УДК 678.01

Б. С. Приходько, В. Б. Симагина

ИЗНАШИВАНИЕ КАПРОЛОНА

Капролон широко используют в судостроении и судоремонте в подшипниковых узлах, работающих без смазки или со смазкой водой. В группе полиамидов капролон наиболее прочен ($\sigma_В$ = 90 МПа), химически стоек к воздействию органических растворителей и других агрессивных жидкостей, нетоксичен, сравнительно теплостоек (теплостойкость по Мартенсу 75…76 °С, температура плавления 220…225 °С).

Работоспособность капролона при смазке водой не хуже, чем при смазке минеральными маслами.

Основным конструктивным параметром полимерных подшипников скольжения, определяющим их работоспособность, является зазор в сопряжении с валом.

Диаметральный зазор в капролоновых подшипниках существенно зависит от влагопоглощения капролона и интенсивности изнашивания пары трения. Изнашивание, в свою очередь, определяется условиями работы подшипникового узла (давление и рабочая температура, шероховатость поверхности вала и др.)

Антифрикционные свойства пластмасс на основе полиамидов (в том числе и капролона) изучены мало [1], и потому необходимо совершенствование теории изнашивания полиамидов и накопление экспериментального материала [2].

Качественно интенсивность изнашивания полимеров может быть выражена соотношением, приведённым в [3]:

$$i_h \approx \frac{f(T)}{H(T)\cdot\sigma_0(T)\cdot\varepsilon_0(T_0)},$$

где $f(T)$ – коэффициент трения; $H(T)$ – твёрдость полимера; $\sigma_0(T)$ – исходная прочность; $\varepsilon_0(T)$ – относительная деформация при разрушении.

Таким образом, температура определяет упругопрочностные свойства полимера и тем самым интенсивность его изнашивания. При этом влияние температуры на износостойкость аморфных и кристаллических полимеров существенно различается.

Капролон состоит из аморфной и кристаллической фаз. При нормальной температуре степень кристалличности составляет 75–79 % [4].

С повышением температуры в зоне трения структура капролона изменяется, возрастает доля аморфной фазы, твёрдость и прочность уменьшаются, а относительное удлинение увеличивается. Поэтому однозначно сказать, как изменится износостойкость капролона с ростом температуры, нельзя.

Кроме указанных механических свойств, на износостойкость капролона влияет давление на поверхностях трения и шероховатость трущихся поверхностей.

Исследование зависимости скорости и интенсивности изнашивания капролона от шероховатости поверхности капролона при разных температурах охлаждающей воды и рабочих давлениях на поверхностях трения выполняли на машине трения СМЦ-2 по схемам вал-втулкаи вал-колодка. Образцы капролона изготавливали в виде втулок с диаметром отверстия 30 мм и длиной 20 мм и в виде колодок прямоугольной формы 10 × 20 мм. Контртелом служили бронзовые валы диаметром 28,5 и 50 мм с шероховатостью поверхности (по параметру *Rz*) от 2 до 80 мкм. Шероховатость бронзовых валов измеряли на двойном микроскопе МИС-11. Износ капролоновых втулок измеряли на горизонтальном оптиметре, а капролоновых колодок – на инструментальном микроскопе методом вырезанных лунок. С помощью специального теплообменника температуру охлаждающей воды в камере машины трения регулировали в пределах +17…+100 °С.

Износ капролоновой втулки в зависимости от температуры охлаждающей воды, давления и шероховатости бронзового вала определяли с учётом влагопоглощения капролона. Шероховатость поверхности бронзового контртела формировали не за счёт точения валов на разных режимах, когда шероховатость в продольном и поперечном сечениях вала получается разной, а путём травления поверхности трения валов азотной кислотой. В этом случае шероховатость поверхности стабильно обеспечивается постоянной в любом сечении контртела.

Диаметральный размер втулки измеряли в направлении износа и в перпендикулярном к нему направлении. Это позволяло учесть изменение размера втулки за счет её набухания.

Сопоставление кривых *1*, *2* (рис. 1) указывает на влияние температуры на изнашивание капролона: повышение температуры с +17 до +53 °С повышает износостойкость капролона; в ещё большей степени на износ капролоновой втулки влияет шероховатость поверхности вала. При значительных износах втулки отмечается отклонение от линейности (кривая *1* на рис. 1), что можно объяснить увеличением площади контакта и уменьшением давления на поверхности трения.

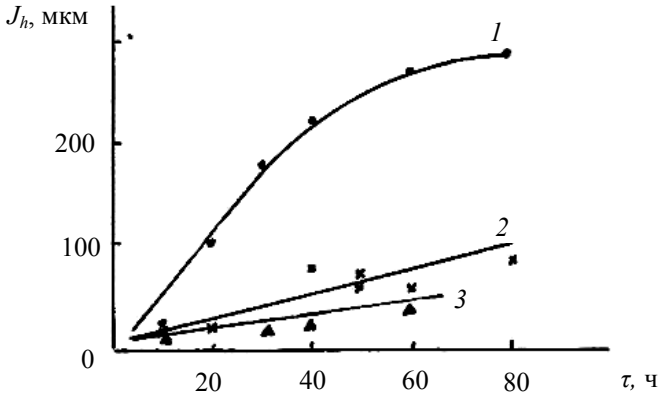


Рис. 1. Износ капролоновой втулки при различных условиях трения:
1 – P = 0,26 МПа; T = +17…+19 ºС; Rz = 5,8…8,3 мкм
2 – P = 0,32 МПа; T = +53 ºС; Rz = 5,5…8,6 мкм
3 – P = 0,32 МПа; T = +15…+17 ºС; Rz = 3,6…4 мкм

В связи с этим эксперименты были продолжены на капролоновых колодках. Номинальная площадь контакта вала и колодки остаётся постоянной независимо от износа.

