



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013127340/02, 14.06.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.06.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.06.2013

(43) Дата публикации заявки: 20.12.2014 Бюл. № 35

(45) Опубликовано: 27.11.2015 Бюл. № 33

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2397054 C1, 20.08.2010. SU 1662790 A1, 15.07.1991. SU 959954 A, 23.09.1982. US 20090026246 A9, 29.01.2009. US 5881459 A, 16.03.1999.

Адрес для переписки:

394026, г.Воронеж, Московский пр-кт, 14, ВГТУ,
патентный отдел

(72) Автор(ы):

Пешков Алексей Владимирович (RU),
Булков Алексей Борисович (RU),
Пешков Владимир Владимирович (RU),
Балбеков Дмитрий Николаевич (RU),
Небольсин Станислав Михайлович (RU),
Мальцев Григорий Валерьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Воронежский государственный технический
университет" (ФГБОУ ВПО "ВГТУ", ВГТУ)
(RU)

**(54) СПОСОБ ДИФФУЗИОННОЙ СВАРКИ ТОНКОСТЕННЫХ СЛОИСТЫХ ТИТАНОВЫХ
КОНСТРУКЦИЙ**

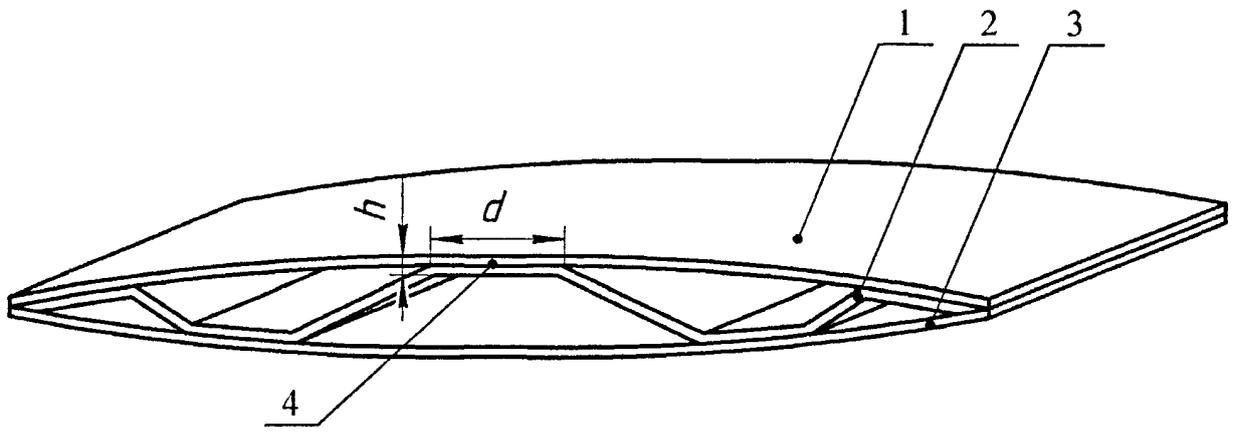
(57) Реферат:

Изобретение может быть использовано при изготовлении титановых тонкостенных слоистых конструкций, например сложных трехмерных конструкций, в частности сотовых заполнителей, вентиляторных лопаток, воздухозаборников, выпускного окна в ускорительной технике. Предварительно определяют давление сварки, которое необходимо приложить к заготовкам из титанового сплава, находящимся в условиях сжатия в стальной оснастке, из условия обеспечения ползучести заготовок со скоростью,

равной скорости ползучести находящихся в свободном состоянии заготовок из того же титанового сплава при давлении образования физического контакта между их поверхностями. Давление сварки определяют с учетом относительной высоты свариваемых участков и упрочнения титанового сплава заготовок в условиях сжатия при температуре сварки. Изобретение обеспечивает снижение контактного трения между стальной оснасткой и титановыми деталями свариваемой конструкции. 3 ил., 3 пр.

