



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

C22C 19/057 (2022.02)

(21)(22) Заявка: 2022102452, 02.02.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.02.2022

Дата регистрации:
01.08.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.02.2022

(45) Опубликовано: 01.08.2022 Бюл. № 22

Адрес для переписки:

141180, Московская обл., Щелковский р-н, г.
Щелково, ст. Соколовская, ЗАО
"Домостроитель"

(72) Автор(ы):

Логунов Александр Вячеславович (RU),
Базанчук Екатерина Александровна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной ответственностью
"Фирма "Медел" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2691790 C1, 18.06.2019. RU
2297466 C2, 20.04.2007. US 5740668 A1,
21.04.1998. JP 9157777 A, 17.06.1997. JP
2007105735 A, 26.04.2007.

(54) Жаропрочный никелевый сплав с равноосной структурой

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к производству никелевых жаропрочных сплавов, и может быть использовано при изготовлении деталей и узлов для авиационных газотурбинных двигателей и газоперекачивающих, энергетических и морских газотурбинных установок, применяемых в авиации, судостроении, энергетике, ракетостроении и других отраслях промышленности, в том числе для

высокотемпературных штампов. Никелевый жаропрочный сплав с равноосной структурой содержит, мас. %: С 0,08-0,18; Cr 3,0-8,0; Co 5,0-10,0; W 4,0-10,0; Mo 0,5-2,0; Al 4,5-6,5; Ti 0,5-3,5; Nb 0,5-2,5; Ta 5,0-10,0; Hf 0,05-1,0; Re 3,0-5,0; V 0,1-1,0; B 0,01-0,1; Zr 0,005-0,05; Ce 0,005-0,1; La 0,005-0,1; Y 0,005-0,1; Mg 0,005-0,3; Mn 0,05-0,5; Si 0,05-0,5; Ca 0,02-0,2; Fe 0,1-0,5; Ni - остальное. Сплав характеризуется высоким уровнем жаропрочности. 2 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
C22C 19/057 (2022.02)

(21)(22) Application: **2022102452, 02.02.2022**

(24) Effective date for property rights:
02.02.2022

Registration date:
01.08.2022

Priority:

(22) Date of filing: **02.02.2022**

(45) Date of publication: **01.08.2022** Bull. № 22

Mail address:

**141180, Moskovskaya obl., Shchelkovskij r-n, g.
Shchelkovo, st. Sokolovskaya, ZAO "Domostroitel"**

(72) Inventor(s):

**Logunov Aleksandr Vyacheslavovich (RU),
Bazanchuk Ekaterina Aleksandrovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennostyu
"Firma "Medel" (RU)**

(54) **HIGH-TEMPERATURE NICKEL ALLOY WITH EQUIAXED STRUCTURE**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to the field of metallurgy, namely the production of nickel superalloys, and can be used in the manufacture of parts and assemblies for aircraft gas turbine engines and gas pumping, power and marine gas turbine plants used in aviation, shipbuilding, energy, rocket science and other industries, including for high-temperature stamps. Nickel heat-resistant alloy with equiaxed structure

contains, wt. %: C 0.08-0.18; Cr 3.0-8.0; With 5.0-10.0; W 4.0-10.0; Mo 0.5-2.0; Al 4.5-6.5; Ti 0.5-3.5; Nb 0.5-2.5; Ta 5.0-10.0; Hf 0.05-1.0; Re 3.0-5.0; V 0.1-1.0; At 0.01-0.1; Zr 0.005-0.05; Ce 0.005-0.1; La 0.005-0.1; Y 0.005-0.1; Mg 0.005-0.3; Mn 0.05-0.5; Si 0.05-0.5; Ca 0.02-0.2; Fe 0.1-0.5; Ni - the rest.

EFFECT: alloy is characterized by a high level of heat resistance.

