

8. Иоффе, А. В. Особенности коррозионного разрушения нефтегазопроводных труб в условиях эксплуатации Коми и Западной Сибири / А. В. Иоффе, В. А. Ревякин, С. А. Князькин // Вектор науки ТГУ : сб. науч. ст. / Самар. инженер.-технол. центр. – Самара, 2010. – С. 50–54.

УДК 621+669.018.73

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИДОВ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Т. М. Умарова

*Филиал Московского государственного университета
имени М. В. Ломоносова в городе Душанбе, Республика Таджикистан*

Исследованы физико-химические свойства синтезированных интерметаллидных сплавов на основе систем Al–Mn и Al–Fe, модифицированных металлом группы лантаноидов с целью возможности использования их в машиностроении.

Ключевые слова: материалы из алюминиевого сплава, интерметаллические соединения, алюминиды, микроструктура, физико-химические свойства.

MATERIALS DEVELOPMENT AND RESEARCH BASED ON ALUMINIDES FOR ENGINEERING

T. M. Umarova

Lomonosov Moscow State University in Dushanbe, Republic of Tajikistan

The physicochemical properties of the synthesized intermetallic alloys based on the Al–Mn and Al–Fe systems, modified by a metal of the lanthanide group with the aim of using them in mechanical engineering have been studied.

Keywords: aluminum alloy materials, intermetallic compounds, aluminides, iron, manganese, yttrium, microstructure, physical and chemical properties.

Алюминиевые сплавы широко используются в машиностроении, транспортной, авиационной, морской и аэрокосмической промышленности. Для некоторых ответственных деталей машин, применяемых в данных областях, алюминиевые сплавы незаменимы. Однако многие детали и механизмы машин подвержены значительным нагрузкам: удару, циклическому изменению температур, вибрации и т. п. Учитывая вышесказанное, при конструировании деталей и механизмов остается актуальной задача всестороннего изучения структуры, физико-химических, механических и эксплуатационных свойств разработанных сплавов.

Сплавы на основе алюминидов железа относят к сравнительно новому классу перспективных конструкционных материалов, предназначенных для работы в интервале температур выше 600 °С, для такого материала характерна низкая стоимость, удовлетворительное химическая стойкость против коррозионного разрушения и износа [1].

Наличие интерметаллических соединений (ИМС) всегда привлекает внимание материаловедов, поскольку, согласно правилу Курнакова, это дает возможность получить материал с высокими физико-химическими и технологическими свойствами. Алюминиды все чаще применяют в качестве конструкционных материалов, которые обладают отличительными механическими и физико-химическими свойствами – высокой твердостью, прочностью, износостойкостью и коррозионностойкостью. Потенциальным объектом применения ИМС в машиностроении является турбина низ-

кого давления, алюминиды железа находят применение как заменители стали в выхлопных системах, для производства отдельных узлов и дисков газовых турбин, работающих при температурах до 680 °С, в качестве резистивных нагревательных элементов и т. д. [2, 3]. Однако высокая твердость, сопровождаемая не менее высокой хрупкостью, сдерживает применение данных сплавов.

В связи с этим цель данной работы заключается в синтезе и изучении физико-химических свойств интерметаллидных сплавов на основе алюминия, рассмотрении возможности их применения в качестве конструкционного материала в машиностроении, авиационной технике. Данная работа является продолжением работ по изучению физико-химических, механических и эксплуатационных свойств алюминиевых сплавов, интерметаллических составляющих на основе алюминия, влияния легирующих компонентов (лантаноидов) на их свойства [4–6].

Методика. Сплавы для исследования получали из алюминия марки А995 (ГОСТ 11069–74), марганца электролитического Мр00 (ГОСТ 6008–82), железа – ЧДА, редкоземельных металлов чистотой не менее 99,9 %. Для синтеза и изучения физико-химических свойств сплавов на основе алюминия использована камерная печь KS 400/10 в условиях вакуума; микроструктурный анализ проводился на металлографическом микроскопе «Neophot-21» при 400-кратном увеличении с подготовкой образцов согласно источнику [7]; химический анализ проводили на сканирующем электронном микроскопе «SEM» марки «СAM-SCAN» с предварительной подготовкой поверхности образцов ИМС аналогично подготовке к микроструктурному анализу; электрохимический анализ проведен с помощью импульсного потенциостата ПИ-50-1.1 потенциостатическим методом со скоростью развертки 2 мВ/с с выходом на программатор ПР-8 в среде электролита 3%-го раствора хлористого натрия.

