

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А. А. ТРАПЕЗНИКОВ и С. Х. ЗАКИЕВА

**ПРЕДЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ СДВИГА И ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ
КОНСИСТЕНТНЫХ СМАЗОК ПРИ ОЦЕНКЕ ИХ МЕХАНИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 8 V 1950)

В статье по адсорбционным слоям сапонина ⁽¹⁾ было показано, что при исследовании механических свойств структурированных систем необходимо различать предельное напряжение сдвига (предел текучести) P_k и предел прочности P_r . При этом предполагается, что при $P < P_k$ системе свойственна постоянная релаксационная вязкость η_1 , при $P > P_k$ — переменная структурная вязкость пластической деформации η_2 , зависящая от напряжения сдвига P . Различие между P_k и P_r зависит от скорости наложения нагрузки и связано с величиной „вязкости последействия“ и со скоростью падения η_2 при возрастании P^* . В ряде структурированных систем, например в консистентных смазках, η_1 очень высока (и трудно измерима), вследствие чего при $P < P_k$ в них практически проявляются только упругие свойства.

Эти представления были применены при изучении структурно-механических свойств консистентных смазок при различных температурах, проводившемся методом вытягивания шурупа ^(2, 3) с регистрацией деформации S .

Снимались кривые двух типов:

1. Кривые деформация — время ($S - \tau$), выражающие развитие „мгновенной“ и временной упругих деформаций при $P < P_k$ и пластическое течение при $P > P_k$. Кривые $S - \tau$ (см. рис. 1), снимаемые методом ступенчатого нагружения (без разгружения) малыми порциями нагрузки ΔP , позволяют достаточно точно установить значение предела текучести P_k , т. е. начала заметного развития пластической деформации, а также соответствующей ему величины упругой деформации.

По этим кривым $S - \tau$ могут быть построены кривые $S - P$, отвечающие „бесконечно“ медленному нагружению, т. е. зависимости „равновесных“ упругих деформаций от напряжения сдвига P (см. рис. 2 и 3 „равновесн.“). Линейный участок кривой $S - \tau$ пластического течения при $P > P_k$ будет изображаться вертикальным участком кривой $S - P$ в соответствии с предположением, что необратимые деформации могут возрастать неограниченно (возможно, заканчиваясь S-образной формой кривой $S - \tau$, соответствующей лавинному разрушению). В нашем случае наблюдение линейных участков проводилось в течение ограниченного интервала времени, поэтому вертикальные участки этих кривых $S - P$ даны пунктиром.

Построенные так кривые $S - P$ показывают, что при „бесконечно“ медленном нагружении предел прочности P_r совпадает с пределом текучести P_k .

* Например, с величиной коэффициента m в уравнении, определяющем зависимость скорости деформации от напряжения сдвига ⁽¹⁾.

2. Кривые деформации — напряжение сдвига ($S - P$) при относительно быстром нагружении (см. рис. 2. и 3), например с интервалами времени $\Delta\tau = 5$ мин. и $\Delta\tau = 1$ мин. между последующими, все времена одинаковыми, порциями нагрузки ΔP . При этом регистрировались величины деформации, достигавшиеся к концу этих интервалов времени, но не являвшиеся равновесными.

При увеличении $\Delta\tau$ кривые $S - P$ в пределе совпадут с кривыми $S - \bar{P}$, вычисленными из кривых $S - \tau$.

На рис. 1 показаны кривые $S - \tau$ (25 и -40°) для смазки с 30% стеарата кальция (CaSt_2) в неполярном вазелиновом масле и для

