

ПОЛУЧЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ЖАРОПРОЧНЫХ КОМПОЗИТОВ С ВЫСОКОЙ УДЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТЬЮ

М.И. Карпов*, В. П. Коржов, Д.В. Прохоров

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

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

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы получения и особенности разработки жаропрочных композитов с высокой удельной прочностью, основой которых служит система Nb-Al. Для приготовления образцов применялись технологии порошковой металлургии и создания слоистых структур методом комбинирования диффузионной сварки и пакетной прокатки. Результаты показали, что самые значительные изменения отмечены за счет увеличения объемной доли интерметаллидных фаз, которые обеспечивают высокую прочность при высоких температурах. Кратковременная прочность на трехточечный изгиб при 1300 °С достигала 800 МПа. Кроме того, по аналогичной схеме были проведены испытания на длительную прочность при высоких температурах.

1. Введение

Анализ тенденций развития современного материаловедения свидетельствует о постоянном нарастании повышения комплекса механических свойств материалов конструкционного назначения, необходимость которых обусловлена непрерывной оптимизацией и усовершенствованием различных конструкций и механизмов, направленных на повышение их эффективности. Особое место в современной энергетике играют газовые турбины. Они используются в качестве авиационных двигателей, энергетических установок, газоперекачивающих агрегатов. Эффективность работы этих установок определяется температурой газа перед входом в турбину. С ростом температуры, растет тяга двигателя и КПД генераторов электрической энергии, уменьшается загрязнение окружающей среды оксидами углерода, азота и продуктами неполного сгорания топлива.

Поэтому основным требованием, предъявляемым двигателю нового поколения, является повышение температуры газа перед входом в турбину [5]. Энергетическая целесообразность этого очевидна. Однако технически решить эту задачу трудно, в связи с отсутствием материалов, удовлетворяющих этим требованиям.

Решением проблемы может быть создание новых жаропрочных материалов с более высокими температурами плавления и, способных работать при более высоких температурах и менее интенсивном охлаждении, а лучше и вовсе без охлаждения.

Одними из главных претендентов являются сплавы на основе тугоплавких металлов и, в частности, ниобия. Поэтому в качестве объектов исследования в данной работе выбраны композиты на основе ниобия с алюминием, которые считаются наиболее перспективным объектом в реактивном двигателестроении.

Одним из наиболее важных достоинств этих материалов является их малая плотность, обеспечивающая, возможность получения композитов с высоким уровнем

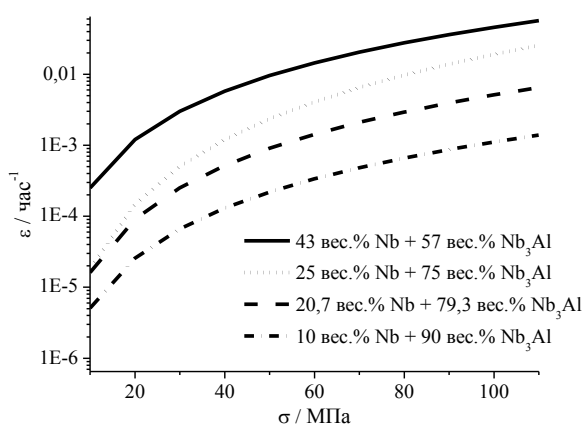


Рис. 1. Зависимости скорости деформации ползучести от напряжения $T=1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ для порошковых композитов с различным содержанием интерметаллида.

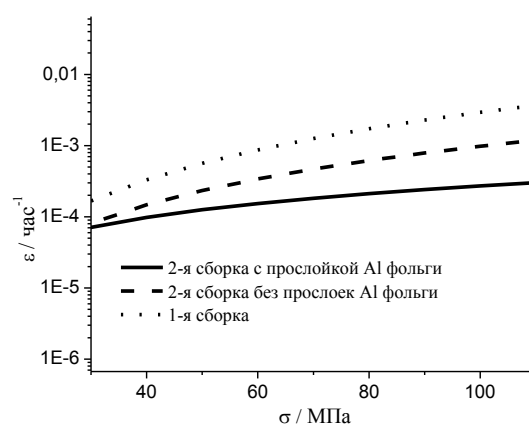


Рис. 2. Зависимости скорости деформации ползучести от напряжения при $T=1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ для слоистых композитов различной сборки.

Структура композитов, подвергшихся пакетной прокатке, состоит из темно-серой матрицы с прерывистыми светло-серыми слоями, по центру большинства которых наблюдаются светлые полосы в виде островков. По данным локального рентгеноспектрального микроанализа темно-серая матрица является Nb_2Al , светло-серая область – Nb_3Al , а светлые островки в Nb_3Al -фазе – твердым раствором алюминия в ниобии. Внешний вид поперечного сечения композитов отличается только толщинами и количеством светлых прослоек в матрице. Так, наиболее целостные и тонкие слои твердого раствора наблюдаются в композите без Al прослойки.

