

Борисова Е.А., Зелинский В.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
E-mail: apmitr@yandex.ru*

Металлофизические основы изнашивания в контактной паре «сталь-сталь»

Обширную группу представляют технологические машины, у которых основными исполнительными органами (ИО) являются инструменты, выполняющие функции захвата, давления и резания. В эту группу входят машины-автоматы для холодной навивки пружин, у которых ИО являются захватывающие и подающие ролики. В отмеченную группу входят разнообразные гибочные и прокатные машины, у которых ИО являются подающие и формирующие ролики с разнообразной геометрией давящей поверхности. К ней относятся также металлорежущие станки и прессовое оборудование, у которых ИО являются фрезы, резцы, штамповая оснастка.

Обособленность отмеченной группы машин вызвана тем, что их ИО с предметом труда образуют контактную пару «сталь-сталь» с интенсивным пластическим деформированием и сдвигом в локальной зоне. При этом индентором контактной системы является захватывающий, давящий или режущий инструмент из легированной стали, а контртелом – захватываемый или обрабатываемый материал из углеродистой стали.

Общим для контактной пары «сталь-сталь» со сдвигом является неизбежное образование особого вида изнашивания - изнашивание при схватывании (ГОСТ 27674-88). Это наиболее опасный и быстротечный вид изнашивания, сопровождаемый вырывом материала и его переносом с одной поверхности на другую в результате диффузии и адгезии с образованием твердых вторичных структур. Эти процессы особенно активны на фоне пластического сдвига и непрерывного образования дефектов кристаллического строения на химически чистых микроучастках поверхностей. Таким образом, для отмеченной группы технологических машин работоспособность в значительной степени связана с износостойкостью ИО.

Характерно, что для ИО технологических машин, образующих контактную пару «сталь-сталь», происходит непрерывное обновление атомных структур поверхностного слоя решетки контртела в контакте с необновляющимися участками кристаллической решетки индентора. В таких случаях доминирующую роль играет структурная приспособляемость системы [1], как комплекс металлофизических и механических явлений, связанных с преобразованиями на атомно-электронном и микроструктурном уровнях, в основном, в наименее прочной из поверхностей.

Металлофизика в контакте проявляется в результате действия на него энергетического поля от теплового и силового воздействий. В зоне соприкосновения решеток при пластическом сдвиге частично утрачиваются связи между атомами и электронами, свойственными кристаллическому строению тел. Создается неустойчивое структурно-энергетическое состояние, соответствующее псевдокристаллическому строению вещества с наличием элементов аморфизации. В межрешеточном пространстве образуется третье тело, проявляющее себя как открытая термодинамическая система, в которой происходит обмен веществом и энергией по законам термодинамики. В таких условиях включаются механизмы перемещения атомов легирующих химических элементов между решетками, основанные на градиенте химических потенциалов. К ним относятся диффузия и адгезия.

Одновременно в связи со структурно-энергетическим неустойчивым состоянием третьего тела в нем могут проявиться явления самоорганизации, существование которых установлено в триботехнических системах [1]. Суть самоорганизации в контактной паре со сдвигом основана на принципе Ле-Шателье, который состоит в том, что внешнее энергетическое воздействие, выводящее систему из равновесия, стимулирует в ней процессы, стремящиеся ослабить результаты этого воздействия. Контактная пара, как любая открытая термодинамическая система, перестраивается для защиты от внешнего возмущения. Перестройка состоит в

прохождении преобразовательных процессов на атомно-электронном и микроструктурном уровнях с образованием защитных вторичных структур в поверхностном слое. Очевидно, что более значительная часть преобразований, происходит в решетке менее прочного материала, испытывающего возмущение в наибольшей степени. То есть вторичные структуры образуются в поверхностном слое контртела из углеродистой стали. Защитные функции вторичных структур состоят в ограничении распространения внешнего возмущения внутрь контртела. Поэтому их появление соответствует принципу Ле-Шателье.

Проявление самоорганизации для пары сталь-сталь состоит, прежде всего, в мгновенном упрочнении соприкасающихся участков решетки материала контртела за счет формирования в нем новообразованных вторичных структур с повышенной прочностью

Вклад различных механизмов упрочнения в предположении аддитивности их влияния на примере повышения предела текучести представляют следующей зависимостью [2]

$$\sigma_T = \Delta\sigma_0 + \Delta\sigma_{ТВ.Р} + \Delta\sigma_{д} + \Delta\sigma_{П} + \Delta\sigma_{ДУ} + \Delta\sigma_3,$$

где $\Delta\sigma_0$ – напряжение трения решетки (напряжение Пайерлса-Набарро); $\Delta\sigma_{ТВ.Р}$ – твердорастворное упрочнение; $\Delta\sigma_{д}$ – деформационное упрочнение; $\Delta\sigma_{П}$ – перлитное упрочнение; $\Delta\sigma_{ДУ}$ – упрочнение дисперсионными частицами; $\Delta\sigma_3$ – зернограничное упрочнение.

При контактном сдвиге кристаллических решеток углеродистой и легированной сталей в условиях структурно-энергетической неустойчивости в третьем теле наиболее легко реализуется твердорастворное упрочнение, удельный вклад которого достигает 50%. В связи с малыми размерами областей (до 1 мкм), в которых происходят металлофизические преобразования, длительность последних не превышает 10^{-4} с [3].

Такое упрочнение реализуется в процессе диффузионно-адгезионного переноса и растворения в твердом растворе материала контртела легирующих элементов материала индентора по механизмам вакансионного замещения и внедрения. Твердорастворное упрочнение обусловлено возникновением вокруг атомов легирующих элементов полей упругих искажений решетки. При этом эффективность торможения дислокаций определяется разницей в размерах атома железа и легирующего элемента и, что очень важно, пропорциональна концентрации легирующего элемента в решетке растворителя (материале контртела). Важно отметить, что все легирующие элементы являются сильными карбидообразователями и наиболее активно проявляют это свойство в углеродистых сталях с достаточным содержанием углерода [3].

Таким образом, перенесенные атомы легирующих элементов в решетке контртела вступают в химическое взаимодействие с углеродом, между собой и с атомами железа. Образованные при этом легированный цементит, сложные карбиды и интерметаллиды представляют собой вторичные структуры в виде твердых дисперсных частиц. Повышенная твердость создается благодаря образованию химических связей с повышенной ковалентной компонентой. Вторичные структуры подобного типа при сдвиге разрушают поверхность индентора по механизму абразивного изнашивания.

Литература

1. Иванова В.С., Буше Н.А., Гершман И.С. Структурная приспособляемость при трении как процесс самоорганизации / Трение и износ. – 1997. - Т. 18. - №1. - С. 74-79.
2. Хецберг Р.В. Деформация и механика разрушения конструкционных материалов: Пер. с англ. / Под ред. И.Л. Бернштейна и С.П. Ефименко. М.: Металлургия. - 1989. - 576 с.
3. Машков Ю.К. Трибофизика металлов и полимеров: монография / Ю.К. Машков. – Омск: Изд-во ОмГТУ. - 2013. – 240 с.