



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014106117/02, 19.02.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.02.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.02.2014

(45) Опубликовано: 20.02.2015 Бюл. № 5

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: SU 1072497 А1, 07.07.1993. RU 2434069
С1, 20.11.2011. RU 2377336 С2, 20.12.2006. US
2007/0221298 А1, 27.09.2007. EP 2298946 А2,
23.03.2011

Адрес для переписки:

115088, Москва, ул. Шарикоподшипниковская,
4, ОАО НПО "ЦНИИТМАШ", отд. 40,
Кульмизеву А.Е.

(72) Автор(ы):

Авдюхин Сергей Павлович (RU),
Дуб Алексей Владимирович (RU),
Квасницкая Юлия Георгиевна (UA),
Ковалев Геннадий Дмитриевич (RU),
Кульмизев Александр Евгеньевич (RU),
Лубенец Владимир Платонович (RU),
Скоробогатых Владимир Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Открытое акционерное общество Научно-
производственное объединение
"Центральный научно-исследовательский
институт технологии машиностроения" ОАО
НПО "ЦНИИТМАШ" (RU)

(54) ЖАРОПРОЧНЫЙ СПЛАВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ ДЛЯ ЛИТЬЯ СОПЛОВЫХ ЛОПАТОК С РАВНООСНОЙ СТРУКТУРОЙ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

(57) Реферат:

Изобретение относится к металлургии, в частности к литейным жаропрочным коррозионностойким сплавам на основе никеля, и может быть использовано для изготовления сопловых лопаток с равноосной структурой горячего тракта газотурбинных установок. Жаропрочный сплав на основе никеля для литья сопловых лопаток с равноосной структурой газотурбинных установок содержит, мас. %: углерод 0,07-0,10; хром 20,5-21,6; кобальт 10,8-11,5; вольфрам 2,3-2,6; титан 3,6-3,8; алюминий 2,4-2,7; ниобий 0,5-0,8; бор 0,01-0,013, кальций 0,01-0,2; магний 0,01-0,2; молибден 1,7-2,0;

кремний $\leq 0,1$; железо $\leq 0,1$; медь $\leq 0,05$, сера $\leq 0,005$; фосфор $\leq 0,005$; азот ≤ 20 ppm, кислород ≤ 15 ppm, никель - остальное. При этом отношение содержания титана к содержанию алюминия составляет 1,4-1,55. Сплав характеризуется высокими показателями, длительной прочностью при рабочих температурах 700-920°C в сочетании с высоким сопротивлением окислению и коррозионным воздействиям, повышенной структурной стабильностью на ресурс и улучшенными технологическими характеристиками. 1 з.п. ф-лы, 2 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2014106117/02, 19.02.2014**

(24) Effective date for property rights:
19.02.2014

Priority:

(22) Date of filing: **19.02.2014**

(45) Date of publication: **20.02.2015** Bull. № 5

Mail address:

**115088, Moskva, ul. Sharikopodshipnikovskaja, 4,
OAO NPO "TsNIITMASH", otd. 40, Kul'mizevu
A.E.**

(72) Inventor(s):

**Avdjukhin Sergej Pavlovich (RU),
Dub Aleksej Vladimirovich (RU),
Kvasnitskaja Julija Georgievna (UA),
Kovalev Gennadij Dmitrievich (RU),
Kul'mizev Aleksandr Evgen'evich (RU),
Lubenets Vladimir Platonovich (RU),
Skorobogatykh Vladimir Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo Nauchno-
proizvodstvennoe ob"edinenie "Tsentral'nyj
nauchno-issledovatel'skij institut tekhnologii
mashinostroenija" OAO NPO "TsNIITMASH"
(RU)**

(54) **REFRACTORY ALLOY ON NICKEL BASE FOR CASTING OF NOZZLE VANES WITH EQUIAXIAL STRUCTURE OF GAS TURBINE PLANTS**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: refractory nickel based alloy for casting of nozzle vanes with equiaxial structure of gas turbine plant comprises the following components in wt %: carbon 0.07-0.10; chrome 20.5-21.6; cobalt 10.8-11.5; tungsten 2.3-2.6; titanium 3.6-3.8; aluminium 2.4-2.7; niobium 0.5-0.8; boron 0.01-0.013, calcium 0.01-0.2; magnesium 0.01-0.2; molybdenum 1.7-2.0; silicon ≤0.1; iron ≤0.1; copper ≤0.05, sulphur ≤0.005;

phosphorus ≤0.005; nitrogen ≤20 ppm, oxygen ≤15 ppm, nickel - rest. At that ratio between titanium and aluminium is 1.4-1.55.

