



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
C22F 1/053 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2015143662, 12.03.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.03.2014

Дата регистрации:
26.09.2018

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
14.03.2013 US 13/827,918

(43) Дата публикации заявки: 26.04.2017 Бюл. № 12

(45) Опубликовано: 26.09.2018 Бюл. № 27

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 14.10.2015

(86) Заявка РСТ:
US 2014/024576 (12.03.2014)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2014/159647 (02.10.2014)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б.Спасская, 25, строение 3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

ЯНЬ Синьянь (US),
ЧЖАН Вэньпин (US),
КЛАРК Дана (US),
БРАЙАНТ Джеймс Дэниел (US),
ЛИН Джен (US)

(73) Патентообладатель(и):

АЛКОА ИНК. (US)

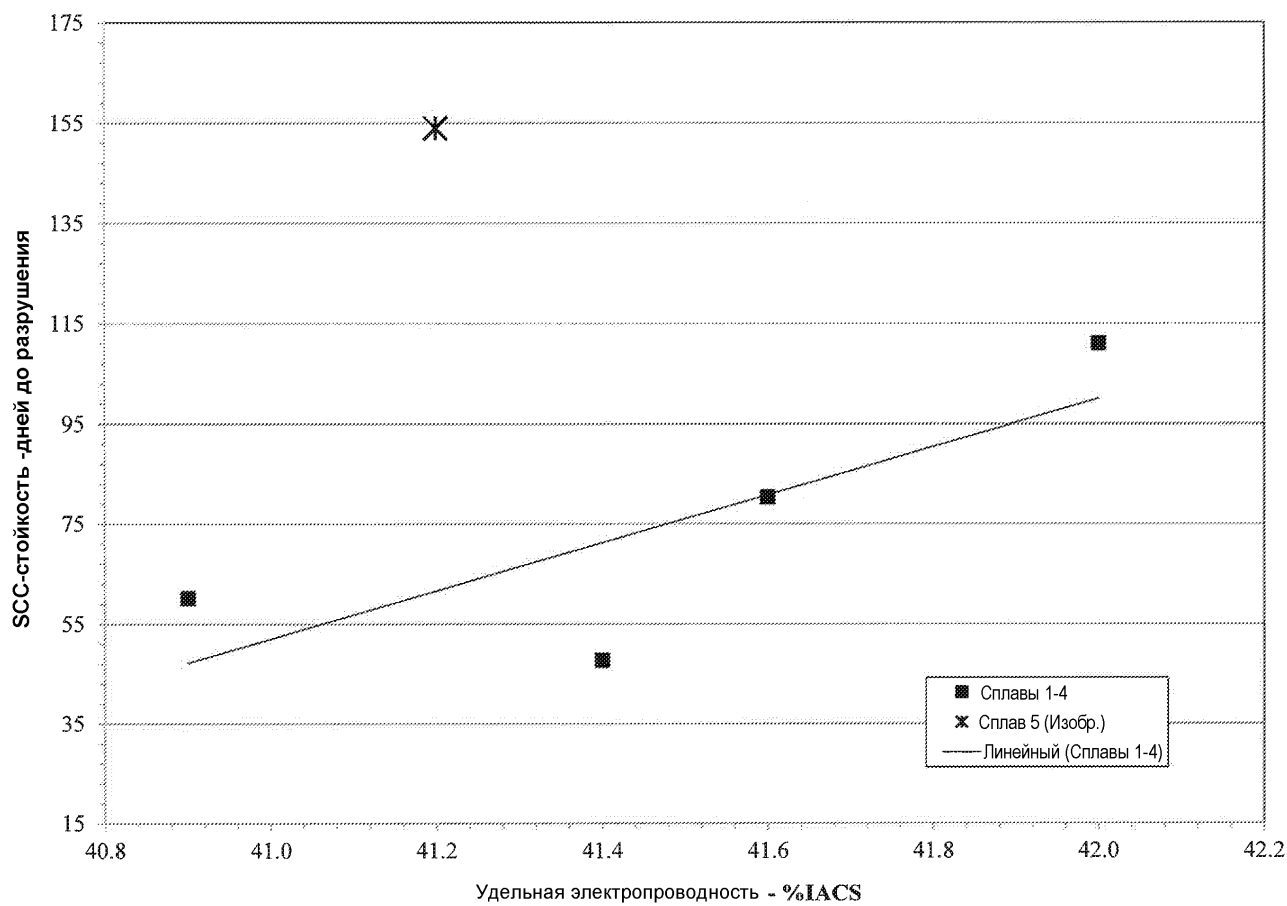
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: WO 9524514 A1, 14.09.1995. US
2009269608 A1, 29.10.2009. RU 2133295 C1,
20.07.1999. RU 2353693 C2, 27.04.2009. RU
2473710 C2, 27.01.2013.

(54) СПОСОБЫ ИСКУССТВЕННОГО СТАРЕНИЯ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЙ-ЦИНК-МАГНИЙ И ИЗДЕЛИЯ НА ИХ ОСНОВЕ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу термообработки литейных и деформируемых алюминий-цинк-магниевого сплавов (варианты). Способ включает литье сплава, термообработку на твердый раствор с последующим первым старением алюминиевого сплава при первой температуре от примерно 310°F до 530°F и в течение времени первого старения от 1 минуты до 6 часов, а затем вторым старением

алюминиевого сплава при второй температуре в течение времени второго старения, составляющего по меньшей мере 30 минут, со второй температурой, более низкой, чем первая температура. Обеспечивается повышение коррозионной стойкости и стойкости к росту усталостных трещин. 3 н. и 48 з.п. ф-лы, 6 пр., 32 табл., 1 ил.



ФИГ. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
C22F 1/053 (2006.01)

(21)(22) Application: **2015143662, 12.03.2014**

(24) Effective date for property rights:
12.03.2014

Registration date:
26.09.2018

Priority:

(30) Convention priority:
14.03.2013 US 13/827,918

(43) Application published: **26.04.2017** Bull. № 12

(45) Date of publication: **26.09.2018** Bull. № 27

(85) Commencement of national phase: **14.10.2015**

(86) PCT application:
US 2014/024576 (12.03.2014)

(87) PCT publication:
WO 2014/159647 (02.10.2014)

Mail address:
**129090, Moskva, ul. B.Spaskaya, 25, stroenie 3,
OOO "Yuridicheskaya firma Gorodisskij i
Partnery"**

(72) Inventor(s):

**YAN Sinyan (US),
CHZHAN Venpin (US),
KLARK Dana (US),
BRAJANT Dzhejms Deniel (US),
LIN Dzhen (US)**

(73) Proprietor(s):

ALKOA INK. (US)

(54) **METHODS FOR ARTIFICIAL AGING OF ALUMINUM-ZINC-MAGNESIUM ALLOYS AND PRODUCTS BASED ON SAME**

(57) Abstract:

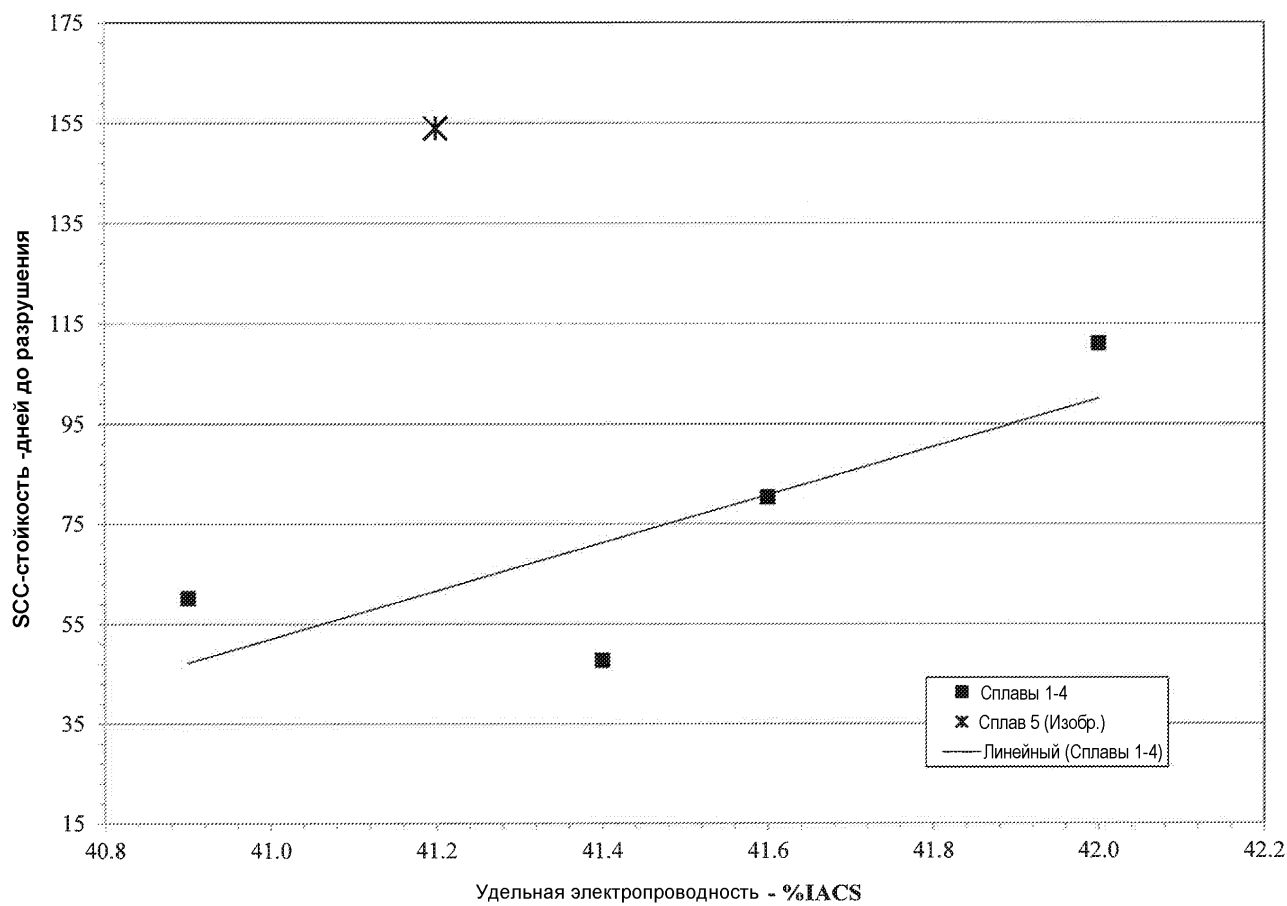
FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to a method for heat treatment of casting and deformable aluminum-zinc-magnesium alloys (variants). Method comprises alloy casting, a solution heat treatment followed by first aging of the aluminum alloy at a first temperature of from about 310 °F to 530 °F and during the first aging

from 1 minute to 6 hours, and, then, second aging of the aluminum alloy at a second temperature for a second aging time of at least 30 minutes, with a second temperature lower than the first temperature.

EFFECT: provides increased corrosion resistance and resistance to fatigue crack growth.

51 cl, 6 ex, 32 tbl, 1 dwg



ФИГ. 1

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[001] Алюминиевые сплавы пригодны во множестве применений. Однако, улучшение одного свойства алюминиевого сплава без ухудшения другого свойства труднодостижимо. Например, сложно повысить прочность сплава без снижения вязкости сплава. Другие представляющие интерес свойства для алюминиевых сплавов, если назвать два из них, включают в себя коррозионную стойкость и стойкость к росту усталостных трещин.

