



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015151685, 02.12.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.12.2015Дата регистрации:
13.02.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.12.2015

(45) Опубликовано: 13.02.2017 Бюл. № 5

Адрес для переписки:

119334, Москва, Ленинский проспект, 49, ИМЕТ
РАН

(72) Автор(ы):

Поварова Кира Борисовна (RU),
Базылева Ольга Анатольевна (RU),
Дроздов Андрей Александрович (RU),
Аргинбаева Эльвира Гайсаевна (RU),
Антонова Анна Валерьевна (RU),
Бондаренко Юрий Александрович (RU),
Шестаков Александр Викторович (RU),
Морозов Алексей Евгеньевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт металлургии и
материаловедения им. А.А. Байкова
Российской академии наук (ИМЕТ РАН)
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2434068 C1, 20.11.2011. RU
2398906 C1, 10.09.2010. RU 2434067 C1,
20.11.2011. US 2009/0041615 A1, 12.02.2009. JP
2000328162 A, 28.11.2000.

(54) ЛИТЕЙНЫЙ СПЛАВ НА ОСНОВЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИДА Ni₃Al И ИЗДЕЛИЕ, ВЫПОЛНЕННОЕ ИЗ НЕГО

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к литейным сплавам на основе интерметаллида Ni₃Al, предназначенным для изготовления методом направленной кристаллизации и монокристаллического литья деталей газотурбинных двигателей авиационной промышленности, например сопловых и рабочих лопаток, блоков сопловых лопаток, сегментов камеры сгорания, створок. Сплав на основе интерметаллида Ni₃Al содержит, мас. %: Al 8,1-8,8, Cr 3,5-4,5, Mo 5,0-6,5, W 2,7-3,5, Ti 0,5-1,5, Ta

2,0-5,0, Re 1,0-2,0, Co 4,0-7,0, C 0,015-0,08, La 0,015-0,15, Hf 0,3-0,6, Pr 0,01-0,2, Ni и неизбежные примеси - остальное. Сплав характеризуется повышенной стойкостью к малоцикловой усталости при осевой нагрузке на базе 1×10⁴ циклов на гладких образцах (σ_{0,1}) при 750°С, повышенной стойкостью к сульфидно-оксидной коррозии при 850°С, а также высоким ресурсом работы до температуры 1250°С и кратковременно до 1300°С. 2 н. и 1 з.п. ф-лы, 2 табл., 3 пр.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2015151685, 02.12.2015

(24) Effective date for property rights:
02.12.2015Registration date:
13.02.2017

Priority:

(22) Date of filing: 02.12.2015

(45) Date of publication: 13.02.2017 Bull. № 5

Mail address:

119334, Moskva, Leninskij prospekt, 49, IMET RAN

(72) Inventor(s):

Povarova Kira Borisovna (RU),
Bazyleva Olga Anatolevna (RU),
Drozdov Andrej Aleksandrovich (RU),
Arginbaeva Elvira Gajsaevna (RU),
Antonova Anna Valerevna (RU),
Bondarenko Yurij Aleksandrovich (RU),
Shestakov Aleksandr Viktorovich (RU),
Morozov Aleksej Evgenevich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
uchrezhdenie nauki Institut metallurgii i
materialovedeniya im. A.A. Bajkova Rossijskoj
akademii nauk (IMET RAN) (RU)

(54) **CASTING ALLOY BASED ON INTERMETALLIC COMPOUND Ni₃Al, AND ARTICLE OUT OF IT**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention refers to metallurgy, namely to casting alloys based on Ni₃Al intermetallic compound designed for manufacturing of gas turbine motor parts for aviation industry, such as nozzle and working blades, units of nozzle blades, segments of combustion chamber, shutters, by the method of directed crystallisation and mono-crystal casting. Alloy based

on Ni₃Al intermetallic compound contains, wt %: Al 8.1-8.8, Cr 3.5-4.5, Mo 5.0-6.5, W 2.7-3.5, Ti 0.5-1.5, Ta 2.0-5.0, Re 1.0-2.0, Co 4.0-7.0, C 0.015-0.08, La 0.015-0.15, Hf 0.3-0.6, Pr 0.01-0.2, the rest is Ni and inadvertent impurities.

EFFECT: alloy shows improved resistance to low-cycle fatigue and sulphide and oxide corrosion, high operation life.

