



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2010152295/02, 21.12.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.12.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.12.2010

(45) Опубликовано: 27.03.2012 Бюл. № 9

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2383642 C1, 10.03.2010. RU 1513934 C, 10.04.1995. US 2009/0041615 A1, 12.02.2009. EP 0848071 A1, 17.06.1998.

Адрес для переписки:

129301, Москва, ул. Касаткина, 13, НТЦ им.
А. Льюльки ОАО "НПО "Сатурн", отдел
интеллектуальной собственности и
патентования

(72) Автор(ы):

Логунов Александр Вячеславович (RU),
Кузменко Михаил Леонидович (RU),
Шмотин Юрий Николаевич (RU),
Гришихин Сергей Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Открытое акционерное общество "Научно-
производственное объединение "Сатурн"
(ОАО "НПО "Сатурн") (RU)

(54) ЛИТЕЙНЫЙ НИКЕЛЕВЫЙ ЖАРОПРОЧНЫЙ СПЛАВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, в частности к литейным никелевым жаропрочным сплавам для изготовления деталей, например лопаток газотурбинных двигателей, работающих при температурах 1000°C и выше в условиях сложного комплексного нагружения, отливаемых методом направленной кристаллизации и имеющих направленную столбчатую или монокристалльную структуру. Литейный никелевый жаропрочный сплав, содержащий, мас. %: хром 4.0-7.0, алюминий 4.0-6.0, кобальт 3.0-7.0, вольфрам 9.0-13.0, рений 3.0-5.5, углерод 0.04,

или 0.05, или 0.06, тантал 10.0-12.0, лантан 0.001-0.1, иттрий 0.001-0.1, церий 0.001-0.1, неодим 0.006, или 0.008, или 0.08, магний 0.01-0.15, скандий 0.05-0.1, кремний 0.05-0.5, ванадий 0.05-0.3, кальций 0.001-0.015, празеодим 0.0008-0.008, никель остальное. Соблюдены следующие условия: суммарное содержание вольфрама, рения и тантала ограничено значениями, мас. %: $25.3 \leq (W+Re+Ta) \leq 27.0$, а суммарное содержание хрома и кобальта ограничено значениями, мас. %, $8.7 \leq (Cr+Co) \leq 10.1$. Сплав имеет высокие значения высокотемпературной прочности при пониженной его стоимости. 2 табл., 3 пр.

RU 2 446 221 C1

RU 2 446 221 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2010152295/02, 21.12.2010**

(24) Effective date for property rights:
21.12.2010

Priority:

(22) Date of filing: **21.12.2010**

(45) Date of publication: **27.03.2012 Bull. 9**

Mail address:

129301, Moskva, ul. Kasatkina, 13, NTTs im. A. Ljul'ki OAO "NPO "Saturn", otdel intellektual'noj sobstvennosti i patentovaniya

(72) Inventor(s):

**Logunov Aleksandr Vjacheslavovich (RU),
Kuzmenko Mikhail Leonidovich (RU),
Shmotin Jurij Nikolaevich (RU),
Grishikhin Sergej Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo "Nauchno-proizvodstvennoe ob"edinenie "Saturn" (OAO "NPO "Saturn") (RU)

(54) **CAST NICKEL HEAT-RESISTANT ALLOY**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: cast heat-resistant nickel alloy contains the following components, wt %: chrome 4.0-7.0, aluminium 4.0-6.0, cobalt 3.0-7.0, tungsten 9.0-13.0, rhenium 3.0-5.5, carbon 0.04 or 0.05, or 0.06, tantalum 10.0-12.0, lanthanum 0.001-0.1, yttrium 0.001-0.1, cerium 0.001-0.1, neodymium 0.006 or 0.008, or 0.08, magnesium 0.01-0.15, scandium 0.05-0.1, silicium 0.05-0.5, vanadium 0.05-

0.3, calcium 0.001-0.015, praseodymium 0.0008-0.008, and nickel is the rest. The following conditions have been met: total content of tungsten, rhenium and tantalum is within the range, wt %: $25.3 \leq (W+Re+Ta) \leq 27.0$, and total content of chrome and cobalt is within the range, wt %: $8.7 \leq (Cr+Co) \leq 10.1$.

EFFECT: alloy has high values of high-temperature strength at its reduced cost.