СУЩНОСТЬ РАСКРЫТИЯ

[002] Настоящая патентная заявка в широком смысле относится к усовершенствованным способам искусственного старения алюминиевых сплавов, имеющих цинк и магний, и изделиям на их основе. Как использовано здесь, алюминиевые сплавы, имеющие цинк и магний, представляют собой алюминиевые сплавы, где по меньшей мере один из цинка и магния является преобладающим легирующим компонентом, исключая алюминий, и любой из таких алюминиевых сплавов представляет собой литейные сплавы (т.е. сплавы 5xx.x или 7xx.x) или деформируемые сплавы (т.е. сплавы 5xxx или 7xxx). Алюминиевые сплавы, имеющие цинк, как правило, содержат от 2,5 до 12 мас.% Zn, от 1,0 до 5,0 мас.% Mg и могут включать в себя до 3,0 мас.% Cu. В одном варианте осуществления алюминиевый сплав содержит 4,0-5,0 мас.% Zn и 1,0-2,5 мас.% Mg.

[003] Способ, как правило, включает в себя:

- (а) литье алюминиевого сплава, имеющего 2,5-12 мас.% Zn и 1,0-5,0 мас.% Mg, затем;
- (b) необязательно, горячую обработку давлением или холодную обработку давлением алюминиевого сплава;
- (с) после этапа (а) литья и необязательного этапа (b), термообработку на твердый раствор, а затем закалку алюминиевого сплава;
- (d) после этапа (с), необязательно, обработку давлением алюминиевого сплава; и
- (е) после этапа (с) и необязательного этапа (d), искусственное старение алюминиевого сплава, причем этап (е) искусственного старения содержит:
 - (i) первое старение алюминиевого сплава при первой температуре от примерно 310°F (или примерно 330°F) до 530°F и в течение времени первого старения от одной минуты до 6 часов;
 - (ii) второе старение алюминиевого сплава при второй температуре в течение второго времени старения по меньшей мере 30 минут, причем вторая температура ниже, чем первая температура.

В способах может быть реализовано улучшенное сочетание свойств и/или улучшенная производительность, по сравнению с традиционными процессами старения.

[004] Этап (а) литья может представлять собой любой подходящий этап литья для деформируемого алюминиевого сплава или литейного алюминиевого сплава. Деформируемые алюминиевые сплавы могут быть отлиты, например, среди прочих способов, путем литья в кристаллизатор с прямым охлаждением и/или непрерывного литья (например, путем параллельного двухленточного литья). Литейные алюминиевые сплавы отливают по форме и могут быть отлиты посредством любого подходящего способа литья по форме, включая кокильное литье, литье под высоким давлением, литье в песчаную форму, литье по выплавляемой модели, литье под давлением и полутвердое литье.

[005] После этапа (а) литья способ может включать в себя (b), необязательно, горячую обработку давлением и/или холодную обработку давлением отлитого алюминиевого сплава. Когда алюминиевый сплав представляет собой деформируемый алюминиевый

сплав, его, как правило, подвергают горячей обработке давлением, и он может быть подвергнут холодной обработке давлением после этапа литья. Этот необязательный этап горячей обработки давлением может включать в себя прокатку, прессование и/или ковку. Необязательный этап холодной обработки давлением может включать в себя обработку металла формованием выдавливанием, волочением и другими методами холодной обработки давлением. Этот необязательный этап (b) не завершается, когда алюминиевый сплав представляет собой отлитый по форме алюминиевый сплав. Перед любым этапом горячей обработки может протекать этап гомогенизации (например, для деформируемых алюминиевых сплавов).

[006] После необязательного этапа (b) горячей обработки давлением и/или холодной обработки давлением способ включает в себя (c) термообработку на твердый раствор, а затем закалку алюминиевого сплава. Термообработка на твердый раствор, а затем закалку и т.п., означает нагрев алюминиевого сплава до подходящей температуры, как правило, выше температуры растворения, выдерживание при этой температуре достаточно долго, для обеспечения попадания растворимых элементов в твердый раствор, и достаточно быстрое охлаждение для удержания элементов в твердом растворе. Термообработка на твердый раствор может включать в себя помещение алюминиевого сплава в подходящую нагревательную установку на подходящий период времени. Закалка (охлаждение) может быть выполнена любым подходящим образом и с помощью любой подходящей охлаждающей среды. В одном варианте осуществления закалка содержит приведение алюминиевого сплава в контакт с газом (например, воздушное охлаждение). В другом варианте осуществления закалка содержит приведение листа из алюминиевого сплава в контакт с жидкостью. В одном варианте осуществления жидкость является жидкостью на водной основе, такой как вода, или другим охлаждающим раствором на водной основе. В одном варианте осуществления жидкость представляет собой воду, и температура воды представляет собой примерно температуру окружающей среды. В другом варианте осуществления жидкость представляет собой воду, и температура воды представляет собой примерно температуру кипения. В другом варианте осуществления жидкость представляет собой масло. В одном варианте осуществления масло представляет собой масло на основе углеводов. В другом варианте осуществления масло является кремнийорганическим.

[007] После термообработки на твердый раствор, а затем этапа (c) закалки алюминиевого сплава способ может, необязательно, включать в себя (d) обработку заготовки из алюминиевого сплава, например, путем растягивания на 1-10% (например, для сглаживания и/или снятия напряжений) и/или вызывая высокую степень холодной обработки давлением (например, 25-90%), как предлагается в совместной публикации заявки на Патент США № 2012/0055888. Этот необязательный этап (d) может включать в себя горячую обработку давлением и/или холодную обработку давлением.

[008] После этапа (c) термообработки на твердый раствор, а затем закалки алюминиевого сплава и необязательного этапа (d) обработки, способ включает в себя искусственное старение алюминиевого сплава (e), причем этап (e) искусственного старения может включать в себя (i) первое старение алюминиевого сплава при первой температуре от примерно 330 до 530°F и в течение времени первого старения от одной минуты до 6 часов, и (ii) второе старение алюминиевого сплава при второй температуре в течение времени второго старения по меньшей мере 30 минут, причем вторая температура ниже, чем первая температура. После этапов первого и второго старения может быть завершён один или более дополнительных этапов старения. Перед упомянутым этапом первого старения никакие этапы искусственного старения не

завершаются.

[0009] Как было указано выше, этап первого старения, как правило, происходит при температуре первого старения и эта температура первого старения составляет, как правило, от 310°F (или 330°F) до 530°F. При более высоких уровнях цинка могут быть более пригодны меньшие температуры, а при более низких уровнях цинка могут быть более пригодны более высокие температуры. В одном варианте осуществления температура первого старения составляет по меньшей мере 350°F. В другом варианте осуществления температура первого старения составляет по меньшей мере 370°F. В еще одном варианте осуществления температура первого старения составляет по меньшей мере 390°F. В одном варианте осуществления температура первого старения составляет не более 460°F. В одном варианте осуществления температура первого старения составляет не более 420°F.

[0010] Продолжительность этапа первого старения составляет, как правило, от 1 минуты до 6 часов, и может быть связана с температурой первого старения. Например, более длительные этапы первого старения могут быть пригодны при более низких температурах, а более короткий этап первого старения может быть пригоден при более высоких температурах. в одном варианте осуществления время первого старения составляет не более 2-х часов. В другом варианте осуществления время первого старения составляет не более 1-го часа. В еще одном варианте осуществления время первого старения составляет не более 45 минут. В другом варианте осуществления время первого старения составляет не более 30 минут. В еще одном варианте осуществления время первого старения составляет не более 20 минут. В одном варианте осуществления время первого старения может составлять по меньшей мере 5 минут.

[0011] В одном варианте осуществления этап первого старения проводят в течение «1-30 минут при температуре примерно 400°F» или при почти эквивалентном режиме старения. Как должно учитываться специалистами в данной области техники, температуры и/или периоды времени старения могут быть отрегулированы на основе хорошо известных принципов и/или формул старения (например, с использованием закона Фика). Таким образом, специалисты в данной области техники могут повысить температуру старения, но уменьшить время старения, или наоборот, или лишь слегка изменить только один из этих параметров и все еще достичь того же результата, как при «1-30 минутах старения при температуре примерно 400°F». Количество технологий искусственного старения, которое может достигнуть того же результата, как при «1-30 минутах старения при температуре примерно 400°F», многочисленно, и поэтому все такие заменяемые технологии старения не перечислены здесь, хотя они находятся в пределах объема настоящего изобретения. Фразы «или практически эквивалентная температура и продолжительность искусственного старения» и «или практически эквивалентная технология» используют для охвата всех таких заменяемых технологий старения.

[0012] Как было указано выше, этап второго старения, как правило, происходит при второй температуре в течение времени второго старения по меньшей мере 30 минут, и вторая температура ниже, чем первая температура. В одном варианте осуществления температура второго старения на 5-150°F ниже, чем температура первого старения. В другом варианте осуществления температура второго старения на 10-100°F ниже, чем температура первого старения. В еще одном варианте осуществления температура второго старения на 10-75°F ниже, чем температура первого старения. В другом варианте осуществления температура второго старения на 20-50°F ниже, чем температура первого старения.

[0013] Как было указано выше, продолжительность этапа второго старения составляет по меньшей мере 30 минут. В одном варианте осуществления продолжительность этапа второго старения составляет по меньшей мере 1 час. В другом варианте осуществления, продолжительность этапа второго старения составляет по меньшей мере 2 часа. В еще одном варианте осуществления продолжительность этапа второго старения составляет по меньшей мере 3 часа. В одном варианте осуществления продолжительность этапа второго старения составляет не более 30 часов. В другом варианте осуществления продолжительность этапа второго старения составляет не более 20 часов. В другом варианте осуществления продолжительность этапа второго старения составляет не более 12 часов. В другом варианте осуществления продолжительность этапа второго старения составляет не более 10 часов. В другом варианте осуществления продолжительность этапа второго старения составляет не более 8 часов.

[0014] В одном варианте осуществления этап второго старения проводят в течение «2-8 часов при температуре примерно 360°F» или при практически эквивалентном режиме старения. Как должно учитываться специалистами в данной области техники, температуры и/или периоды времени старения могут быть отрегулированы на основе хорошо известных принципов и/или формул старения. Таким образом, специалисты в данной области техники могут повысить температуру старения, но понизить время старения, или наоборот, или лишь слегка изменить только один из этих параметров, и все еще достичь того же результата, как при «2-8 часах старения при температуре примерно 360°F». Количество технологий искусственного старения, которые могут достигнуть того же результата, как при «2-8 часах старения при температуре примерно 360°F», многочисленно, и поэтому все такие заменяемые технологии старения не перечислены здесь, хотя они находятся в пределах объема настоящего изобретения. Фразы «или практически эквивалентная температура и продолжительность искусственного старения» и «или практически эквивалентная технология» используются для охвата всех таких заменяемых технологий старения.

