

Г. В. ВИНОГРАДОВ

## ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ СМАЗОК

(Представлено академиком С. С. Наметкин 2 XII 1949)

Известны многочисленные попытки исследования кинематики потока смазок (1-6). Однако предложенные методы не отличаются должной простотой и общностью. До сих пор еще не изучена микроструктура потока смазок и развитие сдвига в поле неоднородных напряжений. Не известны условия достижения стационарности и ламинарности режимов их течения. Филиппов (7) бездоказательно считал, что смазки дают псевдоламинарный поток разрушенных гелей. Данная работа имеет целью восполнить этот большой пробел в исследовании механических свойств смазок.

Многие кальциевые (солидолы), натриевые, литиевые, алюминиевые смазки обладают достаточной прозрачностью для исследования их потока в проходящем свете при толщинах слоев от одного до десятков миллиметров. Это дает возможность изучать структуру потока консистентных смазок методами, известными из гидромеханики.

На рис. 1 показана фотография ламинарного потока натриевой смазки, обтекающей в плоском капилляре при скоростях порядка 10—30 см/сек. круглое препятствие. Киносъемка доказывает возможность реализации во многих случаях стационарного и ламинарного потоков смазок в очень широком диапазоне скоростей деформаций.

Наиболее замечательные результаты дает исследование деформаций смазок в поляризованном свете. Этот метод приложим ко многим смазкам, выпускаемым нашей промышленностью. Он открывает новые перспективы перед реологией дисперсных систем.

Исследование течения жидкостей в поляризованном свете (8-11) не получило широкого развития и значения, потому что его использовали для тех случаев (вода и т. п.), которые и без того достаточно ясны или могут быть изучены более простыми методами. Другое дело пластичные дисперсные системы, механизм деформаций которых изучен очень плохо. Методы фотоупругости и фотовязкости: 1) дают возможность контроля макрореологических методов; 2) сводят случаи, не поддающиеся расчету и реологической оценке, к элементарным случаям; 3) связывают кинематику и динамику процессов деформаций со структурой системы. При этом указанные методы не требуют

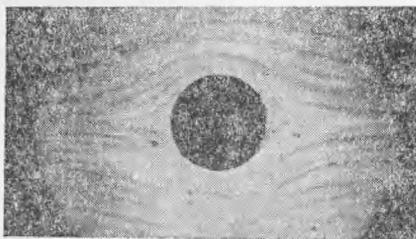


Рис. 1

введения в испытываемую систему каких-либо посторонних тел или измерительных приборов.

Наши опыты показали, что многие смазки, не будучи подвергнуты специальной гомогенизации после их приготовления, дают поток разрушенного геля. В поляризованном свете при низких напряжениях сдвига видно, что, например, смазки НК-30 или КВ движутся в капилляре столбом, состоящим из сплошного агломерата зерен различных размеров (рис. 2). При этом столб смазки скользит относительно стенок капилляра. По мере увеличения напряжений сдвига начинается взаимное перемещение зерен, их вращение и размалывание в потоке; в пристенном слое развивается неустановившийся псевдоламинарный поток, постепенно распространяющийся к оси капилляра. На высоких скоростях



Рис. 2

поток псевдоламинарный и псевдостационарный. Общепринятое размещение смазок в мешалке от пенетрометра не дает эффективной гомогенизации, смазки сохраняют зернистую структуру. По отношению к зернистым смазкам многие реологические методы оценки их свойств ненадежны, а иногда и просто бессмысленны. Только пропускание смазок через сетки с очень малыми порами (порядка  $0,01 \text{ мм}^2$ ) делает их достаточно однородными для распространенных макрореологических испытаний. Так, смазка, показанная на рис. 2, дает после подобной гомогенизации ламинарный стационарный поток,

изображенный на рис. 1.

Ниже мы будем говорить только о результатах, полученных на тщательно гомогенизованных смазках.

