РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 641 211** (13) **C1**

(51) МПК
C22F 1/047 (2006.01)
B21J 5/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
C22F 1/047 (2006.01); B21J 5/00 (2006.01)

(21)(22) Заявка: **2016150778, 22.12.2016**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.12.2016

Дата регистрации:
16.01.2018

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **22.12.2016**

(45) Опубликовано: **16.01.2018** Бюл. № **2**

Адрес для переписки:
603950, г. Нижний Новгород, ГСП-20, пр. Гагарина, 23, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):
Чувильдеев Владимир Николаевич (RU),
Нохрин Алексей Владимирович (RU),
Козлова Наталия Анатольевна (RU),
Чегуров Михаил Константинович (RU),
Копылов Владимир Ильич (BY),
Лопатин Юрий Геннадьевич (RU),
Бобров Александр Андреевич (RU),
Сахаров Никита Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2478136 C2, 27.03.2013. RU 2465365 C1, 27.10.2012. RU 2467090 C1, 20.11.2012. RU 2468107 C1, 27.11.2012. EP 2554285 A1,06.02.2013.**

(54) СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОЙ И КОРРОЗИОННО-СТОЙКОЙ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВО-МАГНИЕВОГО СПЛАВА

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, в частности к технологии термомеханической обработки алюминиевого сплава с содержанием магния не более 6 вес.% для изготовления деформированных полуфабрикатов и легковесных изделий из него, предназначенных для использования в авиакосмической, судостроительной и автомобильной отраслях промышленности. Способ получения заготовок из высокопрочного и коррозионно-стойкого алюминиево-магниевого сплава с содержанием магния не более 6 вес.% включает литье сплава и термомеханическую обработку отливок с получением заготовок. Термомеханическую обработку отливок проводят путем прокатки со скоростью 0,4 мм/с при комнатной температуре до достижения в полученных заготовках общей истинной степени деформации e=1,3, а затем путем отжига при температуре 300-325°C в течение 30 мин обеспечивают формирование однородной структуры заготовок со средним размера зерна 0,4-0,5 мкм. Повышаются прочность и коррозионная стойкость. 2 з.п. ф-лы, 2 пр.

RU 2641211 C1

RU 2641211 C1

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 641 211** (13) **C1**

(51) Int. Cl.
C22F 1/047 (2006.01)
B21J 5/00 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC
C22F 1/047 (2006.01); B21J 5/00 (2006.01)

(21)(22) Application: **2016150778, 22.12.2016**

(24) Effective date for property rights:
22.12.2016

Registration date:
16.01.2018

Priority:
(22) Date of filing: **22.12.2016**

(45) Date of publication: **16.01.2018** Bull. № **2**

Mail address:
603950, g. Nizhnij Novgorod, GSP-20, pr. Gagarina, 23, Nizhegorodskij gosudarstvennyj universitet im. N.I. Lobachevskogo, patentno-litsenzionnyj otdel

(72) Inventor(s):
Chuvildeev Vladimir Nikolaevich (RU),
Nokhrin Aleksej Vladimirovich (RU),
Kozlova Nataliya Anatolevna (RU),
Chegurov Mikhail Konstantinovich (RU),
Kopylov Vladimir Ilich (BY),
Lopatin Yurij Gennadevich (RU),
Bobrov Aleksandr Andreevich (RU),
Sakharov Nikita Vladimirovich (RU)

(73) Proprietor(s):
federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Natsionalnyj issledovatelskij Nizhegorodskij gosudarstvennyj universitet im. N.I. Lobachevskogo" (RU)

(54) METHOD OF FORMING HIGH-STRENGTH AND CORROSION-RESISTANT STRUCTURE OF ALUMINIUM-MAGNESIUM ALLOY

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to technology of thermomechanical treatment of aluminium alloy with magnesium content not more than 6 wt % for producing deformed semi-finished products and light-weight products therefrom for using in aerospace, shipbuilding and automobile industries. Method for producing billets from high-strength and corrosion-resistant aluminium-magnesium alloy with magnesium content not more than 6 wt % includes casting of alloy and thermomechanical treatment of castings with production of billets. Thermomechanical treatment of castings is carried out by rolling at 0.4 mm/s rate at room temperature to achieve total true degree of deformation e=1.3 in the produced billets, and then by annealing at 300-325°C for 30 minutes to form billets of homogeneous structure with average grain size 0.4-0.5 mcm.

EFFECT: enhanced strength and corrosion resistance.

