

УДК 621.88.084.4

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ПОКОЯ ПОЛИАМИДНОГО ПОКРЫТИЯ ПО СТАЛИ

Кущенко А.В., Башкарев А.Я., Корелин В.Ф.

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Минобрнауки России»,
Санкт-Петербург, e-mail: bashkarev@stu.neva.ru

Сопряжения с натягом в конструкциях машин подвергаются разрушению в результате фреттинг-коррозии. Одним из способов борьбы с этим явлением может стать применение тонкослойных полимерных покрытий. В работе исследована величина коэффициента трения покоя полиамидного покрытия, а также некоторых композитных материалов на его основе по стали. Установлено, что он уменьшается с ростом давления в зоне трения.

Ключевые слова: сопряжения с натягом, полиамидные покрытия, коэффициент трения, фреттинг-коррозия

THE STUDY OF THE COEFFICIENT OF STATIC FRICTION POLYAMIDE COATING ON STEEL

Kushchenko A.V., Bashkarev A.Y., Korelin V.F.

Saint-Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, e-mail: bashkarev@stu.neva.ru

Compression connections in the construction of machines may be destroyed as a result of fretting corrosion. One way to combat this phenomenon could be the use of thin-film coatings. We have studied the value of the coefficient of static friction polyamide coating, as well as some of composite materials on its basis on steel. Found that it decreases with increasing pressure in the friction zone.

Keywords: compression connection, polyamide coatings, coefficient of friction, fretting corrosion

Одним из возможных перспективных направлений использования полимерных материалов в машиностроении может стать применение некоторых из них, например, полиамидов, в соединениях с натягом. Как известно, такие соединения используются для передачи между деталями осевых сил и крутящих моментов без применения дополнительных крепежных элементов (шпонки, болты, штифты и т.п.). Основной причиной разрушения сопряжений с натягом из металла является фреттинг-коррозия, развивающаяся в них под действием переменных нагрузок [1, 6, 7]. Полиамидные материалы, находясь между двумя металлическими поверхностями, исключают ее развитие.

На рис. 1 представлена схема применения полиамидного покрытия при создании соединения с натягом.

В соединении с натягом максимальные значения передаваемой осевой силы и крутящего момента определяются не только размерами соединения и величиной радиального давления в зоне сопряжения q , а также величиной коэффициента трения покоя f_n между поверхностью втулки и полимерным покрытием вала [1]. Если величину радиального давления можно определить, используя известные методы теории упругости [3], то информации о величине

коэффициента трения покоя полиамидного покрытия по стали в литературных источниках приводится недостаточно.

В данной работе испытания проводились на образцах (рис. 2), имеющих тонкослойное покрытие из полиамидной смолы ПА-6. Толщина слоя полиамида составляла 0,3 мм.

В ходе эксперимента образцы нагружались сжимающим усилием двумя стальными пластинами с помощью нагружателя, позволяющего создавать давление в зоне контакта до 25 МПа и в последующем сдвигались. Усилие сдвига определялось по диаграмме нагружения фиксировавшейся на компьютере испытательной машины ИР5047-50-11. Аналогичные эксперименты были проведены с образцами из Ст5 без полиамидного покрытия.

Из данных исследований следует, что коэффициент трения покоя полиамида ПА-6 по стали не является постоянной величиной, а уменьшается с ростом давления. Изменение его величины при давлениях в зоне трения от 1 до 25 МПа может быть аппроксимировано выражением:

$$f_n = 0,22 \cdot q^{-0,11}, \quad (1)$$

где f_n – коэффициент трения покоя полиамида ПА-6 по стали, q – давление в зоне трения, МПа.

