

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU⁽¹¹⁾ **2 537 407**⁽¹³⁾ C2

(51) МПК

[B23K 20/14 \(2006.01\)](#)

[B23K 103/14 \(2006.01\)](#)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: [2012139998/02](#), 18.09.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.09.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **18.09.2012**

(43) Дата публикации заявки: **27.03.2014** Бюл. № [9](#)

(45) Опубликовано: [10.01.2015](#) Бюл. № [1](#)

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 108331 U1, 20.09.2011. RU
1178014 C, 27.06.1995. RU 2400834 C1,
27.09.2010. SU 1602651 A1, 30.10.1990. US
3855061 A, 17.12.1974

Адрес для переписки:

**394026, г.Воронеж, Московский просп., 14,
ГОУВПО "ВГТУ", патентный отдел**

(72) Автор(ы):

**Пешков Владимир Владимирович (RU),
Балбеков Дмитрий Николаевич (RU),
Булков Алексей Борисович (RU),
Стрыгин Алексей Иванович (RU),
Букреев Вадим Юрьевич (RU),
Небольсин Stanisлав Михайлович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Воронежский государственный
технический университет" (RU)**

(54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКОЙ СТОИСТОЙ
ТОНКОСТЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ ТИТАНОВЫХ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

(57) Реферат:

Изобретение может быть использовано при изготовлении слоистых тонкостенных титановых конструкций из листового материала, в частности, выпускных окон энергетических установок для вывода пучка электронов. Между технологическими листами размещают пакет, содержащий плоские решетки с мелкозернистой пластинчатой структурой и размещенный между ними элемент из фольги с крупнозернистой пластинчатой структурой. Устанавливают пакет в сварочной камере и осуществляют диффузионную сварку. При этом проводят нагрев в атмосфере нейтрального газа до температуры сварки с изотермической выдержкой при этой температуре в течение 15-20 минут. Сварочное давление создают за счет вакуумирования сварочной камеры. Проводят последующее охлаждение. Нагрев с изотермической выдержкой и охлаждение осуществляют при атмосферном давлении нейтрального газа. Вакуумирование сварочной камеры для создания сварочного давления осуществляют до разряжения 0,1-1 Па. Способ обеспечивает получение высоких механических свойств изготавливаемого изделия. 1 пр.

Изобретение относится к диффузионной сварке и может быть использовано при изготовлении слоистых тонкостенных титановых конструкций из листового материала, в частности выпускных окон энергетических установок для вывода пучка электронов, содержащих титановую фольгу с крупнозернистой пластинчатой структурой, зафиксированную между титановыми решетками.

В условиях диффузионной сварки с низкоинтенсивным силовым воздействием образование диффузионного соединения лимитируется стадией формирования физического контакта, в процессе развития которого происходит сближение свариваемых поверхностей. В зависимости от сочетания исходных микроструктур свариваемых материалов контактная поверхность имеет различную реакционную способность к схватыванию.

Так, при диффузионной сварке разнородных титановых сплавов, имеющих различную микроструктуру (равноосную мелкозернистую и крупнозернистую пластинчатую), под действием приложенного давления развитие физического контакта и активация поверхностей реализуются в процессе высокотемпературной ползучести материала с меньшим сопротивлением деформации, в то время как другая поверхность не участвует в деформации (или участвует в значительно меньшей степени) и обладает меньшей реакционной способностью к схватыванию, что является причиной невысокой прочности соединения.

Известным путем повышения прочности сварного соединения разнородных титановых материалов является способ, при котором между свариваемыми заготовками размещают прокладки со специально подготовленной структурой. Сборку устанавливают в сварочном контейнере, нагревают в вакууме с остаточным давлением не более 1,33 Па до необходимой температуры и прикладывают давление в два этапа с последующей выдержкой. По окончании процесса сварки проводят термообработку сборки при температуре, обеспечивающей получение однородной структуры во всем объеме (RU 2415738, МПК В23К 20/16 (2006.01), В23К 20/22 (2006.01), опубликовано 10.04.2011).

Недостаток способа - сложность процесса, обусловленная выбором и получением прокладки. Для случая получения решетчатой слоистой тонкостенной конструкции из разнородных титановых листовых материалов со сверхтонким внутренним элементом из фольги снижается качество изделия, вызванное длительностью термообработки и возможностью формирования на открытых участках сборки «охрупченного» слоя. Наличие «охрупченного» слоя не позволяет использовать известный способ для изготовления выпускного окна для вывода пучка электронов.

Другим путем является предварительная обработка свариваемых поверхностей, при которой поверхностный слой модифицируется и при нагреве становится мелкозернистым на глубину 30-100 мкм. Диффузионную сварку проводят в вакууме при температуре равной $T_{пл} - 50^{\circ}\text{C}$ при давлении 8 МПа с изотермической выдержкой 120 минут (RU 2025240, МПК 5 В23К 20/14, опубликовано 30.12.1994).

Мелкозернистая структура материала обеспечивает ускорение диффузии и повышение пластичности при температуре сварки. Тем самым обеспечивается повышение качества соединения, но при этом изменяется структура материала в полученном изделии.

