

Г. В. ВИНОГРАДОВ и М. М. ГВОЗДЕВ

УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА И СТАРТОВАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 17 VI 1953)

В свете значительных успехов советской реологии смазок большой интерес представляет установление связи между их упруго-прочностными свойствами и стартовыми режимами работы смазанных подшипников. Принципиальная возможность этого была впервые установлена К. И. Климовым.

В данной работе использовался жировой солидол, упруго-прочностные свойства которого были описаны нами ранее (1). Исследование велось на шарикоподшипниках 201, 204, 207, 210, 212 нормального класса точности, плотно заполненных смазкой вровень с их торцами, а также предварительно прокрученных. Подшипники испытывались открытыми, ненагруженными, с тем, чтобы можно было в чистом

виде оценить сопротивления, оказываемые в них деформируемой смазкой. Подшипники закреплялись в установке, которая по принципу действия близка к торсионному эластометру (2). Внешнее кольцо подшипника выполняет функции стакана эластометра, роль сердечника играет внутреннее кольцо, которое жестко связано с торсионом, закручиваемым при помощи специального нагрузочного приспособления. Регистрация вращения внутреннего кольца автоматическая (2). Описываемый метод легко позволяет оценивать пусковые моменты сухого трения ($M_{пс}$) подшипников, т. е. качество их изготовления и монтажа. Типичные кривые моментов $M(\gamma)$, где γ — углы поворота (в °) внутреннего кольца для сухого подшипника, а также смазанного несколькими каплями веретенного масла, даны на рис. 1, а.

Убедительным доказательством того, что упруго-прочностные свойства смазок проявляются на подшипниках, служит приведенная на рис. 1, б фотограмма кинетики вращения внутреннего кольца подшип-

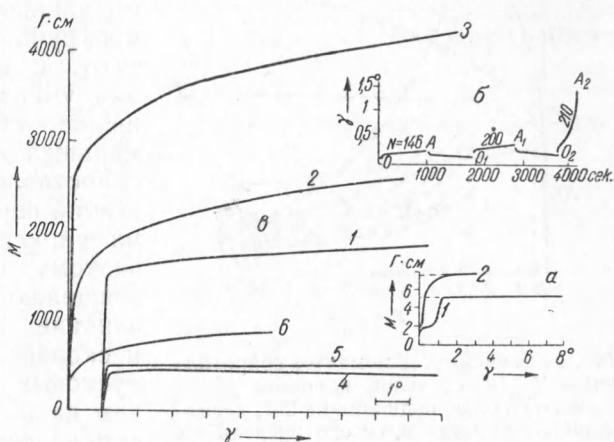


Рис. 1. а — зависимость моментов от угла поворота внутреннего кольца подшипника 207 сухого (1) и смазанного маслом (2), $M_{пс} = 5$, $M_{пм} = 7,5$ Г·см; б — кинетика запуска подшипника, плотно заполненного солидолом; в — зависимость моментов от угла поворота внутреннего кольца подшипников, заполненных солидолом: 1, 2, 3 — соответственно, подшипники 207, 210, 212 при 10° ; 4, 5, 6 — те же подшипники при 50°

ника 204, заполненного смазкой (20°). В точках O , O_1 , O_2 прикладывались моменты, равные, соответственно, 146, 200 и 210 Г·см; в точках A , A_1 моменты полностью снимались. Кривые OA , O_1A_1 обусловлены прямым, кривые AO_1 и A_1O_2 — обратным последствием. В согласии с теорией упругих деформаций кольцевых цилиндрических слоев было найдено, что с увеличением размера подшипников уменьшаются величины упругих деформаций, которые могут быть достигнуты до перехода за предел прочности.

