

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Г. В. ВИНОГРАДОВ и К. И. КЛИМОВ

МОДУЛЬ СДВИГА И ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ КАЛЬЦИЕВЫХ СМАЗОК

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

В связи с исследованными ⁽¹⁾ ранее явлениями крипа и последействия в смазках и результатами изучения предельных напряжений сдвига в капиллярах представлялось важным: 1) расчлнить упругие деформации смазок, с одной стороны, на подчиняющиеся закону Гука, с другой стороны — на являющиеся собственно крипом и последствием, так как этот путь открывает возможность определения модуля сдвига смазок в статических условиях; 2) найти зависимость величины деформаций γ смазок от напряжений сдвига τ , так как только наличие особых точек на кривых $\gamma=f(\tau)$ может служить доказательством существования предельных напряжений сдвига $\tau_{пр}$ ⁽²⁾ и строго обосновывает методы их определения; 3) подтвердить в приборе торсионного типа наблюдавшееся в капиллярах уменьшение $\tau_{пр}$ при медленном течении смазок.

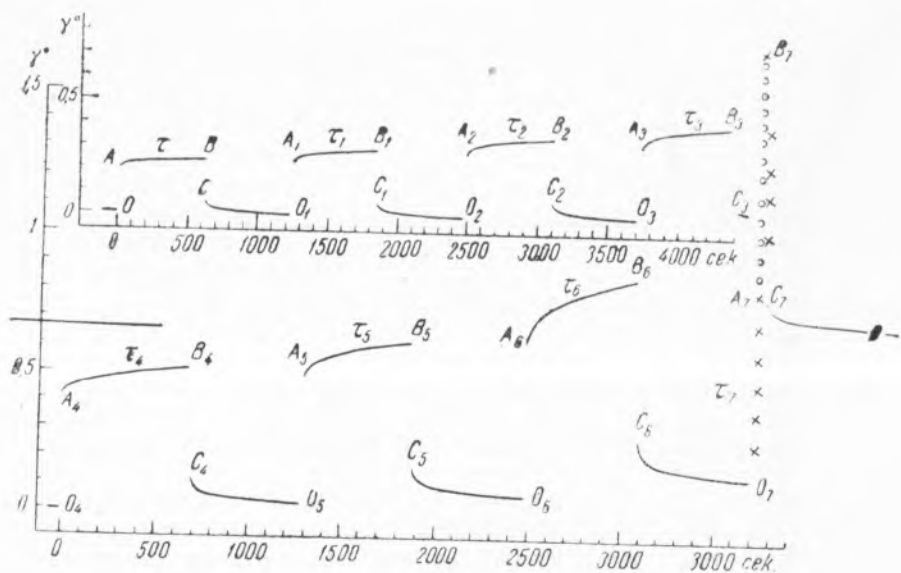


Рис. 1. $\tau = 5,75$ г/см², $\tau_1 = 6,90$ г/см², $\tau_2 = 8,05$ г/см², $\tau_3 = 9,20$ г/см², $\tau_4 = 10,35$ г/см², $\tau_5 = 11,50$ г/см², $\tau_6 = 13,80$ г/см², $\tau_7 = 18,40$ г/см²

Используя ранее описанную методику и тот же объект исследования ⁽¹⁾, мы, следуя интересному приему, предложенному Е. Ф. Сега-

ловой в лаборатории акад. П. А. Ребиндера, заливали в прибор расплавленную (70—80°С) смазку, которая затем выдерживалась при комнатной температуре 14—16 час. Фотограммы кинетики деформаций смазки при 10°С представлены на рис. 1, где по оси абсцисс отложено время, по оси ординат — деформации, выраженные в углах поворота цилиндра, погруженного в смазку и закручиваемого на упругой нити.

В точках O, O_1, O_2, \dots прикладывались постоянные статические нагрузки. В точках B, B_1, B_2, \dots они снимались. Отрезки O_1A_1, B_1C_1, \dots попарно равны между собой, они соответствуют упругим деформациям, которые протекают столь быстро, что не оставляют следа на фотобумаге. При малых τ эти деформации прямо пропорциональны значениям τ , откуда можно рассчитать ⁽³⁾ модуль сдвига, равный в данном случае $8,4 \cdot 10^{-3}$ кг/мм².

Кривые AB, A_1B_1, \dots описывают прямое, линии CO_1, C_1O_2, \dots — обратное последствие. Кривые упругого последствия симметричны друг относительно друга; удовлетворяется также принцип суперпозиции деформаций Больцмана ⁽⁴⁾. Последствие подчиняется уравнению:

$$\lg \gamma = a + b \lg(1 + t),$$

где γ — деформация, t — время, a и b — константы. В широком диапазоне изменений τ величина $b = \text{const}$, а деформации для равных времен прямо пропорциональны напряжениям сдвига.

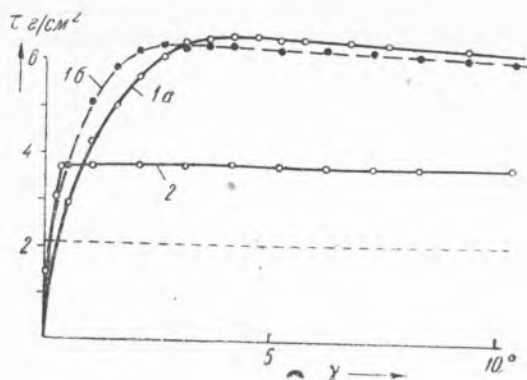


Рис. 2

При малых τ солидолы хотя и не ведут себя как идеально упругие тела, но, пользуясь терминологией Бюргера ⁽⁵⁾, являются вполне упругими твердыми телами, поскольку их деформации обратимы во времени. Известны другие тела, в частности, некоторые высокополимеры ⁽⁶⁾, которые обладают подобными же свойствами. С увеличением нагрузок крип чрезвычайно усиливается, появляются и постепенно нарастают необратимые остаточные деформации. Однако до достижения предела текучести солидол релаксирует очень слабо, и лишь при $\tau > \tau_{пр}$ развивается стационарный процесс течения. Кривые типа $O_7A_7B_7$ и B_7C_7 (рис. 1) были описаны ранее ⁽¹⁾, поэтому мы на них не останавливаемся.

