

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Г. В. ВИНОГРАДОВ и К. И. КЛИМОВ

**УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАЛЬЦИЕВЫХ СМАЗОК**

(Представлено академиком С. С. Наметкиным 20 III 1947)

Для консистентных смазок основное значение имеют их реологические характеристики. Особенно важно изучение механических свойств солидолов, шире всего применяющихся на практике. Важные результаты в этой области были получены школой акад. Ребиндера,

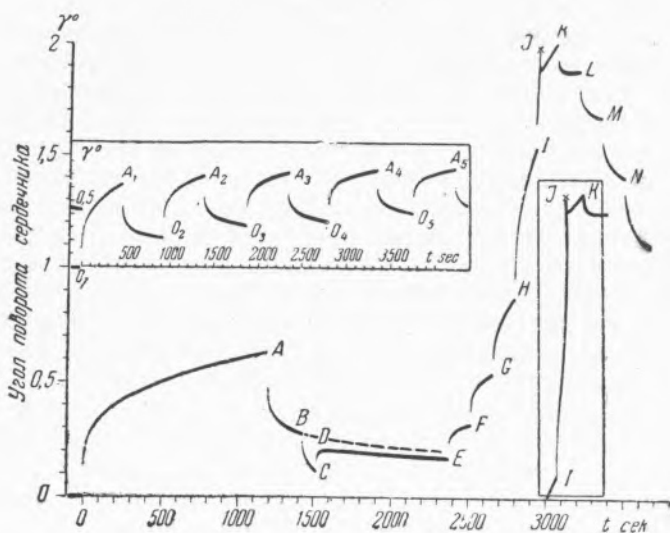


Рис. 1

Арвесоном и другими исследователями. Однако остаются мало изученными упругие свойства этих смазок.

Кинетика упругих и пластических деформаций солидолов изучалась в приборе, представлявшем собой заполняемый смазкой (вмазыванием ее) латунный цилиндр, в который соосно вставлялся подвешенный на упругой нити цилиндрический сердечник с ребристой поверхностью. Отношение диаметров коаксиальных цилиндров было 0,16. Смазка закладывалась заподлицо с краями внешнего цилиндра, так что в чистом виде реализовался случай сдвига в цилиндрическом кольце. На выступающем из смазки сердечнике было закреплено зеркальце. Отбрасываемый им луч света фотографически фиксировался на вращающемся барабане. Прибор тщательно термостатировался.

Объектом изучения был солидол, изготовленный на доссорском дистиллате ( $\nu_{20} = 90$ ;  $\nu_{37,8} = 34$ ;  $\nu_{98,9} = 5,0$  сст), загущенном 14,2% по весу Са-мыла, полученного из хлопкового масла с кислотным числом жирных кислот 185. Солидол содержал 2% (по весу) воды.

На рис. 1 приведены фотограммы кинетики деформаций этого солидола. По оси ординат отложены углы поворота сердечника, по оси абсцисс — время. Рассмотрим кривую  $OABC\dots$ , снятую при  $30^\circ$  С. В момент времени  $O$  было приложено напряжение сдвига  $\tau = 2,30$  г/см<sup>2</sup> (считая по поверхности сердечника). В точке  $A$  нагрузка была снята. Нагрузки прикладывались и снимались практически моментально — с постоянной скоростью, величиной которой можно пренебречь сравнительно со скоростью деформации смазки.  $AB$  — кривая упругого последствия. В точке  $B$  была дана обратная нагрузка —  $\tau = 1,15$  г/см<sup>2</sup>. В точке  $C$  она была снята.  $CDE$  — кривая упругого последствия, представляющая собой результат наложений упругих последствий от деформаций  $OA$  и  $BC$ . Продолжение кривой  $AB$  показано пунктиром. В точках  $E, F, G, H, I$  прикладывались равные между собой напряжения  $\Delta\tau = 1,15$  г/см<sup>2</sup>.

Кривая  $IJ$  имеет характер сильно вытянутой S-образной кривой. В увеличенном размере эта кривая показана в рамке в правой части рис. 1. Действующее на кривой  $IJ$  напряжение соответствует предельному напряжению сдвига ( $\tau_{пр}$ ).

Начиная от точки  $J$ , напряжение уменьшалось равными ступенями, так что  $\Delta\tau$  было равно  $1,15$  г/см<sup>2</sup>.

Кривая  $IJ$  соответствует относительно быстро протекающим необратимым пластическим деформациям в слоях, прилегающих к сердечнику. Остальная масса солидола находится при этом в упруго-напряженном состоянии. Когда напряжение на поверхности сердечника уменьшается на  $\Delta\tau = 1,15$  г/см<sup>2</sup>, пластическое течение практически моментально прекращается, и упругая реакция в солидоле приводит сердечник во вращение, обратное тому, которое имело место при пластичном течении. Однако, поскольку на образец продолжает действовать довольно значительный крутящий момент, равный  $4,60$  г/см<sup>2</sup>, скорость обратного вращения постепенно замедляется и затем переходит во вращение, характерное для образца, находящегося под нагрузкой. При последующих уменьшениях момента равными ступенями в точках  $K, L, M, N$  влияние остаточного напряжения быстро уменьшается и кривые упругого последствия начинают идти „нормально“

Наличие пластического течения на кривой  $IJ$  доказывается экспериментально тем, что после полного снятия нагрузки в точке  $N$  имеется постоянная составляющая остаточной деформации, не убывающая со временем. Наоборот, в случае кривых разгрузки типа  $AB$  остаточная деформация со временем стремится к нулю.

