

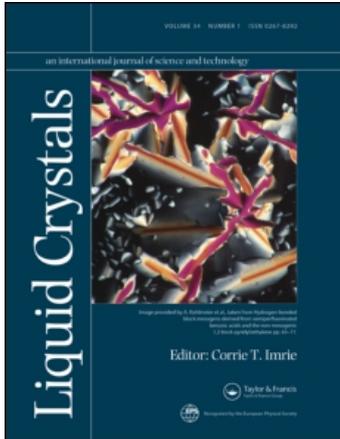
This article was downloaded by:

On: 26 January 2011

Access details: *Access Details: Free Access*

Publisher *Taylor & Francis*

Informa Ltd Registered in England and Wales Registered Number: 1072954 Registered office: Mortimer House, 37-41 Mortimer Street, London W1T 3JH, UK



Liquid Crystals

Publication details, including instructions for authors and subscription information:

<http://www.informaworld.com/smpp/title~content=t713926090>

Eine neue Anwendung flüssiger Kristalle in der Tribologie

Von R. Eidenschink^a

^a Nematel, Mainz, F. R. G.

To cite this Article Eidenschink, Von R.(1989) 'Eine neue Anwendung flüssiger Kristalle in der Tribologie', *Liquid Crystals*, 5: 5, 1517 – 1521

To link to this Article: DOI: 10.1080/02678298908027788

URL: <http://dx.doi.org/10.1080/02678298908027788>

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE

Full terms and conditions of use: <http://www.informaworld.com/terms-and-conditions-of-access.pdf>

This article may be used for research, teaching and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, re-distribution, re-selling, loan or sub-licensing, systematic supply or distribution in any form to anyone is expressly forbidden.

The publisher does not give any warranty express or implied or make any representation that the contents will be complete or accurate or up to date. The accuracy of any instructions, formulae and drug doses should be independently verified with primary sources. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

Eine neue Anwendung flüssiger Kristalle in der Tribologie

von R. EIDENSCHINK

Nematel, D-6500 Mainz 42, F.R.G.

In einem mit *trans,trans*-4-Methoxy-4'-pentyl-bicyclohexyl (1) geschmierten Gleitlager wurde im Temperaturbereich des Überganges zwischen der nematischen und der S_B -Phase ein steiler Anstieg des Reibungsmomentes gemessen. Die Ergebnisse lassen erwarten, daß die schnelle und reversible Änderungen tribologischer Eigenschaften bei Phasenumwandlungen flüssiger Kristalle im Maschinenbau vorteilhaft anwendbar sind. Kleinere Reibungsmoment in der S_B -Phase ergaben sich nach Dotieren von 1 mit 4-Pentyl-benzoesäure. Entsprechende Messungen mit 2,3,7,8,12,13-Hexakis[decanoyloxy]truxen im Temperaturbereich des Übergangs zwischen der Reentrant- N_D -phase und der columnaren phase zeigten bei Temperaturerhöhung eine geringe Erhöhung des Reibungsmomentes.

A novel application of liquid crystals in tribology

A steep increase of the friction moment of a plain bearing lubricated with *trans,trans*-4-methoxy-4'-pentyl-bicyclohexyl (1) was measured in the temperature range of its transition between the nematic and the S_B phase. The results give rise to the expectation that the fast and reversible change of tribologic properties occurring at liquid crystal phase transitions will have advantageous applications in engineering. Smaller friction moments in the S_B phase were obtained after doping 1 with 4-pentylbenzoic acid. Corresponding measurements with 2,3,7,8,12,13-hexakis[decanoyl]truxene in the temperature region of the transition between the reentrant N_D and the columnar phase showed a small increase of the friction moment with increasing temperature.

