

ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОИСТОГО КОМПОЗИТА С ВЫСОКОЙ УДЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТЬЮ И УМЕРЕННОЙ ЖАРОПРОЧНОСТЬЮ

И.С. Желтякова*, М.И. Карпов, В.П. Коржов

Институт физики твердого тела Российской академии наук,
ул. Академика Осипьяна 2, Черноголовка, Московская обл., 142432, Россия

*e-mail: terekhova@issp.ac.ru

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы получения слоистых композитов систем Ti-Al и Ti-Al-Me (здесь Me представляют Mo, Nb и Zr элементы), формирования структуры и исследования механических свойств данных композитов. Исследование микроструктуры образцов композитов показало, что они состоят из твердого раствора алюминия в титане и интерметаллических слоев Ti_3Al , $TiAl$, $TiAl_2$ и $TiAl_3$. Результаты кратковременных испытаний на 3-х точечный изгиб показали, что средние значения предела прочности нелегированного композита находятся на уровне 820 МПа и 993 МПа, а легированного композита – 952 МПа и 1352 МПа при температурах 20 и 700 °С, соответственно.

1. Введение

Сплавы системы Ti-Al имеют высокую удельную прочность, хорошие антикоррозионные свойства и жаропрочность при температурах до ~ 850 °С. Преимущество титан – алюминиевых сплавов – это незначительный удельный вес и, вследствие этого, небольшие центробежные удельные напряжения. Высокую удельную прочность этих сплавов обуславливает алюминий. А с увеличением его содержания повышается жаропрочность, сопротивление ползучести и модуль упругости сплавов [1-4] без заметного увеличения их стоимости, так как алюминий очень доступен, благодаря широкому распространению в природе. Поэтому сплавы на основе титана с алюминием считаются наиболее перспективным объектом в реактивном двигателестроении. Но низкая температура плавления, равная ~1500 °С, ограничивает их применение камерой низкого давления турбины и статическими деталями двигателя. В проблеме дальнейшего увеличения жаропрочности данных сплавов важной задачей является поиск новых систем легирования, позволяющих повысить эксплуатационные характеристики. К наиболее распространенным легирующим элементам, повышающим сопротивление ползучести при высоких температурах, для титановых сплавов являются молибден, цирконий и ниобий [17]. Кроме того, создание композитов с уникальным сочетанием физико-механических свойств возможно за счет управления их структурой. Перспективными считаются искусственные многослойные композиты.

Особенностью рассматриваемых сплавов является наличие в их структуре интерметаллических фаз титана с алюминием Ti_3Al и $TiAl$ [5] - прочных при умеренных до (900 - 950 °С) температурах и, тем самым, обеспечивающих им

Испытания образцов композитов, размером $2 \times 2 \times 15$ мм на кратковременную прочность были проведены при 20 и 600, 700, 800 °С в атмосфере высокочистого аргона по схеме трехточечного изгиба в вакуумной камере установки INSTRON в атмосфере аргона высокой чистоты.

3. Краткое обсуждение

Морфологически структура нелегированного композита Ti/Al-Si после пакетной прокатки, последующей ДС и отжига 850 °С в течение 10 часов показана на Рис. 1а. Видно, что на месте Al-прослоек образовались диффузионные слои, каждый из которых состоит из 2-х интерметаллических слоёв Ti_3Al , 2-х слоёв $TiAl$ и одного внутреннего $TiAl_2$ -слоя. Ti-слои после ДС превращались в твёрдый раствор алюминия в титане $Ti(Al)$. Средняя толщина твердого раствора и интерметаллических фаз варьируется от 20 до 25 мкм и от 45 до 47 мкм, соответственно.