[0015] Способ может, необязательно, включать в себя формование алюминиевого сплава в изделие заданной формы во время или после этапа (е) старения. Как использовано здесь, «изделие заданной формы» и т.п. означает изделие, которому придана форма с помощью формообразующей операции (например, среди прочих, волочения, вытяжки с утонением, горячего формования, формования выдавливанием, формования со сдвигом, ротационного формования, формования с образованием купола, шейки, фланца, нарезания резьбы, развальцовки, изгибания, закатки, фальцовки, штамповки, гидроформования и завальцовки), и эту форму определяют перед операцией (этапом) формообразования. Примеры изделий с заданной формой включают в себя, среди других изделий из алюминиевых сплавов, автомобильные детали (например, среди прочих, капоты, крылья, двери, крыши и дверцы багажников) и контейнеры (например, среди прочих, банки для продуктов, бутылки), потребительские электронные изделия (такие как, среди прочих, ноутбуки, мобильные телефоны, фотоаппараты, переносные музыкальные плееры, портативные устройства, компьютеры, телевизоры). В одном варианте осуществления изделие с заданной формой получает свой конечный вид после этапа формования. Этап формования, используемый для получения «изделий заданной формы», может быть проведен одновременно или после этапа искусственного старения (например, одновременно с или после этапа первого старения и/или до, после или одновременно с этапом второго старения).

[0016] В одном варианте осуществления этап формования завершается одновременно

с этапом (е) старения, и, таким образом, может проходить при повышенной температуре. Такие этапы формования при повышенной температуре называются здесь операциями «горячего формования». В одном варианте осуществления операция горячего формования происходит при температуре от 200°F до 530°F. В другом варианте осуществления операция горячего формования происходит при температуре от 250°F до 450°F. Таким образом, в некоторых вариантах осуществления горячее формование может быть использовано для получения изделий заданной формы. Горячее формование может облегчить получение бездефектных изделий заданной формы. Бездефектное означает, что компоненты пригодны для использования в качестве коммерческого изделия и, таким образом, могут иметь небольшое число (незначительное) или вообще не иметь трещин, сгибов, полос скольжения, утончений и/или поверхности типа апельсиновой корки, если назвать некоторые из дефектов. В других вариантах осуществления для получения бездефектных изделий заданной формы может быть использовано формование при комнатной температуре.

[0017] В одном подходе способ содержит (а) литье в форму алюминиевого сплава, причем алюминиевый сплав содержит 4,0-5,0 мас.% Zn и 1,0-2,5 мас.% Mg, затем (b) термообработку на твердый раствор, а затем закалку тела алюминиевого сплава, а затем (с) искусственное старение алюминиевого сплава, причем искусственное старение включает в себя первое старение алюминиевого сплава при первой температуре от примерно 390°F до 420°F и в течение времени первого старения от 1 минуты до 60 минут, и (ii) второе старение алюминиевого сплава при второй температуре в течение времени второго старения по меньшей мере 30 минут, причем вторая температура ниже, чем первая температура. В одном варианте осуществления данного способа температура второго старения составляет 300-380°F, а время старения составляет 1-36 часов. В другом варианте осуществления температура второго старения составляет 330-370°F, а время старения составляет 1-8 часов. После первого и второго этапов старения может быть завершен один или более дополнительных этапов старения. До первого этапа старения никакие этапы старения не завершаются.

[0018] В одном приближении способ содержит (а) литье в форму алюминиевого сплава, в котором алюминиевый сплав представляет собой один из алюминиевых литейных сплавов 707.X, 712.X, 713.X или 771.X, а затем (b) термообработку на твердый раствор, а затем закалку тела алюминиевого сплава, а затем (с) искусственное старение алюминиевого сплава, причем искусственное старение включает в себя первое старение алюминиевого сплава, например, с использованием любого из вышеописанных режимов первого старения, и (ii) второе старение алюминиевого сплава при второй температуре в течение времени второго старения по меньшей мере 30 минут, причем вторая температура ниже, чем первая температура. После этапов первого и второго старения может быть завершен один или более дополнительных этапов старения. Перед этапом первого старения никакие этапы искусственного старения не завершаются.

Алюминиевые литейные сплавы 707.X, 712.X, 713.X или 771.X являются известными литейными сплавами и их составы заданы, например, в документе Алюминиевой Ассоциации «Назначение и предельные значения химических составов для алюминиевых сплавов в форме отливок и слитков», апрель 2002 г., который полностью включен в настоящую работу посредством ссылки во всей своей полноте. Как известно, «X» может быть заменено на «0», «1» и т.д., для задания конкретного состава литейного сплава (известного или будущего). В общем смысле для данного документа «0», как правило, относится к составу профилированного литейного изделия, тогда как «1» или «2», как правило, относится к составу слитка. Например, 707.0 включает в себя 1,8-2,4 мас.%

Mg для профилированного литого изделия, выполненного из сплава 707, тогда как 707.1 включает в себя 1,9-2,4 мас.% Mg для слитка, выполненного из сплава 707.

[0019] В одном варианте осуществления сплав представляет собой деформируемое изделие из алюминиевого сплава 7xxx, что означает, что сплав не подвергался горячей обработке давлением в некоторый момент после литья. Примеры деформируемых изделий включают в себя прокатанные изделия (лист и пластину), прессованные профили и поковки (штамповки). В одном варианте осуществления способ включает в себя (a) приготовление деформируемого алюминиевого сплава 7xxx для термообработки на твердый раствор, причем деформируемый алюминиевый сплав 7xxx содержит 4,0-9,5 мас.% Zn, 1,2-3,0 мас.% Mg и до 2,6 мас.% Cu, (b) после этапа (a), термообработку на твердый раствор, а затем закалку деформируемого алюминиевого сплава 7xxx, и (c) после этапа (b), искусственное старение деформируемого алюминиевого сплава 7xxx, причем этап искусственного старения (c) содержит (i) первое старение деформируемого алюминиевого сплава 7xxx при первой температуре в диапазоне от 310°F до 430°F в течение от 1 минуты до 360 минут, (ii) второе старение деформируемого алюминиевого сплава 7xxx при второй температуре в течение по меньшей мере 0,5 часа, причем вторая температура ниже, чем первая температура. После первого и второго этапов старения могут быть завершены один или более дополнительных этапов старения. Перед первым этапом старения не завершаются никакие этапы искусственного старения. В одном варианте осуществления этап искусственного старения состоит из этапа первого старения и этапа второго старения (т.е. используют только два этапа старения). Этапы первого и второго искусственного старения, как правило, содержат нагрев или охлаждение до указанной температуры(температур), в зависимости от обстоятельств, а затем выдерживание в течение указанного периода времени. Например, этап первого искусственного старения при «370°F в течение 10 минут» может включать в себя нагрев алюминиевого сплава до достижения им целевой температуры 370°F, а затем выдерживание в течение 10 минут в пределах допустимого и контролируемого температурного диапазона около 370°F (например, +/-10°F, или +/-5°F). Для облегчения надлежащего старения может быть использовано объединение старений.

[0020] В одном варианте осуществления способ включает в себя снятие напряжений у деформируемого алюминиевого сплава 7xxx, причем снятие напряжений происходит после термообработки на твердый раствор и последующего этапа (b) закалки, и перед этапом (c) искусственного старения. В одном варианте осуществления снятие напряжений содержит по меньшей мере одно из растягивания на 0,5-8% и сжатия на 0,5-12%.

[0021] Как отмечено выше, способ включает в себя искусственное старение деформируемого алюминиевого сплава 7xxx, причем этап (c) искусственного старения содержит (i) первое старение деформируемого алюминиевого сплава 7xxx при первой температуре в диапазоне от 310°F до 430°F в течение от 1 минуты до 360 минут, (ii) второе старение деформируемого алюминиевого сплава 7xxx при второй температуре в течение по меньшей мере 0,5 часа, причем вторая температура меньше, чем первая температура. В одном варианте осуществления вторая температура по меньшей мере на 10°F ниже, чем первая температура. В другом варианте осуществления вторая температура по меньшей мере на 20°F ниже, чем первая температура. В еще одном варианте осуществления вторая температура по меньшей мере на 30°F ниже, чем первая температура. В другом варианте осуществления вторая температура по меньшей мере на 40°F ниже, чем первая температура. В еще одном варианте осуществления вторая температура по меньшей мере на 50°F ниже, чем первая температура. В другом варианте осуществления вторая температура по меньшей мере на 60°F ниже, чем первая температура.

температура. В еще одном варианте осуществления, вторая температура по меньшей мере на 70°F ниже, чем первая температура. В одном варианте осуществления этап первого старения длится не более 120 минут. В другом варианте осуществления этап первого старения длится не более 90 минут. В еще одном варианте осуществления этап первого старения длится не более 60 минут. В другом варианте осуществления этап первого старения длится не более 45 минут. В еще одном варианте осуществления этап первого старения длится не более 30 минут. В другом варианте осуществления этап первого старения длится не более 20 минут. В одном варианте осуществления этап первого старения длится по меньшей мере 5 минут. В другом варианте осуществления этап первого старения длится по меньшей мере 10 минут. В одном варианте осуществления этап первого старения длится от 5 до 20 минут. В одном варианте осуществления этап второго старения длится от 1 до 12 часов. В другом варианте осуществления этап второго старения длится от 2 до 8 часов. В еще одном варианте осуществления этап второго старения длится от 3 до 8 часов.

[0022] В одном подходе деформируемый алюминиевый сплав 7xxx включает в себя 4,0-9,5 мас.% Zn, 1,2-3,0 мас.% Mg и 1,0-2,6 мас.% Cu. В одном варианте осуществления, связанном с этим подходом, первая температура составляет от 310° до 400°F, а этап первого старения длится не более 120 минут. В другом варианте осуществления первая температура составляет от 320° до 390°F, а этап первого старения длится не более 90 минут. В еще одном варианте осуществления первая температура составляет от 330° до 385°F, и при этом этап первого старения длится не более 60 минут. В другом варианте осуществления первая температура составляет от 340° до 380°F, а этап первого старения длится не более 30 минут. В одном варианте осуществления температура второго старения составляет от 250° до 350°F, а этап второго старения длится от 0,5 до 12 часов. В другом варианте осуществления температура второго старения составляет от 270° до 340°F, а этап второго старения длится от 1 до 12 часов. В еще одном варианте осуществления температура второго старения составляет от 280° до 335°F, а этап второго старения длится от 2 до 8 часов. В другом варианте осуществления температура второго старения составляет от 290° до 330°F, и при этом этап второго старения длится от 2 до 8 часов. В еще одном варианте осуществления температура второго старения составляет от 300° до 325°F, и при этом этап второго старения длится от 2 до 8 часов. В некоторых из этих вариантов осуществления этап второго старения длится по меньшей мере 3 часа. В некоторых из этих вариантов осуществления этап второго старения длится по меньшей мере 4 часа. В одном варианте осуществления деформируемый алюминиевый сплав 7xxx включает в себя 5,7-8,4 мас.% Zn, 1,3-2,3 мас.% Mg и 1,3-2,6 мас.% Cu. В одном варианте осуществления деформируемый алюминиевый сплав 7xxx включает в себя 7,0-8,4 мас.% Zn. В одном варианте осуществления деформируемый алюминиевый сплав 7xxx выбран из группы, состоящей, среди прочих, из 7x85, 7x55, 7x50, 7x40, 7x99, 7x65, 7x78, 7x36, 7x37, 7x49 и 7x75, которые заданы документом Алюминиевой Ассоциации «Международные назначения сплавов и границы химических составов для деформируемого алюминия и деформируемых алюминиевых сплавов», февраль 2009 г., и его соответствующим Приложением от февраля 2014 г., обобщенно «Листах триэтилалюминия», оба из которых полностью включены в настоящую работу посредством ссылки во всей своей полноте. Как известно, «х» может быть подходящим образом заменен на «0», «1» и т.д. для задания состава конкретного деформируемого алюминиевого сплава 7xxx (известного или будущего). Например, 7040 включает в себя 1,5-2,3 мас.% Cu, 1,7-2,4 мас.% Mg и 5,7-6,7 мас.% Zn, тогда как 7140 включает в себя 1,3-2,3 мас.% Cu, 1,5-2,4 мас.% Mg и 6,2-7,0 мас.% Zn, как показано в «Листах

триэтилалюминия». В одном варианте осуществления деформируемый алюминиевый сплав 7xxx представляет собой сплав 7x85. В другом варианте осуществления деформируемый алюминиевый сплав 7xxx представляет собой сплав 7x55. В еще одном варианте осуществления деформируемый алюминиевый сплав 7xxx представляет собой сплав 7x40. В другом варианте осуществления деформируемый алюминиевый сплав 7xxx представляет собой сплав 7x65. В другом варианте осуществления сплав представляет собой сплав 7x50. В еще одном варианте осуществления деформируемый алюминиевый сплав 7xxx представляет собой сплав 7x75.