3 cl, 2 ex

RU 2641211 C1

RU 2641211 C1

Изобретение относится к области металлургии сплавов, в частности, к технологии термомеханической обработки алюминиево-магниевого сплава для получения его мелкозернистой высокопрочной и коррозионно-стойкой структуры при изготовлении деформированных полуфабрикатов и легковесных изделий из него, предназначенных для использования в авиакосмической, судостроительной и автомобильной отраслях промышленности.

Среди наиболее перспективных конструкционных материалов, внедрение которых направлено на создание облегченных корпусных конструкций скоростных судов повышенной надежности, способных эксплуатироваться в условиях одновременного воздействия статических и динамических нагрузок циклического характера, а также воздействия коррозионно-агрессивных сред выделяются алюминиевые сплавы, которые обладают более высокой (по сравнению со сталью) удельной прочностью (отношение предела прочности к плотности сплава).

При этом магний в состоянии твердого раствора в алюминиевых сплавах приводит к повышению их коррозионной стойкости, но при условии концентрации магния не более до 6 вес. %, соответствующей пределу растворимости магния в алюминии, что обусловило выбор в предлагаемом способе формирования мелкозернистой высокопрочной и коррозионно-стойкой структуры алюминиевого сплава сплавов Al-Mg с преобладанием магния в их составах при содержании 1-6 вес. % Mg.

Вместе с тем большая стоимость изделий из алюминиевых сплавов, а также низкие показатели коррозионной стойкости алюминиевых сплавов по сравнению с коррозионно-стойкими сталями, сводят практически к минимуму основные преимущества, связанные с перспективой внедрения этих конструкционных материалов в судостроении.

Существенное повышение прочности сплавов (при сохранении в них заданных параметров коррозионной стойкости) позволяет изготавливать более тонкие и, как следствие, более легкие суда, обеспечивая, тем самым, решение комплекса проблем энергосбережения в судостроении (снижение веса судна ведет к уменьшению расхода топлива и загрязнению окружающей среды). Меньший вес судов обеспечивает повышение грузоподъемности, улучшает их мореходные качества, повышает скорость судна или обеспечивает снижение мощности двигательных установок и др. При этом повышение коррозионной стойкости корпусов судов позволяет существенно повысить их ресурс и надежность.

Известно, что формирование мелкозернистой структуры алюминиевых сплавов с одновременным повышением коррозионной стойкости позволяет обеспечить повышение стойкости изделий против коррозионной усталости и коррозионного растрескивания под напряжением - одних из основных повреждающих процессов в судо- и авиастроении (см., например, статьи на англ яз. авторов Mala M. Sharma, Josh D. Tomedi, Jeffery M. Parks «A microscopic study on the corrosion fatigue of ultra-fine grained and conventional Al-Mg alloy» - Corrosion Science, 2015, v. 93, p. 180-190; Matthias Hockauf, Lothar W. Meyer, Daniela Nickel, Gert Alisch, Thomas Lampke, Bernhard Wielage, Lutz Krüger «Mechanical properties and corrosion behaviour of ultrafine-grained AA6082 produced by equal-channel angular pressing" - Journal of Materials Science, 2008, v. 43, p. 7409-7417; Mala M. Sharma, Josh D. Tomedi, Timothy J. Weigley «Slow strain rate testing and stress corrosion cracking of ultra-fine grained and conventional Al-Mg alloy» - Materials Science and Engineering A, 2014, v. 619, p. 35-46; G.R. Argade, N. Kumar, R.S. Mishra «Stress corrosion cracking susceptibility of ultrafine grained Al-Mg-Sc alloy» - Materials Science and Engineering A, 2013, v. 565, p. 80-89).

В настоящее время эта задача решается за счет комплексного легирования алюминиевого сплава, а также его термомеханической обработкой путем последовательного использования горячей деформации и отжигов.

Примером использования большого числа легирующих элементов, ухудшающих технологичность обработки алюминиевого сплава, и, как следствие, необходимость использования высоких температур пластической деформации, является алюминиевый сплав с высокой коррозионной стойкостью, способностью к протяжке и экструзии (см. евразийский патент №3950, C22C 21/10, 2003) с содержанием кремния от 0.05 до 0.15%, железа - от 0.06 до 0.35%, марганца - 0.01-1%, магния - 0.02-0.6%, цинка - 0.05-0.7%, хрома и титана - до 0.25%, циркония - до 0.2%, меди - до 0.1%, горячую деформацию которого осуществляют методом горячей экструзии при температуре 455-490°C со скоростью 16.5 мм/с.

