

Г. В. ВИНОГРАДОВ и К. И. КЛИМОВ

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СМАЗОК

(Представлено академиком С. С. Наметкиным 30 XII 1949)

В ряде ранее опубликованных работ (^{1, 2}) нами впервые были описаны упругие и пластические свойства смазок на важнейшем примере солидола. В развитие этих работ необходимо было прежде всего: 1) доказать, что смазки других типов ведут себя качественно так же, как и солидол; это имеет особое значение для натриевых смазок, упругие свойства которых часто ошибочно противопоставляют (³) гладким кальциевым смазкам; 2) изучить температурную зависимость упруго-пластических свойств смазок, что существенно для понимания механизма их деформаций.

Решение указанных задач потребовало расширения применявшейся нами методики (²) в сторону детального исследования кинетики деформаций в течение первых секунд после приложения нагрузки. Подробно описанная ранее схема работы была изменена таким образом, что от зеркала, закрепленного на сердечнике, к которому в торсионном эластометре прикладывался момент, от различных осветителей отбрасывалось два луча. Эти лучи падали на барабаны фоторегистрирующих камер, расположенных на окружности с центром на оси эластометра. С помощью быстро вращающегося барабана на высокочувствительной пленке фиксируются деформации, протекающие за первые 30—40 сек. после приложения момента. На медленно вращающемся барабане записываются деформации с момента задания нагрузки в течение десятков минут или часов. Применение методики быстрой записи деформаций позволяет в удовлетворительной форме расчлнить идеально упругие и задержанные деформации по резкому повороту кривой, идущей вначале почти параллельно оси деформаций, а затем с небольшим углом наклона относительно оси напряжений.

Тщательно гомогенизированные образцы смазок перед испытанием перемешивались при комнатной температуре 100 раз в мешалке от пенетрометра. После этого их загружали в цилиндр эластометра и запрессовывали в них сердечники. Испытания проводили через трое суток после подготовки образцов к работе.

Зависимость идеально упругих деформаций ($\gamma_{ид}$) от нагрузок при 20° для различных смазок представлена на рис. 1. При достаточно малых напряжениях сдвига (τ) для многих смазок, так же как и для ранее исследованного солидола, можно считать, что в первом приближении удовлетворяется закон Гука. Большинство испытанных смазок — широко известные промышленные образцы, удовлетворявшие техническим нормам и стандартам. Константин был коротковолокнистой смазкой, изготовленной на касторовом масле. Ряд смазок был

приготовлен специально для данного исследования. Образцы № 1 и 2 представляют собой солидолы, полученные на чистой стеариновой кислоте и, соответственно, на керосине и на дистиллате масляной балаханской нефти с вязкостью $\eta_{20} = 650$ сп. Эти смазки содержали: мыла 16,0 и 16,2%, воды 1,7 и 0,2%; свободной щелочи в пересчете на NaOH 0,02 и 0,1%. Образец № 3 — это смазка, содержащая 10% стеарата лития в очищенном масле из балаханской нефти с вязкостью $\eta_{20} = 506$ сп.

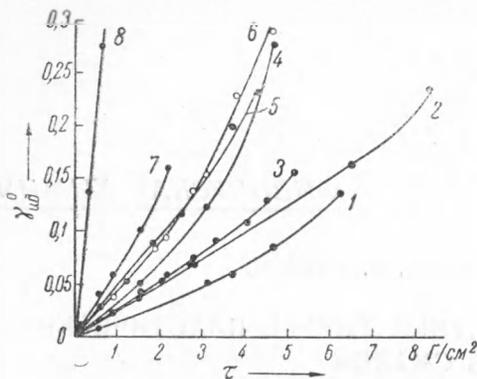


Рис. 1. Зависимость углов поворота сердечника торсионного эластомера при мгновенных деформациях от напряжений сдвига. 1 — смазка 1/13; 2 — кальциевая смазка, обр. № 2; 3 — солидол жировой; 4 — литиевая 10% смазка, обр. № 3; 5 — смазка № 21; 6 — консталин коротковолокнистый; 7 — смазка кальциевая, обр. № 1; 8 — солидол УСС-33

стометра на $0,1^\circ$. Соответствующие значения τ находили по экспериментальным кривым $\gamma = f(\tau)$. Модули сдвига большинства широко применяемых смазок лежат в пределах $10^2 - 3 \cdot 10^3$ Г/см². Температурная зависимость значений g_{ud} представлена на рис. 2. Чтобы оценить место смазок в ряду различных реологических тел, важно знать соотношение температурных коэффициентов упругости и прочности (предела текучести).