2 tbl, 3 ex

RU 2 446 221 C1

RU 2 446 221 C1

Изобретение относится к металлургии, а именно к производству литейных никелевых жаропрочных сплавов, предназначенных для получения деталей, в том числе рабочих и сопловых лопаток газовых турбин с направленной столбчатой и монокристалльной структурой, отливаемых методом направленной кристаллизации, работающих в условиях длительного комплексного воздействия высоких статических, циклических и термических нагрузок при температуре материала 1100°C и более.

Известен жаропрочный сплав на никелевой основе, предназначенный для литья деталей с монокристалльной структурой. Сплав содержит следующие компоненты (мас.%): кобальт 0.0-15.0; хром 4.1-8.0; молибден 2.1-6.1; вольфрам 0.0-3.9; тантал 4.0-10.0; алюминий 4.5-6.5; титан 0.0-1.0; гафний 0.0-0.5; ниобий 0.0-3.0; рений 3.0-8.0; рутений 0.5-6.5; бор 0.0-0.05; углерод 0.0-0.15; кремний 0.0-0.1; иттрий 0.0-0.1; лантан 0.0-0.1; церий 0.0-0.1; ванадий 0.0-1.0; цирконий 0.0-0.1; никель остальное. При этом должно соблюдаться условие: $P_1 \leq 700$, где $P_1 = 137 (\text{мас.}\% \text{ W}) + 24 (\text{мас.}\% \text{ Cr}) + 46 (\text{мас.}\% \text{ Mo}) - 18 (\text{мас.}\% \text{ Re})$ (патент EP 2128284 A1, C22C 19/05, опубл. 02.12.2009).

Указанный сплав обладает высоким уровнем жаропрочности ($\sigma_{100}^{1000^\circ \text{C}} = 330$ МПа), характеризуется стабильностью структуры, однако легирование его элементами, отличающимися весьма высокой стоимостью и дефицитностью (рений и элемент платиновой группы рутений), делает сплав крайне дорогостоящим, что существенно снижает возможность его практического использования. Кроме того, для перспективных газотурбинных двигателей нового поколения требуются жаропрочные суперсплавы с более высоким уровнем жаропрочных свойств.

Известен также никелевый жаропрочный сплав для получения лопаток газовых турбин, имеющих монокристалльную структуру, и содержащий (мас.%): хром 2.1-3.3; кобальт 5.0-7.0; молибден 3.5-5.1; вольфрам 3.2-4.8; тантал 4.0-5.0; рений 5.6-7.0; рутений 2.0-6.0; алюминий 5.7-6.3; углерод 0.002-0.02; бор 0.0004-0.004; иттрий 0.002-0.02; церий 0.001-0.02; лантан 0.002-0.25; неодим 0.0005-0.001; никель остальное (патент РФ №2293782, С 22 С 19/05, опубл. 20.02.2007).

Сплав обладает фазовой стабильностью, однако он также отличается весьма высокой стоимостью, поскольку содержит дорогостоящие элементы рений и рутений, а обеспечиваемый им уровень жаропрочности ($\sigma_{100}^{1000^\circ \text{C}} \approx 330$ МПа) нуждается в совершенствовании.

Наиболее близким аналогом, взятым за прототип, является литейный никелевый жаропрочный сплав, предназначенный для литья деталей с монокристалльной структурой, содержащий (мас.%): хром 0.0-3.0; кобальт 0.0-5.0; вольфрам 8.0-12.0; алюминий 4.3-5.6; тантал 9.0-13.0; рений 4.0-6.0; углерод 0.002-0.05; иттрий 0.003-0.1; лантан 0.001-0.2; церий 0.003-0.1; неодим 0.0-0.01; скандий 0.05-0.1; кремний 0.05-1.0; магний 0.01-0.15; никель остальное (патент РФ №2383642, С22С 19/05, опубл. 10.03.2010).

Сплав имеет достаточно высокий уровень жаропрочности ($\sigma_{100}^{1000^\circ \text{C}} \approx 320$ МПа), отличается фазовой стабильностью и относительно низкой стоимостью вследствие отсутствия в его составе дорогостоящего элемента платиновой группы рутения.

Однако для перспективных газотурбинных двигателей нового поколения необходимым является совершенствование состава сплава с целью получения более высокого уровня жаропрочности.

Задачей изобретения является обеспечение повышенного уровня жаропрочности сплава при сохранении относительно низкой его стоимости.

