



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(52) СПК

**B23K 26/00 (2019.08)**(21)(22) Заявка: **2019108298, 22.03.2019**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**22.03.2019**Дата регистрации:  
**28.10.2019**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **22.03.2019**(45) Опубликовано: **28.10.2019** Бюл. № 31

Адрес для переписки:

**111116, Москва, ул. Авиамоторная, 2, ФГУП  
"ЦИАМ им. П.И. Баранова", отдел  
интеллектуальной собственности**

(72) Автор(ы):

**Исаков Владимир Владимирович (RU),  
Иванченко Николай Юрьевич (RU),  
Васильев Борис Евгеньевич (RU),  
Сальников Антон Владелинович (RU),  
Семенов Артем Васильевич (RU),  
Магеррамова Любовь Александровна (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

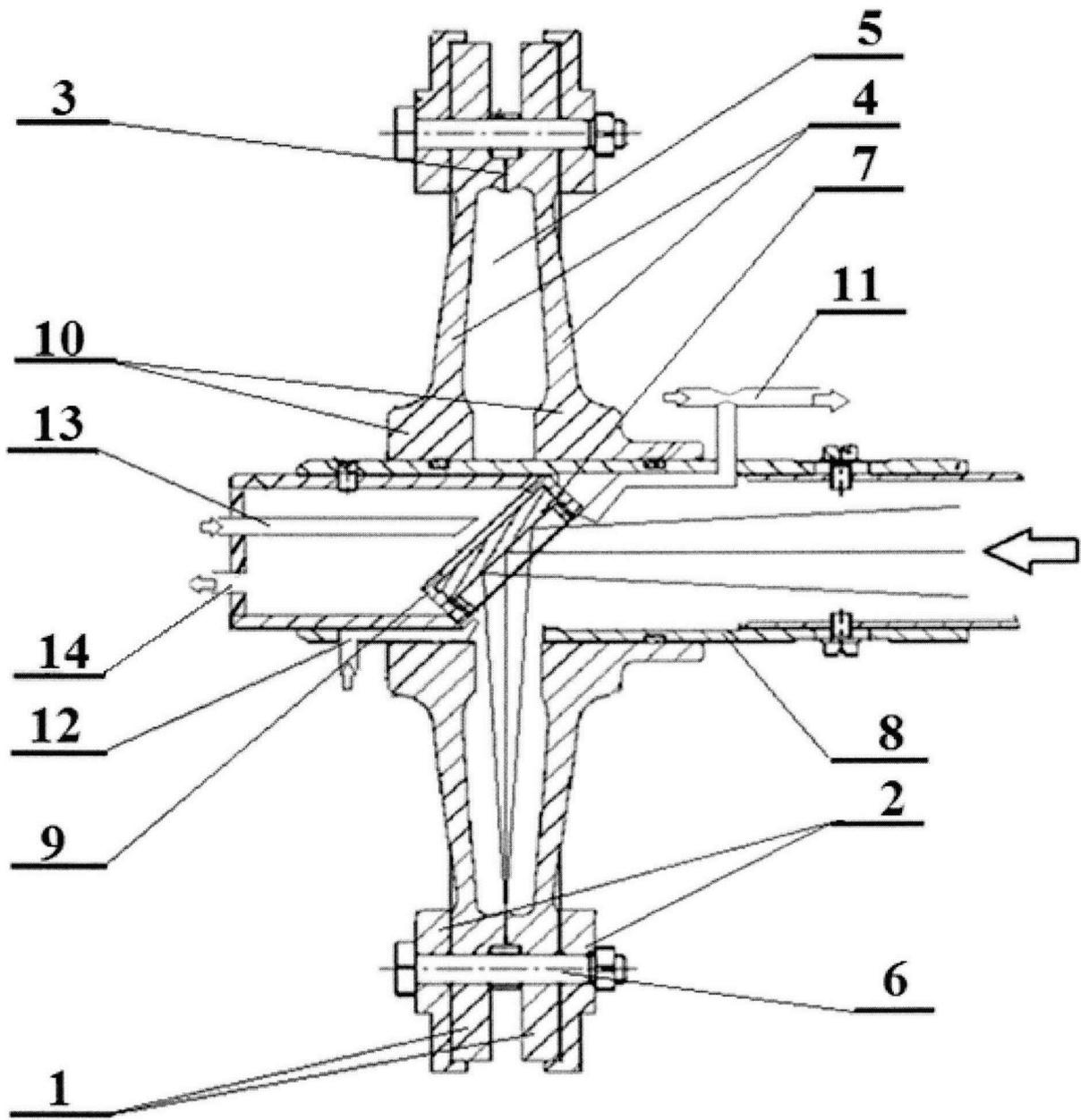
**Федеральное государственное унитарное  
предприятие "Центральный институт  
авиационного моторостроения имени П.И.  
Баранова" (RU)**(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: **С. КАТАЯМА, "Справочник по  
лазерной сварке", Москва, Техносфера, 2015,  
стр. 452-457. RU 2659503 C2, 02.07.2018. RU  
2009820 C1, 30.03.1994. RU 2606667 C2,  
10.01.2017. DE 102006033297 A1, 24.01.2008. US  
5628449 A1, 13.05.1997. FR 2829413 A1,  
14.03.2003.**(54) **Способ лазерной сварки полых изделий**