В связи с этим была исследована зависимость пределов текучести (τ_{np}) смазок от температуры (см. рис. 3).

Температурную зависимость параметров, определяющих упруго-пластические свойства смазок, наиболее правильно характеризовать их относительными температурными коэффициентами, равными отношению изменения этих параметров на 1° к их значению при 20° . Относительные коэффициенты величин g_{ud} и τ_{np} имеют одинаковый порядок, изменяясь в исследованных нами случаях от 0,01 до $0,04 \text{ град}^{-1}$.

Величины деформаций, отвечающие достижению предела текучести (γ_{np}) с ростом температуры, как правило, увеличиваются. Интересно, что значения γ_{np} , так же как, впрочем, и другие параметры, для коротковолокнистых натриевых и натриево-кальциевых смазок лежат в пределах величин, характерных вообще для гладких Ca- и Li-смазок.

Ранее нами было изучено и описано ⁽¹⁾ важное для смазок явление

Из сопоставления зависимостей $\gamma_{ud} = f(\tau)$ в широком диапазоне температур следует, что в большинстве случаев с ростом температуры расширяется область значений γ_{ud} , в пределах которых можно считать, что удовлетворяется закон Гука.

Для исследованных смазок мгновенные модули сдвига (g_{ud}) были приняты равными значениям τ при смещениях сердечника эластомера на $0,1^\circ$. Соответствующие значения τ находили по экспериментальным кривым $\gamma = f(\tau)$. Модули сдвига большинства широко применяемых смазок лежат в пределах $10^2 - 3 \cdot 10^3$ Г/см². Температурная зависимость значений g_{ud} представлена на рис. 2.

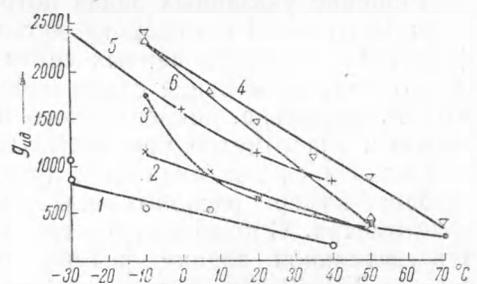


Рис. 2. Зависимость мгновенных модулей сдвига от температуры. 1 — смазка кальциевая, обр. № 1; 2 — смазка № 21; 3 — консталин коротковолокнистый; 4 — смазка 1/13; 5 — смазка кальциевая, обр. № 2; 6 — солидол жировой

ние сдвигового разупрочнения: по достижении $\gamma_{пр}$ прочность смазок падает и при повторных нагружениях предел текучести достигается при меньших значениях $\tau_{пр}$. Чрезвычайно важно, что, во-первых, предел текучести выражен резче при более (но, конечно, не слишком) высоких температурах; во-вторых, — на смазках, испытывавших разупрочнение. Само разупрочнение протекает интенсивнее при более высоких температурах. Это видно из рис. 4, где по оси ординат нанесены отношения предела текучести, получаемого первый раз ($\tau_{пр}$), к его значению, найденному повторно ($\tau'_{пр}$). Вместе с тем абсолютная величина снижения прочности ($\tau_{пр} - \tau'_{пр}$) в широком интервале температур имеет примерно постоянное значение. Определенные значения $\tau'_{пр}$ проводилось следующим образом. В процессе определения $\tau_{пр}$ дается один оборот сердечника эластомера при непрерывно вращающейся с постоянной скоростью нагрузочной головке. По достижении угла поворота сердечника, равного 360° , нагрузка снималась, практически мгновенно,

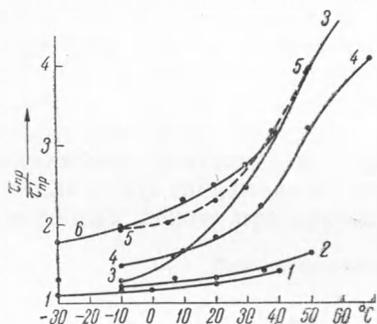


Рис. 4. Зависимость степени разупрочнения смазок от температуры. 1 — смазка кальциевая, обр. № 2; 2 — смазка № 21; 3 — консталин коротковолокнистый; 4 — смазка 1/13; 5 — солидол жировой; 6 — смазка кальциевая, обр. № 1