В качестве прототипа заявляемого способа получения заготовок из высокопрочного и коррозионно-стойкого алюминиево-магниевого сплава выбран известный способ (по патенту RU 2478136, C22F 1/05, 2013), включающий литье сплава системы Al-Mg-Si и термомеханическую обработку отливок с получением заготовок, включающую в свою очередь закалку от 520-565°C в воду, пластическую деформацию и искусственное старение, причем пластическую деформацию осуществляют с истинной накопленной деформацией e≥4 методом интенсивной пластической деформации при температуре не выше 300°C и искусственное старение при температуре 100-180°C с временем выдержки 0,5-24 ч с получением структуры со средним размером зерна 400-1000 нм.

Основным недостатком способа-прототипа является невысокая технологичность - высокая насыщенность технологических операций, требуемая для обеспечения повышения коррозионной стойкости при сохранении высокого уровня механических свойств.

Технический результат от использования предлагаемого изобретения - повышение технологичности обеспечения высоких прочности (твердости) и коррозионной стойкости алюминиево-магниевого сплава за счет исключения горячей механической обработки и уменьшения количества технологических операций при предлагаемых режимных параметрах прокатки и отжига заготовок.

Кроме того, предлагаемый способ расширяет современный технологические возможности современных и традиционных технологий обработки материалов, обеспечивающие получение мелкозернистой высокопрочной и коррозионно-стойкой структуры алюминиево-магниевого сплава при изготовлении деформированных полуфабрикатов и легковесных изделий из него.

Для достижения указанного технического результата в способе получения заготовок из высокопрочного и коррозионно-стойкого алюминиево-магниевого сплава с содержанием магния не более 6 вес. %, включающем литье сплава и термомеханическую обработку отливок с получением заготовок, последнюю проводят путем прокатки со скоростью 0.4 мм/с при комнатной температуре до достижения в полученных заготовках общей истинной степени деформации e=1.3, а затем путем отжига при температуре 300-325°C в течение 30 мин обеспечивают формирование однородной структуры заготовок со средним размера зерна 0.4-0.5 мкм.

В частных случаях:

отжиг заготовок сплава АМг3 проводят при температуре 300°C в течение 30 мин, при этом обеспечивают формирование однородной структуры со средним размера зерна 0.45 мкм, твердость по Виккерсу 950 МПа и скорость общей коррозии 0.2 мм/год;

отжиг заготовок из сплава АМг5 проводят при температуре 325°С в течение 30 мин, при этом обеспечивают формирование однородной структуры со средним размера зерна 0.45 мкм, твердость по Виккерсу 980 МПа, и скорость общей коррозии 0.3 мм/год.

Предлагаемый способ осуществляют следующим образом.

Проводят индукционное литье алюминиевого сплава Al-Mg с содержанием 1-6 вес. % Mg в его составе.

Затем термомеханическую обработку заготовок проводят путем прокатки со скоростью 0.4 мм/с при комнатной температуре до общей истинной степени деформации e=1.3 в результате последовательного набора степени деформации на каждом последующем этапе прокатки.

После чего, деформированные заготовки подвергают отжигу при температуре, выбираемой из оптимального интервала 250-325°С, в течение 30 мин.

На выходе в заготовках формируется однородная мелкозернистая структура со средним размера зерна 0.4-0.5 мкм, сопровождаемая диффузионным перераспределением вредных коррозионно-активных примесей с границ зерен, образовавшихся при литье, на новые границы зерен деформационного происхождения, образующихся при указанной прокатке.

Примеры осуществления предлагаемого способа.

Пример 1.

Заготовки из отливок сплава АМг3 подвергают прокатке со скоростью 0.4 мм/с при комнатной температуре до достижения общей истинной степени деформации e=1.3 и отжигу при температуре 300°С в течение 30 мин, приводящими к формированию однородной (мелкозернистой) структуры со средним размера зерна 0.45 мкм с обеспечением твердости по Виккерсу, равной 950 МПа, и скорости общей коррозии 0.2 мм/год.

Пример 2.

Заготовки из отливок сплава АМг5 подвергают прокатке со скоростью 0.4 мм/с при комнатной температуре до достижения общей истинной степени деформации e=1.3 и отжигу при температуре 325°С в течение 30 мин, приводящими к формированию однородной (мелкозернистой) структуры со средним размера зерна 0.45 мкм с обеспечением твердости по Виккерсу, равной 980 МПа, и скорости общей коррозии 0.3 мм/год.

