

6. Космодамианский А. С. Новый приближенный метод определения напряжений в анизотропной пластинке с криволинейным отверстием.— В кн.: Некоторые задачи теории упругости о концентрации напряжений и деформации упругих тел. Вып. 2. Саратов, изд. Саратов. ун-та, 1965.
7. Меглинский В. В. Некоторые задачи изгиба тонких многосвязных анизотропных плит.— В кн.: Некоторые задачи теории упругости о концентрации напряжений и деформации упругих тел. Вып. 3. Саратов, изд. Саратов. ун-та, 1967.
8. Мартынович Т. Л., Божидарник В. В., Максимович Ю. М. Влияние эксцентриситета подкрепления края отверстия на напряженное состояние в анизотропной пластинке.— «Механика полимеров», 1974, № 2.
9. Привалов И. И. Введение в теорию функций комплексного переменного. М., ГИТТЛ, 1954.

УДК 535.854 : 531 787

### ТЕМПЕРАТУРНОЕ ВЛИЯНИЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭФФЕКТОВ НОРМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

*А. А. Шарц**(Москва)*

Сейчас можно считать установленным, что отклонения в поведении жидкостей от предсказываемого классической теорией в первую очередь проявляются в эффектах нормальных напряжений [1]. Для жидкостей со структурной вязкостью, изменяющейся с изменением градиента скорости, эти эффекты (эффекты Вайсенберга [2]) наблюдаются при сравнительно малых градиентах скорости, по ним существует обширный экспериментальный материал [3].

Напротив, для жидкостей, не показывающих изменения вязкости даже при высоких градиентах скорости как в классических [4], так и в более поздних экспериментах, данные по изучению нормальных напряжений при высоких градиентах скорости в литературе отсутствуют. Отсутствие таких экспериментов становится понятным, если принять во внимание, что, в то время как измерение вязкости не предъявляет высоких требований к настройке аппаратуры, изучение нормальных напряжений требует предельно аккуратных поверхностей и тщательной юстировки для понижения динамических погрешностей, что трудно достигается при тех высоких градиентах скорости, когда можно ожидать появления эффектов второго порядка у жидкостей с ньютоновой вязкостью. Влияние непараллельности в установке дисков при торзионном течении изучалось в [5].

Для достижения высоких градиентов скорости в торзионном течении приходится использовать малые зазоры (порядка десяти микрон), что не позволяет применять традиционные методы измерения нормальных напряжений, поскольку и манометрические отверстия и пьезодатчики искажают микрогеометрию зазора.

В работе [6] предложен бесконтактный метод исследования нормальных напряжений в торзионном течении, использующий интерференцию большой разности хода и свойство эпоксидных смол изменять показатель преломления при изменении нагрузки.

Поскольку в массе жидкости, подвергаемой сдвиговому напряжению, генерируется тепло, а интерференционные методы весьма чувствительны к

$t, c$	0	45	90	135	180	225
20	0,818	0,816	0,816	0,819	0,818	0,819
40	1,643	1,642	1,633	1,637	1,638	1,634
60	2,462	2,469	2,460	2,461	2,458	2,453
80	3,295	3,292	3,295	3,286	3,288	3,278
100	4,107	4,112	4,106	4,102	4,098	4,092
120	4,928	4,930	4,926	4,924	4,922	4,912
140	5,758	5,753	5,752	5,740	5,739	5,727
160	6,571	6,572	6,566	6,559	6,549	6,546
180	7,377	7,375	7,371	7,372	7,356	7,348
200	8,177	8,182	8,173	8,162	8,148	8,142
220	8,998	9,000	8,989	8,982	8,970	8,961
240	9,790	9,793	9,787	9,777	9,757	9,755

тепловому смещению оптических поверхностей, необходимо установить степень влияния генерируемого тепла и границы разумного применения метода.

Экспериментально исследовалась зависимость смещения интерференционных полос со временем в области максимального градиента скорости для спирто-глицериновой смеси (20% спирта) при комнатной температуре для зазора  $h = 150$  мкм при

радиусе вращающегося диска  $R = 2,7$  см и угловой скорости  $\omega = 34,6$  рад/с. Фотографирование положения интерференционных полос производилось во время десятисекундных остановок, необходимых для исключения влияния нормальных напряжений на положение полос. Смещение полос измерялось на универсальном микроскопе УИМ-21. Детальная конструкция установки описана в работе [7].

