

**Nevioigt Andreas**

### **Kurzfassung**

Hydraulische Systeme sind gekennzeichnet durch eine hohe Kraftdichte. Die Umsetzung großer Leistungen auf kleinem Bauraum führt zu einer starken Beanspruchung der Tribosysteme in hydrostatischen Maschinen. Moderne Verfahren zur Oberflächenbeschichtung, wie PVD (Physical Vapour Deposition), Plasmadiffusion und Thermisches Spritzen bieten die Möglichkeit, Bauteile vor Verschleiß zu schützen und darüber hinaus das Reibungsverhalten zu verbessern.

In der vorliegenden Arbeit werden die tribologischen Eigenschaften von Beschichtungen untersucht und mit Standard-Werkstoffen verglichen. Zunächst werden grundlegende Ergebnisse zum Reibungs- und Verschleißverhalten unterschiedlicher Werkstoffe aus praxisrelevanten Modellversuchen vorgestellt. Darauf aufbauend werden beschichtete Kolbenführungen und Kolbenstangen in Hydraulikzylindern sowie beschichtete Kolben und Steuerspiegel in Axialkolbenpumpen untersucht. Hierbei zeigt sich, daß insbesondere der Verschleißwiderstand der Komponenten durch die Beschichtungen entscheidend erhöht werden kann. Es wird dargestellt, welche Beschichtungsverfahren und welche Werkstoffe für die jeweilige Anwendung in Zylindern bzw. Axialkolbenmaschinen am besten geeignet sind.

### **Abstract**

Hydraulic circuits are characterized by high power density. Therefore, the tribological systems of the components are considerably stressed by friction and wear. Modern coating processes like PVD (Physical Vapour Deposition), Plasma Diffusion and Thermal Spraying enable sufficient wear protection. Moreover, frictional characteristics of the surfaces are improved with suitable coating materials.

In this publication, the tribological properties of coatings are investigated and compared to standard materials. At first, results concerning friction and wear from basic investigations with simplified specimen are presented. Then, coated piston guides and piston rods in hydraulic cylinders and coated pistons and valve plates in axial piston pumps are investigated. The results indicate, that especially the wear resistance of the components is decisively increased by coatings. It is shown which coating processes and which coatings materials are best suited für specific applications.

### **Zusammenfassung und Ausblick**

Das Leistungsvermögen, der Wirkungsgrad und die Lebensdauer hydraulischer Komponenten werden entscheidend vom Reibungs- und Verschleißverhalten der Tribosysteme bestimmt. Dieses wiederum hängt maßgeblich von der Werkstoffauswahl für die in Kontakt und Relativbewegung befindlichen Bauteile ab. Die Beschichtungstechnik bietet die Möglichkeit, Werkstoffverbunde herzustellen, um auf diese Weise unterschiedliche Anforderungen resultierend aus der kombinierten Volumen- und Oberflächenbeanspruchung der Bauteile zu erfüllen. Ein kostengünstiger Grundwerkstoff übernimmt dann die Volumenfunktionen des Bauteils und eine höherwertige Beschichtung gewährleistet ein gutes tribologisches Verhalten.

In der vorliegenden Arbeit wurden Ergebnisse zum Reibungs- und Verschleißverhalten beschichteter Bauteile von Hydraulikzylindern und Axialkolbenmaschinen in Schrägscheibenbauart vorgestellt. Als Beschichtungsverfahren kamen das Thermische Spritzen, PVD- und Plasma-CVD-Verfahren sowie die Plasmadiffusion zum Einsatz. Zunächst wurden Grundlagenuntersuchungen zum tribologischen Verhalten unterschiedlicher Schicht -Gegenkörper -Kombinationen in einem Tribometer mit der Prüfkörperanordnung nach Siebel-Kehl durchgeführt. Die Versuchsergebnisse zeigen, daß im Vergleich zu Standardwerkstoffen mit geeigneten Beschichtungen insbesondere der Widerstand gegenüber Verschleiß durch Abrasion deutlich erhöht werden kann. Darüber hinaus wird durch die verringerte Adhäsionsneigung der Werkstoffe die Belastbarkeit der Oberflächen entscheidend vergrößert. Vor allem durch den Einsatz von Festkörperschmierstoffschichten kann auch das Reibungsverhalten der Systeme verbessert werden. Die Vorteile von Beschichtungen bei den untersuchten hydrodynamisch geschmierten Systemen sind jedoch primär in der Erhöhung des Verschleißwiderstands und nicht in der Reibungsminderung zu sehen.

