

СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ

ЯКУБОВ Сабир Халмурадович

доктор технических наук, профессор

профессор кафедры естественно-научных дисциплин

РУЗМАТОВ Рустам Алижонович

старший преподаватель

Институт военной авиации Республики Узбекистан

г. Карши, Узбекистан

В работе были систематически обсуждены методы изготовления, производства и обработки композиционных материалов с металлической матрицей с учетом их важнейших исследовательских и промышленных потребностей путем моделирования, прогнозирования трибологических характеристик и рациональным проектированием металломатричных композиционных материалов.

Ключевые слово: моделирование, прогнозирование, проектирование, композиционных материалов, матрица, потребность, изготовления, производство, обработка, трибология, триботехника.

Введение. Композиционные материалы обладают комплексом свойств, отличающихся от традиционных конструкционных материалов, что и предопределило их успешное применение для совершенствования современных и разработки принципиально новых конструкций. Благодаря композиционных материалов стал возможен новый качественный скачок в увеличении мощности двигателей, уменьшении массы машин и конструкций и повышении весовой эффективности транспортных средств и авиационно-космических аппаратов [3; 4]. Композиционные материалы состоят из сравнительно пластичного матричного

материала более твердых и прочных компонентов, являющихся наполнителями. Свойства композиционных материалов зависят от свойств основы, наполнителей и прочности связи между ними.

Матрица связывает композицию в монолит, придает ей форму и служит для передачи внешних нагрузок арматуре из наполнителей. В зависимости от материала основы различают композиционные материалы с металлической матрицей, или металлические композиционные материалы (МКМ) с полимерной - полимерные композиционные материалы (ПКМ) и с керамической - керамические композиционные материалы (ККМ). Ведущую роль в упрочнении композиционных материалов играют наполнители, часто называемые упрочнителями. Они имеют высокую прочность, твердость и модуль упругости. Композиционные материалы по сравнению с современными конструкционными материалами обнаруживают более высокую удельную жесткость (E/ρ) и удельную прочность (σ_b/ρ). Модуль упругости композиционных материалов может изменяться в требуемом направлении в зависимости от схемы армирования. Высокая надежность в работе конструкций из композиционных материалов связана с особенностями распространения в них трещин. В обычных сплавах трещина развивается быстро и скорость роста ее в период работы конструкции детали возрастает. В композиционных материалах трещина обычно возникает и развивается в матрице и встречает препятствия на границе матрица-упрочнитель. Армирующий элемент тормозит ее распространение, задерживая на некоторое время ее рост. Композиционные материалы с равномерным распределением частиц упрочнителя отличаются изотропностью свойств. Армирующими наполнителями чаще служат дисперсные частицы тугоплавких оксидов, нитридов, боридов, карбидов (Al_2O_3 , ThO_2 , HfO_2 , BN , SiC , Be_2C и др.). Эти тугоплавкие соединения имеют высокие значения модуля упругости, низкую плотность, значительную инертность в отношении материала матриц. Так, например, модуль упругости оксидов ThO_2 и Al_2O_3 равен $380,5 \cdot 10^3$ и $146,12 \cdot 10^3$ МПа, а плотность - 1,0 и $3,97 \text{ т/м}^3$, соответственно [1; 2].

Выбор метода получения композиции из различных сочетаний матрицы и армирующего волокна определяется следующими факторами: размерами, профилем и природой исходных материалов матрицы и упрочнителя; возможностью создания прочной связи на границе раздела матрица-упрочнитель; получением равномерного распределения волокон в матрице; возможностью совмещения процессов получения композиционного материала и изготовления из него деталей; экономичностью процесса. При производстве композиционных материалов с металлической матрицей наибольшее распространение получили твердофазные, жидкофазные, газопарофазные, химические и электрохимические процессы [5].

Для создания металлических композиционных материалов с еще более малой плотностью применяется магний. Композиционные материалы на основе магния на 30 % легче, чем на основе алюминия.

Для очень высоких температур, например, в камерах сгорания реактивных двигателей, используют системы, содержащие молибденовую и вольфрамовую проволоку в матрицах их титана и супер сплавов.

К недостаткам металлических композиционных материалов относится их сравнительно высокая стоимость и сложность изготовления. Их стоимость в настоящее время превосходит стоимость полимерных композиционных материалов в несколько раз. Совершенствование технологии позволит снизить себестоимость металлических композиционных материалов, а их уникальные свойства делают незаменимыми их в ряде конструкций [5; 6].

