

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Г. В. ВИНОГРАДОВ и М. Д. БЕЗБОРОДЬКО

ВЯЗКОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК
И СОПРОТИВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЮ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 20 IV 1953)

Несмотря на очень широкое использование пластичных смазок в подшипниках качения и на то, что смазки могут значительно увеличивать сопротивления их вращению, из литературы известна только одна работа (1), в которой изучался вопрос о связи между вязкостными свойствами смазок и их поведением в подшипниках качения. Указанную статью следует признать совершенно недостаточной для разъяснения этого вопроса, — она представляет собой лишь отчасти его постановку, но отнюдь не полноценное рассмотрение данной проблемы. Проведенные за последние годы систематические исследования вязкостных свойств смазок (2, 3) создали необходимые предпосылки для постановки настоящего исследования.

Данное исследование проводилось на жировом солидоле, дисперсионной средой которого был веретенный дистиллат $\eta_{20^\circ} = 0,865$ пуаз; $\eta_{35^\circ} = 0,376$ пуаз; $\eta_{50^\circ} = 0,192$ пуаза). Солидол содержал 17,5% Са-мил хлопкового масла и 2% воды. Смазка была слабо щелочной, удовлетворявшей всем требованиям ГОСТ-1033 41. В работе использовались шарикоподшипники 207, 210, 212, 213 и роликоподшипник 32210, все нормального класса точности.

Подшипники испытывались как открытыми, так и герметизированными при помощи сальниковых уплотнений из маслостойкой резины. Во внутреннюю полость заполненных смазками открытых подшипников уровень с торцами вводилось наибольшее возможное количество (88% от всего объема полости) смазки, не вытесняемое телами качения. В случае подшипников с уплотнениями, если это не оговорено особо, использовалась их плотная набивка солидолом. Испытания проводили на ненагруженных подшипниках, так как это проще всего позволяет оценить сопротивления, оказываемые в них деформируемой смазкой.

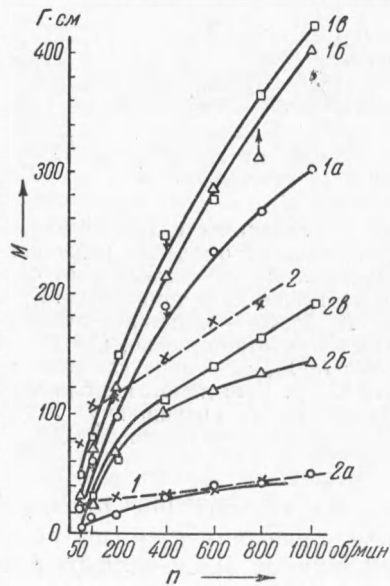


Рис. 1. Зависимость сопротивлений прокручивания сухих и смазанных маслом подшипников качения при 20°. 1, 1а, 1б, 1в — подшипник 210, сухой (1) и смазанный соответственно, 1, 5 и 10 каплями масла; 2, 2а, 2б, 2в — то же для подшипника 32210

Испытывавшиеся подшипники насаживались на вал, который мог вращаться с различными скоростями (n об/мин). Моменты сопротивлений M , развивающиеся при прокручивании подшипников, замерялись в условиях установившихся режимов их вращения при помощи маятника или динамометра, связанного с наружным кольцом подшипника. Во всех опытах находили собственное сопротивление подшипников, не заполненных смазкой, а в случае использования уплотнений — обусловленное ими сопротивление. Таким образом находили сопротивления, развивающиеся в подшипниках за счет деформации смазок. Было обеспечено термостатирование подшипников, причем производился также прямой замер температур в смазке в зоне беговой дорожки их наружного кольца.

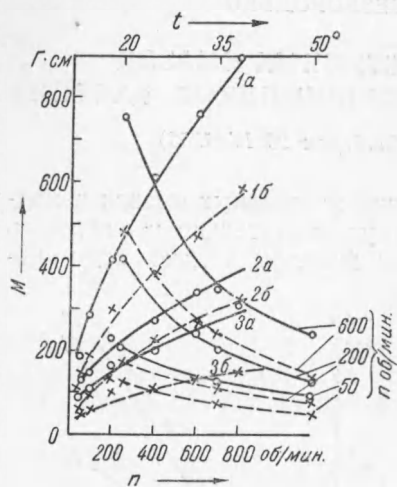


Рис. 2. Зависимость сопротивлений прокручивания открытых подшипников, заполненных смазками, от скоростей вращения и температур. Кривые 1а, 2а, 3а — испытания подшипника 210, соответственно, при 20, 35 и 50°; 1б, 2б, 3б — то же для подшипника 32210. Пунктирные кривые $M(t)$ соответствуют подшипнику 32210, сплошные — подшипнику 210

Воспроизводимость опытов, судя по замерам моментов, была порядка 5% для открытых подшипников и от 3 до 8,5% в случае подшипников с уплотнениями.