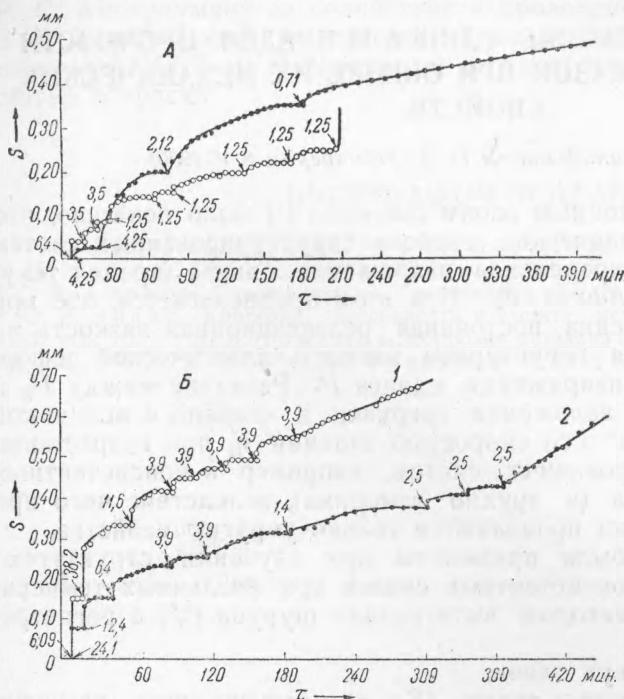


Рис. 1. $A - t = 25^\circ$; $B - t = -40^\circ$. 1 — смазка с 30% стеарата кальция, 2 — солидол с 20% мыла. Цифры у кривых — значения ΔP в Г/см^2

ние к меньшим P кривой „равновеси“. Это показывает, что для смазки с 30% CaSt₂ при 25° P_r совпадает с P_k ; для солидола при тех же условиях P_r немножко отличается от P_k . Для этих смазок при -40° (см. рис. 3) наблюдается сильное расхождение между кривыми при всех скоростях нагружения, т. е. P_r и при $\Delta\tau = 5$ мин. и при $\Delta\tau = 1$ мин. значительно (в 1,5 раза и более) превышает P_k (см. табл. 1). При сильном увеличении скорости нагружения P_r будет еще резче отличаться от P_k .

На основании обычных соображений при понижении температуры упруго-пластическая система должна становиться более хрупкой, т. е. обнаруживать большее сближение P_k и P_r . Описанные же результаты показывают, что с консистентными смазками имеет место обратное положение. Это можно отнести за счет особенно сильного роста величины вязкости η_2 с понижением температуры и уменьшения интенсивности ее снижения с P (в интервале $P > P_b$). Абсолютные значения

новом масле и для солидола*. Дополнительные нагрузки ΔP накладывались после достижения каждый раз практически предельной величины упругой деформации (при данной чувствительности отсчета ее величины) при $P < P_k$. Выше P_k наступает течение, выраженное линейным участком.

Из рис. 2 видно, что для смазки с 30% CaSt₂ при 25° напряжение сдвига, вызывающее резкий рост деформации, соответствующий разрушению, совпадает для трех скоростей нагружения. Для солидола наблюдается совпадение кривых $S - P$ при $\Delta\tau = 5$ мин. и $\Delta\tau = 1$ мин. и небольшое смещение

доказывает, что для солидола от P_k . Для этих сильное расхождение

* Солидол с 20% мыла из хлопкового масла, любезно предоставленный Г. В. Виноградовым.

P_k при понижении температуры также сильно растут, однако рост вязкости η_2 , очевидно, сильно обгоняет рост P_k .

По величине расхождения между P_k и P_r можно судить о „пластичности“ и „хрупкости“ смазки. Так, смазка с 30% CaSt₂ при 25°* оказывается „хрупкой“, солидол — более „пластичным“, тогда как при —40° обе смазки ведут себя как весьма „пластичные“. Расхождения между P_k и P_r можно отнести за счет сольватации системы. Что это расхождение не связано только с ростом вязкости дисперсионной среды (масла) при понижении температуры, следует из того, что система парафин — неполярное вазелиновое масло при —40° при различных скоростях нагружения дает только хрупкое вырывание шурупа**.

Сильное повышение вязкости η_2 при понижении температуры связано, повидимому, с увеличением сил сцепления молекул в сольватных оболочках, т. е. с повышением „вязкости“ последних. С этой точки зрения „пластичность“ смазки может

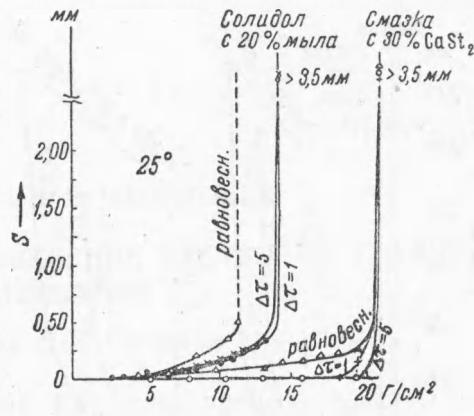


Рис. 2

Таблица 1

Образец	Т-ра в °С	P_k в Г/см² „рав- новесн.“	P_r в Г/см²	
			$\Delta\tau = 5$ мин.	$\Delta\tau = 1$ мин.
Солидол с 20% мыла . . .	25	11,3	13,9	13,9
	—40	59	80	97
Смазка с 30% CaSt ₂	25	20,6	20,6	20,6
	—40	130	171	197

