

Академик АН БССР В. А. БЕЛЫЙ, А. И. СВИРИДЕНКО, В. С. ДУБРОВСКИЙ

О РЕГУЛИРОВАНИИ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Эксплуатационные характеристики машин, приборов и механизмов, их надежность и долговечность часто ограничиваются недостаточной работоспособностью узлов трения. С ростом нагрузочно-скоростных, температурных и других параметров, с увеличением напряженности работы узлов современной техники необходимость решения этой проблемы путем создания новых эффективных фрикционных материалов становится все более актуальной.

С точки зрения достижения минимального износа и потерь на трение наиболее благоприятные условия реализуются, когда процесс трения локализуется в тончайших поверхностных слоях ⁽¹⁾, образуемых смазками ⁽²⁾, в том числе поверхностноактивными и металлолакирующими веществами ^(3, 10); пластичными металлическими и полимерными покрытиями ⁽⁴⁻⁶⁾ и т. д. В последнее время показано, что образованием таких пленок и слоев в виде атомарного металла или полимеров трения ⁽⁷⁻⁹⁾ можно управлять.

Особый интерес представляет поиск и разработка методов авторегулирования фрикционных свойств материалов непосредственно в процессе их взаимодействия. Один из таких способов рассмотрен ниже.

В процессе трения твердых тел на микроплощадках, образующихся вследствие дискретности реального контакта, возникают значительные напряжения и деформации поверхностных слоев взаимодействующих материалов, сопровождающиеся повышением температуры в локальных зонах. Эти процессы приводят к изменению структуры и свойств трущихся материалов, вызывают заметное увеличение износа. При жестких режимах работы фрикционного узла термически активируемое адгезионное взаимодействие приводит к схватыванию и интенсивному разрушению материалов поверхностей ⁽¹¹⁾. Поэтому представляет интерес введение в композиционный фрикционный материал веществ, способных в этих условиях изменять коэффициент трения, снижать тепловую напряженность узла, уменьшать износ и предотвращать схватывание материалов. В качестве таковых перспективно использование комплексов соединений, например, формиатов и оксалатов мягких металлов: свинца, серебра, кадмия, висмута и др. Для реализации желаемого эффекта температура разложения таких соединений должна быть несколько выше температуры переработки композиций. Эффект термоактивационного авторегулирования фрикционных свойств был исследован на примере композиционного материала ПВФК на основе поливинилфурфурала ⁽¹²⁾. В качестве модифицирующих добавок использовали формиаты висмута и меди, массовая концентрация которых составляла 30%.

Изучение фрикционных характеристик исследуемых материалов осуществляли на машине трения типа МИ-1М при нагрузках от 0,5 до 10 Мн/м² и скорости скольжения 0,3 м/сек при взаимодействии со стальными образцами (ст. 45, HRC=52-55, шероховатость поверхности ∇8). Контроль температуры вблизи поверхности трения осуществляли при помощи хромель-копелевой термопары. Температуру разложения формиатов в составе композиций оценивали по данным дифференциального тер-

мического анализа на дериватографе типа ОД-102. Оценка состояния трудящихся поверхностей производилась при помощи микроскопии и методом рентгеноструктурного анализа.

Результаты фрикционных испытаний представлены на рис. 1. Трение немодифицированного материала с увеличением нагрузки сопровождается некоторым уменьшением коэффициента трения и значительным повышением температуры в зоне контакта. Это способствует интенсификации процессов термоокислительной деструкции материала, вызывающих

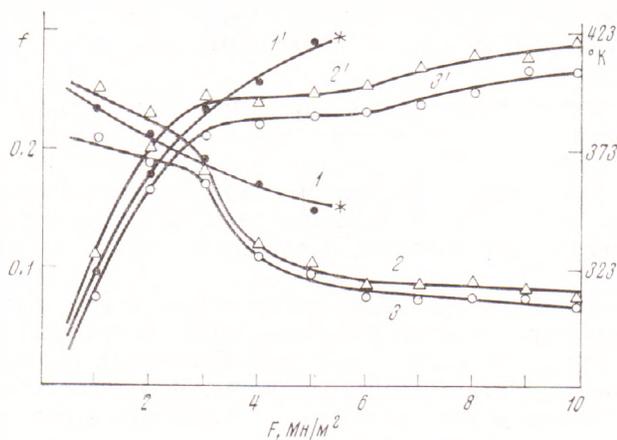


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения f (1–3) и температуры (1'–3') от нагрузки F для материала ПВФК немодифицированного (1, 1'), модифицированного формиатами меди (2, 2') и висмута (3, 3'). Звездочкой отмечено разрушение образца

снижение прочностных свойств и резкое увеличение интенсивности его износа. При нагрузках 5–6 Мн/м² наступает разрушение образца.

