(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
11. März 2010 (11.03.2010)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/025709 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B23K 9/095 (2006.01) *B23K 9/10* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2009/001216

(22) Internationales Anmeldedatum:
3. September 2009 (03.09.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 045 501.6
3. September 2008 (03.09.2008) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **TECHNISCHE UNIVERSITAET BERLIN** [DE/DE]; Strasse des 17. Juni 135, 10623 Berlin (DE). **GESELLSCHAFT ZUR FOERDERUNG ANGEWANDTER INFORMATIK E.V.** [DE/DE]; Rudower Chaussee 30, 12489 Berlin (DE). **LEIBNITZ-INSTITUT FUER PLASMAFORSCHUNG UND TECHNOLOGIE E.V.** [DE/DE]; Felix-Hausdorff-Strasse 2, 17489 Greifswald (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **HOFMANN, Frank** [DE/DE]; Weitlingstrasse 19, 10317 Berlin (DE). **HEINZ, Gerd** [DE/DE]; Kranichstr. 9A, 12526 Berlin (DE). **SCHOEPP, Heinz** [DE/DE]; Münsterbergerweg 35, 12621 Berlin (DE). **GOETT, Gregor** [DE/DE]; Neumorgenstrasse 3, 17489 Greifswald (DE).

(74) Anwälte: **BITTNER, Thomas, L.** et al.; Boehmert & Boehmert, Hollerallee 32, 28209 Bremen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

(54) Title: METHOD FOR REGULATING ENERGY INPUT OF A PULSED ARC PLASMA DURING A JOINING PROCESS AND APPARATUS

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM REGELN EINES ENERGIEEINTRAGS EINES PULSLICHTBOGENPLASMAS BEI EINEM FÜGEPROZESS UND VORRICHTUNG

(57) Abstract: The invention relates to a method for regulating an energy input of a pulsed arc plasma during a joining process, particularly during a welding or soldering process, wherein the method comprises the following steps: Detecting first measurement signals for a first temporal course of emitted light from an arc plasma of the joining process in a first spectral region using a first photodiode, which has a sensitivity maximum at a first wavelength, detecting second measurement signals for a second temporal course of the emitted light from the arc plasma of the joining process in a second spectral region, which is at least partially different from the first spectral region, using a second photodiode, which has a sensitivity maximum at a second wavelength different from the first wavelength, generating control signals in that in an evaluation device the first measurement signals and the second measurement signals are compared, and regulating an energy source, which is configured to provide pulsed energy for the arc plasma in accordance with the control signals. The invention further relates to an apparatus for regulating an energy input.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln eines Energieeintrags eines Pulslichtbogenplasmas bei einem Fügeprozess, insbesondere bei einem Schweiß- oder Lötprozess, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: Erfassen von ersten Messsignalen für einen ersten zeitlichen Verlauf von Emissionslicht aus einem Lichtbogenplasma des Fügeprozesses in einem ersten spektralen Bereich mit einer ersten Photodiode, welche ein Sensitivitätsmaximum bei einer ersten Wellenlänge aufweist, Erfassen von zweiten Messsignalen für einen zweiten zeitlichen Verlauf des Emissionslicht aus dem Lichtbogenplasma des Fügeprozesses in einem zweiten spektralen Bereich, welcher wenigstens teilweise von dem ersten spektralen Bereich verschieden ist, mit einer zweiten Photodiode, welche ein Sensitivitätsmaximum bei einer zweiten Wellenlänge aufweist, die von der ersten Wellenlänge verschieden ist, Erzeugen von Steuersignalen, indem in einer Auswerteeinrichtung die ersten Messsignale und die zweiten Messsignale verglichen werden, und Regeln einer Energiequelle, die konfiguriert ist, gepulst Energie für das Lichtbogenplasma bereitzustellen, gemäß den Steuersignalen sowie Vorrichtung zum Regeln eines Energieeintrages.

WO 2010/025709 A1

Verfahren zum Regeln eines Energieeintrags eines Pulslichtbogenplasmas bei einem Fügeprozess und Vorrichtung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln eines Energieeintrags eines Pulslichtbogenplasmas bei einem Fügeprozess sowie Eine Vorrichtung.

Hintergrund der Erfindung

Versuche, den Energieeintrag bei Pulsschweißprozessen mittels Messung und Regelung allein von Schweißstrom und Schweißspannung zu beeinflussen, sind Stand der Technik und funktionieren hinab bis zu Blechdicken von 0,7 Millimeter ausreichend gut.

Je dünner die zu fügenden Bleche werden, um so instabiler laufen aber bisherige Schweißprozesse. Oxidstellen, Materialverspannungen oder Abstandsfehler führen zu häufigerem Durchbrennen des Bleches. Einerseits muss der Energieeintrag hoch genug sein, um eine innige Materialverbindung zu erzeugen, andererseits darf er nicht so hoch werden, dass die Schweißnaht oder das Schweißgut nicht durchfällt.

Verschiedene Untersuchungen erfolgten, um den Energieeintrag mittels Einbeziehung weiterer Einflussgrößen zu stabilisieren. Hierbei hat sich gezeigt, dass spektrale Informationen nützliche Hinweise zum Prozessgeschehen geben können. In der Literatur findet man vorwiegend Untersuchungen zu Spektrallinien beteiligter Materialien, um zu Prozessaussagen zu kommen.

In Han GuoMing et al.: Acquisition and pattern recognition of spectrum information of welding metal transfer. Materials & Design, Vol. 24, Issue 8, December 2003, pp. 699-703 wird eine Technik angegeben, das Lichtbogenspektrum mittels Mustererkennungsmethoden zu untersuchen. Korrekte Schweißungen dienen als Trainingsmuster. Ein Minimum-Distanz Klassifikator wurde entwickelt, um verschiedene Merkmale zu extrahieren.

BESTÄTIGUNGSKOPIE

In Li et al.: Precision Sensing of Arc Length in GTAW Based on Arc Light Spectrum. Journal of Manufacturing Science and Engineering, February 2001, Vol. 123, Issue 1, pp. 62-65 wird versucht, mit spektralen Methoden die Lichtbogenlänge im Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) Prozess zu bestimmen. Auf einer Wellenlänge von 696.5 nm; +/-15 nm ist es möglich, die Lichtbogenlänge auf +/- 0,2 mm zu bestimmen.