[0023] В другом подходе деформируемый алюминиевый сплав 7xxx включает в себя 4,0-9,5 мас.% Zn, 1,2-3,0 мас.% Mg и от 0,25 до менее 1,0 мас.% Cu. В одном варианте осуществления, связанном с этим подходом, первая температура составляет от 330° до 430°F, а этап первого старения длится не более 120 минут. В другом варианте осуществления первая температура составляет от 340° до 425°F, а этап первого старения длится не более 90 минут. В еще одном варианте осуществления первая температура составляет от 350° до 420°F, а этап первого старения длится не более 60 минут. В другом варианте осуществления первая температура составляет от 360° до 415°F, а этап первого старения длится не более 30 минут. В одном варианте осуществления температура второго старения составляет от 250° до 370°F, а этап второго старения длится от 0,5 до 12 часов. В другом варианте осуществления температура второго старения составляет от 270° до 360°F, а этап второго старения длится от 1 до 12 часов. В еще одном варианте осуществления температура второго старения составляет от 280° до 355°F, а этап второго старения длится от 2 до 8 часов. В другом варианте осуществления температура второго старения составляет от 290° до 350°F, а этап второго старения длится от 2 до 8 часов. В еще одном варианте осуществления температура второго старения составляет от 300° до 345, а этап второго старения длится от 2 до 8 часов. В некоторых из этих вариантов осуществления этап второго старения длится по меньшей мере 3 часа. В некоторых из этих вариантов осуществления этап второго старения длится по меньшей мере 4 часа. В одном варианте осуществления деформируемый алюминиевый сплав 7xxx представляет собой сплав 7x41, как задано «Листами триэтилалюминия». В одном варианте осуществления деформируемый алюминиевый сплав 7xxx представляет собой русский сплав RU1953.

[0024] В еще одном подходе деформируемый алюминиевый сплав 7xxx включает в себя 4,0-9,5 мас.% Zn, 1,2-3,0 мас.% Mg и менее 0,25 мас.% Cu. В одном варианте осуществления, связанном с этим подходом, первая температура составляет от 310° до 400°F, а этап первого старения длится не более 120 минут. В другом варианте осуществления первая температура составляет от 320° до 390°F, а этап первого старения длится не более 90 минут. В еще одном варианте осуществления первая температура составляет от 330° до 385°F, а этап первого старения длится не более 60 минут. В другом варианте осуществления первая температура составляет от 340° до 380°F, а этап первого старения длится не более 30 минут. В одном варианте осуществления температура второго старения составляет от 250° до 350°F, а этап второго старения длится от 0,5 до 12 часов. В другом варианте осуществления температура второго старения составляет от 270° до 340°F, а этап второго старения длится от 1 до 12 часов. В еще одном варианте осуществления температура второго старения составляет от 280° до 335°F, а этап второго старения длится от 2 до 8 часов. В другом варианте осуществления температура второго старения составляет от 290° до 330°F, а этап второго старения длится от 2 до 8 часов. В еще одном варианте осуществления температура второго старения составляет от 300° до 325°F, а этап второго старения длится от 2 до 8 часов. В некоторых из этих

вариантов осуществления этап второго старения длится по меньшей мере 3 часа. В некоторых из этих вариантов осуществления этап второго старения длится по меньшей мере 4 часа. В одном варианте осуществления деформируемый алюминиевый сплав 7xxx выбран из группы, состоящей из 7x05, 7x39 и 7x47, как задано в «Листах триэтилалюминия», или русского сплава RU1980. В одном варианте осуществления деформируемый алюминиевый сплав 7xxx представляет собой сплав 7x39. В одном варианте осуществления деформируемый алюминиевый сплав 7xxx представляет собой русский сплав RU1980.

[0025] Новые алюминиевые сплавы, имеющие цинк и магний, описанные здесь, могут быть использованы в разнообразии применений, таких как, среди прочих, автомобильных и/или аэрокосмических применениях. В одном варианте осуществления новые алюминиевые сплавы используют в аэрокосмическом применении, например, среди прочих, в обшивках крыла (верхнее и нижнее) или продольных элементах жесткости/лонжеронах, обшивках или продольных элементах жесткости фюзеляжа, ребрах жесткости, рамах, стойках, направляющих кресла, переборках, окружных шпангоутах, хвостовом оперении (таком как горизонтальные и вертикальные стабилизаторы), балках перекрытия, дверях и компонентах поверхности управления (например, рулях поворота, элеронах). В другом варианте осуществления новые алюминиевые сплавы используют в автомобильном применении, например, среди прочих, в закрывающих панелях (например, среди прочих, капотах, крыльях, дверях, крышах и дверцах багажников), колесах и применениях, связанных с критическими усилиями, например, в применениях в неокрашенном кузове (например, в стойках, упрочняющих элементах). В другом варианте осуществления новые алюминиевые сплавы используют в боевой технике/баллистике/военном применении, например, среди прочих, в ящиках, гильзах для боеприпасов и в броне. Гильзы могут включать в себя те, которые используются в стрелковом оружии и в пушках или для стрельбы из танков или артиллерии. Другие возможные компоненты боеприпасов могут включать в себя поддоны снарядов и кили. Другими возможными применениями могут быть компоненты для артиллерии, взрывателей, такие как кили и контрольные поверхности для высокоточных управляемых бомб и ракет. Компоненты брони могут включать в себя броневые плиты или конструкционные компоненты для военных транспортных средств. В другом варианте осуществления новые алюминиевые сплавы используются в нефтяном и газовом применении, например, среди прочих, для разделительных колонн, вспомогательных линий, бурильных труб, устьевых обвязок для дросселирования и глушения скважин, промышленных трубопроводов и водосточных труб.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0026] ФИГ. 1 представляет собой график, иллюстрирующий зависимость удельной электропроводности от характеристик коррозионного растрескивания под напряжением для сплавов по Примеру 1.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

Пример 1

[0027] Литейный алюминиевый сплав 7xx, имеющий состав, показанный в Таблице 1 ниже, отливали путем направленной кристаллизации.

Таблица 1 Состав сплава по Примеру 1 (в мас.%)			
Сплав	Zn	Mg	Cu
1	4,24	1,52	0,80

[0028] После литья Сплав 1 подвергали термообработке на твердый раствор, а затем

закаляли в кипящей воде. Сплав 1 затем стабилизировали путем естественного старения в течение примерно 12-24 часов при комнатной температуре. Далее Сплав 1 подвергали искусственному старению при различных периодах времени и температурах, как показано в Таблице 2 ниже. Для Сплавов 1-A-1-D сплавы нагревали от температуры окружающей среды до температуры первого старения примерно за 40 минут, а затем выдерживали при температуре первого старения при указанной продолжительности; после завершения этапа первого старения Сплавы 1-A-1-D нагревали до температуры второго старения примерно за 45 минут, а затем выдерживали при температуре второго старения при указанной продолжительности. Сплав 1-E нагревали от температуры окружающей среды до температуры первого старения примерно за 50 минут, а затем выдерживали при температуре первого старения при указанной продолжительности; после завершения этапа первого старения отключали электропитание печи и печь открывали для воздуха до достижения печью второй целевой температуры (в течение примерно 10 минут), и после этого Сплав 1-E выдерживали при температуре второго старения при указанной продолжительности.

Таблица 2 Технологии искусственного старения			
Сплав	1 ^й Этап	2 ^й Этап	Примечание
1-A	250°F в течение 3 часов	360°F в течение 16 часов	Не изобретение
1-B	250°F в течение 3 часов	360°F в течение 3 часов	Не изобретение
1-C	250°F в течение 3 часов	360°F за 4 часа	Не изобретение
1-D	250°F в течение 3 часов	360°F в течение 5 часов	Не изобретение
1-E	400°F в течение 10 мин.	360°F в течение 4 часов	Изобретение

[0029] Затем измеряли различные механические свойства и SCC-стойкость (stress corrosion cracking, стойкость к коррозионному растрескиванию под напряжением) для сплавов, результаты чего показаны в Таблицах 3-5 ниже. В соответствии с ASTM E8 и B557 (среднее из образцов, взятых в трех экземплярах) измеряли прочность и относительное удлинение. В соответствии с ASTM E466 (Kt=1, R=-1, Напряжение=23,2 тысяч фунтов на квадратный дюйм, 25 Гц, на воздухе в лаборатории) (среднее из трех образцов) испытывали усталостные характеристики, в соответствии с ASTM G103 (напряжение=34,8 тысяч фунтов на квадратный дюйм) измеряли SCC-стойкость.

Таблица 3 Свойства прочности и относительного удлинения сплавов по Примеру 1			
Сплав	TYS (тысяч фунтов на квадратный дюйм)	UTS (тысяч фунтов на квадратный дюйм)	Полное относительное удлинение (%)
1-A	47,4	55,4	9,3
1-B	49,9	56,5	6,7
1-C	48,5	56,3	9,3
1-D	47,4	53,9	6,3
1-E	46,8	54,7	8,7

Таблица 4 Усталостные свойства сплавов по Примеру 1		
Сплав	Среднее число циклов до разрушения	Стандартное отклонение
1-A	105421	27715
1-B	109519	58674
1-C	142187	105362
1-D	90002	22694
1-E	144611	35256

Таблица 5 SCC-стойкость сплавов по Примеру 1	
---	--

Сплав	Образец	Количество часов до разрушения	Среднее количество часов до разрушения
5	1-A	1	45
		2	96
		3	96
		4	150
		5	168
10	1-B	1	21
		2	45
		3	45
		4	72
		5	118
15	1-C	1	24
		2	30
		3	45
		4	68
		5	72
20	1-D	1	68
		2	72
		3	72
		4	72
		5	118
20	1-E	1	142
		2	142
		3	150
		4	168
		5	168

[0030] Как показано выше, сплав согласно изобретению (1-E) достигает примерно той же прочности, но лучшей усталостной прочности, по сравнению со сплавами не из изобретения. Сплав согласно изобретению также достигает намного лучшей стойкости к коррозионному растрескиванию под напряжением, по сравнению со сплавами не из изобретения. Кроме того, сплав согласно изобретению достигает своих улучшенных свойств с помощью только 4 часов 10 минут времени искусственного старения, тогда как сплавы не из изобретения требуют по меньшей мере 6 или более часов времени искусственного старения.

