

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,

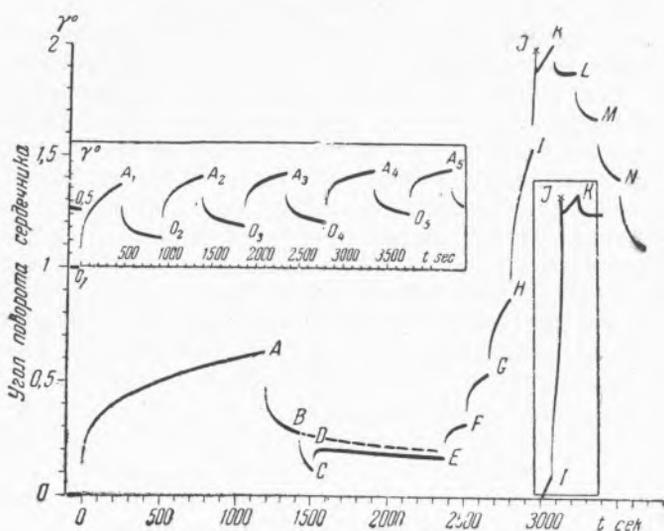


Рис. 1

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° С. В момент времени O было приложено напряжение сдвига $\tau = 2,30$ г/см² (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/см². 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/см².

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/см².

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/см², 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/см², 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, подвергнувшись 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 γ 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 γ , $\lg t$ описывают убывание со временем остаточной деформации, получающейся после снятия кривых нагрузок, дающих

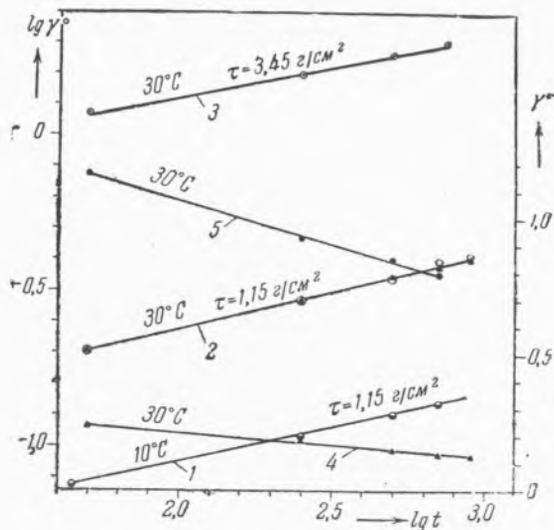


Рис. 2

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 τ , 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 τ 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°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 уничтожились. 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°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