RU 2 569 444 C 2

RU 2 569 444 C 2



Фиг. 1

RU 2569444 C2

RU 2569444 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
B23K 20/16 (2006.01)
B23K 101/02 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013127340/02, 14.06.2013

(24) Effective date for property rights:
14.06.2013

Priority:

(22) Date of filing: 14.06.2013

(43) Application published: 20.12.2014 Bull. № 35

(45) Date of publication: 27.11.2015 Bull. № 33

Mail address:

394026, g.Voronezh, Moskovskij pr-kt, 14, VGTU,
patentnyj otdel

(72) Inventor(s):

**Peshkov Aleksej Vladimirovich (RU),
Bulkov Aleksej Borisovich (RU),
Peshkov Vladimir Vladimirovich (RU),
Balbekov Dmitrij Nikolaevich (RU),
Nebol'sin Stanislav Mikhajlovich (RU),
Mal'tsev Grigorij Valer'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Voronezhskij
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet"
(FGBOU VPO "VGTU", VGTU) (RU)**

(54) **DIFFUSION WELDING OF THIN-WALL LAMINAR TITANIUM STRUCTURES**

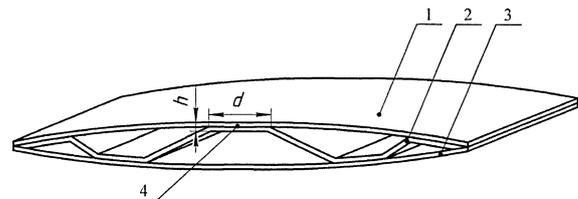
(57) Abstract:

FIELD: process engineering.

SUBSTANCE: invention can be used for production of titanium laminar structures, for example, complex 3D structures, in particular, cellular fillers, fan blades, air intakes, outlets of accelerators. First, welding pressure is determined to be applied to titanium alloy work pieces to be compressed in steel tooling. This is performed to get workpiece creeping at the rate equal to that of unstressed workpiece of the same titanium alloy at pressure of physical contact between their surfaces. Welding pressure is defined with due allowance for relative height of welding sections and

hardening of workpiece titanium alloy under compression at welding temperature.

EFFECT: lower contact friction between steel tooling and titanium parts of the structure being welded.
3 dwg, 3 ex



Фиг. 1

Изобретение относится к диффузионной сварке и может быть использовано при изготовлении титановых тонкостенных слоистых конструкций с поверхностью контактирования, представляющей собой сочетание соединений простейшей формы с малым сечением, например сложных трехмерных конструкций в аэрокосмических приложениях, таких как сотовый наполнитель, вентиляторная лопатка, воздухозаборник, а также выпускного окна в ускорительной технике.

Известен способ диффузионной сварки пакета для изготовления пустотелой вентиляторной лопатки сверхпластической формовкой, включающий сборку пакета из трех заготовок состава Ti-6Al-4V толщиной 1,0 мм с размеченными участками, подвергаемыми соединению шириной 8 мм и 20 мм и не подвергаемыми соединению, и последующее размещение пакета в нагревательном блоке прессы между плоскими плитами. При осуществлении способа диффузионной сварки используют режимы, характеризующиеся известными значениями температуры и давления. В частности, после нагрева до температуры 850°C и достижения глубины вакуума не менее 1,33 Па к пакету прикладывают усилие прессы, обеспечивая давление 2 МПа, и выдерживают под давлением в течение 2 часов для осуществления процесса диффузионной сварки (описание к патенту RU 2291019 C2, МПК В21D 53/78 (2006.01), В21D 26/02 (2006.01), опубликовано 10.01.2007).

Известен способ диффузионной сварки пакета для изготовления сотового наполнителя из титановых сплавов, при котором на участки листовых заготовок из фольги, не подлежащие соединению, наносят материал, препятствующий сварке, на участках, подлежащих соединению, размещают технологические листовые азотированные листовые прокладки шириной стороны соты. Листовые заготовки с прокладками собирают в пакет, помещают в штамп, в условиях вакуума нагревают до температуры полиморфного превращения титанового сплава материала заготовок и сдавливают в два этапа. На первом этапе формируют на заготовках гофры путем осадки сотопакета до смыкания прокладок по высоте. На втором этапе соединяют заготовки сотопакета и усилие сдавливания выбирают из условия создания прокладками на соединяемых участках давления 2 МПа. По завершении процесса диффузионной сварки из предварительно сформованных ячеек полученного полуфабриката извлекают стальные прокладки, и полуфабрикат растягивают до получения сотового блока с окончательно сформованными ячейками (описание к патенту RU 2397054 C1, МПК В23К 20/18 (2006.01), В23К 101/02 (2006.01), опубликовано 20.08.2010).

