

6 ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den Problemen, die durch Feststoffverschmutzung des Druckmediums in hydraulischen Komponenten entstehen. Verschleiß aufgrund von Feststoffverschmutzung des Druckmediums ist auch heute noch eine der Hauptausfallursachen. Nach einer kurzen Einführung, die die Quellen und die Auswirkungen der Kontamination von Druckflüssigkeiten in hydraulischen Anlagen, Komponenten und den charakteristischen Tribosystemen beschreibt, gibt sie dem Leser einen Überblick über die Möglichkeiten und Ziele der Verschleißprüfung. Die Verschleißprüfung läßt sich grob in 6 Kategorien einteilen, wobei diese Arbeit sich auf die Modellversuche (Kategorie V) und Bauteilversuche (Kategorie IV) am Beispiel von Ventilen konzentriert. Im Vordergrund stehen dabei die für die Hydraulik im Zusammenhang mit der Feststoffverschmutzung charakteristischen Verschleißarten, die 3-Körper-Abrasion und die Erosion. Die Struktur und das Beanspruchungskollektiv der hydraulischen Tribosysteme, die primär durch das Vorhandensein einer dieser beiden Verschleißarten gekennzeichnet sind, werden genauso beschrieben, wie die wirksamen Verschleißwechselwirkungen zwischen den Elementen bzw. Stoffen. Durch die möglichst vollständige Erfassung der Einflußgrößen und des Verschleißergebnisses mittels der für jede Verschleißart speziell entwickelten Modelle, wird die Grundlage geschaffen, die Verschleißwechselwirkungen und die dabei ablaufenden Vorgänge zu verstehen. Dieses erarbeitete Wissen ermöglicht insbesondere bei den Bauteilversuchen, die in den realen Komponenten vorherrschenden, komplexen Verschleißwechselwirkungen zu analysieren und die Wirksamkeit konstruktiver Maßnahmen zur Verschleißreduktion abzuschätzen.

Maßnahmen zur Verschleißreduktion konzentrieren sich vor allem auf die Konstruktion, d. h. Geometrie der Bauteile bzw. der Tribosysteme und die Werkstoffauswahl. Hierbei wird gesondert auf moderne PVD-Hartstoffbeschichtungen eingegangen, da diese im Vergleich zu den Standardwerkstoffen im Verschleißtest hervorragende Ergebnisse erreichen. Zur Abschätzung des Verhaltens dieser Verschleißschutzschichten im praktischen Einsatz wird neben der 3-Körper-Abrasions- und Erosionsempfindlichkeit zusätzlich das Verhalten bei Mischreibung (Adhäsion und Abrasion) sowie Kavitation untersucht. Letztendlich wird eine ausgewählte Schicht im Bauteilversuch auf ihre Praxistauglichkeit untersucht. Dazu wird ein Ventilkolben PVD-beschichtet. Das Ergebnis ist durchaus positiv und zeigt das enorme Potential dieser Werkstoffe als Verschleißschutzschichten.

Durch die konsequente Vorgehensweise bei Prüfstands Aufbau, Komponentenauswahl und Festlegung der Testprozeduren bzw. Prüfbedingungen ist die Reprodu-

zierbarkeit der Ergebnisse sowohl für die Modell- als auch für die Bauteilversuche gegeben. Die Erfassung der Bauteilschädigungen durch Vermessung der Oberflächentopographie vor und nach dem Verschleißtest und die anschließende Korrelation dieser mit dem veränderten hydraulischen Verhalten der Komponenten lassen die Differenzierung bzw. Bewertung der Wirksamkeit der untersuchten konstruktiven und werkstofftechnischen Maßnahmen zur Reduzierung der Verschleißempfindlichkeit zu. Dies gilt nicht nur für die im Bauteilversuch getesteten Proportional-Wegeventile, sondern läßt sich ebenfalls auf die anderen Tribosysteme übertragen, deren Systemstruktur und Belastungskollektiv ähnlich dem der Verschleißmodelle sind. Dieses wird anhand der Umsetzung des erarbeiteten Wissens in die Praxis beispielhaft bei der Optimierung des Verschleißverhaltens einer Druckwaage gezeigt. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Arbeit lassen sich wie folgt zusammenfassen.

Der Konstrukteur hat zunächst zwei Möglichkeiten, das Verschleißverhalten hydraulischer Komponenten konstruktiv zu optimieren. Zum einen durch die Geometrie des Tribosystems und zum anderen durch die Werkstoffwahl der Tribopartner. Allgemein kann man festhalten, daß der Verschleißwiderstand mit zunehmender Werkstoffhärte ansteigt und das gilt nicht nur für den gehärteten Tribopartner, sondern auch für den Gegenkörper. Großes Potential besitzen hierbei die superharten PVD-Schichten, die darüber hinaus auch über andere gute tribologische Eigenschaften verfügen. Seitens der Geometrie hydraulischer Tribosysteme gilt, je geringer die Partikelbelastung pro Fläche, d. h. je größer die durch Verschleißwechselwirkungen beanspruchte Kontaktfläche ist, desto günstiger wirkt sich dieses auf das Verschleißverhalten aus. Dazu zählt auch, daß Kanten oder Unterbrechungen in der Funktionsfläche möglichst zu vermeiden sind.

Generell wirken sich geringe Druckdifferenzen, niedrige Strömungsgeschwindigkeiten und hohe Viskositäten positiv auf das Verschleißverhalten aus. Zum Teil lassen sich Veränderungen des hydraulischen Verhaltens durch nachstellende Spalte kompensieren, nicht aber die infolge des verschleißbedingten Materialabtrages zunehmende Partikelkonzentration. Große Partikel in engen Spalten sind dabei besonders kritisch. Der Verschleiß nimmt proportional mit dem Verhältnis von Partikelgröße zu Spalthöhe zu. Dieser Sachverhalt gilt ebenso bei Erhöhung der Schmutzkonzentration. Sollte die Anwendung der hier erarbeiteten Maßnahmen dennoch nicht den gewünschten Erfolg bringen, so bleibt dem Anwender immer noch die Möglichkeit, die Feststoffverschmutzung durch aufwendige und kostenintensive Filtrationsmaßnahmen zu verringern. Bis auf wenige Ausnahmen wird daher ein Kompromiß zwischen Filtrierung und Konstruktion verschleißunempfindlicher Komponenten die optimale Lösung darstellen.