3 cl, 2 tbl, 3 ex

RU 2 610 577 C1

RU 2 610 577 C1

Изобретение относится к области металлургии, а именно к литейным жаропрочным сплавам на основе интерметаллида Ni_3Al , предназначенным для изготовления методом направленной кристаллизации и монокристаллического литья деталей газотурбинных двигателей авиационной промышленности, например сопловых и рабочих лопаток, 5 блоков сопловых лопаток, сегментов камеры сгорания, створок и т.д.

Для нового поколения авиационных и ракетных двигателей необходимы материалы, которые можно эксплуатировать при высоких температурах в агрессивных средах. Разработка таких материалов в современном авиастроении, особенно материалов на основе интерметаллидов, обладающих высокой жаростойкостью, термической 10 стабильностью и надежностью эксплуатации при высоких температурах, является актуальной проблемой.

Известен сплав на основе интерметаллида Ni_3Al , имеющий следующий химический состав, мас. %:

15	Al	11,5
	Mo	1,0
	Co	11,5
	Hf	1,7
	Zr	0,05
	B	0,1
20	Nb	0,5
	Ni	остальное

(Патент США №4613368, В22F 3/00, опубл. 23.09.1986).

Недостатком этого сплава является его неработоспособность при температурах выше $800^{\circ}C$.

Известен сплав на основе интерметаллида Ni_3Al , имеющий следующий химический 25 состав, мас. %:

	Al	8,2-8,6
	Cr	4,8-5,2
30	Mo	2,5-3,0
	W	2,0-2,4
	Ti	1,2-1,5
	Ta	1,2-1,6
	Re	0,05-1,2
	C	0,001-0,02
35	La	0,015-0,3
	Zr	0,05-0,5
	Ni	остальное

(РФ №2308499 C1, C22C 9/03, опубл. 20.10.2007).

Сплав имеет хорошую кратковременную прочность, но недостаточно высокую жаропрочность при $1200^{\circ}C$ на базе 100 часов.

Известен сплав на основе интерметаллида Ni_3Al , содержащий следующие компоненты, 40 мас. %:

	Al	7,7-8,7
	Cr	5,0-6,0
45	Mo	4,5-5,5
	W	2,5-3,5
	Ti	0,3-0,8
	Re	1,2-1,8
	Co	4,0-6,0

C	0,001-0,02
La	0,002-0,2
Zr	0,05-0,5
Ni	остальное

5 (РФ №2256716 С1, С22С 19/05, опубл. 20.07.2005).

Сплав обладает повышенным пределом ползучести в интервале температур 900-1000°C и повышенной малоцикловой усталостью при 900°C, но имеет недостаточно высокую кратковременную прочность и предел текучести при комнатной температуре.

Известен сплав на основе интерметаллида Ni₃Al, содержащий, мас. %:

10	Al	7,8-9,0
	Cr	5,0-6,5
	Mo	3,0-4,0
	W	2,7-4,0
	Ti	0,8-1,2
15	C	0,001-0,005
	Zr	0,05-0,5
	Sn	0,03-0,05
	Ni	остальное

(РФ №2198233 С1, С22С 19/05, опубл. 10.02.2003).

20 Сплав указанного состава в интервале температур 900-1100°C имеет хорошую жаропрочность, а при 1200°C на базе 100 часов для кристаллографической ориентации (КГО) [001] недостаточную.

Известен сплав на основе интерметаллида Ni₃Al, имеющий следующий состав, мас. %:

25	Al	7,7-8,7
	Cr	5,0-6,0
	Mo	4,5-5,5
	W	2,5-3,5
	Ti	0,3-0,8
30	Re	1,2-1,8
	Co	3,5-4,5
	C	0,005-0,01
	La	0,015-0,025
	Ni	остальное

(РФ №2221890 С1, С22С 19/03, опубл. 20.01.2004).

35 Сплав имеет недостаточно высокую жаропрочность при 1200°C на базе испытания 100 часов, обладает недостаточным пределом кратковременной прочности и пределом текучести при комнатной температуре для КГО [001].

Наиболее близким сплавом к предложенному по изобретению является сплав на основе интерметаллида Ni₃Al, содержащий, мас. %:

40	Al	8,2-8,7
	Cr	2,5-6,0
	Mo	2,8-4,2
	W	2,8-4,5
	Ti	0,01-1,2
45	Ta	0,5-5,5
	Re	0,01-1,4
	Co	0,01-5,5
	C	0,015-0,08
	La	0,015-0,4

Hf	0,01-0,6
Zr	0,01-0,08
Y	0,015-0,15
Ni	остальное

(РФ №2434068 С1, С22С 19/05, опубл. 20.11.2011).

