



(51) МПК  
**B23K 20/12** (2006.01)  
**F01D 5/30** (2006.01)  
**B23P 15/04** (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2010125155/02, 18.06.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 18.06.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.06.2010

(43) Дата публикации заявки: 27.12.2011 Бюл. № 36

(45) Опубликовано: 20.07.2012 Бюл. № 20

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 7125227 B2, 24.06.2006. RU 2225514 C2, 10.03.2004. RU 2280546 C2, 27.07.2006. SU 1512740 A1, 07.10.1989. CA 2650322 A1, 21.07.2009. WO 2010003404 A2, 14.01.2010.

Адрес для переписки:

450000, Республика Башкортостан, г.Уфа, ул.  
 К.Маркса, 12, УГАТУ, отдел  
 интеллектуальной собственности,  
 В.П.Ефремовой

(72) Автор(ы):

**Мингажев Аскар Джамилевич (RU),  
 Смыслов Анатолий Михайлович (RU),  
 Смыслова Марина Константиновна (RU),  
 Даутов Сагит Хамитович (RU),  
 Медведев Александр Юрьевич (RU),  
 Селиванов Алексей Сергеевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное  
 образовательное учреждение высшего  
 профессионального образования "Уфимский  
 государственный авиационный технический  
 университет" (RU),  
 Открытое акционерное общество  
 "УФИМСКОЕ МОТОРОСТРОИТЕЛЬНОЕ  
 ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ  
 ОБЪЕДИНЕНИЕ" (RU)**

**(54) СПОСОБ ЛИНЕЙНОЙ СВАРКИ ТРЕНИЕМ ЗАГОТОВОК ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ  
 ДЛЯ МОНОБЛОКОВ ТУРБОМАШИН**

(57) Реферат:

Изобретение может быть использовано при производстве или ремонте моноблоков турбомашин из титановых сплавов. На стадии нагрева заготовки прижимают друг к другу по контактными поверхностям с усилием, обеспечивающим давление процесса сварки стыка при заданной амплитуде и частоте относительного перемещения заготовок вдоль их контактных поверхностей. После прекращения возвратно-поступательных перемещений заготовок осуществляют стадию проковки. На первом этапе сварки задают

амплитуду от 3 мм до 5 мм и частоту от 15 до 70 Гц. На втором этапе задают амплитуду от 1 мм до 2 мм и частоту от 40 до 80 Гц. Процесс сварки осуществляют при давлении сварки от 30 МПа до 180 МПа и давлении проковки от 160 МПа до 320 МПа. Коэффициент удельной подводимой мощности берут равным от 2,2 кВт до 3,2 кВт. Способ обеспечивает создание условий плавного перехода формирующегося сварного стыка от стадии нагрева к стадии проковки, что позволяет получить высокое качество сварных соединений. 6 з.п. ф-лы, 1 пр.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
**B23K 20/12** (2006.01)  
**F01D 5/30** (2006.01)  
**B23P 15/04** (2006.01)

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2010125155/02, 18.06.2010**

(24) Effective date for property rights:  
**18.06.2010**

Priority:

(22) Date of filing: **18.06.2010**

(43) Application published: **27.12.2011 Bull. 36**

(45) Date of publication: **20.07.2012 Bull. 20**

Mail address:

**450000, Respublika Bashkortostan, g.Ufa, ul.  
K.Marksa, 12, UGATU, otdel intellektual'noj  
sobstvennosti, V.P.Efremovoj**

(72) Inventor(s):

**Mingazhev Askar Dzhamilevich (RU),  
Smyslov Anatolij Mikhajlovich (RU),  
Smyslova Marina Konstantinovna (RU),  
Dautov Sagit Khamitovich (RU),  
Medvedev Aleksandr Jur'evich (RU),  
Selivanov Aleksej Sergeevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovaniya "Ufimskij  
gosudarstvennyj aviatsionnyj tekhnicheskij  
universitet" (RU),  
Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo "UFIMSKOE  
MOTOROSTROITEL'NOE  
PROIZVODSTVENNOE OB"EDINENIE" (RU)**

**(54) METHOD OF SEAM FRICTION WELDING OF BILLETS FROM TITANIUM ALLOYS FOR TURBOMACHINE MONOBLOCKS**

(57) Abstract:

FIELD: process engineering.