Die Ergebnisse aus den Tribometerversuchen dienen zur Auswahl von geeigneten Schichtwerkstoffen für die nachfolgend durchgeführten Bauteilversuche. Die Beschichtung der Kolbenführungen von Hydraulikzylindern hat zu einer deutlich verbesserten Verschleißbeständigkeit im Vergleich zu konventionellen Werkstoffen geführt und ermöglichte auf diese Weise höhere Querkraftbelastungen. Die Beschichtung der Kolbenstange bei gleichzeitiger Adaption des Werkstoffs für die Stangenführung bewirkte ebenfalls eine entscheidende Vergrößerung der Belastbarkeit des Systems durch Querkräfte. Die Oberflächenstruktur der Kolbenstangenbeschichtung erwies sich als entscheidende Größe für die Reibung und den Verschleiß der Stangendichtung. Die Versuchsergebnisse machen die Notwendigkeit deutlich, in der Zukunft allgemeingültige (das heißt material- und verfahrensunabhängige) Parameter für die Charakterisierung von technischen Oberflächen zu erarbeiten. Für unterschiedliche Spritzwerkstoffe und Spritzverfahren wurden jeweils konstruktive Lösungen entwickelt, die hinsichtlich Dichtungsreibung und Dichtungsverschleiß ein günstiges Verhalten zeigen. In Versuchen mit beschichteten Bauteilen von Axialkolbenpumpen in Schrägscheibenbauart konnte die prinzipielle Funktionsfähigkeit von PVD-Beschichtungen beim Betrieb der Komponenten mit feststoffverschmutztem Öl nachgewiesen werden. Im Vergleich zu konventionellen Werkstoffen zeigten die modifizierten Materialpaarungen eine wesentlich geringere Verschmutzungsempfindlichkeit. Verbesserungen im Wirkungsgrad der Komponenten wurden durch den Materialwechsel nicht erzielt. Zusammenfassend kann man feststellen, dass das Anwendungspotential von Beschichtungen in Hydraulikzylindern und Axialkolbenmaschinen in erster Linie dort zu sehen ist, wo mit konventionellen Werkstoffen heute Verschleiß- und Korrosionsprobleme bestehen, oder wo das Leistungspotential durch die Belastungsfähigkeit konventioneller Werkstoffe begrenzt ist.

Die Auswahl des am besten geeigneten Beschichtungsverfahrens für eine bestimmte Anwendung richtet sich nicht ausschließlich nach tribologischen Anforderungen. Sie ist vielmehr auch von der Bauteilgeometrie (Größe, Form, Komplexität), von der Bauteilfunktion und von ökonomischen Aspekten abhängig. Es wurde dargestellt, welche Verfahren zur Oberflächen Beschichtung für die hier untersuchten Tribosysteme am günstigsten einzusetzen sind. Ferner wurde darauf eingegangen, welche

konstruktiven und fertigungstechnischen Voraussetzungen für die entsprechende Applikation erfüllt sein müssen, um eine günstige Applikationsmöglichkeit der Schicht und eine ausreichende Schichthaftung auf dem Substrat zu gewährleisten.

Die Weiterentwicklung hydraulischer Komponenten wird zukünftig verstärkt von der Leistungsfähigkeit der eingesetzten Konstruktionswerkstoffe abhängen, da klassische Hart-Weich-Paarungen bereits jetzt an ihre technischen Grenzen stoßen. Somit ist davon auszugehen, daß leistungsfähigere Werkstoffkonzepte in der Zukunft eine größere Rolle als Konstruktionswerkstoff in hydraulischen Maschinen spielen werden. Der sich deutlich abzeichnende Trend, biologisch schnell abbaubare Medien an der Stelle umweltgefährdender mineralölbasischer Flüssigkeiten mit Additivpaketen einzusetzen, wird die Notwendigkeit einer materialtechnischen Verbesserung der Tribosysteme zukünftig noch verstärken. Entscheidend für die Akzeptanz von Beschichtungen bei Komponentenherstellern und Anwendern wird neben technischen Aspekten vor allem die Entwicklung der Gesamtkosten bei den Beschichtungsverfahren sowie ihre Integrierbarkeit in bestehende Fertigungsabläufe sein.