

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖАРОСТОЙКОСТИ НА ВОЗДУХЕ СПЕЧЕННОГО АЛЮМИНИДА ТИТАНА

Сметкин А.А.¹, Осипчук М.К.¹

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29), solid@pm.pstu.ac.ru

Статья посвящена изучению процессов окисления на воздухе материала на основе спеченного при температурах 1150-1300 °С алюминид титана, полученного механическим легированием порошковой композиции Ti-14Al-20Nb (вес.%). Исследование жаростойкости выполнено для температурного интервала 600-800 °С. Определены такие параметры окисления, как глубина проникновения коррозии, изменение массы образцов, константа скорости параболического окисления. Из полученных графических зависимостей следует, что процесс высокотемпературного окисления условно реализуется в две стадии. Первая стадия протекает по линейному закону. В определенный момент времени процессы окисления в дальнейшем переходят во вторую стадию, подчиняющуюся степенному закону. Показано, что наилучшими жаростойкими характеристиками обладают образцы алюминид титана, спеченные при температурах 1250 и 1300 °С в течение 4 ч.

Ключевые слова: алюминид титана, жаростойкость, высокотемпературное окисление, изменение массы, глубина проникновения.

STUDY OF HEAT RESISTANCE AT AIR OF THE SINTERED TITANIUM ALUMINIDE

Smetkin A.A.¹, Osipchuk M.K.¹

¹Perm National Research Polytechnic University, Russia, Perm, 614990, Komsomolsky Av. 29, solid@pm.pstu.ac.ru

The article is devoted to studying of oxidation processes at air for titanium aluminide material sintered at temperatures of 1150-1300 °C, obtained by mechanical alloying of a powder composition Ti-14Al-20Nb (wt.%). Study of heat resistance are performed for the temperature range 600 – 800 °C. Defined parameters such as oxidation penetration depth of corrosion, the change in mass of the samples, constant speed oxidation. From obtained graphical dependences it follows that the process of high-temperature oxidation is conventionally implemented in two stages. The first stage proceeds in a linear law. At some point in time the oxidation processes in the future pass into a second stage, obeying a power law. It is shown that the best heat-resistant characteristics have samples of titanium aluminide sintered at temperatures of 1250 and 1300 °C for 4 h.

Keywords: titanium aluminide, heat resistance, high temperature oxidation, change in mass, depth of penetration.

Одно из наиболее динамично развивающихся научных направлений современного металловедения титана — создание жаропрочных титановых сплавов на основе интерметаллидов системы Ti-Al. Разработка жаропрочных титановых сплавов с высокой жаростойкостью и одновременно с высокой термической стабильностью является сложной задачей. Алюминиды титана рассматриваются как хорошая основа для развития жаропрочных сплавов с более высокими уровнями рабочих температур [1; 3-5]. Сплавы интерметаллидного типа имеют близкие к никелевым значения предельной температуры ползучести, они близки к никелевым жаропрочным сплавам и по уровню длительной прочности, что делает их весьма перспективными для изготовления большого набора деталей для экстремальных условий эксплуатации.

Сплавы на основе алюминидов титана TiAl, Ti₃Al и Ti₂AlNb относятся к классу важных конструкционных материалов. Благодаря уникальному комплексу физических и

механических свойств (высокой прочности, низкой плотности, жаростойкости, высоким антикоррозионным свойствам, хорошему сопротивлению усталостному разрушению и ползучести), они много лет сохраняют свои позиции в разряде перспективных для авиа-, космической, автомобильной промышленности и энергостроения.

Цель работы заключается в анализе жаростойкости образцов γ -TiAl, имеющих сходный химический и метод получения, для выявления различий протекания окисления.

Методики эксперимента и исследований

В качестве исходных материалов использовали механически легированные порошки Ti-14Al-20Nb (вес.%), спеченные при температурах 1150, 1250, 1300 °С.

Образец № 1: Ti-14Al-20Nb (вес.%), получен механическим легированием в течение 30 минут, спрессован при 600 МПа и спечен при T=1150 °С/2 ч.

Образец № 2: Ti-14Al-20Nb (вес.%), получен механическим легированием в течение 30 минут, спрессован при 600 МПа и спечен при T=1250 °С/4 ч.

