

Thesen zur Dissertation  
„Untersuchungen zum Einsatz von  
Magnetorheologischen Fluiden in Kupplungen“  
von D. Lampe, M.S.

1. Magnetorheologische Flüssigkeiten (MRF) sind in den letzten Jahren stark in ihrer Qualität verbessert wurden. Ihr serienmäßiger Einsatz in Aktoren ist deshalb in naher Zukunft zu erwarten.
2. Die potentiellen Vorteile von magnetorheologischen gegenüber herkömmlichen Kupplungen liegen vor allem in der einfachen, exakten und reproduzierbaren Steuerbarkeit des übertragenen Drehmomentes, der schnellen Reaktionszeit und dem geringen Verschleiß.
3. Durch eine Fluidzirkulation kann die Entmischung der MRF aufgrund von Zentrifugalkräften verhindert werden. Eine nicht zu kleine Spaltdicke ist Bedingung für eine ausreichende Fluidzirkulation.
4. Eine Abdichtung von MRF-Kupplungen mit Hilfe von Permanentmagneten ist möglich, da MRF magnetisierbar sind und da sie aufgrund ihres Binghamverhaltens eine Schubspannung auch ohne Schergeschwindigkeit ertragen können. Eine derartige Abdichtung arbeitet reibungs- und verschleißfrei.
5. Aufgrund des Binghamverhaltens der MRF können wesentlich höhere Drücke ertragen werden, als in Ferrofluidichtungen.
6. Die Anwendung von MRF im Schermodus bietet zur Drehmomentübertragung in Kupplungen gegenüber dem Fließmodus den entscheidenden Vorteil eines wesentlich geringeren Leerlaufdrehmomentes.
7. Analog zur Newtonschen Reibung wurde ein dreidimensionales Binghammodell abgeleitet, welches zum Ausgangspunkt hat, daß sich bei MRF entlang des Magnetfeldes Partikelketten bilden, auf die bei Auslenkung gegenüber dem Magnetfeld ein rückdrehendes Drehmoment wirkt. Dieses rückdrehende Drehmoment ist verantwortlich für die Ausbildung einer Scherspannung. Die mit diesem Modell abgeleiteten Drehmomentübertragungsgleichungen wurden experimentell bestätigt.

8. Bis zu einer Grenzreynoldszahl, die mit  $Re_{\text{Grenz}} = 750$  bestimmt wurde, ist ein lineares Geschwindigkeitsprofil zwischen den Drehmomentübertragungsscheiben anzutreffen. Darüber hinaus wird es quadratisch.
9. Durch Anlegen eines Magnetfeldes kann das Geschwindigkeitsprofil linearisiert werden.
10. Zur Reynoldszahlbestimmung oberhalb von  $Re_{\text{Grenz}}$ , die mit der dynamischen Viskosität der MRF ermittelt wurde, ist die scheinbare Viskosität der MRF, welche den Einfluß des Magnetfeldes berücksichtigt, anzuwenden. In der Größe der damit erhaltenen Reynoldszahl spiegelt sich wider, daß der Bereich des linearen Geschwindigkeitsprofils und damit auch der Gültigkeitsbereich der abgeleiteten Drehmomentübertragungsgleichungen schon unter schwachen Magnetfeldern sehr stark ausgeweitet wird.
11. Die Richtigkeit der abgeleiteten Drehmomentübertragungsgleichungen wurde experimentell bestätigt, indem aus den gemessenen Drehmomenten auf die Stoffwerte der MRF rückgerechnet und dabei Werte ermittelt wurden, die unabhängig von Drehzahl und Geometrie sind.
12. Es gibt einen nur von der Kupplungsgeometrie abhängigen Verdrehwinkel, bei dem das im festen MRF-Zustand übertragbare Drehmoment ein Maximum besitzt. Die Berechnung dieses Winkels wurde erstmals gezeigt.
13. Trotz der Tatsache, daß die statische Grenzscherspannung höher als die dynamische ist, kann es bei bestimmten Radienverhältnissen der MRF-Kupplung zu dem Fall kommen kann, daß das maximale statische Drehmoment geringer als das minimale dynamische Drehmoment ist. Dies bestätigt die Richtigkeit der zur Ableitung der Drehmomentübertragungsgleichungen gemachten Annahme, daß die übertragene Schubspannung im festen MRF-Zustand linear mit dem Radius wächst, während im flüssigen MRF-Zustand die Grenzscher Schubspannung der MRF über dem Radius konstant durch die Übertragungsflächen weitergeleitet wird.
14. Beim Rückfahren einer Kupplungsbelastung bleibt eine remanente Verformung der MRF zurück, deren Größe von der vorher erreichten Maximallast und der angelegten Feldstärke abhängt.
15. MRF besitzen keinen von der Verformung unabhängigen durch die Feldstärke steuerbaren Schubmodul.
16. MRF können eine Last ohne meßbares Kriechen ertragen.

17. Die Einflüsse auf die Schaltzeiten von MRF-Kupplungen wurden theoretisch analysiert und experimentell ermittelt. Durch eine geblechte Ausführung des Magnetkreises ist eine wesentlich stärkere Verkürzung der Schaltzeit zu erzielen, als durch den Einsatz hochwertigerer Ansteuerungselektronik.
18. MRF-Kupplungen haben einen anwendungsreifen Entwicklungsstand erlangt und sind anderen Kupplungsarten bezüglich einfacher und reproduzierbarer Steuerbarkeit des übertragenen Drehmomentes und hinsichtlich extrem kurzer Schaltzeit überlegen.

Dresden im Januar 2000