

03;12

©1995

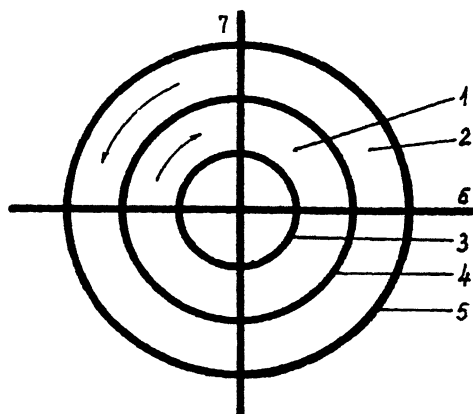
ОБ ОДНОМ ИЗ ВОЗМОЖНЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МЕХАНИЗМОВ СМАЗОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ НЕМАТИКОВ (ХОЛЕСТЕРИКОВ)

А.А.Шепелевский, Б.М.Гинзбург

Природа смазочной способности жидких кристаллов (ЖК) привлекает в последнее время все большее внимание исследователей [1]. Пробелы в понимании структурных механизмов смазочного действия ЖК в трибоконтактах требуют проведения дополнительных экспериментов. Поскольку процесс смазывания определяется многими переменными (тип ЖК, параметры режима смазывания и трения и т.п.), постольку необходимо выяснение конкретных молекулярных механизмов смазочного процесса, реализуемых в том или ином случае. Одновременно в физике ЖК накопилось большое количество теоретических и экспериментальных результатов, связанных с ориентационными переходами и диссипативными структурами, возникающими в различных силовых полях [2,3]. Мы предполагаем, что аналогичные переходы и структуры могут иметь место при протекании ЖК в микрозорах трибоконтактов и играть существенную роль в микромеханизмах смазочного действия мезогенных веществ.

В данной работе проводится аналогия между работой пары трения скольжения типа вал-втулка, смазываемой ЖК веществом, и результатом электрооптического эксперимента на холестерическом ЖК. Эта аналогия позволяет выявить один из возможных молекулярных механизмов смазывания нематическими (холестерическими) ЖК веществами трущихся поверхностей в реальных парах трения. В электрооптическом эксперименте электрогидродинамическая неустойчивость (ЭГДН) полимерного холестерического ЖК рассматривается как модель указанной пары трения. В ней выделяются элементы этой пары — “вал” и “втулка”, выделяется “смазочный слой” и показывается, какова в нем ориентация молекул ЖК.

Ранее нами сообщалось [4], что в холестерических растворах полипептида поли- γ -бензил-L-глутамата, помещенных в плоский прозрачный электрический конденсатор с зазором в 250 мкм в электрических полях, можно наблюдать (с помощью поляризационного микроскопа) необычный тип



Схематическое изображение микрокартины лиотропного холестерика поли- γ -бензил-L-глутамата, приведенной в [4]. 1 и 2 — широкие и светлые кольца вещества; стрелками указано направление их вращения; 3, 4, 5 — узкие и темные кольца вещества; 6 и 7 — плоскости пропускания поляридов.

ЭГДН в виде концентрических кольцевых микровихрей. На рисунке приведена схема части такой структуры, состоящей из двух широких колец 1, 2 и узких колец 3, 4, 5, отделяющих кольца 1 и 2 друг от друга и от соседних широких колец, не указанных на рисунке. Число наблюдаемых в эксперименте вращающихся широких концентрических колец доходило до трех, не считая центрального пятна и захватывая большие области образца. При этом каждые два соседних широких кольца вращались в разные стороны и были разделены узким кольцом. При наблюдении в скрещенных поляроидах микроскопа (что позволяло определить ориентацию молекул ЖК) широкие кольца выглядели как светлые вращающиеся области, а узкие кольца — как темные области, ширина которых в несколько раз меньше, чем ширина широких. Для целей данной статьи достаточно рассмотреть лишь кольца 1, 2, 4.

Выделим характерные черты наблюдавшейся микрокартины, схема фрагмента которой приведена на рисунке.

1. Кольца 1 и 2 вращаются в противоположные стороны каждое как целое.

2. Ориентация молекул в кольцах 1 и 2 планарная, совпадает с плоскостью вращения колец (и с плоскостью рисунка).