EFFECT: alloy is characterised by high values, long-term strength at high work temperatures in combination with high oxidation resistance and corrosion strength, increased structural stability for service life and improved process characteristics.

2 cl, 2 tbl

RU 2 542 195 C 1

RU 2 542 195 C 1

Изобретение относится к металлургии, в частности к литейным жаропрочным коррозионностойким сплавам на основе никеля с хромом и кобальтом, и может быть использовано для изготовления литьем сопловых лопаток с равноосной структурой горячего тракта газотурбинных установок, например, сопловых (направляющих) лопаток, работающих в агрессивных средах при температурах 700-920°C.

Высокие прочностные характеристики сплавов для литья сопловых лопаток достигаются за счет значительного количества (32-40 ат.%) упрочняющей γ' -фазы (Ni_3Al), легированной ниобием, титаном и т.д., а также упрочнением твердого раствора (γ -фазы) кобальтом, хромом, молибденом, вольфрамом. Повышенную коррозионную стойкость обеспечивают повышенным содержанием хрома, высоким отношением содержания титана к содержанию алюминию $\text{Ti}/\text{Al} \geq 1,0$, а также введением редкоземельных элементов. Сопротивление окислению при повышенных температурах обеспечивают введением алюминия, ограничением содержания молибдена, а также введением редкоземельных элементов.

Структурная стабильность на ресурс (исключение образования охрупчивающих фаз) и ограничение образования при кристаллизации неравновесных фаз, на месте которых после их распада при термообработке будут зарождаться поры и трещины, могут быть оценены по известной методике ФАКОМП. Характеристики длительной прочности, критические точки сплава и другие его физико-механические свойства также могут быть оценены по известным методикам.

(Н. Harada и др., Сб. Superalloys, 1988; pp.733-742; Н. Harada и др., Сб. Superalloys, 2000; pp.729-736; Н. Harada, Сб. Alloys Design for Nickel-base Superalloys, 1982, pp.721-735).

Известен жаропрочный сплав с равноосной структурой на основе никеля, содержащий углерод, хром, кобальт, вольфрам и/или молибден, и/или рений, алюминий, тантал, цирконий, бор, гафний, кремний, церий и/или лантан, и/или иттрий, и/или диспрозий, и никель при следующем соотношении компонентов, масс. %: углерод 0,01-0,10; хром 17-21; кобальт 2-12; вольфрам 1-4; алюминий 4,0-4,7; тантал 3-7; цирконий 0,01-0,15; бор 0,002-0,02; гафний 0,05-0,1; церий 0,01-0,2; лантан 0,01-0,2; иттрий 0,01-0,2; диспрозий 0,02-0,2; кремний 0,1; никель - остальное.

(RU 2441088; С22С 19/05, опубл. 27.01.2012, вариант п.8 формулы).

Известный сплав используется для изготовления литых сопловых лопаток с равноосной структурой. Данный сплав содержит до ~34 ат. % упрочняющей γ' -фазы, имеет высокие характеристики жаропрочности, структурно стабилен, но обладает умеренной коррозионной стойкостью. Поэтому для этого сплава для повышения коррозионной стойкости и стойкости к окислению при высоких рабочих температурах разработаны специальные термобарьерные покрытия, которые обладают повышенной адгезией в сплав только при минимальном содержания в нем титана и ниобия, а также ограниченном содержании молибдена. Из-за повышенного содержания в сплаве тантала (до 5,0 мас. %) и обязательного использования специальных защитных покрытий изделия из этого сплава очень дорогие и не соответствуют условию «цена-качество».

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является жаропрочный сплав на основе никеля (JN939) для изготовления литьем сопловых лопаток с равновесной структурой.

Известный сплав содержит углерод, хром, кобальт, вольфрам, цирконий, титан, алюминий, тантал, ниобий, бор и никель при следующем соотношении компонентов, мас. %: углерод 0,13-0,16; хром 22-22,6; кобальт 18,5-19,4; вольфрам 1,9-2,2; цирконий 0,08-0,12; 1; титан 3,6-3,8; алюминий 1,8-2, тантал 1,0-1,5; ниобий 0,8-1,2; бор 0,008-0,012; никель - остальное.

(Сборник. «High Temperature Alloys Gas Turbines», 1982, Proc. Conf. Lige. 4-6, Oct. pp.369-393).

Известный сплав JN939 отличается высокой коррозионной стойкостью, достаточной жаропрочностью (объем упрочняющей γ' -фазы ~35 ат.%), однако обладает пониженной структурной стабильностью на ресурс: в процессе наработки в нем выделяется до 2-3% охрупчивающей σ -фазы и игловидной η -фазы (Ni_3Ti) - 3-5%, что снижает пластические характеристики и тем самым сопротивление термоусталостным воздействиям.

