

СМАЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ ГРАФЕНА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ПАРАХ ТРЕНИЯ «СТАЛЬ-ЖЕЛЕЗО» И «СТАЛЬ-БРОНЗА»

Легконогих Н.И.

Донской государственный технический университет, г.Ростов-на-Дону

Ключевые слова: коэффициент трения, смазочная среда, графен.

Аннотация. В данной работе представлены трибологический эксперимент и спектроскопический анализ, которые раскрывают химические механизмы, лежащие в основе смазочной способности графена.

LUBRICATING EFFECT OF GRAPHENE IN THE FRICTION COUPLES “STEEL-IRON” AND “STEEL-BRONZE”

Legkonogikh N.I.

Don State Technical University, Rostov-on-Don

Keywords: index of friction, lubricating ambient, grapheme.

Abstract. In this study we performed tribological experiment and spectroscopic analysis explained the chemical mechanisms of lubricating effect of graphene.

В настоящее время с ростом высоких технологий расширение потенциала графена в качестве смазки является популярным и приоритетным направлением исследований. Снижение трения, достигаемое при наличии слоя графена, изучается различными методами как теоретически, так и практически [1]. Большинство исследований в наномасштабе исследует свойства графена как твердого покрытия, в макромасштабе он изучается как коллоидная жидкостная смазка [2].

Снижение трения – непростая задача. Обычно коэффициент трения (КТ) между двумя стальными поверхностями составляет около 0,9, а при наличии графена падает примерно до 0,2 [3]. Множество исследований подтверждают тот факт, что снижение КТ происходит в присутствии графена, благодаря его способности увеличивать допустимую предельную нагрузку на поверхность. Однако, когда слой графена повреждается, он теряет это свойство. Другие исследования показывают, что углеродные связи графена адсорбируются на поверхности, образуемой при взаимодействии металл-металл. Благодаря этому углеродный слой способен уменьшать межфазную адгезию и силу сдвига.

В данной статье исследуются смазывающие свойства графена с экспериментальной точки зрения путем анализа роли, которую играет химия поверхности. Для этого проводились испытания (шар-диск) на железе и на бронзе с использованием раствора графеновых хлопьев в этаноле.

Сравнение результатов испытаний, проведенных в «сухих» условиях, при добавлении капель раствора графена и при добавлении капель чистого этанола показывает, что при «сухих» условиях КТ устанавливается в значении около 0,46. Испытания, проведенные с добавлением графена, выдали значения КТ, начиная со 0,05 и во время обкатки увеличиваясь до 0,32. Это связано с наличием

графенового слоя, полученного до испытания. После трех минут КТ снижается до 0,15 и остается на этом уровне. Использование чистого этанола показывает другие результаты. Снижение трения после введения этанола очевидно, но КТ повышается, как только испаряется этанол (рисунок 1).

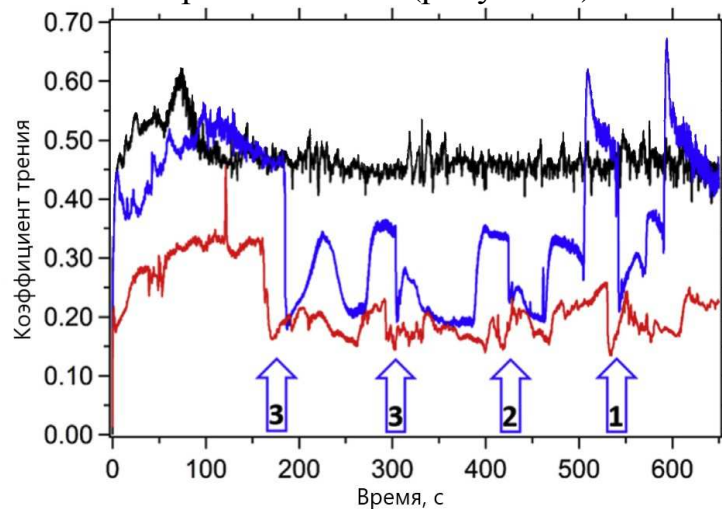


Рис. 1. Значения коэффициента трения при сухом контакте (черный цвет), при добавлении этанола (синий цвет), при добавлении раствора этанола, содержащего графен (красный цвет) (стрелки показывают время введения и количество капель)

Очевидно, что графен не только улучшает продолжительность режима с низким значением КТ, но также абсолютную величину смазочного эффекта. Далее исследовалось наличие графена на следах износа.

Результаты, представленные на рисунке 2а, показывают, что два разных вида спектров можно найти в пределах одного следа износа. Форма кривой указывает на наличие оксида железа и аморфного углерода. Один спектр соответствует оксиду железа (графен отсутствует). Это может быть связано с окислением поверхности и образованием продуктов износа. Второй спектр четко показывает наличие графена. Пик D, в частности, показывает, что хлопья графена сильно повреждены. Это не вызывает удивления, учитывая, что эти хлопья находились между двумя трущимися поверхностями, выдерживая давление в несколько сотен МПа. На рисунке 2б спектр рассеяния показывает, что на шаре в зоне контакта графен фактически отсутствует.

При проведении испытаний на бронзовом диске были соблюдены идентичные условия. Результаты представлены на рисунке 3. Происходит падение КТ, но интенсивность и продолжительность его очень сильно отличается от наблюдаемой на железе.

