

ВЯЗКОУПРУГАЯ РЕЛАКСАЦИЯ НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ В ОБЛАСТИ ИЗОТРОПНО-НЕМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА

Л.И. Мартянова, С.В. Чумакова

Показывается, что модуль сдвига и сдвиговая вязкость в частотном диапазоне $70 \div 300$ кГц в области изотропно-нематического перехода МБА и ЖК-440 релаксируют. Результаты интерпретируются на основании теории релаксации параметра ближнего порядка де Жена в изотропной фазе нематических жидких кристаллов.

Исследование температурной зависимости сдвигового импеданса методом крутильных колебаний [1] в жидкокристаллических МБА и ЖК-440 показало, что действительная R и мнимая X составляющие импеданса отличаются по величине ($R \neq X$) лишь в области изотропно-нематического перехода, а в изотропной и нематической фазах модуль сдвига $G = (R^2 - X^2)/\rho$ (ρ – плотность жидкого кристалла) равен нулю. В исследованном нами частотном диапазоне $70 + 300$ кГц модуль сдвига в области изотропно-нематического перехода зависит от частоты; сдвиговая вязкость $\eta = 2RX/\omega\rho$ (ω – циклическая частота) в изотропной фазе вблизи температуры изотропно-нематического перехода ниже статической вязкости η_0 , измеренной капиллярным методом (рис. 1). Зависимость модуля сдвига и сдвиговой вязкости от частоты указывает на вязкоупругую релаксацию в области изотропно-нематического перехода.

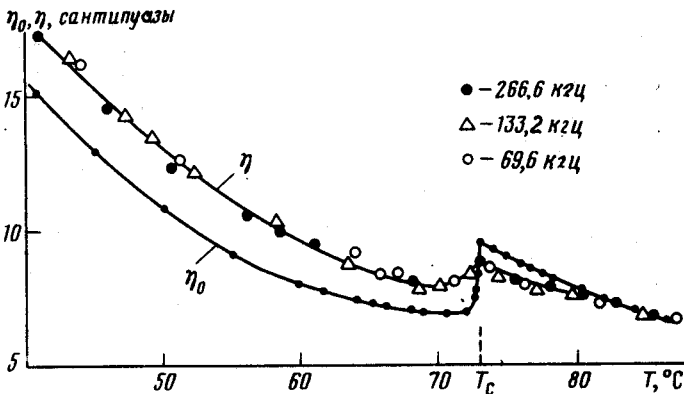


Рис. 1. Температурная зависимость сдвиговой вязкости η и статической вязкости η_0 ЖК-440 на частотах 69,6 кГц, 133,2 кГц и 266,6 кГц

Для исследованной области частот модуль сдвига пропорционален корню квадратному из частоты. Это означает, что частота релаксации должна быть выше данного частотного диапазона. Для обоих исследованных веществ характерно, что модуль сдвига достигает максимума в точке просветления T_c и уменьшается до нуля через $4 \div 5^\circ\text{C}$ от точки просветления.

Релаксация модуля сдвига $G(\omega)$ и сдвиговой вязкости $\eta(\omega)$ описывается статистической теорией де Жена [2] соотношениями:

$$G(\omega) = \frac{2\mu^2\Gamma}{\nu\left(1 + \frac{\Gamma^2}{\omega^2}\right)}, \quad (1)$$

$$\eta(\omega) = \eta_0 - \frac{2\mu^2}{\nu\left(1 + \frac{\Gamma^2}{\omega^2}\right)}, \quad (2)$$

где Γ — частота релаксации параметра ближнего порядка, η_0 , μ , ν — величины, имеющие размерность коэффициентов вязкости.

Величина $2\mu^2/\nu$ стремится к $\eta_0 - \eta(\omega)$ при $\omega \rightarrow \infty$. С ростом температуры эта величина, рассчитанная из (1) и (2) для обоих веществ, уменьшается (рис. 2).

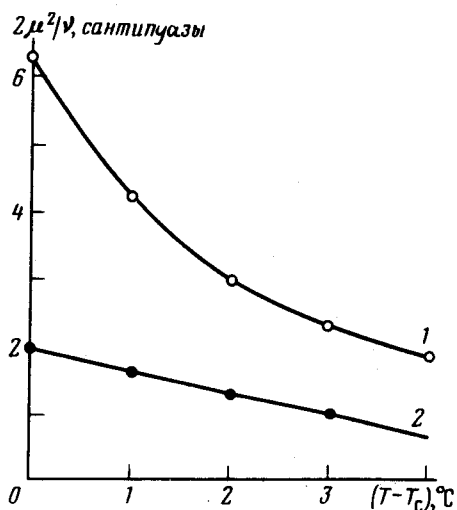


Рис. 2. Температурная зависимость $2\mu^2/\nu$ МББА (1) и ЖК-440 (2)