In Li et al.: Spectral Information of Arc and Welding Automation, Welding in the World, Vol. 34, (1994) 317-324 sowie in Li Junyue et al.: Basic theory and method of welding arc spectral information, Chinese Journal of Mechanical Engineering 2004/02 wird ein Satz aus zwölf Gleichungen zur Modellierung spektraler Eigenschaften des Lichtbogens angegeben. Davon ausgehend ist es möglich, verschiedene Rückschlüsse auf den Zustand des Lichtbogens und der Zustandsänderungen zu geben.

In Valensi et al.: Experimental study of a MIG-MAG welding arc. 13th International Congress on Plasma Physics, ICPP 2006, Kiev, May 22-26, 2006 wird ein Überblick gegeben, in welcher Weise moderne Methoden der Plasmaphysik anwendbar sind. So werden mit einem Linienspektrometer Aussagen zum Tropfenübergang und zum Einfluss des Schutzgases untersucht, man kommt z.B. zur Feststellung: „Die Plasmatemperatur scheint 20.000 Kelvin nicht zu überschreiten".

In Li et al.: Analysis of an Arc Light Mechanism and Its Application in Sensing of the GTAW Process. Welding Research Supplement, Sept. 2000, 252-260 wird der Gas-Tungsten Arc-Welding Prozess (GTAW) mit spektralen Methoden untersucht. Durch Ausfiltern der Argon Ionenlinien und von Metall-Atomlinien kann eine Beziehung für die Lichtbogenlänge auf +/- 0,2 mm abgeleitet werden.

In Ancona et al.: Optical Sensor for real-time Monitoring of CO2 Laser Welding Process. Applied Optics, Vol. 40, Issue 33, pp. 6019-6025 werden linienspektrometrisch die Emissionslinien von drei Elementen bestimmt, um daraus Aussagen für die Plasmatemperatur zu gewinnen. Eine Korrelation zwischen Hauptwert und Standardabweichung der Plasma-Elektronen-Temperatur und der Qualität der Schweißverbindung wird hergestellt. Das Messsystem arbeitet allerdings nicht in Realzeit.

In der Arbeit Vilarinho et al.: Proposal for a Modified Fowler-Milne Method to Determine the Temperature Profile in TIG Welding. J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng. January-March 2004, Vol. XXVI, No.1/35 werden Berechnungsgrundlagen vorgestellt, um aus dem Spektrum sowie aus optischen Informationen zu Parametern, wie Lichtbogenlänge oder Temperatur zu kommen. Für 40 Ampere (~1...2 kW) werden Temperaturen bis 10.000 Kelvin berechnet. Allerdings ist die Methode nicht tauglich für Regelung in Echtzeit.

Eine linienspektrometrische Variante wird in dem Dokument DE 10 2004 015 553 A1 beschrieben. Idee ist es, mittels spektraler Zerlegung des Plasma- Lichtes den Energieeintrag eines Schweißprozesses zu kontrollieren. Ein Linienspektrometer soll Regelinformationen bereitstellen, die das Schweißgerät steuern. Ein ähnlicher Vorschlag wird in einer Arbeit von Mirapeix et al.: „Embedded spectroscopic fiber sensor for on-line arc-welding analysis" Applied Optics, Vol. 46, Issue 16, June 2007, pp. 3215-3220 gemacht. Es wird eine Glasfaserleitung in den Schutzgasschlauch eingebettet, und es wird eine sehr effiziente Möglichkeit erhalten, das Licht des Bogens ohne Eingriffe in den Brennerkopf zu einem Spektrometer zu übertragen.

Von denselben Autoren wird im Aufsatz Mirapeixet al.: "Fast algorithm for spectral processing with application to on-line welding quality assurance" *Measurement Science and Technology*, 17, (10), 2623-2629, 2006 ein Algorithmus beschrieben, mit dessen Hilfe es möglich wird, basierend auf Einzellinien Schweißprozesse zu analysieren. Dabei wird eine Verarbeitungszeit für die Analyse mehrerer Linien (*multiple peak analysis*) von zwanzig Millisekunden auf einem konventionellen PC erreicht.
Zu spektralen Methoden siehe auch einen Überblick über neuzeitliche Forschungen im Internet unter http://www.ilib.cn/A-jxgcxb-e200402036.html.

Ein Problem der bekannten Verfahren sind die extrem hohen Temperaturänderungen. Wird eine Momentanleistung von rund zehn Kilowatt in ein Kubikmillimeter großes Plasma eingeführt, so ergeben sich Temperaturänderungen von einigen Millionen Kelvin pro Sekunde. Soll ein Regler den Schweißimpuls in Echtzeit abschalten, stehen dafür nur wenige Mikrosekunden zur Verfügung. Als Software-Implementierung sind nur Regler mit Verzögerungen im Bereich von Millisekunden bekannt. Da die Schweißstromquelle nicht beliebig schnell ge-

macht werden kann, ist es nötig, die Verzögerung des Spektralreglers weitestgehend zu minimieren.

Um zu kürzesten Regelzeiten kommen zu können, hat man die in einem Zeit- und Spektralintervall zur Verfügung stehende Zahl von Photonen effizient zu nutzen. Rauschen und spektrale Bandbreite hängen dadurch eng miteinander zusammen: je geringer Bandbreite und Sensorfläche, desto höher das Rauschen. Oder im Umkehrschluss: Je höher Bandbreite und Größe der Photosensoren, desto geringer das Rauschen in einem begrenzenden Zeitintervall.

Ein weiteres Problem bekannter Verfahren der Thermographie, Bolometrie oder Pyrometrie besteht darin, dass man versucht, aus nur einem Spektralbereich Informationen zu ziehen. Im Prozess der Herstellung und Nutzung eines spektralen Reglers für Schweißmaschinen aber sind vielerlei Schwankungen zu beachten: So würde ein derartiger Regler bei Abstandschwankungen oder Verschmutzung andere Werte anzeigen. So empfiehlt sich im Ansatz vielmehr ein Differenzprinzip.