1 cl, 2 tbl

Жаропрочный никелевый сплав с равноосной структурой. Изобретение относится к области металлургии, а именно к производству никелевых жаропрочных сплавов, и может быть использовано при изготовлении деталей и узлов для авиационных газотурбинных двигателей и газоперекачивающих, энергетических и морских газотурбинных установок, применяемых в авиации, судостроении, энергетике, ракетостроении и других отраслях промышленности, в том числе для высокотемпературных штампов.

Заявленный никелевый жаропрочный сплав с равноосной структурой, предназначенный для получения в условиях высокотемпературной деформации деталей различного назначения из никелевых, титановых, хромовых сплавов, труднодеформируемых сталей и других материалов, имеет следующий состав (% мас.): C 0,08-0,18; Cr 3,0-8,0; Co 5,0-10,0; W 4,0-10,0; Mo 0,5-2,0; Ti 0,5-3,5; Al 4,5-6,5; Re 3,0-5,0; Ta 5,0-10,0; Hf 0,05-1,0; Nb 0,5-2,5; B 0,01-0,1; Zr 0,005-0,05; Ce 0,005-0,1; Y 0,005-0,1; La 0,005-0,1; Mg 0,005-0,3; Mn 0,05-0,5; Si 0,05-0,5; Ca 0,02-0,2; V 0,1-1,0; Fe 0,1-0,5; Ni -остальное.

Сплав характеризуется весьма высоким уровнем жаропрочности при температурах (900-1200)°C, а также высокими литейными свойствами, что позволяет изготавливать из него наиболее работоспособные штампы для деформационной обработки заготовок.

В настоящее время при получении дисков компрессоров и турбин, а также лопаток компрессора и других деталей методом деформации в качестве штампа в преобладающем большинстве используют жаропрочный никелевый сплав с равноосной структурой ЖС6У ВИ.

Актуальность разработки нового штампового сплава на никелевой основе обусловлена в первую очередь тем, что за последние два десятилетия появилась группа новых высокожаропрочных дисковых никелевых сплавов, деформация которых осуществляется при температурах (1100-1200)°C и поэтому традиционное использование штампов из сплава ЖС6У становится недостаточно эффективным и неэкономичным вследствие резкого сокращения срока их службы. К таким новым дисковым сплавам относятся в первую очередь сплавы ВВ 751, ВВ 752, ВВ 753, ВЖ 178, СДЖС-15, ВЖ 175 и т.д.

ПАО «ОДК «Сатурн» разработан новый штамповый сплав СЛЖС-1Р (Патент РФ № 2685455, опублик. 20.05.2017 г., бюл. № 17), имеющий следующий состав (мас. %):

C	0,12-0,20
Cr	4,0-8,0
Co	10,0-16,0
W	8,0-12,0
Al	4,0-6,0
Ta	6,0-10,0
Hf	0,2-1,0
B	0,005-0,05
Ce	0,001-0,1
Y	0,001-0,1
La	0,001-0,1
Si	0,02-0,2
Mn	0,01-0,2
Mg	0,01-0,15
Sc	0,0002-0,01
Nd	0,0005-0,01
Ni	Остальное

Этот сплав, имея такой же, как и у ЖС6У удельный вес, отличается от него более

высоким объемным содержанием упрочняющей γ' -фазы (60% вместо 58%), при этом вследствие наличия в его составе гафния, образовавшиеся карбиды типа (Hf, Ti)C, во-первых, имеют благоприятную округлую морфологию (вместо шрифтовой типа «КИ» - китайских иероглифов), во-вторых, карбиды (Hf, Ti)C гораздо более устойчивы при

высоких температурах и в значительно меньшей степени подвергаются превращениям в карбиды M_6C или $M_{23}C_6$. Кроме того, в новом сплаве отсутствуют охрупчивающие ТПУ-фазы. Оценки показывают, что если $\sigma_B^{20^\circ C}$ у сплава ЖС6У равна ≈ 970 МПа, то у сплава СЛЖС-1Р она составляет величину ≈ 1220 МПа. При этом $\sigma_{100}^{1000^\circ C}$ нового сплава находится на уровне $\sim (190-200)$ МПа, в то время как для сплава ЖС6У она равна 165 МПа. Важно, что при температурах деформации титановых сплавов новый штамповый материал обладает весьма высокими показателями - его $\sigma_{100}^{900^\circ C}$ равна 380 МПа вместо 330 МПа для сплава ЖС6У.

