



(51) МПК
C22F 1/047 (2006.01)
C22C 1/02 (2006.01)
C22C 21/06 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016126668, 04.07.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 04.07.2016

Дата регистрации:
 04.12.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 04.07.2016

(45) Опубликовано: 04.12.2017 Бюл. № 34

Адрес для переписки:
 308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул.
 Победы, 85, НИУ "БелГУ", ОИС, Цуриковой
 Н.Д.

(72) Автор(ы):

Могучева Анна Алексеевна (RU),
 Кулицкий Владислав Андреевич (RU),
 Кайбышев Рустам Оскарович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего
 образования "Белгородский государственный
 национальный исследовательский
 университет" (НИУ "БелГУ") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
 о поиске: RU 2451105 C1, 20.05.2012. EP
 1479786 A1, 24.11.2004. RU 2453626 C2,
 20.06.2012. RU 2575264 C1, 20.02.2016. EP
 1407057 B1, 20.04.2005.

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИСТОВ ИЗ СПЛАВА СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ-МАГНИЙ-МАРГАНЕЦ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к способам получения листов из алюминиевых сплавов на основе системы алюминий-магний-марганец, применяемых для изготовления ряда ответственных конструкций в судостроении, авиационной и ракетной промышленности, в вагоностроении для скоростных поездов, а также для изготовления корпусов автомобилей. Способ включает кристаллизацию слитков со скоростью не менее 100 К/с с температурой разливки 700-

720°С, гомогенизационный отжиг при температуре 360°С в течение 6 ч, после чего осуществляют прокатку при комнатной температуре с суммарным обжатием 80% с последующим рекристаллизационным отжигом при температуре 320°С в течение 2 ч. Способ обеспечивает получение листов с однородной мелкозернистой структурой и равномерным распределением дисперсных наноразмерных частиц. 1 пр., 1 табл.

RU 2 637 444 C1

RU 2 637 444 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 637 444**⁽¹³⁾ **C1**

(51) Int. Cl.
C22F 1/047 (2006.01)
C22C 1/02 (2006.01)
C22C 21/06 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2016126668, 04.07.2016**

(24) Effective date for property rights:
04.07.2016

Registration date:
04.12.2017

Priority:

(22) Date of filing: **04.07.2016**

(45) Date of publication: **04.12.2017** Bull. № 34

Mail address:

**308015, Belgorodskaya obl., g. Belgorod, ul. Pobedy,
85, NIU "BelGU", OIS, Tsurikovoj N.D.**

(72) Inventor(s):

**Kajbyshev Rustam Oskarovich (RU),
Kulitskij Vladislav Andreevich (RU),
Mogucheva Anna Alekseevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Belgorodskij gosudarstvennyj
natsionalnyj issledovatel'skij universitet" (NIU
"BelGU") (RU)**

(54) **METHOD FOR PRODUCING SHEETS OF ALLOY OF ALUMINIUM-MAGNESIUM-MANGANESE SYSTEM**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to methods for producing sheets of aluminium alloys on the basis of aluminium-magnesium-manganese system used for manufacturing a number of high-duty structures in shipbuilding, aircraft and rocket industry, in car-building for high-speed trains, as well as for manufacturing of automobile bodies. The method includes crystallisation of ingots at a rate of at least 100

k/s with casting temperature 700-720°C, homogenisation annealing at 360°C for 6 hours, after which rolling is carried out at room temperature with total reduction of 80% followed by recrystallisation annealing at 320°C for 2 hours.

EFFECT: production of sheets with uniform fine-grain structure and uniform distribution of dispersed nano-sized particles.

1 ex, 1 tbl

RU 2 637 444 C1

RU 2 637 444 C1

Предлагаемое изобретение относится к области металлургии, а именно к термической обработке и к способам получения листов из алюминиевых сплавов на основе системы алюминий-магний-марганец (Al-Mg-Mn), применяемых для изготовления ряда ответственных конструкций в судостроении, авиационной и ракетной промышленности, в вагоностроении для скоростных поездов, а также для изготовления корпусов автомобилей.

В настоящее время в промышленности сплавы системы Al-Mg-Mn являются самым распространенным конструкционным материалом корпусов катеров, яхт, судов на подводных крыльях, надстроек больших кораблей и судов. Как правило, эти сплавы применяются в виде тонких (толщина 3-8 мм) листов и профилей. Вполне очевидно, что корпус должен сочетать высокую прочность с малым весом. Известно, что для достижения высокой прочности и пластичности необходимо формирование мелкой однородной структуры (размер зерна менее 10 мкм). Также известно, что наличие дисперсных наноразмерных частиц и их гомогенное распределение способствует формированию однородной мелкозернистой структуры и обеспечивает стабильность структуры в листе во время термомеханической обработки (ТМО).