Недостатком известных способов является использование для диффузионной сварки режимов, характеризующихся известными значениями температуры и давления в соответствии с титановым сплавом материала заготовок.

В известных способах используется технологическая оснастка из стальных листов, обладающих при диффузионной сварке большим сопротивлением высокотемпературной деформации, чем свариваемые титановые заготовки. В этом случае титановые элементы слоистой конструкции можно рассматривать как пластичную (мягкую) прослойку, расположенную между «жесткой» стальной технологической оснасткой.

В условиях диффузионной сварки при контакте титана со стальной оснасткой из-за наличия трения имеет место сдерживание стальной деформации титана, т.е. происходит так называемое «контактное упрочнение» титана. Поскольку в основе образования диффузионного соединения лежит высокотемпературная деформация свариваемых заготовок под действием сжимающего давления, то развитие «контактного упрочнения» может приводить к снижению скорости ползучести титана и ухудшению качества диффузионного соединения.

Степень «контактного упрочнения» (ограниченности деформации) для случая сжатия «пластичного» слоя титана, расположенного между двумя «жесткими» слоями стали зависит как от технологических параметров испытания (температуры, приложенного давления), так и от геометрических размеров «пластичного» слоя - его относительной
5 высоты λ ($\lambda=h/d$, где h - высота, d - диаметр или ширина слоя).

Таким образом, при разработке технологии диффузионной сварки титановых тонкостенных слоистых конструкций необходимо корректировать режимы сварки, и в частности сварочное давление, с учетом относительной высоты λ свариваемых участков в условиях высокотемпературной деформации и развития контактного
10 упрочнения в свариваемых титановых заготовках.

Задача полезной модели - повышение качества сварного соединения за счет совершенствования технологии диффузионной сварки с использованием стальной оснастки при изготовлении титановых тонкостенных слоистых конструкций с сочетанием соединений малых сечений и относительной высотой λ свариваемых слоев менее 2,0.
15

Технический результат - снижение контактного трения между стальной оснасткой и титановыми деталями свариваемой конструкции.

Технический результат достигается тем, что в способе диффузионной сварки тонкостенных слоистых титановых конструкций с относительной высотой λ , свариваемых участков менее 2,0, при котором пакет свариваемых заготовок размещают
20 в стальной оснастке, сборку нагревают и в условиях вакуума осуществляют сварку под давлением в процессе изотермической выдержки в интервале температуры полиморфного превращения материала заготовок, отличающийся тем, что давление сварки p_y определяют из условия:

$$25 \quad p_y = p k_y^{1/n} \quad (1),$$

где p - давление образования физического контакта между поверхностями заготовок с $\lambda \geq 2,0$, МПа; k_y - числовой коэффициент, учитывающий относительную высоту свариваемых участков и упрочнение титанового сплава материала заготовок в условиях сжатия при температуре сварки, $1,0 < k_y < 5,64$; n - эмпирический коэффициент,
30 характеризующий влияние давления сварки на изменение скорости ползучести титанового сплава материала заготовок.

Условие (1) установлено экспериментально и позволяет определить давление p_y , которое необходимо приложить к титановым заготовкам, находящимся в стесненных
35 условиях ($\lambda < 2,0$), чтобы обеспечить их ползучесть со скоростью $\dot{\epsilon}_y$, равной скорости ползучести $\dot{\epsilon}$ заготовок из того титанового сплава, находящихся в свободном состоянии ($k \geq 2,0$) при известном давлении p образования физического контакта.

На фиг.1 изображена пустотелая вентиляторная лопатка; на фиг.2 - элемент воздухозаборника; на фиг.3 - секция выпускного окна ускорителя электронов.

40 Примеры расчета сварочного давления при осуществлении диффузионной сварки тонкостенных слоистых титановых конструкций с относительной высотой λ свариваемых участков менее 2,0.

Для указанных конструкций величину числового значения k_y рассчитывали по экспериментально установленной зависимости $k_y = 0,954 + 0,197 / (0,042 + \lambda)^2$. Величину коэффициента n определяли экспериментально для каждого титанового сплава, принимая его равным аппроксимирующему коэффициенту в уравнении изменения скорости ползучести вида $\dot{\epsilon} = k \cdot p^n \cdot \exp(E/RT)$, где k - коэффициент пропорциональности,
45

сек⁻¹; p - численное значение сварочного давления, измеренного в МПа; n - эмпирический коэффициент, характеризующий ползучесть материала заготовок; E - энергия активации, Дж/моль; R - газовая постоянная, Дж/(К·моль); T - температура нагрева, К.