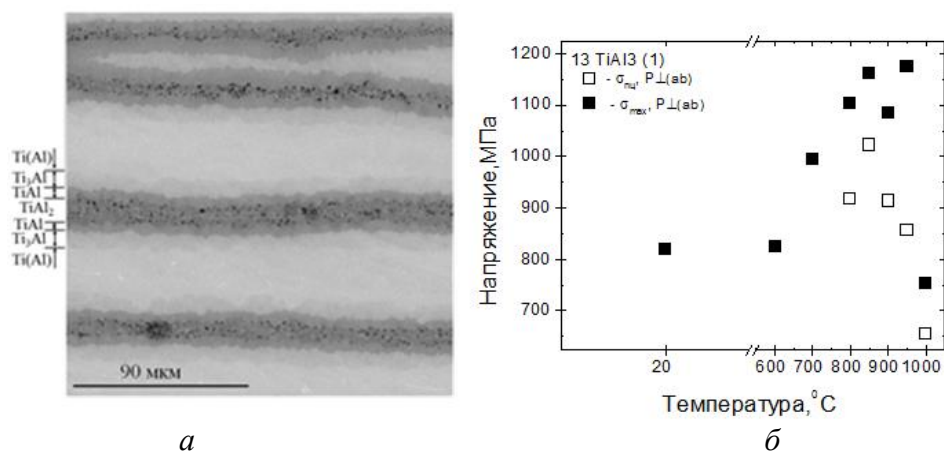


Рис. 1. Микроструктура поперечного сечения нелегированного слоистого композита после отжига 850 °С в течение 10 часов (а) и результаты кратковременных испытаний на 3х точечный изгиб 2 композитов, полученных ДС под давлением и пакетной прокаткой, с последующей ДС под давлением (б).

Структура полученного образца легированного Ti-Me/Al-Si композита представлена чередующимися прослойками твердого раствора алюминия в Ti-Me и несколькими интерметаллическими фазами Ti_3Al , $TiAl$, $TiAl_2$, и $TiAl_3$ (Рис. 2а).

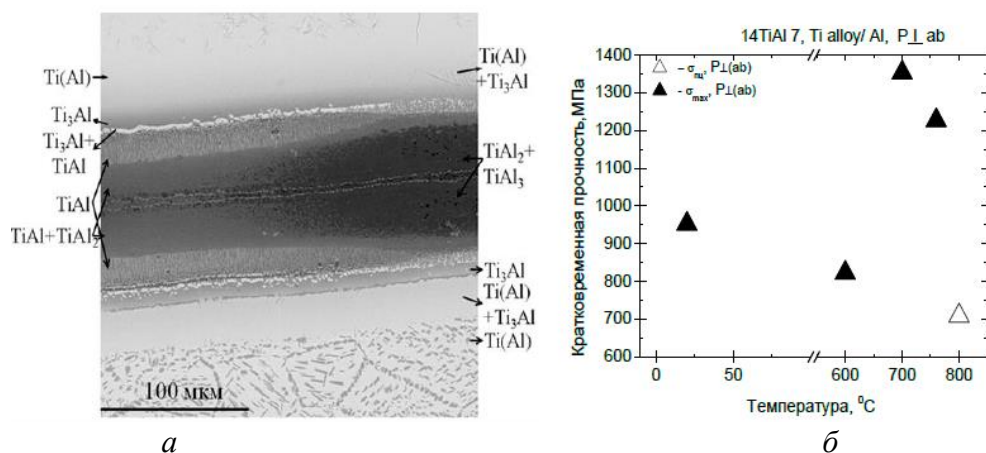


Рис. 2. а – Микроструктура поперечного сечения образца легированного композита, б – зависимость кратковременной прочности от температуры испытаний на 3 х точечный изгиб.

3. По результатам кратковременных испытаний на 3-х точечный изгиб легирование молибденом, ниобием и цирконием повышает среднюю прочность многослойных композитов в 1,5 раза при 20 и 700 °С.