Методы исследований и обсуждения. Исходя из обсуждения моделирования, методов измерения и широкого применения композиционных материалов с металлическими матрицей в авиационно-космической технике, машиностроение и др. областях народного хозяйства, становится ясно, чтобы для удовлетворения потребности промышленности и исследований, что все еще существует большая ниша для разработки новых композиционных материалов с металличе-

ских матрицей. Чтобы дать систематических обзор в этих важнейших исследовательских и промышленных потребностей, в этом работе будет дан краткий обзор конструкторских и технологических решений в проектирования и оптимизации композиционных материалов с металлической матрицей [7; 8].

Во-первых, производство композиционных материалов с металлической матрицей по-прежнему дорого для технически композиционных материалов по сравнению с чистыми металлами или их сплавами обусловлена двумя аспектами: Технологии производства еще не созрели для того, чтобы соответствовать высококачественным масштабируемым потребностям [10]. Например, металлы или их сплавы обычно изготавливаются тоннами, и их производство должно работать без обслуживания в течение длительного времени.

Существующие проблемы масштабируемости ограничивают применение композиционных материалов с металлической матрицей только высоко прибыльными отраслями, как биомедицинские устройства. Вообще говоря, потенциал композиционных материалов с металлической матрицей в других отраслях промышленности до конца не изучен. Другой вклад в увеличение стоимости вносит цена используемых наночастиц. Изготовление необходимых наночастиц простым способом все еще остается сложной задачей, а затраты времени и сырья могут быть очень высокими. В настоящее время многие усилия направлены на быстрое, производительное и энергоэффективное изготовление наночастиц, и постоянно развиваются такие новые методы, как синтез с контролем размера с помощью расплавленной соли [11; 12] и ударный синтез с контролем времени [14]. Только контролируя общие затраты на композиционных материалов с металлической матрицей, можно внедрить результаты исследований в более широкие трибоиндустрии.

Во-вторых, облегченная конструкция для композиционных материалов с металлической матрицей всегда сталкивается с дилеммой. Начиная с 2020 года, страны и регионы, включая США, Китай и Европу, обозначили перспективы нейтрализации углерода (IV) оксида (CO_2) и наметили пути их достижения [13;

15]. В рамках этих усилий облегчение конструкционных материалов, таких как композиционных материалов с металлической матрицей, является важным требованием [15]. Поэтому для обеспечения большей совместимости с трибологическими применениями научные исследования и промышленность должны рассмотреть возможность облегчения конструкции композиционных материалов с металлической матрицей. Например, текущие наночастицы карбид вольфрама (WC) имеют плотность $\sim 16 \text{ г/см}^3$, что даже намного тяжелее, чем медью (Cu) и железо (Fe), и снижает эффективность использования.

Таким образом, поиск подходящих и новых легких наночастиц (например, наночастиц на основе углерода) имеет большое значение для устойчивого развития композиционных материалов с металлической матрицей в триботехническом материаловедении.

И последнее, но не менее важное: чтобы максимально использовать текущие трибологические данные в композиционных материалов с металлической матрицей, необходимо унифицировать стандарты и критерии испытаний. Этот аспект всегда игнорируется, поэтому результаты исследований не сопоставимы и не последовательны.

Дальнейшее развитие машинного обучения, искусственного интеллекта (ИИ) и методов больших данных дает нам возможность пересмотреть все предыдущие результаты трибологических характеристик для композиционных материалов с металлической матрицей, и эта возможность может помочь создать общие и широко принятые стандарты испытаний специально для композиционных материалов с металлической матрицей. Только достигнув этого, обсуждение и коммуникации о композиционных материалов с металлической матрицей в триботехническом материаловедении будут более значимыми.

Заключение. Критические исследовательские и промышленные потребности композиционных материалов с металлической матрицей в области трибологии совпадают с нашими перспективами трибологического моделирования ком-

позиционных материалов с металлической матрицей, усовершенствования измерений и разработки интеграции применений. Их взаимные стимулы (например, обновления методов измерения могут реформировать стандарты трибологических испытаний для композиционных материалов с металлической матрицей) могут быть полезны для процветающего и устойчивого развития композиционных материалов с металлической матрицей.

