



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014119988/02, 19.05.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.05.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.05.2014

(43) Дата публикации заявки: 27.11.2015 Бюл. № 33

(45) Опубликовано: 27.02.2016 Бюл. № 6

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2184165 C2, 27.06.2002. RU 2513492 C1, 20.04.2014. RU 2268319 C1, 20.01.2006. RU 2431692 C1, 20.10.2011. US 6695935 B1, 24.02.2004.

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. Радио, 17, ФГУП "ВИАМ"

(72) Автор(ы):

**Каблов Евгений Николаевич (RU),
Антипов Владислав Валерьевич (RU),
Вахромов Роман Олегович (RU),
Рябов Дмитрий Константинович (RU),
Иванова Анна Олеговна (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное унитарное
предприятие "Всероссийский научно-
исследовательский институт авиационных
материалов" (ФГУП "ВИАМ") (RU)**

(54) СПЛАВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области цветной металлургии, в частности к термически неупрочняемым алюминиевым сплавам системы алюминий - магний, и может быть использовано для изготовления высоконагруженных элементов изделий. Сплав на основе алюминия содержит, мас. %: магний 5,0-5,8, скандий 0,15-0,28, никель 0,02-0,7, цирконий 0,05-0,2, марганец 0,2-1,0, бериллий 0,0001-0,005, индий - до 0,005, железо 0,02-0,3, по крайней мере, один элемент из группы, содержащей серебро, медь, цинк 0,01-0,8, по крайней мере, один элемент из группы,

содержащей ванадий, хром, титан 0,01-0,12, бор, углерод 0,0001-0,08, алюминий - остальное. Технический результат заключается в повышении характеристики кратковременной прочности сплава при температуре 100-150°C с обеспечением высоких значений предела текучести, прочности и относительного удлинения в отожженном состоянии при комнатной температуре и сохранении хорошей свариваемости и коррозионной стойкости. 2 з.п. ф-лы, 2 табл., 4 пр.

RU 2 576 286 C2

RU 2 576 286 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2014119988/02, 19.05.2014**

(24) Effective date for property rights:
19.05.2014

Priority:

(22) Date of filing: **19.05.2014**

(43) Application published: **27.11.2015** Bull. № 33

(45) Date of publication: **27.02.2016** Bull. № 6

Mail address:

105005, Moskva, ul. Radio, 17, FGUP "VIAM"

(72) Inventor(s):

**Kablov Evgenij Nikolaevich (RU),
Antipov Vladislav Valer'evich (RU),
Vakhromov Roman Olegovich (RU),
Rjabov Dmitrij Konstantinovich (RU),
Ivanova Anna Olegovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe
predpriyatje "Vserossijskij nauchno-
issledovatel'skij institut aviatsionnykh
materialov" (FGUP "VIAM") (RU)**

(54) **ALUMINIUM-BASED ALLOY**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: proposed aluminium-based alloy comprises the following components in wt %: magnesium - 5.0-5.8, scandium - 0.15-0.28, nickel - 0.02-0.7, zirconium - 0.05-0.2, manganese - 0.2-1.0, beryllium - 0.0001-0.005, indium - up to 0.005, iron - 0.02-0.3, at least one of the elements of the group

including silver, copper, zinc - 0.01-0.8, at least one of the elements from the group containing vanadium, chromium, titanium - 0.01-0.12, boron, carbon - 0.0001-0.08, aluminium making the rest.

EFFECT: higher short-term hardness, higher yield point, strength and elongation at the room temperature.
3 cl, 2 tbl, 4 ex

RU 2 576 286 C 2

RU 2 576 286 C 2

Изобретение относится к области цветной металлургии, в частности к термически неупрочняемым алюминиевым сплавам системы алюминий - магний, используемых в качестве конструкционных материалов для средненагруженных элементов силовых конструкций, в том числе сварных, ракетно-космической техники и транспортного машиностроения, кратковременно работающих при температуре до 100-150°С.