Указанная задача решается тем, что в известный литейный никелевый

жаропрочный литейный сплав, содержащий хром, кобальт, вольфрам, алюминий, тантал, рений, углерод, иттрий, лантан, церий, неодим, скандий, кремний и магний, дополнительно вводят ванадий, кальций и празеодим при следующем соотношении компонентов (мас.%): хром 4.0-7.0; алюминий 4.0-6.0; кобальт 3.0-7.0; вольфрам 9.0-13.0; рений 3.0-5.5; углерод 0,04, или 0,05, или 0,06; тантал 10.0-12.0; лантан 0.001-0.1; иттрий 0.001-0.1; церий 0.001-0.1; неодим 0,006, или 0,008, или 0,8; магний 0.01-0.15; скандий 0.05-0.1; кремний 0.05-0.5; ванадий 0.05-0.3; кальций 0.001-0.015; празеодим 0.0008-0.008; никель остальное, при этом суммарное содержание вольфрама, рения и тантала должно находиться в пределах (мас.%) $25.3 \leq (W+Re+Ta) \leq 27.0$, а суммарная концентрация хрома и кобальта ограничена значениями (мас.%) $8.7 \leq (Cr+Co) \leq 10.1$.

В заявленном сплаве увеличено содержание хрома, что обеспечивает повышение жаростойкости и одновременно отсутствие условий для образования охрупчивающих ТПУ-фаз при высоком суммарном содержании вольфрама, тантала и рения, а также положительные значения разности параметров кристаллических решеток γ - и γ' -фаз, прямым образом определяющих уровень жаропрочности сплавов этого класса.

В составе сплава отсутствует элемент платиновой группы рутений, что заметно снижает его стоимость. Кроме того, с целью дополнительного уменьшения стоимости сплава без ухудшения его рабочих характеристик в сплаве снижено содержание рения (среднее значение концентрации этого элемента уменьшилось по сравнению с прототипом с 5 мас.% до 4.25%).

Для обеспечения высокого уровня жаропрочности общий интервал легирования сплава вольфрамом увеличен (среднее содержание его возросло с 10 до 11 вес.%).

Выполненные аналитические исследования и расчеты суммарной концентрации электронных вакансий элементов, входящих в образующуюся γ -фазу, показали, что скорректированный состав сплава допускает повышенное суммарное содержание влияющих непосредственно на уровень жаропрочности элементов - вольфрама, тантала и рения - без образования охрупчивающих ТПУ-фаз, однако при этом допустимые интервалы суммарной концентрации этих элементов, а также хрома и кобальта, влияющих на механизм образования охрупчивающих фаз σ -, μ - и др., становятся существенно более узкими и должны находиться внутри определенных значений. Именно это обстоятельство явилось причиной введения в формулу изобретения следующих условий:

$25.3 \leq (W+Re+Ta) \leq 27.0$ и $8.7 \leq (Cr+Co) \leq 10.1$, где концентрации указанных элементов приведены в мас.%.

Введение в состав сплава ванадия объясняется его эффективным положительным влиянием на жаропрочность. Исследования показали, что этот элемент значительно улучшает прочностные характеристики никелевых сплавов при высоких температурах в интервале легирования 0.0-1.0 мас.%. Однако он одновременно оказывает заметное отрицательное влияние на жаростойкость, которое начинает появляться при его содержании в сплаве свыше 0.4-0.5 мас.%. Учитывая положительные и отрицательные последствия присутствия ванадия в никелевых жаропрочных сплавах, указанный элемент введен в состав сплава, однако его содержание должно находиться в пределах 0.05-0.3 мас.%. В этом случае реализуется его способность улучшать жаропрочность, а отрицательное влияние на жаростойкость не наблюдается.

Совершенствование конструкции лопаток связано в первую очередь с усложнением системы охлаждения и соответственно с уменьшением толщин стенок лопаток и усложнением условий заполнения жидким металлом формы. Указанное

обстоятельство выдвигает на первый план задачу обеспечения достаточной жидкотекучести сплава, которая определяет качество заполнения полости формы и соответственно качество отлитых лопаток. Ситуация осложняется тем, что в высокожаропрочные сплавы вводят повышенное количество вольфрама, который улучшает жаропрочность, но при этом снижает технологичность (в первую очередь, жидкотекучесть сплава). Поэтому в предлагаемый состав введен дополнительный кальций в количестве 0.001-0.015 мас.%. Микролегирование кальцием, являющимся эффективным раскислителем, обеспечивает снижение в 2-10 раз содержание в сплаве остаточного кислорода, что, в свою очередь, приводит к повышению его жидкотекучести и улучшению заполняемости тонких объемов лопаточных форм.

