



(51) МПК
B23K 20/24 (2006.01)
B23K 20/12 (2006.01)
B23K 103/10 (2006.01)
C21D 8/02 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015139340, 16.09.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 16.09.2015

Дата регистрации:
 18.04.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 16.09.2015

(43) Дата публикации заявки: 22.03.2017 Бюл. № 9

(45) Опубликовано: 18.04.2017 Бюл. № 11

Адрес для переписки:

308015, обл. Белгородская, г. Белгород, ул.
 Победы, 85, ОИС НИУ "БелГУ", Цурикова Н.Д.

(72) Автор(ы):

Кайбышев Рустам Оскарович (RU),
 Жемчужникова Дарья Александровна (RU),
 Малофеев Сергей Сергеевич (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: EP 2687313 A1, 22.01.2014. RU
 2431554 C2, 20.10.2011. RU 2482944 C1,
 27.05.2013. RU 2465360 C2, 27.10.2012. EA
 2011170542 A1, 31.10.2011.

(54) Способ получения сварных конструкций алюминиевого сплава с высокой вязкостью разрушения

(57) Реферат:

Изобретение может быть использовано для получения сварных конструкций алюминиевых сплавов методом сварки трением с перемешиванием, в частности для соединения листов из сплавов системы Al-Mg. Листовые полуфабрикаты сплава получают с использованием интенсивной пластической деформации в интервале температур 150-450°C, обеспечивающей не менее 50% объемной доли рекристаллизованных зерен размером до 10 мкм. Затем осуществляют изотермическую прокатку в интервале температур 150-450°C с суммарной

степенью деформации не менее 40% и последующую механическую обработку свариваемых кромок листов. Осуществляют сварку трением с перемешиванием. Сочетание предварительной термомеханической обработки с последующей сваркой обеспечивает однородность структуры листовых полуфабрикатов. Изобретение позволяет получить заготовки с одинаковым размером зерен, как в основном материале, так и в зоне шва, что обеспечивает высокую вязкость разрушения соединения. 2 з.п. ф-лы, 1 табл., 2 пр.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
B23K 20/24 (2006.01)
B23K 20/12 (2006.01)
B23K 103/10 (2006.01)
C21D 8/02 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2015139340, 16.09.2015**

(24) Effective date for property rights:
16.09.2015

Registration date:
18.04.2017

Priority:

(22) Date of filing: **16.09.2015**

(43) Application published: **22.03.2017** Bull. № 9

(45) Date of publication: **18.04.2017** Bull. № 11

Mail address:

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

(72) Inventor(s):

**Kajbyshev Rustam Oskarovich (RU),
Zhemchuzhnikova Darya Aleksandrovna (RU),
Malofeev Sergej Sergeevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

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

(54) PRODUCTION OF ALLUMINIUM ALLOYS WELDED STRUCTURES WITH HIGH CRACK RESISTANCE

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention may be used in production of welded structures of aluminum alloys via friction stir welding, in particular for connecting sheets of Al-Mg system alloys. The alloy sheet crude products are produced through intensive plastic deformation within the temperature range of 150-450°C that provides at least 50% of volume fraction of recrystallized grains with a size of less than 10 microns. Isothermal rolling is then carried out within the temperature range of 150-

450°C with a total degree of deformation at least 40% and subsequent mechanical working of the sheet welded edges. Friction stir welding is made. The combination of pre-thermomechanical processing and the following welding ensures uniformity of the sheet welded crude products structure.

EFFECT: production of preforms with the same grain size both in the base material and the weld zone ensures high crack resistance of the compound.

3 cl, 2 dwg, 1 tbl, 2 ex

Изобретение относится к области сварки, в частности к способу получения сварных конструкций алюминиевых сплавов методом сварки трением с перемешиванием. Предназначено для сварки листов сплавов системы Al-Mg и может быть использовано для получения ответственных конструкций в авиа- и ракетостроении, судостроении и других областях машиностроения.