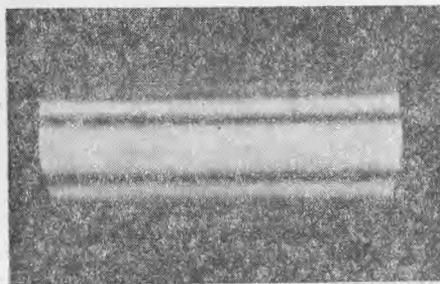


Рис. 3а

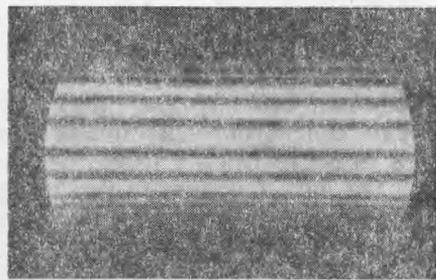


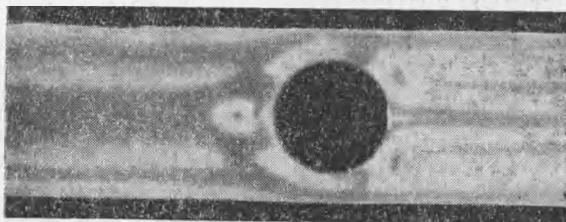
Рис. 3б

За основу метода фотовязкости для смазок должно быть принято изучение режимов их течения в плоских капиллярах. На рис. 3 даны фотографии картин течения литевой смазки в поляризованном по кругу свете. Капилляр имел прямоугольный канал  $1 \times 4 \times 100 \text{ мм}$ . Полосы — изохромы, показанные на рис. 3, а—б, наблюдались со стороны канала шириной 1 мм. Метод изохром устанавливает степень ориентации анизотропных субмикроволокон в потоке смазок при различных напряжениях сдвига. Число полос пропорционально напряжению. Их продвижение к оси потока по мере увеличения его скорости отвечает распространению зоны ориентации частиц и росту напряжения сдвига в этом направлении. Стационарность и прямоли-

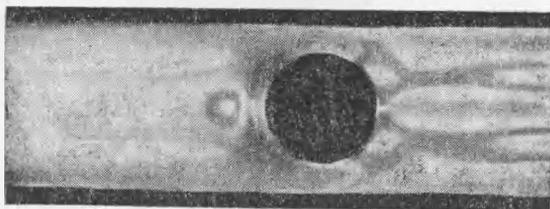
нейность изохром строго доказывает стационарность и ламинарность потока смазок в диапазоне нескольких десятичных порядков величин градиентов скоростей. Тонкую структуру потока удобно также наблюдать (рис. 3б) со стороны широкой части канала плоского капилляра.

Ориентируя кварцевую пластинку чувствительного оттенка различным образом относительно оси потока, легко установить <sup>(12)</sup> знак двойного лучепреломления в потоке смазки. В рассмотренных выше случаях (рис. 3) при расположении оси  $N_x$  кварцевой пластинки параллельно направлению потока имеет место понижение порядка интерференционной окраски, при повороте на  $\pi/4$  ее повышения. Это позволяет рассматривать отдельные зоны потока смазки с ориентированными частицами как отрицательный одноосный кристалл. Отсюда следует вывод о возможности широко использовать аппарат кристаллооптики для изучения механических и оптических свойств смазок.

Случай течения смазок в плоском капилляре сравнительно просто поддается количественной реологической оценке. Установив связь между числом изохром и режимами течения в этом простейшем случае, можно затем перейти к случаям, не поддающимся расчету и количественной реологической оценке, принимая, что всегда существует однозначная связь между напряжением



а



б

Рис. 4. Направление течения слева направо. а — картина течения солидола в плоской кювете с круглым препятствием в циркулярно-поляризованном свете; б — то же в плоско-поляризованном свете; плоскость колебаний света составляет  $45^\circ$  с осью кюветы

Замечательная особенность смазок, обладающих пределом текучести, заключается в том, что при переходе от течения к покою получается «застывшая» картина полос. Характер этой картины в чрез-

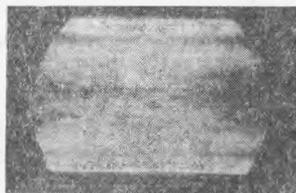


Рис. 3а. Картины течения гомогенизированной смазки НК-30 в плоско-поляризованном свете. Плоскость колебаний света составляет  $45^\circ$  с осью капилляра (направлением потока). Верхняя и нижняя полосы характеризуют возмущающее действие на поток боковых стенок

сдвига и порядком изохром. Для иллюстрации метода на рис. 4, а показан случай обтекания солидолом круглого препятствия в плоских капиллярах.