(57) Реферат:

Изобретение относится к способам лазерной сварки полых изделий и может быть использовано в технологических процессах изготовления пустотелых дисков турбин, компрессоров и вентиляторов газотурбинных двигателей. В способе лазерной сварки полых изделий на стыкуемые кромки подают лазерный луч с заданным фокусным расстоянием, в зону сварки подают поток защитного газа, в зоне фокусирующего устройства создают дополнительный поток защитного газа. В качестве фокусирующего устройства используют поворотное зеркало, а оптический канал размещают в полости изделия вдоль оси его

симметрии. Лазерный луч подают на кромки со стороны внутренней полости изделия, дополнительный поток защитного газа создают в виде первого потока с наружной стороны оптического канала и второго потока вдоль отражающей поверхности поворотного зеркала. На обратной поверхности поворотного зеркала создают поток охлаждающей жидкости. Техническим результатом изобретения является создание эффекта газовой эжекции на поверхности поворотного зеркала, обеспечение стабильности теплового состояния отражающей поверхности поворотного зеркала и повышение качества сварного шва. 1 ил., 1 табл.

**RU 2704353 C1****RU 2704353 C1**





FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*B23K 26/00* (2019.08)

(21)(22) Application: **2019108298, 22.03.2019**

(24) Effective date for property rights:  
**22.03.2019**

Registration date:  
**28.10.2019**

Priority:

(22) Date of filing: **22.03.2019**

(45) Date of publication: **28.10.2019** Bull. № 31

Mail address:

**111116, Moskva, ul. Aviamotornaya, 2, FGUP  
"TSIAM im. P.I. Baranova", otdel intellektualnoj  
sobstvennosti**

(72) Inventor(s):

**Isakov Vladimir Vladimirovich (RU),  
Ivanchenko Nikolaj Yurevich (RU),  
Vasilev Boris Evgenevich (RU),  
Salnikov Anton Vladelinovich (RU),  
Semenov Artem Vasilevich (RU),  
Magerramova Lyubov Aleksandrovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe unitarnoe  
predpriyatie "Tsentralnyj institut aviatsionnogo  
motorostroeniya imeni P.I. Baranova" (RU)**

(54) **METHOD OF HOLLOW ARTICLES LASER WELDING**

(57) Abstract:

FIELD: technological processes.