Известен жаропрочный никелевый сплав с равноосной структурой Rene 150 (Pat. USA №842698, кл. 148-323, 1979; Stewardson J. Technology for the 80-s - Foundary management and technology, 1979, v. 107, №9, p.46-60), который имеет следующий состав (мас. %):

C	0,06
Cr	5,0
Co	10,0
W	5,0
Mo	1,0
Al	5,5
Ta	6,0
Hf	1,5
Ni	Остальное

Сплав имеет достаточно высокий уровень жаропрочности, его $\sigma_{100}^{1000^\circ C}$ равна (200-210) МПа, вместе с тем уровень его кратковременной прочности $\sigma_B^{20^\circ C}$ составляет ≈ 960 МПа, что является недостаточным. Кроме того, его «Мисфит» равен - 0,03%, т.е. близок к нулю. Это означает, что определенная часть выделений упрочняющей γ' -фазы имеет не кубическую (наиболее эффективную) форму, а близкую к сферической (менее эффективно тормозящую перемещение дислокаций при высокотемпературном нагружении сплава).

Кроме того, он содержит 63% упрочняющей γ' -фазы, что является недостаточным - современные высокожаропрочные никелевые сплавы с монокристалльной структурой содержат порядка 65% этой фазы, прямым образом влияющей на жаропрочность.

Наиболее близким аналогом (прототипом) по составу является жаропрочный никелевый сплав с равноосной структурой (Патент РФ № 2691790, опубл. 18.06.2019 г., бюл. № 17) следующего содержания легирующих элементов (мас. %):

C	0,08-0,18
Cr	10,0-16,0
Co	10,0-16,0
W	2,0-10,0
Ti	2,5-5,5
Al	2,0-5,5
Re	1,2-3,6
Ta	4,0-9,0

	Hf	0,05-2,0
	B	0,005-0,5
	Zr	0,005-0,05
	Ce	0,005-0,5
	La	0,005-0,5
5	Y	0,01-0,5
	Mg	0,005-0,3
	Mn	0,05-0,5
	Si	0,05-0,5
	Ca	0,02-0,2
	Ni	Остальное

10 При этом с целью предотвращения возможного распада упрочняющей γ' -фазы и образования пластинчатых охрупчивающих соединений типа Ni_3Ti и Ni_3Ta введено условие:

$$C_{\text{Al}}/(C_{\text{Ti}}+C_{\text{Ta}}+C_{\text{Hf}})\geq 1,1 \text{ ат.\%/ат.\%}$$

15 Сплав имеет высокий уровень прочности при комнатных температурах - его $\sigma_{\text{в}}^{20^\circ\text{C}} \geq 1300 \text{ МПа}$ при значительной пластичности ($\delta_{20^\circ\text{C}} \geq 14,0\%$). Но главное - он обладает жаропрочностью $\sigma_{100}^{1000^\circ\text{C}}$ на уровне (210-220) МПа и при этом существенной
20 стойкостью к высокотемпературной сульфидной коррозии, что очень важно при эксплуатации этого сплава в ГТУ для энергетики и судостроения. Вместе с тем, если говорить о применении этого сплава в качестве штампового материала, то необходимо иметь еще более высокий уровень жаропрочности.

Техническим результатом, на достижение которого направлено изобретение, является
25 разработка нового сплава на никелевой основе с равноосной структурой с повышенным уровнем жаропрочности.

Разработку нового сплава осуществляли по следующим направлениям легирования.

1. Поскольку уровень жаропрочности (особенно при высоких температурах) прямым образом зависит от объемного содержания упрочняющей γ' -фазы, в новом сплаве ее
30 количество изменено с (60-61)% до 65% за счет определенного увеличения содержания главных γ' -образующих элементов (Al+Ti).