Nun ist bekannt, (siehe ISBN 3-8167-6766-4, www.irb.fraunhofer.de, Seite B41, oder http://www.choparc.de/ergebnis_inp.pdf (Seite 14 vom 16. September 2004) bzw. Dokument DE 10 2004 015 553 A1 (WO/2005/051586), dass bei gepulsten Lichtbögen ein gegenläufiges Verhalten einzelner Emissionsintensitäten von Schutzgas- und Metalllinien zu beobachten ist. Die Intensität einer Argon-Emission im Infrarot sinkt schnell ab, während die Emission einer Linie des Metalldampfes des Plasmas im Ultraviolett mit der Strompulszeit steigt.

Zusammenfassung der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Regeln eines Energieeintrags eines Puislichtbogenplasmas bei einem Fügeprozess sowie eine Vorrichtung zu schaffen, mit denen in Echtzeit eine möglichst zeiteffiziente Regelung des Energieeintrags ermöglicht ist. Es soll die Nutzung sowohl für einfachste Energiequellen für Schweiß- oder Lötgeräte als auch für marktübliche Geräte mit einem internen Timer ermöglicht sein. Darüber hinaus soll die Vorrichtung eine Bauart mit möglichst geringem Platzbedarf und in handlicher Form unterstützen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zum Regeln eines Energieeintrags eines Pulslichtbogenplasmas bei einem Fügeprozess nach dem unabhängigen Anspruch 1 sowie eine Vorrichtung nach dem unabhängigen Anspruch 13 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von abhängigen Unteransprüchen.

Die Erfindung umfasst den Gedanken eines Verfahrens zum Regeln eines Energieeintrags eines Pulslichtbogenplasmas bei einem Fügeprozess, insbesondere bei einem Schweiß- oder Lötprozess, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: Erfassen von ersten Messsignalen für einen ersten zeitlichen Verlauf von Emissionslicht aus einem Lichtbogenplasma des Fügeprozesses in einem ersten spektralen Bereich, Erfassen von zweiten Messsignalen für einen zweiten zeitlichen Verlauf des Emissionslicht aus dem Lichtbogenplasma des Fügeprozesses in einem zweiten spektralen Bereich, welcher wenigstens teilweise von dem ersten spektralen Bereich verschieden ist, Erzeugen von Steuersignalen, indem in einer Auswerteeinrichtung die ersten Messsignale und die zweiten Messsignale verglichen werden, und Regeln einer Energiequelle, die konfiguriert ist, gepulst Energie für das Lichtbogenplasma bereitzustellen, gemäß den Steuersignalen. Bei der Erfindung ist vorgesehen, dass die ersten Messsignale mit einer ersten Photodiode, welche ein Sensitivitätsmaximum bei einer ersten Wellenlänge aufweist, und die zweiten Messsignale mit einer zweiten Photodiode erfasst werden, welche ein Sensitivitätsmaximum bei einer zweiten Wellenlänge aufweist, die von der ersten Wellenlänge verschieden ist. Hierdurch werden getrennte Detektoreinrichtungen verwendet. Das Erfassen der Messsignale mit Hilfe von Photodioden hat den Vorteil, dass preiswerte und in verschiedenen Ausführungen zur Verfügung stehende Bauelemente verwendet werden, mit denen optische Signale mit einer spektralen Breite erfasst werden können. Darüber hinaus unterstützt die Verwendung der Photodioden eine Echtzeitregelung, da schnelle Antwortzeiten realisierbar sind.

Weiterhin umfasst die Erfindung den Gedanken einer Vorrichtung zum Regeln eines Energieeintrags eines Pulslichtbogenplasmas bei einem Fügeprozess, insbesondere bei einem Schweiß- oder Lötprozess, mit einer Messeinrichtung, die konfiguriert ist, erste Messsignale für einen ersten zeitlichen Verlauf von Emissionslicht aus einem Lichtbogenplasma des Fügeprozesses in einem ersten spektralen Bereich mit einer ersten Photodiode, welche ein Sensitivitätsmaximum bei einer ersten Wellenlänge aufweist, sowie zweite Messsignale für einen zweiten zeitlichen Verlauf des Emissionslicht aus dem Lichtbogenplasma des Fügeprozesses

in einem zweiten spektralen Bereich, welcher wenigstens teilweise von dem ersten spektralen Bereich verschieden ist, mit einer zweiten Photodiode, welche ein Sensitivitätsmaximum bei einer zweiten Wellenlänge aufweist, die von der ersten Wellenlänge verschieden ist, zu erfassen, und einer Auswerteeinrichtung, die konfiguriert ist, Steuersignale zu erzeugen, indem die ersten Messsignale und die zweiten Messsignale verglichen werden, und die Steuersignale zum Regeln einer Energiequelle für gepulste Energie für das Lichtbogenplasma bereitzustellen.

Mit Hilfe der Erfindung ist die Möglichkeit für eine Echtzeitregelung des Energieeintrags des Pulslichtbogenplasmas bei dem Fügeprozess ermöglicht, bei der der üblicherweise genutzte Stromimpuls in kürzester Zeit ab- oder angeschaltet werden kann. Bevorzugt erfolgt dieses im Zeitbereich von wenigen Mikrosekunden. Beim Erreichen einer bestimmten Temperatur oder einer bestimmten Metalldampfkonzentration im Pulslichtbogenplasma kann in kürzester Zeit reagiert werden.

Das Vergleichen der ersten und der zweiten Messsignale in der Auswerteeinrichtung zum Erzeugen der Steuersignale kann die Einbeziehung eines oder mehrerer Schwellwerte umfassen, bei deren Erreichen oder Nichterreichen bestimmte Steuersignale erzeugt werden. Derartige Schwellwerte können vom Benutzer voreingestellt und an die jeweilige Anwendung angepasst werden.

Beim Erfassen der ersten und der zweiten Messsignale können sich der erste und der zweite spektrale Bereich teilweise überlappen. Alternativ kann vorgesehen sein, dass zwischen dem ersten und dem zweiten spektralen Bereich keinerlei Überlappung vorhanden ist. Bei den spektralen Bereichen kann es sich zum Beispiel um Abschnitte im ultravioletten Bereich und im Infrarotbereich handeln.