Известен способ изготовления диффузионной сваркой преимущественно слоистых конструкций из титановых сплавов, при котором один из элементов конструкции подвешивают на перемычках с зазором относительно другого, что способствует их очистке и повышению качества соединения. Свариваемые элементы, заключенные между технологическими листами, размещают в сварочном контейнере и производят сварку по стандартным режимам ($T=940^{\circ}\text{C}$, $P=0,5$ МПа, $t=60$ мин), но с выдержкой в

разведенном состоянии при температуре сварки в течение 30 мин в атмосфере нейтрального газа при давлении 10,5 МПа (RU 1178014, МПК 6 В23К 20/00, опубликовано 27.06.1995).

Недостатками способа являются сложность крепления заготовки, что усложняет технологический процесс. А также размещение гибких перемычек в зоне контакта свариваемых поверхностей, которое может стать причиной образования дефектов и снижения качества сварки.

Кроме того, известный способ применим только для получения диффузионной сваркой панели с внутренним элементом в виде сотоблока, размеры которого не соизмеримы с толщиной фольги.

Таким образом, получение решетчатой слоистой тонкостенной конструкции из разнородных титановых листовых материалов с фольгой в качестве промежуточного элемента представляет технологическую проблему.

Известен способ изготовления диффузионной сваркой слоистой тонкостенной конструкции из титановых листовых материалов, содержащий плоские решетки с мелкозернистой пластинчатой структурой и размещенный между ними элемент из фольги с крупнозернистой пластинчатой структурой (описание к патенту RU 108331 U1, МПК В23К 20/22 (2006.01), 20.09.2011).

Известный способ позволяет снизить энергетические и материальные затраты на осуществление процесса диффузионной сварки.

Задачей изобретения является создание способа диффузионной сварки, позволяющего получить титановую слоистую тонкостенную конструкцию, содержащую плоские решетки с мелкозернистой пластинчатой структурой и размещенный между ними элемент из фольги с крупнозернистой пластинчатой структурой с достижением технического результата, выражающегося в обеспечении необходимых механических свойств изготавливаемому изделию за счет снижения «охрупчивания» фольги и повышения прочности сварного соединения.

Технический результат достигается тем, что способ изготовления диффузионной сваркой слоистой тонкостенной конструкции из титановых листовых материалов, содержащей плоские решетки с мелкозернистой пластинчатой структурой и размещенный между ними элемент из фольги с крупнозернистой пластинчатой структурой, включающий размещение между технологическими листами пакета из упомянутых свариваемых листовых материалов, установку его в сварочной камере и диффузионную сварку путем нагрева в атмосфере нейтрального газа до температуры сварки с изотермической выдержкой при этой температуре и приложения сварочного давления путем вакуумирования сварочной камеры с последующим охлаждением, отличается тем, что нагрев до температуры сварки с изотермической выдержкой и охлаждение осуществляют при атмосферном давлении нейтрального газа, при этом изотермическую выдержку проводят в течение 15-20 минут, а вакуумирование сварочной камеры для создания сварочного давления осуществляют до разряжения 0,1-1 Па.

Сущность технического решения заключается в следующем.

При сварке титановых заготовок с различной микроструктурой (равноосной мелкозернистой и крупнозернистой пластинчатой) в интервале температур ниже окончания полиморфного превращения (не более 950°C) процесс формирования соединения лимитируется стадией активации контактных поверхностей заготовок с крупнозернистой пластинчатой микроструктурой. Имеет место «запаздывание» (отставание) во времени процесса роста прочности соединения от развития физического контакта, которое компенсируется изотермической выдержкой свариваемого пакета при атмосферном давлении нейтрального газа в течение 15-20 минут.

Исследования показали, что в данных условиях под действием внутренних напряжений происходит непрерывная деформация поверхностей, сопровождающаяся образованием рельефа в виде полос скольжения, которые являются местами выхода дислокаций, что приводит к повышению и поддержанию на высоком уровне их реакционной способности к схватыванию. Скорость деформации поверхности под действием внутренних (собственных) напряжений в начальный момент может достигать $\sim 10^{-3} \text{ с}^{-1}$, что на 2-3 порядка превышает скорость деформации металла под действием внешних сжимающих напряжений, обычно применяемых при сварке с низкоинтенсивным силовым воздействием.

При этом выбором давления нейтральной среды для изотермической выдержки и сварочного давления обеспечивается минимизация действия внешних напряжений и предотвращение макродеформаций свариваемых элементов, а также «охрупчивание» открытых участков фольги.

Время не менее 15 минут изотермической выдержки при температуре сварки является необходимым условием для протекания процесса деформации поверхности под действием внутренних напряжений. Временем изотермической выдержки при температуре сварки не более 20 минут обеспечивается сохранение исходных служебных свойств материала фольги выпускного окна.

Кроме того, проведение изотермической выдержки и охлаждение сваренных элементов при атмосферном давлении в среде нейтрального газа обеспечивает устранение недостатков, связанных с различием коэффициентов линейного расширения материала оснастки (стальных технологических листов) и титановых элементов.

Пример. Производили диффузионную сварку пакета, включающего идентичные плоские решетки $1 \times 215 \times 580$ мм из сплава ВТ14 с мелкозернистой пластинчатой структурой и размещенную между ними титановую фольгу с крупнозернистой пластинчатой структурой толщиной 50 мкм. Пакет, заключенный между технологическими листами, нагревали в сварочной камере в атмосфере аргона до температуры 950°C и после выдержки при этой температуре в течение 18 мин прикладывали сварочное давление в течение 20 минут, вакуумируя камеру до разряжения 0,1-1 Па. Охлаждали сваренные детали в камере в среде аргона при атмосферном давлении 0,1 МПа с последующим извлечением из камеры.