Растворимость железа в алюминии, как известно, невелика и составляет 0,03 ат. % при температуре эвтектики 654 °С. В процессе кристаллизации в структуре сплавов на основе системы Al–Fe появляются кристаллы ИМС FeAl₃ (Fe₄Al₁₃) с максимальным содержанием алюминия 77,5 ат. % среди существующих ИМС данной системы. Синтез алюминидов железа осложнен различием в температурах плавления и испарения чистых компонентов ИМС. Сплавы с высоким содержанием алюминия сложно выплавлять в печах, где необходимо обеспечить условия вакуума из-за высокой окисляемости алюминия. Структура химического соединения FeAl₃ является одной из самых сложных, с моноклинной элементарной ячейкой (с периодами решетки $a = 15,489 \text{ \AA}$; $b = 8,0834 \text{ \AA}$; $c = 12,476 \text{ \AA}$; $\beta = 107^\circ 43'$). В системе имеет место метастабильное соединение FeAl₆ с ромбической структурой (периоды решетки $a = 7,440 \text{ \AA}$; $b = 6,4644 \text{ \AA}$; $c = 8,779 \text{ \AA}$) [3].

Необходимо отметить, что неотожженные алюминиды на основе системы Al–Mn сложно поддаются травлению известными реактивами, поэтому из большого числа апробированных был выбран реактив 26 (0,5 мл 40%-го HF в 100 мл H₂O) [8], при этом фаза Al₆Mn растворялась реактивом в 50 быстрее, чем Al₄Mn. На рис. 1 представлены структуры поверхностей образцов ИМС, снятые на сканирующем электронном микроскопе «СAM-SCAN» при 300-кратном увеличении, представляющие собой общий вид образцов в отраженных электронах.

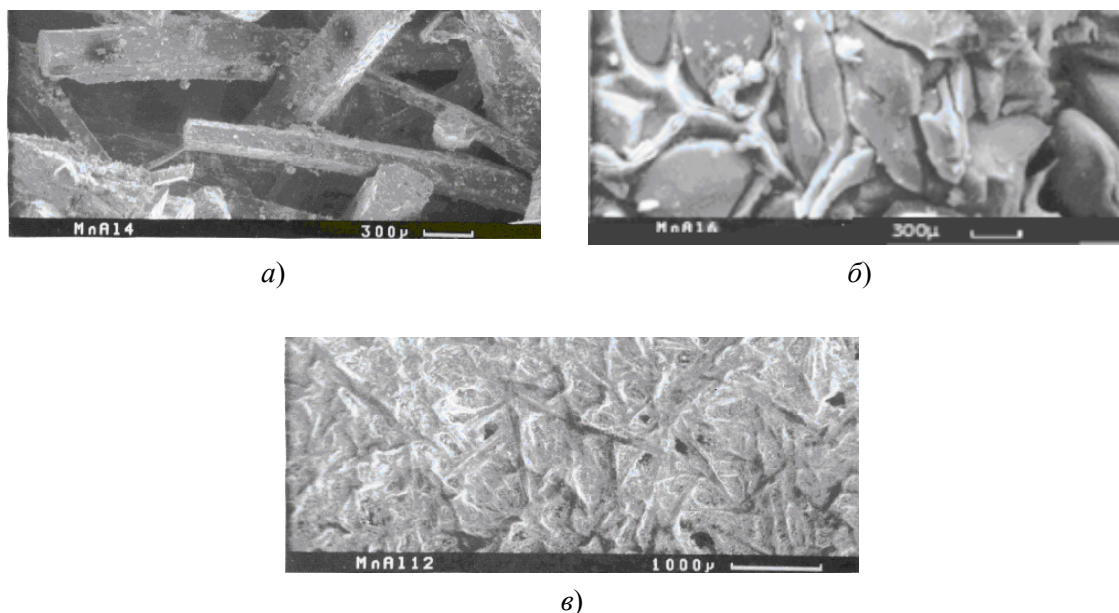


Рис. 1. Структуры поверхностей образцов алюминидов марганца: *a* – $MnAl_4$; *б* – $MnAl_6$; *в* – $MnAl_{12}$

Введение лантаноидов в качестве легирующей добавки к ИМС (причем их малые добавки, не более 0,5 %) благодаря модифицирующему эффекту улучшает структуру сплава, нейтрализует вредное влияние примесей, значительно повышает механические и технологические свойства. В качестве примера выбрана одна из изученных тернарных систем $Al-Fe-Y$. На рис. 2 показаны микроструктуры ИМС систем $Al-Fe$ и $Al-Fe-Y$, снятые на металлографическом микроскопе «Neophot-21».