Дальнейшая высокотемпературная обработка композитов ни к каким кардинальным изменениям в структуре образцов не приводит. Структуры всех образцов имеют прежний фазовый состав, однако, количественный состав изменился, что заметно по увеличению толщины слоев Nb_3Al и уменьшению твердого раствора и Nb_2Al . Следует заметить выпадение частиц черного цвета, идентифицированных как Al_2O_3 , которые распределены преимущественно в широких областях Nb_2Al -фазы. Кроме того, наблюдается рост пористости «островков» твердого раствора, вызванных эффектом Френкеля.

3. Испытания на ползучесть

Испытания на ползучесть (Рис. 2) слоистых композитов показали более низкие скорости ползучести по сравнению с композитами полученными по порошковой технологии. Что не удивительно, благодаря более эффективному торможению дислокаций слоями интерметаллидов. Однако, из-за несбалансированного соотношения фазового состава наблюдается высокая хрупкость композитов, полученных по технологии создания слоистых структур. Особенно это заметно на образцах, приготовленных с использованием пакетной прокатки, при кратковременных высокотемпературных испытаниях, разрушение которых происходит по хрупкому механизму.

Литература

- [1] М.И. Карпов, В.П. Коржов, В.М. Кийко, Д.В. Прохоров, А.Н. Толстун // *Перспективные материалы* 13(спец. вып.) (2011) 704.

- [2] 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.
- [3] В.П. Коржов, М.И. Карпов, В.М. Кийко // *Физика и техника высоких давлений* **20(4)** (2010) 101.
- [4] 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.
- [5] В.А. Скибина, В.И. Солонина, *Работы ведущих авиастроительных компаний по созданию перспективных авиационных двигателей* (ВИАМ, М., 2004).
- [6] 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.
- [7] D.-S. Chung, M. Enoki, T. Kishi // *Science and Technology of Advanced Materials* **3(2)** (2002) 129.
- [8] V. Gauthier, F. Bernard, E. Gaffet, D. Vrel, M. Gailhanou, J.P. Larpin // *Intermetallics* **10** (2002) 377.
- [9] 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.
- [10] L.M. Peng // *Materials Science and Engineering A* **480** (2008) 232.
- [11] D.E. Garcia, S. Schicker, J. Bruhn, R. Janssen, N. Claussen // *Journal of the American Ceramic Society* **80(9)** (1997) 2248.

PREPARATION AND CHARACTERISTICS HEAT-RESISTANT COMPOSITES WITH HIGH SPECIFIC STRENGTH DEVELOPING

M.I. Karpov*, V.P. Korzhov, D.V. Prokhorov

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

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

Abstract. The work is devoted to the study of preparation and characteristics of the development of high-resistance composites with high specific strength. The basis for these composites is the system Nb-Al. For the preparation of the samples were applied powder metallurgy technology and the creation of laminated structures by combining diffusion bonding and batch rolling. Results showed that the most significant changes are noted due to an increase of the volume fraction of intermetallic phases, which provide high strength at high temperatures. Short-term three-point bending strength at 1300 °C reached 800 MPa. Also tests have been carry out for the creep at high temperature in a similar way.

References

- [1] M.I. Karpov, V.P. Korzhov, V.M. Kiiko, D.V. Prokhorov, A.N. Tolstun // *Perspective materials* **13(extra issue)** (2011) 704.
- [2] 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.
- [3] V.P. Korzhov, M.I. Karpov, V.M. Kiiko // *Physics and Technology of High Pressure* **20(4)** (2010) 101.
- [4] 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.
- [5] V.A. Skbina, V.I. Solonina, *Works leading aircraft manufacturers to develop advanced aircraft engines* (VIAM, Moscow, 2004).
- [6] 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.
- [7] D.-S. Chung, M. Enoki, T. Kishi // *Science and Technology of Advanced Materials* **3(2)** (2002) 129.
- [8] V. Gauthier, F. Bernard, E. Gaffet, D. Vrel, M. Gailhanou, J.P. Larpin // *Intermetallics* **10** (2002) 377.
- [9] 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.
- [10] L.M. Peng // *Materials Science and Engineering A* **480** (2008) 232.
- [11] D.E. Garcia, S. Schicker, J. Bruhn, R. Janssen, N. Claussen // *Journal of the American Ceramic Society* **80(9)** (1997) 2248.