

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Э. О. Норкулов

Старший преподаватель

Института военной авиации

Республики Узбекистан, доцент

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы применения металломатричных композиционных материалов в трибологических областях, по-прежнему необходимы устойчивые разработки и подтвержденное моделированием, измерениями и обратной связью в реальных приложениях.

Ключевые слова. Композиционные материалы, матрица, моделирование, трибология, методы испытания, нанофаза, графен.

Введение. В настоящее время, к сожалению, моделирование редко используются для отображения трибологических процессов и выявления улучшенных трибологических характеристик в металломатричных композиционных материалов. Для полного понимания механизмов противоизносного действия в металломатричных композиционных материалов было бы полезно провести моделирование от атомного масштаба до макроскопических явлений [16,18,19].

С развитием моделирования молекулярной динамики трибологические характеристики металломатричных композиционных материалов могут быть лучше соотнесены с улучшенными механическими свойствами, такими как микроскопическая выталкивающая сила, как показано на рис. 1[17]. Эти методы моделирования могут потенциально объяснить вызванные нанофазами уменьшение эффекта вспашки, изменение режимов износа и т. д. путем наблюдения за микроструктурными взаимодействиями, такими как дислокации, границы зерен, реконфигурация атомов и энергетические ландшафты. С

помощью детального моделирования можно разделить и минимизировать влияние взаимосвязанных факторов, включая условия испытаний, что поможет определить реальные трибологические характеристики металломатричных композиционных материалов [11,14,16,17,18].

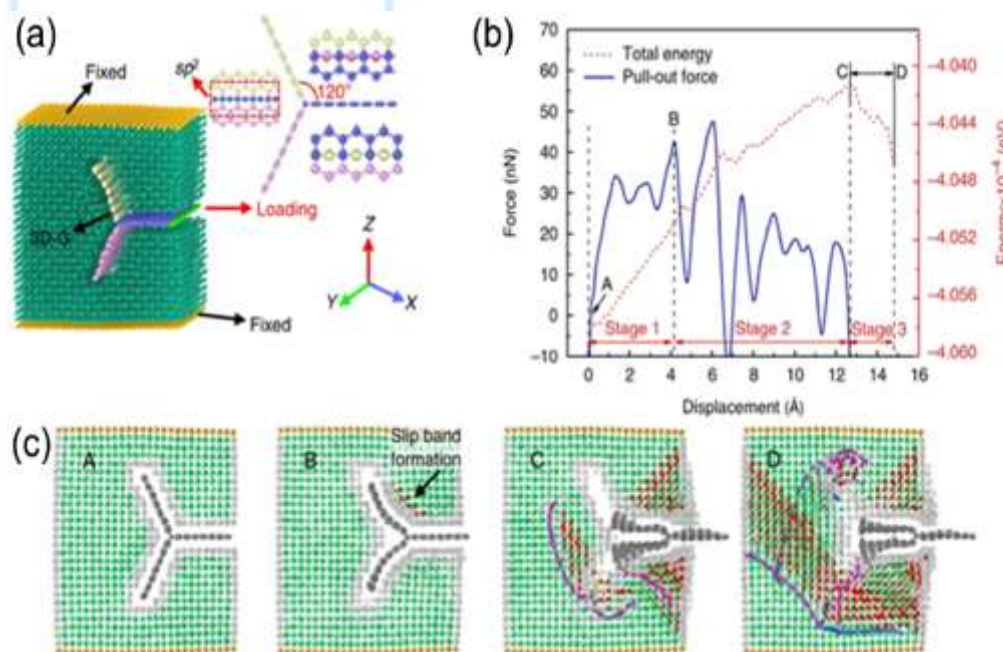


Рис. 1 (а) Атомные конфигурации в моделировании графенового нанокомпозитов с матрицей медью

До сих пор для иллюстрации трибологических характеристик металлов и сплавов было проведено множество значимых исследований. Например, модель Томлинсона и модель Френкеля-Конторовой-Томлинсона (ФКТ) были разработаны как ступеньки для описания поведения твердого межфазного трения, а соответствующим образом смоделированный и наблюдаемый эффект скольжения на атомном уровне доказал осуществимость первопринципного расчета на основе модели [10].

