



РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** (11) **2 009 454** (13) **C1**  
(51) МПК<sup>Е</sup> **G 01 J 5/28**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **4891596/25**, 17.12.1990

(46) Опубликовано: **15.03.1994**

(71) Заявитель(и):

**Белорусская государственная политехническая академия**

(72) Автор(ы):

**Сенченко Г.М.,  
Федосенко И.Н.**

(73) Патентообладатель(ли):

**Белорусская государственная политехническая академия**

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ УДАРНО-СЖАТОГО ГАЗА ПРИ СВАРКЕ  
ВЗРЫВОМ

(57) Реферат:

Использование: при исследованиях и разработке технологий изготовления слоистых материалов сваркой взрывом. Сущность изобретения: при измерении фототока фотодиода от действия излучения ударно-сжатого газа через диафрагму с цилиндрическим отверстием диаметром  $d$  диафрагму и фотодиод ФД-К-155

располагают в светоизолированной втулке, причем диафрагму - с торца втулки, а фотодиод - на расстоянии  $r$  от внешнего края диафрагмы из соотношения  $r = 125d$ , втулку устанавливают в неподвижную свариваемую заготовку таким образом, чтобы диафрагма находилась на уровне свариваемой поверхности. 1 ил.

RU 2 0 0 9 4 5 4 C 1

RU 2 0 0 9 4 5 4 C 1



RUSSIAN AGENCY  
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 009 454** <sup>(13)</sup> **C1**  
(51) Int. Cl.<sup>5</sup> **G 01 J 5/28**

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **4891596/25, 17.12.1990**

(46) Date of publication: **15.03.1994**

(71) Applicant(s):  
**BEORUSSKAJA GOSUDARSTVENNAJA  
POLITEKHNIČESKAJA AKADEMIJA**

(72) Inventor(s):  
**SENČENKO G.M.,  
FEDOSENKO I.N.**

(73) Proprietor(s):  
**BEORUSSKAJA GOSUDARSTVENNAJA  
POLITEKHNIČESKAJA AKADEMIJA**

(54) **METHOD FOR MEASURING TEMPERATURE OF SHOCK-COMPRESSED GAS IN EXPLOSION WELDING**

(57) Abstract:

FIELD: measurement technology. SUBSTANCE: for taking measurements of photocurrent through a photodiode, which occurs under irradiation of shock-compressed gas via a diaphragm with a circular hole of diameter  $d$ , the diaphragm and the photodiode FD-K-155 are mounted in a light-

tight sleeve, the diaphragm being placed at the end face of the sleeve and the photodiode being offset from the outer edge of the diaphragm by the distance  $r$ , where  $r = 125d$ ; the sleeve is mounted in a stationary welded blank so that the diaphragm is at the level of the welded surface. EFFECT: more accurate measurement results. 1 dwg

RU 2 0 0 9 4 5 4 C 1

RU 2 0 0 9 4 5 4 C 1

Изобретение относится к методам определения температуры высокотемпературных газовых потоков и может быть использовано при исследовании процессов, происходящих при сварке взрывом.

Известен способ определения температуры [1], находящегося между свариваемыми пластинами ударно-сжатого газа с помощью фоторегистратора СФР-ГМ по относительному почернению фотопленки.

Недостатком данного способа является расположение регистрирующего прибора в направлении распространения ударной волны, что вносит погрешности в определение температуры ударно-сжатого газа, обусловленные, с одной стороны, увеличением его оптической толщины, когда длина свободного пробега фотона становится сравнимой с размерами газового сгустка, а с другой - собственным коротковолновым излучением газа во фронте ударной волны, которое нагревает газ перед фронтом настолько, что последний начинает поглощать длинноволновое, в частности, видимое излучение с фронтом, экранирует его. Кроме того, вырез щелью СФР свечения середины зазора позволяет измерить только температуру основного газового потока, а не температуру заторможенного газа на границе с поверхностью пластины, которая является определяющей при теплообмене между потоком газа и поверхностью свариваемых пластин.

В качестве прототипа выбран способ измерения температуры ударно-сжатого газа [2], при котором излучение светоизмерительной лампы и ударно-сжатого газа проецируют с помощью объектива через отверстие в экране на фотоэлектронный прибор, яркостную температуру лампы определяют с помощью прецизионного оптического пирометра, различие яркостей ударной волны и лампы компенсируют установкой диафрагмы, световой сигнал от лампы моделируют вращающимся диском с различными отверстиями, с помощью электронной аппаратуры фиксируют совпадение амплитуд сигналов от ударной волны и лампы, а яркостную температуру определяют затем по результатам измерений диаметра отверстия диафрагм на компараторе.