Экспериментально установлено: выход за границы указанных режимов деформации и оптимальной температуры отжига приводит к уменьшению получаемых прочностных свойств (твердости) и снижению коррозионной стойкости либо за счет формирования субзеренной структуры с повышенной прочностью (твердостью), но низкой коррозионной стойкостью (при более высоких скоростях прокатки, более высоких значениях деформации и меньших температурах отжига), либо за счет формирования рекристаллизованной структуры с низкой прочностью (твердостью), но повышенной коррозионной стойкостью (при малых скоростях прокатки, малых степенях деформации и более высоких температурах отжига).

Повышение прочности металлических материалов, обеспечивающееся за счет измельчения зеренной структуры и повышения плотности дислокаций, приводит к снижению коррозионной стойкости материала. Это связано с тем, что граница зерна в мелкозернистом металле, обладающая особой структурой и являющаяся областью сегрегации примесей, в электролите образует с кристаллической решеткой микрогальваническую пару. В общем случае, высокая объемная доля таких

микрогальванических пар в мелкозернистом металле должна приводить к увеличению скорости коррозии. Однако возможны условия, при которых коррозионная стойкость высокопрочного мелкозернистого металлического материала может стать более высокой, чем стойкость обычного крупнокристаллического металлического материала.

Такой эффект может иметь место в случае, когда коррозионная стойкость границ зерен связана с уровнем зернограничной сегрегации - концентрации в них нежелательных примесей. При заданной интегральной концентрации зернограничных примесей и их равномерном распределении по границам, локальная концентрация примеси на границе зерна в крупнозернистом металлическом материале (с размером зерна d_1) может быть в $(d_1/d_2)^2$ раза выше, чем в мелкозернистом металлическом материале (с размером зерна d_2). В этом случае, при измельчении зерен (до 0.4-0.5 мкм после отжига) можно добиться снижения концентрации примесей на границах зерен. Для этого, конечно, необходимо обеспечить условия диффузионного перераспределения примесей - их ухода со старых (исходных) границ на новые - сформировавшиеся в процессе деформации, которые и составили деформационные режимные условия предлагаемого способа (скорость прокатки 0.4 мм/с и общая истинная степень деформации e=1.3, обеспечиваемая указанной прокаткой).

Сравнение технологических, прочностных и коррозионных свойств на выходе после осуществления способа-прототипа и предлагаемого способа подтверждает достижение технического результата от использования предлагаемого способа - повышение технологичности обеспечения высоких прочности (твердости) и коррозионной стойкости алюминиевого сплава с преобладанием магния в его составе за счет исключения горячей механической обработки и уменьшения количества технологических операций при предлагаемых режимных параметрах прокатки и отжига заготовок.

Так получаемые на выходе в примерах 1-3 твердости образцов по Виккерсу H_v (МПа): 950 и 980 соответствуют расчетным величинам $\sigma_{0,2}$ (МПа): 315 и 325 (исходя из соотношения $\sigma_{0,2}=H_v/3$), что при получаемой $\sigma_{0,2}$=300 МПа в способе-прототипе подтверждает достижение высоких прочностных свойств алюминиевого сплава с преобладанием магния в его составе в предлагаемом способе при высоких коррозионных свойствах (скорости общей коррозии 0.2-0.3 мм/год) при этом.

(57) Формула изобретения

1. Способ получения заготовок из высокопрочного и коррозионно-стойкого алюминиево-магниевого сплава с содержанием магния не более 6 вес.%, включающий литье сплава и термомеханическую обработку отливок с получением заготовок, отличающийся тем, что термомеханическую обработку отливок проводят путем прокатки со скоростью 0,4 мм/с при комнатной температуре до достижения в полученных заготовках общей истинной степени деформации e=1,3, а затем путем отжига при температуре 300-325°С в течение 30 мин обеспечивают формирование однородной структуры заготовок со средним размера зерна 0,4-0,5 мкм.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что отжиг заготовок из сплава АМг3 проводят при температуре 300°С в течение 30 мин, при этом обеспечивают формирование однородной структуры со средним размером зерна 0,45 мкм, твердость по Виккерсу 950 МПа и скорость общей коррозии 0,2 мм/год.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что отжиг заготовок из сплава АМг5 проводят при температуре 325°С в течение 30 мин, при этом обеспечивают формирование однородной структуры со средним размера зерна 0,45 мкм, твердость по Виккерсу 980

МПа и скорость общей коррозии 0,3 мм/год.