SUBSTANCE: invention may be in production or repair of turbomachine monoblocks from titanium alloys. In heating, work pieces are pressed against each other along contact surface with force making welding pressure at preset amplitude and frequency of relative displacement of parts along said contact surface. Forging is performed after workpiece reciprocation shutdown on applying forging force. At

welding first step, amplitude is set to 3 mm to 5 mm while frequency makes 15-70 Hz. At welding second step, amplitude is set to 1 mm to 2 mm while frequency makes 40-80 Hz. Application pressure varies from 30 MPa to 180 MPa while that of forging varies from 160 MPa to 320 MPa. Coefficient of welding specific power input varies from 2.2 kW to 3.2 kW.

EFFECT: high quality of weld joint.

7 cl, 1 ex

Изобретение относится к сварке трением и может быть использовано в различных отраслях машиностроения, например при производстве или ремонте моноблоков турбомашин из титановых сплавов.

5 Фрикционный нагрев поверхностей свариваемых деталей может осуществляться либо за счет вращения одной из заготовок относительно другой, либо за счет  
линейного колебательного движения [например, европатент №0719614, МПК В23К  
20/12], либо за счет углового колебательного движения [европатент №0624420,  
МПК В23К 20/12 и патент РФ №2043891, МПК В23К 20/12]. При этом наиболее  
10 распространенными и разработанными способами сварки трением являются  
ротационная сварка и перемешивающая сварка трением [Сварка трением:  
Справочник / В.К.Лебедев, И.А.Черненко, Р.Михальски и др.; Под общ. ред.  
В.К.Лебедева, И.А.Черненко, В.И.Билля. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние,  
1987. - 236 с.].

15 Известен также способ сварки трением [А.С. СССР №1512740, опубл. 07.10.89, БИ  
№37], включающий стадию нагрева, на которой заготовки приводят в относительное  
вращение при постоянном приложении контактного давления, и стадию проковки,  
которую осуществляют после прекращения вращения. Сварка по этому способу  
20 производится в температурном интервале, обеспечивающем отсутствие условий  
закалки быстрорежущей стали в зоне термического влияния.

Недостатками известных способов сварки трением являются либо их  
непригодность [А.С. СССР №1512740], либо низкая стабильность качества сварных  
соединений [европатент №0624420, МПК В23К 20/12 и патент РФ №2043891,  
25 МПК В23К 20/12] применительно для таких деталей, как лопатки турбомашин,  
вследствие высокой вероятности возникновения непроваров и подрезов, вызываемых  
выхватыванием поверхностных слоев металла, прилегающего к стыку, гратом. Эти  
недостатки вызываются неравномерностью нагрева стыка по всему сечению.

30 Наиболее близким техническим решением, выбранным в качестве прототипа,  
является способ линейной сварки трением лопаток из сплавов, включающий стадию  
нагрева, на которой заготовки прижимают друг к другу по контактным поверхностям  
с усилием, обеспечивающим давление процесса сварки стыка при заданной амплитуде  
и частоте относительного перемещения заготовок вдоль их контактных поверхностей,  
35 и стадию проковки, осуществляемую после прекращения возвратно-поступательных  
перемещений заготовок приложением давления проковки [Патент США №7,125,227,  
МПК В23К 20/12 Process for manufacturing or repairing a monobloc bladed disc, 2006 г.].  
Указанный способ позволяет изготавливать моноблоки лопаточных дисков  
40 турбомашин или производить их ремонт.

