

# ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ НА ПРОЦЕССЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ ФАЗ В ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВАХ ТИТАНА

*Гадеев Д.В.<sup>1</sup>, Карабаналов М.С.<sup>1</sup>, Волков А.В.<sup>2</sup>*

*Руководители – проф., д.т.н. Попов А.А.<sup>1</sup>, доц., к.т.н. Илларионов А.Г.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», г. Верхняя Салда, Россия  
Illarionovag@mail.ru, dr.kruft@gmail.com

В работе исследовано влияние режимов термической обработки и влияния выделения частиц интерметаллидов на структуру и свойства жаропрочных сплавов титана типа VT18 на основе системы легирования Ti-Al-Sn-Zr-Mo-Si с различным соотношением легирующих элементов (таблица). Из слитков были изготовлены прутки Ø 21 мм ковкой и прокаткой с завершением деформации в ( $\alpha + \beta$ ) области при температуре  $T_{\text{мн}} - 20$  °С.

Таблица. Соотношения легирующих элементов в опытных сплавах

Номер сплава	Соотношение легирующих элементов
1	Сплав без циркония; Sn/Al = 1,2; 0,3 % Si
2	Сплав без циркония; Sn/Al = 0,57; 0,3 % Si
3	Сплав с повышенным содержанием циркония; Sn/Al = 1,2; 0,3 % Si
4	Сплав с повышенным содержанием циркония; Sn/Al = 0,57; 0,1 % Si

Содержание примесей внедрения во всех сплавах было приблизительно одинаковым, а именно 0,1 масс. % O, 0,0082...0,0084 масс. % H, 0,006...0,007 масс. % C, 0,009 масс. % N.

Слитки были выплавлены методом двойного вакуумно-дугового переплава с расходующим электродом. Последующую деформацию проводили на ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» по стандартным технологиям, которые включали в себя комбинацию  $\beta$ -деформации и деформации в ( $\alpha + \beta$ )-области, чередующиеся между собой. Заключительная деформация сплавов была проведена в двухфазной области при температурах  $T_{\text{пп}} - (20...30$  °С).

Нагрев на температуру 1150 °С осуществляли электроконтактным методом с выдержкой при температуре нагрева 30 секунд с последующим охлаждением на воздухе. Следует отметить, что столь быстрый нагрев и столь малое время выдержки приводят к тому, что выравнивание состава в  $\beta$ -фазе не успевает пройти и охлаждению подвергается неоднородный по составу материал. Особенно это относится к таким тугоплавким элементам, как цирконий, молибден и ванадий.

Исследование структуры, проведенное методами рентгеноструктурного фазового анализа и просвечивающей электронной микроскопии, показало, что повышение содержания алюминия, олова и циркония приводит к интенсификации процессов упорядочения в  $\alpha$ -твердом растворе с выделением дисперсных частиц  $\alpha_2$ -фазы на основе интерметаллида  $Ti_3Al$ .

Подтверждено, что силициды структурного типа  $S_1$  образуются на межфазных  $\alpha/\beta$  границах со стороны  $\beta$ -фазы, а силициды типа  $S_2$  и  $S_3$  образуются в  $\alpha$ -фазе. Обнаружено, что в процессе старения в определенном температурном интервале возможна глобуляризация тонких прослоек  $\beta$ -фазы.

Кроме того, обнаружено, что введение в сплав повышенных концентраций циркония (сплавы 3,4), при наличии кремния, увеличивает количество силицидов в структуре сплава, как на межфазных  $\alpha/\beta$ -границах, так и в теле исходного  $\beta$ -зерна.

Обнаружено, что выделения алюминидов и силицидов в сплаве приводят к незначительному упрочнению и существенному уменьшению вязкостных свойств. Пластические характеристики при этом изменяются незначительно.

В частности, выявлено, что введение в сплав циркония в значительном количестве (сплав 3) приводит к существенному упрочнению после нагрева до температуры 1150 °С, 30-сек. выдержки и охлаждения на воздухе. Так, прочность увеличивается на 100 МПа при неизменной пластичности, но существенном уменьшении вязкости (КСТ упало с 0,51 МДж/м<sup>2</sup> до 0,11 МДж/м<sup>2</sup>). Старение протекает аналогично сплаву 1 без циркония, но с несколько большим эффектом упрочнения и существенным уменьшением пластичности (с 15% до 9%), вязкости (с 0,11 МДж/м<sup>2</sup> до 0,022 МДж/м<sup>2</sup>).

В сплаве 2 с повышенным содержанием алюминия тенденции изменения свойств аналогичны сплаву без циркония и сравнительно низким содержанием алюминия при несколько более высоком значении прочностных свойств (выше примерно на 20 МПа). Однако старение при 500...700 °С не приводит к значительному увеличению прочности и уменьшению пластичности и вязкости по сравнению со сплавом без циркония.

Введение в сплав алюминия и циркония (сплав 4) в больших количествах сопровождается изменением свойств аналогичным выше описанному для сплава 3 с повышенным содержанием циркония. Однако вязкостные свойства несколько выше, что может быть связано с пониженным содержанием кремния в данном сплаве.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (10-03-96073-р\_урал\_а).