



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
B23K 20/12 (2019.08); C21D 9/50 (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2019116542, 29.05.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 29.05.2019

Дата регистрации:
 23.12.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.05.2019

(45) Опубликовано: 23.12.2019 Бюл. № 36

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

Высоцкий Игорь Васильевич (RU),
 Тагиров Дамир Вагизович (RU),
 Кайбышев Рустам Оскарович (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: RU 2686494 C1, 29.04.2019. RU
 2357843 C2, 10.06.2009. RU 2634402 C1,
 26.10.2017. EP 2233238 A1, 29.09.2010. WO 2007/
 132252 A1, 22.11.2007.

(54) Способ получения сварных соединений термоупрочняемых алюминиевых сплавов с высоким пределом выносливости

(57) Реферат:

Изобретение может быть использовано при сварке трением с перемешиванием термоупрочняемых алюминиевых сплавов, в частности 2xxx, 6xxx, 7xxx. После досварочной термической обработки Т6 осуществляют сварку трением с перемешиванием при частоте вращения инструмента от 1000 до 2500 об/мин и скорости сварки от 600 до 1500 мм/мин. Затем проводят

послесварочную термическую обработку в виде искусственного старения при той же температуре, что и искусственное старение в обработке Т6. Способ обеспечивает получение сварного соединения с высоким пределом усталостной выносливости без значительной потери его прочностных свойств. 4 ил.

RU 2 709 908 C1

RU 2 709 908 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
B23K 20/12 (2006.01)
B23K 103/10 (2006.01)
C21D 9/50 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
B23K 20/12 (2019.08); C21D 9/50 (2019.08)

(21)(22) Application: **2019116542, 29.05.2019**

(24) Effective date for property rights:
29.05.2019

Registration date:
23.12.2019

Priority:

(22) Date of filing: **29.05.2019**

(45) Date of publication: **23.12.2019** Bull. № 36

Mail address:

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

(72) Inventor(s):

**Vysotskij Igor Vasilevich (RU),
Tagirov Damir Vagizovich (RU),
Kajbyshev Rustam Oskarovich (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) **METHOD OF OBTAINING WELDED JOINTS OF THERMO-REINFORCED ALUMINUM ALLOYS WITH HIGH ENDURANCE LIMIT**

(57) Abstract:

FIELD: technological processes.

SUBSTANCE: invention can be used in friction welding with mixing of thermo-reinforced aluminum alloys, in particular, 2xxx, 6xxx, 7xxx. After the T6 pre-welding heat treatment, the friction welding is performed with mixing at the tool rotation frequency from 1,000 to 2,500 rpm and the welding speed from

600 to 1,500 mm/min. It is followed by post-welding heat treatment in the form of artificial aging at the same temperature as artificial aging in T6 treatment.

EFFECT: method ensures production of a weld joint with a high fatigue endurance limit without considerable loss of its strength properties.

1 cl, 4 dwg

Изобретение относится к области сварки трением с перемешиванием, в частности к области сварки трением с перемешиванием термоупрочняемых алюминиевых сплавов.

Из уровня техники известен способ оценки усталостной прочности сварных соединений (US № 7448280, публ. 07.02.2008), в котором описан способ увеличения 5 сопротивления усталости сварных соединений получаемых сваркой плавлением (аргонодуговая, лазерная) посредством наплавления дополнительного материала в области сварного соединения.

Недостатком такого способа является его принципиальная неприменимость для сварки алюминиевых термоупрочняемых сплавов, так как плавление приводит к 10 деградации структуры и неприемлемому падению механических свойств сварных соединений.

Из уровня техники также известен способ увеличения сопротивления усталости посредством ультразвуковой ударной обработки сварного соединения, описанный в разных модификациях в целом ряде технических решений: Способ повышения 15 устойчивости прочности сварного шаблона сварного соединения (JP 3899007, публ. 30.04.2004), Структура и метод повышения усталости эффективности сварного соединения (JP № 4580220, публ. 08.06.2006), Способ повышения устойчивости прочности сварного соединения (JP № 3899008, публ. 30.04.2004), Способ повышения устойчивости прочности зоны сварки и сварной структуры (JP 2006175512, публ. 06.07.2006), целью 20 которого является формирование остаточных сжимающих напряжений в шве, позволяющих существенно увеличить сопротивление усталости сварного соединения.

Недостатком такого способа является, с одной стороны, его применение для сварных соединений, получаемых плавлением, что уже недопустимо для термоупрочняемых 25 алюминиевых сплавов, а с другой стороны, использованием дополнительного оборудования (ультразвукового генератора и волновода) и энергозатрат на выполнение операции.

Задачей предлагаемого изобретения является разработка способа получения сварных соединений термоупрочняемых алюминиевых сплавов с высоким пределом усталостной 30 выносливости, относительно уровня материала основы, без значительной потери прочностных свойств шва (коэффициент прочности сварного соединения не ниже 80% относительно уровня основного материала).