При следующих друг за другом нагрузках и разгрузках можно ли рассматривать получающиеся при этом кривые деформаций только как взаимные наложения деформаций, которые ранее испытывал образец? Ответ на это, для случая смазок, размешанных после варки вмазыванием их в прибор, дает рассмотрение кривой  $O_1A_1O_2\dots$ , помещенной в рамке в верхней части рис. 1. При постоянной температуре последовательно было снято несколько кривых нагрузок ( $O_1A_1$  и т. д.) при одном и том же крутящем моменте и разгрузок ( $A_1O_2$  и т. д.) при полном устранении внешней силы. Было показано, что ветвь  $O_2A_2$  не может быть получена простым наложением на кривую нагрузки  $O_1A_1$  продолжения ветви разгрузки  $A_1O_2$ . При одном и том же крутящем моменте последующие ветви кривых нагрузок за одинаковые отрезки времени дают систематически уменьшающиеся деформации. Из этого с несомненностью следует наличие сдвиговых упрочнений при  $\tau < \tau_{пр}$  в солидоле, подвергнувшемся размешиванию. Этот эффект наиболее резко проявляется на первых кривых нагрузок и разгрузок. Он сказывается также на петлях гистерезиса, которые мы получали, регистрируя деформации при постепенном увеличе-

нии и затем при уменьшении крутящих моментов. Площади последующих петель гистерезиса меньше предыдущих.

Размешивание солидола приводит к очень сильному изменению кривых кинетики его деформации (эффект тиксотропии), хотя закон, управляющий этой кинетикой, остается тем же. Кривые кинетики деформации при постоянной нагрузке ( $\tau < \tau_{пр}$ ) описываются простым уравнением  $\lg \gamma = a + b \lg t$ , где  $\gamma$  имеет прежнее значение,  $t$  — время,  $a$  и  $b$  — постоянные. Остаточная деформация убывает со временем по экспоненциальному закону.

Сказанное иллюстрируется рис. 2, на котором прямые 1, 2 и 3 соответствуют кривым нагрузок в координатах  $\lg \gamma$ ,  $\lg t$ . Прямые 4 и 5 в координатах  $\gamma$ ,  $\lg t$  описывают убывание со временем остаточной деформации, получающейся после снятия кривых нагрузок, дающих

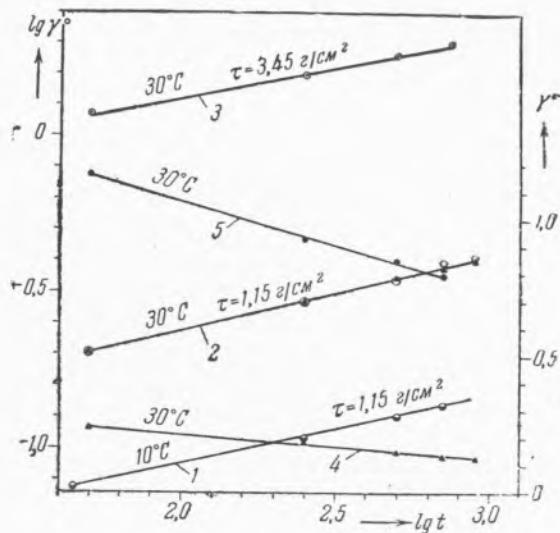


Рис. 2

соответственно прямые 2 и 3. На рис. 2 видно, как влияет изменение температуры и напряжения сдвига на кинетику деформаций солидола.

Аналогично рассмотренному образцу солидола ведут себя все другие Са-смазки: различные товарные солидолы, смазка № 21, изготовляемая на газойле, загущенном Са-мылами, получаемыми из касторового масла и саломаса, и т. д.

Представлялось важным сравнить значения  $\tau$ , соответствующие участку  $IJ$  кривой рис. 1, и  $\tau_{пр}$ , находимые другими методами. Для сравнения был выбран простейший метод — капиллярный. Металлические капилляры монтировались в оправу, представлявшую собой циркуляционный термостат. Сдвиг смазки в капилляре осуществлялся давлением воздуха, приложенным с одной стороны капилляра. С помощью микроскопа наблюдали выдвигание смазки с другой стороны капилляра. В гладких капиллярах нельзя было получить воспроизводимые значения  $\tau_{пр}$ , поэтому перешли к капиллярам с винтовой нарезкой. При треугольной резьбе с малым шагом получались хорошо воспроизводимые значения  $\tau_{пр}$  — большие, чем в случае трапецевидной резьбы и намного большие, нежели в гладких капиллярах. Величины  $\tau_{пр}$ , полученные в нарезном капилляре, соответствовали  $\tau$  для участка  $IJ$  кривой рис. 1.

В зависимости от направления набивки капилляра солидолом и направления действия давления получались различные значения  $\tau_{пр}$  — максимальные при обратных, минимальные при одинаковых указанных

направлениях. Различие этих значений при  $20^{\circ}\text{C}$  соответствовало  $20\%$ . Было замечено также сильное уменьшение  $\tau_{\text{пр}}$  по мере выдавливания смазки из капилляра. В капилляре длиной 60 мм выдвигание смазки на 5 мм уменьшало  $\tau_{\text{пр}}$  в среднем в 4 раза, при этом различия  $\tau_{\text{пр}}$  в зависимости от направлений набивки и сдвига уничтожались. Повидимому,  $\tau_{\text{пр}}$  для предварительно размешанных солидолов соответствует переходу от сдвиговых упрочнений к разрушениям при деформациях. Описанные явления устойчиво воспроизводимы при температуре ниже  $60^{\circ}\text{C}$ . Для солидолов  $\tau_{\text{пр}}$  линейно убывает с температурой.

Авторы глубоко признательны проф. А. С. Ирисову и проф. М. М. Кусакову за помощь и обсуждение работы.

Военная академия бронетанковых  
и механизированных войск  
им. И. В. Сталина

Поступило  
20 III 1947