Die Erfindung nutzt in einer Ausgestaltung die Erkenntnis, dass das Zeitverhalten nicht zwingend an definierte optische Liniengruppen gebunden ist. Eine statistische Analyse einer möglichen Ausführung zeigte, dass die Divergenz von Punktwolken um so höher ist, je weiter mittlere Maxima von Photodioden um einen Zentralpunkt bei etwa 600 nm auseinander liegen. So zeigt in einer Ausgestaltung ein Photodiodenpaar blau/rot eine geringere Divergenz der Punktwolken, als ein Paar Ultraviolett/Infrarot (UV/IR). Bei qualitativ gleichen Signal-

aussagen wird bei quantitativ ähnlichen Aussagen mit der UV/IR-Paarung eine höhere Differenzspannung gewinnbar.

Es können wahlweise optische Filter genutzt werden, um das Messlicht spektral zu filtern.

Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Regeln der Energiequelle ein Regeln der Temperatur des Lichtbogenplasmas umfasst. Hierbei wird aus den ersten und den zweiten Messsignale eine Temperatur des Lichtbogenplasmas ermittelt, die dann wahlweise mit einem vorgegebenen Temperaturschwellwert für den Fügeprozess verglichen werden kann, um ausgehend von dem Vergleich die Steuersignale zu erzeugen, die insoweit einer Temperaturregelung des Lichtbogenplasmas beim Fügeprozess dienen.

Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass für die ersten Messsignale ein ansteigender Signalverlauf und für die zweiten Messsignale ein abfallender Signalverlauf gemessen werden.

Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass zumindest die ersten Messsignale oder zumindest die zweiten Messsignale vor dem Erzeugen von Steuersignalen auf einen jeweiligen Vergleichsmesssignalpegel gewandelt werden. Bei der Wandlung der Messsignale auf einen jeweiligen Vergleichsmesssignalpegel kann eine Dämpfung und / oder eine Verstärkung des Signalpegels erfolgen. Mit Hilfe der Messsignalwandlung können die ersten und die zweiten Messsignale insbesondere auf einen ähnlichen oder gleichen Signalpegel gebracht werden.

Bevorzugt sieht eine Fortbildung der Erfindung vor, dass beim Vergleichen die ersten und der zweiten Messsignale eine Differenzbildung zwischen den ersten und den zweiten Messsignalen ausgeführt wird. Bei der Differenzbildung ermittelte Differenzwerte können mit einem oder mehreren Schwellwerten verglichen werden, so dass die Steuersignalerzeugung in Abhängigkeit von dem Vergleich zwischen Differenzwerten und Schwellwerten erfolgt.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Steuersignale ein Abschaltsignal für die Energiequelle umfassend erzeugt werden.

Eine Weiterbildung der Erfindung kann vorsehen, dass mittels eines Haltegliedes für das Abschaltsignal ein Impulsverlängerungssignal erzeugt wird, wenn die Energiequelle einen Impulsstart vorgibt.

Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Steuersignale ein Anschaltsignal für die Energiequelle umfassend erzeugt werden.

Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Steuersignale Gegenregelsignale für die Energiequelle umfassend erzeugt werden, mit denen ein Stromniveau der Energiequelle abschaltfrei gegen geregelt wird.

Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass die Steuersignale mittels eines Tiefpassfilters gefiltert werden. Bei dem Tiefpassfilter kann es sich zum Beispiel um einen einstellbaren, digitalen Filter handeln.

Bevorzugt sieht eine Fortbildung der Erfindung vor, dass in wenigstens einem weiteren spektralen Bereich, welcher sowohl von dem ersten als von zweiten spektralen Bereich wenigstens teilweise verschieden ist, weitere Messsignalen für einen weiteren zeitlichen Verlauf des Emissionslichts aus dem Lichtbogenplasma des Fügeprozesses erfasst und für das Erzeugen der Steuersignale herangezogen werden. Auf diese Weise kann ein weiterer spektraler Bereich ausgewertet werden. Zur Messwerterfassung wird bevorzugt eine weitere Photodiode verwendet.

Eine Weiterbildung der Erfindung kann vorsehen, dass zumindest die ersten Messsignale für einen mehrere Spektrallinien des Emissionslichtes umfassenden ersten spektralen Bereich oder zumindest die zweiten Messsignale für einen mehrere Spektrallinien des Emissionslichtes umfassenden zweiten spektralen Bereich erfasst werden.

In Verbindung mit bevorzugten Ausgestaltungen der Vorrichtung zum Regeln eines Energieeintrags eines Pulslichtbogenplasmas bei einem Fügeprozess gelten die vorangehend im Zusammenhang mit gleichen Ausführungsformen des Verfahrens zum Regeln des Energieeintrags gemachten Anmerkungen entsprechend.

Es kann vorgesehen sein, dass die erste und die zweite Photodiode an einem Brennerkopf angeordnet sind. Hierbei ist eine Anordnung auf der Außenseite oder der Innenseite des Brennerkopfes möglich. In einer anderen Ausgestaltung erfolgt das Einkoppeln von Lichtsignalen über ein Lichtleitkabel, zum Beispiel in Form eines Glasfserkabels, welches das Licht zu den optischen Detektoren führt, die dann auch getrennt vom Brennerkopf angeordnet sein können, zum Beispiel in einem Schweißgerät.

Die erste und die zweite Photodiode können mittels einer Steckverbindung auswechselbar auf einer Vorverstärkerplatte angeordnet werden.

In einer bevorzugten Ausgestaltung sind die erste und die zweite Photodiode sowie eine Vorverstärkereinrichtung und eine Messsignalaufbereitungseinrichtung in baulicher Einheit zu einem Spektralregler zusammengefasst.

In einer Ausführung sind die erste und die zweite Photodiode an einen Analog-Digital-Wandler gekoppelt, so dass die Messsignale in analoge Signale wandelbar sind.

Nachfolgend werden weitere Ausführungsformen näher erläutert.

Das Verfahren zum Regeln des Energieeintrages kann in einer Ausgestaltung mit zwei Photodioden ausgeführt werden, deren Sensitivitäts-Maxima auf verschiedenen Wellenlängen L1 und L2 liegen, wobei mit den zwei Photodioden zwei zueinander gegenläufige Zeitfunktion oder –verläufe für spektrale Messsignale F1* und F2* beobachtet werden. Hierbei liegt in einer Ausgestaltung ein erstes Maximum auf der Wellenlänge L1 in dem Spektralbereich, in welchem vorrangig zu schweißende Metalle emittieren. Ein zweites Maximum L2 liegt im Bereich eines genutzten Schutzgases (zum Beispiel Argon oder Helium) und / oder eines Aktivgases wie CO_2. Das Maximum L1 mit der Zeitfunktion F1* liegt vorzugsweise im Ultraviolett-Bereich (UV), das Maximum L2 mit der Zeitfunktion F2* liegt zum Beispiel im Bereich des Infrarot (IR).