1. Einleitung

Thermotrope flüssige Kristalle haben in den letzten 20 Jahren aufgrund ihrer besonderen optischen und elektrischen anisotropen Eigenschaften einen Umbruch in der Displaytechnik bewirkt. Eine wichtige Voraussetzung für den eingetretenen Erfolg war der geringe Energieverbrauch solcher Anzeigen. Die Ausnutzung der Eigenschaften thermotroper flüssiger Kristalle in mechanischen Uhrwerken, und zwar innerhalb einer einzigen flüssigkristallinen Phase, ist bereits erwogen worden [1]. Offensichtlich hat man bisher die Möglichkeiten der Anwendungen im Maschinenbau, die sich dadurch ergeben, daß sich während eines durch Temperatur- oder Druckänderung herbeigeführten Phasenüberganges die tribologischen Eigenschaften flüssigkristalliner Schichten ändern, übersehen. Erst im Frühjahr 1988 wurde auf der Grundlage der hier berichteten Arbeiten eine wassergekühlte Bremse, die sich die Änderung der effektiven Viskosität beim Phasenübergang von nematisch zu smektisch B zunutze machte, in einer Pressemitteilung vorgestellt. In dieser Arbeit soll am Beispiel eines einfachen Gleitlagers demonstriert werden, welche Variationen des Reibmoments in Abhängigkeit von der Temperatur des im Reibungsspalt befindlichen Flüssigkristalls möglich sind.

Hydrodynamisch geschmierte Radial-Gleitlager sind Maschinenelemente mit der Aufgabe, auf konstruktiv einfache Weise Verschleiß und Reibungsverluste niedrig zu halten. Die die Gleitbewegung charakterisierende Reibungszahl μ ist der Quotient aus

dem Reibungsmoment und dem Arbeitsmoment. Die Abhängigkeit von μ von der Drehzahl, der Lagerbelastung, dem Lagerspiel, der Viskosität des Schmiermittels und der Oberflächenbeschaffenheit der beteiligten Werkstoffe ist altbekannt und für herkömmliche Öle wohluntersucht [2]. Von praktischer Bedeutung ist besonders der von der Drehzahl abhängige Übergang von der Mischreibung zur reinen hydrodynamischen Flüssigkeitsreibung. Der Versuch einer mathematischen Beschreibung der hydrodynamischen Verhältnisse für flüssigkristalline Systeme in Abhängigkeit von Temperatur und Druck erscheint angesichts der Komplexität des Problems aussichtslos.

2. Meßverfahren

Für die Messungen wurde eine Anordnung (Abbildung 1) aus einer temperierbaren Schlifffhülse aus Duranglas und einer auf einer Länge von 70 mm geführten Welle aus dem gleichen Material mit einem Durchmesser von 10 mm (Schott Glaswerke, Mainz, F.R.G.) und einem mittleren Lagerspiel von $5\ \mu\text{m}$ (Angabe des Herstellers) benutzt. Nach dem Spülen der Glasoberfläche mit Aceton wurde der Zwischenraum mit einer von Luftblasen freien Schicht der flüssigkristallinen Verbindung versehen. Die Welle wurde über ein Stück starkwandigen Gummischlauch mit einem drehzahlregelbaren Motor verbunden und lief auf zwei Kugellagern mit einer Drehfrequenz von 1,0 Hz. Der Mantel mit Ein- und Auslaß für die Temperierflüssigkeit trug eine Vorrichtung zur Fixierung zweier Stahlstangen (wirksame Hebellänge $r = 120\ \text{mm}$). Die durch Reibung übertragene Kraft F wurde durch eine Waage mit Laufgewichten kompensiert. Die Masse der Hülse mitsamt der Temperierflüssigkeit und Hebelvorrichtung betrug 190 g. Die Temperierung erfolgte über einen Thermostaten. Unmittelbar vor jeder Messung wurde die Schlauchverbindung zum Thermostaten gelöst. F wurde innerhalb von 10 bis 20 s nach Anstellen des Motors abgelesen. Aus der Hebellänge und der Kraft F wurde das Reibungsmoment $M = Fr$ berechnet.

