

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014140018/02, 02.10.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
02.10.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.10.2014

(45) Опубликовано: 27.12.2015 Бюл. № 36

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: CN 102888576 B, 18.12.2013. US 5916385 A, 29.06.1999. KR 2005073316 A, 13.07.2005. RU 2238998 C1, 27.10.2004. RU 2235799 C1, 10.09.2004.

Адрес для переписки:

450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12, УГАТУ, отдел интеллектуальной собственности, Ефремова Вера Павловна

(72) Автор(ы):

Кайбышев Рустам Оскарович (RU),  
Жемчужникова Дарья Александровна (RU),  
Тагиров Дамир Вагизович (RU),  
Газизов Марат Разифович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уфимский государственный авиационный технический университет" (RU),  
Открытое акционерное общество  
"УФИМСКОЕ МОТОРОСТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ" (RU)

## (54) СПОСОБ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОБЪЕМНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ AL-CU-MG СПЛАВОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, в частности к термически упрочняемым сплавам на основе алюминия, а именно к способу деформационно-термической обработки высокопрочных сплавов системы Al-Cu-Mg, используемых в качестве конструкционных материалов для деталей авиакосмической техники и транспортного машиностроения. Способ включает гомогенизационный отжиг отлитых слитков при температуре 450-525°C в течение 2-24 ч, обработку на твердый раствор при температуре 510-530°C в течение 1-2 ч, закалку в воду, последующую холодную деформацию и искусственное старение в интервале температур 160-195°C в течение 2-3 ч, причем после перед обработкой на твердый раствор осуществляют горячую деформацию заготовок методом

равноканального углового прессования с истинной степенью деформации  $\varepsilon$  1-2 при температуре 340-450°C, а холодную деформацию проводят до суммарной степени 1-60%. После гомогенизационного отжига перед равноканальным угловым прессованием можно проводить охлаждение заготовок внутри выключенной печи до температуры 20-100°C, продолжительностью не более 12 ч. Способ направлен на повышение механических свойств полуфабрикатов сплава указанной системы с сохранением пластичности на уровне исходного материала, что позволяет повысить надежность и эффективность изделий авиакосмической техники и транспортного машиностроения, изготовленных из полученных полуфабрикатов. 3 з.п. ф-лы, 2 пр., 1 табл.

C1  
2 571 993  
RUR U  
2 571 993  
C 1

FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

## (12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2014140018/02, 02.10.2014

(24) Effective date for property rights:  
02.10.2014

Priority:

(22) Date of filing: 02.10.2014

(45) Date of publication: 27.12.2015 Bull. № 36

Mail address:

450000, g. Ufa, ul. K. Markska, 12, UGATU, otdel  
intellektual'noj sobstvennosti, Efremova Vera  
Pavlovna

(72) Inventor(s):

Kajbyshev Rustam Oskarovich (RU),  
Zhemchuzhnikova Dar'ja Aleksandrovna (RU),  
Tagirov Damir Vagizovich (RU),  
Gazizov Marat Razifovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovanija "Ufimskij  
gosudarstvennyj aviationsionnyj tekhnicheskij  
universitet" (RU),  
Otkrytoe aktsionernoje obshchestvo  
"UFIMSKOE MOTOROSTROITEL'NOE PRO  
IZVODSTVENNOE OB"EDINENIE" (RU)(54) METHOD OF DEFORMATION-HEAT TREATMENT OF VOLUME SEMI-FINISHED PRODUCTS OUT  
OF AL-CU-MG ALLOYS

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to heat strengthened alloys based on aluminium, namely to the method of deformation-heat treatment of high strength alloys of Al-Cu-Mg system, used as structural material for part of aerospace equipment and transport machine building. The method includes homogenizing annealing of the cast ingots at 450-525°C for 2-24 h, solution treatment at 510-530°C for 1-2 h, water quenching, further cold-working and artificial ageing in temperature range 160-195°C for 2-3 h, wherein prior to solution treatment the hot-working of the blanks by equal channel angular pressing with actual deformation degree  $\epsilon$  1-2

at 340-450°C, and cold-working is performed to total degree 1-60%. After the homogenizing annealing prior to the equal channel angular pressing the blanks can be cooled inside the switched off furnace to 20-100°C for maximum 12 h.

EFFECT: improved mechanical properties of the semi-finished products of the alloy of said system keeping plasticity at level of the initial material, thus increasing reliability and efficiency of items for aerospace equipment and transport machine building, manufactured from the produced semi-finished materials.

4 cl, 2 ex, 1 tbl

C1  
993 1962 571 RU

R U 2 5 7 1 9 9 3 C 1

Изобретение относится к области металлургии термически упрочняемых сплавов на основе алюминия, а именно к способу деформационно-термической обработки высокопрочных сплавов системы Al-Cu-Mg с добавками таких элементов, как марганец, серебро, цирконий или титан, используемых в качестве конструкционных материалов для деталей авиакосмической техники и транспортного машиностроения.

