

ной реборды (используются в легких гусеничных тягачах). Была разработана новая конструкция опорного катка, в которой на контактирующей с гребнем трака поверхности и на части цилиндрической поверхности диска наносится АДМ-покрытие, состоящее из стального наружного слоя толщиной 3 – 4 мм и внутреннего – толщиной 0,1 – 0,3 мм, обеспечивающего адгезионную прочность покрытия с основой 70 МПа. При этом износостойкость повышена в 3 раза, а затраты на изготовление снижены на 40 %. Две машины, снаряженные напыленными опорными катками, прошли полтора гарантийных пробега. Опорный каток с напыленным покрытием демонстрируется в единственном в России музее сварки им. Н.Г.Славянова (г. Пермь).

Расширяется диапазон использования АДМ при ремонте специализированного транспорта и технологического оборудования. На ремонтном предприятии при рудоуправлении №1 г. Солигорска восстанавливаются рабочие гидроцилиндры шахтных комбайнов Урал-10А, Урал-612, ПК-8МА, «Электро» и транспортно-отгрузочных конвейерных комплексов.

Технологии АДМ нашли применение в судостроении и судоремонте. На Западном СРЗ (г. Клайпеда) выполняется антикоррозийная защита деталей палубного оборудования и оснастки, внутренних поверхностей балластных емкостей и цистерн, при этом горячее цинкование значительной части деталей по согласованию с норвежским заказчиком было заменено нанесением АДМ-покрытий.

УДК 534.014:539.4:621.9

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ СМЕЩЕНИЕ И ИЗНАШИВАНИЕ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ

П. Н. БОГДАНОВИЧ

Белорусский государственный университет транспорта

Значительная часть трибосопряжений эксплуатируется в условиях перехода от статического к динамическому фрикционному контакту, сопровождающегося предварительным смещением. Величина предварительного смещения δ в несмазываемых металлополимерных парах трения составляет десятки микрометров, что на порядок выше, чем при трении металла по металлу. При низкоскоростном трении эта особенность полимерных композитов может привести к неравномерному разрушению поверхности трения и возникновению автоколебаний. В результате снижается долговечность трибосистемы в целом.

Поэтому при разработке материалов для трибосопряжений, работающих в режиме периодического перехода от статического к динамическому контакту, важно иметь данные о корреляции между интенсивностью их изнашивания и предварительным смещением.

В качестве объекта исследования выбирались нанесенные на стальную пластину покрытия из композиций, содержащих модифицированную эпоксидную смолу ЭД-20, графит, полиэтиленполиамин и соли жирных кислот. Покрытия отверждались при температуре $T = 20^{\circ}\text{C}$ в течение 24 часов. Контртело – цилиндр диаметром 24,5 мм и высотой 32 мм – выполнялось из стали ШХ-15. Длина дорожки трения составляла 40 мм. Испытания проводились на специально разработанных установках и машине трения МПТ-1, реализующей возвратно-поступательное скольжение контртела по поверхности покрытия.

Поверхность полимерного композита тел при возвратно-поступательном скольжении индентора изнашивается неравномерно. Распределение износа по длине l дорожки трения и механизмы ее разрушения определяются режимами нагружения и механическими свойствами композита. В зонах реверса разрушение идет преимущественно вследствие появления, развития и пересечения микротрещин, расположенных перпендикулярно вектору скорости скольжения. Возможно образование крупных частиц, что приводит к интенсивному изнашиванию покрытия в этих зонах.

Серединный участок дорожки трения также подвергается в основном усталостному разрушению. Однако здесь частицы износа образуются вследствие роста микротрещин вдоль борозд скольжения и выхода их на край этих полос, сопровождающегося скалыванием небольших объемов материала. Ориентация трещин в направлении скольжения, по-видимому, вызвана склонностью эпоксидного полимера к хрупкому разрушению, что обуславливает одинаковую вероятность роста тре-

шины усталости во всех направлениях. Кроме того, скорость скольжения и фрикционный нагрев материала на пятнах контакта в серединной части дорожки трения выше, чем в зонах реверса. Поэтому влияние контактных деформаций на ориентацию трещин усталости перпендикулярно направлению скольжения снижается. В силу этих причин, появившись, микротрещины растут по наиболее ослабленным участкам поверхности трения, т. е. вдоль борозд скольжения.