Следует также отметить, что в настоящее время первопринципные расчеты (как и теория функционала плотности, т.е. DFT) в основном сосредоточены на изображении энергии от атомного до наномасштаба и локализованных

(около)межфазных обратных связях во время этих трибологических процессов. Поэтому для точного моделирования трибологических явлений в металломатричных композиционных материалах необходимо дополнительно учитывать масштабные эффекты [13, 15]. Кроме того, моделирование дало много интересных результатов для объяснения трибологических процессов в различных измерениях (например, с тонкими листами, такими как графен) и при различных режимах контакта (например, разрыв поверхности с различными геометриями, такими как ступеньки и аспериты), которые могут быть легко использованы в качестве первого шага для точного воспроизведения триборезонанса в различных металломатричных композиционных материалах путем соединения металлов и сплавов с нанофазами [8]. Учитывая эти предварительные успехи, можно ожидать детального моделирования и моделирования трибологических характеристик металломатричных композиционных материалов. Например, в будущих исследованиях можно использовать расчеты на основе первого принципа для получения точных межфазных параметров, таких как потенциал, прочность связи и т.д. для каждого компонента (например, металлов или сплавов и нанофазы по отдельности), и использовать эти параметры для проведения более масштабного моделирования, чтобы учесть трибологические реакции в металломатричных композиционных материалах и преодолеть ограничения по размеру этих двух методов [18].

Методы. Экспериментальные наблюдения являются наиболее важным подтверждением для понимания трибологических процессов в металломатричных композиционных материалах. Испытания методом «штифт на диск» (а также другие традиционные испытания на царапание) являются стандартной процедурой [4, 5]. Что касается методов испытаний, то их совершенствование происходит довольно медленно, что ограничивает сбор трибологических данных высокого разрешения и высокой точности. В частности, когда нанофазы имеют размер 10-100 нм, это может привести к появлению переходного трибологического сигнала, который не может быть

напрямую соотнесен с другими характеристиками, например, с износом канавок с различными масштабами длины в металломатричных композиционных материалах [6]. Недавно для повышения разрешения трибологических измерений исследователи использовали взаимосвязь между напряжением сдвига поверхности и фрикционным откликом для разработки системы трибологических характеристик высокого разрешения, как показано на рис. 2. Эти неразрушающие измерения могут стать важным дополнением к традиционным измерениям с помощью штифта на диске [12].