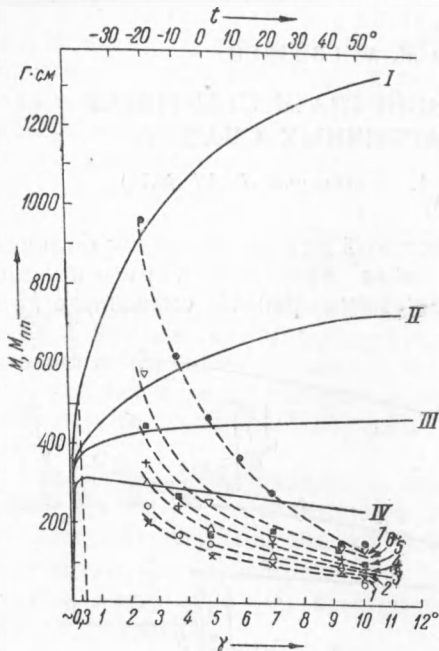


Рис. 2. Зависимость моментов сопротивления (I—IV) от углов поворота внутреннего кольца подшипника 207, заполненного солидолом, и его предельных пусковых моментов (1—7) от температуры. I, II, III, IV — скорости возрастания моментов, соответственно, 126; 15,8; 1,97 и 0,0328 Г·см·сек⁻¹; 1, 2, 3, 4, 5 — подшипник, заполненный смазкой и предварительно прокрученный, соответственно, при 1200, 100, 400, 800, 1000 об/мин; 6, 7 — подшипник, плотно заполненный смазкой, соответственно, при втором и первом оборотах

стационарному вращению подшипника и течению смазки. Часто бывают необходимы специальные условия постановки опытов, чтобы возможно было хотя бы приближенно расчленить влияние прочностных и вязкостных свойств на пусковые режимы и найти особые точки на кривых $M(\gamma)$.

Особенности конструкций и кинематики подшипников обуславливают ряд различий в условиях деформирования смазок при концентрическом кручении кольцевых слоев и при запуске подшипников. На рис. 2 линиями I—IV показаны кривые $M(\gamma)$, полученные при различных v_m на подшипнике 207 (20°). В противоположность тому, что наблюдается в случае деформирования кольцевых слоев смазок, здесь предельные пусковые моменты $M_{пр}$ выражены наиболее резко при малых v_m (кривая IV). При $v_m = 0,033$ Г·см·сек⁻¹ и температурах $-20 \div +50^\circ$ на подшипниках 207, 210 и 212, плотно заполненных

С-образная кривая O_2A_2 типична для лавинного разрушения структурного каркаса смазок, т. е. для перехода через предел прочности⁽²⁾. Этот случай более удобно изучать при непрерывно возрастающих нагрузках, что и представлено на рис. 1 серий кривых, полученных при скорости возрастания моментов $v_m = 2$ Г·см·сек⁻¹. Отсюда видно, что с увеличением размеров подшипников сопротивления их прокручиванию значительно возрастают, с повышением температуры они уменьшаются, при этом разрушение структурного каркаса в меньшей мере маскируется вязким сопротивлением — имеет место более резкий переход от пускового режима упругих деформаций смазок к вязкому течению и стационарному вращению подшипников. Вообще влияние вязкого течения смазок несколько сильнее сказывается на пусковых режимах подшипников, чем на их прочностных свойствах, определяемых в условиях концентрического кручения образцов. С этим связано то, что на кривых $M(\gamma)$ прежде всего при низких температурах и больших v_m могут отсутствовать особые точки (излома, максимума), позволяющие определить переход от пусковых сопротивлений, обусловленных преодолением предела прочности в смазке, к

солидолом, были получены кривые $M(\gamma)$ с резко выраженным максимумом, который по данным 17 опытов соответствовал $\gamma = 0,3^\circ \pm 0,03$. Во всех случаях с увеличением v_m пусковые сопротивления возрастают, поэтому наиболее выгодными режимами запуска подшипников являются режимы их возможно более медленного запуска.