Задача решается посредством использования сварки трением с перемешиванием (СТП) и послесварочной термической обработки по режимам, позволяющим избежать 35 деградации структуры и сформировать высокий уровень остаточных напряжений в сварном соединении, с помощью способа включающего досварочную термическую обработку Т6, сварку трением с перемешиванием при частоте вращения инструмента от 1000 до 2500 об/мин и скорости сварки от 600 до 1500 мм/мин, и послесварочную термическую обработку в виде искусственного старения при той же температуре что и искусственное старение в обработке Т6.

40 Изобретение поясняется чертежами.

На фиг.1 представлены ПЭМ изображения упрочняющих частиц вторых фаз в зонах термического воздействия сварных соединений, полученных при скорости сварки а) 120 мм/мин; б)760 мм/мин.

На фиг. 2 представлена фотография с характерной для зон термического воздействия 45 сварных соединений, полученных при скорости сварки 760 мм/мин, зёрненной структуры с развитой сеткой деформационных полос внутри.

На фиг.3 приведён график приложенной нагрузки относительно количества циклов до разрушения для основного материала АА6061-Т6 и сварного соединения, полученного

при скорости сварки 760 мм/мин.

На фиг.4 представлены РЭМ изображения разрушенных образцов, а) основного материала, б) сварного соединения.

Осуществление изобретения

5 Для определённости и демонстрации принципиальной осуществимости и эффективности заявляемого способа был выбран распространённый термоупрочняемый алюминиевый сплав АА6061-Т6 (бxxx серия по международной классификации, представляющая собой алюминиевые сплавы системы Al-Mg-Si), где Т6 одно из состояний поставки данного сплава, означающие что материал был термически
10 обработан посредством закалки (с температурой 540 °С) и последующего искусственного старения на максимальную прочность (160 С в течение 8 часов).

Для сварки использовали пластины толщиной 3 мм. Сварка осуществлялась инструментом с вогнутыми заплечиками диаметром 12,5 мм и штырём диаметром 5 мм с конической метрической резьбой М5. Высота штыря составляла 1,7 мм, поэтому,
15 с целью обеспечения полного провара заготовки сварку проводили за 2 прохода с двух сторон. Сварка осуществлялась на столе, представляющем собой массивную стальную плиту. Какое либо дополнительно охлаждение не применялось.

Пластины сваривали на частоте вращения 1100 об/мин (максимально возможная для машины AccuStir 1004 GTC) и скоростях подачи 120 и 760 мм/мин. Выбор таких
20 параметров сварки оптимален для сплавов бxxx серии относительно возможной дефектности сварного соединения [Sato Y.S., Kokawa H. Friction stir welding (FSW) process // Weld. Int. 2003. Vol. 17, №11. P. 852-855]. После сварки полученные соединения подвергались послесварочной термической обработке - искусственному старению при 160°С в течение 8 часов, для восстановления фазового состава в центре зоны
25 перемешивания. Последующие испытания на растяжения показали, что коэффициент прочности сварного соединения (отношение временного сопротивления шва к временному сопротивлению основного материала в состоянии Т6 умноженное на 100%) составил 66% и 90% для 120 и 760 мм/мин соответственно (временное сопротивление основного материала АА6061-Т6 составляет 350 МПа), а локализация деформации с
30 последующим разрушением образцов всегда происходила в зоне термического воздействия сварного соединения. Изучение микроструктуры показало (фиг.1), что в зоне термического воздействия сварного соединения, полученного при скорости сварки 120 мм/мин (фиг. 1а) происходит существенная деградация структуры посредством коагуляции частиц упрочняющей фазы, относительно шва, полученного при 760 мм/
35 мин (фиг. 1б), где частицы вторых фаз представлены в виде мелкодисперсных выделений. Столь значительная разница в микроструктуре легко объясняет разницу в коэффициентах прочности полученных сварных соединений, так как дисперсионное упрочнение вносит решающий вклад в прочность для термоупрочняемых алюминиевых сплавов.

Также в зонах термического воздействия шва полученного при 760 мм/мин были
40 обнаружены деформационные полосы (фиг. 2), которые не наблюдались для шва, полученного при скорости сварки 120 мм/мин. Это объясняется большим тепловыделением (что прямо подтверждается коагуляцией частиц вторых фаз), а следовательно и меньшими остаточными напряжениями, действующими при перемешивании материала на скорости сварки 120 мм/мин.

45 Деформационные полосы свидетельствует о значительном уровне остаточных напряжений в сварном соединении, что является ключевым фактором, сдерживающим зарождение трещины усталости в шве.

Проведение испытаний на усталость для шва, полученного при скорости сварки 760

мм/мин, показало, что предел усталостной выносливости сварного соединения не ниже предела усталостной выносливости основного материала (фиг. 3), а характер разрушения для шва (фиг. 4б) и материала основы (фиг. 4а) одинаков. Это, в свою очередь свидетельствует о том, что зарождение усталостной трещины и ее распространение в
5 обоих случаях происходит одинаково.