Высокие требования производителей и разработчиков к различным видам конструкций, изготавливаемых из указанных сплавов, с целью повысить их рабочие характеристики, снизить затраты на эксплуатацию и ремонт, приводят к поиску дополнительных возможностей улучшения свойств используемых материалов. В частности, для Al-Cu-Mg сплавов одним из наиболее эффективных способов решения поставленной задачи является сочетание процессов пластической деформации и термической обработки в одном технологическом процессе. На данный момент существует большое количество работ, посвященных изучению процессов, происходящих при таких видах обработок, и направленных на повышение прочностных свойств материалов. Однако для высокопрочных сплавов, используемых при изготовлении ответственных деталей авиакосмической промышленности, наиболее актуальной задачей является повышение пластичности, что значительно улучшает сопротивление хрупкому разрушению и увеличивает надежность и работоспособность всей конструкции.

Известен способ термической обработки сплавов на основе алюминия, в том числе содержащих магний, кремний, медь, цинк, используемых при изготовлении катаных, прессованных, кованых полуфабрикатов на металлургических заводах и изделий в виде обшивки и внутреннего силового набора фюзеляжа самолетов на машиностроительных заводах (Патент РФ №2235799, МПК C22F 1/04, опубл. 10.09.2004). Способ включает в себя закалку и трехступенчатое искусственное старение, проводимое на первой и третьей ступенях при температуре 79-165°C. После закалки проводят пластическую деформацию со степенью 0,5-45% при температуре 20-75°C и выдержку не менее 2 ч при температуре не выше 75°C, а искусственное старение на второй ступени проводят при температуре 150-240°C. Для сплава на основе алюминия системы Al-Mg-Si-Cu искусственное старение на первой ступени проводят при температуре 120-165°C. Для сплава на основе алюминия системы Al-Mg-Li-Cu искусственное старение на третьей ступени проводят при температуре 100-165°C.

В патенте РФ №2238998 (МПК C22F 1/04, опубл. 27.10.2004) предложен способ изготовления прессованных полуфабрикатов из термически упрочняемых сплавов на основе алюминия, в том числе системы Al-Mg-Si-Cu, включающий в себя отливку слитков, горячее прессование, термическую обработку на твердый раствор, закалку и старение, при этом после отливки слитки подвергают отжигу при температуре 320-395°C, горячее прессование проводят при температуре 430-565°C в две стадии, термическую обработку на твердый раствор осуществляют при температуре 485-565°C, а закалку - со скоростью охлаждения 10-1000°C/c до температуры 20-40°C. Первую стадию горячего прессования проводят на заготовку с диаметром, по крайней мере в 2-8 раз меньшим по сравнению с диаметром слитка, а вторую стадию горячего прессования - на конечный полуфабрикат с суммарной степенью деформации не менее 82%.

Обработка сплава по известным способам обеспечивает высокую коррозионную стойкость и прочностные свойства полуфабрикатов сплава, однако не обеспечивает достаточную вязкость разрушения. Кроме того, данные способы отличаются большим количеством операций, требующих дополнительных экономических затрат, таких как

многочисленные нагревы заготовок, длительные выдержки при заданных температурах и т.д.

Наиболее близкий к предложенному изобретению способ, принятый за прототип, описан в патенте США №5916385 (МПК C22C 21/00, опубл. 29.06.1999). Способ

5 получения прессованных полуфабрикатов из алюминиевого сплава системы Al-Cu включает гомогенизацию по режиму 482-565°C в течение 1-24 ч, обработку на твердый раствор - выдержку при температуре 448-555°C в течение 0,5-2 ч и закалку в воду, далее следует холодная деформация со степенью 5-40%, либо вытяжка со степенью 1-3% и искусственное старение по режиму 160-193°C, 2-12 ч.

10 Однако данный способ обработки не обеспечивает должного уровня механических свойств, предъявляемых к сплавам для изготовления ответственных деталей авиакосмической техники и транспортного машиностроения.

15 Технической задачей изобретения является разработка способа термомеханической обработки полуфабрикатов термоупрочняемых деформируемых алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Mg, повышающего прочностные свойства и улучшающего сопротивление хрупкому разрушению материала.

Для достижения поставленной задачи предложен способ обработки полуфабрикатов из сплава на основе алюминия, состоящий из следующих операций:

- отливка слитков;

20 - гомогенизационный отжиг слитков при температурах 450-525°C в течение 2-24 ч. Он обеспечивает растворение грубых включений и равномерное распределение легирующих элементов по объему.