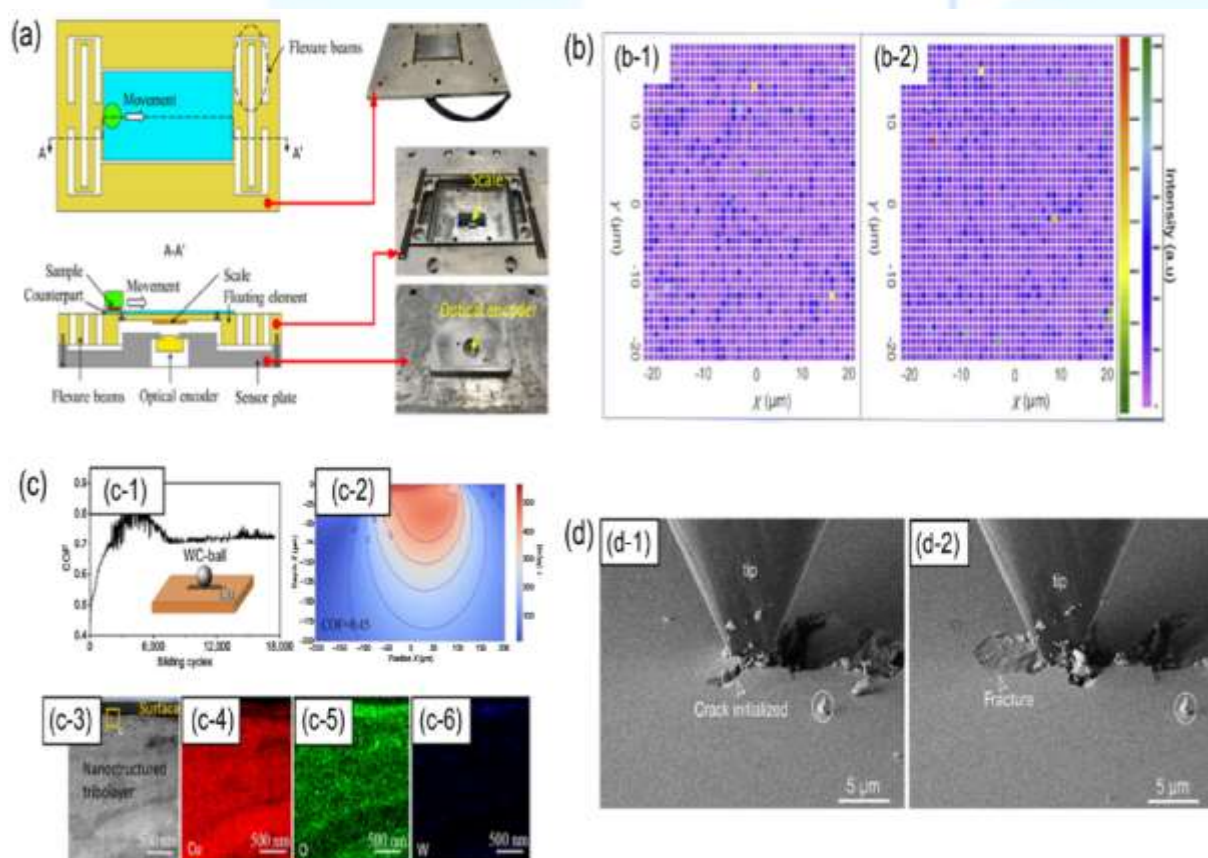


Рис. 2. Иллюстрация и реальная модель прецизионной установки для измерения коэффициента трения, обеспечивающей измерение перемещений с высоким разрешением с помощью оптического энкодера (обзор и вид в разрезе) с высоким разрешением (10⁻⁴ Н) и быстрой частотой дискретизации (512 Гц)

С развитием методов определения характеристик в области материаловедения и инженерии поверхности дает многообещающее решение проблемы сложного трибологического поведения металломатричных композиционных материалов:

- трибологический сигнал - это статистическая величина, отражающая механическое взаимодействие между двумя трущимися поверхностями, поэтому структуры (включая распределение нанofаз) металломатричных композиционных материалов должны обладать хорошими статистическими характеристиками. Последние разработки, такие как микротомография, вертикальный сканирующий интерферометр (VSI) и картирование с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния, способствуют пониманию статистической природы (например, распределения нанofаз и распределения напряжений при нагрузке) трибологических характеристик металломатричных композиционных материалов и компенсируют микромасштабные характеристики, такие как атомно-силовая микроскопия (АСМ) и др. [9,12, 18].

- методы высокого разрешения, включая просвечивающую электронную микроскопию (ПЭМ) с энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией (EDX) и атомной зондовой томографией (APT), становятся все более интересными для трибологических исследований. Поэтому для истинного понимания механизмов противоизносного действия, включая формирование трибопленки, эти методы с высоким разрешением до ~1 нм могут определить точную локальную композиционную и структурную эволюцию в процессе истирания [12].

Это поможет восстановить точность наблюдений трибо-реакции и позволит оценить влияние нанofазы в аналогичном масштабе. Методы in-situ также незаменимы, поскольку позволяют отслеживать трибологические характеристики в режиме реального времени. Например, точный процесс и механизмы самовосстановления WS_2 при трении недавно были раскрыты с помощью методов in-situ, оснащенных сканирующей электронной микроскопией

(СЭМ) и ТЭМ. Дальнейшее развитие методов in-situ в различных условиях окружающей среды (например, при высокой температуре, в коррозионных средах, под нагрузкой и т. д.) может значительно расширить возможности надежных испытаний металломатричных композиционных материалов для длительного трибоприменения, что полезно для отраслей, работающих в экстремальных условиях, таких как аэрокосмическая [12].

Заключение. Трибологическая промышленность быстро развивается, и появляется все больше областей применения, в которых металломатричных композиционных материалов занимают важную нишу. В перспективе применения металломатричных композиционных материалов видится в двух аспектах: Во-первых, как металломатричных композиционных материалов могут сочетаться с развивающимися антифрикционными и противоизносными конструкциями и технологиями металлов или сплавов для достижения большего потенциала в дальнейшем повышении трибологических характеристик. Во-вторых, надо выйти за рамки механического диапазона металломатричных композиционных материалов, чтобы дать некоторые идеи применения этих нанокompозитных материалов в захватывающих биомедицинских, энергетических, электронных областях и т.д. [1-3].