Процессы линейной сварки трением становятся ключевыми технологиями  
формирования сварных соединений из трудносвариваемых материалов и могут быть  
широко использованы в ремонтном производстве. Достоинством линейной сварки  
трением является минимальная подготовка поверхностей к свариванию. Линейная  
45 сварка трением достаточно активно применяется в авиадвигателестроении для  
соединения лопаток с дисками [Corzo M., Torres Y., Anglada M., Mateo A. Fracture  
behaviour of linear friction welds in titanium alloys // Anales de la Mecanica de Fractura. -  
V.1, 2007. - Pp.75-80].

50 Однако известный способ линейной сварки трением лопаток [Патент США  
№7,125,227, МПК В23К 20/12 Process for manufacturing or repairing a monobloc bladed disc,  
2006 г.] не позволяет получать качественные сварные соединения, обеспечивающие  
высокие эксплуатационные свойства деталей.

Задача, решаемая предлагаемым способом, заключается в повышении качества сварных соединений, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства деталей, путем создания условий плавного перехода формирующегося сварного стыка от

5 стадии нагрева к стадии проковки.  
Решение поставленной задачи достигается тем, что способ линейной сварки трением заготовок из титановых сплавов для моноблоков турбомашин, включающий стадию нагрева, на которой заготовки лопаток прижимают друг к другу по контактными поверхностям с усилием, обеспечивающим давление процесса сварки стыка при заданной амплитуде и частоте относительного перемещения заготовок

10 вдоль их контактных поверхностей, и стадию проковки, осуществляемую после прекращения возвратно-поступательных перемещений заготовок приложением давления проковки, в отличие от прототипа нагрев производят в два этапа: на первом этапе задают амплитуду от 3 мм до 5 мм и частоту от 15 до 70 Гц, а на втором этапе

15 задают амплитуду от 1 мм до 2 мм и частоту от 40 до 80 Гц, а величину давления процесса сварки берут равной от 30 МПа до 180 МПа, а величину давления проковки равной от 160 МПа до 320 МПа, причем время первого этапа нагрева берут от 0,3 с до 6 с, а время второго этапа нагрева берут равным от 0,2 с до 2 с, при этом возможны

20 следующие варианты способа: возвратно-поступательное перемещение заготовок осуществляют с интервалом времени их остановки от 0,05 с до 0,3 с; в качестве свариваемых заготовок из титановых сплавов используют перо лопатки и диск турбомашин.

Решение поставленной задачи достигается также тем, что в способе линейной сварки трением коэффициент удельной подводимой мощности при сварке выбирают от 2,2 кВт до 3,2 кВт.

Решение поставленной задачи достигается также тем, что в способе линейной сварки трением нагрев осуществляют в температурном интервале сверхпластичности

30 металла одной из заготовок.

В процессе возвратно-поступательного движения заготовки, подлежащие свариванию, прижимаются для образования плотного контакта. Генерируемая в плоскости сварки теплота способствует пластической деформации приповерхностных объемов свариваемых материалов. В процессе сварки вязкопластичные слои металла перемещаются к границам свариваемой поверхности. При этом происходит удаление окислов и загрязнений, которые могут присутствовать в зоне сварки. Короткая

35 длительность процесса сварки (несколько секунд) обеспечивает малую зону термического влияния. Для обеспечения точности сварки необходимо

40 предусматривать мероприятия для устранения перекосов и погрешностей расположения свариваемых поверхностей. Процесс формирования сварного шва достаточно сложен и определяется трибологическими свойствами контакта, особенностями протекания процессов внутреннего трения и пластической деформации, а также физико-химическими и металлургическими аспектами.

45 Для осуществления интенсивного нагрева поверхностей стыка соединяемых заготовок, а также для качественного удаления загрязнений и окислов из зоны контакта необходимо производить подвод значительной энергии, которая определяется, при прочих равных условиях, частотой и амплитудой возвратно-

50 поступательного движения заготовок, а также усилием их прижатия. При этом одна и та же величина подводимой энергии может быть получена при различном сочетании указанных параметров процесса сварки, и свойства сварного соединения во всех этих случаях будут различаться.