Литература

- [1] R. Jing, S.X. Liang, C.Y. Liu, M.Z. Ma, R.P. Liu // *Materials Science and Engineering A* **559** (2013) 474.
- [2] M.H. Loretto, Z. Wu, M.Q. Chu, H. Saage, D. Hu, M.M. Attallah // *Intermetallics* **23** (2012) 1.
- [3] Y. Zhou, J.Q. Wang, B. Zhang, W. Ke, E.H. Han // *Intermetallics* **24** (2012) 7.
- [4] R. Jing, S.X. Liang, C.Y. Liu, M.Z. Ma, X.Y. Zhang, R.P. Liu // *Materials Science and Engineering A* **552** (2012) 295.
- [5] V. Imayev, T. Oleneva, R. Imayev, H.-J. Christ, H.-J. Fecht // *Intermetallics* **26** (2012) 91.
- [6] A. Safdar, L.-Y. Wei, A. Snis, Z. Lai // *Materials Characterization* **65** (2012) 8.
- [7] Chan Hee Park, Jong Woo Won, Jin-Woo Park, S.L. Semiatin, Chong Soo Lee // *Metallurgical and Materials Transactions A* **43** (2012) 977.
- [8] X.F. Ding, J.P. Lin, L.Q. Zhang, Y.Q. Su, G.L. Chen // *Acta Materialia* **60** (2012) 498.
- [9] Guohuai Liu, Xinzhong Li, Yanqing Su, Dongmei Liu, Jingjie Guo, Hengzhi Fu // *Journal of Alloys and Compounds* **541** (2012) 275.
- [10] И.С. Желтякова, М.И. Карпов, В.П. Коржов, В.И. Внуков, Т.Н. Строганова, Д.В. Прохоров, В сборнике: *Тезисы VIII Международной конференции «Фазовые превращения и прочность кристаллов», посвященной памяти академика Г.В. Курдюмова, и Первой Всероссийской молодежной школы «Структура и свойства перспективных материалов»* (Черноголовка, 27-31 октября 2014), с. 23.
- [11] М.И. Карпов, В.П. Коржов, В.М. Кийко, Д.В. Прохоров, А.Н. Толстун // *Перспективные материалы* **13(спец. вып.)** (2011) 704.
- [12] В.П. Коржов, М.И. Карпов, В.М. Кийко // *Физика и техника высоких давлений* **20(4)** (2010) 101.
- [13] V.P. Korzhov, M.I. Karpov, D.V. Prokhorov // *Scientific Proceedings of the Scientific-Technical Union of Mechanical Engineering. Year XXI* **10/147** (2013) 120.
- [14] И.С. Желтякова, М.И. Карпов, В.П. Коржов, В.И. Внуков, Т.С. Строганова, Д.В. Прохоров, В сборнике: *Труды международной научно-технической конференции «Нанотехнологии функциональных материалов (НФМ 14)»* (Изд-во Политехнического ун-та, Санкт-Петербург, 24-28 июня 2014), с. 237. (In Russian).
- [15] M.I. Karpov, V.P. Korzhov, D.V. Prokhorov, I.S. Zheltyakova, T.S. Stroganov, V.I. Vnukov // *Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Technologies* **8** (2014) 177.
- [16] R.T. Zheng, G.A. Cheng, X.J. Li, G.X. CAO, L.F. Fu, Y.G. Zhang, C.Q. Chen // *Journal of Materials Science* **42(4)** (2007) 1251.
- [17] Ю.Н. Подрезов, И.Д. Горная, М. В. Ремез, В.С. Голтвяница, С.К. Голтвяница // *Электронная микроскопия и прочность материалов* **18** (2012) 67.

FEATURES OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF A LAMINATED COMPOSITE WITH HIGH SPECIFIC STRENGTH AND MODERATE HEAT RESISTANCE

I.S. Zheltyakova*, M.I. Karpov, V.P. Korzhov

Institute of Solid State Physics, Russian Academy of Sciences,
Academician Ossipyan str. 2, Chernogolovka, Moscow District, 142432, Russia

*e-mail: terekhova@issp.ac.ru

Abstract. The work is devoted to the study of the formation of structure and mechanical characteristics of the laminated composites of the system Ti-Al and Ti-Al-Me with high specific strength and moderate heat resistance. The investigation of a microstructure of the composite sample showed that it consists of a solid solution of aluminum in titanium, zirconium, and intermetallic layers Ti_3Al , $TiAl$, $TiAl_2$ and $TiAl_3$. Results of short-term tests on 3 point bending showed that the average values of tensile strength of alloy composites are at the level 820 MPa and 993 MPa, and the doped composite – 952 MPa and 1352 MPa at temperatures of 20 and 700 °C, respectively.