Образец № 3: Ti-14Al-20Nb (вес.%), получен механическим легированием в течение 15 минут, спрессован при 600 МПа и спечен при T=1300 °С/4 ч.

Образцы № 4 и 5: Ti-14Al-20Nb(вес.%), получены механическим легированием в течение 25 минут, спрессованы при 600 МПа и спечены при T=1250 °С/3 ч.

Рентгенофлуоресцентный анализ образцов выполнен на спектрометре EDX-800HS (Shimadzu, Япония). Исследование жаростойкости проводилось согласно ГОСТ 6130-71 [2] при температурах 600-800 °С. Глубину проникновения коррозии выявляли, применяя метод уменьшения массы образца ($h_{ум}$) в миллиметрах, вычисляя ее по формуле:

$$h_{ум} = \frac{\Delta g_{\tau}}{\rho \cdot 100}, \quad (1)$$

где Δg_{τ} - уменьшение массы образца за заданное время, полученное при прямом испытании или путем экстраполяции опытных данных, графически обработанных в координатах: логарифм уменьшения массы образца - логарифм времени, мг/см²; ρ - плотность металла, г/см³.

Для проведения исследования использовали муфельную печь СНОЛ 1,6.2,5,1/11 и аналитические весы ВЛА-200-М. Изотермическая выдержка на воздухе проводилась в течение 1-20 часов.

Результаты и их обсуждение

С помощью рентгенофлуоресцентной спектроскопии проведен анализ образцов для уточнения их химического состава, так как образцы были предоставлены уже спрессованными и спеченными. Результат представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исходных экспериментальных образцов алюминидов титана

Образец	Химический состав, масс %
1) TiAlNb 1150 °C /2 ч	Ti-56,6 Nb-28,5 Al-13,7 Si-0,5
2) TiAlNb 1250 °C/4 ч	Ti-58,8 Nb-21,7 Al-15,2 Si-0,5
3) TiAlNb 1300 °C /4 ч	Ti-56,1 Nb-27,8 Al-13,6 Si-0,7

В связи с тем что обработка порошков проводилась механическим легированием с использованием стальных мелющих тел, то в шихте, а соответственно и в спеченных образцах, присутствует примесь железа.

Измерения микротвердости всех образцов проведены на микротвердомере, результаты представлены в табл. 2. В таблице представлены средние значения микротвердости. По полученным данным, наиболее твердым является образец TiAlNb, спеченный при наибольшей температуре 1300 °C /4 ч.

Таблица 2

Микротвердость образцов TiAlNb

№	Образец и температура спекания	Микротвердость, HV
1	TiAlNb 1150 °C	359
2	TiAlNb 1250 °C	391
3	TiAlNb 1300 °C	474

Оценка жаростойкости является важным этапом в изучении высокотемпературных свойств интерметаллических материалов. На основе анализа литературных данных выбран температурный интервал испытаний, соответствующий 600-800 °C. Измерение массы образцов выполнено с тиглем и без тигля, как рекомендовано в стандартных испытаниях. На рис. 1 представлены результаты жаростойкости всех 5 образцов без тигля.