Если изохромы характеризуют сам факт и степень ориентации частиц мыла в смазках, то направление ориентации можно установить по темным полосам (изоклинам) в белом плоско-поляризованном свете. Пользуясь этим методом в капиллярах прямоугольного сечения, легко определить различные зоны ориентации частиц. Не меньшее значение это имеет и в более сложных случаях. Для иллюстрации сказанного на рис. 4, б показана картина изоклин, накладывающаяся на изохромы рис. 4, а.

вычайно сильной степени определяется способом перехода от заданного режима потока к покою. Чем с большей скоростью совершается этот переход, тем в большей степени сохраняется ориентация частиц мыла, имеющая место при высоких напряжениях сдвига. Застывшие картины сохраняют свой вид без существенных изменений в течение длительного времени (недели, месяцы).

Нельзя переоценить значение этих фактов для реологии дисперсных систем.

Во-первых, метод застывших картин течения сводит к статике динамику потока оптически чувствительных дисперсных тел.

Во-вторых, он окончательно подтверждает ранее высказанную точку зрения<sup>(13)</sup>, что подвергавшиеся пластичному течению дисперсные тела с микро- и субмикроволокнистым строением по своей структуре и механическим свойствам могут резко отличаться от образцов, не подвергавшихся течению: в этих условиях образец может оказаться макроанизотропным и его поведение становится зависящим, например, от направления течения.

В-третьих, наблюдение застывших картин течения чрезвычайно удобно для определения релаксации напряжений: у важнейших типов смазок в полном согласии с тем, что утверждалось ранее<sup>(13)</sup>, при комнатных температурах релаксация оказалась совершенно незначительной.

Автор признателен проф. М. М. Кусакову за большую систематическую помощь в постановке работы и ценные указания.

Институт нефти  
Академии наук СССР

Поступило  
2 XII 1949

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> М. П. Воларович, Колл. журн., **9**, 325 (1947). <sup>2</sup> М. П. Воларович и Т. Я. Гораздовский, там же, **11**, 12 (1949). <sup>3</sup> М. П. Воларович, Д. М. Толстой и Е. П. Лошаков, Тр. 2-й Конф. по трению, **1**, 119, 1947. <sup>4</sup> Д. М. Толстой, там же, **1**, 130, 1947; **3**, 155, 1949; Колл. журн., **9**, 450 (1947); **10**, 133 (1948). <sup>5</sup> Д. С. Великовский, Сбор. Теория и практика произв. и прим. консист. смазок, 1939, 105. <sup>6</sup> W. Gallay and I. Puddington, Can. Journ. Res., **22B**, 173 (1944). <sup>7</sup> W. Philippoff, Viscosität der Kolloide, 1942. <sup>8</sup> Я. В. Мамуль, ЖТФ, **6**, 2019 (1936). <sup>9</sup> А. Д. Михайлов, ЖТФ, **7**, 1311 (1937); **8**, 885 (1938). <sup>10</sup> Н. М. Вятских, Изв. НИИ Гидротехники, **20**, 257 (1937). <sup>11</sup> R. Weiler, Journ. Appl. Mech., **14**, A 103 (1947). <sup>12</sup> В. Н. Лодочников, Основы кристаллооптики, 1947. <sup>13</sup> Г. В. Виноградов и К. И. Климов, ДАН, **57**, 911; **58**, 1677 (1947); **71**, №№ 2, 5 (1950); ЖТФ, **18**, 355 (1948); Тр. 2-й Конф. по трению, **3**, 300, 1949; Нефт. хоз., № 12 (1947); № 1 (1948).