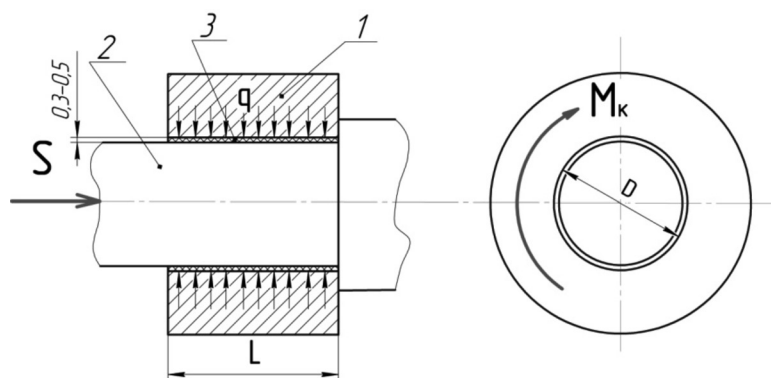


Рис. 1. Схема применения полиамидного покрытия при создании соединения с натягом. 1 – втулка, 2 – вал, 3 – тонкослойное полиамидное покрытие, S – осевая нагрузка, M_k – внешний крутящий момент, q – радиальное давление в зоне сопряжения, D – номинальный посадочный диаметр, L – длина сочленения

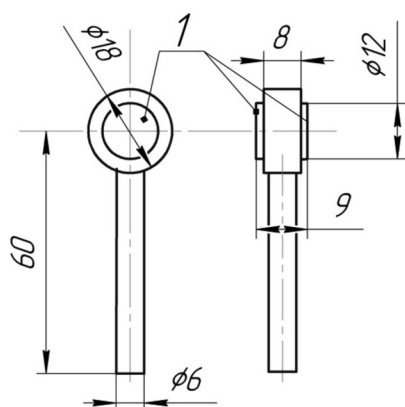


Рис. 2. Образцы для испытаний. 1 – полиамидное покрытие



При давлениях больших, чем 25 МПа коэффициент трения покоя стабилизируется около значения 0,15.

Характер изменения коэффициента трения покоя полиамида по стали и стали по стали совпадает с аналогичными результатами, приведенными в [1, 7]. Анализ причин такого изменения коэффициента трения покоя не входил в задачу исследования.

Из литературных источников [1, 6, 7] известно, что коэффициент трения покоя стали по стали без смазки в зависимости от ее марки, термообработки и шероховатости поверхности находится в диапазоне от 0,35 до 0,25. Более низкий коэффициент трения покоя полиамида ПА-6 по стали свидетельствует о том, что при использовании тонкослойных полимерных покрытий при создании сопряжений с натягом необходимо либо найти способ повышения коэффициента трения покоя стали по полимеру за

счет применения присадок, либо использовать такие технологические режимы нанесения полимерных покрытий, которые позволят увеличить нагрузочные возможности и долговечность соединения за счет увеличенной адгезии, либо использовать соединения с увеличенным натягом.

Для оценки возможности повышения величины коэффициента трения покоя композитов на основе полиамида ПА-6 по стали были использованы три вида добавок: свинцовый сурик, стеклянный порошок и асбест. Известно [6, 7], что применение этих материалов увеличивает коэффициент трения скольжения.

Влияние добавки свинцового сурика

При проверке эффективности добавки свинцового сурика на величину коэффициента трения покоя была реализована следующая методика. Было принято, что провер-

ку следует проводить при использовании количества сурика максимально допустимого по условиям адгезии композитного слоя к стали.

Результаты исследований величины адгезии смеси полиамида ПА-6 и свинцового сурика показывает, что массовое содержание свинцового сурика в порошкообразном полиамиде ПА-6 до 20% практически не сказывается на величине адгезии. Больше содержание свинцового сурика приводит к существенному снижению адгезии. Поэтому изучение величины коэффициента трения покоя выполнялось при массовом содержании свинцового сурика в полиамиде ПА-6 в 20%.

Добавление 20% свинцового сурика в полиамид ПА-6 несколько увеличивает коэффициент трения покоя (примерно на 20%) в зоне давлений от 1 до 10–12 МПа, но, тем не менее, не делает его сопоставимым с коэффициентом трения покоя стали по стали. При большем давлении в зоне контакта коэффициент трения покоя становится даже ниже чем у чистого полиамида (рис. 3).

