem Schwingspiel pro Belastung zu zählen wären.

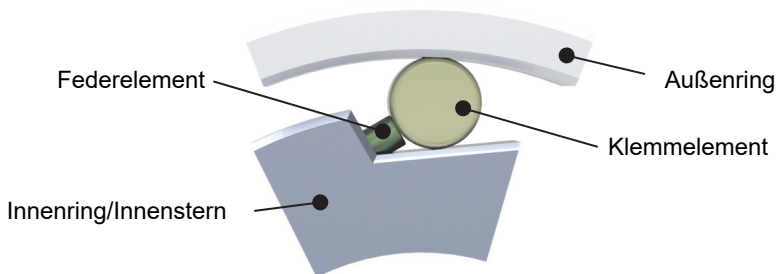


Abbildung 1: Freilaufkomponenten eines Klemmrollenfreilaufs.

Beanspruchungsverteilung des Wälzvorgangs.

Das Simulationsmodell besteht aus den zentralen, oben genannten Elementen des Freilaufs. Während der Innenstern mit einer fixierten Lagerung versehen wird, wird die Rotationsbewegung und damit die Last über den Außenring aufgebracht. Die Klemmrolle ($r_R = 4 \text{ mm}$) wälzt durch die Definition geeigneter Kontaktalgorithmen zwischen diesen beiden Komponenten ab, es resultiert die in Abbildung 2 dargestellte Spannungsverteilung der von-Mises-Vergleichsspannung unterhalb der Oberfläche des Innensterns, welcher aufgrund des kontraformen Kontakts höher beansprucht ist. Die maximal erreichte Hertz'sche Pressung beträgt 4500 Mpa .

Die Spannungsverteilung zeigt die jeweils für ein Volumenelement auftretenden Maxima während des Wälzvorgangs. Die Abrollbewegung findet von links nach

rechts statt. Dies ist auch an dem Auslauf des Spannungsmaximums hin zu niedrigeren x-Koordinaten zu erkennen, welcher den Beginn der Belastung und den damit verbundenen reduzierten Kontaktspannungen aufzeigt.

Das Maximum der Vergleichsspannung befindet sich in der Position $x = 4,16$ mm und $y = 25,63$ mm. Die Klemmrampenhöhe des hier berechneten Freilaufs in Bezug auf die Drehachse beträgt 25,82 mm, sodass sich das Spannungsmaximum in einer Tiefe von ca. 0,2 mm unterhalb der Oberfläche befindet.

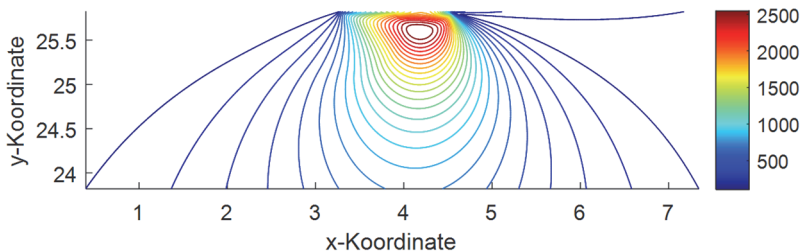


Abbildung 2: Beanspruchungsverteilung der von-Mises-Vergleichsspannung des Kontakts eines Klemmrollenfreilaufs ($r_R = 4$ mm, $p_{\text{Hertz,max}} = 4500$ MPa) je Knoten.

Zeitlicher Spannungsverlauf

Es wurde in einem nachgelagerten Post-Processing die Möglichkeit geschaffen, für jeden berechneten Knoten des Simulationsmodells die sich ergebenden Beanspruchungsgrößen einzeln auszuwerten. Für einen Wälzvorgang lassen sich hiermit nun die zeitlichen Spannungsverläufe eines Knotens bzw. eines diskretisierungsabhängigen Volumenelements darstellen, wie es in Abbildung 3 exemplarisch durchgeführt wurde.