Прокручивание внутреннего кольца подшипников на один оборот приводит к снижению пусковых сопротивлений при последующем повторении опыта. После двух оборотов кольца кривые $M(\gamma)$ перестают зависеть от числа оборотов. Прокручивание подшипников на высоких скоростях может сильно снизить значение $M_{пп}$. Это иллюстрируется кривыми 1—7 на рис. 2 для случая прокручивания подшипников 207 в течение 10 мин. при 20° . $M_{пп}$ были определены при $v_m = 2 \text{ Г} \cdot \text{см} \cdot \text{сек}^{-1}$. Вращение на малых скоростях вызывает выдавливание смазки с беговых дорожек. Увеличение скорости приводит к перетеканию смазки под действием центробежных сил в сторону беговой дорожки внешнего кольца, что увеличивает стартовые сопротивления (переход от кривой 2 к кривой 5). При высоких скоростях прокручивания смазка выбрасывается из подшипника, в результате чего величины $M_{пп}$ уменьшаются (кривая 1).

Можно принять, что предельные пусковые моменты, соответствующие повороту кольца подшипника на $0,3^\circ$, связаны главным образом с преодолением предела прочности смазок. Сообразно с этим пусковые моменты M_p при $\gamma > 0,3^\circ$ и сопротивления при стационарном вращении подшипника удобно рассчитывать на предельные пусковые $M_{пп}$, соответствующие $\gamma = 0,3^\circ$, и вязкие (M_v) сопротивления.

На основе данных Г. В. Виноградова и М. Д. Безбородько (3) и результатов настоящей работы в табл. 1 приведены отношения величин M_v и $M_{пп}$ для подшипника 207, при этом величины $M_{пп}$ и M_v относятся к углу поворота внутреннего кольца подшипника, равному 10° . В табл. 1 второму и третьему столбцам отвечают испытания плотно заполненного подшипника после одного оборота кольца. В последующих столбцах приведены величины M_v из опытов Виноградова и Безбородько, а также значения $M_{пп}$, получаемые в результате испытаний, подобных указанным в третьем столбце, но только на подшипниках, прокрученных в течение 10-мин. при соответствующих скоростях (20°). Из данных табл. 1 видно, что с понижением температуры резко возрастает роль вязких сопротивлений; наоборот, при повышенных температурах резко возрастает относительная роль прочностных свойств смазок. Нет никакой нужды вводить новые параметры — числа пластичности и т. д. и предлагать специальные методы испытания смазок в ненагруженных подшипниках (3).

Зависимость $M_{пп}(t)$ для различных подшипников, в том числе для подшипника 207 при разных v_m , показана сплошными линиями на рис. 3. Для всех исследованных случаев существует однозначная зависимость между величинами $M_{пп}$ и $\tau_{пч}$ (пределы прочности смазок) и их изменениями с температурой. Наряду со сказанным следует обратить внимание также на то, что относительные температурные коэффициенты для величин $M_{пп}$ и $\tau_{пч}$ в пределах положительных температур имеют близкие значения.

Таблица 1

| Т-ра в° | Скорости возрастания моментов в Г·см·сек ⁻¹ | | Скорости предварит. прокручивания подшипников в об/мин | | | |
|------------|---|------|---|-----|-----|------|
| | 0,833 | 1,97 | 100 | 200 | 400 | 600 |
| 0 | 0 | 308 | 550 | 690 | 910 | 1250 |
| | 360 | 320 | 150 | 160 | 170 | 190 |
| 20 | 0 | 160 | 170 | 225 | 290 | 395 |
| | 220 | 160 | 120 | 125 | 130 | 140 |
| 50 | 0 | 80 | 60 | 75 | 100 | 140 |
| | 135 | 160 | 70 | 75 | 80 | 90 |

Величины $M_{пп}$ находятся в простой связи с размерами подшипников, а именно с площадями боковых поверхностей колец. Действительно, $M_{пп} = A (Bd^2)^{0,83}$, где $A = f(v_m; \tau_{пч})$, B — высота колец, d — диаметр

