

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 539.62(045)+621.88(045)

И. В. Абрамов, доктор технических наук, профессор
Ю. В. Турыгин, доктор технических наук, профессор
П. В. Лекомцев, старший преподаватель;
А. В. Романов, ассистент
 ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

КОЭФФИЦИЕНТЫ ТРЕНИЯ В КОНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЯХ С НАТЯГОМ С ДЕТАЛЯМИ ИЗ ТВЕРДЫХ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ¹

В статье представлены результаты сравнения коэффициентов трения для такого сочетания материалов, как корундовая керамика и кварцевое стекло, определяемых на машине трения и, косвенно, путем измерения силы запрессовки и выпрессовки конического соединения.

Ключевые слова: коэффициент трения, коническое соединение с натягом, нагрузочная способность, корундовая керамика, кварцевое стекло.

Введение

При проектировании соединений с натягом деталей с различными свойствами материалов немаловажным является расчет сил трения при контактном взаимодействии деталей в условиях формирования и эксплуатации соединения. Все более широкое применение в машиностроении находят соединения с натягом хрупких неметаллических деталей (крепление перемешивающих устройств в стеклянных химических реакторах, керамических подшипников, крыльчаток, зубчатых колес, форсунок и т. д.), отличающиеся повышенной износо- и коррозионностойкостью, работающие в больших температурных диапазонах. В данной работе исследуется коэффициент трения такой пары материалов, как корундовая керамика и кварцевое стекло, который может использоваться при оценке нагрузочной способности конического соединения деталей из вышеназванных материалов.

Ввиду отличия физико-механических свойств, главным образом твердости и трещиностойкости, процесс относительного скольжения при контакте шероховатых тел из такой пары трения, как корундовая керамика и кварцевое стекло, можно классифицировать как микрорезание. В [1] для описания деформационной модели трения такого сочетания материалов применена зависимость, отражающая свойства хрупких материалов и хорошо согласующаяся с ранее проведенными экспериментами на машине трения [2]. Полученная зависимость требует проверки в реальных соединениях.

Методика экспериментов

Исследование коэффициента трения пары материалов «корундовая керамика – кварцевое стекло» проводилось двумя способами:

- непосредственно на машине трения SRV-III Test System по схеме испытания «диск-индентор»;

- косвенно путем измерения силы запрессовки и выпрессовки конического соединения.

Результаты испытаний на машине трения

Подробное описание экспериментальных образцов и установки представлены в [3].

В результате проведенных исследований на машине трения построена кривая зависимости коэффициента трения пары материалов «корундовая керамика – кварцевое стекло» от нормальной нагрузки (рис. 1).

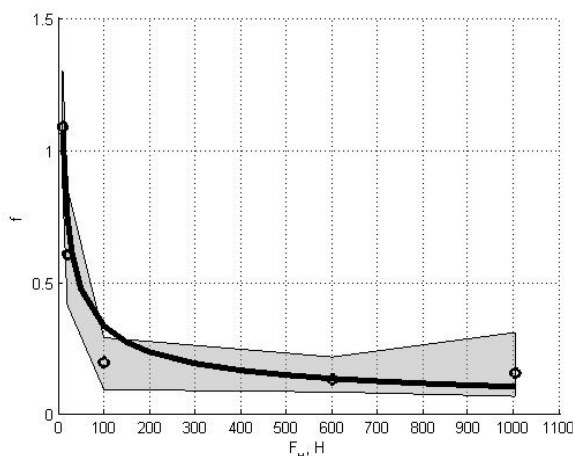


Рис. 1. Значения коэффициента трения в зависимости от нормальной нагрузки и доверительная область с вероятностью 0,95, полученные в результате статистической обработки данных эксперимента

Из графиков на рис. 1 видно, что зависимость f от F_n повторяет общепринятый характер зависимости коэффициента трения от нагрузки при упругом контакте [4], но отличается количественными значениями и градиентом уменьшения величины f при увеличении нормальной силы F_n .

Результаты расчетов косвенным методом

Для оценки коэффициентов трения в конических соединениях применяют следующие зависимости [5]: при запрессовке

$$f_3 = \frac{F_3}{p_n S \cos \alpha} - \operatorname{tg} \alpha; \quad (1)$$

при выпрессовке

$$f_b = \frac{F_b}{p_n S \cos \alpha} + \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где p_n – среднее значение нормального давления в сопряжении, МПа; S – номинальная площадь поверхности сопряжения, мм²; F_3 и F_b – сила запрессовки и выпрессовки соответственно, Н.