Для установления зависимости деформации от напряжений сдвига был использован метод изменения нагрузки с постоянной скоростью,

дающий также возможность непосредственно находить предел текучести (7). Объектом исследования был размешанный солидол при 20° С.

Верхний конец упругой нити, на которой подвешивается цилиндр, погруженный в смазку, закручивали с постоянной скоростью, равной 1/30 об/мин. Результаты обработки фотографии, дающей кинетику деформации смазки в этих условиях, изображены в виде кривой 1а рис. 2, на котором по оси абсцисс отложены деформации, выраженные в углах поворота указанного цилиндра, по оси ординат — напряжения сдвига. Наличие максимума на кривой 1а — строгое доказательство существования предела текучести у смазок. Уменьшение скорости закручивания упругой нити почти в 10 раз, несколько изменяя форму кривых $\gamma = f(\tau)$ за счет влияния последействия, не сказывается на значении $\tau_{пр}$.

На рис. 2 показана лишь часть кривой $\gamma = f(\tau)$. В полном согласии с тем, что наблюдается в капиллярах (1), τ и $\tau_{пр}$ уменьшаются с увеличением γ , достигая довольно быстро постоянного значения, равного в данном случае 3,68 г/см². При $\gamma = 12$ радиан и $\tau = 3,68$ г/см² вращение нити было прекращено. За 45 час. τ снизилось до предельного значения $\tau'_{пр}$, показанного на рис. 2 пунктиром. Затем была повторно снята кривая $\gamma = f(\tau)$; это — кривая 2 на рис. 2. Даже через две недели пребывания смазки в покое после снятия кривых типа 1 при новом повторении опыта опять получается кривая 2. Это означает, что имеет место необратимое во времени изменение структуры солидола при его медленном течении.

Воспроизводимость кривых $\gamma = f(\tau)$ видна из сравнения кривых 1а и 1б, причем кривая 1б была получена при повторении опыта на новом образце той же смазки.

Допуская, что при установившемся режиме деформаций смазок вязкое течение происходит под действием напряжения сдвига $\tau - \tau'_{пр}$, можно вычислить их вязкость при малых скоростях деформаций (тысячные доли сек.⁻¹). Вязкость солидола при этих условиях оказывается не зависящей от напряжений сдвига, что часто наблюдается для дисперсных систем (8) и согласуется с характером зависимости скорости деформаций от напряжений, найденной Виноградовым и Павловым (9) для солидола при более высоких скоростях деформации.

Описанные выше явления могут наблюдаться также на кальциевых смазках другого состава и происхождения.

Если, во-первых, не учитывать влияния γ на характер деформаций смазок при τ , близких к $\tau_{пр}$ (кривая $O_7A_7B_7$ рис. 1), во-вторых, отвлечься от явлений тиксотропии и сдвиговой ориентации структурных элементов смазок, что можно наблюдать оптически и что сказывается в уменьшении $\tau_{пр}$ с ростом γ , то можно предложить упрощенную кинематическую модель (5), качественно правильно описывающую механические свойства изучаемых нами смазок.

Эта модель должна состоять из следующих последовательно связанных элементов.

1) Пружина, имитирующая свойства смазок как тел, подчиняющихся закону Гука; ее деформациям соответствуют отрезки OA , BC , ... на рис. 1, ее модулю упругости — указанный выше модуль сдвига смазки. 2) Звено, состоящее из параллельно соединенных пружины и поршня, движущегося в вязкой жидкости; деформации этого звена описывают эффект последействия. 3) Ползун, обладающий статическим коэффициентом трения, который отображает предельное напряжение сдвига в смазке. 4) Поршень, движущийся в вязкой жидкости; это движение, развивающееся после того, как начинает двигаться ползун, отображает процесс течения и появление необратимых остаточных деформаций в смазке.

Авторы глубоко признательны А. С. Ирисову за предоставление возможности выполнения работы, и ему и проф. М. М. Кусакову за ее детальное обсуждение. Особую благодарность мы считаем нужным принести Л. Ф. Калмыковой за систематическую помощь в работе.

Академия бронетанковых и механизированных
войск Советской Армии им. И. В. Сталина

Поступило
7 VII 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. В. Виноградов и К. И. Климов, ДАН, 57, № 9 (1947). ² R. Non-wink, Sec. Rep. on Visc. and Plast., ch. VI, Amsterdam, 1938. ³ А. К. Ястребов, Вестн. инж. и техн., № 2, 86 (1937). ⁴ L. Boltzmann, Pogg. Ann., 7, 624 (1876). ⁵ J. M. Burgers, First Rep. on Visc. and Plast., ch. I, Amsterdam, 1939. ⁶ H. Leaderman, Ind. Eng. Chem., 35, 374 (1943). ⁷ С. Я. Вейлер, П. А. Ребиндер, ДАН, 49, 354 (1945). ⁸ W. Philippoff, Viskosität der Kolloide, Kap. V, 1942. ⁹ Г. В. Виноградов и В. П. Павлов, ДАН, 58, № 7 (1947).