

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Г. В. ВИНОГРАДОВ и В. П. ПАВЛОВ

**ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ КАЛЬЦИЕВЫХ СМАЗОК
ОТ НАПРЯЖЕНИЯ СДВИГА**

(Представлено академиком С. С. Наметкиным 7 VII 1947)

Используемый нами для изучения вязкостных свойств смазок капиллярный вискозиметр был построен по принципу постоянства расходов, предложенному М. Арвесоном⁽¹⁾, но допускал еще более широкую регулировку процесса течения смазок, чем у Арвесона. Вискозиметр тарировался по минеральным маслам. Было доказано, что он пригоден для абсолютных измерений вязкости. Ниже даны результаты изучения вязкостных свойств солидола, ранее использованного Г. В. Виноградовым и К. И. Климовым⁽²⁾ для исследования упругих свойств смазок.

Работы Арвесона оставили нерешенными ряд важнейших методических вопросов по капиллярной вискозиметрии смазок, в них не было уделено должного внимания температурной зависимости вязкостных свойств солидолов, и они недостаточны для теоретического рассмотрения процессов течения этих материалов. Последующие работы американцев^(3,4) в этом направлении известны нам только по рефератам.

Перед загрузкой в вискозиметр смазка фильтровалась через металлическую сетку, затем для гомогенизации ее прогоняли через длинный капилляр.

Влияние тиксотропного восстановления смазки на режим течения несущественно при малых временах ее пребывания в вискозиметре, оно сказывается заметно лишь спустя несколько суток (табл. 1).

Таблица 1

Часы	1	7	25	55	121	145
$\rho_{\text{ати}}$	22,5	22,6	23,1	23,4	24,4	24,4

Капилляр радиуса $R = 0,254$ мм и длины $L = 69,35$ мм; расход $Q = 6,03 \cdot 10^{-2}$ см³/сек; $t = 20^\circ \text{C}$.

Воспроизводимость режимов течения смазок наихудшая при малых скоростях деформаций (D), однако и здесь расхождения давлений при заданном расходе в последовательно проводимых опытах не превосходили $1\frac{1}{2}$ —2%. Старение смазок приводит к увеличению сопротивления их течению, так что через месяц давления, развивающиеся при заданных (малых) расходах, могут возрасти на 5—10%. При высоких скоростях деформаций эффектом старения можно пренебречь.

Сводка результатов вискозиметрического исследования солидола дана на рис. 1, на котором по оси ординат отложены значения $\lg D =$

$= \lg \frac{Q}{\pi R^2}$; по оси абсцисс отложены логарифмы напряжений сдвига (τ)

на стенках капилляров. Этот график показывает, что материал, из которого сделан капилляр, мало влияет на вискозиметрические характеристики смазок. Изменение длины капилляра в три раза совершенно не сказывается на кривых $\frac{Q}{\pi R^2} = \varphi(\tau)$. Изменение радиусов капилляров в области их больших значений заметно сказывается на кривых