На рис. 1 представлены типичные кривые $M(n)$ для сухих подшипников (пунктирные линии) и подшипников, во внутреннюю полость которых было введено по несколько капель веретенного масла. Эти опыты проводились при 20°. На рис. 2 изображены кривые $M(n)$ для заполненных солидолом открытых подшипников, а также кривые $M(t)$ при различных n .

Из сопоставления рис. 1 и 2 и данных рис. 2 вытекает ряд важных выводов. Во-первых, хотя заполнение подшипников смазками увеличивает сопротивления их вращению, тем не менее в этом случае сопротивления значительно меньше зависят от скоростей вращения, нежели при смазывании подшипников даже небольшими количествами масла. В случае пластичных смазок моменты, отнесенные к скоростям вращения, быстро уменьшаются с увеличением n , особенно

при малых значениях n . Причина этого заключается в том, что эффективная вязкость η смазок резко снижается при увеличении скоростей их деформации D . Во-вторых, с понижением температуры возрастают значения M и усиливается их зависимость от n . В-третьих, с возрастанием n резко увеличивается температурная зависимость моментов. Все это стоит в прямой связи с особенностями вязкостных свойств смазок (3), у которых с понижением температуры возрастают сопротивления течению и усиливается их зависимость от скоростей деформаций, а при увеличении скоростей деформаций возрастает температурная зависимость эффективных вязкостей и сопротивлений течению M изменяется с температурой ($n = \text{const}$) и в зависимости от скорости вращения подшипников ($t = \text{const}$) так же, как изменяется сопротивление течению смазок в капиллярах при изменении температуры ($D = \text{const}$) и скоростей деформаций ($t = \text{const}$). Возможно установление количественного соответствия между параметрами, определяющими режимы течения смазок в капиллярах и в подшипниках. Для этого следует подобрать серию таких смазок, кривые течения которых пересекаются между собой (желательно при различных температурах). Так как температура слабо влияет на вязкость смазок, то всегда можно выбрать такие температуры,

чтобы точки пересечения кривых моментов и течения лежали в желательном интервале значений η , D , M , n . Соответствие кривых моментов и течения определяется из сопоставления положений точек пересечения на графиках $M(n)$ и $\tau(D)$, где τ — напряжение сдвига на стенке капилляра. Указанная возможность корреляции кривых моментов и течения была успешно проверена нами экспериментально.

Влияние характера заполнения подшипника смазкой на кривые $M(n)$ для случая подшипника 210 при 30° представлено на рис. 3 серией пунктирных линий. Из рисунка видна очень большая роль степени заполнения подшипников смазками и особенно важная роль уплотнений, которые сами по себе хотя и обуславливают лишь незначительное сопротивление, тем не менее существенно влияют на сопротивления деформированию смазки. Чтобы оценить относительную роль сопротивлений, оказываемых смазкой, по нашей просьбе В. П. Павловым на построенном им стенде (4) были проведены испытания на плотно заполненном и снаряженном уплотнениями подшипнике 210 при радиальных нагрузках от 800 до 1200 кг. Оказалось, что при $n = 200$ об/мин изменение температуры от 50 до 0° вызывает в наших опытах изменения моментов за счет деформации смазки от $1,5$ до 10 кг·см, а в опытах В. П. Павлова за счет указанного изменения нагрузки — от $3,2$ до 11 кг·см. Отсюда видно, что сопротивления, оказываемые смазками, могут достигать, а при низких температурах и превосходить сопротивления, обуславливаемые предельно высокими нагрузками.

Сопоставление кривых моментов для заполненных солидолом шарикоподшипников различных размеров, испытывавшихся при 35° , может быть сделано на основе рассмотрения серии кривых, представленных в двойных логарифмических координатах на рис. 3 (сплошные линии). Из рисунка видно исключительно большое сходство поведения смазок в подшипниках различных размеров; в частности, во всех случаях большим изменениям n отвечают малые изменения M , т. е. всегда M/n быстро уменьшается с увеличением n .