Сплавы системы Al-Mg-Mn содержат частицы Al_6Mn , которые в зависимости от ТМО могут иметь различный размер и форму. Стабильность однородной ультрамелкозернистой структуры в Al-Mg-Mn сплавах во время термомеханической обработки обеспечивает наличие дисперсных наночастиц Al_6Mn равноосной формы (I. Nikulin, A. Kipelova, S. Malopheyev, R. Kaibyshev, Acta Mater. 60 (2012) 487-4 97; Nikulin I, Kipelova A, Malopheyev S, Kaibyshev R. Mater Trans 52 (2011) 882).

Известен способ получения листов из алюминиевого сплава (RU №2042736, публ. от 27.08.1995), включающий горячее прессование литых заготовок при температуре 450-550°C, отжиг при температуре 450-550°C в течение 4-16 ч, горячую прокатку при температуре 350-450°C с суммарной степенью деформации $\geq 70\%$, холодную прокатку с суммарной степенью деформации $\geq 80\%$, отжиг при 150-250°C в течение 1-5 ч. Основным недостатком этого способа является трудоемкость и энергозатратность процесса получения листов, также размер зерна превышает 10 мкм и размер частиц составляет ~2 мкм.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к предлагаемому изобретению является способ получения листов из алюминиевого сплава на основе системы Al-Mg-Mn (RU №2451105, публ. 20.05.2012), включающий:

- кристаллизацию слитков со скоростью не менее 15 К/с с температурой разлива не менее 800°C;
- гомогенизацию, совмещенную с гетерогенизационным отжигом при температуре 480°C в течение 6 ч;
- горячую прокатку при температуре 430°C с суммарным обжатием 50%;
- предварительную холодную прокатку с обжатием 70%;
- промежуточный отжиг при температуре 510°C в течение 30 мин;
- окончательную холодную прокатку с обжатием 70%.

Главным недостатком этого способа является трудоемкость получения листов и энергозатратность.

Задачей предлагаемого изобретения является получение листов из алюминиевых сплавов на основе системы Al-Mg-Mn с однородной мелкозернистой структурой и равномерным распределением дисперсных наноразмерных частиц при сокращении количества и продолжительности технологических операций и снижении энергозатрат.

Решение поставленной задачи достигается тем, что в способе получения листов из

алюминиевых сплавов на основе системы Al-Mg-Mn, включающем кристаллизацию слитков, гомогенизацию, прокатку и отжиг проводят операции следующим образом: слиток отливают полунепрерывным литьем в кристаллизатор скольжения, кристаллизацию проводят со скоростью не менее 100 К/с с температурой разливки 700-720°C, затем проводят гомогенизационный отжиг при температуре 360°C в течение 6 ч, после чего осуществляют прокатку при комнатной температуре с суммарным обжатием 80% с последующим рекристаллизационным отжигом при температуре 320°C в течение 2 ч.

Таким образом, поставленная задача решена. Совокупность существенных признаков в предлагаемом способе позволяет получить технический результат, заключающийся в получение листов с однородной мелкозернистой структурой и равномерным распределением дисперсных наноразмерных частиц при сокращении количества и продолжительности технологических операций и снижении энергозатрат.

Температура разливки 700-720°C обеспечивает полное растворение интерметаллидных фаз и обеспечивает достаточную жидкотекучесть при разливке в форму. Перегрев свыше 720°C нежелателен, так как при этом сильно повышается окисляемость металла и образуется водородная пористость. Высокая скорость кристаллизации обеспечивает образование пересыщенного твердого раствора Zr и Mn в алюминиевой матрице и формирование исходной более мелкозернистой структуры.

При выдержке в течение 0,5-1 ч при 700-720°C расплава повышается степень его гомогенности за счет растворения первичных интерметаллидов, входящих в состав компонентов шихты. При отливке слитка методом полунепрерывного литья в кристаллизатор скольжения, предусматривающим обязательное интенсивное охлаждение слитка водой, обеспечивается скорость охлаждения металла в интервале температур кристаллизации, позволяющая зафиксировать цирконий, входящий в состав сплава, в пересыщенном твердом растворе, который распадается при отжиге слитка при 360°C в течение 6 ч с образованием дисперсных вторичных когерентных выделений фазы Al₃Zr размером менее 5 нм, тормозящих рост зерен при повышенных температурах.

Также низкая температура гомогенизации обеспечивает стабильность размера и морфологии дисперсных наноразмерных частиц Al₆Mn. Сохранение размера и формы частиц Al₆Mn в нанометровом диапазоне сферической формы способствует формированию стабильной и однородной мелкозернистой структуры при деформации и отжиге.