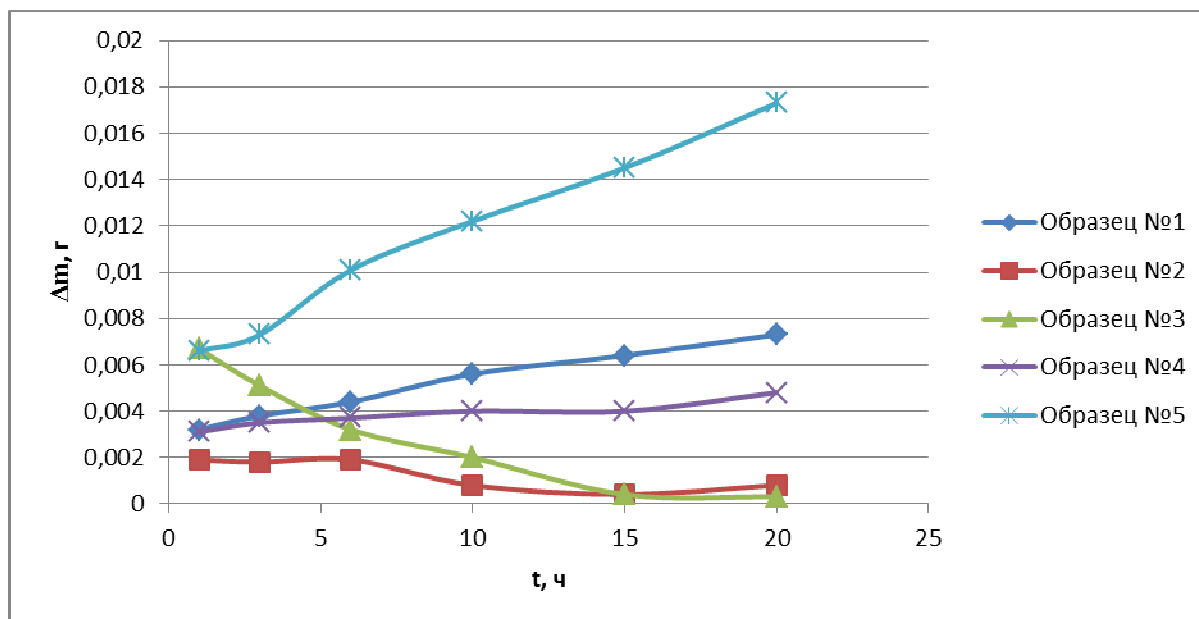


Рис. 1. Изменения массы образцов на протяжении выдержки без тигля

Из анализа полученной графической зависимости изменения масс следует, что наибольший прирост массы наблюдается у образца № 5. Поведение образца № 3 связано с уменьшением массы, что, вероятно, обусловлено отличным от других образцов фазовым составом. В дальнейшем необходимо выполнить сравнительный рентгенофазовый анализ всех образцов.

Для выявления закономерностей протекания окисления на образцах были вычислены логарифмические зависимости изменения массы от времени выдержки (рис. 2), а также константа скорости параболического окисления (рис. 3).

