

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Г. В. ВИНОГРАДОВ и М. М. ГВОЗДЕВ

УПРУГИЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СМАЗОК

(Представлено академиком А. В. Топчиевым 5 VII 1952)

Основные особенности поведения смазок как твердых тел, в том числе их упруго-прочностные свойства, были выяснены в работах (1). Было установлено, что для характеристики упруго-пластических свойств псевдогелей наибольшее значение имеют модули сдвига идеально упругих деформаций ($g_{ид}$), а также пределы прочности ($\tau_{пл}$), определяющие переход от упругих деформаций к вязкому течению. В практическом отношении особенно важна прочностная характеристика псевдогелей. Этому параметру приходится уделять серьезное внимание еще и потому, что его значение часто недооценивается, относительно него встречаются неправильные суждения, рекомендуются условные методы его определения, до сих пор в литературе высказываются сомнения в возможности существования у смазок и у подобных им систем ясно выраженных пределов прочности (пределных напряжений сдвига) (2, 3).

В отношении ряда вопросов, поставленных и разъясненных в указанных исследованиях, тем не менее требовалось уточнение и дальнейшее развитие. С этой целью был приготовлен ряд образцов смазок, загущенных стеаратом лития (LiSt). Краткая характеристика состава этих смазок дана в табл. 1. Кроме литиевых смазок, использовался так называемый

Таблица 1

| № образца | Содержание мыла в % | 50° | 20° | 0° | -30° |
|-----------|---------------------|---|----------------------|----------------------|------|
| | | Вязкости дисперсионных сред в сантипуазах | | | |
| 1 | 15 | 2,5 | 4,5 | — | 24,5 |
| 2 | 10 | 2,5 | 4,5 | — | 24,5 |
| 3 | 10 | 11,8 | 42,4 | 164 | 4200 |
| 4 | 10 | 59,5 | 378 | 2260 | — |
| 5* | 10 | 81,8 | 378 | 1670 | — |
| 6 | 15 | 185 | 1,64·10 ³ | 1,27·10 ⁴ | — |
| 7 | 10 | 185 | 1,64·10 ³ | 1,27·10 ⁴ | — |

* Дисперсионная среда образца № 5 была загущена 7% оппанола, имевшего мол. вес $2 \cdot 10^4$.

вышеуказанные смазки представляли собой образцы, гомогенизированные протиранием через стальную сетку (200 меш).

Упругие и прочностные свойства смазок изучались на торсионном эластометре Климова с автоматической регистрацией деформаций, согласно описанной ранее методике (4).

В согласии с данными Виноградова и Климова, оказалось, что при нагружении образцов смазок с постоянной скоростью они ведут себя следующим образом. Малые деформации и напряжения сдвига связаны между собой прямой пропорциональностью. При повышении нагрузок начинает сказываться последствие за более ранние времена. С ростом нагрузок влияние задержанных деформаций возрастает и увеличение деформаций обгоняет рост напряжений. Начинают появляться и нарастать необратимые деформации течения. Этот процесс может завершаться лавинным разрушением структурного каркаса, что соответствует достижению предела прочности и обнаруживается на кривых деформации — напряжения по их повороту в сторону возрастающих значений деформаций. Вследствие тиксолабильности и ориентационного

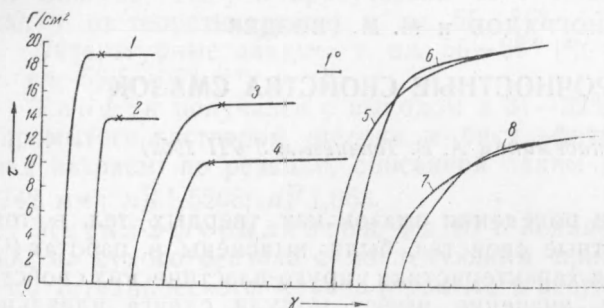


Рис. 1. Типичные кривые напряжение — деформации для смазок

эффекта (частиц дисперсной фазы), проявляющихся в зоне разрушения структурного каркаса, вязкое течение за пределом прочности может идти при напряжениях сдвига меньших, чем сам предел прочности.

На рис. 1 представлены типичные кривые зависимости напряжения сдвига τ , развивающихся у поверхности

погруженного в смазку цилиндрического сердечника эластомера, от углов поворота сердечника γ . Опыты проводились при постоянной скорости увеличения нагрузки на образцы. Кривые 1, 3, 5 и 7 относятся, соответственно, к испытанию образцов 1, 2, 6 и 7 при 20° .