На рисунке 3б изображены спектры комбинационного рассеяния, полученные на бронзовом образце. Следы износа соответствуют испытанию, остановленному на режиме с низким КТ после введения капель графеносодержащего раствора и испарения этанола. Кривые показывают, что графен присутствует вне дорожки (красная кривая), но отсутствует внутри (синяя кривая). Измерения, проводимые на шаре в области контакта, показали интенсивные пики графена (черная кривая). Пик D довольно высокий (как и на железном образце), что указывает на то, что графеновые хлопья, прикрепленные к шару, содержат дефекты, вызванные процессом трения.

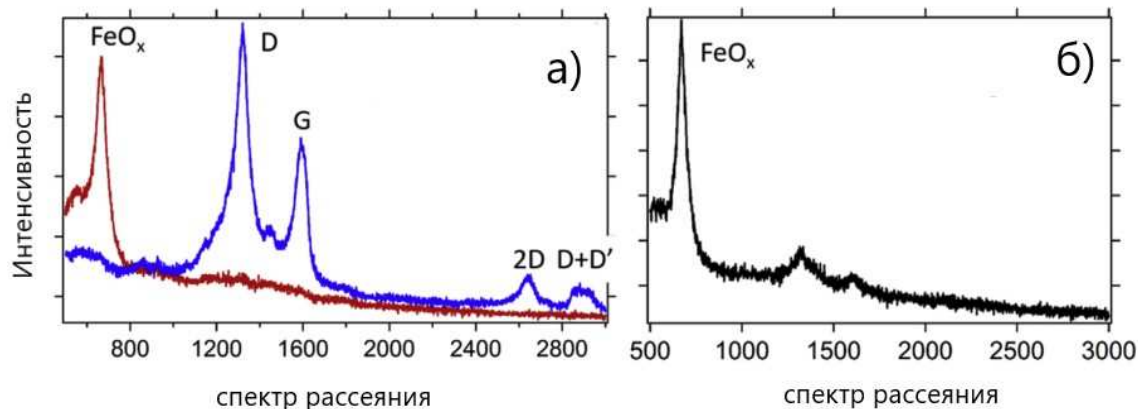


Рис. 2. а) спектроскопия следа износа на образце железа; б) спектроскопия шара

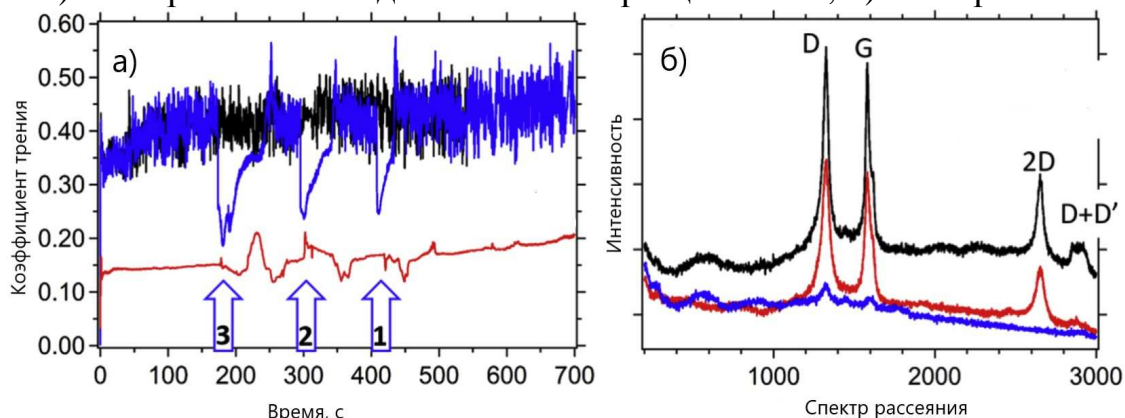


Рис. 3. Результаты, полученные на бронзовом образце

Результаты, представленные выше, дают нам достаточно четкую картину поведения графеновых хлопьев. Анализ, проведенный с помощью спектроскопии, подтверждает, что хлопья обладают смазочным эффектом. Наличие участков в следе износа, на которых спектр комбинационного рассеяния показывает только пик оксида железа, говорит о том, что слой графена не сплошной. Также графеновые хлопья предпочтительнее адсорбируются на железных поверхностях, чем на бронзовых. Это экспериментальное наблюдение можно объяснить, сравнивая энергию адсорбции графена на железе и меди (образец бронзы, используемый в эксперименте, содержит 98% меди). Сравнение энергий связи и равновесных расстояний для меди и для железа, указывает на заметную разницу в характере реакции: графен физисорбируется на меди, а хемосорбируется на железе, где π -орбиталь графена гибридизуется с d-состояниями Fe.

Список литературы

1. Novikova A.A., Burlakova V.E., Varavka V.N., Uflyand I.E., Drogan E.G., Irkha V.A. Influence of glycerol dispersions of graphene oxide on the friction of rough steel surfaces // Journal of Molecular Liquids, 2019, 284, 1-11.
2. Restuccia P., Righi M. C. Tribochemistry of graphene on iron and its possible role in lubrication of steel // Carbon, 2016, 106, 118-124.
3. Berman D., Erdemir A., Sumant A. V. Few layer graphene to reduce wear and friction on sliding steel surfaces // Carbon, 2013, 54, 454-459.

Сведения об авторах:

Легконогих Наталья Игоревна – аспирант, ДГТУ, Ростов-на-Дону.