Благодаря сочетанию высоких механических свойств, устойчивости к коррозии, хорошей свариваемости и низкому весу, термически не упрочняемые сплавы на основе алюминия с магнием широко применяются в качестве конструкционных материалов в различных областях машиностроения. Процесс получения высокопрочной конструкции связан с осуществлением сварки полуфабрикатов, чаще всего листовых заготовок, различными способами. Традиционно соединение алюминиевых сплавов осуществляли аргононо-дуговой сваркой, однако в 1991 году был запатентован новый метод создания сварных соединений (US №5460317 А, опубл. 24.10.1995), являющийся на сегодняшний день одним из самых перспективных (R.S. Mishra, Z.Y. Ma, Friction Stir Welding and Processing//Material Science and Engineering R., 2005, v. 50, p. 1-78; F.C. Liu, Z.Y. Ma. Achieving exceptionally high superplasticity at high strain rates in a micrograined Al-Mg-Sc alloy produced by friction stir processing //Scripta Materialia, 2008, v. 59, p. 882-885). Данный вид сварки обладает множеством преимуществ по сравнению с традиционными способами получения сложных конструкций, основными из которых являются возможность соединения разнородных материалов, значительное снижение веса готового изделия, отсутствие пористости и простота исполнения. Процесс сварки трением является твердофазным, что исключает расплавление материала; в его основе лежит интенсивная пластическая деформация при повышенных температурах, осуществляемая за счет сварочного инструмента. Благодаря воздействию деформации и температуры в зоне сварки формируется мелкозернистая структура, а в зоне термического влияния – смешанная структура со средним размером зерен между основным материалом и швом. Такая сильная структурная неоднородность приводит к разрушению конструкции по границам зон, сильно отличающихся размерами зерен, и не обеспечивает должного уровня прочности и надежности при эксплуатации. Помимо этого современные способы изготовления изделий сложной формы в промышленности основаны на последующем процессе многоступенчатого сложного формообразования конструкции методами деформации давлением, где требуются высокие значения вязкости разрушения и удлинения всего соединения в целом. В этой связи получение листосварных полуфабрикатов с высокой однородностью структуры, обеспечивающей равнопрочность всех зон сварного соединения и высокую вязкость разрушения, является важной технологической задачей.

Известен способ получения сварных конструкций из литых алюминиевых сплавов (RU №2482944, опубл. 27.05.2013), где предлагается способ получения конструкции, состоящей из литых деталей, либо содержащую литую деталь, и имеющую прочность не ниже прочности основного металла. Однако в предложенном варианте используют 2 вида сварки – сварка трением с перемешиванием и аргонодуговую, что значительно усложняет процесс получения соединения. Кроме того, данный способ не всегда применим к конструкциям сложной формы, так как предусматривает промежуточную обработку свариваемых кромок сваркой трением с перемешиванием и дальнейшую механическую обработку.

Известен способ получения высокопрочных сварных конструкций из сплава на основе алюминия с добавками цинка, магния, меди в качестве основных легирующих элементов (US №6524410, опубл. 25.02.2003). Способ включает в себя отливку слитков

сплава, гомогенизацию, экструзию, закалку на твердый раствор, старение, сварку соединяемых элементов и дальнейшее старение всей конструкции при комнатной температуре. Одним из способов сварки указана сварка трением с перемешиванием. Основным недостатком способа является отсутствие возможности контроля роста 5 зерен между операциями экструзии и дальнейшего нагревания, следовательно, при данной обработке невозможно добиться однородности структуры, где размер зерен свариваемого материала не превышал бы значительно размера зерен в сварном шве.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению является способ сварки трением с перемешиванием алюминиевых сплавов 5XXX серии (Al-Mg сплавов), содержащих 10 частицы вторых фаз (EP №2687313, опубл. 22.01.2014), размер которых составляет менее 5 мкм, предпочтительно 2-3 мкм, а плотность менее или равна 10000 частиц/мм². Однако известно, что в процессе сварки трением с перемешиванием происходит механическое дробление крупных частиц в зоне шва (Raza Moshwan, Farazila Yusof, M. A. Hassan, S. M. Rahmat, Effect of tool rotational speed on force generation, microstructure and mechanical 15 properties of friction stir welded Al-Mg-Cr-Mn (AA 5052-O) alloy//Materials and Design, 2015, 66, p.118-128). В результате происходит диссоциация частиц вторых фаз с последующим изменением их исходной формы, что в конечном итоге приводит к потере прочности в сварной зоне. Поскольку в указанном изобретении не предусмотрена какая-либо обработка полуфабрикатов перед сваркой, то различия в размерах дисперсоидов и/или 20 фазовом составе после проведения операции могут привести к неоднородности механических свойств всего соединения.

Технической задачей изобретения является разработка способа получения сварных конструкций Al-Mg сплава с высокой однородностью структуры, что обеспечивает 25 повышенные значения вязкости разрушения и механических свойств всего соединения.