Пример 1

5 Пакет для изготовления пустотелой вентиляторной лопатки (фиг.1) из заготовок 1, 2, 3 состава сплава ВТ6 (Ti-6Al-4V) толщиной 1,0 мм ($h/2$) с участками 4, подвергаемыми соединению минимальной ширины 8 мм (d). Относительная высота свариваемых участков $\lambda=(1,0+1,0)/8=0,25$.

10 Величину сварочного давления p_y определяли, принимая для вычислений расчетное значение коэффициентов $k_y=3,41$ и $n=0,9$ и давление $p=2$ МПа. Согласно численному расчету по зависимости (1) $p_y=3,41^{1/0,9} \cdot 2=3,91 \cdot 2=7,82$ МПа.

Процесс диффузионной сварки ведут по режиму:

нагрев до температуры сварки $T=990^\circ\text{C}$, сварочное давление $p_y=7,82$ МПа

15 поддерживают в течение 60 минут.

Пример 2

Элемент воздухозаборника (фиг. 2) из заготовок сплава ОТ4 толщиной 0,3 мм ($h/2$), состоящий гофрированного листа 5 с гофрами шириной 6 мм (d) в местах соединения с плоским листом 6. Относительная высота свариваемых участков $\lambda=(0,3+0,3)/6=0,1$.

20 Величину сварочного давления p_y определяли, принимая для вычислений расчетное значение коэффициентов $k_y=2,92$ и $n=1,2$ и давление $p=2$ МПа. Согласно численному расчету $p_y=2,92^{1/1,2} \cdot 2=2,44 \cdot 2=4,88$ МПа.

Процесс диффузионной сварки ведут по режиму:

25 нагрев до температуры сварки $T=950^\circ\text{C}$, сварочное давление $p_y=4,88$ МПа

поддерживают в течение 50 мин.

Пример 3

30 Секция выпускного окна ускорителя электронов (фиг.3) из заготовок сплава ВТ14, состоящая из двух опорных решеток 7, 8 толщиной 1,2 мм с овальными отверстиями и перемычками 9 с минимальной шириной d в 2,0 мм в местах соединения с фольгой 10 толщиной 0,08 мм, расположенной между ними. Относительная высота свариваемых участков $\lambda=(1,2+1,2+0,08)/2,0=1,24$.

35 Величину сварочного давления p_y определяли, принимая для вычислений расчетное значение коэффициентов $k_y=2,02$ и $n=1,2$ и давление $p=2$ МПа. Согласно численному расчету $p_y=2,02^{1/1,2} \cdot 2=2,44 \cdot 2=3,6$ МПа.

Процесс диффузионной сварки ведут по режиму:

нагрев до температуры сварки $T=950^\circ\text{C}$, сварочное давление $p_y=3,6$ МПа

40 поддерживают в течение 65 мин.

Формула изобретения

45 Способ диффузионной сварки тонкостенных слоистых титановых конструкций, включающий размещение пакета свариваемых заготовок из титанового сплава в стальной оснастке, нагрев сборки и сварку под давлением в условиях вакуума в процессе изотермической выдержки в интервале температуры полиморфного превращения титанового сплава заготовок, отличающийся тем, что определяют давление сварки p_y , которое необходимо приложить к заготовкам из титанового сплава, находящимся в

условиях сжатия в стальной оснастке, из условия обеспечения ползучести заготовок со скоростью $\dot{\epsilon}_y$, равной скорости $\dot{\epsilon}$ ползучести находящихся в свободном состоянии заготовок из того же титанового сплава при давлении p образования физического контакта между их поверхностями, при этом давление сварки определяют из условия:

$$P_y = p k_y^{1/n}, \text{ МПа, где}$$

k_y - числовой коэффициент, равный $1,0 < k_y < 5,64$, учитывающий относительную высоту свариваемых участков $\lambda = h/d$, где h - высота, d - диаметр или ширина свариваемого слоя, и упрочнение титанового сплава заготовок в условиях сжатия при температуре сварки,

n - эмпирический коэффициент, характеризующий влияние давления сварки на изменение скорости $\dot{\epsilon}$ ползучести титанового сплава заготовок, который определяют экспериментально для каждого титанового сплава, принимая его равным аппроксимирующему коэффициенту в уравнении изменения скорости ползучести

