



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
C22F 1/06 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017141379, 28.11.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
28.11.2017

Дата регистрации:  
22.08.2018

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 28.11.2017

(45) Опубликовано: 22.08.2018 Бюл. № 24

Адрес для переписки:  
119991, Москва, ГСП-1, В-49, Ленинский пр-кт,  
4, НИТУ "МИСиС", отдел интеллектуальной  
собственности

(72) Автор(ы):

Добаткин Сергей Владимирович (RU),  
Мартыненко Наталья Сергеевна (RU),  
Лукьянова Елена Александровна (RU),  
Серебряный Владимир Нинелович (RU),  
Морозов Михаил Михайлович (RU),  
Юсупов Владимир Сабитович (RU),  
Эстрин Юрий Захарович (AU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Национальный  
исследовательский технологический  
университет "МИСиС" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: CN 101745592 A, 23.06.2010. CN  
104759839 A, 08.07.2015. CN 105921542 A,  
07.09.2016. US 20160168678, 16.06.2016. RU  
2396368 C2, 10.08.2010.

(54) Способ обработки магниевого сплава системы Mg-Al-Zn методом ротационнойковки

(57) Реферат:

Изобретение относится к сплавам на основе магния, в частности к способам деформационной обработки магниевых сплавов, и может быть использовано для получения изделий, применяемых в качестве конструкционных материалов в авиации, ракетной технике, транспорте и т.д. Способ обработки магниевого сплава системы Mg-Al-Zn включает предварительную термообработку путем гомогенизирующего отжига при температуре 450-500°C и ротационнуюковку, причем ротационнуюковку осуществляют ступенчато в интервале

температур 400-350°C с суммарной истинной степенью деформации 2,5-3, при этомковку на каждой ступени осуществляют при температуре на 25°C ниже предыдущей ступени до получения структуры, состоящей из зерен со средним размером меньше 5 мкм, насыщенных двойниками деформации. Техническим результатом изобретения является повышение прочности сплава на основе магния системы Mg-Al-Zn с одновременным повышением его пластичности. 1 пр.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*C22F 1/06* (2006.01)

(21)(22) Application: **2017141379, 28.11.2017**

(24) Effective date for property rights:  
**28.11.2017**

Registration date:  
**22.08.2018**

Priority:

(22) Date of filing: **28.11.2017**

(45) Date of publication: **22.08.2018** Bull. № 24

Mail address:  
**119991, Moskva, GSP-1, V-49, Leninskij pr-kt, 4,  
NITU "MISiS", otdel intellektualnoj sobstvennosti**

(72) Inventor(s):  
**Dobatkin Sergej Vladimirovich (RU),  
Martynenko Natalya Sergeevna (RU),  
Lukyanova Elena Aleksandrovna (RU),  
Serebryanyj Vladimir Ninelovich (RU),  
Morozov Mikhail Mikhajlovich (RU),  
Yusupov Vladimir Sabitovich (RU),  
Estrin Yuriy Zakharovich (AU)**

(73) Proprietor(s):  
**Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Natsionalnyj issledovatel'skij  
tehnologicheskij universitet "MISiS" (RU)**

(54) **METHOD FOR TREATING MG-AL-ZN MAGNESIUM ALLOY USING ROTATIONAL FORGING METHOD**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to magnesium based alloys, in particular to methods for deformation treatment of magnesium alloys, and can be used to produce products used as structural materials in aviation, rocketry, transport, etc. This method for processing magnesium alloys of the Mg-Al-Zn system comprises a preliminary heat treatment by homogenizing annealing at a temperature of 450–500 °C and rotary forging, wherein the rotary forging is performed stepwise in the temperature range

of 400–350 °C with a total true degree of deformation of 2.5–3, wherein the forging at each stage is carried out at a temperature that is 25 °C below the temperature of the previous stage until the required structure is obtained, consisting of grains with an average size of less than 5 microns, full of deformation twins.

EFFECT: technical result of the invention is to increase the strength of magnesium-based alloys of the Mg-Al-Zn system while simultaneously increasing their plasticity.