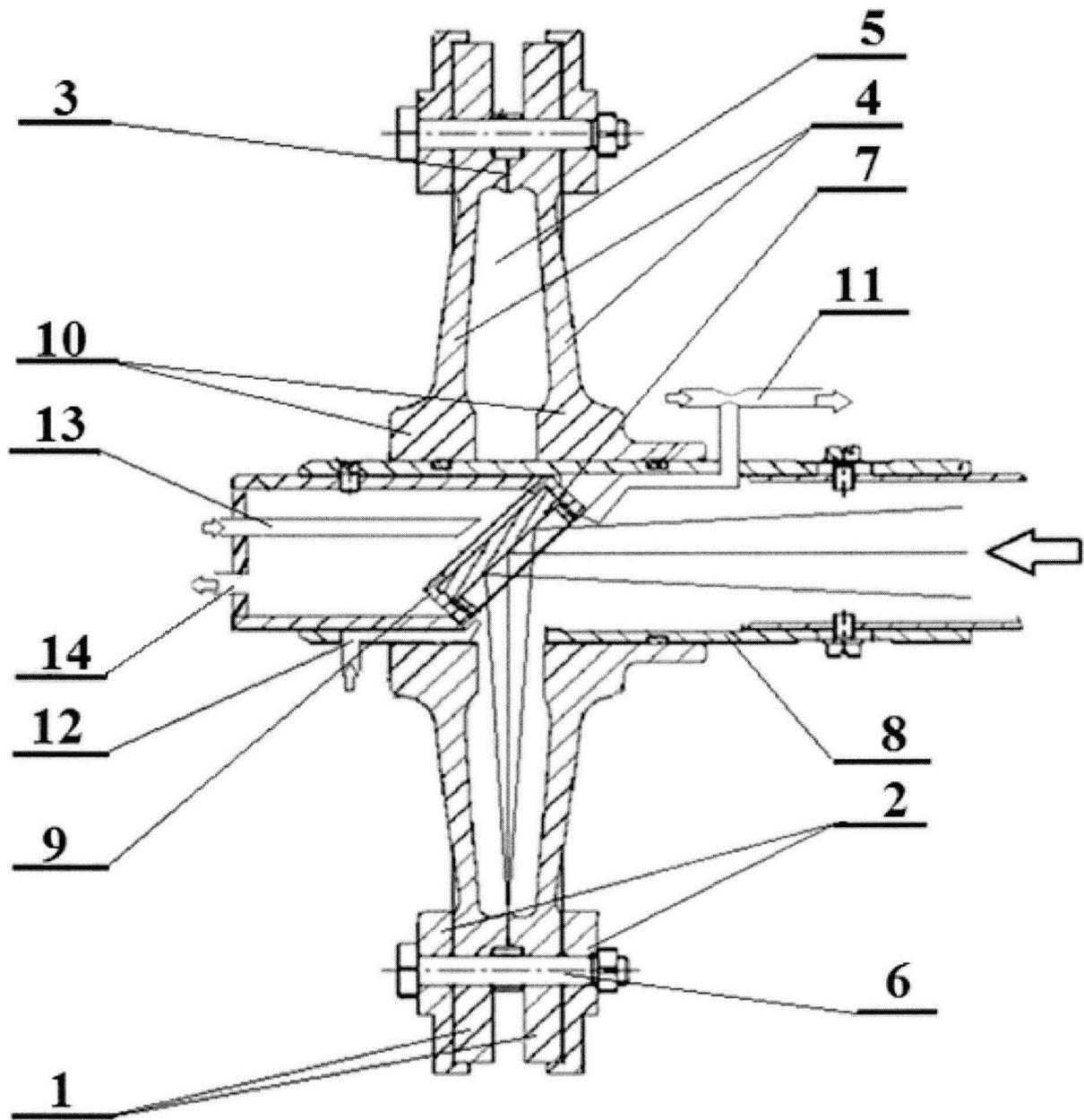
SUBSTANCE: invention relates to methods of laser welding of hollow articles and can be used in technological processes of making hollow discs of turbines, compressors and fans of gas turbine engines. In the method of laser welding of hollow items on the mating edges a laser beam is supplied with a specified focal distance, in the welding zone a flow of protective gas is supplied, in the zone of the focusing device an additional stream of protective gas is created. Focusing device used is a rotary mirror, and the optical channel is placed in the cavity of the article along its axis of

symmetry. Laser beam is supplied to the edges on the side of the inner cavity of the article; an additional stream of shielding gas is created in the form of the first flow from the outer side of the optical channel and the second flow along the reflecting surface of the rotary mirror. Cooling liquid flow is created on the reverse surface of the rotary mirror.

