

НОВЫЕ КОМПОЗИТЫ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ ДЛЯ БУДУЩИХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Милейко С.Т.

Институт физики твердого тела им Осипьяна РАН

Ключевые слова: композиты, угле-титан, оксид-молибде.

Рассмотрены возможности получения и основные механические характеристики двух новых типов волоконных композитов с металлической матрицей (КММ).

Угле-титановые композиты с непрерывным волокном были впервые получены по технологии, трансформируемой в промышленную технологию получения элементов таких конструкций, как лопатки компрессора, вентиляторные лопатки, оболочки, лишь несколько лет назад [1, 2]. Способ основан на пропитке слоя углеволокна расплавом промежуточной матрицы с температурой плавления T_m , пониженной относительно величины T_m основной матрицы. Это позволяет сохранить волокно от его превращения в карбид титана, что произошло бы в случае применения жидкофазной технологии с использованием только основной матрицы. Существенно заметить при этом, что твердофазные технологии, основанные на методах порошковой металлургии [3, 4], оказываются неэффективными. Структуры композитов (рис. 1) характеризуются восемью параметрами (вместо обычных трёх), что позволяет оптимизировать её применительно к конкретным условиям нагружения и эксплуатации конструкции. Примеры зависимостей прочности и модуля упругости композитов даются на рис. 2.

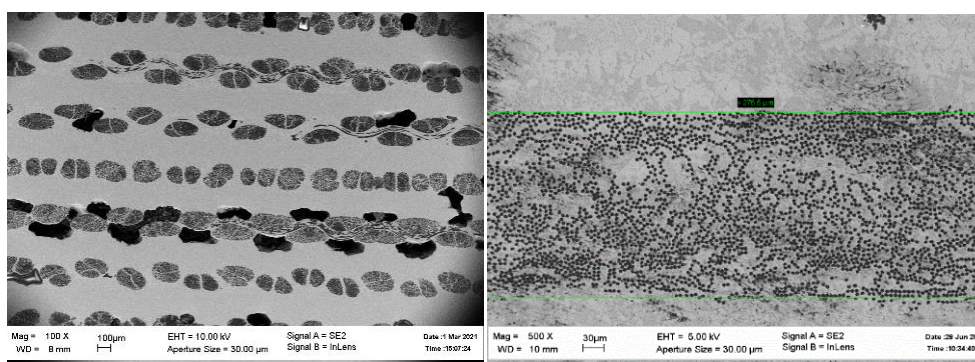


Рисунок 1 – Типичные структуры композитов с волокнами Кулон (слева) и UMT49 (справа)

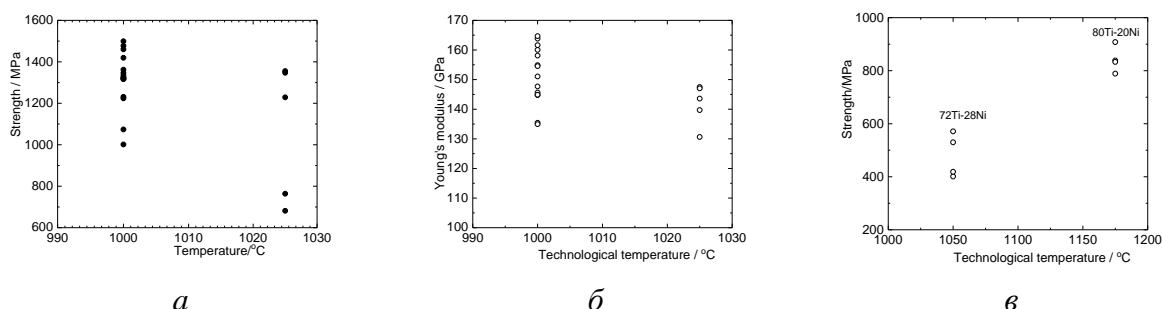


Рисунок 2 – Зависимости и модуля Юнга от технологической температуры.; (а) и (б): волокно UMT40, основная матрица – слой VT16 толщиной 85 мкм промежуточная матрица 72Ti-28Ni; (в): волокно Кулон, основная матрица – слой VT1-0 толщиной 100 мкм промежуточная матрица – в поле графика

Оксид-молибденовые композиты, получаемые методом внутренней кристаллизации, дающим разнообразные монокристаллические и эвтектические волокна в процессе с высокой производительностью, изначально рассматривались лишь как модельные [5], но с обнаружением возможности защиты молибдена от окисления должным выбором химического состава волокна [2] и, что более важно с построением композитной структуры с матрицей молибденового сплава $Mo-Mo_3Si-Mo_5SiB_2$ [6], разрабатываемого во многих лабораториях

мира в последние десятилетия в рамках программ *Beyond Nickel Superalloys*,. – возникла возможность построения такого типа композитов в качестве материала рабочей лопатки газовой турбины с температурой тела 1300°C и, возможно, выше с углублением знаний о механическом поведении структуры в потоке продуктов сгорания керосина.

