

УДК 669.295

**Ю. Н. Оленева, С. Л. Демаков, О. А. Оленева**

УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

*olenevaolga@mail.ru*

## РАЗРАБОТКА ЛЕГКОПЛАВКОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА

### АННОТАЦИЯ

Рассмотрены вопросы формирования структуры и фазового состава многокомпонентных сплавов на основе титана. Проведен анализ структуры при помощи растровой электронной микроскопии, рентгеноспектрального анализа и рентгеноструктурного фазового анализа.

*Ключевые слова:* титановые сплавы, тройная эвтектика, интерметаллиды, изотермические диаграммы, политермические разрезы, система Ti-Ni-Si, система Ti-Ni-Cu, система Ti-Ni-Cu-Fe

### ABSTRACT

Questions of formation of structure and phase structure of multicomponent alloys on the basis of the titanium were considered. Structural analysis by scanning electron microscopy, X-ray spectrum analysis and X-ray diffraction method was carried out.

*Keywords:* titanic alloys, threefold eutectic, intermetallida, isothermal charts, polythermal cuts, Ti-Ni-Si system, Ti-Ni-Cu system, Ti-Ni-Cu-Fe system

### ВВЕДЕНИЕ

При анализе литературных данных обнаружено недостаточное количество экспериментальных данных по системе Ti-Ni-Cu в области точки тройной эвтектики. Так же отсутствуют данные по влиянию четвертых компонентов на температуры и положения точек тройных эвтектик [1; 2].

Создание легкоплавких титановых сплавов может быть полезно для их применения в качестве припоев, литейных сплавов, порошковых материалов для 3D прототипирования или порошковой металлургии.

Для этого в работе ставились следующие цели:

- получить легкоплавкую композицию на основе титана;
- изучить влияние добавок Fe на поведение системы Cu – Ti – Ni.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе были выполнены ряд слитков различного состава. Шихтованный состав, температуры нагрева расплава указаны в табл. 1.

Для образца 4 производилась термическая обработка: закалка с различных температур: 700, 800, 900 °С с выдержкой 20 минут, с охлаждение в воду.

Таблица 1

## Шихтовочный состав образцов

№	Шихтовочный состав, ат.%, Ti основа				Т распл, °С	Примечание
	Ni	Cu	Fe	Si		
1	21	-	-	11	1460	Оплавление тигля из ZrO <sub>2</sub>
2	17	8	2	-	1110	
3	6	4	1	-	1200	Не полное расплавление
4	7	7	1	-	1460	

Основными методами исследования служили растровая электронная микроскопия, микрорентгеноспектральный анализ, оптическая металлография, дифференциальная сканирующая калориметрия, рентгеноструктурный фазовый анализ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При извлечении из тигля образца 1 материал легко и хрупко разрушался, показывая низкую пластичность. Стенки тигля имели значительное утонение. В итоге эксперимент следует признать неудавшимся из-за растворения Zr и кислорода что привело к значительным искажениям конечных результатов. В качестве полезной информации можно считать факт малого количества кремния в последней кристаллизующейся эвтектике, т. е. его добавки практически не способствуют снижению температуры плавления. Отметим и побочный результат о растворимости заметных количествах кремния в никелиде титана Ti<sub>2</sub>Ni свыше 3,5 ат. %. В дальнейшем от применения кремния как добавки снижающей температуру плавления было решено отказаться.

Уточнение химического состава образца 2 с помощью МРСА показало, что реальный состав сплава несколько отличается в сторону понижения количества железа и меди, но в целом отличие не превысило 1 ат. %: Ti-17,2Ni-7.2Cu-1,4Fe.

Можно считать композицию, полученную для одной из эвтектик (Ti-8,2Ni-6,5Cu-0,9Fe) наиболее легкоплавкой составляющей данной системы. Фазовый состав включает в себя твердые растворы на основах Ti<sub>2</sub>Ni, Ti<sub>2</sub>Cu и еще одну фазу на основе твердого раствора Ti.

Согласно литературным данным точкой тройной эвтектики соответствует состав 18Ni-10Cu-72Ti. По видимому введение железа способствует образованию более легкоплавкой четверной эвтектики. В сплаве без добавления железа первым кристаллизующейся фазой должен быть твердый раствор титана, в нашем случае первым кристаллизуется твердый раствор TiNi. По результатам, полученным в данном разделе было решено изучить менее легированную систему с повышенным соотношением Cu / Ni.

Из-за низкой температуры нагрева образца № 3 не произошло полного расплавления титана, однако образец был подвергнут исследованиям.

Анализ изображения образцов 4 после нагрева показывает растворение первичных дендритов малолегированного титана объемная доля которого постепенно уменьшается (рис. 1). Вместе с этим происходит процесс частичного растворения и коагуляции составляющих эвтектики. Матричная  $\beta$ -фаза очищается – становится свободной от выделений, протекание этого процесса становится возможным из-за того, что легированность высокотемпературной  $\beta$ -фазы уменьшается за счет притока атомов титана из первичных дендритов, соответственно легирующие элементы из интерметаллидов могут перейти в твердый раствор до пределов растворимости. Заметно укрупняются интерметаллиды, которые ранее были определены как  $Ti_2Cu$ .

