

## ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА СВАРИВАЕМЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

Ольга Юрьевна Козлова

*Студент 4 курса,*

*Кафедра «Материаловедение»*

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

*Научные руководители: С.В. Овсепян,*

*кандидат технических наук, начальник лаборатории №3 ФГУП «ВИАМ»*

*А.С. Помельникова,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение»*

Одним из важных узлов в конструкции газотурбинного двигателя (ГТД) является жаровая труба камеры сгорания, материал которой должен быть длительное время работоспособен в интервале температур 900-1100°C. Серийные жаропрочные свариваемые сплавы ВЖ98 и ВЖ159, с рабочей температурой до 1050°C, используются для жаровых труб авиационных ГТД [1]. Они имеют хорошую технологичность, свариваются всеми видами сварки. Гомогенный сплав ВЖ98 легирован вольфрамом (10 – 16%) и титаном (0,5%). Сплав ВЖ159 с молибденом и 4,5% (Nb+Al) структурно стабилен, упрочняется частицами  $\gamma'$ -фазы ( $Ni_3Al(Nb)$ ), что обеспечивает высокие характеристики кратковременной пластичности; технологичности жаропрочность на уровне сплава ВЖ98 [2].

Сплав марки ВЖ171, разработанный во ФГУП «ВИАМ», относится к новому классу материалов, упрочняемых в процессе химико-термической обработки (ХТО), – высокотемпературного азотирования[3], активно осваивается в промышленности [4].

В результате высокотемпературного азотирования происходит образование стабильных нитридов по всему объему материала, которые не растворяются до температуры плавления сплава и обеспечивают высокий уровень свойств. Материал такого класса известен и за рубежом (NS-163 фирмы Haynes) [5].

Целью данной работы является исследование влияния высокотемпературной ХТО на структуру и свойства свариваемых жаропрочных никелевых сплавов с разным типом легирования.

В процессе исследования было проведено высокотемпературное азотирование образцов толщиной 1,2 мм сплавов ВЖ98 и ВЖ171 (содержащих Ti), и ВЖ159 (Nb и Al), и изученных микроструктура и свойства.

Микроструктура сплавов ВЖ159 и ВЖ171 представлена на рисунке 1.

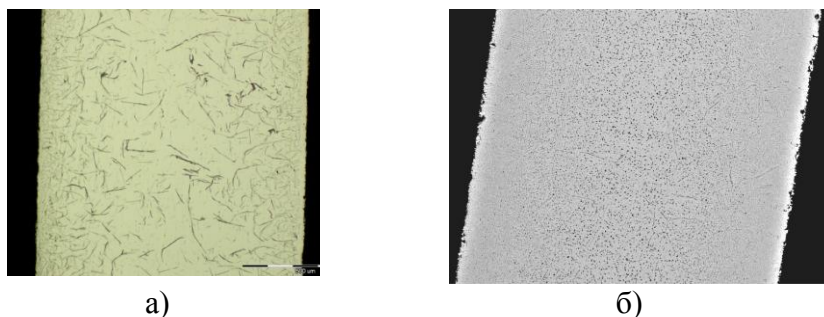


Рисунок 1 - Микроструктура сплавов ВЖ159 (а) и ВЖ171 (б), x100

Установлено, что в процессе азотирования в сплавах ВЖ98 и ВЖ171 образуются нитриды по всему объему листа. Количество нитридов прямо пропорционально содержанию титана. Для сплава ВЖ171 они равномерно распределены по всему сечению, как в теле

зерен, так и по их границам. В сплаве ВЖ159 ниобий и алюминий образуют с азотом частицы игольчатой формы.

Свойства исследуемых сплавов до и после химико-термической обработки показаны в таблице 1.

Таблица 1. Свойства сплавов до и после ХТО

Сплав	$\sigma_v^{20}$ , МПа	$\sigma_{0,2}^{20}$ , МПа	$\delta^{20}$ , %	$\tau^{1000}$ до разрушения, час
ВЖ98	<u>885</u>	<u>345</u>	<u>65</u>	( $\sigma=25$ МПа)
	458	365	17,4	<u>100</u> 456
ВЖ171	<u>670</u>	<u>370</u>	<u>90</u>	( $\sigma=65$ МПа)
	850	530	10	<u>55</u> 100
ВЖ159	<u>1100</u>	<u>580</u>	<u>45</u>	( $\sigma=26$ МПа)
	416	–	1,6	<u>100</u> -*

Примечание: числитель – до ХТО, знаменатель – после ХТО;

\* разрушился при нагружении.

Видно, что высокотемпературная химико-термическая обработка положительно влияет на жаропрочность сплавов, содержащих титан (ВЖ98, ВЖ159), повышая время до разрушения (в 2-4 раза) при температуре испытания 1000°C. Титан повышает характеристики сплавов после ХТО за счет образования стабильных нитридов компактной формы. Игольчатые нитриды на основе ниобия и алюминия в сплаве ВЖ159 охрупчивают материал и отрицательно влияют на механические свойства.

Сплав ВЖ171, имеющий сбалансированный химический состав, показывает наиболее высокий уровень прочности и жаропрочности после химико-термической обработки.

## Литература

1. Латышев В.Б. Жаропрочные деформируемые свариваемые сплавы для камер сгорания //Авиационные материалы на рубеже XX–XXI веков: Науч.-технич. сб. М.: ВИАМ. 1994. С. 273–278.
2. Ломберг Б.С., Овсепян С.В., Бакрадзе М.М., Мазалов И.С. Высокотемпературные жаропрочные никелевые сплавы для деталей газотурбинных двигателей //Авиационные материалы и технологии. №S. 2012. С. 52-57
3. Овсепян С.В., Бокштейн Б.С., Ахмедзянов М.В., Родин А.О., Мазалов И.С. Кинетика роста частиц нитридов в процессе высокотемпературного объемного азотирования деформируемого сплава системы Ni-Co-Cr-W-Ti //Материаловедение. 2014. №6. С. 21–25.
4. Ахмедзянов М.В., Скугорев А.В., Овсепян С.В., Мазалов И.С. Разработка ресурсосберегающей технологии получения холоднокатаного листа из высокожаропрочного свариваемого сплава ВЖ171 //Производство проката. 2015. №1. С. 14–17.
5. Fahrman M., Srivastava S.K. Nitridation of HAYNES® NS-163® Alloy: Thermodynamics and Kinetics //JOM. Vol. 64 №2. 2012.pp. 280-287.