Результаты измерений сил запрессовки и выпрессовки, а также подробное описание экспериментов по исследованию нагрузочной способности опытного конического соединения представлены в [6, 7]. Значения нормального давления в сопряжении для опытного конического соединения рассчитывалось методом конечных элементов [8]. Расчетное значение p_n принималось для среднего сечения соединения.

На рис. 2 представлены зависимости коэффициентов трения при выпрессовке, рассчитанные по формуле (2) для КСН, собранных термическим и механическим методами.

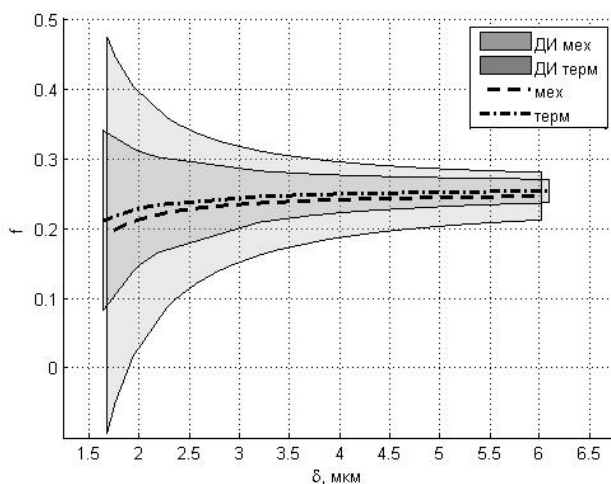


Рис. 2. Изменение коэффициентов трения от натяга в коническом соединении: — — при выпрессовке прессового соединения; - - - - при выпрессовке термического соединения

Светло-серым и серым цветами на графике обозначены доверительные области при вероятности 0,95 для коэффициентов трения при выпрессовке КСН, собранных механическим и термическим способами соответственно.

На рис. 3 представлена зависимость коэффициента трения при запрессовке, рассчитанная по формуле (1). Светло-серым цветом на графике обозначена доверительная область при вероятности 0,95.

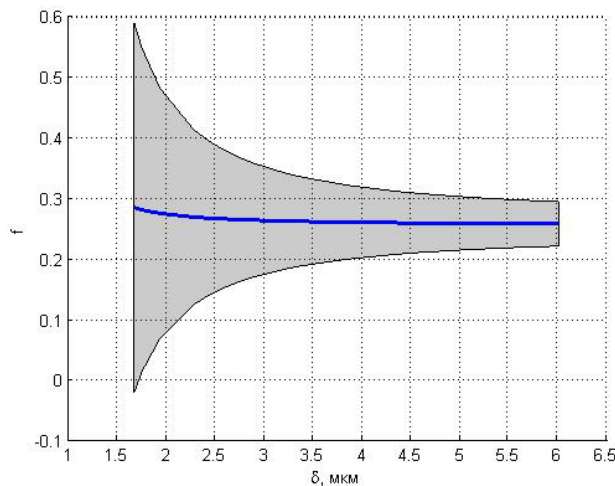


Рис. 3. Изменение коэффициента трения от натяга в коническом соединении при запрессовке

На рис. 4 представлены графики зависимостей коэффициентов трения при запрессовке, выпрессовке прессового соединения и при выпрессовке термического соединения от натяга.

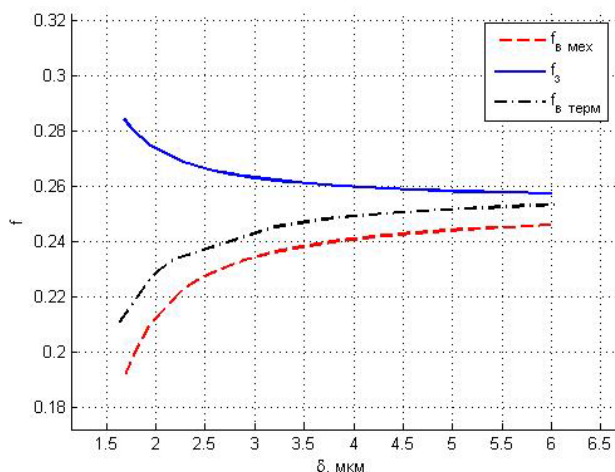


Рис. 4. Изменение коэффициентов трения от натяга в коническом соединении: — — при запрессовке; - - - - при выпрессовке прессового соединения; - - - - при выпрессовке термического соединения

