

**УДК 669.715.24**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ  $Ni_3Al$ , ИЗГОТОВЛЕННОГО ПО РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ**

Юлия Вячеславовна Артеменко

*Магистр 2 года,*

*кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: М.В. Унчикова,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

*О.А. Базылева,*

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заместитель начальника по науке ФГУП «ВИАМ»*

Высокая стоимость жаропрочных литейных сплавов, используемых для деталей газотурбинных двигателей, вызвала необходимость в разработке специальных технологий, позволяющих повысить экономичность производства. В настоящее время во ФГУП «ВИАМ» разработана ресурсосберегающая технология получения никелевых жаропрочных деформируемых и литейных сплавов, в том числе и интерметаллидных, позволяющая изготавливать сплавы с использованием 100% кондиционных отходов. Выплавляемые по ресурсосберегающей технологии сплавы не уступают по чистоте и свойствам сплавам, изготовленным полностью из «чистой» шихты [1]. Применение ресурсосберегающей технологии для изготовления интерметаллидных жаропрочных сплавов является перспективным направлением.

Интерметаллидные жаропрочные материалы на основе алюминидов никеля обладают рядом уникальных свойств, позволяющих эксплуатировать эти сплавы вплоть до предплавильных температур, не подвергая их упрочняющей термической обработке. Однако конструкционный сплав на основе интерметаллида  $Ni_3Al$ , изготовленный с использованием отходов, полученных при выплавке и отливке заготовок и полуфабрикатов, имеет неоднородную структуру (ликвационная неоднородность) и, соответственно, нестабильный уровень свойств. Для решения этой задачи предлагается использовать упрочняющую термическую обработку, схожую с термообработкой литейных никелевых жаропрочных сплавов, включающую закалку и старение, для равномерного выделения  $\gamma'(Ni_3Al)$ -фазы правильной формы [2,3].

Монокристаллические образцы исследуемого сплава системы  $Ni_3Al-Cr-Mo-W-Ti-Re-Co-Ta$ , изготовленного по ресурсосберегающей технологии с использованием до 50% отходов, отлитые методом направленной кристаллизации, имеют дендритно-ячеистую структуру, характерную для интерметаллидных сплавов на основе соединения  $Ni_3Al$ , – 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 работы является исследование влияния термической обработки, включающей закалку и старение, совмещенное с баротермической обработкой в газостате, на структуру и свойства сплава системы Ni<sub>3</sub>Al-Cr-Mo-W-Ti-Re-Co-Ta, изготовленного по ресурсосберегающей технологии с использованием до 50 % отходов.

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

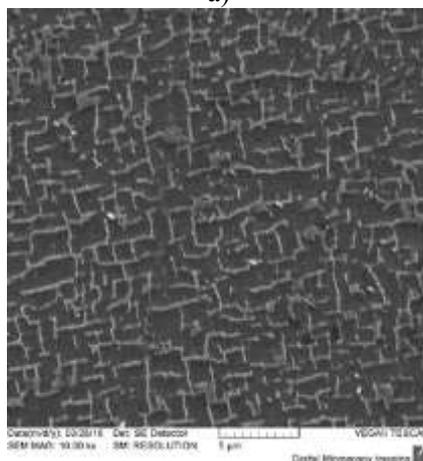
Температуры нагрева были назначены с учетом температур фазовых превращений, полученных методом дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК).

Из трех режимов закалки (1 – T<sub>зак</sub>=T<sub>S</sub> °C; 2 – T<sub>зак</sub>=(T<sub>S</sub> +10) °C; 3 – T<sub>зак</sub>=(T<sub>S</sub> +20) °C) был выбран режим с температурой нагрева (T<sub>S</sub> + 20) °C, который обеспечивает наибольшее растворение γ'-фазы. Далее были исследованы три режима старения (1 - 1125 °C, 2 - 1150 °C, 3 - 1175 °C), совмещенные с баротермической обработкой в газостате. Время старения составляло 4 ч.

На основании проведенных исследований установлено, что термическая обработка, включающая закалку с температурой нагрева (T<sub>зак</sub>=T<sub>S</sub> +20) °C и старением (1 – 1125 °C, τ = 4 ч), благоприятно влияет на структуру сплава, уменьшая ликвационную неоднородность и обеспечивая выделение частиц γ'-фазы правильной формы (рис. 1). Полученная структура сплава после термической обработки также обеспечивает стабильный уровень свойств, соответствующий уровню паспортных данных сплава (табл.1).



а)



б)

Рис.1. Микроструктура сплава системы Ni<sub>3</sub>Al-Cr-Mo-W-Ti-Re-Co-Ta, изготовленного по ресурсосберегающей технологии с использованием до 50% отходов, после закалки при (T<sub>S</sub> +20)

°С и старением (1 – 1125 °С,  $\tau = 4$  ч), совмещенным с баротермической обработкой: а)  $\times 500$ ; б)  $\times 10000$

Таблица 1. Сравнительные характеристики паспортных свойств сплава и сплава, выплавленного по ресурсосберегающей технологии

Состояние	$\sigma_b^{20}$ , МПа	$\sigma_{100}^{1100}$ , МПа	$\sigma_{R=0,1}^{900}$ , МПа
Сплав системы Ni <sub>3</sub> Al-Cr-Mo-W-Ti-Re-Co-Ta паспорт	1105	55÷60	550
Сплав системы Ni <sub>3</sub> Al-Cr-Mo-W-Ti-Re-Co-Ta, выплавленный по ресурсосберегающей технологии	1370	55÷60	520

### Литература

1. Сидоров В.В., Каблов Д.Е., Ригин В.Е. *Металлургия литейных жаропрочных сплавов: технология и оборудование /под общ.ред. Е.Н. Каблова.* – М.: ВИАМ, 2016. – 368 с.
2. Кишкин С.Т., Строганов Г.Б., Логунов А.В. *Литейные жаропрочные сплавы на никелевой основе. Разработка и исследование.* - М.: Машиностроение, 1987. – 116 с.
3. Шалин Р.Е., Светлов И.Л., Кочанов Е.Б., Толорайя В.Н., Гаврилин О.С. *Монокристаллы никелевых жаропрочных сплавов.* - М.: Машиностроение, 1997. – 336 с.