При малых скоростях скольжения наиболее интенсивному разрушению подвергаются участки дорожки трения, прилегающие к точкам ($l=0$), где контртело останавливается и изменяет направление движения (зона реверса). С увеличением скорости скольжения v до 0,04 м/с распределение I_h вдоль дорожки трения становится более равномерным, а при дальнейшем ее увеличении I_h в серединной части дорожки трения становится значительно выше, чем в зонах реверса.

Приведенные данные дают основание полагать, что износ полимерного композита при трогании с места или при низкоскоростном реверсивном движении трущихся тел в период подъема скорости скольжения связан с предварительным смещением. Чем выше величина δ , тем больше I_h .

Аналогично интенсивности изнашивания, величина δ в металлополимерных парах трения зависит от коэффициента трения при статическом контакте (f_{st}). Так, в области малых нагрузок зависимость $\delta(f_{st})$ слабо выражена (рисунок 1). По-видимому, в этой области нагрузок увеличение f_{st} , а следовательно, и касательного напряжения не вызывает заметного повышения доли пластической деформации. По мере роста нормальной нагрузки влияние f_{st} на δ становится более существенным. В области больших нагрузок имеет место увеличение доли пластической деформации и толщины интенсивно деформируемого слоя эпоксидного полимера, приводящее к изменению условий перехода от статического к динамическому контакту.

Существенное влияние на износ и предварительное смещение в металлополимерных парах трения оказывает скорость приложения сдвигающего усилия v_F . В области малых скоростей v_F зависимость $\delta(v_F)$ более существенна, чем при высоких скоростях, поскольку при больших значениях v_F время нахождения материала неровностей сопрягаемых поверхностей в контакте мало для развития наследственно-упругих деформаций. Поэтому реализуются преимущественно упругие деформации, что приводит к снижению как δ , так и интенсивности разрушения поверхности трения.

Приведенные закономерности согласуются с результатами исследований влияния режимов нагружения и коэффициента трения на напряженно-деформированное состояние эпоксидного полимера при трении. В частности, зависимость контактных деформаций от коэффициента трения, также возрастающая, более ярко выражена в области больших значений коэффициента трения и изображается выпуклыми книзу кривыми. Подобие закономерностей протекания описанных явлений свидетельствует о том, что предварительное смещение является интегральным результатом деформаций сдвига и нормальных деформаций поверхностных слоев полимерного материала.

Таким образом, несмазанные поверхности трения полимерных композитов, работающих в режиме предварительного смещения, разрушаются неравномерно. При малых скоростях скольжения и высоких нагрузках разрушение областей, прилегающих к крайним поворотным точкам, протекает более интенсивно, чем на других участках дорожки трения. По мере повышения скорости скольжения и механических свойств композита областями интенсивного разрушения становятся серединные участки дорожки трения, на которых скорость скольжения максимальна. Эти закономерности разрушения связаны в основном с предварительным смещением и четко проявляющимися наследственно-упругими свойствами полимерных композитов и температурой импульсного нагрева локальных пятен фактического контакта.

На основе полученных результатов исследований предложен новый композиционный материал на базе эпоксидной смолы для восстановления изношенных направляющих металлорежущих станков.

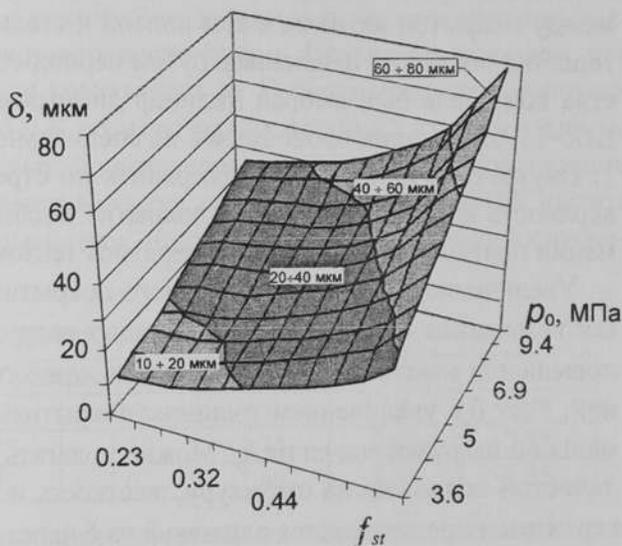


Рисунок 1 – Влияние коэффициента трения при статическом контакте f_{st} и давления на контактной площадке p_0 на предварительное смещение δ