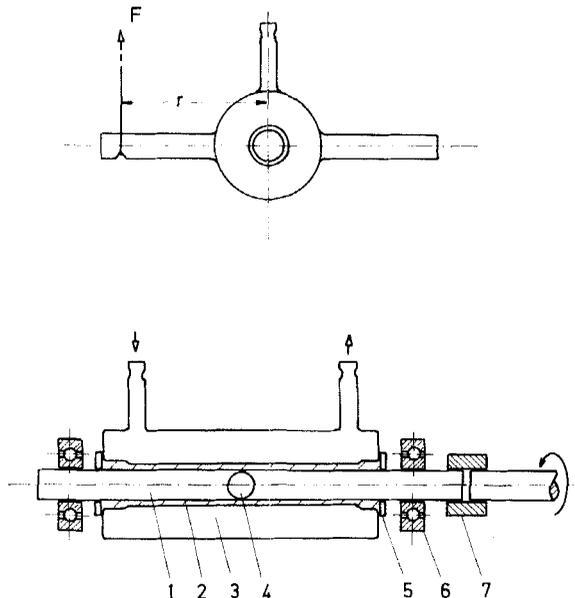
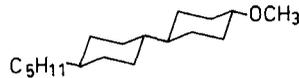


Abbildung 1. Anordnung zur Bestimmung des Reibungsmoments. 1, Glaswelle; 2, Hülse mit Temperiermantel; 3, Flüssigkristall; 4, Hebelansatz; 5, Teflonscheibe; 6, Kugellager; 7, elastische Verbindung zum Antrieb.

Die beschriebene Meßmethode erlaubt nur eine Abschätzung der Temperatur in der flüssigkristallinen Schicht. Um zu große Verfälschungen im Bereich großer Reibungszahlen zu vermeiden, wurde für diese Experimente eine besonders niedrige Drehfrequenz gewählt.

3. Meßergebnisse und Diskussion

Die Änderung des Reibungsmomentes bei einem durch Temperaturänderung herbeigeführten Phasenübergang von nematisch (N) nach smektisch B (S_B) wurde für die Verbindung



1

trans,trans-4-Methoxy-4'-pentyl-bicyclohexyl [3]

K 285 S_B 302 N 310 I [K]

gemessen.

Die Abhängigkeit des Reibungsmoments von der Temperatur ist in Abbildung 2 wiedergegeben. Kurve 1 wurde mit reinem 1 erhalten. Offensichtlich befand sich das Lager bei den vorliegenden Bedingungen—zumindest in der nematischen Phase—im Bereich der Mischreibung, wie durch eine einfache Abschätzung [2] zu zeigen ist. In einem ausschließlich im Bereich der Flüssigkeitsreibung arbeitenden Lager dürften die Unterschiede zwischen den Reibungsmomenten für den nematischen und den smektischen Bereich viel höher liegen. Dies soll Gegenstand gesonderter tribotechnischer Messungen sein. Die Meßpunkte in Abbildung 2 wurden von hohen nach tiefen Temperaturen hin aufgenommen. Einige danach im Bereich der höheren Temperaturen gemessene Werte ließen keinen Schluß auf eine Hysterese zu. Kurve 2 ergab sich nach Zumischung von 1,0% 4-Pentyl-benzoesäure zu 1. Die Wirkungsweise der

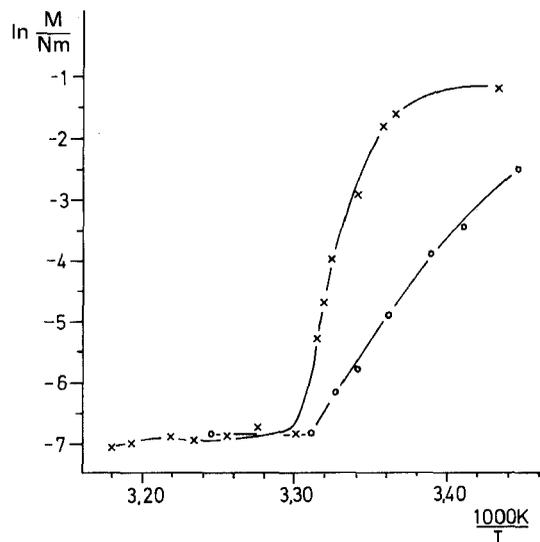
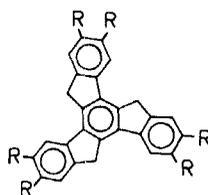