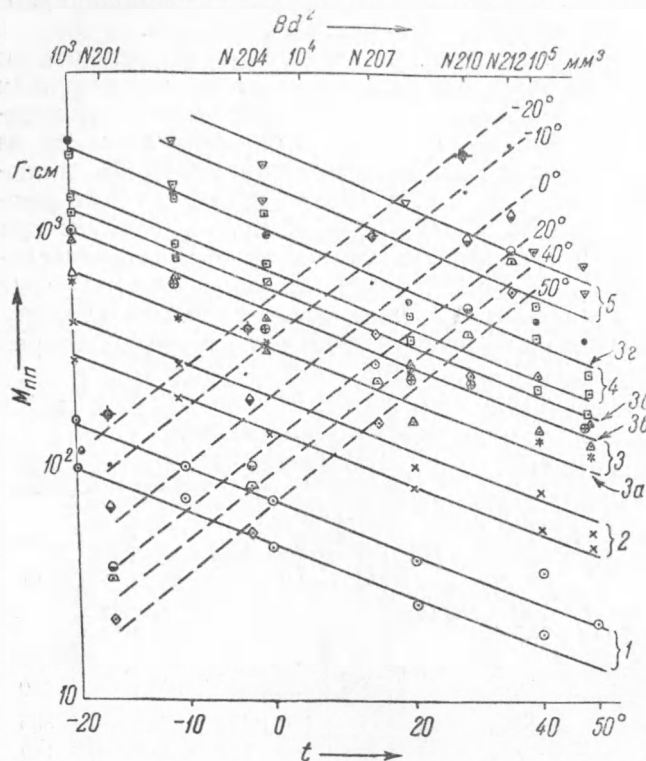


Рис. 3. Зависимость предельных пусковых моментов подшипников, заполненных солидолом, от температуры, скорости возрастания моментов и размеров подшипников. 1, 2, 3, 4, 5 — соответственно, подшипники 201, 204, 207, 210, 212 при скорости возрастания моментов 2 Г·см·сек⁻¹, верхние прямые — первое испытание, нижние — повторное испытание после поворота кольца подшипника на 360°; 3а, б, в, г — подшипник 207 при скорости возрастания моментов, соответственно, 0,0328; 1,97; 15,8; 126 Г·см·сек⁻¹ (первое испытание)

вала. Эта зависимость для плотно заполненных подшипников показана на рис. 3 пунктирными линиями. Используя понятие приведенных моментов $\overline{M}_{пп} = M_{пп} B^{-1} d^{-2}$, получаем, что для пяти вышеуказанных подшипников в интервале температур $-20 \div +50^\circ$ при $v_m = 2 \text{ Г·см·сек}^{-1}$ $\lg M_{пп} = (-4,62 \pm 0,37) + 850 T^{-1}$.

Зависимость $M_{пп}(v_m)$ для плотно заполненного подшипника 207 представлена на рис. 4. Отсюда видно, что скоростная зависимость также незначительна для $M_{пп}$, как и для $\tau_{пч}$; относительные скоростные коэффициенты $M_{пп}$ (величины

$\frac{1}{M_{пп}} \frac{dM_{пп}}{dv_m}$) и $\tau_{пч}$ имеют одинаковые значения.

Приведенные выше зависимости справедливы не только для плотно заполненных, но и для предварительно прокрученных подшипников. Эти случаи различаются лишь числовыми значениями коэффициентов. Кроме того, описанные здесь закономерности были проверены и подтверждены на роликовых подшипниках.

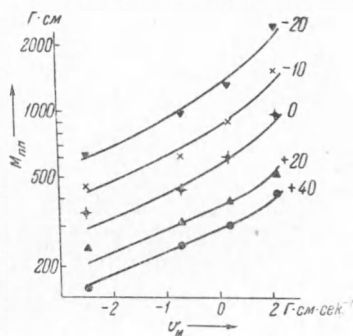


Рис. 4. Зависимость предельных пусковых моментов от скорости возрастания моментов

Поступило
8 V 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Г. В. Виноградов, М. М. Гвоздев, ДАН, 86, 341 (1952). ² Г. В. Виноградов, К. И. Климов, ЖТФ, 18, 355 (1948). ³ Г. В. Виноградов, М. Д. Безбородько, Подшипник, № 2, 8 (1953).