Изменение величины коэффициента трения покоя полиамида ПА-6 с добавкой 20% свинцового сурика по стали может быть аппроксимировано выражением:

$$f_n = 0,28 \cdot q^{-0,2} \quad (2)$$

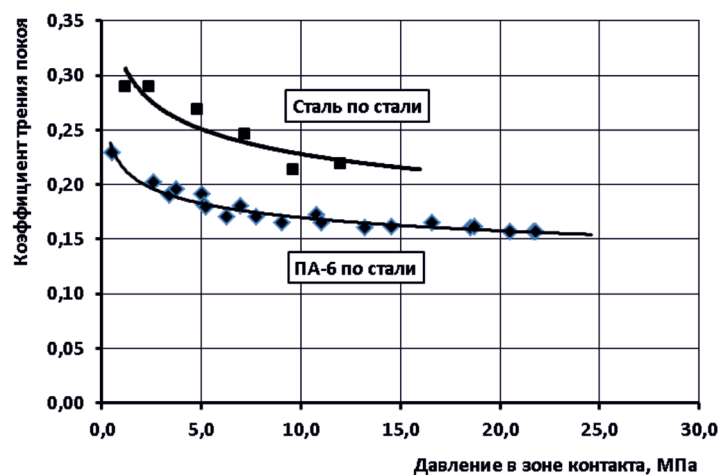


Рис. 3. Сравнение величин коэффициентов трения покоя полиамида ПА-6 по стали и стали по стали

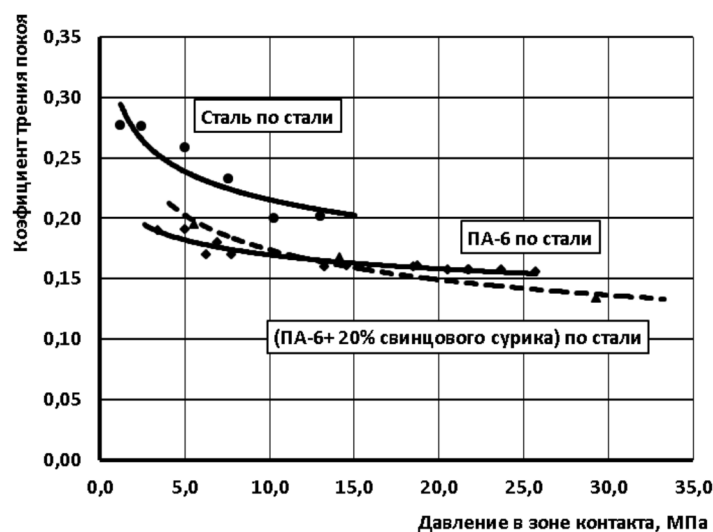


Рис. 4. Изменение коэффициентов трения покоя от давления в зоне контакта для сочетаний: сталь по стали, полиамид ПА-6 по стали и полиамид ПА-6 + 20% свинцового сурика по стали

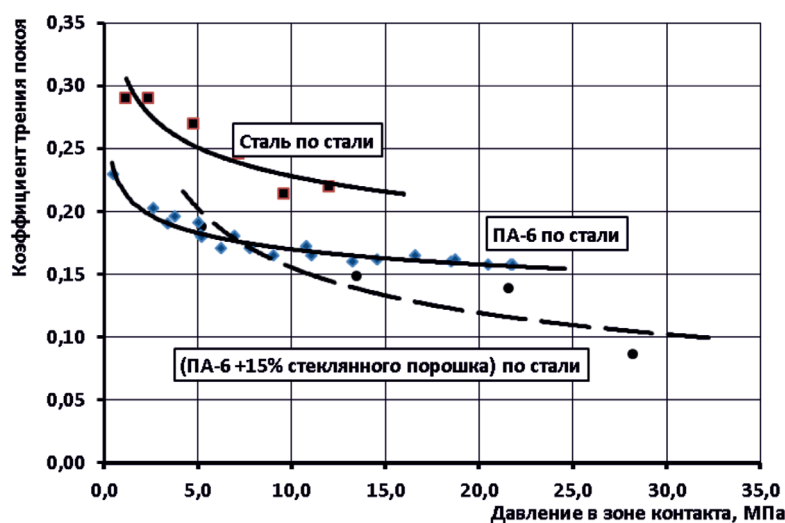


Рис. 5. Изменение коэффициентов трения покоя от давления в зоне контакта для сочетаний: сталь по стали, полиамид ПА-6 по стали и полиамид ПА-6 + 15 % стеклянного порошка по стали

Влияние добавки стеклянного порошка

Добавление стеклянного порошка в полиамид повышает жесткость смеси и шероховатость поверхности. Для экспериментов в полиамид ПА-6 было добавлено в массовой доле 15% стеклянного порошка фракции 0,14 мм и менее. Предварительно было также установлено, что такое количество стеклянного порошка не снижает адгезию смеси к стали.