Введение формиатов меди и висмута в материал ПВФК существенно изменяет характер физико-химических процессов, происходящих в зоне трения, что весьма заметно проявляется в зависимости коэффициента трения и температуры от нагрузки. На трибограмме и температурной зависимости полученных при трении материала ПВФК, содержащего комплексные соединения, можно выделить три характерные зоны. В пределах первой зоны при небольших нагрузках (1–2,5 Мн/м²) наблюдается некоторое снижение коэффициентов трения и повышение температуры; вторая зона характеризуется резким падением коэффициента трения и стабилизацией температуры; для третьей зоны характерно плавное уменьшение коэффициента трения и некоторое повышение температуры в зоне фрикционного контакта.

На рис. 2 приведены результаты исследования износостойкости рассматриваемых материалов. Кривые износа до нагрузок 2,5–3 Мн/м² практически совпадают для всех материалов. При нагрузках 3–5 Мн/м² наблюдается существенное уменьшение износа композиций, содержащих формиаты меди и висмута. Для немодифицированного материала ПВФК в этих условиях отмечается дальнейшее увеличение износа.

Методом рентгеноструктурного анализа, оптическими исследованиями и визуально установлено, что в этом диапазоне нагрузок при трении модификационных композиций происходит образование металлической пленки на поверхностях трения. По-видимому, меньшие значения коэффициента трения и износа композиции с добавками формиата висмута по сравнению с композицией, содержащей формиат меди, можно объяснить лучшими фрикционными свойствами и большей пластичностью металлической пленки висмута, образующейся на поверхности трения. Нагрузочная способность таких композиций достигает 12–14 Мн/м².

Полученные зависимости фрикционных свойств исследуемых композиций хорошо согласуются с результатами дифференциального термического анализа, свидетельствующего, что температурный диапазон начала и максимальной скорости разложения формиатов соответствует проявлению от-

меченных эффектов в процессе фрикционного взаимодействия. Это позволяет утверждать, что резкое снижение коэффициента трения и увеличение износостойкости определяется процессом разложения модифицирующих соединений, обеспечивающих авторегулирование фрикционных свойств композиций. Очевидно, образуясь в зоне трения активные частицы металла, взаимодействуя со свободными радикалами, возникающими в результате механодеструкции полимерного материала, снижают их плотность в зоне трения, что приводит к уменьшению адгезионного взаимодействия

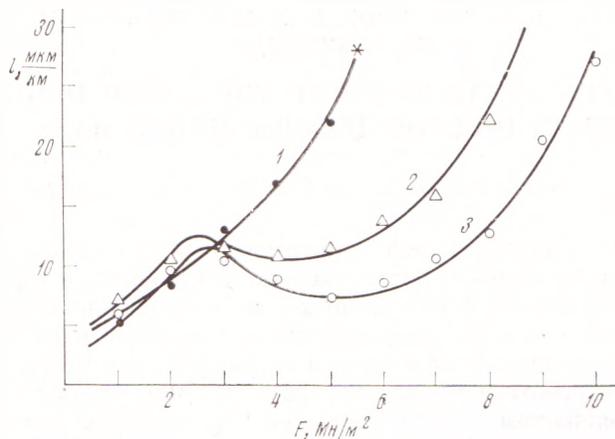


Рис. 2. Влияние нагрузки F на износ l материала ПВФК немодифицированного (1), модифицированного форматами меди (2) и висмута (3). Звездочкой отмечено разрушение образца

между контактирующими поверхностями. Генерируемая в процессе трения на поверхности стального контртела тонкая пленка из пластичного металла замедляет окисление металлической поверхности, способствует локализации сдвиговых деформаций в тонком поверхностном слое и предотвращает глубинные разрушения взаимодействующих материалов.

Вводя в материал подобные комплексные соединения с различной температурой разложения, можно регулировать фрикционные свойства композиций в широком диапазоне нагрузочно-скоростных и температурных параметров.

Институт механики металлополимерных систем
Академии наук БССР
Гомель

Поступило
19 XII 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. В. Крагельский, Трение и износ, М., 1968. ² А. С. Ахматов, Молекулярная физика граничного трения, М., 1963. ³ П. А. Ребиндер, В сборн. О природе трения твердых тел, Минск, 1971. ⁴ Ф. Ш. Боуден, Д. Тейбор, Трение и смазка твердых тел, М., 1968. ⁵ Е. Д. Щукин, Е. А. Амелина и др., В сборн. Физико-химическая механика контактного взаимодействия и фреттинг-коррозия, Киев, 1973. ⁶ В. А. Белый, А. И. Свириденко и др., Трение полимеров, «Наука», 1972. ⁷ Д. Н. Гаркунов, И. В. Крагельский, А. А. Поляков, Избирательный перенос в узлах трения, М., 1969. ⁸ Ю. С. Заславский, А. И. Берлин и др., В сборн. Состояние производства моющих и противозадирных присадок, т. 2, Киев, 1971. ⁹ D. Tabor, R. F. Willis, Wear, v. 13, 413 (1969). ¹⁰ Б. И. Костецкий, М. Э. Натансон, Л. И. Бершадский, Механохимические процессы при граничном трении, «Наука», 1972. ¹¹ А. П. Семенов, В сборн. О природе трения твердых тел, Минск, 1971. ¹² А. И. Свириденко, В. М. Кенько, В. А. Белый, В сборн. Физико-химические процессы, протекающие на фрикционном контакте, М., 1971.