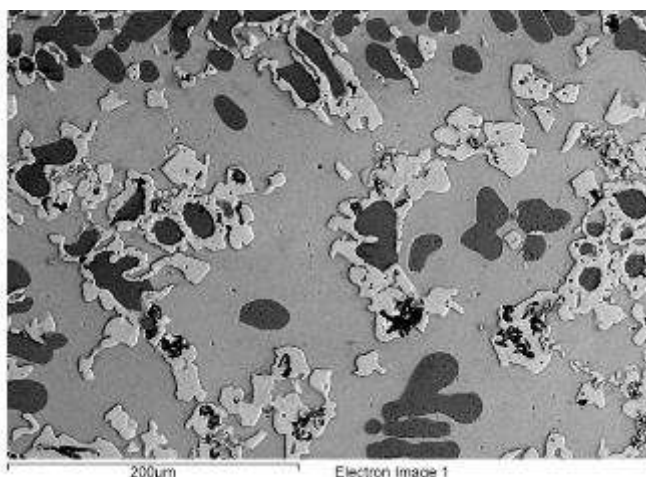


Рис. 1. Микроструктура образца № 4 после нагрева на 900 °С

Большее количество легирующих элементов содержит  $\beta$ -твердый раствор. Интерметаллид  $Ti_2Ni$  имеет заметную область растворимости в частности 6,6 ат. % Cu, растворимость железа по-видимому не стоит учитывать, так как они взаимозамещаемые с Ni.  $\beta$ -твердый раствор, согласно рисунку может содержать не более 7 ат. % Ni и Cu, у нас зафиксировано дополнительно железа 6,5%. Что дает суммарную легированность по  $\beta$ -стабилизаторам 15,5 ат. %. Что возможно при снижении эвтектоидной температуры  $\alpha / \beta$  перехода, для ее определения провели ДСК анализ в исходном и закаленном с 900 °С состоянии.

РСФА показал присутствие четырех фаз  $\alpha$ -Ti,  $\beta$ -Ti,  $Ti_2Ni$ ,  $Ti_2Cu$ . Было определены периоды решеток всех фаз, значения периодов для интерметаллидов и  $\alpha$ -фазы оказалось близко к табличным (по базе PDF2). Показатели периода  $\beta$ -фазы в зависимости от обработки претерпевали изменения. При  $T_z = 700$  °С период бета фазы увеличился, из-за увеличения ее объемной доли. В литом состоянии  $\beta$ -фаза была в виде остаточной, а после закалки в виде метастабильной. На графике (рис. 2) приведено изменение периода решетки  $\beta$ -фазы, где в диапазоне 700...800 °С фиксируется закономерное снижение периода, вызванное растворением интерметаллидов

в бета твердом растворе. Сравнение микроструктур доказывает наличие такого процесса. При более высоких нагревах снижение периода приостанавливается, и даже наблюдается его некоторое увеличение относительно  $T_3 = 800$  °С. Это объясняется неравновесностью обрабатываемой структуры – присутствием первичных дендритов практически чистого титана. При последнем нагреве температура превышала температуру  $\alpha / \beta$  полиморфного превращения титана, что приводит к значительному ускорению его растворения в матрице с соответствующим ее объединением по легирующим элементам.

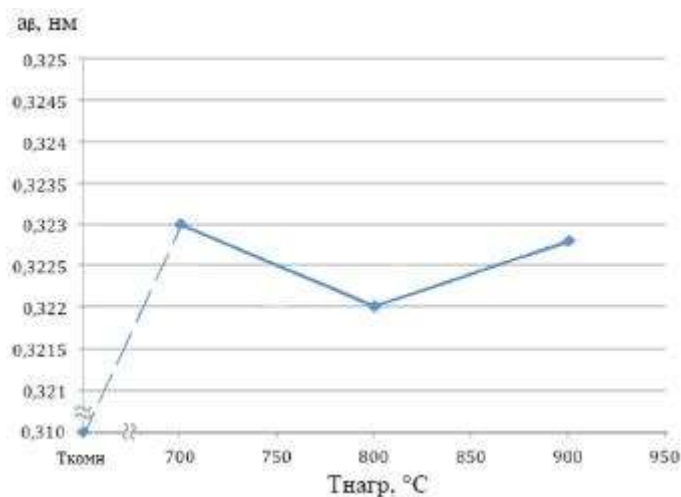


Рис. 2. Изменение периода решетки  $\beta$ -фазы

В целом изучение этого сплава позволило выявить дальнейшее направление по оптимизации легирования, а именно, следует увеличить соотношение  $\text{Cu} / (\text{Ni} + \text{Fe})$ , а именно ввести дополнительно около 2 ат. % меди, что позволит избежать образование первичных кристаллов титана. Следует проверить рациональность изменение соотношения  $\text{Fe} / \text{Ni}$  при общем сохранении доли в сторону увеличения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Loo F. J. Phase Relations in the Ternary Ti-Ni-Cu System at 800 and 870°C / F. J. Loo G.F. Leenen // J. Less Common Met. 57. 1978. P. 111–121.
2. Yakushiji M. Reactions with Melt in the Copper-Rich Region of the Copper-Nickel-Titanium System / M. Yakushiji, Y. Kondo, K. Kamei // Nippon Kinzoku Gakkaishi. 44(6). 1980. P. 245–272.