2. Поскольку рений является одним из тех элементов, которые наиболее эффективно влияют на жаропрочность при высоких температурах, его содержание также увеличено с 2,4 мас. % (в среднем) до 4,0 мас. %.

3. Исследования показали, что в сплавах с равноосной структурой ниобий заметно увеличивает жаропрочность при 1000°C и более. Поэтому указанный элемент введен в состав предлагаемого сплава дополнительно.

4. Тантал, как и вольфрам заметно улучшает жаропрочность никелевых сплавов как при средневысоких (900°C), так и при высоких (более 1000°C) температурах. Поэтому
40 его содержание в новом сплаве увеличено с $\approx 5,0$ мас. % до 6,6 мас. %. При этом концентрация вольфрама осталась на прежнем высоком уровне.

5. Поскольку хром оказывает заметное отрицательное влияние на жаропрочность, его содержание в новом сплаве снижено, хотя он улучшает стойкость к
45 высокотемпературной коррозии. Указанный отрицательный фактор предлагается нивелировать за счет нанесения диффузионных защитных покрытий (алитирование, хромоалитирование).

6. Кроме того, для дальнейшего улучшения жаропрочности в сплав дополнительно введены ванадий и молибден, которые значительно увеличивают высокотемпературные

прочностные свойства никелевых сплавов.

7. Благодаря легированию Ta и Nb, сравнительно невысокому содержанию Ti и снижению концентрации Cr, упрочняющие выделения карбидов образуются при более высокой температуре в жидкой фазе. Поэтому они имеют округлую морфологию (типа (Ta, Nb, Ti)C или (Ta, Ti, Nb)C), стабильны при рабочих температурах и не превращаются в располагающиеся по границам зерен в виде непрерывного или почти непрерывного каркаса (и охрупчивающего эти границы) карбиды типа M_6C и $M_{23}C_6$.

8. Введение в состав предлагаемого сплава 0,1-0,5 мас. % железа, образующего с никелем непрерывный ряд твердых растворов, обеспечивает, не снижая прочностных и технологических характеристик материала, существенное уменьшение его стоимости при выплавке за счет появления возможности использования более дешевого феррохрома вместо дорогого электролитического металлического хрома. При этом скорость растворения феррохрома в процессе плавки гораздо выше по сравнению с растворением чистого хрома.

Таким образом, по сравнению с прототипом в состав предлагаемого сплава с целью обеспечения наиболее высокого уровня жаропрочности дополнительно включены Nb, Mo, V и Fe.

Предлагаемый сплав достаточно хорошо сбалансирован по составу. Область его легирования находится далеко от фазовых границ существования ТПУ и α -фаз. Поэтому целесообразность наложения дополнительных условий на содержание легирующих элементов отсутствует.

Сравнительная оценка уровня жаропрочности и кратковременной ($\sigma_B^{20^\circ C}$) прочности предлагаемого сплава (3 различных опытных состава) и сплава-прототипа представлена в Таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Составы сплавов

Легированные элементы, мас.%	Сплав-прототип (Пат. РФ № 2691790)	Предлагаемый сплав		
		Состав 1	Состав 2	Состав 3
Углерод	0,14	0,08	0,14	0,18
Хром	10,0	7,0	5,3	4,0
Кобальт	10,5	10,0	8,6	5,0
Вольфрам	7,0	5,0	7,5	10,0
Молибден	-	2,0	1,4	0,5
Алюминий	5,0	4,9	5,7	6,2
Титан	3,0	3,5	1,3	0,5
Ниобий	-	0,5	1,4	2,0
Тантал	6,0	4,0	6,6	7,0
Гафний	0,3	0,8	0,1	0,05
Рений	3,0	3,4	4,0	5,0
Ванадий	-	1,0	0,3	0,1
Бор	0,02	0,01	0,014	0,03
Цирконий	0,02	0,01	0,02	0,03
Церий	0,02	0,02	0,02	0,02
Лантан	0,03	0,03	0,03	0,03
Иттрий	0,02	0,02	0,02	0,02
Магний	0,02	0,02	0,03	0,02
Марганец	0,1	0,05	0,1	0,2
Кремний	0,1	0,15	0,2	0,1
Кальций	0,02	0,02	0,02	0,03
Железо	-	0,1	0,2	0,3
Никель	остальное	остальное	остальное	остальное