Среди данной группы сплавов широкое применение получил сплав АМг6 (ГОСТ 4784-97), имеющий следующий состав, мас. %:

10	магний	5,8-6,8
	марганец	0,5-0,8
	титан	0,02-0,1
	бериллий	0,0001-0,005
	алюминий	остальное

Данный сплав используется для изготовления изделий ракетно-космической техники. Он отличается высокой коррозионной стойкостью, малым коэффициентом разупрочнения сварных соединений, однако имеет невысокий уровень механических свойств, в особенности в отожженном состоянии. Повышение уровня механических свойств данного сплава возможно с помощью холодной пластической деформации, однако в таком виде материал может ограничено применяться ввиду чрезвычайно низкой коррозионной стойкости. Известен термически неупрочняемый сплав, предназначенный для изготовления плит и листов с повышенными характеристиками ударной вязкости, следующего состава, мас. %:

25	магний	5,1-6,5
	марганец	0,4-1,2
	цинк	0,45-1,5
	цирконий	до 0,2
	хром	до 0,3
	титан	до 0,2
	железо	до 0,5
	кремний	до 0,4
30	медь	0,002-0,25
	кальций	до 0,01
	бериллий	до 0,01
	по крайней мере, один элемент из группы, содержащей бор, углерод	каждого до 0,06
	по крайней мере, один элемент из группы, содержащей висмут, свинец, олово	каждого до 0,1
35	скандий, серебро, литий	каждого до 0,5
	ванадий, церий, иттрий	каждого до 0,25
	по крайней мере, один элемент из группы, содержащей никель и кобальт	каждого до 0,25
	алюминий и примеси	остальное,

при этом суммарное содержание магния и цинка составляет 5,7-7,3 мас. %, а суммарное содержание железа, кобальта и/или никеля - не более чем 0,7 мас. % (RU 2431692 C1, 20.10.2011).

Недостатком данного сплава является сниженная работоспособность при высоких температурах и повышенные характеристики ползучести вследствие наличия в составе легкоплавких элементов (олово, висмут и пр.). Наиболее близким аналогом предложенного сплава является термически неупрочняемый сплав (RU 2184165 C2, 27.06.2002), который имеет следующий состав, мас. %:

магний	4,6-7,0
--------	---------

	цирконий	0,08-0,20
	скандий	0,1-0,30
	бериллий	0,0002-0,005
	марганец	0,2-0,5
5	титан	0,01-0,07
	железо	0,05-0,30
	по крайней мере, один элемент из группы, содержащей	
	кобальт	0,01-0,25
	никель	0,01-0,25
	алюминий	остальное

10 Из-за повышенного содержания магния (до 7 мас.%) сплав обладает пониженной технологичностью, что связано с наклепом при холодной деформации, кроме того, сплав обладает работоспособностью лишь до температуры 85°C.

15 Задачей изобретения является разработка термически неупрочняемого свариваемого сплава на основе алюминия для средне- и высоконагруженных элементов конструкций ракетной техники и транспортного машиностроения, в том числе для сварных конструкций.

20 Техническим результатом изобретения является повышение характеристики кратковременной прочности неупрочняемого сплава при температуре до 150°C с обеспечением высоких значений предела текучести, прочности и относительного удлинения в отожженном состоянии при комнатной температуре, при сохранении хорошей свариваемости и коррозионной стойкости.

25 Технический результат достигается за счет того, что предложен сплав на основе алюминия, включающий магний, скандий, никель, цирконий, марганец, бериллий и железо, при этом он дополнительно содержит, по крайней мере, один элемент из группы, содержащей серебро, медь, цинк, и, по крайней мере, один элемент из группы, содержащей ванадий, хром, титан, бор, углерод, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

	магний	5,0-5,8
	скандий	0,15-0,28
30	никель	0,02-0,7
	цирконий	0,05-0,2
	марганец	0,2-1,0
	бериллий	0,0001-0,005
	индий	до 0,005
	железо	0,02-0,3
35	по крайней мере, один элемент из группы, содержащей	
	серебро, медь, цинк	0,01-0,8
	по крайней мере, один элемент из группы, содержащей	
	ванадий, хром, титан	0,01-0,12
	бор, углерод	0,0001-0,05
	алюминий	остальное

40 Для обеспечения повышенного значения относительного удлинения желательно, чтобы суммарное содержание в сплаве железа и никеля составляло не более 0,4 мас. %.