EFFECT: creating the gas ejection effect on the surface of the rotary mirror, providing stability of the heat state of the reflecting surface of the rotary mirror and improving the quality of the weld.

1 cl, 1 dwg, 1 tbl

RU 2704353 C1



RU 2704353 C1

Изобретение относится к способам лазерной сварки полых изделий и может быть использовано в технологических процессах изготовления пустотелых дисков турбин, компрессоров и вентиляторов газотурбинных двигателей.

5 Основной задачей, решаемой при лазерной сварке полых дисков, является обеспечение минимального уровня внутренних напряжений и термических деформаций в зоне сварки. Достигается это за счет узких глубоких сварных швов с малым размером зоны расплава  
и зоны термического влияния при сохранении высокой прочности сварного соединения. Оптимальные размеры сварного соединения получают за счет минимизации погонной энергии в сварном шве при лазерной сварке, что позволяет снизить остаточные  
10 напряжения и деформации в 5-10 раз по сравнению с дуговыми способами сварки. Особенность процесса лазерной сварки заключается в том, что при сварке сложных фасонных заготовок узкими глубокими швами, из-за неизбежной погрешности позиционирования фокусного пятна относительно свариваемых кромок и нестабильности плотности мощности на свариваемой поверхности, изменяется  
15 положение отражающей поверхности зеркал, используемых в фокусирующих устройствах, поэтому в процессе сварки объем расплавляемого металла в корне глубокого шва не остается постоянным. Такая неравномерность распределения величины переплавленного металла по длине сварного шва при переменном размере зоны термического влияния приводит к эффекту накопления нескомпенсированных  
20 остаточных напряжений и деформаций, которые вызывают коробление сваренных полых изделий. Для исправления указанного недостатка изделия подвергают дополнительной операции - рихтовке.

Известен способ лазерной сварки полых изделий, заключающийся в том, что на стыкуемые кромки при помощи устройства, содержащего фокусирующую линзу, подают  
25 вдоль оптической оси лазерный луч с заданным фокусным расстоянием, одновременно подают в зону сварки поток защитного газа, а в направлении, перпендикулярном оптической оси лазерного луча, подают поток сжатого воздуха, предназначенный для защиты фокусирующей линзы, и перемещают луч по заданной траектории вдоль линии стыка (RU 2659503, 2018 г.) Известное техническое решение имеет ограниченные  
30 функциональные возможности, поскольку предназначено для выполнения плоских сварочных швов и не обеспечивает возможности сварки пространственных швов полых изделий с внутренней стороны.

Известен способ лазерной сварки изделий, включающих пространственные швы, заключающийся в том, что на стыкуемые кромки при помощи фокусирующего  
35 устройства, содержащего отклоняющее зеркало, подают лазерный луч с заданным фокусным расстоянием, при этом одновременно в зону сварки подают поток защитного газа и перемещают луч по заданной траектории вдоль линии стыка (DE 102006033297, 2008 г.). Существенным недостатком известного технического решения является невозможность его использования для сварки полых изделий.

40 Известен способ лазерной сварки полых изделий, включающих пространственные швы, заключающийся в том, что на стыкуемые кромки при помощи фокусирующего устройства, содержащего параболическое зеркало, подают лазерный луч с заданным фокусным расстоянием, одновременно в зону сварки подают поток защитного газа, затем перемещают луч по заданной траектории вдоль линии стыка (US 5628449, 1997  
45 г.) В известном техническом решении на точность совмещения траектории перемещения лазерного пятна с фактической линией стыка влияет тепловое состояние отражающей поверхности зеркала. Для уменьшения влияния этого фактора необходимо повышать мощность излучения, увеличивать размер лазерного пятна и погонную энергию. Это

приводит к повышению суммарного объема расплава в сварном шве и позволяет компенсировать возникшие погрешности. Однако при мощном лазерном излучении высокая отражающая способность в начальный момент процесса способна вызвать повреждение фокусирующей оптики сварочной головки. Кроме того, в процессе сварки 5 побочные продукты в виде мелких капель металла из разогретой парогазовой фазы могут достигать отражающей поверхности параболического зеркала и вызывать деградацию его отражающей поверхности. В результате избыточная тепловая энергия сварочной ванны влияет на условия трансляции лазерного излучения. Возникает обратная связь, которая может привести к разрушению отражающей поверхности 10 зеркала, вследствие чего процесс глубокого проплавления нарушается и происходит рост количества дефектов в сварном шве, а изменение объема ванны расплава и размеров околошовной зоны снижает технологическую прочность сварного шва изделия.