Werden die gemessenen Messsignale F1*, F2* verstärkt um G1 und G2 als F1 = G1 F1*, F2 = G2 F2* aufgezeichnet, so ergibt sich ein Zeitverhalten, welches der Emission von Einzellinien etwa entspricht. Die Zeitfunktion F1 (im UV-Bereich) steigt mit Pulsbeginn langsam an

und erreicht ihr Maximum erst bei Pulsende, während die Zeitfunktion F2 (IR-Bereich) ihr Maximum sofort nach Pulsbeginn erhält, und dann langsam abfällt.

Um sicher zu stellen, dass Verschmutzungen oder Abschattungen das Schaltergebnis nicht beeinflussen, wird in einer Ausführungsform eine Differenzform gewählt. Dazu wird eine weitere Zeitfunktion F3 = F2 – F1 = G2 F2* – G1 F1* gebildet. Dieses Differenzsignal F3 steigt mit Pulsbeginn steil an, um hernach langsam bis zum Minimum abzufallen. Eine der Zeitfunktionen, sei es F1, kann dazu vorteilhaft mit einem Inverter INV negiert werden, um folgend mit einem Addierer SUM die Differenz F3 = F2 + (– F1) = F2 – F1 bilden zu können.

Sei die Zeitfunktion der Photodioden F1* und F2* und die eingestellte Verstärkung der Vorverstärker G1 und G2, so lässt sich eine Schaltbedingung über F2/F1 = (F2' G2) / (F1' G1) in zwei Varianten ableiten. In Quotientenform ist über G1 und G2 die Schaltbedingung abfragbar in der Form F2 / F1 == 1?. Mikroelektronisch einfacher zu realisieren ist eine Abfrage in Differenzform F2 – F1 == 0?. Auch hierfür gilt F2/F1 = 1 bei Erreichen einer idealen Schaltschwelle S=0. In Realität sollte S allerdings leicht negativ sein, um eine einfache Realisierung der Schaltfunktion zu erfüllen. Die Abschaltschwelle wird bei beiden Formen bevorzugt durch die Relation der eingestellten und zu kalibrierenden Verstärkungen G1 und G2 bestimmt. Die Varianten favorisieren bestimmte Applikationen. So ist die Quotientenform geeignet, um die Plasmatemperatur analytisch über eine Temperaturfunktion T(F2, F1) zu schätzen. Die Differenzform hingegen ist besonders für das hier beschriebene Verfahren als schneller Regler geeignet.

Um reproduzierbare Verhältnisse zu erhalten, ist es von Vorteil, das Differenzsignal F3 = F2 – F1 in einer Ausgestaltung im Pegel zu korrigieren, bevor ein Schaltsignal abgeleitet wird. Hintergrund ist die Möglichkeit, die Quotientenform in Zähler und Nenner mit einem gleichen Faktor k zu erweitern, ohne die Schaltschwelle zu verändern. Dazu wird die Amplitude des Differenzsignals F3 mit einer automatischen Verstärkungsregelung AGC auf einen definierten Spannungswert eingestellt. Es wird hierdurch gewährleistet, dass geringe Abstandsschwankungen oder Verschmutzungen keinen Einfluss auf einen hernach im Komparator benötigten, nicht vernachlässigbar kleinen Schwellwert S haben.

Der Punkt des Durchgangs von F3 kann durch einen gering unterhalb von Null liegenden Schwellwert S charakterisiert nun eine definierte Schaltschwelle, bei der die Temperatur oder Metalldampfkonzentration im Plasma einen kritischen Wert erreicht hat. Unterschreitet F3 den Wert von S, wird mit einem Komparator ein digitales Signal COMP erzeugt, welches auf logisch ‚high' geht. Wird S überschritten, so geht COMP auf ‚low'. Die Abschaltbedingung für COMP kann dabei in der Form F3 = F2 – F1 < S ? dargestellt werden.

Um sicherzustellen, dass Rauschen oder kurze Lichtblitze (*shot noise*) den Schweißpuls nicht versehentlich zu früh abschalten, kann in einer Ausführung ein digitaler Tiefpass SC als Pulsformungsglied zwischen die Signale COMP und STOP geschaltet werden. Der digitale Tiefpass verursacht zwangsläufig eine geringe Verzögerungszeit TD.

Eine Vorgabe der Lichtbogentemperatur wird mit den Verstärkungen G1 und G2 eingestellt und für spezifische Prozesse und Materialien über einen Prozessor µP zum Beispiel in der Schweißmaschine abgespeichert. Sie können bei Bedarf wieder aus dem Speicher geladen werden. Auf diese Weise können unterschiedliche Materialien mit unterschiedlichen Plasmatemperaturen geschweißt werden, dadurch, dass die entsprechenden Werte für G1 und G2 geladen werden.

Um eine einfache Schnittstelle zur Schweißmaschine zu erhalten, kann es vorteilhaft sein, ein zuschaltbares Halteglied W vorzusehen, welches den ‚high'- Abschaltpegel noch solange erhält, bis die Schweißmaschine von sich aus den Puls abgeschaltet hat. Dieses Halteglied ist insbesondere dann von Vorteil, wenn die Schweißmaschine in zwei Betriebsarten arbeiten soll:

In einer ersten Betriebsart (Pulsbetrieb) A wirkt das Halteglied W und verlängert das STOP-Signal um eine Zeit TW. Dabei startet die Schweißmaschine WM jeden Puls und der Spektralregler SR schaltet diesen wieder ab.

Eine zweite Betriebsart B, nämlich ein Dauerbetrieb oder intermittierender Pulsbetrieb, kann hingegen ohne Halteglied W ausgeführt werden. Hier wird der Schweißmaschine sowohl An- wie auch Abschaltsignal übergeben: Wenn das Plasma eine kritische Temperatur überschreitet (OFF), wird das Stopsignal STOP auf ‚high' gesetzt und die Schweißstromquelle wird abge-

In einer Ausgestaltung handelt es sich bei der Vorrichtung zur Regelung des Energieeintrags eines Pulslichtbogenplasmas um eine als Spektralregler bezeichnete Zusatzbaugruppe zur Schweißmaschine, die der Schweißmaschine zugeordnet ist, und die aus dem Plasmalicht ein Steuersignal STOP für die Schweißmaschine ableitet.