Abbildung 2. Logarithmus des Reibungsmoments M als Funktion der reziproken Temperatur $1/T$. Kurve 1, Verbindung 1; Kurve 2, Verbindung 1 mit 1% 4-Pentyl-benzoesäure.

polaren Verbindung, die bekanntlich in nematischen Phasen eine Senkrechtorientierung verursacht, konnte noch nicht vollständig geklärt werden. Möglicherweise wird die bevorzugte molekulare Anordnung in der Nähe der Oberfläche beibehalten, wenn nach dem Beschichtungsvorgang von der nematischen in die S_B -Phase abgekühlt wird, so daß sich Gleitebenen senkrecht zu den geordneten Schichten ausbilden können. Daneben wirkt sich sicherlich eine durch den Zusatz verursachte Verbreiterung des Phasenüberganges von S_B nach nematisch aus. Der Einfluß verschiedener Orientierungen auf das Reibungsmoment im nematischen Bereich könnte vermutlich erst unter rein hydrodynamischen Bedingungen herausgearbeitet werden.

Besonders interessant, im Hinblick auf mögliche Anwendungen in sog. Viskokupplungen [4], erschien die Untersuchung einer Verbindung, die das Reentrant-Verhalten zeigt, weil der zu erwartende positive Wert für den Temperatur-Viskositäts-Koeffizienten eine enorme anwendungstechnische Perspektive hat. Das kürzlich beschriebene [5] 2,3,7,8,12,13-Hexakis[decanoyloxy]truxen hat eine besonders breite reentrant N_D -Phase unterhalb des Temperaturbereichs einer discoid-columnaren Phase.



2

K 340 N_D 357 D 411 D' 566 I [K]

Die nach o.a. Meßmethode bei 343 und bei 368 K mit **2** erhaltenen Meßwerte zeigten eine interessante Erhöhung des Reibungsmoments, allerdings nur um den Faktor 2–3. Wegen dieses geringen Unterschiedes einerseits und der besonders hohen Ungenauigkeit der Temperaturmessung in diesem Bereich andererseits wurde auf die Messung einer vollständigen Kurve für **2** verzichtet. Die vorstehenden Ergebnisse lassen jedoch die Hoffnung zu, daß die mit einem Phasenübergang verbundenen Änderungen der tribologischen Eigenschaften groß genug für eine breite Anwendung im Maschinenbau sind.

Außer der gezeigten Wahlmöglichkeit zwischen Gleitlager und effektiver Bremse ist die Anwendung des Prinzips in Kupplungen, in denen die Wärmeab- oder -zufuhr z.B. durch Peltier-Elemente erfolgen kann, möglich. Von Vorteil dürfte auch die abgestufte Einstellung von effektiven Viskositäten in Gleitlagern sein: in Ausnutzung bekannter Zusammenhänge zwischen der Übergangsdrehfrequenz von Misch- nach Flüssigkeitsreibung und der Viskosität des Schmiermittels kann zur Herabsetzung von Abrieb bei niedrigen Drehzahlen eine hohe Viskosität und zur Verminderung der Flüssigkeitsreibung bei hohen Drehzahlen eine niedrige Viskosität eingestellt werden. Mit der Temperatur könnte die jeweils günstigste Stribeck-Kurve [2] gewählt werden. Hier böten sich auch Phasenübergänge zwischen der nematischen oder isotropen und weniger hoch geordneten smektischen Phasen, wie S_A und S_C , an.