Наиболее близким по совокупности существенных признаков к заявляемому техническому решению является способ лазерной сварки полых изделий, заключающийся 15 в том, что на стыкуемые кромки при помощи фокусирующего устройства подают лазерный луч с заданным фокусным расстоянием, одновременно в зону сварки подают поток защитного газа, в зоне фокусирующего устройства создают дополнительный поток защитного газа, а затем перемещают луч по заданной траектории вдоль линии стыка (С. Катаяма, «Справочник по лазерной сварке», Москва, Техносфера, 2015, стр. 20 452-457). В известном техническом решении фокусирующее устройство содержит линзы, установленные в сварочной головке, закрепленной на роботе-манипуляторе, что обеспечивает возможность сварки полых изделий с пространственным (трехмерным) швом.

В известных технических решениях процесс сварки осуществляется с внешней стороны 25 полого изделия. Это приводит к скоплению в корневой части сварного шва образований в виде окислов, карбидов и шлака, что снижает прочность сварного шва. Таким образом, общий существенный недостаток известных технических решений - недостаточные технологические возможности.

Техническая проблема, на решение которой направлено изобретение, заключается 30 в расширении технологических возможностей способа лазерной сварки путем обеспечения лазерной сварки со стороны полости изделия при условии бездефектного формирования сварного соединения.

Технический результат, достигаемый при осуществлении предлагаемого изобретения, заключается в создании эффекта газовой эжекции на поверхности поворотного зеркала, 35 обеспечении стабильности теплового состояния отражающей поверхности поворотного зеркала и повышении качества сварного шва.

Заявленный технический результат достигается за счет того, что при осуществлении способа лазерной сварки полых изделий, заключающемся в том, что на стыкуемые кромки при помощи фокусирующего устройства подают лазерный луч с заданным 40 фокусным расстоянием, одновременно в зону сварки подают поток защитного газа, в зоне фокусирующего устройства создают дополнительный поток защитного газа, затем перемещают луч по заданной траектории вдоль линии стыка, при этом в качестве фокусирующего устройства используют поворотное зеркало, установленное в оптическом канале лазера, причем оптический канал размещают в полости изделия 45 вдоль оси его симметрии, лазерный луч подают на стыкуемые кромки со стороны внутренней замкнутой полости свариваемого изделия, дополнительный поток защитного газа создают в виде первого потока, направленного с наружной стороны оптического канала, и второго потока, направленного вдоль отражающей поверхности поворотного

зеркала и сообщенного с первым потоком, причем расход газа во втором потоке составляет 10-50 л/мин, а на обратной поверхности поворотного зеркала создают поток охлаждающей жидкости, расход которой определяют с учетом толщины и коэффициента теплопроводности материала зеркала.

5 Указанные существенные признаки обеспечивают решение поставленной проблемы с достижением заявленного технического результата, так как:

- использование в качестве фокусирующего устройства поворотного зеркала, установленного в оптическом канале лазера, размещение оптического канала в полости изделия вдоль оси его симметрии и подача лазерного луча на стыкуемые кромки со стороны внутренней замкнутой полости свариваемого изделия обеспечивают повышение качества сварного шва за счет формирования корневой части сварного шва на внешней поверхности изделия, что упрощает процесс удаления недоброкачественных образований в виде окислов и шлаков;

10 - создание дополнительного потока защитного газа в виде первого потока, направленного с наружной стороны оптического канала, и второго потока, направленного вдоль отражающей поверхности поворотного зеркала и сообщенного с первым потоком, причем расход газа во втором потоке составляет 10-50 л/мин, обеспечивает эффект газовой эжекции на поверхности поворотного зеркала, что позволяет повысить качество сварного шва за счет удаления мелких капель металла из разогретой парогазовой фазы, образующейся в процессе сварки, и предохранить поверхность зеркала от загрязнений;

15 - создание на обратной поверхности поворотного зеркала потока охлаждающей жидкости, расход которой определяют с учетом толщины и коэффициента теплопроводности материала зеркала, обеспечивает повышение качества сварного шва за счет стабильности теплового состояния отражающей поверхности поворотного зеркала.