[0031] Удельную электропроводность сплавов также измеряли, используя измеритель электропроводности HOCKing (AutoSigma 3000DL), причем результаты показаны в Таблице 6 ниже (среднее из четырех образцов). Как показано на ФИГ. 1, сплав согласно изобретению неожиданно достигает наилучшей SCC-характеристики при более низкой удельной электропроводности. Более низкая удельная электропроводность сплава согласно изобретению указывает на то, что он не был подвергнут чрезмерному старению, но все же достиг улучшенной SCC-характеристики.

Таблица 6 Удельная электропроводность сплавов по Примеру 1		
Сплав	Средняя удельная электропроводность (% IACS, международный стандарт на отожженную медную проволоку)	Стандартное отклонение
1-A	42,0	0,05
1-B	40,9	0,15
1-C	41,4	0,05
1-D	41,6	0,01
1-E	41,2	0,06

Пример 2

[0032] Сплав 1 из Примера 1 обрабатывали аналогично Примеру 1, но подвергали

искусственному старению несколько раз, как показано в Таблице 7 ниже.

Таблица 7 Технологии искусственного старения			
Сплав	1 ^й Этап	2 ^й Этап	Примечание
1-F	400°F в течение 10 мин.	360°F в течение 3 часов	Изобретение
1-G	400°F в течение 10 мин.	360°F в течение 4 часов	Изобретение
1-H	400°F в течение 10 мин.	360°F в течение 6 часов	Изобретение
1-I	400°F в течение 5 мин.	360°F в течение 4 часов	Изобретение
1-J	400°F в течение 20 мин.	360°F в течение 4 часов	Изобретение

[0033] Затем измеряли различные механические свойства и SCC-стойкость (стойкость к коррозионному растрескиванию под напряжением) сплавов, результаты чего показаны в Таблицах 8-10 ниже. В соответствии с ASTM E8 и B557 (среднее из трех образцов) измеряли прочность и относительное удлинение. В соответствии с ASTM E466 (Kt=1, R=-1, Напряжение=23,2 тысяч фунтов на квадратный дюйм, 25 Гц, в условиях лабораторного воздуха) (среднее из трех образцов) испытывали усталостные характеристики. В соответствии с ASTM G103 (напряжение=34,8 тысяч фунтов на квадратный дюйм) измеряли SCC-стойкость.

Таблица 8 Свойства прочности и относительного удлинения сплавов по Примеру 2			
Сплав	TYS (тысяч фунтов на квадратный дюйм)	UTS (тысяч фунтов на квадратный дюйм)	Полное относительное удлинение (%)
1-F	48,7	55,5	7,3
1-G	48,0	55,1	7,3
1-H	48,0	54,7	7,0
1-I	46,9	53,6	6,3
1-J	47,5	54,5	8,0

Таблица 9 Усталостные свойства сплавов по Примеру 2		
Сплав	Среднее число циклов до разрушения	Стандартное отклонение
1-F	112269	48630
1-G	144611	35256
1-H	94599	49852
1-I	103367	31106
1-J	107605	16369

Таблица 10 SCC-стойкость сплавов по Примеру 2			
Сплав	Образец	Количество часов до разрушения	Среднее количество часов до разрушения
1-F	1	72	102,3
	2	72	
	3	96	
	4	124,08	
	5	147,6	
1-G	1	96	142,8
	2	113,76	
	3	168	
	4	168	

5	1-H	5	168	124,8
		1	96	
		2	96	
		3	96	
		4	168	
10	1-I	5	168	118,8
		1	42	
		2	96	
		3	120	
		4	168	
	1-J	5	168	138,0
		1	96	
		2	114	
		3	144	
		4	168	
		5	168	
		1	96	
		2	114	
		3	144	
		4	168	

[0034] Аналогично Примеру 1, сплавы согласно изобретению достигают хорошего сочетания прочности, усталостной прочности и стойкости к коррозионному растрескиванию под напряжением.

Пример 3

[0035] Сплав 1 из Примера 1 обрабатывали аналогично Примеру 1, но подвергали искусственному старению несколько раз, как показано в Таблице 11 ниже.

Таблица 11 Технологии искусственного старения			
Сплав	1 ^й Этап	2 ^й Этап	Примечание
1-K	390°F в течение 10 мин.	360°F в течение 4 часов	Изобретение
1-L	400°F в течение 10 мин.	360°F в течение 4 часов	Изобретение
1-M	420°F в течение 10 мин.	360°F в течение 4 часов	Изобретение

[0036] Измеряли различные механические свойства и SCC-стойкость (стойкость к коррозионному растрескиванию под напряжением) для сплавов, результаты чего показаны в Таблицах 12-14 ниже. В соответствии с ASTM E8 и B557 (среднее из трех образцов, за исключением Сплава 1-K, который представлял собой среднее из двух образцов) измеряли прочность и относительное удлинение. В соответствии с ASTM E466 (Kt=1, R=-1, Напряжение=23,2 тысяч фунтов на квадратный дюйм, 25 Гц, в условиях лабораторного воздуха) (среднее из трех образцов) испытывали усталостные характеристики. В соответствии с ASTM G103 (напряжение=34,8 тысяч фунтов на квадратный дюйм) измеряли SCC-стойкость.

Таблица 12 Свойства прочности и относительного удлинения сплавов по Примеру 3			
Сплав	TYS (тысяч фунтов на квадратный дюйм)	UTS (тысяч фунтов на квадратный дюйм)	Полное относительное удлинение (%)
1-K	48,2	53,6	5,5
1-L	48,0	54,1	5,7
1-M	46,9	52,6	5,3

Таблица 13 Усталостные свойства сплавов по Примеру 3		
Сплав	Среднее число циклов до разрушения	Стандартное отклонение
1-K	110423	41955
1-L	110362	36083
1-M	103406	23128

Таблица 14
SCC-стойкость сплавов по Примеру 3

Сплав	Образец	Количество часов до разрушения	Среднее количество часов до разрушения
1-K	1	46	104
	2	94	
	3	94	
	4	118	
	5	168	
1-L	1	48	117,4
	2	79	
	3	146	
	4	146	
	5	168	
1-M	1	94	153,2
	2	168	
	3	168	
	4	168	
	5	168	

[0037] Аналогично Примерам 1-2, сплавы согласно изобретению достигают хорошего сочетания прочности, усталостной прочности и стойкости к коррозионному растрескиванию.

Пример 4 - Старение деформируемого алюминиевого сплава 7085

[0038] Алюминиевый сплав 7085, имеющий состав, показанный в Таблице 15, получали в виде традиционного изделия в виде пластины (например, гомогенизированного, прокатанного до конечного размера, термообработанного на твердый раствор и закаленного в холодной воде, подвергнутого снятию напряжений путем вытягивания (на 2%)), имеющего толщину 2 дюйма. По истечении примерно четырех дней естественного старения, пластину 7085 подвергали многоэтапному старению с различными продолжительностями при различных температурах, как показано в Таблице 16. После старения, в соответствии с ASTM E8 и B557 измеряли механические свойства, результаты чего показаны в Таблице 17. В соответствии с ASTM G44, 3,5% NaCl, переменное пропитывание, также измеряли стойкость к коррозионному растрескиванию под напряжением (SCC), результаты чего показаны в Таблице 18 (нагрузка в ST-направлении).

Таблица 15
Состав сплава 7085 (в мас.%)

Сплав	Zn	Mg	Cu	Zr	Si	Fe	Mn	Cr	Ti
7085	7,39	1,54	1,66	0,11	0,02	0,03	<0,01	<0,01	0,02

* остаток сплава представляет собой алюминий и другие элементы, причем алюминиевый сплав содержит не более 0,05 мас.% каждого другого элемента, и причем алюминиевый сплав содержит не более 0,15 мас.% от общего количества других элементов.

Таблица 16
Технологии искусственного старения

Сплав	1 ^й Этап	2 ^й Этап
7085-1	Нет данных - традиционная трехэтапная технология старения при 250°F в течение 6 часов, затем 310°F в течение 18 часов, а затем 250°F в течение 24 часов	
7085-2	400°F в течение 10 мин.	310°F в течение 4 часов
7085-3	400°F в течение 10 мин.	310°F в течение 6 часов
7085-4	400°F в течение 10 мин.	310°F в течение 8 часов
7085-5	460°F в течение 5 мин.	310°F в течение 8 часов
7085-6	430°F в течение 7,5 мин.	310°F в течение 8 часов
7085-7	400°F в течение 5 мин.	310°F в течение 8 часов
7085-8	400°F в течение 15 мин.	310°F в течение 8 часов

7085-9	460°F в течение 5 мин.	310°F в течение 4 часов
7085-10	460°F в течение 5 мин.	310°F в течение 6 часов
7085-11	375°F в течение 10 мин.	310°F в течение 4 часов
7085-12	375°F в течение 20 мин.	310°F в течение 4 часов
7085-13	375°F в течение 30 мин.	310°F в течение 4 часов
7085-14	345°F в течение 15 мин.	310°F в течение 6 часов
7085-15	345°F в течение 30 мин.	310°F в течение 6 часов
7085-16	345°F в течение 72 мин.	310°F в течение 6 часов
7085-17	345°F в течение 90 мин.	310°F в течение 6 часов
7085-18	345°F в течение 72 мин.	310°F в течение 4 часов

Для искусственного старения образцы нагревали до первой температуры в течение примерно 50 минут, а затем выдерживали при указанной температуре в течение заданного периода времени. Образцы затем охлаждали до второй температуры путем изменения заданной величины температуры печи и открытия двери печи до достижения второй температуры. Образцы затем выдерживали при второй температуре в течение заданного периода времени, после чего образцы извлекали из печи и оставляли охлаждаться на воздухе до комнатной температуры.