Поскольку первые стадии нагрева места стыка заготовок требуют интенсивного нагрева и значительных амплитуд для удаления загрязнений через флэш. Так, например, диапазон амплитуд от 1 мм до 2 мм недостаточен для удаления загрязнений и окислов из зоны контакта заготовок. В то же время, качественное удаление

5 загрязнений и окислов происходит при амплитудах от 3 мм до 5 мм.

В то же время, для более качественного формирования шва, с меньшими значениями остаточных напряжений и дефектов, более целесообразен плавный переход от стадии нагрева к стадии проковки.

10 Так, при сварке известным способом титановых сплавов, таких, например как Ti-6Al-4V, в зоне центра сварки микроструктура из первоначальной бимодальной  $\alpha$ - $\beta$ , а в процессе трения полностью переходит в однофазную  $\beta$ -структуру. Измерение температуры в процессе сварки показало, что в зоне сварки она превышает 1100°C, т.е. превышает температуру  $\beta$ -перехода в 995°C. В зоне сварки существенно

15 уменьшается размер зерна - он составляет от 3.8 до 5.3 мкм против 12.5 мкм в исходном материале. Исследование характера и величин остаточных напряжений и деформаций после сварки сплава Ti-6Al-4V показало, что изменение деформаций и напряжений максимально в направлении нормали к поверхности сварного шва.

20 В связи с этим стадия нагрева в предлагаемом способе разбивается на два этапа. Функцией первого этапа является интенсивный разогрев поверхности и удаление окислов и загрязнений. Функцией второго этапа является повышение качества формирования сварного соединения и более плавный переход к стадии проковки. При первом этапе нагрева происходит интенсивное перемешивание металла в зоне

25 физического контакта и вовлечение в нее еще большего объема материала. После окончания первого этапа, параметры которого подбираются экспериментально в зависимости от конкретного сплава, размеров и геометрии свариваемых заготовок, обеспечивается более мягкий режим трения по всей контактной поверхности, после чего при отключении привода возвратно-поступательного движения заготовок

30 осуществляют проковку для окончательного формирования сварного соединения.

Способ осуществляется следующим образом. На собранные встык и зафиксированные соединяемые детали устанавливают одно из известных устройств для линейной сварки трением [например, патент РФ №2280546, МПК В23К 20/12.

35 Инструмент для фиксации лопаток и его применение для сварки лопаток трением, опубл. 27.07.2006 г Бюл. №21]. Затем, задают требуемое усилие прижатия, выбирая его из диапазона значений от 30 МПа до 180 МПа, устанавливают требуемые значения первого и второго этапов стадии нагрева и усилие проковки. Причем на первом этапе

40 нагрева величину амплитуды задают из диапазона от 3 мм до 5 мм и частоту из диапазона от 15 до 70 Гц, а на втором этапе задают амплитуду от 1 мм до 2 мм и частоту от 40 до 80 Гц. Величину давления проковки выбирают из диапазона значений от 160 МПа до 320 МПа. Затем включают сварочное устройство, запрограммированное согласно выбранным параметрам процесса, и производят весь

45 цикл сварки.

Пример. С целью оценки эксплуатационных свойств деталей из титановых сплавов (ВТ6, ВТ14, ВТ3-1, ВТ22), полученных по предлагаемому способу и способу-прототипу, были проведены следующие исследования. Были изготовлены две партии лопаток. Первая партия лопаток изготавливалась по способу-прототипу, а вторая - в соответствии с предлагаемым способом.

