

Изобретение относится к металлургии сплавов, а именно, жаропрочных литейных сплавов на основе никеля.

Широко известны в металлургии жаропрочные сплавы, содержащие в качестве основы никель, хром, кобальт, вольфрам, титан, алюминий, молибден. Эти сплавы широко применяются при изготовлении газотурбинных двигателей для рабочих и сопловых лопаток и в меньшей степени - для турбинных дисков и колец.

В результате сложного легирования у сплавов этой группы достигнуты более высокие жаропрочные свойства по сравнению со сплавами на железной и даже кобальтовой основах [1].

Однако, указанные сплавы не обладают оптимальным сочетанием пластичности, ударной вязкости, коррозионной стойкости в агрессивных средах при 800...950°C.

Из описанных в литературе жаропрочных сплавов на основе никеля, используемых для изготовления деталей ГТУ, по составу ингредиентов наиболее близким к заявляемому сплаву является сплав ЖСЗДК [2], принятый в качестве прототипа.

Сплав имеет следующий состав, % (масс):

хром	11,0-14,0
кобальт	5,0-10,0
вольфрам	3,5-5,0
молибден	3,5-5,0
углерод	примесь 0,07-0,12
титан	2,5-3,2
алюминий	4,0-4,8
церий	0,01-0,02
бор	0,01-0,02
железо	не более 2,0
марганец	не более 0,4
кремний	не более 0,4
сера	не более 0,01
фосфор	не более 0,015
никель	остальное

Этот сплав имеет кристаллическую структуру и следующие основные свойства (таблица 1).

Указанный сплав имеет неудовлетворительную коррозионную стойкость при применении топлива, содержащего серу, натрий и другие вредные примеси. Ударная вязкость и пластичность сплава также невысоки.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования жаропрочного сплава на основе никеля, в котором путем дополнительного легирования бериллием, магнием, лантаном обеспечивается повышение коррозионной стойкости, ударной вязкости и пластичности при сохранении длительной прочности на уровне прототипа и за счет этого повышается срок службы изделий, изготовленных из этого сплава.

Поставленная задача решается тем, что жаропрочный сплав на основе никеля, содержащий хром, углерод, кобальт, вольфрам, молибден, титан, алюминий, бор, церий, согласно изобретению, дополнительно содержит бериллий, магний, лантан при следующем соотношении компонентов, % (по массе):

хром	14,1-16,5
кобальт	8,0-13,0
вольфрам	4,0-6,0
молибден	1,5-2,5
углерод	0,07-0,15
титан	4,5-5,5
алюминий	2,5-3,5
церий	0,005-0,01
бор	0,01-0,02
бериллий	0,005-0,01
магний	0,005-0,02
лантан	0,005-0,02
никель	остальное

Дополнительное легирование сплава бериллием (0,005-0,01% масс), магнием (0,005-0,02% масс), лантаном (0,005-0,02% масс), повышая сцепление окисной пленки с поверхностью металла, увеличивает коррозионную стойкость при температуре 800-900°C. Повышению коррозионной стойкости способствует также увеличение содержания хрома, титана и уменьшение содержания молибдена и алюминия.

Введение бериллия (0,005-0,01% масс), магния (0,005-0,02% масс), лантана (0,005-0,02% масс), способствуя межзеренному упрочнению сплава, повышает его ударную вязкость и пластичность. Указанные механические характеристики повышают также за счет увеличения содержания кобальта и титана, при этом кратковременная и длительная прочность сплава сохраняются на уровне прототипа.

В качестве верхнего и нижнего пределов легирования вводимыми элементами выбирали их концентрацию, обеспечивающую преимущества в свойствах предлагаемого сплава по сравнению с прототипом и всеми известными материалами. При выборе верхнего предела учитывали максимальную совместную растворимость вводимых элементов в сплаве, контролируемую появлением в микроструктуре охрупчивающих фаз неблагоприятной морфологии. Поэтому, при выходе за заявляемые пределы легирования поставленная задача

не достигается. Этими же положениями руководствовались при выборе пределов легирования другими элементами.

Были подготовлены три смеси ингредиентов (таблица 2).