Для получения максимального эффекта повышения кратковременной прочности желательно, чтобы соотношение массового содержания никеля к массовому содержанию железа составляло 0,8-1,5.

45 Оптимизация содержания магния в составе позволяет обеспечить достаточное твердорастворное упрочнение при сохранении удовлетворительной технологической пластичности при холодной обработке давлением. Совместное легирование скандием и цирконием позволяет обеспечить мелкозернистую структуру слитка за счет хороших

модифицирующих свойств, а в готовом сплаве мелкозернистая структура обеспечивается за счет образования наноразмерных фаз типа Al_3X , где X - скандий и/или цирконий, обладающих сферической формой и образующих эффективные препятствия для движения дислокаций и развития пластической деформации. Легирование в том числе элементами из группы: ванадий, хром, титан, углерод и бор позволяет добиться дополнительного эффекта модифицирования слитка за счет образования в процессе литья мелкодисперсных карбидов и боридов, обладающих хорошим сродством с алюминиевой матрицей и являющихся дополнительными центрами зарождения зерен. Легирование элементами из группы: серебро, цинк, медь обеспечивает твердорастворное упрочнение сплава, при этом не снижая пластичность и коррозионную стойкость за счет введения их в состав сплава в концентрациях, находящихся на уровне верхнего предела максимальной растворимости в алюминии, что позволяет ограничить максимальное содержание магния при сохранении высоких механических характеристик и обеспечить отсутствие выделений диффузионно подвижных фаз с алюминием. Микролегирование индием обеспечивает укрепление межзеренных границ и препятствует неблагоприятному выделению фазы алюминия с магнием в процессе отжига, что повышает стойкость к расслаивающей коррозии и сопротивление общей коррозии. Легирование никелем и железом обеспечивает укрепление границ зерен в сплавах нерастворимыми фазами, стойкими к коагуляции при воздействии эксплуатационных нагрузок и температур, при этом легирование никелем в малых количествах не приводит к ухудшению характеристик свариваемости и коррозионной стойкости. При суммарном содержании железа и никеля не более 0,4 мас.% за счет оптимального содержания интерметаллидных фаз материал обладает повышенной характеристикой относительного удлинения, что косвенно свидетельствует о высокой пластичности, кроме того, максимальный эффект повышения кратковременной прочности достигается при соотношении никеля к железу в пределах 0,8-1,5, что связано с оптимальным соотношением железистой и никелевой фазы, образующихся на границах в процессе литья.

Примеры осуществления.

Методом полунепрерывного литья были отлиты круглые слитки диаметром 110 мм, химический состав которых представлен в таблице 1.

После гомогенизации и обточка слитков проводили ковку слитков на плоскую сутунку при температуре 420-460°C, затем проводили горячую прокатку сутунки до толщины 6 мм, после чего горячекатаные заготовки прокатывались в холодную на стане типа «Дуо» до толщины 2,5 мм. После прокатки листы отжигались при температуре 280-340°C, затем проводили правку растяжением со степенью остаточной деформации 0,5-1,5% для придания необходимой плоскостности.

Из листов были вырезаны образцы для исследований механических свойств при растяжении при комнатной температуре и температуре 150°C. Испытания проводились на плоских образцах по ГОСТ 1497-84. Испытания на расслаивающую коррозию проводились на образцах размером 60×40 мм в соответствии с ГОСТ 9.904-82 в растворе 4 в течение 7 суток при температуре 18-25°C. Заготовки от листов сваривались методом автоматической аргоно-дуговой электросварки с использованием присадочной проволоки из сплава АМгб. Результаты механических и коррозионных испытаний приведены в таблице 2.

