

УДК 669.715'24

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ИНТЕРМЕТАЛЛИДНОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ $\text{Ni}_3\text{Al}$ , МИКРОЛЕГИРОВАННОГО РЗМ

Юлия Вячеславовна Костенко<sup>(1)</sup>, Александр Викторович Шестаков<sup>(2)</sup>, Ольга Анатольевна Базылева<sup>(3)</sup>,

<sup>(1)</sup>Магистрант 1 года

кафедра «Материаловедение» МГТУ им. Н. Э. Баумана

<sup>(2)</sup>Аспирант 2 года обучения, инженер 2 категории ФГУП ВИАМ

<sup>(3)</sup>Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заместитель начальника по науке ФГУП ВИАМ

Научный руководитель: М.В. Унчикова,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Интерметаллидные сплавы на основе  $\text{Ni}_3\text{Al}$  являются материалами, в наибольшей степени удовлетворяющими требованиям, предъявляемым к деталям газотурбинных двигателей нового поколения, с рабочими температурами выше, чем у никелевых суперсплавов. Преимущества интерметаллидных сплавов объясняются фазовым составом близким к эвтектическому ( $\gamma'$ -фаза + 10...15 %  $\gamma$ -твердого раствора на основе никеля), который остается стабильным до температур близких к солидусу.

Для повышения долговечности сплав микролегируют редкоземельными металлами (РЗМ). Являясь реакционно- и поверхностно-активными элементами, обладающими высоким сродством к кислороду, РЗМ оказывают рафинирующее действие при выплавке и обеспечивают упрочнение границ зерен, увеличивая структурно-фазовую стабильность сплава. Установлено [1,2,3], что при введении лантана, иттрия и церия повышаются эксплуатационные характеристики сплавов, такие как жаростойкость, длительная прочность. Кроме того, применение РЗМ дает возможность использовать при выплавке сплавов отходы, что снижает себестоимость производства.

В настоящее время проводятся исследования сплавов, микролегированных такими РЗМ, как неодим, празеодим и эрбий, которые обладают высоким сродством к кислороду, сере и азоту, обеспечивая ультранизкое содержание примесей.

Исследуемый сплав ВИН4, микролегированный РЗМ, после литья имеет микроструктуру, характерную для интерметаллидных сплавов на основе соединения  $\text{Ni}_3\text{Al}$ . Она представляет собой дендритно-ячеистую структуру, в осях дендритов и междендритных областях частицы  $\gamma'$ -фазы разделены тонкими прослойками  $\gamma$ -твердого раствора. Междендритные участки содержат частицы  $\gamma'$ -фазы неправильной формы и разного размера. Для улучшения эксплуатационных свойств необходимо, чтобы  $\gamma'$ -фаза присутствовала в виде дисперсных частиц кубоидной формы и  $\gamma$ -твердый раствор выделялся по границам  $\gamma'$ -фазы, обеспечивая пластичность сплава. Согласно ранее проведенным исследованиям, изменить морфологию  $\gamma'$ -фазы можно в результате использования термической обработки.

Целью данной работы является исследование влияния различных режимов термической обработки на структуру интерметаллидного сплава ВИН4, микролегированного РЗМ. По аналогии с никелевыми суперсплавами в качестве термической обработки применяли закалку с последующим старением [4].

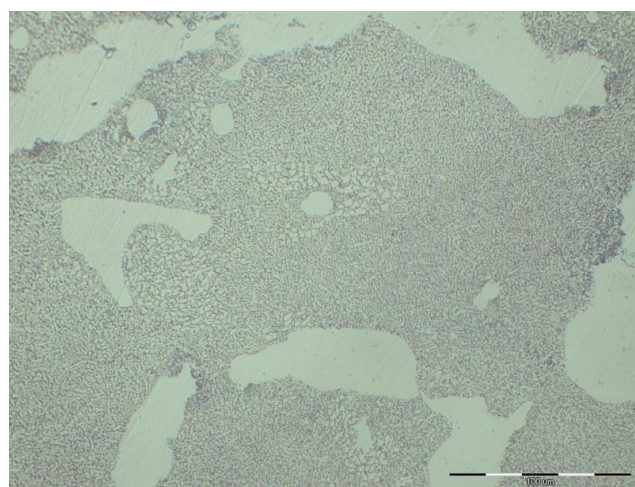
Исследования проводили на монокристаллических образцах с кристаллографической ориентацией [001], полученных методом высокоградиентной направленной кристаллизации на установке УВНС-5 с компьютерным управлением процессом.