In einer Ausführung wird der Strom WELD einer Pulsschweißmaschine durch diesen Spektralregler abgeschaltet und je nach Betriebsart A oder B auch wieder eingeschaltet. Der Spektralregler nimmt das Plasmalicht mittels zweier spektralsensitiver Photodioden für unterschiedliche Wellenlängen L1 und L2 auf und verstärkt und verarbeitet es wie im Verfahren beschrieben zu einem Steuersignal STOP für die Schweißstromquelle.

Der Spektralregler besteht in einer Weiterbildung aus den beispielhaft in Zeichnungen erläuterten Baugruppen. Das sind: zwei Verstärker mit Verstärkungen G1 und G2 für die zwei Photodioden mit der Aufgabe der Spannungs-Stromwandlung und einstellbarer Signalverstärkung, einer Signalinversion INV, einer Summierschaltung SUM, einer automatischen Verstärkungseinstellung AGC, einem Komparator COMP, einem stellbaren, digitalen Tiefpass als Verzögerungsglied SC, einem schaltbaren Halteglied W, einer differentiellen oder optischen Schnittstellenschaltung RS sowie einer Schaltung zur Autosynchronisation AUTOSYNC, einer Schaltung zur Erzeugung interner Betriebsspannungen PWR einem Bedienteil BED, einer Spannungsversorgung PWR und einem Mikroprozessor µP zum Austausch der Einstell-Test und Kalibrierdaten mit der Schweißmaschine.

Wird der Spektralregler in SMD-Technik realisiert, so dass er im Brennerkopf Platz findet, so erhält er das Licht über eine lichtdurchlässige Öffnung im Brennerkopf oder dadurch, dass er auf der Unterseite des Brennerkopfes angeordnet direkt in den Lichtbogen schaut.

Wird der Spektralregler hingegen in der Schweißmaschine untergebracht, so kann vorteilhaft ein Lichtleitkabel zwischen Brennerkopf und Schweißmaschine vorgesehen werden, welches das Licht des Plasmas zu den Photodioden überträgt.

In Abhängigkeit von den gewählten Spektralbereichen der Photodioden kann es erforderlich sein, dass für jede Photodiode ein Lichtleitkabel passender spektraler Charakteristik verwendet wird.

Eine weitere Vorrichtung betrifft austauschbare Filter. Unter Umständen kann es von Vorteil sein, breitbandige Photodioden zu benutzen und entsprechende Filtergläser mit Longpass-, Shortpass- oder Bandpass- Charakteristik vorzusehen, die fallabhängig in den Spektralregler vor die Photodioden eingeschoben werden.

Eine weitere Vorrichtung betrifft austauschbare Photodioden. So können die Photodioden vorteilhaft auf einer steckbaren Leiterkarte angeordnet sein, um bei stark abweichenden Schweißprozessen oder -materialien schnell austauschbar zu sein.

Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiel der Erfindung

Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf Figuren einer Zeichnung näher erläutert. Hierbei zeigen:

Fig. 1 eine grafische Darstellung eines Emissionsspektrums mit Spektrallinien in Abhängigkeit von der Wellenlänge für ein typisches Pulslichtbogenplasma,

Fig. 2 eine grafische Darstellung von Zeitfunktionen f(t) in Abhängigkeit von der Zeit,

Fig. 3 ein Blockschaltbild eines Spektralreglers mit Photodioden,

Fig. 4 eine grafische Darstellung für Zeitfunktionen f(t) für zwei Betriebsarten und

Fig. 5 eine schematische Darstellung für eine Kombination eines Spektralreglers mit einer Pulsschweißmaschine.

Fig. 1 zeigt ein typisches Muster von Spektrallinien zu schweißender oder zu lötender Metalle ME sowie des Schutzgases Argon AR mit deren relativen Emissionen EM.

In bestimmten Bereichen sind sich in der Emission abhebende Gruppen von Linien eingekreist, die den Metallen oder dem Schutzgas (oder Aktivgas) zugeordnet werden können. Die relative Breite dieser Gruppen bietet die Chance, relativ breitbandig Photodioden zu nutzen. Es zeigt sich, dass eine Trennung im Bereich um die Wellenlänge LX (etwa 600 nm) nötig ist, um linksseitig einen typischen Zeitverlauf der Metallinien und rechtsseitig den der Argonlinien zu erhalten. Maxima der Sensitivität der zwei Photodioden mögen hier für Metalle auf der Wellenlänge L1 (hier 420 nm) und für Schutzgas (Argon) auf der Wellenlänge L2 (hier 780 nm) gewählt werden.

Fig. 2 erklärt die prinzipielle Funktion eines Spektralreglers anhand von Zeitfunktionen f(t).

Die den Metallen zuzuordnende Zeitfunktion F1 steigt während des Strompulses mit der Zeit t an, die dem Schutzgas oder Aktivgas zuzuordnende Zeitfunktion F2 fällt während des Strompulses ab. Die von den zwei Photodioden gelieferten und verstärkten Zeitfunktionen F1 und F2 werden subtrahiert. Wenn F1 größer wird als F2, so wird die Differenz-Zeitfunktion F3 = F2 – F1 negativ. Durchläuft F3 die leicht im negativen liegende Schaltschwelle S, so wird daraus das Komparatorsignal COMP gebildet. Solange F3 unter der Schwelle S liegt, bleibt das Signal COMP = high. Dabei ist F1 größer F2 und das Plasma ist in dieser Zeit zu energiereich. Das Verhältnis G2/G1 der mit den Vorverstärkern eingestellten Verstärkungen bestimmt die Ab- oder Anschalttemperatur. Ein binäres Tiefpassfilter sorgt für eine Spikeunterdrückung und verursacht eine i.a. vernachlässigbare Zusatzverzögerung TD, nach der das Signal STOP ausgelöst wird (OFF). Sinkt die Temperatur, so steigt die Differenz-Zeitfunktion F3 = F2 – F1 wieder an, die Signale COMP und STOP gehen auf ‚low' zurück (ON).