Измеренные (в миллиметрах) положения полос относительно метки вне зазора с интервалами в 45 с вращения приведены в таблице ( $t$  — время,  $n$  — номер полосы от метки), которая в целом дает возможность судить об изменении положения интерференционных полос со временем в результате диссипации энергии в зазоре. Первые три строки цифр относятся к интерференционным полосам, расположенным вдали от зазора и не подверженным влиянию тепла, генерируемого в зазоре, поэтому они могут быть использованы для вычисления погрешности метода.

Относительная погрешность

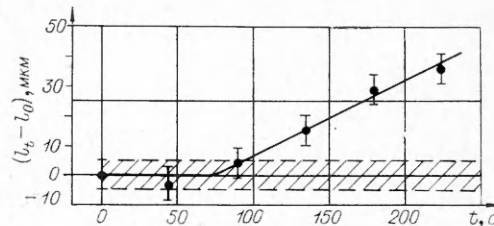
$$\delta \Delta l / \Delta l = 10 / (60 \cdot 41) = 0,004.$$

За погрешность в определении ширины полосы  $\delta \Delta l$  взята максимальная погрешность при измерении положения отдельной полосы (10 мкм), отнесенная к числу полос (60), по которому производится усреднение. Средняя ширина полосы  $\Delta l$  41 мкм.

Последние три строки цифр таблицы относятся к интерференционным полосам, расположенным в области максимального градиента скорости, и их смещение со временем в процессе работы может служить оценкой влияния нагрева вследствие генерации тепла в зазоре.

Согласно классической теории гидродинамики, мощность тепла, выделяемого в единице объема жидкости, равна произведению вязкости  $\eta$  на диссипативную функцию Рэлея. Эту функцию в данном случае можно считать просто пропорциональной квадрату максимального градиента скорости  $\kappa^2$ . Мощность тепла, поступающего через единичную площадку из зазора толщиной  $h$  и нагревающего оптически чувствительный слой, пропорциональна  $\eta \kappa^2 h$ . Поскольку в торсионном течении  $\kappa = \omega R / h$ , полученное тепло  $Q \sim (\eta \omega^2 R^2 / h) t$  линейно растет со временем  $t$ .

Полученная зависимость в сочетании с результатами эксперимента, представленными на фигуре, позволяет не только



оценить момент, когда влияние генерации тепла в зазоре становится существенным и начинает искажать результаты измерений для данной жидкости, зазора и скорости вращения, но и произвести пересчет для других случаев. Например, для дистиллированной воды (вязкость в 60 раз меньше, для зазора в 15 раз меньше) на той же самой установке и для той же скорости вращения влияние нагрева проявится уже не через полторы минуты, а только через шесть. На фигуре видно, как накапливается со временем влияние саморазогрева жидкости на смещение интерференционных полос ( $l_0$  — положение полосы в начальный момент,  $l_t$  — положение в момент времени  $t$ ).

Результаты эксперимента позволяют утверждать, что интерференционный метод, несмотря на его высокую чувствительность к изменению температуры, пригоден для измерения нормальных напряжений, если эксперимент проводится в течение достаточно короткого времени, пока нагрев не успеет сказаться.

Автор выражает благодарность участникам семинара группы аэродинамики кафедры молекулярной физики МГУ, чьи замечания при обсуждении проблемы центростремительного эффекта стимулировали выполнение данной работы.

*Поступила 1 IX 1976*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Truesdell C., Noll W. The non-linear field theories of mechanics. — In: Encyclopedia of Physics. N. Y. a. o. Springer-Verlag, 1965, chap. E.
2. Weissenberg K. A continuum theory of rheological phenomena. — «Nature», 1947, vol. 159, p. 310.
3. Лодж А. С. Эластичные жидкости. М., «Наука», 1969.
4. Poiseuille J. L. M. Recherches experimentales sur le mouvement des liquides dans les tubes de très petits diametres. — «Comptes Rendus C. r. A cad. sci.», 1840, vol. XI, p. 961.
5. Greensmith H. B., Rivlin R. S. The hydrodynamic of non-newtonian fluids. — «Phil. Trans. Roy. Soc.», 1953, vol. A 245, chap. III, p. 399.
6. Шарц А. А. К использованию эпоксидных смол в интерференционных измерениях давлений. — В кн.: Вопросы энергопереноса в неоднородных средах. Минск, изд. ИТМО им. А. В. Лыкова АН БССР, 1975.
7. Репкин М. В., Шарц А. А. Прибор для измерения распределения давления в подпятнике. НИИМап Дег. № 12-76, 1976.