Переход через предел прочности может быть связан с необратимым изменением структуры образцов в зоне их течения (эффекты тиксолабильности и ориентации частиц дисперсной фазы). Вследствие этого повторные испытания проходят при меньших τ и дают пониженные значения прочности (разупрочнение). Повторным испытаниям образцов 1, 2, 6 и 7 соответствуют кривые 2, 4, 6 и 8. За пределы прочности принимались помеченные на рис. 1 крестиками максимальные значения τ , которые достигались при непрерывном нагружении образцов.

Из рис. 1 видно, что резкость перехода от упругих деформаций к вязкому течению возрастает с концентрацией дисперсной фазы и с уменьшением вязкостей дисперсионных сред. Последнее имеет место как вследствие перехода от более вязкого к менее вязкому маслу, так и в результате повышения температуры смазки (обычно до известного предела), что приводит к снижению вязкости дисперсионной среды.

При данной вязкости дисперсионной среды резкость перехода от упругих деформаций к вязкому течению проявляется тем сильнее, чем выше пределы прочности. Кроме того, понижение вязкости дисперсионной среды, содержания дисперсной фазы и соответственно повышение температуры, увеличивая резкость указанного перехода, приводят к уменьшению предельных деформаций, соответствующих достижению $\tau_{пл}$. Так для солидола критические углы поворота сердечника в торсионном эластомере, отвечающие достижению $\tau_{пл}$, были равны $1,5^\circ$ при -50° и $7,4^\circ$ при -30° . Для смазки № 1 этот угол при 20° был равен 4° , в случае смазки № 2 он составлял $1,6^\circ$.

Резкость перехода от упругих деформаций к вязкому течению об-

условлена хрупкостью структурного каркаса и легкостью концентрации напряжений в зоне его разрушения. Указанное выше влияние вязкостей дисперсионных сред на резкость этого перехода связано с тем, что разрушение структурного каркаса сопровождается развитием вязкого течения образца в зоне этого разрушения. При малых содержаниях дисперсной фазы и высоких вязкостях дисперсионной среды (низкие температуры) сопротивление разрушения каркаса становится соизмеримыми с сопротивлением вязкого течения в образцах. В подобных условиях хрупкое разрушение каркаса маскируется вязким течением, и становится затруднительным или невозможным определение пределов прочности. Следовательно, определение $\tau_{пч}$ (предельных напряжений сдвига) смазок при низких температурах отличается малой надежностью, условностью и поэтому не представляет особого интереса. Этот параметр имеет наибольшее значение для повышенных температур, когда он определяет способность формосохранения дисперсных систем.

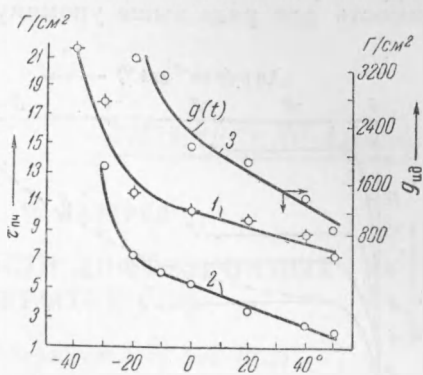


Рис. 2. Температурные кривые пределов прочности и модулей сдвига солидола. 1—первое определение пределов прочности; 2—повторное определение пределов прочности; 3—модули сдвига

Разупрочнение проявляется наиболее сильно при повышенных температурах, в случае малых вязкостей

дисперсных сред и высоких концентраций дисперсной фазы, т. е. интенсивность разупрочнения зависит от резкости проявления предела прочности. Так, для консталина, смазки, получаемой загущением минерального масла Na-мылами касторового масла, разупрочнение в случае повторных определений $\tau_{пч}$ при -10° равно 1,2 и 4,5 при $+70^\circ$. За меру разупрочнения здесь принято отношение величин $\tau_{пч}$, находимых при первом и повторном их определении после поворота сердечника на 360° .

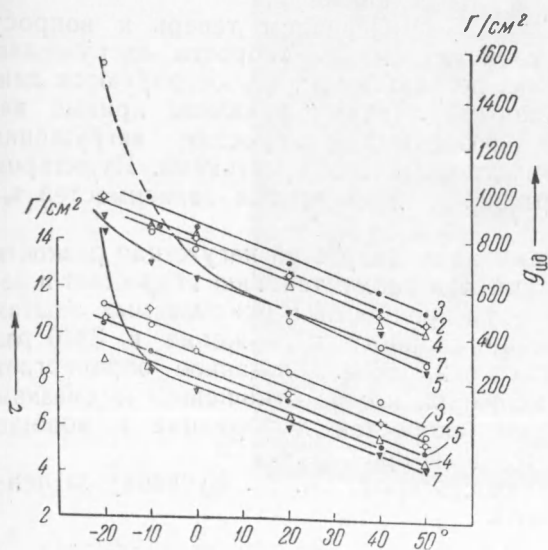


Рис. 3. Температурные кривые пределов прочности и модулей сдвига литиевых смазок. Цифры у кривых соответствуют номерам образцов смазок