50

Линейную сварку трением деталей по способу-прототипу осуществляли по следующим режимам. Амплитуда: 3 мм (неудовлетворительный результат (Н.Р.)); 4

мм (Н.Р.); 5 мм (Н.Р.). Частота 15 Гц (Н.Р.); 30 Гц (Н.Р.); 45 Гц (Н.Р.); 60 Гц (Н.Р.); 70 Гц (Н.Р.). Величина давления процесса сварки 30 МПа (Н.Р.); 60 МПа (Н.Р.); 120 МПа (Н.Р.); 180 МПа (Н.Р.). Величина давления проковки 160 МПа (Н.Р.); 260 МПа (Н.Р.); 320 МПа (Н.Р.).

5 Линейную сварку трением деталей по предлагаемому способу осуществляли по следующим режимам. Первый этап нагрева: амплитуда 2 мм (неудовлетворительный результат (Н.Р.)); 3 мм; 4 мм; 5 мм; 5 мм (Н.Р.). Частота 12 Гц (Н.Р.); 15 Гц; 30 Гц; 45 Гц; 60 Гц; 70 Гц; 75 Гц; (Н.Р.). Величина давления процесса сварки 26 МПа (Н.Р.); 30 МПа; 60 МПа; 120 МПа; 180 МПа; 190 МПа (Н.Р.). Время: 0,2 с.(Н.Р.); 0,3 с.; 6 с.; 7 с. (Н.Р.). Второй этап нагрева: амплитуда 0,5 мм (Н.Р.); 1 мм; 2 мм; 3 мм (Н.Р.). Частота 30 Гц (Н.Р.); 40 Гц; 60 Гц; 80 Гц; 85 Гц; (Н.Р.). Величина давления процесса сварки 26 МПа (Н.Р.); 30 МПа; 60 МПа; 120 МПа; 180 МПа; 190 МПа (Н.Р.). Время: 0,1 с (Н.Р.); 0,2 с; 1 с; 2 с; 3 с (Н.Р.). Время остановки возвратно-поступательных перемещений заготовок составляло: 0,03 с (Н.Р.); 0,05 с; 0,3 с; 0,4 с. (Н.Р.).

15 Величина давления проковки 150 МПа (Н.Р.); 160 МПа; 260 МПа; 320 МПа; 330 МПа (Н.Р.).

Коэффициент удельной подводимой мощности  $P_I$  брался равным 2,0 кВт (Н.Р.); 2,2 кВт; 2,6 кВт; 3,2 кВт; 3,4 кВт (Н.Р.). Коэффициент удельной подводимой мощности  $P_I$ , определялся по формуле:

$$P_I = k_1 k_2 \frac{afP}{2\pi A}, \text{ Вт}$$

25 где  $a$  - амплитуда,  $f$  - частота,  $P$  - давление трения,  $A$  - площадь поверхности сварки,  $k_1$  - коэффициент, учитывающий геометрию сечений контактных поверхностей (для лопаток  $k_1$  брался равным: 1,03 (Н.Р.); 1,04; 1,06; 1,08; 1,09 (Н.Р.)),  $k_2$  - коэффициент, учитывающий изменение условий теплоотвода от контактных поверхностей (для контакта типа блиск  $k_2$  брался равным: 1,01 (Н.Р.); 1,02; 1,03; 1,06; 1,07 (Н.Р.)).

30 Нагрев в предлагаемом способе линейной сварки трением осуществлялся также в температурном интервале сверхпластичности металла одной из заготовок (параметры процессов сварки которых для приведенных выше титановых сплавов являются ноу-хау). (Н.Р.) - означает появление технологических дефектов в сварном соединении или низкие эксплуатационные свойства.

Испытания, проведенные на выносливость и циклическую прочность лопаток из титановых сплавов в условиях эксплуатационных температур (при 300-450°C) на воздухе, показали, что условный предел выносливости ( $\sigma_{-1}$ ) лопаток в среднем составляет по способу-прототипу 290-325 МПа (Н.Р.), а по предлагаемому способу 405-420 МПа.