Таблица 17
Механические свойства

Сплав	Предел текучести при растяжении (TYS), тысяч фунтов на квадратный дюйм (ST, Стандартное испытание)	Предел прочности на разрыв (UTS), тысяч фунтов на квадратный дюйм (ST, Стандартное испытание)	Относительное удлинение, % (ST, Стандартное испытание)
7085-1	67,7	76,3	10,9
7085-2	61,3	70,8	10,9
7085-3	60,3	70,5	10,9
7085-4	61,2	71,3	11,4
7085-5	46,1	59,1	14,1
7085-6	51,8	63,7	14,1
7085-7	60,5	70,5	11,4

7085-8	57,8	68,4	10,4
7085-9	46,9	59,8	15,1
7085-10	46,3	59,1	14,6
7085-11	65,5	74,2	12,0
7085-12	65,2	73,8	10,9
7085-13	64,2	73,0	10,9
7085-14	67,3	75,5	9,4
7085-15	66,2	74,6	10,4
7085-16	65,5	74,4	9,9
7085-17	65,5	74,3	9,4
7085-18	66,2	74,8	9,4

Таблица 18
Результаты SCC

Сплав	Напряжение (тысяч фунтов на квадратный дюйм)	Дней до разрушения				
		Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5
7085-1	45	DNF	50	42	86	89
7085-1	55	DNF	89	44	33	29
7085-2	45	DNF	DNF	DNF	DNF	н/д
7085-2	55	DNF	DNF	90	DNF	н/д
7085-3	45	DNF	DNF	DNF	77	н/д
7085-3	55	DNF	DNF	DNF	DNF	н/д
7085-4	45	DNF	DNF	DNF	DNF	н/д
7085-4	55	DNF	DNF	DNF	DNF	н/д

5	7085-5	45	DNF	DNF	DNF	DNF	н/д
	7085-5	55	DNF	DNF	DNF	DNF	н/д
	7085-6	45	DNF	DNF	DNF	DNF	н/д
	7085-6	55	DNF	DNF	DNF	DNF	н/д
	7085-7	45	DNF	DNF	DNF	DNF	н/д
	7085-7	55	DNF	DNF	DNF	DNF	н/д
	7085-8	45	DNF	DNF	DNF	DNF	н/д
	7085-8	55	DNF	DNF	DNF	DNF	н/д
10	7085-9	45	DNF	DNF	DNF	DNF	н/д
	7085-9	55	DNF	DNF	DNF	DNF	н/д
	7085-10	45	DNF	DNF	DNF	DNF	н/д
15	7085-10	55	DNF	DNF	DNF	DNF	н/д
	7085-11	45	DNF(66)	51	59	50	н/д
	7085-11	55	DNF(66)	DNF(66)	43	DNF(66)	н/д
	7085-14	45	50	50	59	40	н/д
	7085-14	55	40	DNF(66)	44	44	43
	7085-12	55	DNF(66)	58	DNF(66)	48	54
20	7085-13	55	58	57	DNF(66)	DNF(66)	65
	7085-15	55	54	47	DNF(66)	DNF(66)	DNF(66)
	7085-16	55	64	DNF(66)	DNF(66)	64	DNF(66)
	7085-17	55	64	DNF(66)	62	DNF(66)	DNF(66)
	7085-18	55	DNF(66)	54	DNF(66)	52	59
	*DNF = не было разрушения по истечении 90 дней **DNF(66) = не было разрушения по истечении 66 дней						

[0039] Как показано, новая технология старения ведет к значительному улучшению производительности за счет сниженного общего времени старения, но с аналогичной прочностью и коррозионной стойкостью. Действительно, сплав 7085-14 демонстрирует примерно ту же прочность, как традиционно состаренный 7085-1, но только с 6,25 часами общего времени старения (не включающего в себя время нагрева и время охлаждения), по сравнению с общим временем старения 48 часов (не включающего в себя время нагрева и время охлаждения) для сплава 7085-1.

Пример 5 - Старение сплава 7255

[0040] Алюминиевый сплав 7255, имеющий состав, показанный в Таблице 19, получали в виде традиционного изделия в виде пластины (например, гомогенизированного, прокатанного до конечного размера, термообработанного на твердый раствор и закаленного в холодной воде, подвергнутого снятию напряжений путем вытягивания (на 2%)), имеющего толщину 1,5 дюйма. По истечении примерно четырех дней естественного старения, пластину 7255 подвергали многоэтапному старению с различными продолжительностями при различных температурах, как показано в Таблице 20. После старения, в соответствии с ASTM E8 и B557, измеряли механические свойства, результаты чего показаны в Таблице 21. В соответствии с ASTM G44, 3,5% NaCl, поочередная пропитка, также измеряли стойкость к коррозионному растрескиванию под напряжением (SCC), результаты чего показаны в Таблице 22 (нагрузка в ST-направлении и с напряжением 35 тысяч фунтов на квадратный дюйм). Для некоторых из сплавов измеряли удельную электропроводность (% IACS, International annealed copper standard, Международный стандарт на отожженную медную проволоку) в соответствии с ASTM E1004-09, Стандартный способ испытания для определения удельной электропроводности с использованием электромагнитного (вихревые токи) способа, с использованием блока размером 1 дюйм на 1,5 дюйма на 4 дюйма, результаты

чего показаны в Таблице 23 ниже.

Таблица 19 Состав сплава 7255 (в мас.%) [*]									
Сплав	Zn	Mg	Cu	Zr	Si	Fe	Mn	Cr	Ti
7255	7,98	1,91	2,18	0,11	0,02	0,03	<0,01	<0,01	0,02
[*] остаток сплава представляет собой алюминий и другие элементы, причем алюминиевый сплав содержит не более 0,05 мас.% каждого другого элемента, и причем алюминиевый сплав содержит не более 0,15 мас.% от общего количества других элементов.									

Таблица 20 Технологии искусственного старения		
Сплав	1 ^й Этап	2 ^й Этап
7255-1	Нет данных - Традиционная трехэтапная технология старения при 250°F в течение 6 часов, затем 400°F в течение 3 минут (~30-ти минутный нагрев до 400°F), а затем 250°F в течение 24 часов	
7255-2	400°F в течение 10 мин.	310°F в течение 4 часов
7255-3	400°F в течение 10 мин.	310°F в течение 6 часов

7255-4	400°F в течение 10 мин.	310°F в течение 8 часов
7255-5	480°F в течение 5 мин.	310°F в течение 8 часов
7255-6	440°F в течение 10 мин.	310°F в течение 8 часов
7255-7	400°F в течение 5 мин.	310°F в течение 8 часов
7255-8	400°F в течение 15 мин.	310°F в течение 8 часов
7255-9	480°F в течение 5 мин.	310°F в течение 4 часов
7255-10	480°F в течение 5 мин.	310°F в течение 6 часов
7255-11	370°F в течение 5 мин.	310°F в течение 4 часов
7255-12	370°F в течение 10 мин.	310°F в течение 4 часов
7255-13	370°F в течение 20 мин.	310°F в течение 4 часов
7255-14	345°F в течение 15 мин.	310°F в течение 4 часов
7255-15	345°F в течение 30 мин.	310°F в течение 4 часов
7255-16	345°F в течение 60 мин.	310°F в течение 4 часов
7255-17	370°F в течение 10 мин.	н/д

Для искусственного старения, пока не указано иное, образцы нагревали до первой температуры в течение примерно 50 минут, а затем выдерживали при указанной температуре в течение заданного периода времени. Затем образцы охлаждали до второй температуры путем изменения заданных температурных установок печи и открытия двери печи, до достижения второй температуры. Затем образцы выдерживали при второй температуре в течение заданного периода времени, после чего образцы извлекали из печи и оставляли на воздухе для охлаждения до комнатной температуры.

Таблица 21 Механические свойства			
Сплав	Предел текучести при растяжении (TYS), тысяч фунтов на квадратный дюйм (ST, Стандартное испытание)	Предел прочности на разрыв (UTS), тысяч фунтов на квадратный дюйм (ST, Стандартное испытание)	Относительное удлинение, %
7255-1	77,9	88,9	4,7

7255-2	68,8	79,6	9,4
7255-3	67,7	78,7	9,4
7255-4	67,6	79,0	9,4
7255-5	44,0	59,3	13,6
7255-6	54,2	68,3	12,5
7255-7	70,0	81,2	7,8
7255-8	65,0	76,9	9,4
7255-9	43,5	59,1	12,5
7255-10	43,8	59,5	12,5
7255-11	75,7	85,8	7,8
7255-12	75,1	84,4	6,7

7255-13	75,2	84,4	5,7
7255-14	76,1	85,3	6,2
7255-15	75,8	85,0	6,2
7255-16	75,5	84,3	5,7
7255-17	74,6	84,9	6,2

Таблица 22
Результаты SCC

Сплав	Дней до разрушения				
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5
7255-1	5	71	6	8	5
7255-2	88	42	88	74	43
7255-3	63	70	74	54	53
7255-4	49	88	88	88	88
7255-5	DNF	DNF	DNF	DNF	DNF
7255-6	DNF	DNF	DNF	DNF	DNF
7255-7	60	63	88	47	46
7255-8	88	71	DNF	90	90
7255-9	DNF	DNF	DNF	DNF	DNF
7255-10	DNF	DNF	DNF	DNF	DNF
7255-11	48	32	26	25	22

7255-12	45	41	51	52	52
7255-13	51	DNF(66)	53	53	57
7255-14	8	8	8	32	24
7255-15	24	43	48	8	32
7255-16	53	32	47	41	DNF(66)
7255-17	8	8	8	8	8

*DNF = не было разрушения по истечении 90 дней
 **DNF(66) = не было разрушения по истечении 66 дней

[0041] Как показано, новая технология старения ведет к значительному улучшению производительности за счет сниженного общего времени старения, но с аналогичной прочностью и коррозионной стойкостью. Действительно, сплав 7255-14 демонстрирует примерно такую же прочность, как традиционно состаренный 7255-1, но только с 4,25 часами общего времени старения (не включающего в себя время нагрева и время охлаждения), по сравнению с общим временем старения примерно 30 часов (не включающим в себя время нагрева и время охлаждения) для сплава 7255-1. Сплав 7255-14 также демонстрирует коррозионную стойкость, сопоставимую со сплавом 7255-1. Улучшенную коррозионную стойкость демонстрируют сплавы 7255-15 и 7255-16, по сравнению со сплавом 7255-1, с сопоставимой прочностью, и только с 4,5-5,0 часами общего времени старения (не включающего в себя время нагрева и время охлаждения).

Таблица 23
Результаты по удельной электропроводности + SCC

Сплав	Средн. SCC (дней до разрушения)	Удельная электропроводность (% IACS)
7255-1	19	37,5
7255-11	30,6	37,2
7255-12	48,2	37,6
7255-13	56	38,8
7255-14	16	37,0
7255-15	31	37,1
7255-16	47,8	38,5

7255-17	8	36,2
---------	---	------

Пример 6 - Старение сплава 1980

[0042] Русский сплав 1980, имеющий состав, показанный в Таблице 24, получали как традиционное стандартное изделие в виде стержня (например, гомогенизированного, спрессованного выдавливанием стержня, термообработанного на твердый раствор и закаленного в холодной воде), имеющего внешний диаметр примерно 7,0 дюймов и толщину примерно 1,3 дюйма. По истечении примерно 0,5-1 дня естественного старения, стержень из сплава 1980 подвергали многоэтапному старению с различной продолжительностью при различных температурах, как показано в Таблице 25. После старения, в соответствии с ASTM E8 и B557 измеряли механические свойства, результаты чего показаны в Таблице 26. В соответствии с ASTM G103, испытание в кипящей соли, также измеряли стойкость к коррозионному растрескиванию под напряжением (SCC) для некоторых из сплавов, результаты чего показаны в Таблице 27 (нагрузка в ST-направлении и с напряжением 16,2 тысяч фунтов на квадратный дюйм).

Таблица 24 Состав сплава 1980 (в мас.%) [*]									
Сплав	Zn	Mg	Cu	Zr	Si	Fe	Mn	Cr	Ti
1980	4,25	2,00	0,07	0,12	0,12	0,20	0,38	0,13	<0,01

^{*} остаток сплава представляет собой алюминий и другие элементы, причем алюминиевый сплав содержит не более 0,05 мас.% каждого другого элемента, и причем алюминиевый сплав содержит не более 0,15 мас.% от общего количества других элементов.

