

УДК 539.61: 539.621: 001.891.573

DOI: 10.17223/00213411/62/8/84

А.В. ДИМАКИ¹, И.В. ДУДКИН¹, В.Л. ПОПОВ^{2,3}, Е.В. ШИЛЬКО^{1,3}

ВЛИЯНИЕ СИЛЫ АДГЕЗИИ И КОЭФФИЦИЕНТА ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ МАТЕРИАЛА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ АДГЕЗИВНОГО ИЗНОСА В СУХОМ ТАНГЕНЦИАЛЬНОМ КОНТАКТЕ С ТРЕНИЕМ *

Рассмотрен тангенциальный контакт одиночных микрошероховатостей поверхности взаимодействующих тел, механические характеристики материала которых близки к свойствам рельсовых сталей. Методом дискретных элементов проведено исследование влияния параметров адгезионного взаимодействия как внешних, так и внутренних поверхностей материала на режим износа шероховатостей. Установлено, что с увеличением работы адгезии режим износа эволюционирует от взаимного проскальзывания шероховатостей к их стачиванию или хрупкому разрушению, при этом смена режима носит пороговый характер. Получена эмпирическая сигмоидальная зависимость положения границы раздела между режимами проскальзывания и стачивания (пороговой величины адгезионной силы) от коэффициента деформационного упрочнения материала. Показано, что логистический характер данной зависимости обусловлен конкуренцией процессов пластической деформации и адгезии контактирующих поверхностей как механизмов диссипации упругой энергии, определяющих режим износа. Обсуждается вопрос влияния масштабного фактора на «пороговые» значения механических характеристик материала, которые обеспечивают смену режима износа.

Ключевые слова: адгезивный контакт, разрушение, режимы износа, моделирование, дискретные элементы.

Введение

Изнашивание поверхностей материалов в условиях сухого трения происходит на пятнах контакта, имеющих сложный шероховатый профиль [1–4]. Динамика износа определяется широким спектром физических и химических механизмов, реализующихся на различных временных и размерных масштабах. Соответственно интенсивность износа поверхностей определяется, помимо условий нагружения, комплексом физико-механических параметров контактирующих материалов, размерами и формой шероховатостей. Перечисленные факторы определяют напряженно-деформированное состояние материала в зоне контакта и условия достижения критического состояния, при котором происходит отделение фрагментов тел, то есть собственно износ.

Одним из ключевых факторов, определяющих интенсивность износа, является адгезионное взаимодействие материалов в пятнах контакта шероховатостей [1, 5–7]. Несмотря на значительное количество работ, посвященных изучению различных аспектов адгезионного износа, важнейшие установленные к настоящему времени законы износа имеют эмпирический характер [8–10]. При этом локальные процессы в областях контакта шероховатостей, определяющие характер и интенсивность износа, до сих пор являются предметом широкой дискуссии. Это обусловило большой интерес к теоретическому изучению закономерностей взаимодействия «структурных единиц» поверхности (шероховатостей) в условиях тангенциального контакта [3, 11, 12]. Акцент в этих исследованиях делается на выявлении и обобщении условий, определяющих реализацию конкретных режимов износа на наиболее фундаментальном масштабе – масштабе шероховатостей.

Так, в известной работе Рабиновича [13] аналитически получен критерий отрыва микрошероховатости идеально пластичного материала, включающий как величину удельной работы адгезии, так и характерный размер шероховатости. Данный критерий определяет условия перехода от режима практически безыносного относительного проскальзывания контактирующих поверхностей (пластическое сглаживание шероховатостей [14, 15]) к режиму с образованием так называемого «третьего тела», состоящего из частиц износа [10, 13]. Результаты проводимых в последние годы численных исследований для шероховатостей наноскопического масштаба свидетельствуют, что, несмотря на адекватность аналитических оценок, зависимость интенсивности износа шероховатостей от материальных параметров может иметь существенно более сложный нелинейный характер [11, 12]. Это связано, в частности, с явлением локализации неупругой сдвиговой деформации в пятне контакта шероховатостей, которое качественно изменяет характер их взаимодействия.

* Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг., направление III.23.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>