45 Повышение предела выносливости у лопаток, полученных сваркой по предлагаемому способу, указывает на то, что при применении одного из следующих вариантов проведения линейной сварки трением: стадия нагрева, на которой заготовки лопаток прижимают друг к другу по контактным поверхностям с усилием, обеспечивающим давление процесса сварки стыка при заданной амплитуде и частоте относительного перемещения заготовок вдоль их контактных поверхностей, и стадию проковки, осуществляемую после прекращения возвратно-поступательных перемещений заготовок приложением давления проковки; проведение нагрева в два этапа: на первом этапе задают амплитуду от 3 мм до 5 мм и частоту от 15 до 70 Гц, а на втором этапе задают амплитуду от 1 мм до 2 мм и частоту от 40 до 80 Гц, а величину давления процесса сварки берут равной от 30 МПа до 180 МПа, а величину

давления проковки равной от 160 МПа до 320 МПа, причем время первого этапа нагрева берут от 0,3 с до 6 с, а время второго этапа нагрева берут равным от 0,2 с до 2 с; время остановки возвратно-поступательных перемещений заготовок составляет от 0,05 с до 0,3 с; в качестве свариваемых заготовок из титановых сплавов используют перо лопатки и диск турбомашин; коэффициент удельной подводимой мощности  $PI$  берется равным от 2,2 кВт до 3,2 кВт, причем  $PI$  определяется по формуле:

$$PI = k_1 k_2 \frac{afP}{2\pi A}, \text{ Вт}$$

где  $a$  - амплитуда,  $f$  - частота,  $P$  - давление трения,  $A$  - площадь поверхности сварки,  $k_1$  - коэффициент, учитывающий геометрию сечений контактных поверхностей (для лопаток  $k_1=1,04-1,08$ ),  $k_2$  - коэффициент, учитывающий изменение условий теплоотвода от контактных поверхностей (для контакта типа блиск  $k_2=1,02-1,06$ ); осуществление нагрева в температурном интервале сверхпластичности металла одной из заготовок позволяет решить поставленную в предлагаемом техническом решении задачу - повысить качество сварных соединений и обеспечить высокие эксплуатационные свойства деталей путем создания условий плавного перехода формирующегося сварного стыка от стадии нагрева к стадии проковки.

#### Формула изобретения

1. Способ линейной сварки трением заготовок из титановых сплавов для моноблоков турбомашин, включающий стадию нагрева, на которой заготовки прижимают друг к другу по контактным поверхностям с усилием, обеспечивающим давление процесса сварки стыка при заданной амплитуде и частоте относительного перемещения заготовок вдоль их контактных поверхностей, и стадию проковки, осуществляемую после прекращения возвратно-поступательных перемещений заготовок приложением давления проковки, отличающийся тем, что нагрев производят в два этапа, при этом на первом этапе задают амплитуду от 3 до 5 мм и частоту от 15 до 70 Гц, а на втором этапе задают амплитуду от 1 до 2 мм и частоту от 40 до 80 Гц, величину давления процесса сварки берут равной от 30 до 180 МПа, а величину давления проковки берут равной от 160 до 320 МПа, причем время первого этапа нагрева берут от 0,3 до 6 с, а время второго этапа нагрева берут равным от 0,2 до 2 с.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что возвратно-поступательное перемещение заготовок осуществляют с интервалом времени их остановки от 0,05 до 0,3 с.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве свариваемых заготовок из титановых сплавов используют перо лопатки и диск турбомашин.

4. Способ по п.2, отличающийся тем, что в качестве свариваемых заготовок из титановых сплавов используют перо лопатки и диск турбомашин.

5. Способ по любому из пп.1-4, отличающийся тем, что коэффициент удельной подводимой мощности при сварке выбирают от 2,2 кВт до 3,2 кВт.

6. Способ по любому из пп.1-4, отличающийся тем, что нагрев осуществляют в температурном интервале сверхпластичности металла одной из заготовок.

7. Способ по п.5, отличающийся тем, что нагрев осуществляют в температурном интервале сверхпластичности металла одной из заготовок.