4. Einschränkungen der Anwendbarkeit

Allgemein verlaufen Umwandlungen zwischen thermotropen flüssigkristallinen Phasen und zwischen der isotropen und einer flüssigkristallinen Phase schnell,

reversibel und mit geringen Umwandlungsenthalpien. Dies ist als Vorteil bei der Anwendung in mechanischen Bauelementen anzusehen. Bei dem hier angewendeten Phasenübergang durch Herbeiführung einer Temperaturänderung ist allerdings zu berücksichtigen, daß die Temperatur des Lagers ebenfalls geändert werden muß. Für das Ansprechen sind Wärmekapazität und -leitfähigkeit des Lagers die geschwindigkeitsbestimmenden Größen.

Von den den zu verwendenden flüssigkristallinen Verbindungen oder Mischungen sind folgende Voraussetzungen zu erfüllen.

- (a) Sie müssen die eingesetzten Werkstoffe benetzen. In orientierenden Versuchen konnte festgestellt werden, daß **1** und seine zur Verfügung stehenden Homologen sowie die besonders interessant erscheinenden 4,4'-Dialkyl-biphenyle sowohl Stahl als auch Messing gut benetzen.
- (b) Sie müssen gegenüber Scherwirkung, Autoxidation, Feuchtigkeitseinflüssen und Intrusion von Verunreinigungen unempfindlich sein. Das empfindliche Ansprechen der Temperaturen von Phasenübergängen in Flüssigkristallen auf Verunreinigungen erfordert hier besondere Vorsicht. Die in herkömmlichen Breitbereichölen mit Polymerzusatz beobachteten mechanochemische Reaktionen sind bei niedermolekularen Verbindungen, von denen hier die Rede ist, zu vernachlässigen [6]. Der Einfluß von Oxidationsreaktionen kann durch Zugabe eines Antioxidants (z.B. 2,6-Di-*tert.*-butyl-4-hydroxy-toluol), die Beschränkung auf niedrige Betriebstemperaturen und nicht zuletzt durch eine geeignete Wahl der flüssigkristallinen Verbindungen in Grenzen gehalten werden. Auch Hydrolysereaktionen können bei richtiger Wahl der Struktur des Flüssigkristalls ausgeschlossen werden. Allerdings ist beobachtet worden, daß eine Einschleppung von als Temperierflüssigkeit dienendem Wasser in den Schmierpalt der Meßanordnung bei der Untersuchung der Verbindung **1** zu einer Verkleinerung der Werte für den Reibungsmoment im Bereich der smektischen Phase führt. Möglicherweise bilden sich mit Wassermolekülen belegte Gleitschichten aus. Es ist zu erwarten, daß sich der Effekt mit polarerer Verbindungen vermeiden läßt.
- (c) Sie müssen wirtschaftlich herstellbar sein. Dies erscheint möglich zu sein. So sind bekanntermaßen viele Verbindungen mit S_B-Phasen relativ einfach zu synthetisieren.

Literatur

- [1] COGNARD, J., 1983, Demande de Brevet European 0092382.
- [2] VOGELPOHL, G., 1954, *Z. VDI*, **96**, 261.
- [3] EIDENSCHINK, R., GRAY, G. W., TOYNE, K. J., und WÄCHTLER, A. E. F., 1988, *Molec. Crystals liq. Crystals Lett.*, **5**, 171.
- [4] PESCHKE, W., 1986, *SAE Tech. Paper Ser.* 860386 (Detroit).
- [5] NGUYEN HUU TINH, FOUCHER, P., DESTRADE, C., LEVELUT, A. M., und MALTHETE, J., *Molec. Crystals liq. Crystals*, **111**, 277. WARMERDAM, T., 1987, Dissertation, Universität Utrecht.
- [6] WISSUSSEK, D., 1975, Dissertation, Technische Universität Hannover.