Недостатком данного способа является его сложность, что не дает возможности его применения при исследовании процессов сварки взрывом, а также низкая точность измерения температуры, связанная с дискретностью значений диаметра отверстий во вращающемся диске.

Целью изобретения является повышение точности и упрощение технологии измерения температуры ударно-сжатого газа при сварке взрывом.

Поставленная цель достигается тем, что в известном способе в качестве фотоэлектронного прибора используют фотодиод ФД-К-155, располагают его и диафрагму с цилиндрическим отверстием диаметра  $d$  в светоизолированной втулке, причем диафрагму - с торца втулки, а фотодиод на расстоянии  $g$  от внешнего края диафрагмы из соотношения  $g = 125d$ , втулку устанавливают в неподвижную свариваемую заготовку таким образом, чтобы диафрагма находилась на уровне свариваемой поверхности, а температуру определяют по формуле

$$T = K_1 \left[ \ln \left( \frac{K_2}{i} + 1 \right) \right]^{-1}$$

где  $K_1 = 17546,341$  К;

$K_2 = 0,0450976$  А;

$i$  - фототок фотодиода

При сварке взрывом впереди точки контакта образуется область ударно-сжатого газа, под действием излучения которого в цепи фотодиода возникает фототок:

$$i = S_E \cdot E \quad (1)$$

где  $i$  - фототок фотодиода;

$S_E$  - чувствительность фотодиода по освещенности;

$E$  - освещенность фотодиода.

Освещенность  $E$  зависит от яркости источника света  $L$  и телесного угла, заполняемого пучком света:

$$E = L \omega \quad (2)$$

Согласно закону Планка спектральная плотность энергетической яркости абсолютно черного тела связана с температурой источника излучения следующим соотношением:

$$L_{\varepsilon}(\lambda, T) = \frac{c_1}{\pi} \cdot \frac{\lambda^{-5}}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1} \quad (3) \text{ где } \lambda - \text{длина волны излучения;}$$

$$C_1 = 3,74 \cdot 10^{-16} \text{ Вт м}^2$$

Для конкретной пары источник излучения - фотодиод выражение (3) примет вид:

$$L = \frac{c_i}{\pi} \int \frac{\varphi(\lambda) \cdot v(\lambda, T) \cdot \lambda^{-5}}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1} d\lambda \quad (4)$$

где  $\varphi(\lambda)$  - спектральная чувствительность фотодиода;

$v(\lambda, T)$  - коэффициент излучения источника света.

Доказано, что ударно-сжатый газ в направлении, перпендикулярном распространению фронта ударной волны, излучает как абсолютно черное тело и в этом случае  $v(\lambda, T) = 1$ . Экспериментально определено, что для фотодиода ФД-К-155 выражение (4) можно представить в виде

$$L = \frac{c_1}{\pi} \frac{0,1746002 \cdot 10^{24}}{e^{\frac{17546,341}{T}} - 1} \quad (5)$$

Также экспериментально установлено, что чувствительность фотодиода ФД-К-155 равна:

$$S_E = \frac{\pi}{c_1} \cdot 1,05038 \cdot 10^{-21} \quad (6)$$

На основании формул (1), (2), (5), (6) для температуры  $T$  ударно-сжатого газа получим:

$$T = 17546,341 \left[ \ln \left( \frac{183,3984 \cdot \omega}{i} + 1 \right) \right]^{-1} \quad (7)$$

Телесный угол  $\omega$  для предлагаемого способа измерения температуры ударно-сжатого газа определяется выражением:

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4r^2}$$

где  $d$  - диаметр отверстия диафрагмы;

$r$  - расстояние от внешнего края диафрагмы до фотодиода.

Чем больше величина  $\omega$ , тем больше фототок и тем меньше сказывается влияние электрических наводок от действия детонации взрывчатого вещества. Однако при исследовании процессов сварки взрывом при высоких скоростях детонации ВВ, а соответственно, и высоких температурах ударно-сжатого газа (до 70000 К) зависимость фототока фотодиода от освещенности может иметь нелинейный характер. Установлено, что при условии допустимой погрешности измерений не более 5% отношение  $r/d$  не должно превышать 125. Учитывая то, что при низких скоростях детонации ВВ с уменьшением величины  $r/d$  увеличивается погрешность от электрических наводок, для обеспечения возможности измерений температуры ударно-сжатого газа во всем диапазоне скоростей детонации ВВ, применяемых при сварке взрывом (2000-4500 м/с), оптимальная величина  $r/d = 125$ . Тогда выражение (7) примет вид:

$$T = 17546,341 \left[ \ln \left( \frac{0,0450976}{i} + 1 \right) \right]^{-1} \quad (8)$$

Измерение температуры ударно-сжатого газа при сварке взрывом известно из способа [1]. Однако, в отличие от него предлагаемое решение более простое в осуществлении и повышает точность определения температуры ударно-сжатого газа за счет размещения узла фотодиода перпендикулярно распространению ударной волны. В этом случае устраняется влияние увеличения оптической толщины области ударно-сжатого газа и экранирования излучения с его фронта на точность определения температуры. Кроме того,

предлагаемое решение позволяет определять линейные размеры области ударно-сжатого газа и время действия его на свариваемые заготовки.