После гомогенизационного отжига можно проводить охлаждение заготовок внутри печи до температуры 20-100°C продолжительностью не более 12 ч.;

25 - равноканальное угловое (РКУ) прессование при температуре 380-450°C в 1-2 прохода прессования до истинной степени деформации  $\epsilon \sim 1\dots 2$  с последующим охлаждением заготовок с температурой деформации на воздухе. Данная операция проводится с целью устранения дефектов литья и формирования деформированной структуры, приводящей к рекристаллизации сплава при последующих нагревах;

30 - обработка полученных заготовок на твердый раствор при температуре 510-530°C в течение 1-2 ч и последующая закалка в воду. На данной ступени обработки происходит формирование пересыщенного твердого раствора и рекристаллизация сплава;

35 - холодная деформация заготовок при температуре 20-40°C до суммарной степени 1-60% одним из способов: ковка, прокатка, РКУ прессование, экструзия. При данной операции происходит распад твердого раствора, сформировавшегося на предыдущей стадии обработки, с образованием зон Гинье-Престона и дисперсных частиц метастабильных фаз, повышение плотности дислокаций в объеме материала с увеличением степени деформации, а также формируется деформационная структура, состоящая из мало- и многоугловых границ, полос сдвига и т.д.;

40 - искусственное старение сплава в интервале температур 160-195°C не более 3 ч, приводящее к изменению морфологии частиц упрочняющих фаз, изменению их размеров и расположения. Следует также отметить, что время выдержки на этом этапе обработки зависит от степени деформации материала на предыдущей ступени: чем выше степень деформации, тем меньше время выдержки при старении и наоборот, чем ниже степень суммарной деформации, тем больше время выдержки.

В результате предложенной обработки обеспечивается получение полуфабрикатов термоупрочняемых Al-Cu-Mg сплавов с повышенным уровнем механических свойств при сохранении высоких значений пластичности. Более высокая степень холодной

деформации по сравнению с прототипом обеспечивает равномерную проработку структуры и дополнительный упрочняющий эффект.

#### Примеры осуществления

Пример 1. Из литого и гомогенизированного Al сплава с содержанием 4,35% Cu,

5 0,45% Mg (химический состав указан в массовых процентах) вырезались заготовки для последующей термомеханической обработки. Гомогенизационный отжиг осуществляли при температуре  $510\pm5^{\circ}\text{C}$  в течение 24 ч с последующим охлаждением отливок внутри выключенной печи до  $\sim 100^{\circ}\text{C}$  в течение 10 ч. Далее заготовки подвергались РКУ прессованию при  $400\pm10^{\circ}\text{C}$  в 2 прохода, закалке в воду с температурой  $520^{\circ}\text{C}$ , выдержке 10 1 ч и прокатке при комнатной температуре до суммарной степени деформации 40%. Затем следовало искусственное старение в течение 2 ч при температуре  $190^{\circ}\text{C}$ .

Пример 2. Отличающийся от примера 1 тем, что суммарная степень деформации при прокатке составила 60%, а искусственное старение происходило по режиму  $190^{\circ}\text{C}$ , 1 ч.

Из полученных полуфабрикатов были вырезаны образцы для испытания

15 механических свойств при комнатной температуре, образцы для прокатанных полуфабрикатов вырезались вдоль направления прокатки. В таблице 1 приведены результаты испытаний, а также для сравнения представлены свойства сплава после гомогенизации, закалки в воду с  $520^{\circ}\text{C}$ , выдержки 1 ч и старения при  $190^{\circ}\text{C}$  в течение 1 ч.

20 Таблица 1. Механические свойства полуфабрикатов из Al-Cu-Mg сплава (скорость деформирования  $-5,6\times10^{-3} \text{ с}^{-1}$ ).

Способ термообработки	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение до разрушения, %	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup>
После гомогенизационного отжига	195	335	14	30

После гомогенизационного отжига, закалки и старения	395	435	12	26
Пример 1	505	545	13	23
Пример 2	500	535	12	22

Как видно из полученных данных, предлагаемый способ деформационно-термической обработки позволяет повысить механические свойства полуфабрикатов сплава указанной системы с сохранением пластичности на уровне исходного материала. Применение полуфабрикатов, полученных в результате данной обработки, для изготовления изделий авиакосмической техники и транспортного машиностроения позволит повысить их надежность и эффективность.

#### Формула изобретения

1. Способ деформационно-термической обработки объемных полуфабрикатов из Al-Cu-Mg сплавов, включающий гомогенизационный отжиг отлитых слитков при температуре  $450\text{-}525^{\circ}\text{C}$  в течение 2-24 ч, обработку на твердый раствор при температуре

510-530°C в течение 1-2 ч, закалку в воду, последующую холодную деформацию и искусственное старение в интервале температур 160-195°C в течение 2-3 ч, отличающийся тем, что перед обработкой на твердый раствор осуществляют горячую деформацию заготовок методом равноканального углового прессования с истинной степенью

5 деформации  $\epsilon$  1-2, а холодную деформацию проводят до суммарной степени 1-60%.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что после гомогенизационного отжига перед равноканальным угловым прессованием осуществляют охлаждение заготовок внутри выключенной печи до температуры 20-100°C, продолжительностью не более 12 ч.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что равноканальное угловое прессование

10 осуществляют при температуре 380-450°C в 1-2 прохода прессования с последующим охлаждением заготовок с температурой деформации на воздухе.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что холодную деформацию осуществляют прокаткой, ковкой, равноканальным угловым прессованием или экструзией.

15

20

25

30

35

40

45