3. Между широкими кольцами 1 и 2 имеется переходное кольцо 4, ширина которого в несколько раз меньше, чем ширина широких колец, а ориентация молекул ЖК в нем го-

меотропна, перпендикулярна плоскости вращения широких колец (и плоскости рисунка).

Если рассматривать представленную мгновенную картину в динамике, то она напоминает пару трения скольжения типа вал-втулка, аналогию с которой мы и проводим. "Валом" здесь является кольцо 1, "втулкой" — кольцо 2. То обстоятельство, что и "вал", и "втулка" одновременно вращаются, не имеет принципиального значения. Важно лишь их вращение друг относительно друга, которое определяет поведение молекул вещества в кольце 4. Тонкое переходное кольцо 4 между ними играет роль "смазочного слоя" в этой "паре трения" и является предметом нашего рассмотрения.

Как следует из пунктов 2 и 3, ориентация молекул в "вале" 1 и "втулке" 2, с одной стороны, и в тонком "смазочном слое" 4, с другой — различна. "Смазочный слой" находится в сдвиговом гидродинамическом поле, образуемом вращающимися в противоположных направлениях "валом" и "втулкой". Это гидродинамическое поле приводит не только к поступательному, но главным образом к вращательному движению молекул "смазочного слоя". Если учесть, что молекулы поли- γ -бензил-L-глутамата, образующие жидкокристаллический порядок, находились в спиральной молекулярной конформации, что позволяет моделировать их жестким молекулярным стержнем, то вращение молекул в "смазочном слое" — это вращение молекулярных стержней. Вращение стержня энергетически выгоднее вокруг продольной оси, нежели вокруг поперечной. Именно это обстоятельство и приводит к гомеотропной, перпендикулярной плоскости вращения ориентации молекул "смазочного слоя", в то время как в "вале" и во "втулке" молекулы лежат в плоскости вращения.

В некоторой мере гомеотропной ориентации молекул "смазки" способствует и внешнее электрическое поле, приводящее к данной ЭГДН, однако оно является лишь дополнительным способствующим, но отнюдь не определяющим ориентацию молекул "смазочного слоя", фактором. Основным фактором, определяющим ориентацию молекул в этом слое, является гидродинамика процесса. В противном случае основная масса ЖК, содержащаяся в "вале" и "втулке", была бы так же ориентирована, как и в "смазке". Мы же наблюдаем как раз обратное: ориентация молекул в этих частях ЭГДН наименее энергетически выгодна, если рассматривать статическую ориентацию молекул в электрическом поле. Кроме того, в другой геометрии опыта [5] такая гомеотропная ориентация возникала перпендикулярно электрическому полю, из чего следует, что ориентация молекул "смазки" определяется гидродинамикой процесса, а не направлением электрического поля.

Исходя из сказанного, можно утверждать, что при движении “вала” и “втулки” в противоположных направлениях молекулы или молекулярные агрегаты “смазочного слоя” вращаются вокруг своей продольной оси наподобие роликов в роликовом подшипнике. Такой молекулярный механизм смазывания холестериком (или нематиком), образованным стрежневидными молекулами, реальных твердых трущихся поверхностей условно назовем “роликовым”, в отличие от другого молекулярного механизма смазывания нематиками, при котором происходит проскальзывание вдоль молекулярных стержней. Реализация того или иного из этих механизмов при использовании ЖК в трибопроцессе может зависеть, как уже было сказано, от параметров самого трибопроцесса. Выяснение условий, при которых “работает” предложенная молекулярная модель смазывания, является следующим этапом этой работы.

Список литературы

- [1] *Аэро Э.Л., Бессонов Н.М.* В кн.: “Итоги науки и техники”. Сер. “Механика жидкости и газа”. Т. 23. 1989. С. 237.
- [2] *Блинов Л.М.* Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М., 1978. 384 с.
- [3] *Пикин С.А.* Структурные превращения в жидких кристаллах. М., 1981. 336 с.
- [4] *Гинзбург Б.М., Алумян Ю.А., Шепелевский А.А.* Высокомолекулярные соединения. 1990. Т. Б32. В. 3. С. 202–204.
- [5] *Шепелевский А.А., Алумян Ю.А., Гинзбург Б.М., Овсянникова Л.А., Власов Г.П., Френкель С.Я.* Высокомолекулярные соединения. 1986. Т. А28. В. 8. С. 1614–1619.

Институт проблем машиноведения
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
26 октября 1994 г.