Измерение температуры ударно-сжатого газа с помощью фотоэлектронных приборов известно из способа [2]. В отличие от него предлагаемое решение проще в  
 5 осуществлении (отсутствует объектив, экран, вращающийся диск с отверстиями), менее  
 трудоемко (температура ударно-сжатого газа определяется по формуле (8)  
 непосредственно по показаниям регистрирующего прибора) и более точно (устраняется  
 погрешность, вносимая измерением диаметра отверстия диафрагм на компараторе, а  
 также определением яркостной температуры светоизмерительной лампы с помощью  
 10 пирометра). Кроме того, расположение диафрагмы на уровне свариваемой поверхности  
 позволяет измерять температуру не только основного газового потока, но и температуру  
 адиабатически заторможенного газа в приграничном слое, которая и определяет  
 теплообмен между газом и свариваемыми заготовками.

На чертеже 1 показана схема определения температуры ударно-сжатого газа при сварке  
 15 взрывом. В неподвижной свариваемой заготовке 1 на уровне свариваемой поверхности  
 устанавливают втулку 2 с расположенными в ней на расстоянии  $r$  диафрагмы 3 и  
 фотодиода 4. При метании зарядом взрывчатого вещества 5 заготовки 6 впереди точки  
 контакта образуется область ударно-сжатого газа. Под действием излучения газа в цепи  
 фотодиода возникает фототок  $i$ , величину которого измеряют с помощью регистрирующей  
 20 аппаратуры (осциллографа). Подставив полученное значение в формулу (8), определяют  
 температуру ударно-сжатого газа.

Пример. Осуществляли измерение температуры ударно-сжатого воздуха при сварке  
 взрывом алюминиевой и стальной пластин. Размеры пластин: стальной - 10x150x400 мм;  
 алюминиевой - 2x150x400 мм. В неподвижной стальной пластине устанавливали втулку с  
 25 расположенными в ней диафрагмой с отверстием диаметром 1,0 мм и расположенным от  
 нее на расстоянии 125 мм фотодиодом ФД-К-155. Осуществляли сварку взрывом пластин  
 зарядом взрывчатого вещества со скоростью детонации 2500 м/с и измеряли фототок  
 фотодиода осциллографом С-17. С помощью формулы (8) по значению фототока ( $i = 303$   
 мкА) определяли температуру ударно-сжатого воздуха. Полученное значение ( $T = 3502$  К)  
 30 составляет погрешность 3% от теоретического ( $T = 3400$  К) [7].

(56) 1. Ишуткин С. Н. и др. Исследование теплового воздействия ударно-сжатого газа  
 на поверхность соударяющихся пластин. Физика горения и взрыва, 1980, N 6, с. 69-73.

2. Цикулин М. А., Попов Е. Г. Излучательные свойства ударных волн в газах. М.:  
 Наука, 1977, с. 50-61.

35

#### Формула изобретения

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ УДАРНО-СЖАТОГО ГАЗА ПРИ СВАРКЕ  
 ВЗРЫВОМ, при котором измеряют фототок фотодиода от действия излучения ударно-  
 сжатого газа через диафрагму с цилиндрическим отверстием диаметром  $d$ , отличающийся  
 40 тем, что, с целью повышения точности и упрощения технологии определения температуры,  
 диафрагму и фотодиод ФДК-155 располагают в светоизолированной втулке, причем  
 диафрагму - в торце втулки, а фотодиод на расстоянии  $r$  от внешнего края диафрагмы,  
 составляющем  $125d$ , втулку устанавливают в неподвижную свариваемую заготовку так,  
 чтобы диафрагма находилась на уровне свариваемой поверхности, а температуру  $T$   
 45 определяют по формуле

$$T = K_1 \left[ \ln \left( \frac{K_2 + 1}{i} \right) \right]^{-1/}$$

где  $K_1 = 17546,341$  К;

$K_2 = 0,0450976$  А;

50  $i$  - фототок фотодиода, А.