Литература

1. Якубов С.Х., Норкулов Э.О. Критический обзор по металломатричным нанокompозитам в трибологии//“Samo qalqonlari” научно-информационный журнал, 11 (3) 2024. - С. 351-360.
2. Якубов С.Х., Норкулов Э.О. Критический обзор по композиционным материалам с металлической матрицей//Проблемы эксплуатации авиационного оборудования и пути их решения. Перспективы развитие: Материалы Республиканского научно-теоретической конференции. – Карши: ИВА Республики Узбекистан, 2024. – С. 64-71.
3. Якубов С.Х., Норкулов Э.О., Холмуродов Д.С. Разработки технологии ультрадисперсных порошков на основе тугоплавких металлов // Методы и

- перспективы инновационного преподавания общетехнических дисциплин: Материалы Республиканского научно-теоретической конференции. – Карши: Институт военной авиации Республики Узбекистан, 2024. - С. 47-52.
4. El-Ghazaly A, Anis G, Salem H G. Effect of graphene addition on the mechanical and tribological behavior of nanostructured AA2124 self-lubricating metal matrix composite. *Compos Part A Appl Sci Manuf* 95: 325–336 (2017).
5. Futami T, Ohira M, Muto H, Sakai M. Contact/scratch-induced surface deformation and damage of copper–graphite particulate composites. *Carbon* 47(11): 2742–2751 (2009).
6. Hou K H, Ger M D, Wang L M, Ke S T. The wear behaviour of electro-codeposited Ni–SiC composites. *Wear* 253(9–10): 994–1003 (2002).
7. Kumar V, Li L, Gui H L, Wang X G, Huang Q X, Li Q Y, Mokdad F, Chen D L, Li D Y. Tribological properties of AZ31 alloy pre-deformed at low and high strain rates via the work function. *Wear* 414–415: 126–135 (2018).
8. Lee C, Li Q Y, Kalb W, Liu X Z, Berger H, Carpick R W, Hone J. Frictional characteristics of atomically thin sheets. *Science* 328(5974): 76–80 (2010).
9. Mandal A, Tiwari J K, AlMangour B, Sathish N, Kumar S, Kamaraj M, Ashiq M, Srivastava A K. Tribological behavior of graphene-reinforced 316L stainless-steel composite prepared via selective laser melting. *Tribol Int* 151: 106525 (2020).
10. Nian J Y, Si Y F, Guo Z G. Advances in atomic-scale tribological mechanisms of solid interfaces. *Tribol Int* 94:1–13 (2016).
11. Pan S H, Zhang Z N. Fundamental theories and basic principles of triboelectric effect: A review. *Friction* 7(1):2–17 (2019).
12. Pan S H, Saso T, Yu N, Sokoluk M, Yao G C, Umehara N, Li X C. New study on tribological performance of AA7075- TiB₂ nanocomposites. *Tribol Int* 152: 106565 (2020).
13. Reguzzoni M, Fasolino A, Molinari E, Righi M C. Potential energy surface for graphene on graphene: Ab initio derivation, analytical description, and microscopic interpretation. *Phys Rev B* 86(24): 245434 (2012).

14. Righi M C, Zilibotti G, Corni S, Ferrario M, Bertoni C M. First-principle molecular dynamics of sliding diamond surfaces: Tribochemical reactions with water and load effects. *J Low Temp Phys* 185(1): 174–182 (2016).
15. Wang K L, Zhou H, Zhang K F, Liu X G, Feng X G, Zhang Y S, Chen G, Zheng Y G. Effects of Ti interlayer on adhesion property of DLC films: A first principle study. *Diam Relat Mater* 111: 108188 (2021).
16. Wei B Y, Kong N, Zhang J, Li H B, Hong Z J, Zhu H T, Zhuang Y, Wang B. A molecular dynamics study on the tribological behavior of molybdenum disulfide with grain boundary defects during scratching processes. *Friction* 9(5):1198–1212 (2021).
17. Zhang X, Xu Y X, Wang M C, Liu E Z, Zhao N Q, Shi C S, Lin D, Zhu F L, He C N. A powder-metallurgy-based strategy toward three-dimensional graphene-like network for reinforcing copper matrix composites. *Nat Commun* 11(1): 2775 (2020).
18. Zhang Z N, Pan S H, Yin N, Shen B, Song J. Multiscale analysis of friction behavior at fretting interfaces. *Friction* 9(1): 119–131 (2021).
19. Zhang Z N, Yin N, Wu Z S, Pan S H, Wang D A. Research methods of contact electrification: Theoretical simulation and experiment. *Nano Energy* 79: 105501 (2020).