Настоящее изобретение поясняется следующим подробным описанием способа лазерной сварки полых изделий, в частности сварного турбинного диска из жаропрочного сплава, со ссылкой на иллюстрацию, где на фигуре представлена схема реализации предложенного способа.

30 На фигуре приняты следующие обозначения:

- 1 - ободные части свариваемых заготовок турбинного диска;
- 2 - средство крепления свариваемых заготовок турбинного диска;
- 3 - стыкуемые кромки свариваемых заготовок турбинного диска;
- 35 4 - стенки свариваемых заготовок турбинного диска;
- 5 - внутренняя замкнутая полость турбинного диска;
- 6 - фиксирующие болты;
- 7 - поворотное зеркало;
- 8 - оптический канал лазера;
- 40 9 - зажим;
- 10 - ступичные части свариваемых заготовок турбинного диска;
- 11 - средство подачи первого потока;
- 12 - средство подачи второго потока;
- 13 - патрубок подвода охлаждающей жидкости;
- 45 14 - патрубок отвода охлаждающей жидкости.

Способ реализуется следующим образом.

Ободные части 1 свариваемых заготовок турбинного диска устанавливают в средство 2 крепления, прижимают друг к другу и стыкуют кромки 3 таким образом, что стенки

4 заготовок образуют замкнутую (внутреннюю) полость 5 диска. После этого средство  
 2 крепления заготовок диска фиксируют при помощи болтов 6. В зону кромок 3 от  
 источника (на чертеже не показан) лазерного излучения при помощи фокусирующего  
 5 устройства подают лазерный луч с заданным фокусным расстоянием. Одновременно  
 в зону сварки подают поток защитного газа, в зоне фокусирующего устройства создают  
 дополнительный поток защитного газа, затем перемещают луч по заданной траектории  
 вдоль линии стыка. При этом в качестве фокусирующего устройства используют  
 поворотное зеркало 7, установленное в оптическом канале 8 при помощи зажима 9,  
 причем оптический канал 8 размещают в отверстиях ступичных частей 10 диска вдоль  
 10 оси симметрии последнего. Лазерный луч подают на стыкуемые кромки 3 по  
 оптическому каналу 8 со стороны внутренней замкнутой полости 5 свариваемого диска.  
 Дополнительный поток защитного газа создают в виде первого потока, направленного  
 при помощи средства 11 подачи газа с наружной стороны оптического канала 8, и  
 второго потока, направленного при помощи соответствующего средства 12 подачи  
 15 газа вдоль отражающей поверхности поворотного зеркала 7. При этом первый и второй  
 потоки защитного газа сообщены между собой, а расход газа во втором потоке  
 составляет от 10 до 50 л/мин. Перемещают лазерный луч по заданной траектории вдоль  
 линии стыка кромок 3, а на поверхность, обратную отражающей поверхности зеркала  
 7 при помощи патрубка 13 подводят поток охлаждающей жидкости (например, воды),  
 20 которую отводят через патрубок 14. При этом расход охлаждающей жидкости  
 определяют с учетом толщины и коэффициента теплопроводности материала зеркала  
 7 при 20°C.

Экспериментальные исследования, физическое моделирование и оптимизация режимов  
 лазерной сварки с поворотным зеркалом, тыльная сторона которого искусственно  
 25 охлаждается, а отражающая поверхность принудительно обдувается газовым потоком,  
 позволили установить, что произведение толщины «h» поворотного зеркала и  
 коэффициента « $\chi$ » температуропроводности материала зеркала близко величине «q»  
 расхода охлаждающей жидкости, т.е.

$$h\chi \approx q.$$

30 Фактически это равенство представляет собой свернутое условие температурного  
 баланса на поверхности зеркала, поскольку « $\chi$ » - это отношение теплопроводности к  
 плотности и теплоемкости. Таким образом, для достижения стабильного искусственного  
 охлаждения отражающей поверхности поворотного зеркала регулируют расход «q»  
 охлаждающей жидкости в соответствии с соотношением:

$$35 \quad q\rho C \geq h\lambda,$$

где:

q - расход охлаждающей жидкости, м<sup>3</sup>/с;

ρ - плотность охлаждающей жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

40 C - теплоемкость охлаждающей жидкости, Дж/(кг \* К);

h - толщина зеркала, м;

λ - коэффициент теплопроводности материала зеркала при 20°C.