Таблица 2 – Сравнительные свойства сплавов

Характеристика	Сплав-прототип (Пат. РФ № 2691790)	Предлагаемый сплав		
		Состав 1	Состав 2	Состав 3
Длительная прочность $\sigma_{100}^{900^{\circ}\text{C}}$, МПа	377	387	394	415
Длительная прочность $\sigma_{100}^{1000^{\circ}\text{C}}$, МПа	220	227	237	259
Объемная доля γ' -фазы, %	62	65	65	65
Стойкость против образования ТПУ-фаз, $M(\bar{d})_{\gamma}$	0,928	0,888	0,895	0,896
$T_{п.р.\gamma'}$	1266	1270	1289	1319
$T_{н.р.\gamma'}$	853	868	869	868

Сравнение результатов, представленных в Таблицах 1 и 2, показывает, что:

1. Предлагаемый сплав по уровню длительной прочности при температурах (900-1000) $^{\circ}\text{C}$ и выше значительно превосходит сплав-прототип и является гораздо более жаропрочным по сравнению с широко используемым в качестве высокотемпературного штампа сплавом ЖС6У.

2. Новый сплав гораздо лучше приспособлен для работы при высоких (1000 $^{\circ}\text{C}$ и 1100 $^{\circ}\text{C}$) температурах, т.к. его структура существенно более термостабильна: $T_{п.р.\gamma'}$ -фазы и $T_{н.р.\gamma'}$ -фазы этого сплава равны 1289 $^{\circ}\text{C}$ (средняя) и 868 $^{\circ}\text{C}$, а у сплава-прототипа они составляют 1266 $^{\circ}\text{C}$ и 853 $^{\circ}\text{C}$ соответственно. Это означает, что процесс растворения упрочняющей γ' -фазы в сплаве-прототипе протекает в интервале более низких температур.

3. Высокую работоспособность никелевых сплавов при рабочих температурах, как известно, обеспечивает их легирование W, Mo, Nb, Hf, Ta, Re. Наиболее высокое суммарное содержание этих элементов приходится на предлагаемый сплав (20,5 мас. %), в то время, как в сплаве-прототипе их суммарная концентрация равна 16,3 мас. %, т.е. на 4,2 мас. % меньше.

(57) Формула изобретения

Жаропрочный никелевый сплав с равноосной структурой, содержащий углерод, хром, кобальт, вольфрам, алюминий, титан, тантал, гафний, рений, бор, цирконий, церий, лантан, иттрий, магний, марганец, кремний, кальций, отличающийся тем, что он дополнительно содержит молибден, ниобий, ванадий и железо при следующем соотношении легирующих компонентов, мас. %:

Углерод
Хром

0,08-0,18
3,0-8,0

	Кобальт	5,0-10,0
	Вольфрам	4,0-10,0
	Молибден	0,5-2,0
	Алюминий	4,5-6,5
	Титан	0,5-3,5
5	Ниобий	0,5-2,5
	Тантал	5,0-10,0
	Гафний	0,05-1,0
	Рений	3,0-5,0
	Ванадий	0,1-1,0
	Бор	0,01-0,1
10	Цирконий	0,005-0,05
	Церий	0,005-0,1
	Лантан	0,005-0,1
	Иттрий	0,005-0,1
	Магний	0,005-0,3
	Марганец	0,05-0,5
15	Кремний	0,05-0,5
	Кальций	0,02-0,2
	Железо	0,1-0,5
	Никель	Остальное
20		
25		
30		
35		
40		
45		