путем освобождения торсиона, на котором закручивается сердечник. Затем с целью избежать особо большого влияния последействия, дается отдых образцу в течение 20—30 мин., что несущественно для восстановления прочности образца, так как оно достигается, и то не в полной степени, лишь через десятки суток. После указанного отдыха повторно снимается кривая $\gamma = f(\tau)$, откуда и находятся значения $\tau'_{пр}$. Одинаковый характер температурной зависимости модулей упругости и пределов текучести, так же как их параллельное изменение при размещивании и отдыхе смазок, говорит о том, что одни и те же элементы структуры ответственны за упругие свойства и прочность образцов. Это связано с тем, что большинство мыльных смазок обладает рыхлой пространственной структурой: микро- и субмикроволокна мыла образуют структурный каркас благодаря взаимному механическому переплетению, сращиванию в процессе кристаллизации из расплава и агрегации за счет водородных связей, побочных валентностей и т. п. Те элементы структуры (волоконна, связи между ними), которые участвуют в упругих деформациях, обуславливают также прочность структурного каркаса образцов, тогда как в случае дисперсных систем с компактной структурой (поликристаллические металлы и т. п.) может отсутствовать непосредственная связь между их упругими свойствами и прочностью. Эти выводы должны также представлять интерес в свете тех важных результатов, которые были получены школой акад. П. А. Ребиндера⁽⁶⁾ в отыскании инвариантных реологических характеристик моделей мыльных смазок.

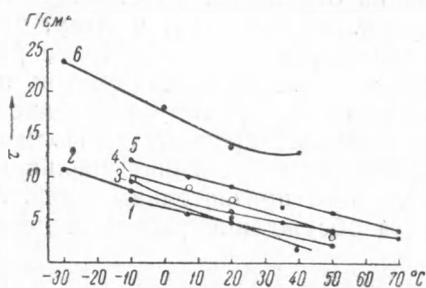


Рис. 3. Зависимость прочности смазок от температуры. 1 — смазка № 21; 2 — смазка кальциевая, обр. № 1; 3 — консталин коротковолокнистый; 4 — солидол жировой; 5 — смазка 1/13; 6 — смазка кальциевая, обр. № 2

путем освобождения торсиона, на котором закручивается сердечник. Затем с целью избежать особо большого влияния последействия, дается отдых образцу в течение 20—30 мин., что несущественно для восстановления прочности образца, так как оно достигается, и то не в полной степени, лишь через десятки суток. После указанного отдыха повторно снимается кривая $\gamma = f(\tau)$, откуда и находятся значения $\tau'_{пр}$.

Одинаковый характер температурной зависимости модулей упругости и пределов текучести, так же как их параллельное изменение при размещивании и отдыхе смазок, говорит о том, что одни и те же элементы структуры ответственны за упругие свойства и прочность образцов. Это связано с тем, что большинство мыльных смазок

Повышение температуры резко снижает вязкость смазок, но увеличивает загущающий эффект мыла (4) и легкость деформации структурного каркаса. При более высоких температурах, когда вязкость среды относительно мала, легче достигается концентрация напряжений на отдельных участках сечений, где действуют наибольшие нагрузки. Это приводит к тому, что предел прочности и разупрочнение оказываются выражены более резко. Подобные соотношения наблюдаются также в случае смазок, приготовленных на маловязких маслах, что вообще характерно для дисперсных смазок с маловязкими дисперсионными средами (5). Повышение подвижности волокон с ростом температуры объясняет увеличение в этих условиях значений $\gamma_{пр}$.

Авторы признательны проф. М. М. Кусакову и проф. А. С. Ирисову за обсуждение работы и ценные замечания.

Поступило
12 XII 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. В. Виноградов и К. И. Климов, ДАН, 57, 911; 58, 1677 (1947); ЖТФ, 18, 355 (1948). ² Г. В. Виноградов и К. И. Климов, Тр. 2-й конф. по трению, 3, 300, 1949. ³ G. W. Scott-Blair, A Survey on Gen. and Appl. Rheology, 1945, p. 87. ⁴ Г. В. Виноградов и В. П. Павлов, Тр. Военной академии им. И. В. Сталина, № 3—4 (54—55), 44 (1948). ⁵ R. Houwink, Sec. Rep. on Visc. and Plasticity, 1938. ⁶ Е. Е. Сегалова и П. А. Ребиндер, Колл. журн., 10, 223 (1948).