В процессе сварки мелкие капли металла из разогретой парогазовой фазы,  
 создаваемой ванной расплава, воздействуют на поверхность поворотного зеркала.  
 45 Защитный газовый поток, создаваемый вдоль отражающей поверхности зеркала,  
 вызывает эффект газовой эжекции, т.е. обеспечивает высокоскоростному потоку  
 инертного газа увлечение за собой низкоскоростного потока парогазовой фазы, что  
 позволяет предохранить поверхность зеркала от загрязнений.

В таблице приведены результаты экспериментальных исследований по определению влияния расхода инертного газа на состояние поверхности зеркала и качество сварного шва.

Таблица

Толщина зеркала, мм	Расход газа, л/мин	Качество шва, %	Внешний вид поверхности зеркала
10,0 - 15,0	6 - 8	85 - 90	Локальная деградация
	8 - 10	98 - 100	Незначительное потемнение при толщине зеркала 10,0 мм
	12 - 25	100	Без дефектов
	30 - 35	100	Без дефектов
	40 - 48	100	Без дефектов
	Свыше 55	100	Без дефектов

Анализ результатов исследований показал, что дополнительная газовая защита зеркала потоком инертного газа с расходом менее 10 л/мин не обеспечивает возникновения эффекта газовой эжекции (наблюдается наличие локальной деградации), а создание дополнительной газовой защиты в виде потока инертного газа с расходом более 50 л/мин нецелесообразно вследствие большого расхода инертного газа. Одновременное охлаждение тыльной стороны поворотного зеркала обеспечивает стабильность теплового состояния отражающей поверхности за счет отсутствия ее деградации в процессе сварки, что позволяет осуществлять высокоскоростную и узкошовную сварку лазерным лучом.

Таким образом, создание вдоль отражающей поверхности зеркала дополнительной газовой защиты в виде потока инертного газа с расходом 10-50 л/мин., а на обратной поверхности отражающего зеркала потока охлаждающей жидкости с расходом, определяемым с учетом толщины и коэффициента теплопроводности материала зеркала при 20°C, создает на поверхности поворотного зеркала эффект газовой эжекции при обеспечении стабильности теплового состояния его отражающей поверхности, обеспечивает повышение качества сварного шва и позволяет решить проблему расширения технологических возможностей способа путем обеспечения лазерной сварки со стороны полости изделия при условии бездефектного формирования сварного соединения.

#### (57) Формула изобретения

Способ лазерной сварки полых изделий, включающий подачу лазерного луча на стыкуемые кромки при помощи фокусирующего устройства с заданным фокусным расстоянием, одновременную подачу в зону сварки потока защитного газа, создание в зоне фокусирующего устройства дополнительного потока защитного газа, перемещение луча по заданной траектории вдоль линии стыка, отличающийся тем, что в качестве фокусирующего устройства используют поворотное зеркало, установленное в оптическом канале лазера, причем оптический канал размещают в полости изделия

вдоль оси его симметрии, лазерный луч подают на стыкуемые кромки со стороны внутренней замкнутой полости свариваемого изделия, дополнительный поток защитного газа создают в виде первого потока, направленного с наружной стороны оптического канала, и второго потока, направленного вдоль отражающей поверхности поворотного зеркала и сообщенного с первым потоком, причем расход газа во втором потоке составляет 10-50 л/мин, а на обратной поверхности поворотного зеркала создают поток охлаждающей жидкости, расход которой определяют с учетом толщины и коэффициента теплопроводности материала зеркала.

10

15

20

25

30

35

40

45