Таблица 25 Технологии искусственного старения		
Сплав	1 ^й Этап	2 ^й Этап
1980-1	250°F в течение 24 часов	350°F в течение 6 часов
1980-2	400°F в течение 10 мин.	350°F в течение 2 часов
1980-3	400°F в течение 10 мин.	350°F в течение 4 часов
1980-4	400°F в течение 10 мин.	350°F в течение 6 часов
1980-5	420°F в течение 7,5 мин.	350°F в течение 4 часов
1980-6	380°F в течение 10 мин.	350°F в течение 4 часов
1980-7	400°F в течение 5 мин.	350°F в течение 4 часов
1980-8	400°F в течение 15 мин.	350°F в течение 4 часов
1980-9	420°F в течение 7,5 мин.	350°F в течение 2 часов
1980-10	420°F в течение 7,5 мин.	350°F в течение 6 часов
1980-11	370°F в течение 10 мин.	н/д
1980-12	370°F в течение 10 мин.	310°F в течение 2 часов
1980-13	360°F в течение 10 мин.	310°F в течение 2 часов
1980-14	350°F в течение 10 мин.	310°F в течение 2 часов
1980-15	350°F в течение 10 мин.	310°F в течение 4 часов
1980-16	350°F в течение 30 мин.	310°F в течение 2 часов
1980-17	350°F в течение 30 мин.	310°F в течение 4 часов
1980-18	330°F в течение 20 мин.	310°F в течение 2 часов
1980-19	330°F в течение 20 мин.	310°F в течение 4 часов
1980-20	330°F в течение 50 мин.	310°F в течение 2 часов
1980-21	330°F в течение 50 мин.	310°F в течение 4 часов

Для искусственного старения, пока не указано иное, образцы нагревали до первой температуры в течение примерно 50 минут, а затем выдерживали при указанной температуре в течение заданного периода времени. Затем образцы охлаждали до второй температуры путем изменения заданных температурных установок печи и открытия двери печи до достижения второй температуры. Затем образцы выдерживали при второй температуре в течение заданного периода времени, после чего образцы извлекали из

печи и оставляли для охлаждения на воздухе до комнатной температуры.

Таблица 26
Механические свойства

Сплав	Предел текучести при растяжении (TYS), тысяч фунтов на квадратный дюйм (ST, Стандартное испытание)	Предел прочности на разрыв (UTS), тысяч фунтов на квадратный дюйм (ST, Стандартное испытание)	Относительное удлинение, %
1980-1	46,3	57,9	14,0
1980-2	35,5	48,9	14,0

1980-3	35,9	49,0	14,0
1980-4	35,5	48,4	12,0
1980-5	33,4	46,7	12,0
1980-6	36,6	49,3	12,0
1980-7	35,2	48,3	12,0
1980-8	35,0	48,0	12,7
1980-9	34,3	47,6	12,7
1980-10	34,1	47,4	12,0
1980-11	41,5	54,2	12,0
1980-12	44,7	56,4	10,7
1980-13	46,2	56,8	10,7
1980-14	44,7	56,3	10,7
1980-15	47,2	57,9	10,0
1980-16	46,4	57,2	10,0
1980-17	48,1	58,7	10,0
1980-18	45,7	56,8	9,3
1980-19	48,5	58,6	10,7
1980-20	47,8	58,2	10,0
1980-21	49,0	59,1	11,3

Таблица 27
Результаты SCC

Сплав	Количество часов до разрушения					
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6
1980-1	1	1	1	1	1	1
1980-3	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	2,5
1980-6	1,5	2	2	2,5	3	3,5
1980-8	1,5	1,5	1,5	2	2	н/д
1980-10	1,5	1,5	2	2	3,5	8
1980-11	1	1	1	44	н/д	н/д
1980-12	1	1	0,5	1	н/д	н/д
1980-13	1	0,5	0,5	1	н/д	н/д
1980-14	0,5	0,5	0,5	0,5	н/д	н/д
1980-15	20,5	1	0,5	0,5	н/д	н/д
1980-16	1,5	20,5	0,5	0,5	н/д	н/д

1980-17	0,5	1	0,5	1	н/д	н/д
1980-18	0,5	20,5	1	1	н/д	н/д
1980-19	0,5	0,5	0,5	2,5	н/д	н/д
1980-20	1	1,5	1	1	н/д	н/д
1980-21	1	1	1	1	н/д	н/д

[0043] Как показано, новая технология старения приводит к значительному улучшению производительности за счет сниженного общего времени старения, но с аналогичной прочностью и коррозионной стойкостью. Действительно, сплав 1980-21 демонстрирует более высокую прочность, чем традиционно состаренный 1980-1, но только с 4,83 часами общего времени старения (не включающего в себя время нагрева

и время охлаждения), по сравнению с общим временем старения 30 часов (не включающим в себя время нагрева и время охлаждения) для сплава 1980-1. Сплав 1980-21 также демонстрирует коррозионную стойкость, сопоставимую со сплавом 1980-1.

Пример 6 - Старение сплава 1953

[0044] Русский сплав 1953, имеющий состав, показанный в Таблице 28, получали как традиционное изделие в виде стержня (например, гомогенизированного, спрессованного выдавливанием стержня, термообработанного на твердый раствор и закаленного в холодной воде), имеющего внешний диаметр примерно 7,0 дюймов и толщину примерно 1,3 дюйма. По истечении примерно 0,5-1 дней естественного старения, сплав 1953 в виде стержня подвергали многоэтапному старению с различными продолжительностями при различных температурах, как показано в Таблице 29. После старения в соответствии с ASTM E8 и B557 измеряли механические свойства, результаты чего показаны в Таблице 30. В соответствии с ASTM G103, испытание в кипящей соли, также измеряли стойкость к коррозионному растрескиванию под напряжением (SCC), результаты чего показаны в Таблице 31 (нагрузка в ST-направлении и с напряжением 20 тысяч фунтов на квадратный дюйм), и в соответствии с ASTM G44, 3,5% NaCl, попеременная пропитка, результаты чего показаны в Таблице 32 (нагрузка в ST-направлении и с напряжением 35 тысяч фунтов на квадратный дюйм).

Таблица 28
Состав сплава 1953 (в мас.%)*

Сплав	Zn	Mg	Cu	Zr	Si	Fe	Mn	Cr	Ti
1953	5,76	2,65	0,55	0,02	0,04	0,08	0,17	0,20	<0,01

* остаток сплава представляет собой алюминий и другие элементы, причем алюминиевый сплав содержит не более 0,05 мас.% каждого другого элемента, и причем алюминиевый сплав содержит не более 0,15 мас.% от общего количества других элементов.

Таблица 29
Технологии искусственного старения

Сплав	1 ^й Этап	2 ^й Этап
1953-1	230°F в течение 5 часов	330°F в течение 5 часов
1953-2	400°F в течение 10 мин.	330°F в течение 2 часов
1953-3	400°F в течение 10 мин.	330°F в течение 4 часов
1953-4	400°F в течение 10 мин.	330°F в течение 6 часов
1953-5	460°F в течение 5 мин.	330°F в течение 4 часов
1953-6	430°F в течение 7,5 мин.	330°F в течение 4 часов
1953-7	400°F в течение 5 мин.	330°F в течение 4 часов
1953-8	400°F в течение 15 мин.	330°F в течение 4 часов
1953-9	460°F в течение 5 мин.	330°F в течение 2 часов
1953-10	460°F в течение 7,5 мин.	330°F в течение 6 часов

Для искусственного старения, пока не указано иное, образцы нагревали до первой температуры в течение примерно 50 минут, а затем выдерживали при указанной температуре в течение заданного периода времени. Затем образцы охлаждали до второй температуры путем изменения заданных температурных установок печи и открытия двери печи до достижения второй температуры. Затем образцы выдерживали при второй температуре в течение заданного периода времени, после чего образцы извлекали из печи и оставляли для охлаждения на воздухе до комнатной температуры.

Таблица 30
Механические свойства

Сплав	Предел текучести при растяжении (TYS), тысяч фунтов на квадратный дюйм (ST, Стандартное испытание)	Предел прочности на разрыв (UTS), тысяч фунтов на квадратный дюйм (ST, Стандартное испытание)	Относительное удлинение, %
1953-1	69,0	78,0	12,0
1953-2	67,0	75,7	12,0

1953-3	66,0	75,4	12,0
1953-4	65,1	74,3	12,0
1953-5	53,0	65,8	12,0
1953-6	59,7	70,9	12,0
1953-7	64,9	75,0	12,0
1953-8	63,0	73,6	12,0
1953-9	52,3	66,1	13,3
1953-10	51,1	65,1	12,0

Таблица 31
Результаты SCC - ASTM G103

Сплав	Дней до разрушения		
	Образец 1	Образец 2	Образец 3
1953-1	0,08	0,17	0,17
1953-2	0,17	0,17	0,17
1953-3	0,17	0,17	0,17
1953-4	0,17	0,08	0,08

Таблица 32
Результаты SCC - ASTM G44

Сплав	Дней до разрушения					
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6
1953-1	DNF	90	90	н/д	н/д	н/д
1953-2	DNF	90	90	н/д	н/д	н/д

1953-3	90	DNF	DNF	н/д	н/д	н/д
1953-4	90	DNF	н/д	н/д	н/д	н/д
1953-5	DNF	99	DNF	DNF	DNF	DNF
1953-6	DNF	DNF	DNF	90	90	н/д
1953-7	90	DNF	90	90	DNF	DNF
1953-8	75	90	DNF	90	DNF	90
1953-9	DNF	DNF	DNF	DNF	DNF	DNF
1953-10	DNF	DNF	DNF	DNF	DNF	DNF

*DNF = не было разрушения по истечении 140 дней

[0045] Как показано, новая технология старения приводит к значительному улучшению производительности за счет сниженного общего времени старения, но со сходной прочностью и коррозионной стойкостью. Действительно, сплав 1953-2 демонстрирует примерно ту же прочность, как традиционно состаренный 1953-1, но только с 2,17 часами общего времени старения (не включающего в себя время нагрева и время охлаждения), по сравнению с общим временем старения 10 часов (не включающим в себя время нагрева и время охлаждения) для сплава 1953-1.

[0046] В то время как были подробно описаны различные варианты осуществления настоящего раскрытия, очевидно, что специалистам в данной области техники придут на ум различные модификации и адаптации этих вариантов осуществления. Однако следует четко понимать, что такие модификации и адаптации находятся в пределах сущности и объема настоящего раскрытия.

(57) Формула изобретения

1. Способ термообработки литейных и деформируемых алюминий-цинк-магниевого сплава, включающий:

(а) литье алюминиевого сплава, имеющего 2,5-12,0 мас.% Zn и от 1,0 до 5,0 мас.% Mg, в котором по меньшей мере один из цинка и магния является преобладающим легирующим компонентом, исключая алюминий;

(с) после этапа (а) литья термообработку на твердый раствор, а затем закалку алюминиевого сплава;

(е) после этапа (с) искусственное старение алюминиевого сплава, причем этап (се) искусственного старения включает:

5 (i) первое старение алюминиевого сплава при первой температуре от 330°F до 530°F и в течение времени первого старения от 1 минуты до 6 часов,

причем первое старение включает нагревание алюминиевого сплава до первой температуры в пределах 50 минут,

10 (ii) второе старение алюминиевого сплава при второй температуре в течение времени второго старения по меньшей мере 30 минут, причем вторая температура ниже, чем первая температура.