Как показал анализ, оба известных сплава имеют отдельные недостатки, которые не позволяют обеспечить надежную их эксплуатацию в литых сопловых лопатках на ресурс ~50 тыс. час и более.

Кроме того, известные сплавы обладают пониженной технологичностью: не позволяют проводить их аргоно-дуговую сварку при монтажных и ремонтных работах, что вынуждает использовать специальные технологии (плазменные, лазерные), что еще в большей степени удорожает изделия из этих сплавов.

Целью изобретения и его техническим результатом является жаропрочный сплав для литья сопловых лопаток с равноосной структурой газотурбинных установок с повышенной длительной прочностью при рабочих температурах 700-920°C в сочетании с высоким сопротивлением окислению и коррозионным воздействиям, повышенной структурной стабильностью на ресурс и улучшенными технологическими характеристиками.

Технический результат достигается тем, что жаропрочный сплав на основе никеля для литья сопловых лопаток с равноосной структурой газотурбинных установок включает углерод, хром, кобальт, вольфрам, титан, алюминий, ниобий, бор, кальций, магний, молибден, кремний, железо, медь, серу, фосфор, азот, кислород и никель при следующем соотношении компонентов, мас. %: углерод 0,07-0,10; хром 20,5-21,6; кобальт 10,8-11,5; вольфрам 2,3-2,6; титан 3,6-3,8; алюминий 2,4-2,7; ниобий 0,5-0,8; бор 0,01-0,013; кальций 0,01-0,2; магний 0,01-0,2; молибден 1,7-2,0; кремний $\leq 0,1$; железо $\leq 0,1$; медь $\leq 0,05$, сера $\leq 0,005$; фосфор $\leq 0,005$; азот ≤ 20 ppm, кислород ≤ 15 ppm, никель - остальное, при этом суммарное содержание алюминия и титана составляет 6,0-6,5 мас. %, а отношение содержания титана к содержанию алюминия 1,4-1,55.

Технический результат также достигается тем, что суммарное содержание кальция и магния составляет менее 0,3 мас. %.

Сплав изготавливают в виде литой прутковой заготовки, предназначенной для последующего передела и литья лопаток и других деталей газотурбинных установок.

Введение молибдена при оптимальном содержании вольфрама и оптимальном суммарном содержании кальция и магния на уровне 0,2-0,3 мас. %, которое обеспечивает очищение границ зерен от оксидных соединений, повышает пластичность сплава на длительный ресурс, дает повышенную жаропрочность литого сплава.

Кроме того, дополнительное введение молибдена, в сочетании с кальцием и магнием, а также суммарным содержанием алюминия и титана 6,0-6,5 мас. % при отношении содержания титана к содержанию алюминия 1,4-1,55, обеспечивает ограниченное выделение неравновесной эвтектической фазы и получение оптимальной равноосной структуры литых изделий из сплава по изобретению, в котором в процессе наработки исключено появление охрупчивающих фаз. Это приводит к повышению длительной прочности литого металла при повышенных рабочих температурах в сочетании с высоким сопротивлением окислению и коррозионным воздействиям, повышению структурной стабильности на ресурс и улучшению технологических характеристик сплава. Достижение поставленного технического результата дает возможность

использовать сплав по изобретению для изготовления литьем сопловых лопаток газотурбинных установок с рабочими температурами 700-920°C.

5 Получению оптимальной равноосной структуры способствует ограничение содержания газов: кислорода и азота; содержания серы и фосфора. Присутствие в заявленных концентрациях молибдена, а также железа и меди, обеспечивает достижение поставленного технического результата в части проведения аргонно-дуговой сварки сплава при монтажных и ремонтных работах.

10 Ограничение суммарного содержания кальция и магния - менее 0,3 мас.%, оптимальные содержания хрома и кобальта при отношении содержания титана к содержанию алюминия 1,4-1,55, обеспечивает высокую коррозионную стойкость сплава.

Достижение поставленного технического результата можно проиллюстрировать данными из таблиц 1 и 2.

15 Из представленных служебных характеристик сравниваемых сплавов видно, что сплав по изобретению с равноосной структурой превосходит известный сплав по комплексу служебных характеристик, в том числе имеет стоимость шихты на 25-30% ниже, по сравнению с прототипом, и обладает повышенной технологичностью при аргонно-дуговой сварке.

20 Достижимые повышенные на 10-12% значения жаропрочности при примерно равном сопротивлении окислению и коррозионным воздействиям в условиях агрессивной среды предлагаемого сплава (по сравнению с известным JN939) позволяют увеличить эксплуатационную надежность и срок службы (на ~20%) сопловых лопаток газотурбинных установок, что, как следствие, приводит к снижению годовой потребности в металле.