Таким образом, последовательность обработки, позволяющая получить высокий уровень сопротивления усталости сварного соединения, с сохранением высокого коэффициента прочности, заключается в следующем:

1) Досварочная термическая обработка Т6 для материала основы. Так как такой
10 тип обработки является состоянием поставки для многих термоупрочняемых алюминиевых сплавов;

2) Сварка по оптимизированному режиму, который с одной стороны, не приводит к существенной коагуляции частиц вторых фаз в зонах термического воздействия, а с другой стороны позволяет сформировать значительный уровень остаточных напряжений
15 в шве;

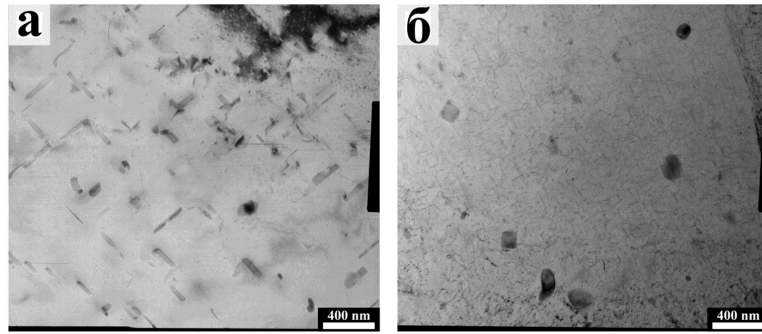
3) Послесварочная термическая обработка, представляющая собой искусственное старение по режиму, позволяющему восстановить частицы вторых фаз в центре зоны перемешивания, и при этом не допускающая как релаксации остаточных напряжений в шве, так и существенной коагуляции частиц вторых фаз в зонах термического
20 воздействия.

Таким образом, предложенный способ применим для любого сплава, поставляемого в состоянии Т6, из любой серии термоупрочняемых алюминиевых сплавов 2xxx, 6xxx и 7xxx. Конкретные режимы сварки и послесварочной термической обработки зависят от химического состава сплава, а также таких факторов, как геометрия инструмента,
25 толщина свариваемых листов, использование (или не использование) охлаждающих подложек или охлаждающих сред (например, подводная сварка трением с перемешиванием), влияющих на процессы тепловыделения, поглощения и рассеивания тепла, а следовательно, напрямую влияющие на фазовые превращения, происходящие в сварном соединении.

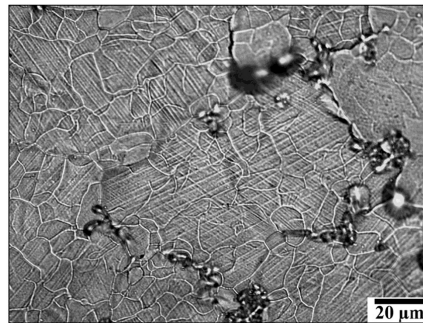
(57) Формула изобретения

Способ получения сварных соединений термоупрочняемых алюминиевых сплавов с высоким пределом выносливости, включающий досварочную термическую обработку сплавов Т6, сварку трением с перемешиванием при частоте вращения инструмента от
35 1000 до 2500 об/мин и скорости сварки от 600 до 1500 мм/мин и послесварочную термическую обработку сварного соединения в виде искусственного старения при той же температуре, что и искусственное старение в обработке Т6.

1

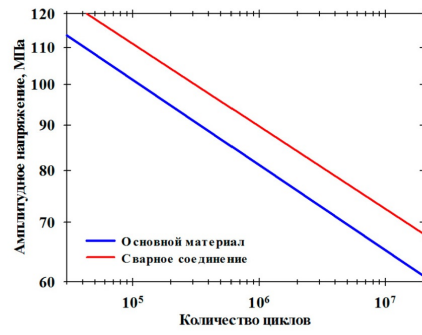


Фиг. 1

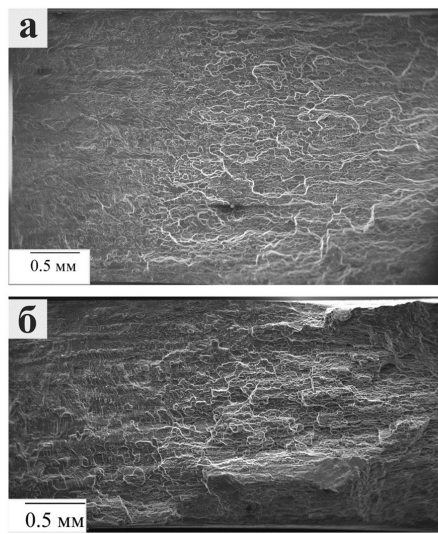


Фиг. 2

2



Фиг. 3



Фиг. 4