рис. 1, тогда как изменение малых радиусов в 2 раза мало влияет на

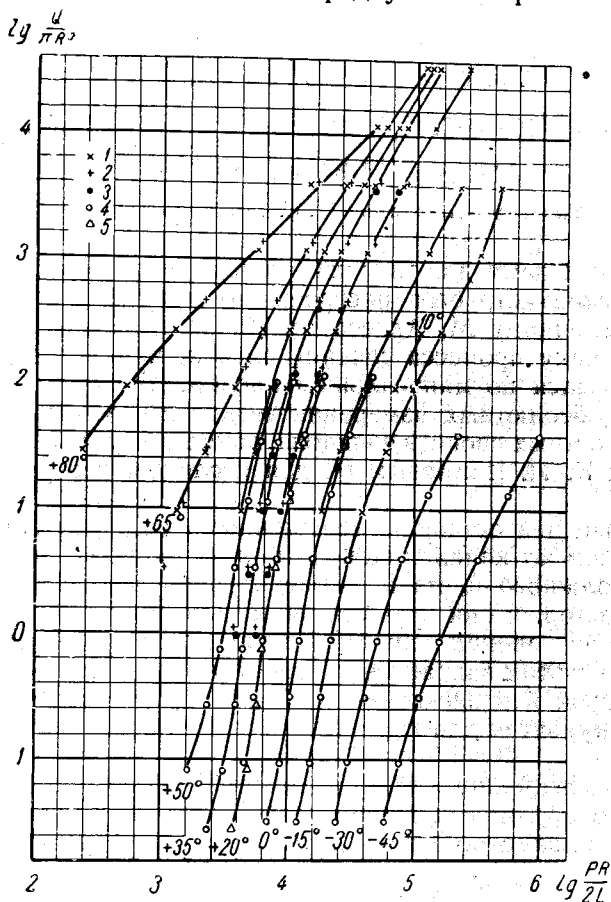


Рис. 1. Зависимость скорости деформаций солидола от напряжений сдвига при различных температурах в разных капиллярах. 1— $R=0,254$ мм, $L=69,35$ мм; 2— $R=0,518$ мм, $L=69,75$ мм; 3— $R=0,542$ мм, $L=206,7$ мм; 4— $R=1,702$ мм, $L=70,00$ мм; 5—металлический капилляр, $R=1,786$ мм; $L=70,15$ мм

формулу и положение этих кривых. В общем, изменение радиуса капилляра в 7 раз изменяет величину τ при заданном D в самых неблагоприятных случаях на 11,5%. При низких и высоких температурах влияние радиусов капилляров на кривые $\frac{Q}{\pi R^2} = \varphi(\tau)$ сказывается мень-

ше, чем при средних.

При высоких значениях τ выделяется значительное количество тепла в капиллярах, вследствие чего кривые на рис. 1 в верхней части поднимаются более круто. Особое значение выделение тепла имеет при низких температурах, когда приходится работать при высоких

значениях τ и когда чрезвычайно возрастают температурные коэффициенты вязкостных характеристик смазок. При измерении температурно-солидола, вытекающего из капилляра, было обнаружено явление, весьма важное для вискозиметрии смазок: после выхода смазки из капилляра ее температура продолжает подниматься так, что при не очень высоких значениях τ этот прирост температуры выше такового, имеющего место в капилляре. Зная температуру смазки, выходящей из капилляра, и температурный коэффициент τ при данном D , можно эмпирически внести поправку в данные, изображенные на рис. 1.

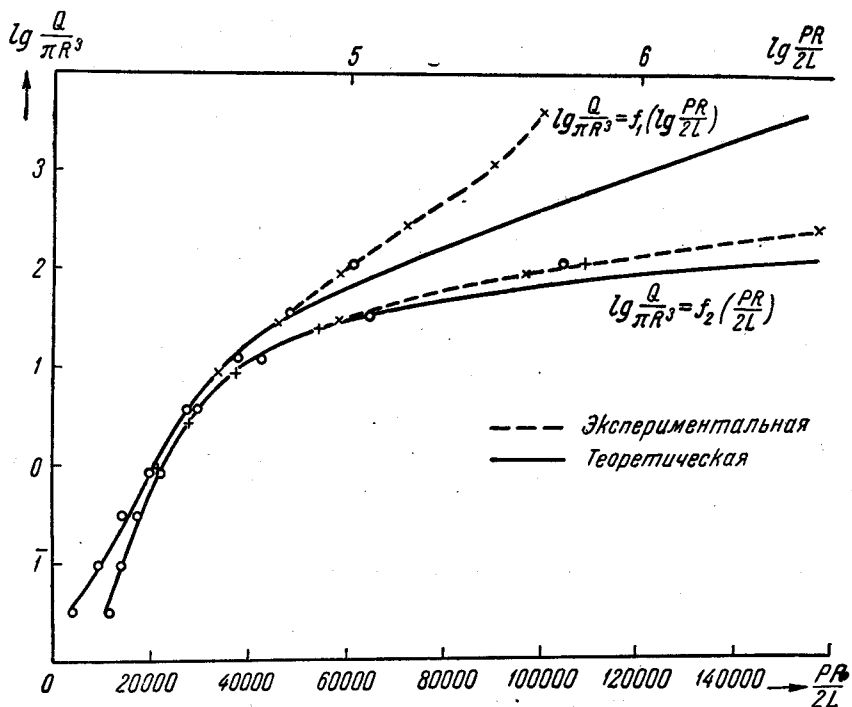


Рис. 2. Проверка приложимости теории Эйринга к описанию пластичного течения солидола при -15°C

При низких значениях τ усиливается влияние размера капилляров и возрастают погрешности отсчета давлений. В силу этого и указанного выше теплового эффекта вряд ли целесообразно выходить за пределы изменения D в 10^8 раз и давлений в 10^3 раз (до 50—100 ати).