итти параллельно с ее стабильностью. В частности, данный солидол при обычной температуре пластичнее, чем данная смазка с 30% CaSt₂, и, соответственно, стабильнее, так как последняя обнаружила тенденцию к слабому выделению масла уже через 5—6 мес. хранения. Система парафин — масло, „хрупкая“ даже при низких температурах, выделила масло уже через несколько дней хранения.

Найденное различие между P_k и P_r , в особенности при низких температурах, имеет практическое значение для оценки работоспособности смазки. Предельное напряжение сдвига P_k является критерием начала сдвига трущихся деталей механизма в „статических“ условиях, протекающего затем с очень малой скоростью, т. е. с малым приростом деформации за достаточно длительное время действия нагрузки. Практически, однако, требуется, чтобы большая деформация сдвига достигалась уже при кратковременном действии нагрузки. Поэтому смазка должна обладать „средней пластичностью“, т. е. иметь невысокую по абсолютной величине вязкость η_2 в интервале P , слабо превышающем P_k , и, в особенности, достаточно быстро падающую при дальнейшем возрастании P . Это значит, что P_r не должен сильно превышать P_k . В противном случае трение в слое смазки будет излишне велико и смазывающее действие будет утеряно. Представляет

* И при более высоких температурах.

** В этом случае различие между P_k и P_r при различных скоростях деформации обусловлено в основном только действием η_2 .

также интерес величина предельной пластической деформации при $P > P_k$, соответствующей линейному участку кривой $S - \tau$. Хрупкость системы, например парафина в масле, даже при -40° проявляется в том, что этот участок мал и резкий рост деформации, соответствующий лавинному разрушению, рассматренному ранее (1), наступает рано. Предельные упругие деформации смазки не должны быть слишком большими, иначе пластический сдвиг смазки, необходимый для легкого "замазывания" всех микронеровностей трущихся поверхностей, будет затруднен.

Таким образом, при измерении механических свойств консистентной смазки важно учитывать скорость наложения нагрузки в соответствии с условиями ее работы. Применяемые в технике и в ряде лабораторий пластометры практически во всех случаях рассчитаны на среднюю скорость нагружения, поэтому напряжение сдвига, полученное на них, значение P_r , более или менее

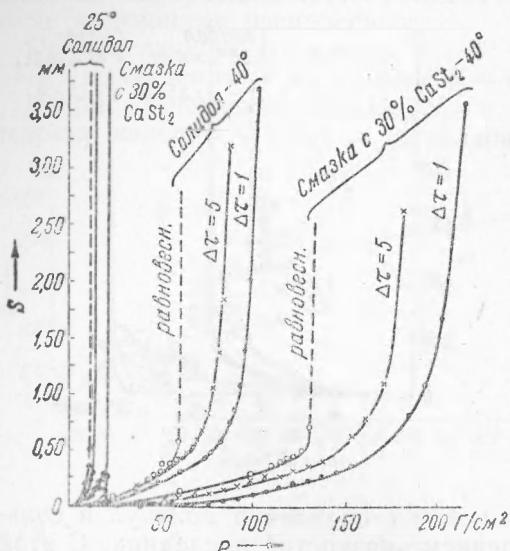


Рис. 3

представляет почти во всех случаях отличающееся от P_k . Такие измерения не предусматривают как достаточной длительности действия задаваемых нагрузок, необходимых для оценки P_k , так и наибольших скоростей нагружения, необходимых для измерения максимальных P_r .

Поступило
3 V 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. А. Трапезников, Коллоидн. журн., **12**, 67 (1950). ² Д. М. Толстой, ЖФХ, **5**, 548 (1934); М. П. Воларович, Маслобойно-жировое дело, **11**, 40 (1934).
³ А. А. Трапезников и С. Х. Закиева, Коллоидн. журн., **6**, 429 (1946).