Температуры нагрева были назначены с учетом температур фазовых превращений, полученных методом дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК).

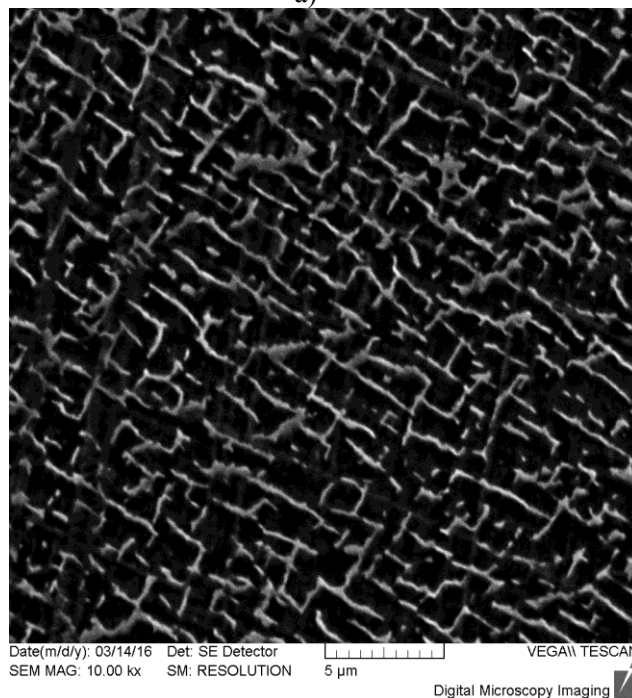
Исследования микроструктуры проводили на оптическом Olympus GX 51 и электронном растровом Tescan Vegall LMN микроскопах.

Из трех режимов закалки (1310, 1320 и 1330 °С) был выбран режим с температурой нагрева 1330 °С, который обеспечивает наибольшее растворение  $\gamma'$ -фазы. Далее были исследованы три режима старения (1125, 1150 и 1200 °С). Время старения составляло 4 ч.

На основании структурных исследований установлено, что термическая обработка, включающая закалку с температуры 1330 °С и старение при 1150 °С в течение 4 ч, обеспечивает выделение дисперсных частиц  $\gamma'$ -фазы кубоидной формы (рис. 1) и может быть рекомендована для упрочнения сплава ВИН 4.



a)



б)

Рис. 1. Микроструктура сплава ВИН4 после закалки и старения при 1150 °С, 4 ч: а)  $\times 500$ ;  
б)  $\times 10000$

## Литература

1. Базылева О.А., Поварова К.Б., Казанская Н.К., Дроздов А.А. Редкоземельные металлы в сплавах на основе алюминидов никеля. III. Структура и свойства многокомпонентных сплавов на основе  $Ni_3Al$  // Металлы, 2009. – № 2. – С. 69-76.
2. Поварова К.Б., Казанская Н.К., Дроздов А.А. и др. Изучение влияния редкоземельных металлов на жаропрочность сплавов на основе  $Ni_3Al$  // Металлы, 2011. – № 1. – С. 55–63.
3. Сидоров В.В., Тимофеева О.Б., Калицев В.А., Горюнов А.В. Влияние микролегирования РЗМ на свойства и структурно-фазовые превращения в интерметаллидном сплаве ВКНА-25-ВИ // Авиационные материалы и технологии, 2012. – № 4. – С. 8-13.
4. Кишкин С.Т., Строганов Г.Б., Логунов А.В. Литейные жаропрочные сплавы на никелевой основе. Разработка и исследование. – М.: Машиностроение, 1987. – 116 с.