2. Способ по п. 1, который дополнительно включает перед этапом (с) этап (b) горячей обработки давлением или холодной обработки давлением алюминиевого сплава.

3. Способ по п. 1 или 2, который дополнительно включает после этапа (с) и перед 15 этапом (е) этап (d) обработки давлением алюминиевого сплава.

4. Способ по п. 1, в котором первая температура составляет от 350°F до 460°F или от 390°F до 420°F.

5. Способ по п. 1, в котором время первого старения составляет не более 30-ти минут.

6. Способ по любому из пп. 1, 2, 4, 5, в котором время первого старения составляет 20 по меньшей мере 5 минут.

7. Способ по п. 6, в котором температура второго старения на 5-150°F ниже, чем температура первого старения, или на 10-100°F ниже, чем температура первого старения, или на 10-75°F ниже, чем температура первого старения, или на 20-50°F ниже, чем температура первого старения.

8. Способ по п. 1, в котором температура первого старения составляет 400°F и 25 температура второго старения составляет 360°F.

9. Способ по п. 7, который включает этапы (а), (с) и (е), необязательно с этапом (d).

10. Способ по п. 9, в котором алюминиевый сплав содержит до 3,0 мас.% Cu.

11. Способ по п. 10, в котором алюминиевый сплав содержит 4,0-5,0 мас.% Zn и 1,0- 30 2,5 мас.% Mg.

12. Способ термообработки литейных и деформируемых алюминий-цинк-магниевого сплавов, включающий:

(а) литье алюминиевого сплава, имеющего 4,0-5,0 мас.% Zn и 1,0-3,0 мас.% Mg,

35 (b) после этапа (а) литья термообработку на твердый раствор, а затем закалку алюминиевого сплава,

(с) после этапа (b) искусственное старение алюминиевого сплава, причем этап (с) искусственного старения включает:

(i) первое старение алюминиевого сплава при первой температуре 400°F в течение 1-20 минут или практически эквивалентном режиме старения,

40 причем первое старение включает нагревание алюминиевого сплава до первой температуры в пределах 50 минут,

(ii) второе старение алюминиевого сплава при второй температуре 360°F в течение 2-8 часов или практически эквивалентном режиме старения.

13. Способ по п. 12, который дополнительно включает растягивание алюминиевого 45 сплава, причем растягивание осуществляют после этапа (b).

14. Способ по п. 12, который включает:

(е) формование алюминиевого сплава в изделие с заданной формой одновременно с или после этапа (с) искусственного старения.

15. Способ по п. 12, который включает этапы (а)-(с), необязательно с этапом (d).

16. Способ по п. 14, который включает этапы (а)-(с) и (е), необязательно с этапом (d).

17. Способ термообработки литейных и деформируемых алюминий-цинк-магние-
5 сплавов, включающий:

(а) приготовление деформируемого алюминиевого сплава 7xxx для термообработки на твердый раствор, причем деформируемый алюминиевый сплав 7xxx содержит 4,0-9,5 мас.% Zn, 1,2-3,0 мас.% Mg и до 2,6 мас.% Cu;

10 (b) после этапа (а), термообработку на твердый раствор, а затем закалку деформируемого алюминиевого сплава 7xxx;

(с) после этапа (b), искусственное старение деформируемого алюминиевого сплава 7xxx, причем этап (с) искусственного старения включает:

15 (i) первое старение деформируемого алюминиевого сплава 7xxx при первой температуре в диапазоне от 310°F до 430°F в течение от 1 минуты до 360 минут, причем первое старение включает нагревание алюминиевого сплава до первой температуры в пределах 50 минут,

(ii) второе старение деформируемого алюминиевого сплава 7xxx при второй температуре в течение по меньшей мере 0,5 часа, причем вторая температура ниже, чем первая температура.

20 18. Способ по п. 17, в котором вторая температура по меньшей мере на 10°F ниже, чем первая температура, или вторая температура по меньшей мере на 20°F ниже, чем первая температура, или вторая температура по меньшей мере на 30°F ниже, чем первая температура, или вторая температура по меньшей мере на 40°F ниже, чем первая температура, или вторая температура по меньшей мере на 50°F ниже, чем первая
25 температура, или вторая температура по меньшей мере на 60°F ниже, чем первая температура, или вторая температура по меньшей мере на 70°F ниже, чем первая температура.

19. Способ по любому из пп. 17-18, в котором длительность этапа первого старения составляет не более 120 минут или не более 90 минут, или не более 60 минут, или не
30 более 45 минут, или не более 30 минут, или не более 20 минут.

20. Способ по п. 19, в котором длительность этапа первого старения составляет по меньшей мере 5 минут.

21. Способ по п. 19, в котором длительность этапа первого старения составляет от 5 до 20 минут.

35 22. Способ по п. 20, в котором длительность этапа второго старения составляет от 1 до 12 часов или от 2 до 8 часов, или от 3 до 8 часов.

23. Способ по п. 17, в котором сплав содержит от 1,0 до 2,6 мас.% Cu, первая температура составляет от 310° до 400°F, и длительность этапа первого старения составляет не более 120 минут.

40 24. Способ по п. 17, в котором сплав содержит от 1,0 до 2,6 мас.% Cu, первая температура составляет от 320° до 390°F, и длительность этапа первого старения составляет не более 90 минут.

25. Способ по п. 17, в котором сплав содержит от 1,0 до 2,6 мас.% Cu, первая температура составляет от 330° до 385°F и длительность этапа первого старения
45 составляет не более 60 минут.

26. Способ по п. 17, в котором сплав содержит от 1,0 до 2,6 мас.% Cu, первая температура составляет от 340° до 380°F и длительность этапа первого старения составляет не более 30 минут.

27. Способ по любому из пп. 23-26, в котором температура второго старения составляет от 250° до 350°F и длительность этапа второго старения составляет от 0,5 до 12 часов или температура второго старения составляет от 270° до 340°F и длительность этапа второго старения составляет от 1 до 12 часов, или температура
5 второго старения составляет от 280° до 335°F и длительность этапа второго старения составляет от 2 до 8 часов, или температура второго старения составляет от 290° до 330°F и длительность этапа второго старения составляет от 2 до 8 часов, или температура второго старения составляет от 300° до 325°F и длительность этапа второго старения составляет от 2 до 8 часов.

10 28. Способ по п. 27, в котором длительность этапа второго старения составляет по меньшей мере 3 часа или по меньшей мере 4 часа.

29. Способ по п. 27, в котором деформируемый алюминиевый сплав 7xxx содержит от 5,7 до 8,4 мас.% Zn, от 1,3 до 2,3 мас.% Mg и от 1,3 до 2,6 мас.% Cu.

15 30. Способ по п. 29, в котором деформируемый алюминиевый сплав 7xxx содержит от 7,0 до 8,4 мас.% Zn.

31. Способ по п. 27, в котором деформируемый алюминиевый сплав 7xxx выбирают из группы, состоящей из 7x85, 7x55, 7x50, 7x40, 7x99, 7x65, 7x78, 7x36, 7x37, 7x49 и 7x75.

32. Способ по п. 27, в котором деформируемый алюминиевый сплав 7xxx представляет собой сплав 7x85.

20 33. Способ по п. 27, в котором деформируемый алюминиевый сплав 7xxx представляет собой сплав 7x55.

34. Способ по п. 27, в котором деформируемый алюминиевый сплав 7xxx представляет собой сплав 7x65.

35. Способ по п. 17, в котором упомянутый сплав содержит от 0,25 до менее 1,0 мас.%
25 Cu, первая температура составляет от 330° до 430°F и длительность этапа первого старения составляет не более 120 минут.

36. Способ по п. 17, в котором упомянутый сплав содержит от 0,25 до менее 1,0 мас.% Cu, первая температура составляет от 340° до 425°F и длительность этапа первого старения составляет не более 90 минут.

30 37. Способ по п. 17, в котором сплав содержит от 0,25 до менее 1,0 мас.% Cu, первая температура составляет от 350° до 420°F и длительность этапа первого старения составляет не более 60 минут.

38. Способ по п. 17, в котором сплав содержит от 0,25 до менее 1,0 мас.% Cu, первая температура составляет от 360° до 415°F и длительность этапа первого старения
35 составляет не более 30 минут.

39. Способ по любому из пп. 35-38, в котором температура второго старения составляет от 250° до 370°F и длительность этапа второго старения составляет от 0,5 до 12 часов или температура второго старения составляет от 270° до 360°F и длительность этапа второго старения составляет от 1 до 12 часов, или температура
40 второго старения составляет от 280° до 355°F и длительность этапа второго старения составляет от 2 до 8 часов, или температура второго старения составляет от 290° до 350°F и длительность этапа второго старения составляет от 2 до 8 часов, или температура второго старения составляет от 300° до 345°F и длительность этапа второго старения составляет от 2 до 8 часов.

40 40. Способ по п. 39, в котором длительность этапа второго старения составляет по меньшей мере 3 часа или по меньшей мере 4 часа.

41. Способ по п. 39, в котором деформируемый алюминиевый сплав 7xxx представляет собой сплав RU1953 или сплав 7x41.

42. Способ по п. 17, в котором сплав содержит менее 0,25 мас.% Cu, первая температура составляет от 310° до 400°F и длительность этапа первого старения не более 120 минут.

5 43. Способ по п. 17, в котором сплав содержит менее 0,25 мас.% Cu, первая температура составляет от 320° до 390°F и длительность этапа первого старения составляет не более 90 минут.

44. Способ по п. 17, в котором сплав содержит менее 0,25 мас.% Cu, первая температура составляет от 330° до 385°F и длительность этапа первого старения составляет не более 60 минут.

10 45. Способ по п. 17, в котором сплав содержит менее 0,25 мас.% Cu и в котором первая температура составляет от 340° до 380°F и длительность этапа первого старения составляет не более 30 минут.

46. Способ по любому из пп. 42-45, в котором температура второго старения составляет от 250° до 350°F и длительность этапа второго старения составляет от 0,5
15 до 12 часов или температура второго старения составляет от 270° до 340°F и длительность этапа второго старения составляет от 1 до 12 часов, или температура второго старения составляет от 280° до 335°F и длительность этапа второго старения составляет от 2 до 8 часов, или температура второго старения составляет от 290° до 330°F и длительность этапа второго старения составляет 2 до 8 часов, или температура
20 второго старения составляет от 300° до 325°F и длительность этапа второго старения составляет от 2 до 8 часов.

47. Способ по п. 46, в котором длительность этапа второго старения составляет по меньшей мере 3 часа или по меньшей мере 4 часа.

25 48. Способ по п. 46, в котором деформируемый алюминиевый сплав 7xxx выбирают из группы, состоящей из 7x05, 7x39, 7x47 и RU1980.

49. Способ по любому из пп. 17-18, 35-38 и 42-45, который включает снятие напряжений у деформируемого алюминиевого сплава 7xxx, причем снятие напряжений производят после этапа (b) и перед этапом (c).

30 50. Способ по п. 49, в котором снятие напряжений включает по меньшей мере одно из растягивания на 0,5-8% и сжатия на 0,5-12%.

51. Способ по п. 50, в котором этап искусственного старения состоит из этапа первого старения и этапа второго старения.

35

40

45

ФИГ. 1