25 Сплав по изобретению имеет незначительный разброс значений служебных характеристик, что обеспечивает повышенные минимально гарантированные значения прочности и пластичности, закладываемые конструкторами в расчет изделия. Величины показателей $M_{dy\text{ крит}} \leq 0,928$ и $N_v \leq 2,37$ указывают на исключение образования в процессе наработки охрупчивающей σ -фазы.

30

35

40

45

Таблица 1

5	Содержание компонентов, масс. %	Известные сплавы		Сплав по изобретению
		RU2441088	JN939	
	углерод	0,06	0,15	0,09
	хром	20,0	22,4	21,1
10	кобальт	5,0	19,0	11,2
	вольфрам	3,0	2,0	2,5
	цирконий	0,08	0,08	-
	титан	-	3,7	3,7
15	алюминий	4,5	1,9	2,6
	тантал	5,5	1,4	-
	ниобий	-	1,0	0,6
	гафний	0,1	-	-
20	бор	0,01	0,01	0,01
	кальций	-	-	0,01-0,2
	магний	-	-	0,01-0,2
25	молибден	-	-	1,9
	кремний	0,1	-	0,1
	железо	-	-	≤ 0,10
30	медь	-	-	≤ 0,05
	Лантан, церий, иттрий, диспрозий	до 0,02 каждого	-	-
	сера	-	-	≤ 0,005
35	фосфор	-	-	≤ 0,005
	азот	-	-	≤ 20 ppm
	кислород	-	-	≤ 15ppm
40	никель	остальное	остальное	остальное

45

Таблица 2

Характеристики сплава	Известные сплавы		Сплав по изобретению
	RU2441088	JN939	
5 1. Упрочняющая γ' -фаза 1.1. Объем γ' -фазы, ат.%	34,1	35	35,5
1.2. Суммарное содержание титана и алюминия, мас.%	4,5	5,6	6,4
10 1.3. Сольвус $T\gamma'$, °C осредненный	1079	1104	1140
1.4. Степень залегированности γ' - фазы	1,024	1,152	1,169
1.5. Отношение Ti/Al	-	1,95	1,55
15 1.6. Mismatch при 850 °C	+0,001	+ 0,002	-0,002
1.7. Количество неравновесной эвтектической γ' -фазы, межось-литой, %	<1,0	< 1,0	< 1,0
20 2. Энергия дефектов упаковки в γ -фазе	3,827	0,553	1,503
3. Плотность т/м ³	8,27	8,12	8,09
4. Структурная стабильность ФАКОМП, 4.1. $M_{ду\ крит} \leq 0,928$ осредненный с ТО	0,899	0,930 $\sigma \sim 2-3\%$ $\eta - 3-5\%$	0,925
4.2. литой без ТО: межось	0,930	0,911	0,919
5. Длительная прочность			
30 1) $\sigma_{10^3}^{760^\circ\text{C}}$	390	387	409
2) $\sigma_{10^3}^{850^\circ\text{C}}$	208	207	228
3) $\sigma_{10^3}^{900^\circ\text{C}}$	133	129	148
4) $\sigma_{10^2}^{982^\circ\text{C}}$	100	93	110
35 6. Сравнительная коррозионная стойкость lg Metall loss (JN792= - 0,26)	- 1,354	- 2.800	-2,484
lg corros Rate (JN792=0,1)	0,466	- 0,105	0,134
40 7. Цена шихты (условная), \$/т	23700	15980	11240

Формула изобретения

1. Жаропрочный сплав на основе никеля для литья сопловых лопаток с равноосной структурой газотурбинных установок, содержащий углерод, хром, кобальт, вольфрам, титан, алюминий, ниобий, бор и никель, отличающийся тем, что он дополнительно содержит кальций, магний, молибден, кремний, железо, медь, серу, фосфор, азот, кислород при следующем соотношении компонентов, мас. %: углерод 0,07-0,10; хром 20,5-21,6; кобальт 10,8-11,5; вольфрам 2,3-2,6; титан 3,6-3,8; алюминий 2,4-2,7; ниобий

0,5-0,8; бор 0,01-0,013, кальций 0,01-0,2; магний 0,01-0,2; молибден 1,7-2,0; кремний $\leq 0,1$; железо $\leq 0,1$; медь $\leq 0,05$, сера $\leq 0,005$; фосфор $\leq 0,005$; азот ≤ 20 ppm, кислород ≤ 15 ppm, никель - остальное, при этом отношение содержания титана к содержанию алюминия составляет 1,4-1,55.

- 5 2. Жаропрочный сплав по п.1, отличающийся тем, что суммарное содержание кальция и магния составляет менее 0,3 мас. %.

10

15

20

25

30

35

40

45