

## 7 НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

УДК 534.014:539.4:621.9

### ОСОБЕННОСТИ ФРИКЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПАРЫ МЕТАЛЛ–ПОЛИМЕР ПРИ РЕВЕРСИВНОМ СКОЛЬЖЕНИИ

П. Н. БОГДАНОВИЧ, А. А. БАЙДАК

*Белорусский государственный университет транспорта*

Безопасность на транспорте в значительной мере определяется долговечностью узлов трения, работающих в режиме «пуск–остановка» либо при реверсивном движении сопрягаемых тел. К ним, в первую очередь, относятся тормоза, направляющие, гасители колебаний тепловозов. В таких условиях интенсивность изнашивания элементов трибосопряжений зависит в основном от явлений, протекающих в период перехода от трения покоя к трению скольжения. Отсюда очевидна необходимость исследования особенностей фрикционного взаимодействия деталей узлов, эксплуатирующихся в режиме предварительного смещения при отсутствии смазочного материала в зоне контакта. К настоящему времени этот вопрос детально изучен только применительно к парам металл–металл. Учитывая широкое применение в узлах трения транспортных средств полимерных материалов и их ярко выраженные реологические свойства, важно выявить особенности перехода металл–полимерных пар от статического к динамическому контакту.

Эксперименты проводились на специально разработанной установке, реализующей контакт пластины прямоугольного сечения (120 x 40 x 10 мм) из отвержденной эпоксидной смолы со стальным (ШХ 15) цилиндром диаметром 24,5 мм и высотой 32 мм. Скорость скольжения цилиндра изменялась в интервале 0,001 – 1 м/с, а нормальная нагрузка – от 5 до 40 Н. Коэффициент трения (молекулярная составляющая) изменялся путем нанесения на поверхность полимерного образца спиртового раствора канифоли различной концентрации. Измерение силы трения и величины предварительного смещения осуществлялось тензометрическим методом.

Исследования влияния режимов нагружения на предварительное смещение ( $\delta$ ), динамический ( $f$ ) и статический ( $f_{st}$ ) коэффициенты трения при фрикционном взаимодействии стального контртела с эпоксидным полимером показали, что предварительное смещение в металл–полимерных парах может достигать 60 мкм при первом сдвиге и 105 мкм – при реверсе. Величина  $\delta$  и разница между  $f$  и  $f_{st}$  определяются скоростью приложения сдвигающего усилия, нормальной нагрузкой и зависят от реологических свойств полимерного материала. С увеличением скорости скольжения ( $v$ ) предварительное смещение монотонно уменьшается. Причем, в области малых значений  $v$  зависимость  $\delta$  ( $v$ ) более существенна, а после достижения некоторого значения  $v = v_0$  кривая становится пологой, асимптотически приближаясь к значению  $\delta$ , соответствующему упругому поведению полимера. Величина  $v_0$ , при которой скорость приложения нагрузки существенно не влияет на предварительное смещение, зависит от механических свойств полимера и нагрузки, прижимающей трущиеся тела друг к другу. С ростом давления на контакте  $v_0$  смещается в область больших значений.

Значительное влияние на предварительное смещение оказывают величина и время действия нормальной нагрузки ( $p$ ) на фиксированный участок дорожки трения. Их повышение сопровождается ростом предварительного смещения. В диапазоне малых  $p$  эта зависимость более ярко выражена, а по мере увеличения  $p$  зависимость  $\delta(p)$  становится менее ощутимой. С увеличением времени предварительного действия нормальной нагрузки, представляющего собой промежуток времени между моментами приложения нормальной и касательной сил,  $\delta$  монотонно растет, причем наиболее интенсивный рост наблюдается в первые 60 с.

Полученные закономерности можно объяснить влиянием следующих факторов. С ростом скорости приложения сдвигающего усилия в меньшей степени проявляются реологические свойства полимера, и предварительное смещение уменьшается. Повышение нормальной нагрузки и времени ее



действия способствует развитию вынужденно-эластических деформаций полимера в зоне контакта, увеличению размеров, числа и прочности фрикционных связей. При этом увеличивается глубина относительного внедрения выступов поверхности трения контртела в интенсивно деформируемый поверхностный слой более мягкого материала.

Определяющее влияние на интенсивность изнашивания деталей трибосопряжений оказывает их сопротивление относительному перемещению. Поэтому было изучено явление предварительного смещения в парах с различным коэффициентом трения. Установлено, что в области малых нагрузок (максимальное давление на контактной площадке соответствует 1,5 – 4,5 МПа) зависимость  $\delta$  от величины статического коэффициента трения подчиняется линейному закону. По-видимому, в этой области нагрузок увеличение  $f_{st}$ , а следовательно, и касательного напряжения не вызывает повышения доли пластической деформации, и смещение полимера в направлении скольжения контртела обусловлено в основном его упругим деформированием. С ростом  $P$  предварительное смещение увеличивается, влияние  $f_{st}$  на  $\delta$  становится более существенным и наблюдается переход от линейной к степенной зависимости. Здесь имеет место увеличение глубины внедрения неровностей и толщины интенсивно деформируемого слоя полимера, приводящее к росту сопротивления перемещению трущихся тел и переходу от динамического к статическому контакту.

Анализ влияния коэффициента трения и давления  $p_0$  на величину  $\delta$  при одинаковой удельной силе трения ( $f_{st} p_0$ ) показал, что, несмотря на увеличение площади фактического контакта трущихся тел, с ростом  $p_0$  более существенная роль в повышении предварительного смещения принадлежит коэффициенту трения. Так, при увеличении коэффициента трения с 0,4 до 0,62 и поддержании постоянного значения  $f_{st} p_0 = 50$  МПа  $\delta$  возрастает с 44 до 52 мкм. Описанный эффект доминирующего влияния  $f_{st}$  на  $\delta$  будет более ярко выражен, если учесть, что для достижения постоянной удельной силы трения при повышении  $f_{st}$  снижалась нормальная нагрузка, а это, в свою очередь, приводило к уменьшению площади фактического контакта.

Описанные закономерности согласуются с результатами исследований влияния режимов нагружения и коэффициента трения на напряженно-деформированное состояние эпоксидного полимера при трении. Об этом свидетельствует подобие кривых зависимости предварительного смещения и контактных деформаций от указанных факторов. Следовательно, можно полагать, что предварительное смещение является интегральным результатом деформаций сдвига и нормальных деформаций поверхностных слоев трибосопряжений.

Существование разницы между динамическим и статическим коэффициентами трения, ее увеличение и рост предварительного смещения при повышении адгезионной способности материалов трущихся тел, нормальной нагрузки и уменьшении скорости ее приложения дают основание сделать следующее заключение. Выбор материалов для тяжело нагруженных низкоскоростных металлополимерных пар трения, работающих без смазки в режиме «пуск-остановка» или в условиях реверса, должен осуществляться с учетом реологических свойств полимера. В отличие от одностороннего скольжения с постоянной скоростью здесь возможен интенсивный износ полимера в крайних поворотных точках. Это может явиться причиной возникновения вибраций и быстрого выхода из строя всего узла трения.

УДК 620.179

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТНО-ТЕПЛОВОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТОЧЕЧНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

С. В. БОЛОТОВ

*Могилёвский государственный технический университет*

На долю контактной точечной сварки приходится более 30 % всех сварных соединений, выполняемых механизированным способом сварки. Однако масштабы её промышленного применения могли бы быть значительно шире. Одна из основных причин, сдерживающих применение контактной точечной сварки при изготовлении целого ряда ответственных изделий, заключается в том, что