Данные рис. 1 подтверждают результаты исследований Арвесона, они позволяют найти вид функции и ее зависимость от температуры. Исходя из теории Эйринга (^{5,6}),

$$\tau = k_1 + k_2 \lg D + k_3 D, \quad (1)$$

где k_1 , k_2 , k_3 — константы. Это уравнение выводится в предположении, что свободная энергия активации процесса течения и средние размеры кинетической единицы не зависят от D . На рис. 2 показана проверка уравнения (1). Здесь на оси ординат отложены значения $\lg D$ (где $D = \frac{Q}{\pi R^3}$), на оси абсцисс — величины τ и $\lg \tau$, соответственно

чему получаются две опытные и две теоретические кривые. Из рис. 2 видно, что при $D < 100 \text{ сек.}^{-1}$ имеется согласие теории с опытом. Это же допускает применимость теории пластичности Прандтля (⁷) к описанию поведения солидолов при относительно малых скоростях

их деформации, так как указанная теория приводит к экспоненциальной зависимости D от τ . Подобная зависимость приводит к линейной зависимости D от τ при малых значениях τ , что наблюдалось экспериментально Г. В. Виноградовым и К. И. Климовым⁽⁸⁾.

При $D < 100$ сек.⁻¹ объем кинетической единицы — величина порядка 10^{-17} см³, что неправдоподобно, так как меньше среднего объема волокон в кальциевых смазках^(9, 10).

Коэффициент k_2 уравнения (1), зависящий от средних размеров кинетической единицы, кроме того, должен линейно зависеть от абсолютной температуры. В действительности, даже при $D < 100$ сек.⁻¹ он изменяется с температурой по совершенно другому закону. Так, при температурах $-15, +20, +50^\circ\text{C}$ коэффициент k_2 соответственно равен 7000, 2000 и 1200. Это заставляет либо считать средние размеры кинетической единицы зависящими от температуры, либо рассматривать уравнение (1) как полуэмпирическое.

Естественно предположить, что при $D > 100$ сек.⁻¹ нарушаются допущения, положенные в основу вывода уравнения (1), прежде всего могут изменяться средние размеры кинетической единицы. Согласно теории Эйринга, коэффициент k_3 в уравнении (1) равен вязкости дисперсионной среды, и поэтому вязкость системы при высоких значениях D должна стремиться к значению k_3 . Для высококонцентрированных систем, к которым относятся изученные нами смазки, это допущение недостаточно обосновано и не подтверждается экспериментально.

Авторы глубоко признательны А. А. Константинову, руководившему проектированием и изготовлением вискозиметра высокого давления, использованного в настоящей работе, и Ю. А. Наумову за постоянную помощь в работе. Мы благодарны также проф. А. С. Ирисову за предоставление возможности выполнения работы и ему и проф. М. М. Кусакову за ее детальное обсуждение.

Военная Академия
им. Сталина

Поступило
7 VII 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ M. H. Arveson, *Ind. Eng. Chem.*, **24**, 71 (1932); **26**, 628 (1934). ² Г. В. Виноградов и К. И. Климов, *ДАН*, **57**, № 9 (1947). ³ *Chem. Abstr.*, **37**, 45567. (1943). ⁴ *Chem. Abstr.*, **40**, 75843 (1946). ⁵ *The Chemistry of Large Molecules*, 146 (1943). ⁶ R. E. Powell and H. Eyring, *Nature*, **154**, 427 (1944). ⁷ L. Prandtl, *Z. angew. Math. u. Mech.*, **8**, 85 (1928). ⁸ Г. В. Виноградов и К. И. Климов, *ДАН*, **58**, № 8 (1947). ⁹ S. G. Ellis, *Can. Journ. Res.*, **A25**, 119 (1947). ¹⁰ B. V. Farrington, and D. H. Birdsall, *Oil and Gas J.*, **45**, 268 (1947).