более широком интервале температур. На рис. 2 видно, что только при достаточно низких температурах наблюдается быстрый рост указанных величин. Слабое влияние температуры на упруго-прочностные свойства смазок связано с тем, что как она сама по себе, так и вязкость дисперсионной среды мало сказываются на свойствах структурного каркаса. В ряде случаев описанные в литературе крутые

С целью более полной характеристики температурной зависимости величин $g_{пл}$ и $\tau_{пч}$ были исследованы упругие и прочностные свойства солидола в возможно

зависимости $\tau_{пч}$ (t°) следует, повидимому, отнести за счет того, что при этом определяли не сам переход от упругих деформаций к вязкому течению, а напряжения сдвига при деформациях за пределом прочности, когда они существенноотягощены вязким течением.

С целью более общей проверки этого положения были сопоставлены упруго-прочностные свойства и была изучена их температурная зависимость для ряда выше упомянутых литиевых смазок. Результаты этих

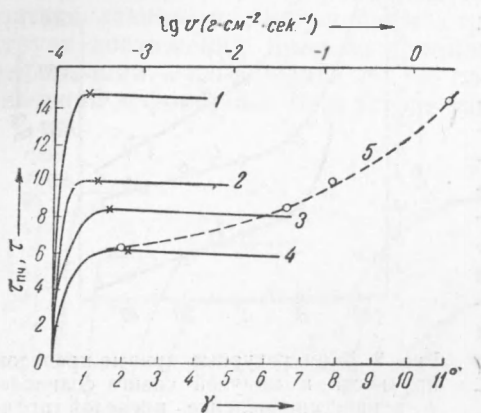


Рис. 4. Кривые напряжение — деформации для солидола при 20° и различных скоростях нагружения. 1 — 2,518 Г/см²·сек, 2 — 0,142 Г/см²·сек, 3 — 0,0399 Г/см²·сек, 4 — 0,000632 Г/см²·сек, 5 — кривая зависимости пределов прочности от скоростей нагружения

опытов приведены на рис. 3. Оказалось, что использование одного и того же загустителя в дисперсионных средах, различавшихся по вязкости в 365 раз, приводит к изменению величин $g_{ид}$ и $\tau_{пч}$ меньше, чем в полтора раза (опыты при 20°). Сколько-нибудь заметным образом не сказывается также и различие вязкостно-температурных свойств дисперсионных сред. Таким образом, изменение температуры и вязкостей дисперсионных сред, несколько влияя на резкость перехода от упругих деформаций к вязкому течению, в общем столь незначительно сказывается на величинах $g_{ид}$ и $\tau_{пч}$, что в этом отношении данные параметры следует признать нечувствительными.

Перейдем теперь к вопросу о влиянии на прочностные свойства смазок скорости нагружения. Опыты проводились на солидоле, результаты их иллюстрируются данными рис. 4, на котором сплошными линиями показаны кривые напряжения — деформации при различных скоростях нагружения (в Г/см²·сек). Пределы прочности отмечены крестиками. Пунктиром в полулогарифмических координатах дана кривая зависимостей $\tau_{пч}$ от скорости нагружения.

Из рис. 4 видно, что с увеличением скоростей нагружения резкость перехода от упругих деформаций к вязкому течению возрастает и несколько повышаются сами пределы прочности. В описываемых опытах с солидолом при 20° возрастание скорости нагружения в 3840 раз приводит к увеличению $\tau_{пч}$ всего в 2,5 раза. Сказанное опровергает встречающиеся в литературе неправильные по отношению к смазкам утверждения о сильном влиянии скоростей деформаций и вообще релаксационных процессов на пределы прочности.

Авторы выражают признательность проф. М. М. Кусакову за ценные советы и обсуждение работы.

Поступило
26 VI 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. В. Виноградов, К. И. Климов, ДАН, 57, 911 (1947); 58, 1677 (1947); 71, 307, 697 (1950); ЖТФ, 18, 355 (1948). ² L. W. McLennan, G. H. Smith, ASTM Bull., No. 152, 71 (1948). ³ A. Bondi, Physical Chemistry of Lubricating Oils, 1951, стр. 70. ⁴ Г. В. Виноградов, К. И. Климов, Тр. 2-й Всес. конф. по трению и износу в машинах, 3, 300, 1949.