1 cl, 1 ex

RU 2 664 744 C1

RU 2 664 744 C1

Изобретение относится к сплавам на основе магния, в частности к способам деформационной обработки магниевых сплавов.

Магний и его сплавы обладают низким удельным весом, высокой удельной прочностью, хорошо поглощают механические вибрации, в результате чего они нашли широкое применение в качестве конструкционных материалов в авиации, ракетной технике и транспорте. Вместе с тем, магний и его сплавы обладают рядом недостатков, к которым относятся низкая технологичность из-за невысокой пластичности, особенно при комнатной температуре.

Алюминий и цинк являются наиболее распространенными легирующими элементами в магниевых сплавах, однако упрочняющее действие этих элементов сохраняется только до температур 150-200°C. Для повышения удельной прочности и технологичности таких сплавов прибегают к измельчению их зеренной структуры методами интенсивной пластической деформации (ИПД), в частности равноканальным угловым прессованием (РКУП) и кручением под высоким давлением (КВД). Вместе с тем, отмеченные методы ИПД не всегда вписываются в технологическую цепочку производства, в отличие от метода ротационной ковки, обеспечивающего при этом большую, чем при РКУП скорость деформирования.

Известны, в частности, способы обработки магниевых сплавов ротационной ковкой со скоростью деформации по меньшей мере  $10 \text{ сек}^{-1}$  при увеличении температуры вплоть до 90% от температуры плавления материала (US 9561538 B2, C22F 3/17, 07.02.2017; US 20160045949 A1, B21J 7/16, 18.02.2016). Эти способы позволяют повысить прочность сплава за счет создания мелкозернистой структуры. Однако пластичность сплава при указанной обработке остается невысокой.

Известен также способ обработки магниевого сплава для получения проволоки, включающий предварительный нагрев магниевого сплава при температуре от 120 до 200°C в течение 1-15 мин и проведение ротационной ковки со скоростью, поддерживаемой в интервале между 6 и 10 м/мин (CN 101745592 A, C22F 1/06, 23.06.2010). Способ высокопродуктивен, прост в исполнении и не требует специального оборудования. Предел текучести полученного в результате обработки сплава на 25-53%, а предел прочности на 18-23% выше чем при использовании экструзии. Указанный способ принят в качестве наиболее близкого аналога для сравнения с методом, предлагаемым в настоящей заявке.

Задачей изобретения является создание способа обработки магниевого сплава системы магний-алюминий-цинк, позволяющего с помощью стандартного оборудования получить продукт, обладающий оптимальным сочетанием механических свойств.

Техническим результатом изобретения является повышение прочности сплава на основе магния системы Mg-Al-Zn с одновременным повышением пластичности.

Технический результат достигается тем, что в способе обработки магниевого сплава системы Mg-Al-Zn, включающем предварительную термообработку сплава и ротационную ковку, предварительную термообработку проводят путем гомогенизирующего отжига при температуре 450-500°C, а ротационную ковку осуществляют ступенчато в интервале температур 400-350°C с суммарной истинной степенью деформации 2,5-3, при этом ковку на каждой ступени осуществляют при температуре на 25°C ниже предыдущей ступени до получения структуры, состоящей из зерен со средним размером меньше 5 мкм, насыщенных двойниками деформации.

Сущность изобретения заключается в следующем.

Проведение гомогенизирующего отжига в интервале температур 450-500°C позволяет получить в сплаве системы Mg-Al-Zn достаточно однородную структуру, в результате

пластичность сплава повышается, что позволяет значительно интенсифицировать последующую обработку ротационной ковкой.

Проведение ротационнойковки на первой ступени при максимальной температуре приводит к образованию структуры с незначительной неоднородностью и образованием двойников деформации, преимущественно в крупных зернах, что приводит к незначительному увеличению прочности при сохранении пластичности на прежнем уровне.