Дополнительное введение в состав сплава празеодима обусловлено тем, что микролегирование этим элементом в пределах (0.0008-0.008) мас.%, имеющим, как и лантан, значительно больший атомный радиус, чем иттрий и церий, обеспечивает в комбинации с этим элементом:

более эффективное торможение диффузионных потоков, способствуя тем самым стабилизации структуры и замедлению процессов разупрочнения;

за счет снижения в окисном слое диффузии атомов никеля и образования вследствие этого более плотных окислов хрома вместо рыхлых соединений закиси никеля улучшение характеристик жаростойкости.

Дополнительное микролегирование этими элементами наряду с используемыми малыми добавками скандия, кремния, магния, неодима, а также лантана, иттрия и церия оказывает заметное облагораживающее влияние на структуру и соответственно на жаропрочность и стойкость к высокотемпературной газовой коррозии.

Для апробации сплава были выплавлены три состава, содержащие компоненты, представленные в таблице 1 (мас.%).

Таблица 1

№ образца	Химический состав																
	Cr	Co	W	Al	Ta	Re	C	Sc	Si	Y	La	Ce	Mg	Nd	V	Ca	Pr
1	5.2	4.31	10.47	5.03	9.98	5.42	0.06	0.06	0.26	0.03	0.02	0.01	0.09	0.008	0.17	0.008	0.002
2	4.4	4.26	11.0	5.12	9.0	5.26	0.04	0.08	0.16	0.02	0.02	0.02	0.11	0.006	0.12	0.008	0.006
3	4.28	5.12	9.82	4.93	10.21	5.17	0.05	0.12	0.21	0.02	0.03	0.02	0.07	0.08	0.21	0.011	0.007

Сплав выплавляли в вакуумной индукционной печи, а затем переплавляли в печи для направленной кристаллизации с применением затравок заданной ориентации.

Свойства полученных сплавов приведены в таблице 2.

Таблица 2

№ образца	Тип структуры	Угол отклонения от ориентации [001]	Мех. свойства при 1000°C						Мех. свойства при 20°C			
			Долговечность τ (час.) при нагрузке σ (МПа)			δ , %	Ψ , %	σ_b , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	Ψ , %	
			300	340	360							
1	монокрис.	4.8	333	-	-	17.0	45.6	123.0	97.5	8.0	9.0	
2	монокрис.	3.8	-	148	-	18.6	42.2	121.0	97.5	7.0	9.0	
3	монокрис.	3.3	-	-	66	20.1	46.3	114.5	104.0	8.0	9.0	

Достигнутый уровень жаропрочности ($\sigma_{100}^{1000^\circ C} \approx 350$ МПа) превышает соответствующий показатель сплава-прототипа, при этом сохранена его относительно низкая стоимость.

Формула изобретения

Литейный никелевый жаропрочный сплав, содержащий хром, кобальт, вольфрам, алюминий, тантал, рений, углерод, иттрий, лантан, церий, неодим, скандий, кремний и магний, отличающийся тем, что он дополнительно содержит ванадий, кальций и празеодим при следующем соотношении компонентов, мас.%:

хром	4.0-7.0
алюминий	4.0-6.0

	кобальт	3.0-7.0
	вольфрам	9.0-13.0
	рений	3.0-5.5
	углерод	0.04, или 0.05, или 0.06
5	тантал	10.0-12.0
	лантан	0.001-0.1
	иттрий	0.001-0.1
	церий	0.001-0.1
	неодим	0.006, или 0.008, или 0.08
10	магний	0.01-0.15
	скандий	0.05-0.1
	кремний	0.05-0.5
	ванадий	0.05-0.3
	кальций	0.001-0.015
	празеодим	0.0008-0.008
15	никель	остальное

при этом соблюдены следующие условия: суммарное содержание вольфрама, рения и тантала ограничено значениями, мас. %: $25.3 \leq (W+Re+Ta) \leq 27.0$, а суммарное содержание хрома и кобальта ограничено значениями, мас. %: $8.7 \leq (Cr+Co) \leq 10.1$.

25

30

35

40

45

50