References

- [1] R. Jing, S.X. Liang, C.Y. Liu, M.Z. Ma, R.P. Liu // *Materials Science and Engineering A* **559** (2013) 474.
- [2] M.H.Loretto, Z. Wu, M.Q. Chu, H. Saage, D.Hu, M.M. Attallah // *Intermetallics* **23**(2012) 1.
- [3] Y. Zhou, J.Q. Wang, B. Zhang, W. Ke, E.H. Han // *Intermetallics* **24** (2012) 7.
- [4] R. Jing, S.X. Liang, C.Y. Liu, M.Z. Ma, X.Y. Zhang, R.P. Liu // *Materials Science and Engineering A* **552** (2012) 295.
- [5] V. Imayev, T. Oleneva, R. Imayev, H.-J. Christ, H.-J. Fecht // *Intermetallics* **26** (2012) 91.
- [6] A. Safdar, L.-Y. Wei, A. Snis, Z. Lai // *Materials Characterization* **65** (2012) 8.
- [7] Chan Hee Park, Jong Woo Won, Jin-Woo Park, S.L. Semiatin, Chong Soo Lee // *Metallurgical and Materials Transactions A* **43** (2012) 977.
- [8] X.F. Ding, J.P. Lin, L.Q. Zhang, Y.Q. Su, G.L. Chen // *Acta Materialia* **60** (2012) 498.
- [9] Guohuai Liu, Xinzhong Li, Yanqing Su, Dongmei Liu, Jingjie Guo, Hengzhi Fu // *Journal of Alloys and Compounds* **541** (2012) 275.
- [10] I.S. Zheltyakova, M.I. Karpov, V.P. Korzhov, V.I. Vnukov, T.N. Stroganova, D.V. Prokhorov, In: *Proceeding of the VIII International Conference "Phase changes and the strength of the crystals" dedicated to the memory of academician G.V. Kurdyumov and the First All-Russia Youth School "Structure and properties of advanced materials"* (Chernogolovka, Russia, October 27-31, 2014), p. 23.
- [11] M.I. Karpov, V.P. Korzhov, V.M. Kiiko, D.V. Prokhorov, A.N. Tolstun // *Perspective materials* **13(extra issue)** (2011) 704. (In Russian).
- [12] V.P. Korzhov, M.I. Karpov, V.M. Kiiko // *Physics and Technology of High Pressure* **20(4)** (2010) 101.
- [13] V.P. Korzhov, M.I. Karpov, D.V. Prokhorov // *Scientific Proceedings of the Scientific-Technical Union of Mechanical Engineering. Year XXI* **10/147** (2013) 120.
- [14] I.S. Zheltyakova, M.I. Karpov, V.P. Korzhov, V.I. Vnukov, T.N. Stroganova, D.V. Prokhorov, In: *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference*

- “*Nanotechnologies of functional materials (NFM 14)*” (St. Petersburg, Russia, June 24-28, 2014), p. 237. (In Russian).
- [15] M.I. Karpov, V.P. Korzhov, D.V. Prokhorov, I.S. Zheltyakova, T.S. Stroganov, V.I. Vnukov // *Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Technologies* **8** (2014) 177.
- [16] R.T. Zheng, G.A. Cheng, X.J. Li, G.X. CAO, L.F. Fu, Y.G. Zhang, C.Q. Chen // *Journal of Materials Science* **42(4)** (2007) 1251.
- [17] Y. Podrezov, I. Gornaya, M. Remez, V. Goltvjanitsa, S. Goltvjanitsa // *Electron Microscopy and Strength of Materials* **18** (2012) 67.