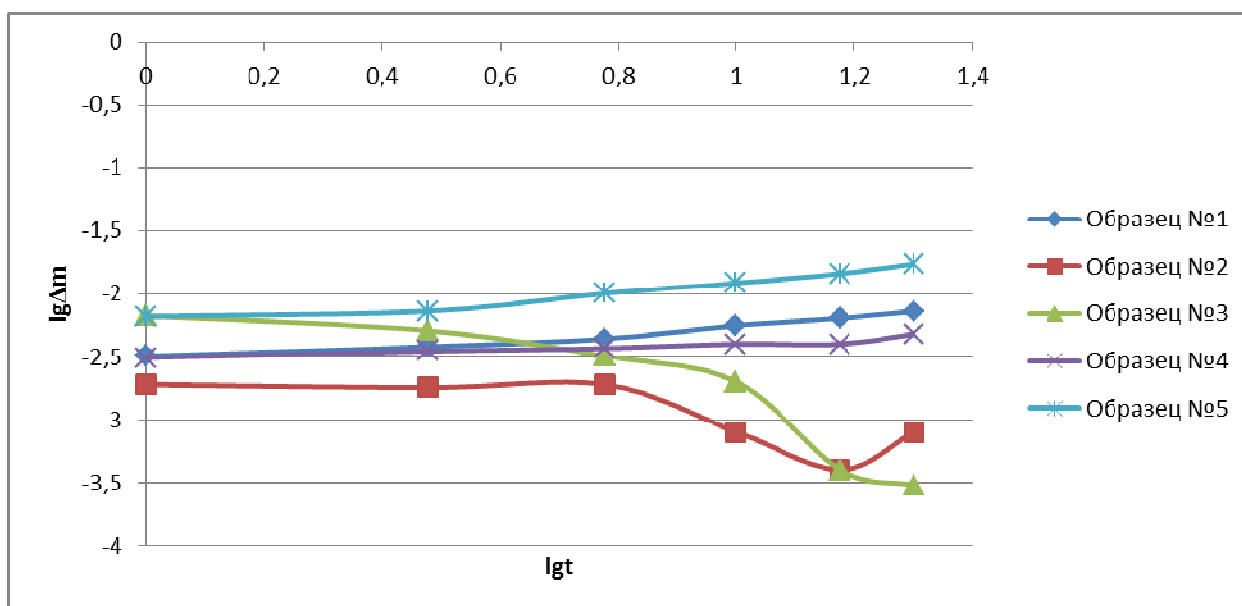


Рис. 2. Логарифмическая зависимость изменения массы от времени выдержки

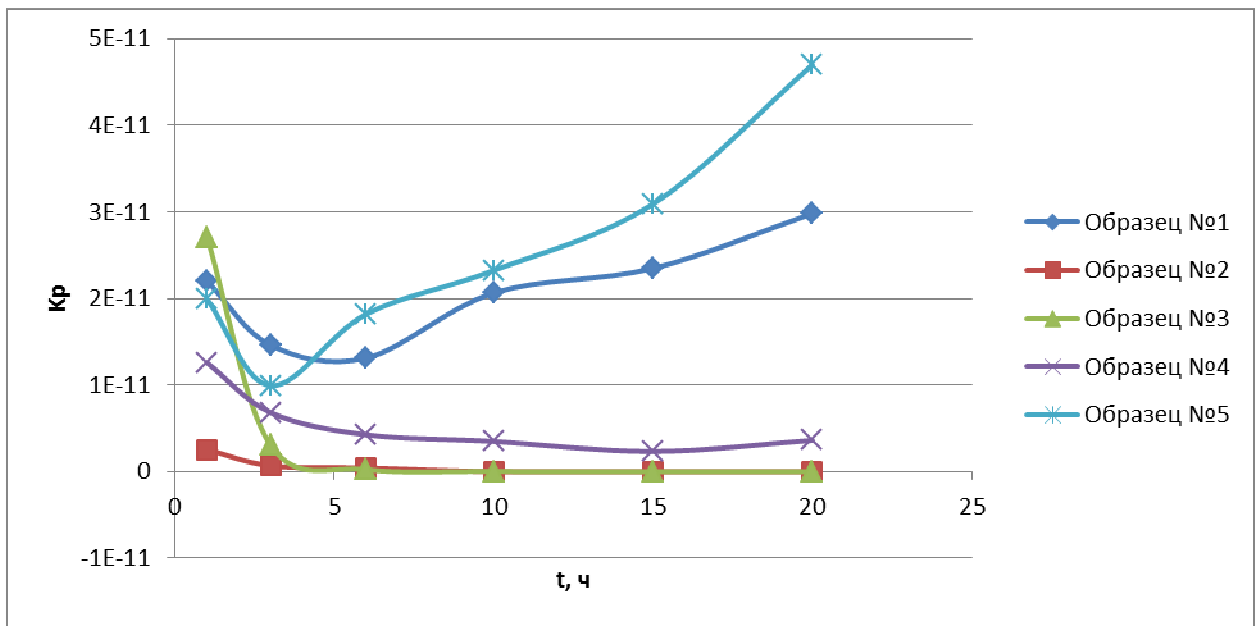


Рис. 3. Константа скорости параболического окисления

Из полученных графических зависимостей следует, что процесс высокотемпературного окисления условно реализуется в 2 стадии: первая стадия у всех образцов протекает по линейному закону, но в определенные моменты времени для каждого из образцов процесс переходит во вторую стадию, подчиняющуюся степенному закону, вероятно, соответствующему формуле [5]:

$$\Delta m_n = K_p \cdot \tau \quad (2)$$

В ходе исследования была вычислена глубина, на которую проникло окисление в течение времени выдержки (рис. 4).