Из полученных графиков видно, что коэффициент трения при запрессовке f_3 несколько снижается при увеличении натяга, что согласуется с результатами экспериментов на машине трения (рис. 1) и общепринятыми зависимостями при трении тел в зоне упругости [9]. Коэффициент трения при выпрессовке f_b (страгивании), напротив, увеличивается с ростом значений натягов (контактных давлений), что можно объяснить увеличением фактической площади контакта в соединении. Однако важным и отличительным моментом является то, что коэффициент трения при выпрессовке (трение покоя) ниже коэффициента трения при запрессовке. Данное явление не характерно для традиционных соединений из металлических деталей, может быть объяснено как наличием промежуточного слоя абразивных частиц износа

вследствие скольжения контактных поверхностей при формировании КСН, так и появлением трещиноватого (на микроуровне) поверхностного слоя контактной поверхности кварцевого штифта при внедрении более твердых выступов охватывающей детали КСН. Полученные данные требуют дополнительных исследований в поисках вариантов повышения нагрузочной способности и относительной прочности таких соединений.

Заключение

В результате проведенных исследований на машине трения установлено, что коэффициент трения пары материалов «корундовая керамика – кварцевое стекло» изменяется с 0,2 до 0,16 при изменении нормальной силы со 100 до 1000 Н. При сборке опытного конического соединения при соизмеримой площади контакта коэффициент трения уменьшается с 0,28 до 0,26 при изменении силы запрессовки с 800 до 2400 Н. Большее значение коэффициента трения, определенного косвенным методом, обусловлено краевыми эффектами в реальном коническом соединении и геометрическими погрешностями изготовления деталей. Коэффициент трения при выпрессовке (трение покоя) ниже коэффициента трения при запрессовке. Данное явление не характерно для традиционных соединений из металлических деталей, может быть объяснено как наличием промежуточного слоя абразивных частиц износа вследствие скольжения контактных поверхностей при формировании КСН, так и появлением трещиноватого (на микроуровне) поверхностного слоя контактной поверхности.

Библиографические ссылки

1. *Czichos H., Habig K. H.* Tribologie-Handbuch. Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik. Springer, (2010).
2. *Лекомцев П. В.* Экспериментальные исследования сухого трения пары материалов «корундовая керамика – кварцевое стекло» // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке : электронное научное издание : сборник материалов IV Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием, Ижевск, 20–21 апреля 2016 года. –Ижевск : ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, ИННОВА, 2016. – С. 78–85. –ISBN 978-5-9906108-6-6.
3. Там же.
4. *Крагельский И. В.* Трение и износ. – Изд. 2-е перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1968. – 480 с.
5. *Лекомцев П. В., Абрамов И. В.* Исследование нагрузочной способности конического соединения деталей из пары материалов «техническая керамика-стекло» // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке [Электронный ресурс] : электронное научное издание : сборник материалов III Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием, Ижевск, 22–23 апреля 2015 года / ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – Ижевск : ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, ИННОВА, 2015. – С. 193–200. – ISBN 978-5-9906108-6-6.
6. Там же.
7. *Lekomtsev P., Božek P., Romanov A., Abramov A., Abramov I., Nikitin Y.* Extracting Load Research of Taper Interference Fit Made of Glass and Ceramics Parts Using a Servo Press", Applied Mechanics and Materials, Vol. 816, pp. 461–468, 2015.
8. *Абрамов И. В., Лекомцев П. В., Трефилов Н. А.* Компьютерные исследования нагрузочной способности конического соединения с натягом с деталями из хрупких неметаллических материалов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2015. – № 2 (26). – С. 44–51.
9. *Крагельский И. В.* Трение и износ. – 480 с.

I. V. Abramov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU
Yu. V. Turygin, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU
P. V. Lekomtsev, Senior Lecturer, Kalashnikov ISTU
A. V. Romanov, Assistant, Kalashnikov ISTU

Friction Coefficients in Tapered Interference Fits of Parts Made of Hard Brittle Materials

The paper presents the comparison of results of determining the coefficient of friction for such a combination of materials as alumina ceramics and quartz glass determined at the friction machine and, indirectly, by measuring the press-in and press-out forces of the tapered interference fit.

Keywords: coefficient of friction, tapered interference fit, load-carrying capacity, alumina ceramics, quartz glass.

Получено: 29.11.16