Как видно из сравнения механических характеристик листов, представленных в таблице 2, предлагаемый сплав в сравнении с прототипом обеспечивает повышенные

при растяжении на 5-10% предел прочности σ_B и предел текучести $\sigma_{0,2}$, а также повышенное в среднем на 15-20% относительное удлинение δ . Кроме того, предлагаемый состав обеспечивает удовлетворительный уровень коррозионной стойкости (склонность к расслаивающей коррозии составила 3-4 балла) и свариваемости (коэффициент разупрочнения сварного соед. $\sigma_{B \text{ св. соед}}/\sigma_B$ составил 0,87-0,92), что позволяет использовать данный сплав во всеклиматических условиях с применением традиционных способов защиты алюминиевых сплавов (нанесение покрытий и пр.).

Наиболее значимым преимуществом сплава является его работоспособность при температурах до 150°C, что подтверждается повышенной кратковременной прочностью при растяжении (на 10-15% выше, чем у прототипа).

Таблица 1.

Сплав	Состав сплава	Al	Mg	Sc	Zr	Mn	Co	Cr	Ti	Fe	Ni	Cu	Zn	In	Be	Ag	B
Предлагаемый	1	Основа	5,7	0,16	0,2	0,3	-	0,12	0,02	0,08	0,12	-	-	-	0,002	0,12	0,002
Предлагаемый	2	Основа	5,0	0,27	0,04	0,5	-	0,07	0,06	0,08	0,02	0,2	0,25	0,0005	0,0005	-	-
Предлагаемый	3	Основа	5,7	0,26	0,17	0,4	-	0,03	0,02	0,3	0,35	0,2	-	0,005	0,0007	-	0,007
Предлагаемый	4	Основа	5,8	0,17	0,15	1,0	-	-	0,05	0,15	0,21	0,2	0,3	0,0002	0,005	-	-
Прототип	A	Основа	6,3	0,15	0,1	0,2	0,2	-	0,05	0,25	0,15	-	-	-	0,005	-	-
AMгб	B	Основа	6,0	-	-	0,6	-	-	0,04	0,18	-	-	-	-	0,002	-	-

Таблица 2.

Состав сплава	Механические свойства при 20°C			Кратковременная прочность при 150°C σ_B^{150} , МПа	Коэффициент разупрочнения сварного соед. $\sigma_{B \text{ св. соед}}/\sigma_B$	Склонность к расслаивающей коррозии (РСК), балл
	Предел прочности σ_B , МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение δ , %			
1	459	354	22	360	0,91	3 – 4
2	453	351	18	355	0,89	3 – 4
3	455	364	16	365	0,87	3
4	468	376	20	365	0,92	3
A	431	314	14	305	0,86	4
B	323	172	17	240	0,93	3

Формула изобретения

1. Термически неупрочняемый сплав на основе алюминия, включающий магний, скандий, никель, цирконий, марганец, бериллий и железо, отличающийся тем, что он дополнительно содержит индий, по крайней мере, один элемент из группы, содержащей серебро, медь, цинк, и, по крайней мере, один элемент из группы, содержащей ванадий, хром, титан, бор, углерод, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

магний	5,0-5,8
скандий	0,15-0,28
никель	0,02-0,7
цирконий	0,05-0,2
марганец	0,2-1,0
бериллий	0,0001-0,005
индий	до 0,005
железо	0,02-0,3
по крайней мере, один элемент из группы, содержащей серебро, медь, цинк	0,01-0,8

по крайней мере, один элемент из группы, содержащей	
ванадий, хром, титан	0,01-0,12
бор, углерод	0,0001-0,05
алюминий	остальное.

5 2. Сплав по п. 1, отличающийся тем, что суммарное содержание в нем железа и никеля составляет не более 0,4 мас. %.

3. Сплав по п. 1 или 2, отличающийся тем, что соотношение массового содержания никеля к массовому содержанию железа составляет 0,8-1,5.

10

15

20

25

30

35

40

45