Визуальное наблюдение за поведением смазки в подшипниках качения и результаты скоростной киносъемки (4500 кадров/сек) показывают, что при не слишком низких температурах и высоких скоростях подшипников (например, для подшипника 210 до 1400 об/мин) вязкое течение смазки наблюдается в узких концентрических зонах у поверхностей колец подшипника. Исходя из этой картины поведения смазок в шарикоподшипниках, можно предложить метод инвариантного изображения кривых моментов для однотипных подшипников различных размеров, что значительно облегчает сопоставление их с кривыми течения. Для этой цели полезно ввести понятия приведенных скоростей \bar{n} и моментов \bar{M} . Примем, что $\bar{n} = n \frac{d}{2}$, $\bar{M} = MB^{-1} \left(\frac{d}{2} \right)^{-2}$, где d — внутренний диаметр, B — ширина

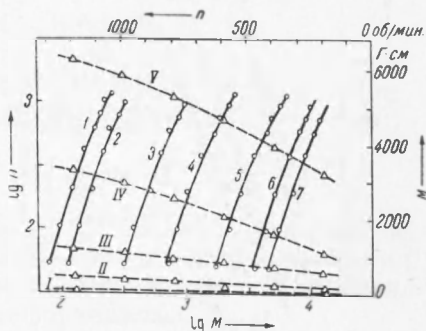


Рис. 3. Кривые моментов подшипника 210 при 30° и различном заполнении его смазкой и сопротивлении, оказываемое резиновым сальниковым уплотнением I — сухой подшипник 210; II — сопротивления смазки в заполненном ею открытом подшипнике 210; III — сопротивления уплотнений: из маслястойкой резины; IV — сопротивления смазки в заполненном ею на 88% (по объему) подшипнике с уплотнением; V — то же для плотно заполненного подшипника. Кривые моментов (35°) для различных открытых и снабженных уплотнениями шарикоподшипников: 1, 2, 3 — заполненные смазкой открытые подшипники 207, 210, 212; 4, 5, 6, 7 — заполненные смазкой и снабженные уплотнениями подшипники 207, 210, 212, 213

подшипника. Величины n и M пропорциональны средним значениям скоростей деформации и напряжений сдвига, действующим в указанных концентрических зонах. Конечно, условия деформации в этих зонах значительно сложнее, чем в случае концентрического кручения кольцевых

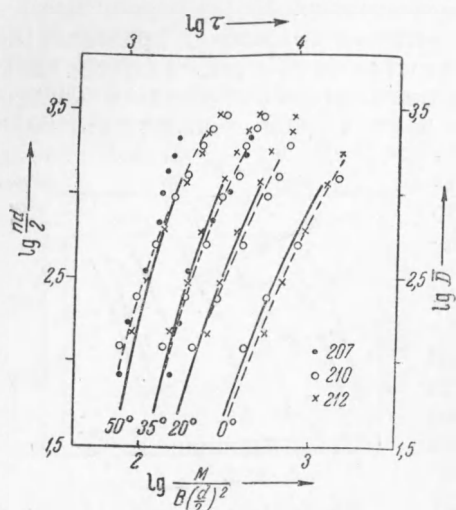


Рис. 4. Кривые течения солидола (сплошные линии) и обобщенные кривые моментов (пунктирные линии)

проходят несколько более круто, на положение первых сильнее влияет температура. Эти различия проявляются наиболее сильно в рассматриваемом случае подшипников с уплотнениями.

С целью обобщения описанных результатов, получаемых на подшипниках, заполненных солидолом, была поставлена серия опытов на Li-смазках, изготовленных на различных маслах. Эти опыты подтвердили все основные выводы, сделанные для солидола, и окончательно доказали, что зависящие от смазок и изменяющиеся с температурой и скоростями вращения сопротивления, развивающиеся в подшипниках, однозначно определяются вязкостно-температурными и вязкостно-скоростными характеристиками смазок.

Поступило
20 IV 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ L. C. Brunstrum et al., Nat. Petrol. News, Techn. Sect., 37, R 150 (1945).
- ² Г. В. Виноградов, В. П. Павлов, Сборн. Низкотемпературные свойства нефтепродуктов, 1949, стр. 61; ДАН, 88, 1391 (1947); 61, 1049 (1948); 71, 1073 (1950).
- ³ Г. В. Виноградов, В. В. Синецын, ДАН, 84, 85; 86, 573 (1952).
- ⁴ В. П. Павлов, там же, № 11—12, 95 (1951).