Указанные выше сплавы характеризуются достаточно высоким сопротивлением окислению, для них разрабатываются необходимые защитные покрытия, но нерешённой остаётся одна из важнейших задач: падение трещиностойкости с ростом прочности и крипостойкости сплава – типичный «конфликт» между прочностью и трещиностойкостью сплавов [7]. Это демонстрируется на Рис. 3, построенные по данным [8]).

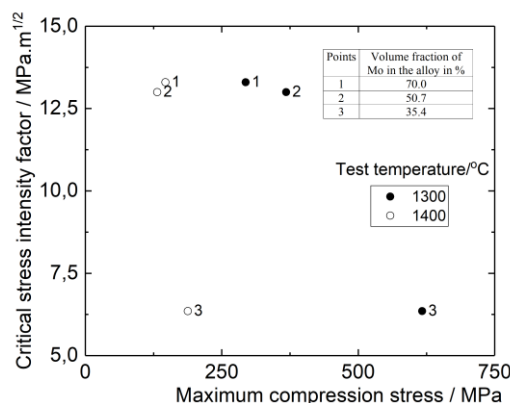


Рисунок 3 – Корреляция между предельным напряжением сжатия и трещиностойкостью сплавов Mo-Mo₅SiB₂-Mo₃Si

Новые оксид-молибденовые композиты обладают высокой трещиностойкостью, до 45 МПа·м^{1/2}, что характерно для КММ [7] и представляется достаточным для их использования в высоко нагруженных элементах конструкций. На сегодняшнем уровне развития сопротивление ползучести σ^* (1% деформации ползучести за 100 час) достигает 100 МПа при плотности $\gamma \approx 7.6$ г/см³. Кристаллизация муллита в качестве армирующего волокна поднимет σ^* до ~ 150 МПа при небольшом снижении γ .

Трансформирование разработанных лабораторных технологий получения новых КММ в промышленные позволит существенно повысить характеристики двигателей.

Новые результаты в докладе получены в рамках работ по проекту РНФ 23-19-00419.

Список литературы

1. Способ получения композиционных материалов на основе углеволокна и металла; Патент RU 2 731 699, Авторы: Милейко С.Т., Колчин А.А. и др.
2. Милейко С.Т., Колчин А.А., и др. Новые композиты с металлической матрицей в Институте физики твердого тела РАН, *Композиты и Наноструктуры*, 2020, 12, №3, 88-100.
3. Mileiko S.T., Rudnev A.M., Gelachov M,V. Low cost PM route for titanium matrix carbon fibre composites, *Powder Metallurgy* 39 (1996) 97-99.
4. C. Even, C. Arvieu, J.M. Quenisset, Powder route processing of carbon fibres reinforced titanium matrix composites, *Composites Science and Technology* 68 (2008) 1273–1281.
5. Милейко С.Т. и Казьмин В.И. Получение композитов методом внутренней кристаллизации, *Механика композитных материалов*, 1991, №5, 98-908.
6. Высокотемпературные композиты с молибденовой матрицей и способ их получения, Патент РФ № 2712333, Авторы: Милейко СТ, Колчин АА и др.
7. Mileiko S.T. Metal and Ceramic Based Composites. – Elsevier. Amsterdamю 1997. 691 p.
8. Krüger M., P. Jain, K.S. Kumar, M. Heilmaier, Correlation between microstructure and properties of fine grained Mo-Mo₃Si-Mo₅SiB₂ alloys, *Intermetallics*, 2014, 48, 10-18.

Сведения об авторах

Милейко С.Т., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник. Область научных интересов: технологическая механика композитов с металлической и керамической матрицами.

NOVELL METAL MATRIX COMPOSITES FOR FUTURE GAS TURBINE ENGINES

S.T. Mileiko

Osipyan Institute of Solid State Physics

Keywords: metal matrix composites, carbon-fibre/titanium-matrix, oxide-fibre/molybdenum-matrix.

Main mechanical characteristics and potentials of two new types of metal matrix composites those being carbon-fibre/titanium-matrix and oxide-fibre/molybdenum-alloy-matrix are considered. Specific values of strength and the Young's modulus in the reinforcement direction of the composites of the first type containing continuous fibres are much higher than those of titanium alloys. The composites are characterized by sufficiently high fracture toughness and the anisotropy much lower than that of CFRP. The composites of the second type containing either single crystalline or eutectic fibres and Mo-Mo₃Si-Mo₅SiB₂ matrix are produced by the internal crystallization method. Unlike the matrix alloy they have sufficiently high values of fracture toughness and creep resistance at temperatures up to 1300°C.