титанового сплава $\dot{\epsilon} = k \cdot p^n \cdot \exp(E/RT)$, где

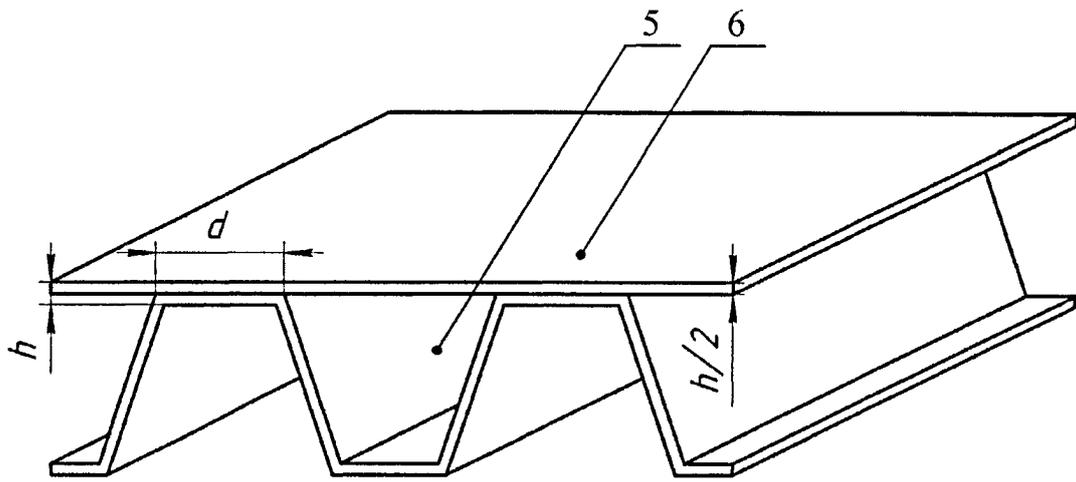
k - коэффициент пропорциональности, сек^{-1} ;

p - численное значение сварочного давления, МПа;

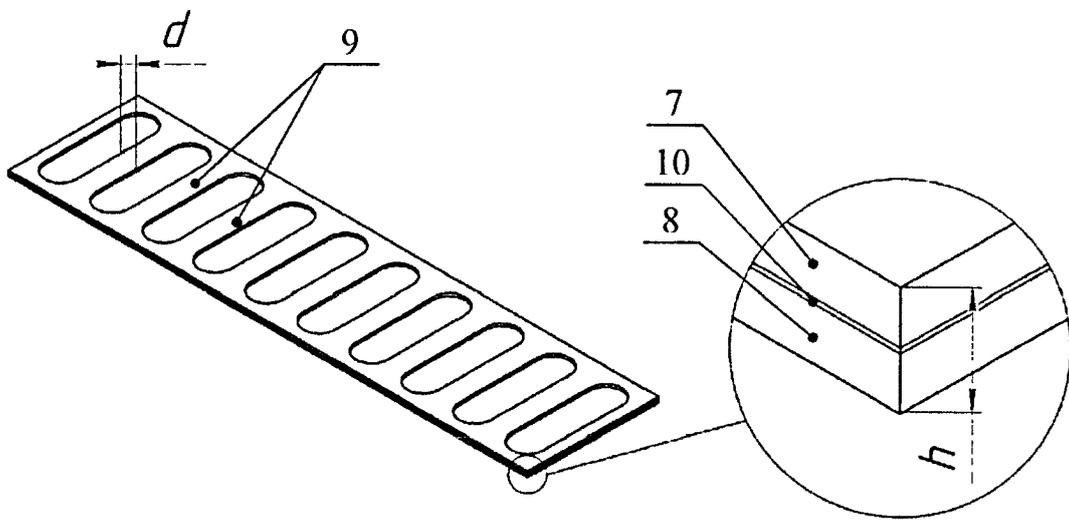
E - энергия активации, Дж/моль;

R - газовая постоянная, Дж/(К·моль);

T - температура нагрева, К.



Фиг. 2



Фиг. 3