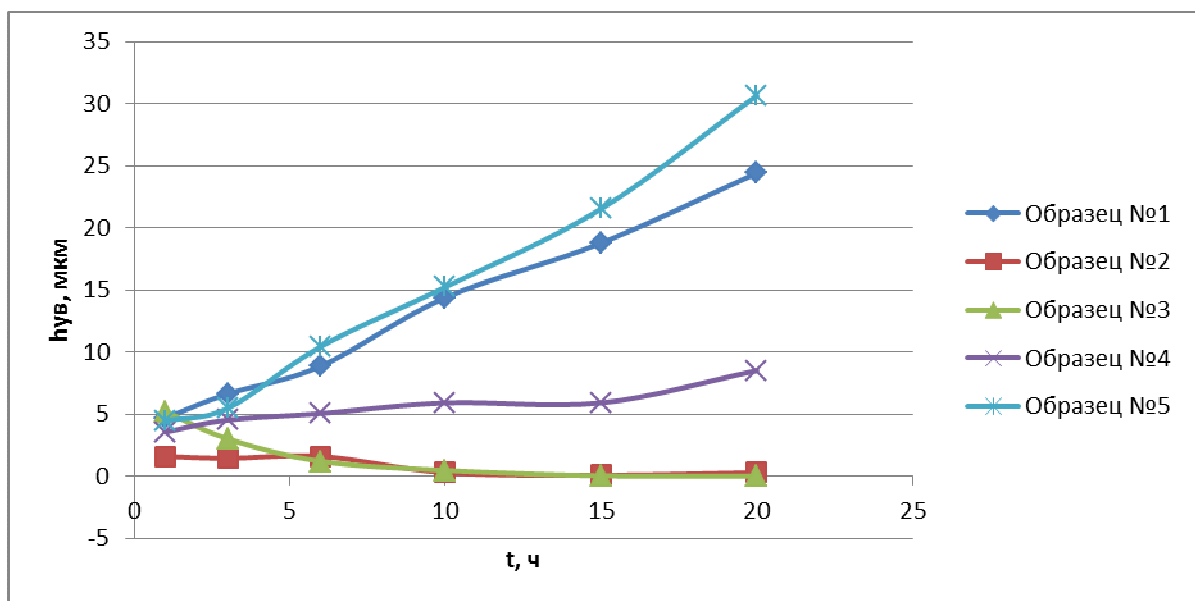


Рис. 4. Изменение глубины проникновения окисления от времени выдержки

Обобщая все полученные при исследовании результаты, можно выявить следующую тенденцию протекания окисления. На начальном этапе окисление всех образцов происходит по линейному закону, а затем по степенному и, вероятно, соответствующему формуле (2).

Для определения показателя степени в формуле (2) необходимо провести дополнительные исследования с большим количеством образцов для обеспечения лучшей статистической обработки. Также следует отметить различия между образцами 4 и 5, полученными из одного порошка и в одинаковых условиях прессования и спекания. Для определения причин данных различий необходимо провести дополнительный рентгенофлуоресцентный анализ для уточнения состава сплава и определения фазового состава всех образцов.

Выводы

Процесс окисления спеченных образцов Ti-14Al-20Nb (вес.%) протекает в 2 этапа. Первый этап для всех образцов подчиняется линейному закону, второй этап – степенному закону, вероятно, соответствующему зависимости $\Delta m_n = Kp^n \cdot t$. Для каждого из образцов степень n различна ввиду разницы фазового состава, а также температуры проведения высокотемпературного окисления.

Список литературы

1. Анташов В.Г., Ночовная Н.А., Иванов В.И. Тенденции развития жаропрочных титановых сплавов для авиадвигателестроения // Технология легких сплавов. - 2002. - № 4. - С. 72-76.
2. ГОСТ 6130-71 Металлы. Методы определения жаростойкости [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-6130-71>.
3. Гребенюк О.Н., Саленков В.С. Исследование окисления титановых интерметаллидов при рабочих температурах // Технология легких сплавов. - 2010. - № 2. - С. 29-33.
4. Ночовная Н.А., Панин П.В., Кочетков А.С., Боков К.А. Современные жаропрочные сплавы на основе гамма-алюминиды титана: перспективы разработки и применения // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2014. - № 7 (709). - С. 23-27.
5. Чуприна В.Г., Шаля И.М. Окисление интерметаллида TiAl // Порошковая металлургия. - 2007. - № 11/12. - С. 80-87.

Рецензенты:

Порозова С.Е., д.т.н., профессор кафедры МТиКМ ПНИПУ, г. Пермь;
Оглезнева С.А., д.т.н., профессор кафедры МТиКМ ПНИПУ, г. Пермь.