Сравнение результатов экспериментального определения величины коэффициента трения покоя стали по стали, чистого полиамида по стали и полиамида с добавлением стеклянного порошка показывает, что добавление стеклянного порошка, как и добавление свинцового сурика, увеличивает коэффициент трения покоя в зоне давлений до 5–7 МПа. При большем давлении в зоне контакта коэффициент трения покоя становится меньше чем у чистого полиамида (рис. 4). Изменение его величины может быть аппроксимировано выражением:

$$f_n = 0,34 \cdot q^{-0,36} \quad (3)$$

Влияние добавки асбеста

Плотность асбеста в естественном состоянии составляет 2400–2600 кг/м³, а распушенного всего от 100 до 300 кг/м³. Плотность полиамида ПА-6 в порошкообразном состоянии около 1000 кг/м³. Такая

значительная разница в плотности распушенного асбеста и полиамида создают проблемы в нанесении тонкослойных композиционных покрытий при использовании технологии псевдооживленного слоя. Поэтому эксперименты удалось провести только с массовой добавкой асбеста в полиамид ПА-6 в 6%. Обычно массовое содержание асбеста в фрикционных материалах, например, таких как ретинакс, получаемого горячим прессованием, доходит до 30% [5].

Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что добавление асбеста в полиамид ПА-6 несколько повышает коэффициент трения покоя во всем диапазоне давлений. Изменение его величины может быть аппроксимировано выражением:

$$f_n = 0,28 \cdot q^{-0,17} \quad (4)$$

Выводы

1. Коэффициент трения покоя во всех исследованных сочетаниях материалов тел трения уменьшается с ростом давления на поверхности контакта до 25–30 МПа, а далее остается практически постоянным.

2. Коэффициент трения покоя пары полиамид ПА-6 – сталь меняется от 0,22 при давлении в 1 МПа до 0,15 при давлении 25 МПа. При давлении большем, чем 25 МПа коэффициент трения покоя может быть принят равным 0,15.

3. Коэффициент трения покоя стали по композитным покрытиям из полиамида ПА-6 со свинцовым суриком и со стеклянным порошком при росте давления в зоне контакта уменьшается более интенсивно, чем у пары сталь-покрытие из чистого полиамида ПА-6, достигая величин 0,28–0,34 в зоне давлений от 1 до 5 МПа, а затем становится существенно меньше (0,1–0,14 при давлении более 25 МПа) чем у полиамида без добавок (0,23 и 0,16 соответственно).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гречищев Е.С., Ильяшенко А.А. Соединения с натягом: Расчеты, проектирование, изготовление. – М., Машиностроение, 1981. – 247 с.
2. Иवानьков С.А., Башкарев А.Я. О долговечности и прочности композитов // Научно-технические ведомости СПбГПУ, № 4 (110), СПб, Изд. СПбГПУ, 2011. – С. 196–199.
3. Казакевич Г.С., Рудской А.И. Механика сплошных сред. Теория упругости и пластичности. – СПб, изд-во СПбГПУ, 2003. – 264 с.
4. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической обработки наблюдений. – М., Физматгиз, 1982. – 320 с.
5. Машиностроительные материалы, Раскатов В.М. [и др.]; под ред. В.М. Раскатова. – М., Машиностроение, 1969. – 351 с.
6. Основы трибологии. А.В. Чичинадзе [и др.]; под ред. А.В. Чичинадзе. – М., Машиностроение, 2001. – 663 с.
7. Трение, изнашивание и смазка. В.В. Алисин [и др.], под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. – М., Машиностроение, 1978. – 400 с.
8. Энциклопедия полимеров, т. 2, под ред. В.А. Кабанова. – М., Советская энциклопедия, 1974 – 1032 с.