Заявляемый технический результат достигается за счет того, что способ получения сварных конструкций алюминиевого сплава с высокой вязкостью разрушения включает 30 соединение листовых заготовок сваркой трением с перемешиванием, после проведения следующих операций:

1) получение листовых заготовок сплава путем деформационно-термической 35 обработки, включающей в себя следующие операции:

– интенсивную пластическую деформацию в интервале температур 150-450°C, обеспечивающую не менее 50% объемной доли рекристаллизованных зерен размером до 10 мкм, одним из способов: прокатка, ковка, равноканальное угловое прессование, 40 экструзия. Данная операция позволяет сформировать мелкозернистую структуру в полуфабрикатах сплава и добиться высокой однородности свойств;

– прокатку в интервале температур 150-450°C с суммарной степенью деформации не менее 40% с целью получения листов сплава из объемных полуфабрикатов;

2) механическую обработку свариваемых кромок листов;

Результатом предложенной обработки является получение более однородной 45 структуры листосварной конструкции Al-Mg сплавов, обладающей высокими значениями вязкости разрушения. Предлагаемая обработка для получения листов сплава обеспечивает равномерную проработку структуры в свариваемых полуфабрикатах, тем самым снижая возможность образования ярковыраженных границ соединения при последующей сварке и последующее преждевременное разрушение конструкции по 50 этим границам.

Подобное сочетание предварительной термомеханической обработки с последующей сваркой обеспечивает однородность структуры листосварных полуфабрикатов.

Предложенное изобретение позволяет получить заготовки с одинаковым размером

зерен как в основном материале, так и в зоне шва, что обеспечивает высокую вязкость разрушения соединения.

Примеры осуществления.

Пример 1. Из слитка сплава системы Al-Mg вырезались заготовки для деформационно-термической обработки, состоящей из равноканального углового прессования при температуре 300°C до истинной степени деформации ~ 12 и изотермической прокатки при 300°C до суммарной степени деформации 80%. Сформированная в результате такой обработки структура сплава состояла из зерен со средним размером ~1,5 мкм и объемной долей ~ 90%. Полученные листы соединяли сваркой трением с перемешиванием при скорости вращения инструмента 500 об/мин и скорости подачи 150 мм/мин. Угол наклона инструмента к свариваемой поверхности составлял 2,5°. Размер зерен центральной части шва составил ~ 1 мкм.

Пример 2. Отличающийся от примера 1 тем, что прокатку проводили до суммарной степени деформации 40%. Средний размер зерен сплава после такой обработки был равен ~ 2 мкм, объемная доля составляла ~ 80%.

Из полученных листосварных полуфабрикатов были вырезаны образцы для испытания механических свойств при комнатной температуре. При определении статических свойств направление оси деформации было перпендикулярно направлению сварки, при этом сварной шов располагался в центре рабочей части образца. Для испытаний на ударную вязкость вырезались образцы с концентратором вида V, надрез также располагался в центральной части ядра сварного шва. Результаты испытаний механических свойств сварных швов Al-Mg сплава при комнатной температуре приведены в таблице 1.

Таблица 1

25

	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение до разрушения, %	Значение ударной вязкости, Дж/см ²
Пример 1	220	340	7	95
Пример 2	325	400	10	90

30 Как видно из приведенных данных, предлагаемый способ получения листосварных заготовок Al-Mg сплава позволяет сформировать листы сплава с однородной структурой и высокой долей рекристаллизованных зерен, размер которых не сильно превышает размер зерен получаемого далее сварного шва. В результате этого снижается анизотропия свойств сварного соединения при одновременном повышении вязкости разрушения и статических механических свойств.

35 Подобное сочетание предварительной термомеханической обработки с последующей сваркой обеспечивает однородность структуры листосварных полуфабрикатов. Предложенное изобретение позволяет получить заготовки с одинаковым размером зерен как в основном материале, так и в зоне шва, что обеспечивает высокую вязкость разрушения соединения.

40

(57) Формула изобретения

1. Способ получения сварной конструкции из алюминиевого сплава с высокой вязкостью разрушения, включающий соединение листовых заготовок сваркой трением с перемешиванием, отличающийся тем, что предварительно листовые заготовки подвергают интенсивной пластической деформации в интервале температур 150-450°C, обеспечивающей не менее 50% объемной доли рекристаллизованных зерен размером до 10 мкм, с последующей прокаткой в интервале температур 150-450°C с суммарной степенью деформации не менее 40% и последующей механической обработкой

45

свариваемых кромок листов.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что интенсивную пластическую деформацию осуществляют прокаткой, ковкой, равноканальным угловым прессованием или экструзией.

- 5 3. Способ по п.1, отличающийся тем, что листовые заготовки соединяют сваркой трением с перемешиванием при скорости вращения инструмента 500 об/мин и скорости подачи 150 мм/мин, при этом угол наклона инструмента к свариваемой поверхности составляет 2,5°.

10

15

20

25

30

35

40

45