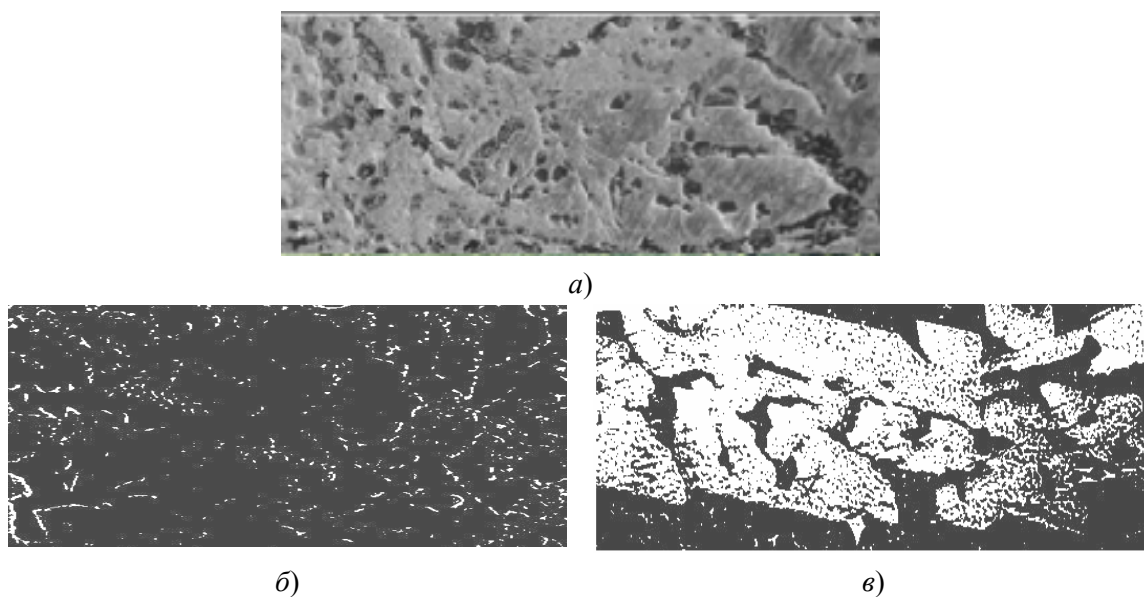


Рис. 2. Характерные микроструктуры $FeAl_3$ (*a*) и ИМС сплавов системы $Al-Fe-Y$ ($\times 400$): 80 % – Fe_4Al_{13} и 20 % – YFe_2Al_{10} (*б*); 80 % – $YFe_{5,5}Al_{6,5}$ и 20% – Fe_2Al_5 (*в*)

В ходе проведенных исследований получены следующие результаты:

– полученные прямым сплавлением алюминиды идентифицированы дифференциально-термическим, рентгенофазовым, металлографическим и химическим методами анализов, подтверждена индивидуальность соединений;

– изучена система Al–Fe–Y в области, богатой алюминием; экспериментально подтверждено наличие двухфазных равновесий: Al–YFe₂Al₁₀, YFe₂Al₁₀–YAl₂, YAl₂–YFe_{5,5}Al_{6,5}–Fe₂Al₅, Fe₄Al₁₃–YFe₂Al₁₀. Установлено, что интерметаллическое соединение YFe_{5,5}Al_{6,5} плавится конгруэнтно при 990 °С, а YFe₂Al₁₀ – инконгруэнтно в интервале температур 790–930 °С;

– при исследовании коррозионно-электрохимических свойств выявлена следующая закономерность в ряду легирующих элементов (Y, Ce, Pr, Nd, Gd, Er): чем больше заряд ядра лантаноида (число электронов на *f*-подуровне), тем выше коррозионная стойкость алюминидов железа и марганца, легированных лантаноидами. В кислой среде подобной зависимости не наблюдается;

– изучение сплавов системы Al–Fe и присутствующих в них алюминидов представляет большой практический интерес, поскольку это дает возможность использовать вторичный алюминий в качестве материала-основы для разработки конструкционных материалов, рекомендуемых в качестве заменителей стали в выхлопных системах, для производства отдельных узлов и дисков газовых турбин.

Литература

1. Дресвянников, А. Ф. Синтез интерметаллида Fe₃Al / А. Ф. Дресвянников, Е. Колпаков // Прикл. химия и хим. технология неорган. и орган. веществ. – 2010. – № 3. – С. 7–10.
2. Ковтунов, А. И. Интерметаллидные сплавы : электрон. учеб. пособие / А. И. Ковтунов, С. В. Мямин. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2018. – 1 опт. диск.
3. Авиационные материалы : справочник : в 9 т. / науч. ред. С. И. Кишкина, И. Н. Фридляндер ; под общ. ред. Р. Е. Шалина. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : ОНТИ, 1982. – 625 с.
4. Умарова, Т. М. Синтез и исследование микроструктуры и теплофизических свойств интерметаллического соединения Al₃Fe / Т. М. Умарова, Ф. Джалолов // Вестн. Филиала Моск. гос. ун-та им. М. В. Ломоносова в городе Душанбе. Сер. Естеств. науки. – 2017. – № 1. – С. 128–133.
5. Umarova, T. M. Influence of micro alloying (including REM) on the phase composition and properties of aluminum alloys / T. M. Umarova // Material Science and Engineering Technology. – 2016. – Vol. 890. – P. 331–338.
6. Умарова, Т. М.,. Анодные сплавы алюминия с марганцем, железом и редкоземельными металлами / Т. М. Умарова, И. Н. Ганиев. – Душанбе : Дониш, 2008. – 273 с.
7. Умарова, Т. М. Сплав на основе алюминия : Евраз. пат. № 200500820 / Умарова Т. М., Ганиев И. Н., Джалолова З. С., Рахмонов К. А., Амонов И. Т. ; заявл. 16.05.05 ; опубл. 28.04.08. – 5 с.
8. Беккерт, М. Способы металлографического травления : пер. с нем. / М. Беккерт, Х. Клемм. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1988. – 400 с.