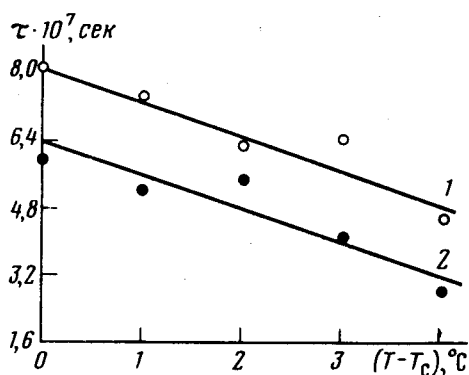


Рис. 3. Температурная зависимость времени релаксации τ МББА (1) и ЖК-440 (2)

Температурная зависимость времени релаксации τ , рассчитанная из частотной зависимости модуля сдвига $G(\omega)$ для МББА и ЖК-440 показана на рис. 3. Время релаксации с ростом температуры убывает с

$0,81 \cdot 10^{-6}$ сек при $(T - T_c) = 0^\circ\text{C}$ до $0,46 \cdot 10^{-6}$ сек при $(T - T_c) = 4^\circ\text{C}$ в МББА и с $0,59 \cdot 10^{-6}$ сек до $0,28 \cdot 10^{-6}$ сек соответственно, для ЖК-440. Частота релаксации Γ близка по величине к исследованному частотному диапазону. Таким образом, вязко-упругая релаксация имеет большие времена релаксации по сравнению с временами релаксации объемной вязкости (10^{-8} сек) [3].

Этот вывод находится в соответствии с теорией релаксации параметра ближнего порядка в изотропной фазе, созданной де Женом для нематических жидких кристаллов [2]. Параметр ближнего порядка де Жена вводит для характеристики размеров анизотропных групп молекул $\xi(T)$ в изотропной жидкости и определяет его анизотропной частью тензора диамагнитной восприимчивости. Температурная зависимость размеров анизотропных групп оценивается соотношением

$$\xi(T) = (L/\Gamma\nu)^{1/2}, \quad (3)$$

где L — коэффициент упругости, равный для МББА $2,3 \cdot 10^{-6}$ дн [4].

Пользуясь нашими экспериментальными данными и данными [5], мы нашли, что $\xi(T)$ уменьшается с ростом температуры.

Вещество	$\xi(T)$ при $T - T_c = 0^\circ\text{C}$	$\xi(T)$ при $T - T_c = 4^\circ\text{C}$
МББА	250 Å	170 Å
ЖК-440	200 Å	140 Å

Для ЖК-440 мы использовали те же значения L и ν , что и для МББА.

В нематической фазе сдвиговая вязкость $\eta(\omega)$ выше статической η_0 у ЖК-440 и ниже статической у МББА. Это объясняется различной ориентацией молекул МББА и ЖК-440 поверхностью стекла. Наши оптические наблюдения показали, что молекулы МББА ориентируются перпендикулярно к поверхности стекла, а молекулы ЖК-440 — параллельно. Глубина проникновения $\delta = (\eta/\omega\rho)^{1/2}$ в жидкий кристалл сдвиговой ультразвуковой волны, излучаемой стеклянным стержнем, в частотном диапазоне $70 + 300$ мГц того же порядка, что и расстояние, на котором проявляется ориентирующее действие стенки. Молекулы МББА в звуковом поле направлены вдоль градиента скорости сдвига, а молекулы ЖК-440 перпендикулярны и потоку, и градиенту скорости. Согласно [6] сдвигая вязкость ЖК-440 соответствует максимальному значению коэффициента вязкости, а сдвиговая вязкость МББА близка к минимальному.

В используемом капиллярном вискозиметре расстояние, на котором проявляется ориентирующее действие стенки, намного меньше диаметра капилляра ϕ 0,73 мм, и при скорости потока порядка 20 сек $^{-1}$ не создается полной ориентации молекул в направлении потока. Возможно, поэтому статическая вязкость η_0 принимает промежуточное значение между максимальным и минимальным значениями коэффициентов вязкости.

Литература

- [1] Н.И.Кошкин, А.А.Табидзе, С.В.Чумакова. Сб. докладов 1 Всесоюзного симпозиума по акустооптической спектроскопии, 1976, Ташкент.
 - [2] P.G. de Gennes. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 12, 193, 1971.
 - [3] А.П.Капустин, Л.И.Мартьянова. *Кристаллография*, 16, 649, 1970.
 - [4] T.W.Stinson, J.D.Litster. *Phys. Rev. Lett.*, 25, 503, 1970.
 - [5] P.Martinoty, S.Candau. *Phys. Rev. Lett.*, 27, 1123, 1971.
 - [6] P.Martinoty, S.Candau. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 14, 243, 1971.
-