Из вышеизложенного следует отметить, для обеспечения необходимых характеристик в композиционных материалов с металлической матрицей, прогнозирования их трибологических характеристик в новых системах композиционных материалов с металлической матрицей и руководства рациональным проектированием антифрикционных и противоизносных композиционных материалов с металлической матрицей [7].

Со всеми этими результатами исследования, учитывая расширенные междисциплинарные приложения композиционных материалов с металлической матрицей в трибологии, были изучены будущие направления, потенциальные пути улучшения и возможные ожидаемые результаты трибологических композиционных материалов с металлической матрицей. Интересно, что связи трибологии с материаловедением, нанонаукой, энергетическими технологиями, биомедицинскими применениями и электроникой через композиционных материалов с металлической матрицей предвидят многообещающий и широкий сценарий применения этих новинок и развивающихся материалов [8].

В заключение, хотелось бы отметить, в работе были систематически обсуждены методы изготовления, производства и обработки, в наш взгляд, дает полезное руководство для достижения использования композиционных материалов с металлической матрицей в различных важных областях, а также их практический роль в областях трибологии, учитывая их важность в снижении трения и износа [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Айбиндер С.Б. О площади контактов между трущимися телами. – Изв. АН СССР. ОТН, Механика и машиностроение, 1962 – №6. – С. 172-174.
2. Аксенов А.Ф., Лозовский В.Н. Износостойкость авиационных топливно-гидравлических агрегатов. – М.: Транспорт, 1986. – 240 с.
3. Белый В. А., Свириденюк А. И. Актуальные направления развития исследований в области трения и изнашивания // Трение и износ. – 1987. – Т 8, №1. – С. 5-24.
4. Джост П. Трибология — истоки и перспективы (доклад). Мировые достижения в области трибологии // Трение и износ. – 1986. – Т.7, №4. – С. 593 - 613.
5. Икрамов У.А., Левитин М.А. Основы трибоники. – Ташкент: Укитувчи, 1984. – 184 с.
6. Карагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
7. Якубов С.Х., Норкулов Э.О. Критический обзор по металломатричных нанокompозитов в трибологии // “Samo qalqonlari” научно-информационный журнал, 11 (3) 2024. – С. 351-360.
8. 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: Институт военной авиации Республики Узбекистан, 2024. – С. 64-71.
9. 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.

10. Azarniya A, Safavi M S, Sovizi S, Azarniya A, Chen B, Madaah Hosseini H R, and Ramakrishna S. Metallurgical challenges in carbon nanotube-reinforced metal matrix nanocomposites. *Metals* 7 (10): 384 (2017).

11. Holmberg K, Erdemir A. Influence of tribology on global energy consumption, costs and emissions. *Friction* 5(3): 263–284 (2017).

12. Javadi A, Pan S H, Cao C Z, Yao G C, Li X C. Facile synthesis of 10 nm surface clean TiB₂ nanoparticles. *Mater Lett* 229: 107–110 (2018).

13. Rogelj J, Shindell D, Jiang K J, Fifita S, Forster P, Ginzburg V, Handa C, Kheshgi H, Kobayashi S, Kriegler E, et al. Mitigation pathways compatible with 1.5°C in the context of sustainable development. In *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C Above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty*. IPCC, 2018: 93–174.

14. Yao Y, Huang Z, Xie P, Lacey S D, Jacob R J, Xie H, Chen F, Nie A, Pu T, Rehwoldt M, et al. Carbothermal shock synthesis of high-entropy-alloy nanoparticles. *Science* 359(6383): 1489–1494 (2018).

15. Yuan J, Yao G C, Pan S H, Murali N, Li X C. Size control of in situ synthesized TiB₂ particles in molten aluminum. *Metall Mater Trans A* 52(6): 2657–2666 (2021).

A SYSTEMATIC REVIEW ON THE RESEARCH AND INDUSTRIAL NEEDS OF METAL MATRIX COMPOSITE MATERIALS

YAKUBOV Sabir Khalmuradovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

Professor of the Department of Natural Sciences

RUZMATOV Rustam Alijonovich

Senior Lecturer of the Institute of Military Aviation of the Republic of Uzbekistan

Karshi, Uzbekistan

The paper systematically discusses the methods of manufacturing, production and processing of metal matrix composite materials considering their most important research and industrial needs by modeling, predicting tribological characteristics and rational design of metal matrix composite materials.

Keywords: modeling, predicting, designing, composite materials, matrix, need, manufacturing, production, processing, tribology, tribotechnics.