Dargestellt ist der Verlauf des Vergleichsspannungsmaximums nach von Mises für den Wälzvorgang für einen Verdrehwinkel von $\varphi = 3,9^\circ$ zwischen Außen- und Innenring. Die Lastvorgabe erfolgte in 50 Lastschritten. Die vier dargestellten ausgewerteten Knoten befinden sich auf gleicher Höhe unterhalb der Oberfläche, weisen jedoch eine andere x-Koordinate auf, beschreiben demnach einen anderen Knoten des Volumens welches durch den Wälzvorgang beansprucht wird. Die x-Koordinaten sind für die Darstellung so gewählt, dass sowohl der Bereich zu Beginn des Wälzvorgangs als auch die Endlage berücksichtigt werden.

Es zeigt sich, dass die Knoten zu Beginn des Wälzvorgangs die bisherige Annahme stützen, dass der Wälzvorgang zu einer doppelten Belastung des überwälzten Volumens führt. Nähert man sich jedoch dem Spannungsmaximum, so verringert sich dieser Effekt immer weiter. Das Maximum der Beanspruchung unterhalb der Oberfläche baut sich während des Belastungsvorgangs langsam auf bis es sein Maximum erreicht. In der rückwärtigen Bewegung erfolgt eine Entspannung, sodass

kein weiteres Erreichen eines lokalen Maximums zu erwarten ist. Für Volumenelemente, die dieses Verhalten zeigen, ist nur ein Schwingenspiel zu zählen.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass lediglich die Knoten unterhalb der Oberfläche ausgewertet worden sind. Die Oberflächenbeanspruchung weist natürlich einen entsprechend doppelt zu berücksichtigenden Verlauf durch die Verschiebung der Position der x-Koordinate der maximalen Kontaktpressung auf.

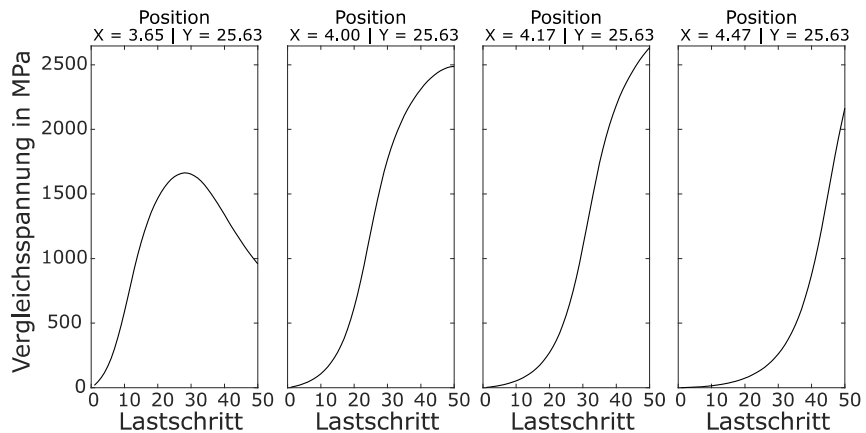


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf der Vergleichsspannung für einen vollen Belastungsschritt für verschiedene Volumenelement (50 Lastschritte für den kompletten Wälzvorgang)

Zusammenfassung

Die vorgestellten Verläufe zeigen, dass die zeitlich abhängigen Spannungsverläufe unterhalb der Oberfläche nicht pauschal mit dem zweifachen der Anzahl der Wälzvorgänge angenommen werden können. Betrachtet man die tatsächlich resultierenden Spannungsverläufe, so ist dieser Zustand in Abhängigkeit der Position des betrachteten Volumenelements zu differenzieren.

Die durch das erweiterte Post-Processing geschaffenen Möglichkeiten der Auswertung der Bauteilbeanspruchung eines Freilauf-Wälzkontakts bieten neue interessante Ansätze zur Bestimmung der Lebensdauer von Freiläufen.

Literatur

- /1/ Welter, R., Peeken, H.: *Lebensdauer von Klemmkörperfreiläufen im Schaltbetrieb* Forschungsvorhaben Nr. 137 I, Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V., Heft 319, Abschlussbericht, IGF-Nr. 6763, Frankfurt am Main 1990