ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/75

ДЕФОРМАЦИОННАЯ СТРУКТУРА МЕДИ И СТАЛИ ГАДФИЛЬДА ОКОЛО ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ

¹Лычагин Д.В., ²Чумаевский А.В., ²Калашников М.П.,

²Фортуна С.В., ^{3,4}Лычагина Л.Л., ³Цветков Н.А.

¹НИ Томский государственный университет, Томск, Россия

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

³Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия

⁴Томский университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия
dvl-tomsk@mail.ru

Служебные характеристики материалов при трении зависят от структурных изменений, происходящих на границе контактирующих тел, и особенностей формирования деформационной структуры в приповерхностной области. Поэтому в последнее время увеличивается число работ, в которых для описания механизмов трения и износа проводят исследование поверхностной и приповерхностной структуры. Наноразмерная структура, которая формируется в поверхностном слое при трении, может быть детально изучена только методами высокой разрешающей способности. Таким методом является метод просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Поэтому в настоящей работе была поставлена задача изучения деформационной структуры на поверхности трения и по мере удаления от нее методом ПЭМ в поперечном сечении. В качестве материалов исследования были выбраны монокристаллы меди двух ориентаций и поликристаллическая сталь Гадфильда. Эти материалы отличаются механизмами деформации и упрочнения.

Испытания проводили в процессе сухого трения скольжения по схеме диск-палец. Испытания на трение проводили на трибометре TRIBOtechnik. Исследования деформационной структуры поверхностных и приповерхностных слоев осуществляли после трибологических испытаний на просвечивающем электронном микроскопе JEOL JEM-2100F после подготовки проб на системе ионного утонения.

Первой зоной, подвергнутой изучению, является зона перемешивания. Структура зоны и ее состав определяются структурой и составом взаимодействующих тел. В непосредственном контакте с зоной перемешивания в слое толщиной десятых долей микрометра наблюдается наноразмерная субструктура. Она представлена нанозернами размером 25...100 nm у меди и 5...20 nm у стали Гадфильда. В последнем случае внутри нанозерен наблюдаются нонодвойники деформации. Наряду с нанозернами наблюдаются фрагментированная и остатки микрополосовой субструктур.

Далее в меди образуется слой 1...2 мкм микрозернистой и фрагментированной субструктур. Среднее расстояние между границами и субграницами увеличивается от 0.5 мкм до 2.5 мкм. В последующем слое толщиной 2 мкм, представленным фрагментированной субструктурой, среднее расстояние между субграницами составляет 3 мкм. Такое же среднее расстояние между параллельными субграницами наблюдается в микрополосовой субструктуре, которая следует за фрагментированной. Далее образуется ячеистая субструктура. Имеются особенности эволюции и размера зон, занятых определенными типами субструктур, в зависимости от кристаллографической ориентации монокристалла меди.

Меньшее влияние возврата и динамической рекристаллизации проявляется для стали Гадфильда. В ней за наноразмерной субструктурой следует слой толщиной 2 мкм с микрополосовой разориентированной субструктурой. Затем идет область, занятая несколькими системами двойников деформации, между которыми наблюдается ячеисто-сетчатая дислокационная субструктура. Толщина этой области 5 мкм. Она ограничена с двух сторон прослойками толщиной 1 мкм с одной системой двойников. Двойники наклонены примерно на 10 градусов к плоскости трения. Затем идет область с ячеисто-сетчатой дислокационной субструктурой, прорезаемой одной системой двойников с шагом 3...4 мкм. По

Секция 2. Неустойчивость и локализация деформации и разрушения в материалах с иерархической структурой

мере удаления от поверхности трения ширина двойниковых прослоек уменьшается. Последний двойник встречается на расстоянии 10 мкм от поверхности трения.

По мере удаления от поверхности трения, начиная с расстояния несколько микрометров, плотность дислокаций понижается. В этом случае в меди за слоем ячеистой дислокационной субструктуры следует клубковая субструктура. В стали Гадфильда за слоем ячеисто-сетчатой дислокационной субструктуры следует неоднородная сетчатая. Затем следует субструктура с хаотическим распределением дислокаций.

Таким образом, деформационная структура меди и стали Гадфильда представлена закономерным изменением типов субструктур, определяемых уровнем напряжений, кристаллографической ориентацией и степенью пластической деформации.

Установлена следующая последовательность образования субструктур при приближении к поверхности трения: клубковая, ячеисто-сетчатая, микродвойниковая, микрополосовая, фрагментированная, нанозерна и нанодвойники, зона перемешивания. Сталь Гадфильда имеет намного большее число нанодвойников в поверхностном слое, чем медь и она имеет прослойку микродвойников. На расстоянии до нескольких микрометров для меди более значим термический эффект разогрева при трении, т.к. у нее ниже гомологическая температура деформации. Развитие дислокационной структуры при приближении к области трения аналогично эволюции субструктур при активной пластической деформации.

Авторы выражают свою благодарность Колубаеву Е.А. за предоставление образцов для исследований, Филиппову А.В. за проведение трибологических испытаний, Тарасову С.Ю. и Колубаеву А.В. за обсуждение результатов.

Часть исследования выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-08-00377_а.