Как показали эксперименты, скорость изнашивания капролона (рис. 2) уменьшается при повышении температуры охлаждающей воды.

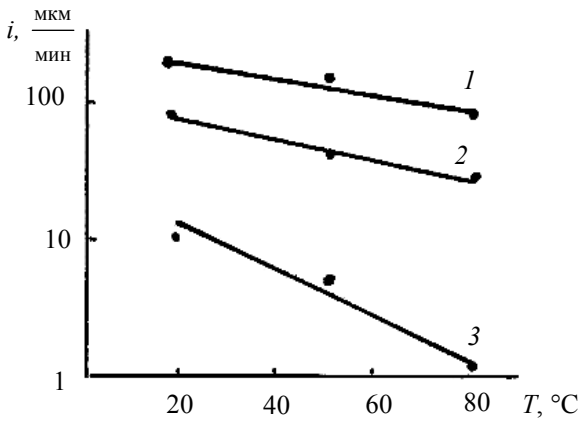


Рис. 2. Влияние температуры на скорость изнашивания капролона.
Скорость скольжения 1,6 м/с. Номинальное давление 0,36 МПа.
Шероховатость поверхности вала: *1* – Rz = 80 мкм; *2* – Rz = 70 мкм; *3* – Rz = 34 мкм

С повышением температуры степень кристалличности капролона уменьшается, а аморфная часть структуры (в диапазоне +17…+80 °С) находится в высокоэластичном состоянии. При этом твёрдость капролона уменьшается примерно в 2 раза, что должно приводить к уменьшению износостойкости, но вынужденно-эластичные деформации резко увеличиваются [3], и поэтому следует ожидать снижения износа капролона. Это подтверждено экспериментально для указанного выше диапазона температур.

Важнейшим фактором, влияющим на изнашивание капролона, является шероховатость поверхности контртела. Изменение параметра Rz с 5 до 30 мкм вызывает повышение интенсивности изнашивания более чем в 100 раз (рис. 3). В указанном на рисунке диапазоне температур экспериментальные точки удовлетворительно выравниваются в полулогарифмических осях координат.

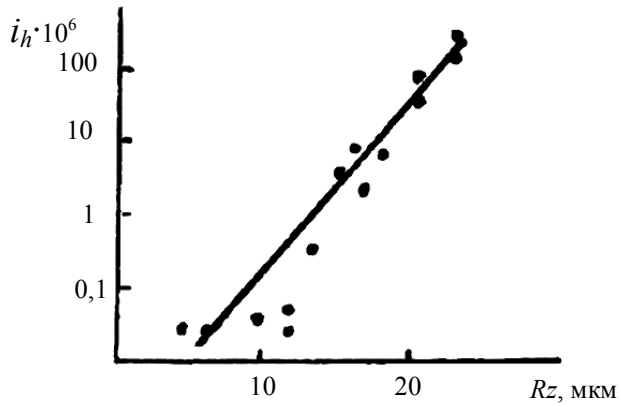


Рис. 3. Зависимость интенсивности изнашивания капролона
от шероховатости поверхности контртела. Температура охлаждающей воды +17…+20 °С.
Номинальное давление на поверхности трения P = 0,36…0,40 МПа

Это значит, что для повышения надёжности капролоновых подшипников (в том числе дейдвудных подшипников промысловых судов) первостепенное значение имеют исходная шероховатость и коррозионная стойкость поверхности валов.

Выводы

1. Интенсивность изнашивания капролона решающим образом (при прочих равных условиях) зависит от шероховатости поверхности контртела. При шероховатостях с $Rz > 5$ мкм интенсивность изнашивания капролона быстро возрастает до катастрофической. Для уменьшения интенсивности изнашивания капролоновых подшипников рекомендуется поверхность трения контртела обрабатывать отделочно-упрочняющими методами.

2. Повышение температуры воды, охлаждающей капролоновые подшипники, до +70…+80 ºС при статическом приложении нагрузки не может быть причиной катастрофического износа капролона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бартенев Г. М., Зеленев Ю. В.* Физика и механика полимеров: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1983. – 391 с.
2. *Бартенев Г. М., Лаврентьев В. В.* Трение и износ полимеров. – Л.: Химия, 1972. – 240 с.
3. *Энциклопедия* полимеров. Т. 1 / Под ред. В. А. Каргина. – М.: Сов. энцикл., 1972. – 628 с.
4. *Лубенко В. Н.* Повышение надёжности капролоновых дейдвудных подшипников судов флота рыбной промышленности: Автореф. дис. … д-ра техн. наук. – Астрахань, 1996. – 33 с.

Статья поступила в редакцию 20.11.2006

CAPROLON WEAR PROCESS

B. S. Prikhodko, V. B. Simagina

The results of the experimental research of caprolon wearability in friction pair with bronze opposite element are presented; the influence of pressure on friction surfaces and the influence of the surface roughness and temperatures of cooling water on the speed and intensity of caprolon wear process are shown. It is established, that the intensity of caprolon wear process definitely depends on the surface roughness of opposite elements friction, and increase of the cooling water temperature up to 80 ºC cannot cause catastrophic caprolon deterioration.

Key words: caprolon, wear, roughness, the intensity and the speed of wear process.