Известный сплав обладает повышенной жаропрочностью при температуре 1200°C на базе 100 часов, а также хорошей кратковременной прочностью и пределом текучести при комнатной температуре для КГО [001]. Недостатком этого сплава является недостаточно высокая коррозионная стойкость в сульфидно-оксидной среде при температурах до 850°C и недостаточная малоцикловая стойкость на базе 1×10^4 циклов при температурах вплоть до 750°C монокристаллов с кристаллографической ориентацией (КГО) [001].

Изделия из этого сплава, например бандажные полки ГТД, створки регулируемого сопла, имеют низкий ресурс работы из-за указанных недостатков сплава.

Задача, на решение которой направлено настоящее изобретение, заключается в разработке сплава на основе интерметаллида Ni_3Al с монокристаллической структурой с КГО [001] и изделия, выполненного из него, обладающих высокой коррозионной стойкостью в сульфидно-оксидной среде при температурах до 850°C, высокой долговечностью в условиях малоцикловой усталости при рабочих температурах до 750°C, работоспособного до температуры 1250°C с кратковременными забросами до 1300°C.

Техническим результатом изобретения является повышение показателей по малоцикловой усталости на базе 1×10^4 цикла при температурах до 750°C, коррозионной стойкости в сульфидно-оксидной среде при температурах до 850°C для КГО [001], кратковременной прочности при 1250 и 1300°C, что обеспечивает повышение ресурса работы изделий, выполненных из этого сплава, и делает его работоспособным до температуры 1250°C с кратковременными забросами до 1300°C.

Технический результат достигается тем, что литой сплав на основе интерметаллида Ni_3Al , содержащий алюминий, хром, молибден, вольфрам, титан, тантал, рений, кобальт, лантан, гафний и никель, дополнительно содержит редкоземельный элемент празеодим при следующем соотношении компонентов, мас. %:

Al	8,1-8,8
Cr	3,5-4,5
Mo	5,0-6,5
W	2,7-3,5
Ti	0,5-1,5
Ta	2,0-5,0
Re	1,5-2,0
Co	5,5-7,0
C	0,015-0,08
La	0,015-0,15
Hf	0,3-0,6
Pr	0,01-0,2
Ni и неизбежные примеси	остальное

При этом в качестве неизбежных примесей сплав может содержать: железо, ниобий, марганец не более 0,3 мас. % каждой; серу и фосфор не более 0,005 мас. % каждой; олово и сурьму не более 0,003 мас. % каждой; свинец не более 0,001 мас. %; висмут не более 0,0005 мас. %.

Технический результат достигается и в изделии, выполненном из заявленного сплава.

Сущность изобретения заключается в следующем.

Введение в сплав 0,01-0,2 мас. % празеодима совместно с лантаном обеспечивает формирование в сульфидно-оксидной среде при температурах до 850°C плотной пленки сложного состава, состоящей из изоморфных тугоплавких оксидов с высокой температурой плавления, (La,Pr)₂O₃ (T_{пл}=2210-2296°C), и сульфидов (La,Pr)S (T_{пл}=2175-2230°C), что обеспечивает уплотнение защитной пленки на поверхности сплава и улучшает ее адгезию с основой, в результате чего создаются условия для повышения коррозионной стойкости в сульфидно-оксидной среде при температурах до 850°C включительно.

Увеличение по сравнению с известным сплавом содержания кобальта и рения позволяет обеспечить одновременное повышение характеристик прочности, пластичности и вязкости разрушения за счет улучшения прочности когерентных межфазных слоев γ'/γ и упрочнения γ' и γ фаз. Такая комбинация элементов в сплаве обеспечивает высокую долговечность сплава в условиях малоциклового усталости на базе 1×10^4 цикла при рабочих температурах до 750°C включительно и работоспособность до температуры 1250°C с кратковременными забросами до 1300°C.