Проведение следующих этапов деформации при температуре на 25°C ниже температуры деформации первого этапа с суммарной истинной степенью деформации 2,5-3 приводит к поэтапному измельчению зерен и увеличению в них плотности двойников деформации. Вместе с тем, из-за активизации призматического скольжения и максимального рассеяния текстуры одновременно увеличивается пластичность сплава.

Следует отметить, что поэтапное снижение температуры на величину, большую 25°C, при каждом последующем шаге ротационнойковки повышает прочность сплава, но снижает его пластические характеристики. К таким же результатам приводит снижение нижнего значения интервала температур проведения ротационнойковки. Ротационнаяковка с суммарной истинной степенью деформации ниже 2,5 не обеспечивает необходимых значений прочности сплава, поскольку она не позволяет достичь измельчения зерна до уровня 5 мкм с достаточно высокой плотностью насыщения зерен двойниками деформации.

#### Пример

Обработке подвергали прутки из промышленного магниевосплавa МА2-1пч, содержащего, мас. %: 4,4 Al, 0,9 Zn, 0,4 Mn.

Гомогенизирующий отжиг проводили при температуре 460°C в течение 6 часов. Ротационнуюковку осуществляли на ротационно-ковочной машине РКМ 31 на прутках диаметром 20 мм в три этапа с постепенным понижением температурыковки на 25°C в интервале температур 400-350°C с одновременным увеличением истинной степени деформации до суммарной величины 2,77 с получением конечного диаметра прутков 5 мм. На первом этапе ротационнуюковку проводили при температуре 400°C с истинной степенью деформации 0,58 до получения прутка диаметром 15 мм, на втором этапе - при температуре 375°C с суммарной истинной степенью деформации 1,39 до получения диаметра прутка 10 мм, на третьем этапе - при температуре 350°C с суммарной истинной степенью деформации 2,77 до конечного диаметра прутка 5 мм.

После гомогенизирующего отжига сплав имел однородную структуру со средним размером зерна порядка 19 мкм. Предел прочности сплава составлял 280 МПа, предел текучести - 220 МПа и относительное удлинение - 10,2%.

После первой стадии ротационнойковки при 400°C предел прочности и предел текучести незначительно повысились (до 310 МПа и 230 МПа, соответственно), при этом удлинение сохранилось на уровне не подвергнутого деформационному упрочнению сплава, порядка 10%.

Ротационнаяковка на второй стадии при температуре на 25°C ниже первой (375°C) привела к еще большему повышению прочности (до 340 МПа) с незначительным снижением пластичности до 8%. Наконец, третья стадия ротационнойковки при температуре, сниженной до 350°C, повысила прочностные характеристики сплава до 380 МПа (предел прочности) и до 330 МПа (предел текучести), причем одновременно повысилась пластичность сплава, относительное удлинение составило 12,6%.

Микроструктурный анализ обработанного по предложенной технологии сплава показал, что он имеет структуру с размером зерен порядка 3 мкм и высокой плотностью

двойников деформации с шириной двойников  $1,5 \pm 0,1$  мкм. Рентгеноструктурный анализ текстуры показал значительную активизацию призматического скольжения, что привело к повышению пластичности ультрамелкозернистого магниевого сплава.

5 Таким образом, предложенная технология обработки магниевых сплавов системы Mg-Al-Zn многостадийной ротационной ковкой позволяет получить изделия из магниевых сплавов с высоким сочетанием прочностных и пластических свойств.

(57) Формула изобретения

10 Способ обработки магниевого сплава системы Mg-Al-Zn, включающий предварительную термообработку сплава и ротационную ковку, отличающийся тем, что предварительную термообработку проводят путем гомогенизирующего отжига при температуре  $450-500^{\circ}\text{C}$ , а ротационную ковку осуществляют ступенчато в интервале температур  $400-350^{\circ}\text{C}$  с суммарной истинной степенью деформации 2,5-3, при этом ротационную ковку на каждой ступени осуществляют при температуре на  $25^{\circ}\text{C}$  ниже  
15 температуры предыдущей ступени до получения структуры, состоящей из зерен со средним размером меньше 5 мкм, насыщенных двойниками деформации.

20

25

30

35

40

45