Каждую смесь сплавляли отдельно в вакуумно-индукционных печах по известной технологии. Полученные сплавы имели следующие характеристики ударной вязкости, пластичности, коррозионной стойкости (таблица 3).

Основные свойства заявляемого сплава представлены в таблице 4.

Как видно из таблиц 1 и 4, коррозионная стойкость, пластичность, ударная вязкость предлагаемого сплава выше, чем у известного сплава. При этом уровень кратковременной и длительной прочности не изменяется. Указанные преимущества сплава позволяют увеличить долговечность деталей и к.п.д. газовой турбины.

Таблица 1

Температура испытаний, °С	Предел прочности, кГс/мм <sup>2</sup>	Относит. удлинение, %	Относит. сужение, %	Ударная вязкость, кГс · м / см <sup>2</sup>	Длительная прочность, кГс/мм <sup>2</sup> τ=100 ч	Средняя скорость коррозии, г/м <sup>2</sup> · с <sup>**</sup>
20	95...110	6	8	3.0...3.5*	—	—
800	90...105	6	8	3.2...4.0	48...50	0,8 · 10 <sup>-3</sup>
850	85...95	6	6	3.0...4.0	35...38	2,4 · 10 <sup>-3</sup>
900	70...75	6	6	2.8...3.4	29...30	19,8 · 10 <sup>-3</sup>
950	58...63	6	8	2.4...2.9	—	38,9 · 10 <sup>-3</sup>

\* — ударная вязкость сплава, отлитого в горячие формы при 20°С

\*\* — данные по коррозионной стойкости приведены в результате сравнительных испытаний сплавов (топливо с 1% S, впрыск 25% NaCl+75% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Таблица 2

Наименование элементов	Содержание элементов % (масс)		
	1	2	3
углерод	0,15	0,07	0,11
хром	14,1	16,5	15,6
кобальт	10,5	13,5	8,0
вольфрам	5,1	6,0	4,0
молибден	1,9	1,5	2,5
титан	4,5	5,5	5,0
алюминий	3,5	2,9	2,5
церий	0,01	0,008	0,005
бор	0,015	0,02	0,01
бериллий	0,005	0,008	0,01
мангий	0,005	0,012	0,02
лантан	0,005	0,012	0,02
никель	остальное	остальное	остальное

Примечание: содержание церия, бора, бериллия, магния, лантана соответствует их расчетному количеству.

Таблица 3

Добавки бериллия, % (масс)	Добавки магния, % (масс)	Добавки лантана, % (масс)	Относительное удлинение, % T=950°C	Относительное сужение, % T=950°C	Ударная вязкость, кГс · м/см <sup>2</sup> T=950°C	Средняя скорость коррозии, г/м <sup>2</sup> · с* T=950°C
0,005	0,005	0,005	8,0	10,0	4,0	$1,8 \cdot 10^{-3}$
0,008	0,012	0,012	9,0	12,0	3,0	$1,2 \cdot 10^{-3}$
0,01	0,02	0,02	8,5	11,0	3,7	$1,1 \cdot 10^{-3}$

\*—данные по коррозионной стойкости приведены в результате сравнительных испытаний сплавов (топливо с 1% S, впрыск 25% NaCl + 75% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Таблица 4

Температура испытаний, °C	Предел прочности, кГс/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость, кГс · м/см <sup>2</sup>	Длительная прочн., кГс/мм <sup>2</sup> τ=100 ч	Средняя скорость коррозии, г/м <sup>2</sup> · с**
20	95-115	6,0-7,0	10,0-11,0	4,0-5,0	—	—
800	92-100	6,5-7,5	9,0-10,0	4,2-5,0	47-50	$(0,05-0,08) \cdot 10^{-3}$
850	87-92	6,6-7,5	8,0-9,0	4,2-4,8	36-38	$(0,1-0,15) \cdot 10^{-3}$
900	70-75	7,0-8,0	9,2-9,8	3,5-4,0	28-30	$(0,5-0,8) \cdot 10^{-3}$
950	60-65	8,0-9,0	10,0-12,0	3,0-4,0	17-19	$(1,1-1,8) \cdot 10^{-3}$

\*\* — топливо с 1% S, впрыск 25% NaCl + 75% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.