Примеры осуществления

Шихтовую заготовку из предлагаемого сплава различных составов и сплава-прототипа выплавляли из чистых шихтовых материалов в вакуумной индукционной печи с тиглем из основной футеровки. После разливки сплавов в кокили D=50 мм отбирали стружку на химический анализ. Результаты химанализа сплавов приведены в таблице 1. Перед последующими операциями шихтовую заготовку протачивали по поверхности на глубину 1-2 мм для удаления слоя, контактирующего с чугуном, затем разрезали на мерные заготовки весом по 2 кг для последующего переплава.

Образцы D=16 мм и длиной 150 мм получали методом направленной кристаллизации в вакууме $1,5-2,5 \times 10^{-3}$ мм рт.ст. Поверхность образцов и деталей контролировалась путем выявления микроструктуры в смеси соляной кислоты и перекиси водорода. При наличии одного макрозерна вдоль оси образца отливка считается монокристаллической, при наличии двух и более зерен без выклинивания - столбчатой структурой.

Таблица 1. Составы предлагаемого сплава и прототипа.

№ сплава	Содержание элементов, мас.%													
	Al	Cr	Mo	W	Ti	Ta	Re	Co	C	La	Hf	Y	Pr	
I	8,8	4,0	5,0	3,1	0,5	2,0	2,0	7,0	0,015	0,150	0,6	-	0,20	Осн
II	8,1	4,5	5,8	3,5	1,5	3,5	1,7	6,7	0,010	0,080	0,4	-	0,10	Осн
III	8,4	3,5	6,5	2,7	1,0	5,0	1,5	5,5	0,080	0,015	0,3	-	0,01	Осн
Прото тип	8,4	5,5	3,5	4,0	0,6	3,0	0,7	2,8	0,050	0,20	0,3	0,08	-	Осн

(прототип – указаны средние значения)

Свойства предлагаемого сплава с различным соотношением компонентов и сплава-прототипа, полученных по одной и той же технологической схеме, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Свойства предлагаемого сплава на основе интерметаллида Ni_3Al и сплава-прототипа.

Свойства	I	II	III	Прототип
Малоцикловая усталость при осевой нагрузке на базе 1×10^4 циклов на гладких образцах ($\sigma_{0,1}$) при 750°C , МПа	440	450	446	390
Скорость сульфидно-оксидной коррозии при 850°C , г/м ² ·ч	8,4	20,5	50,1	23,1-119,7 средн 70
Предел кратковременной прочности при 1250°C (σ_B), МПа	140	155	150	—
Предел кратковременной прочности при 1300°C (σ_B), МПа	60	65	70	—

Из таблицы 2 видно, что свойства предлагаемого сплава на основе интерметаллида Ni_3Al существенно выше, чем известного. Малоцикловая на базе 1×10^4 цикла выносливость предполагаемого сплава при 750°C выше на 12-15%, чем у сплава-прототипа. Скорость сульфидно-оксидной коррозии при 850°C предполагаемого сплава ниже в 2 раза, чем у сплава-прототипа. Предел кратковременной прочности при 1250°C и при 1300°C нельзя сравнить со свойствами сплава-прототипа, поскольку при этих температурах прочностные характеристики сплава-прототипа настолько низки, что даже не оцениваются.

Использование предлагаемого сплава на основе интерметаллида Ni_3Al повышает надежность изделий и увеличивает ресурс их работы и повышает их рабочие температуры.

(57) Формула изобретения

1. Литой сплав на основе интерметаллида Ni_3Al , содержащий алюминий, хром, молибден, вольфрам, титан, тантал, рений, кобальт, углерод, лантан, гафний и никель, отличающийся тем, что он дополнительно содержит празеодим при следующем соотношении компонентов, в мас. %:

Al	8,1-8,8
Cr	3,5-4,5
Mo	5,0-6,5
W	2,7-3,5
Ti	0,5-1,5
Ta	2,0-5,0
Re	1,5-2,0
Co	4,0-7,0
C	0,015-0,08
La	0,015-0,15
Hf	0,3-0,6
Pr	0,01-0,2
никель и неизбежные примеси	остальное.

2. Сплав по п. 1, отличающийся тем, что в качестве неизбежных примесей он содержит железо, ниобий, марганец не более 0,3 мас. % каждого, серу и фосфор не более 0,005 мас. % каждого, олово и сурьму не более 0,003 мас. % каждого, свинец не более 0,001

мас. %, висмут не более 0,0005 мас. %.

3. Изделие из литого сплава на основе интерметаллида Ni_3Al , отличающееся тем, что оно выполнено из сплава по п. 1.

5

10

15

20

25

30

35

40

45