При прокатке заготовки при температуре с суммарным обжатием 80% происходит измельчение зерен, и при последующем рекристаллизационном отжиге формируется полностью рекристаллизованная однородная по сечению заготовки структура с размером зерен ~5 мкм и равномерным распределением дисперсных наноразмерных частиц сферической формы Al₆Mn (35 нм).

Пример осуществления способа

С использованием в качестве шихтовых материалов алюминия, магния и лигатур AlZr и AlMn, AlTiB готовили расплав алюминиевого сплава на основе системы Al-Mg-Mn содержащего, мас. %: Al - 5.4, Mg - 0.5, Mn - 0.1, Zr - 0.12, Si - 0.014 и Fe.

Перед отливкой слитка расплав выдерживали 1 ч при температуре 710°C и затем методом полунепрерывного литья в кристаллизатор скольжения отливали слиток (скорость кристаллизации не менее 100 К/с), который затем подвергали гомогенизационному отжигу при 360°C в течение 6 ч с последующим охлаждением с печью. После гомогенизации слитки обрабатываются для удаления поверхностных

дефектов.

Затем проводили прокатку при комнатной температуре с суммарным обжатием 80%.

В дальнейшем один лист был подвергнут последующему стандартному рекристаллизационному отжигу при температуре 400°C в течение 2 часов (Т.А. Lebedkina, М.А. Lebyodkin, Т.Т. Lamark, М. Janecsek, Y. Estrin, MSE A 615 (2014) 7-13). Другие листы были подвергнуты рекристаллизационному отжигу в интервале температур 300-360°C в течение 2 часов. Плиты после всех температур подвергались анализу на предмет установления размера зерна и частиц в листах для получения сравнительных данных. Из этих данных видно, что проведение рекристаллизационного отжига при температуре 320°C в течение 2 часов обеспечивает формирование однородной мелкозернистой структуры (Таблица 1).

Размер зерна, мкм						
Температура рекристаллизационного отжига						
400, °С	360, °С	340, °С	330, °С	320, °С	310, °С	300, °С
16-ПР	14-ПР	12-ПР	12-ПР	5-ПР	8-ЧР	7-ЧР
*ЧР – частично рекристаллизованная структура						
*ПР – полностью рекристаллизованная структура						

Исследование тонкой структуры в листе, после холодной прокатки с суммарным обжатием 80% и последующего рекристаллизационного отжига при температуре 320°C в течение 2 часов, показало, что дисперсные наноразмерные частицы Al_6Mn не изменили свою форму и размер и имеют однородное распределение по матрице.

Анализ структуры листа, полученного по данной технологии, проводился согласно стандарту ASTM E1382-97 с использованием оптических микроскопов с программами количественного анализа изображения; просвечивающего электронного микроскопа с приставками для локального химического анализа, сканирующего электронного микроскопа с приставками для анализа разориентировок и локального химического анализа энергодисперсионным и волновым методами. Определение размера зерен методом оптической микроскопии, определение природы, размера и распределения вторых фаз методом сканирующей и просвечивающей микроскопии проводились согласно стандартам ASTM E3-01 и ASTM E1382-97.

Производство листов из алюминиевых сплавов на основе системы Al-Mg-Mn по предлагаемому способу позволяет сократить продолжительность и количество технологических операций и при этом обеспечивает формирование однородной мелкозернистой структуры с размером зерна 5 мкм и однородное распределение дисперсных наноразмерных частиц равноосной формы (35 нм).

Предлагаемый способ реализуем в промышленном производстве и позволяет повысить производительность процесса листовых деталей из алюминиевых сплавов на основе системы Al-Mg-Mn за счет сокращения продолжительности и количества технологических операций. Листы из алюминиевых сплавов на основе системы Al-Mg-Mn, получаемые предлагаемым способом, могут быть использованы в качестве конструкционного материала для изготовления ряда ответственных конструкций в судостроении, авиационной и ракетной промышленности, в вагоностроении для скоростных поездов, а также для изготовления корпусов автомобилей.

(57) Формула изобретения

Способ получения листов из алюминиевых сплавов на основе системы алюминий-

магний-марганец, включающий кристаллизацию слитков, гомогенизацию, прокатку и отжиг, отличающийся тем, что кристаллизацию проводят со скоростью не менее 100 К/с с температурой разливки 700-720°C, гомогенизацию осуществляют при температуре 360°C в течение 6 ч, а прокатку проводят при комнатной температуре с суммарным обжатием 80% с последующим рекристаллизационным отжигом при температуре 320°C в течение 2 ч.

10

15

20

25

30

35

40

45