Fig. 3 zeigt ein Blockschaltbild des Spektralreglers SR mit Photodioden der Wellenlängen-Sensitivitätsmaxima L1 und L2, einstellbaren Verstärkungen G1 und G2, zwei Zeitfunktionen F1 und F2, einem Inverter INV, der die Zeitfunktion F1 negiert zu –F1, einem Addierer SUM, der die Differenz F3 = (F2 – F1) ausgibt, einer automatischen Verstärkungsregelung AGC, einer Schaltung zur Synchronimpulsgewinnung AUTOSYNC, einem Komparator COMP, der an der Schwelle S kompariert, einer Signalkonditioniereinheit SC (bestehend aus einem digitalem Tiefpass mit einstellbarer Verzögerung), einem schaltbaren Halteglied W mit Schalterstellungen A für Pulsbetrieb und B für quasikontinuierlichen Betrieb sowie einer digitalen Schnittstelle RS, über die das Signal STOP an die Schweißmaschine WM gegeben wird. Die Betriebsspannung VDD kommt von der Schweißmaschine WM und wird in einer Spannungsversorgungseinheit PWR aufbereitet. Ein Mikroprozessor µP kommuniziert mit der Schweißmaschine WM über ein Interface SER. Eine Bedienschnittstelle BED beinhaltet zum Beispiel Leuchtdioden oder Knöpfe für direkte Interaktion EW mit dem Spektralregler zu Einstell- oder Anzeigewerten.

Fig. 4 zeigt eine Darstellung von zwei Betriebsarten anhand von Zeitfunktionen f(t).

In einem Pulsbetrieb (A) startet der interne Timer der Schweißmaschine den Strompuls über das Signal PULS. Wenn die Zeitfunktion F1 über F2 steigt, schaltet der Spektralregler über das STOP- Signal den Schweißstrom WELD aus, gekennzeichnet mit ‚OFF'. Um ein Wiedereinschalten der Schweißmaschine zu verhindern, wird der STOP- Pegel vom schaltbaren Halteglied noch eine hinreichend lange Zeit TW festgehalten, bis der interne Timer der Schweißmaschine abgelaufen ist, und PULS sicher zurückgefallen ist. Im quasi-kontinuierlichen Betrieb (B) wird der Strom der Schweißmaschine über das STOP- Signal ein- (ON) sowie ausgeschaltet (OFF). Der interne Timer der Schweißmaschine ist hierbei abgeschaltet, das Signal PULS liegt dabei auf ‚high'-Potential. Der Spektralregler kontrolliert hierbei die Schweißmaschine. Zur besseren Synchronisation der Tropfenablösung kann mit Betriebsart B auch ein intermittierender Betrieb gefahren werden, bei dem der Timer der Schweißmaschine einen langen Puls vorgibt, der durch den Spektralregler in mehrere Teile zerhackt wird.

Fig. 5 zeigt das Prinzip der Kombination des Spektralreglers SR mit einer Pulsschweißmaschine WM.

Um die Schweißmaschine um einen Eingang für das Signal STOP zu erweitern, wird im einfachsten Fall die Verbindung vom internen Pulsgenerator PUGE zur Schweißstromquelle SSQ unterbrochen. Das Signal STOP wird negiert mit einem AND-Gatter AND eingeflochten: WELD = PULS & / STOP. Zur Erhaltung der Ionisation fließt hier der Grundstrom unberührt in Addition zum Pulsstrom.

Die in der vorstehenden Beschreibung, den Ansprüchen und der Zeichnung offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen von Bedeutung sein.

Ansprüche

1. Verfahren zum Regeln eines Energieeintrags eines Pulslichtbogenplasmas bei einem Fügeprozess, insbesondere bei einem Schweiß- oder Lötprozess, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:
   - Erfassen von ersten Messsignalen für einen ersten zeitlichen Verlauf von Emissionslicht aus einem Lichtbogenplasma des Fügeprozesses in einem ersten spektralen Bereich mit einer ersten Photodiode, welche ein Sensitivitätsmaximum bei einer ersten Wellenlänge aufweist,
   - Erfassen von zweiten Messsignalen für einen zweiten zeitlichen Verlauf des Emissionslicht aus dem Lichtbogenplasma des Fügeprozesses in einem zweiten spektralen Bereich, welcher wenigstens teilweise von dem ersten spektralen Bereich verschieden ist, mit einer zweiten Photodiode, welche ein Sensitivitätsmaximum bei einer zweiten Wellenlänge aufweist, die von der ersten Wellenlänge verschieden ist,
   - Erzeugen von Steuersignalen, indem in einer Auswerteeinrichtung die ersten Messsignale und die zweiten Messsignale verglichen werden, und
   - Regeln einer Energiequelle, die konfiguriert ist, gepulst Energie für das Lichtbogenplasma bereitzustellen, gemäß den Steuersignalen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Regeln der Energiequelle ein Regeln der Temperatur des Lichtbogenplasmas umfasst.

3. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für die ersten Messsignale ein ansteigender Signalverlauf und für die zweiten Messsignale ein abfallender Signalverlauf gemessen werden.

4. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die ersten Messsignale oder zumindest die zweiten Messsignale vor dem Erzeugen von Steuersignalen auf einen jeweiligen Vergleichsmesssignalpegel gewandelt werden.

5. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Vergleichen die ersten und der zweiten Messsignale eine Differenzbildung zwischen den ersten und den zweiten Messsignalen ausgeführt wird.

6. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuersignale ein Abschaltsignal für die Energiequelle umfassend erzeugt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass mittels eines Haltegliedes für das Abschaltsignal ein Impulsverlängerungssignal erzeugt wird, wenn die Energiequelle einen Impulsstart vorgibt.

8. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuersignale ein Anschaltsignal für die Energiequelle umfassend erzeugt werden.

9. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuersignale Gegenregelsignale für die Energiequelle umfassend erzeugt werden, mit denen ein Stromniveau der Energiequelle abschaltfrei gegen geregelt wird.

10. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuersignale mittels eines Tiefpassfilters gefiltert werden.

11. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in wenigstens einem weiteren spektralen Bereich, welcher sowohl von dem ersten als von zweiten spektralen Bereich wenigstens teilweise verschieden ist, weitere Messsignalen für einen weiteren zeitlichen Verlauf des Emissionslichts aus dem Lichtbogenplasma des Fügeprozesses erfasst und für das Erzeugen der Steuersignale herangezogen werden.

12. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die ersten Messsignale für einen mehrere Spektrallinien des Emissionslichtes umfassenden ersten spektralen Bereich oder zumindest die zweiten Messsignale für einen mehrere Spektrallinien des Emissionslichtes umfassenden zweiten spektralen Bereich erfasst werden.

13. Vorrichtung zum Regeln eines Energieeintrags eines Pulslichtbogenplasmas bei einem Fügeprozess, insbesondere bei einem Schweiß- oder Lötprozess, mit:
- einer Messeinrichtung, die konfiguriert ist, erste Messsignale für einen ersten zeitlichen Verlauf von Emissionslicht aus einem Lichtbogenplasma des Fügeprozesses in einem ersten spektralen Bereich mit einer ersten Photodiode, welche ein Sensitivitätsmaximum bei einer ersten Wellenlänge aufweist, sowie zweite Messsignale für einen zweiten zeitlichen Verlauf des Emissionslicht aus dem Lichtbogenplasma des Fügeprozesses in einem zweiten spektralen Bereich, welcher wenigstens teilweise von dem ersten spektralen Bereich verschieden ist, mit einer zweiten Photodiode, welche ein Sensitivitätsmaximum bei einer zweiten Wellenlänge aufweist, die von der ersten Wellenlänge verschieden ist, zu erfassen, und
- einer Auswerteeinrichtung, die konfiguriert ist, Steuersignale zu erzeugen, indem die ersten Messsignale und die zweiten Messsignale verglichen werden, und die Steuersignale zum Regeln einer Energiequelle für gepulste Energie für das Lichtbogenplasma bereitzustellen.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die zweite Photodiode an einem Brennerkopf angeordnet sind.

15. Vorrichtung nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die zweite Photodiode sowie eine Vorverstärkereinrichtung und eine Messsignalaufbereitungseinrichtung in baulicher Einheit zu einem Spektralregler zusammengefasst sind.

16. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die zweite Photodiode mittels einer Steckverbindung auswechselbar auf einer Vorverstärkerplatte angeordnet sind.

17. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die zweite Photodiode an einen Analog-Digital-Wandler gekoppelt sind.

18. Vorrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Messeinrichtung konfiguriert ist, weitere Messsignale für einen weiteren zeitlichen Verlauf von Emissionslicht aus dem Lichtbogenplasma des Fügeprozesses in einem weiteren spektralen Bereich zu erfassen, welcher wenigstens teilweise von dem ersten und dem zweiten spektralen Bereich verschieden ist.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Messeinrichtung zum Erfassen der weiteren Messsignale eine weitere Photodiode mit einem Sensitivitätsmaximum bei einer weiteren Wellenlänge aufweist, die von der ersten und der zweiten Wellenlänge verschieden ist.

FIG.1

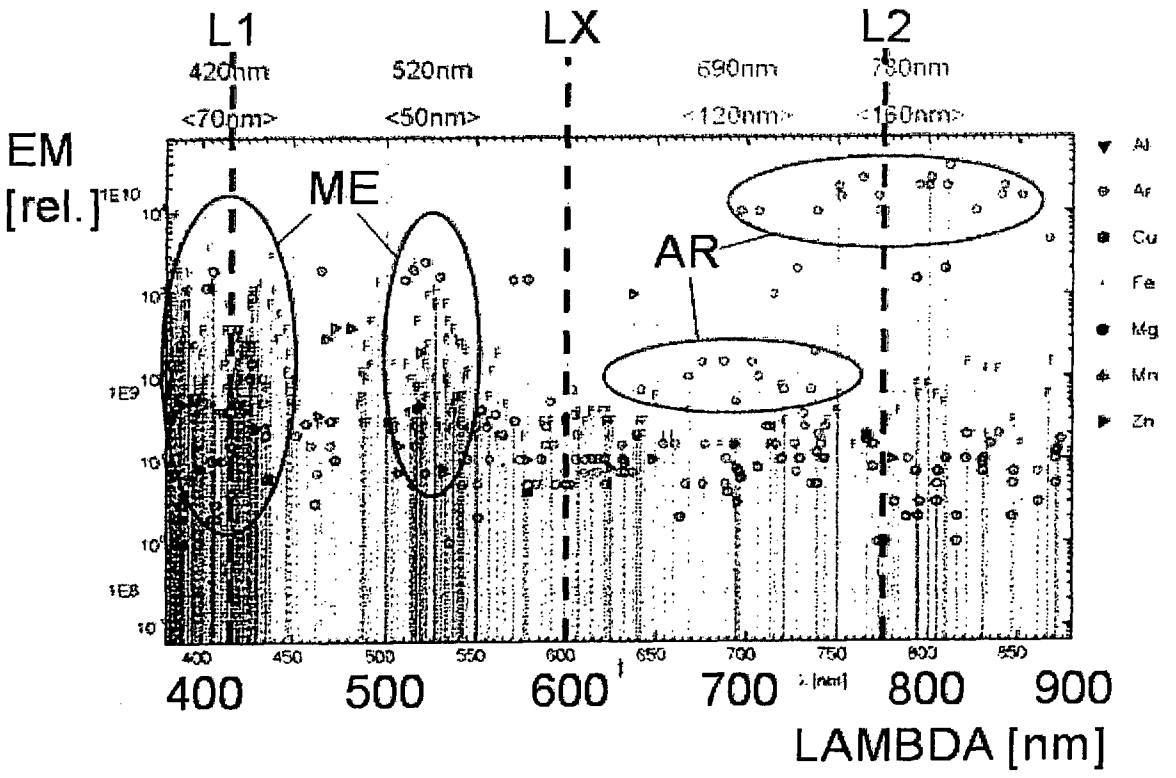

L1
LX
L2
420nm
520nm
690nm
780nm
<70nm>
<50nm>
<120nm>
<160nm>
EM
[rel.]
ME
AR
Al
Ar
Cu
Fe
Mg
Mn
Zn
400
500
600
700
800
900
LAMBDA [nm]

FIG.2

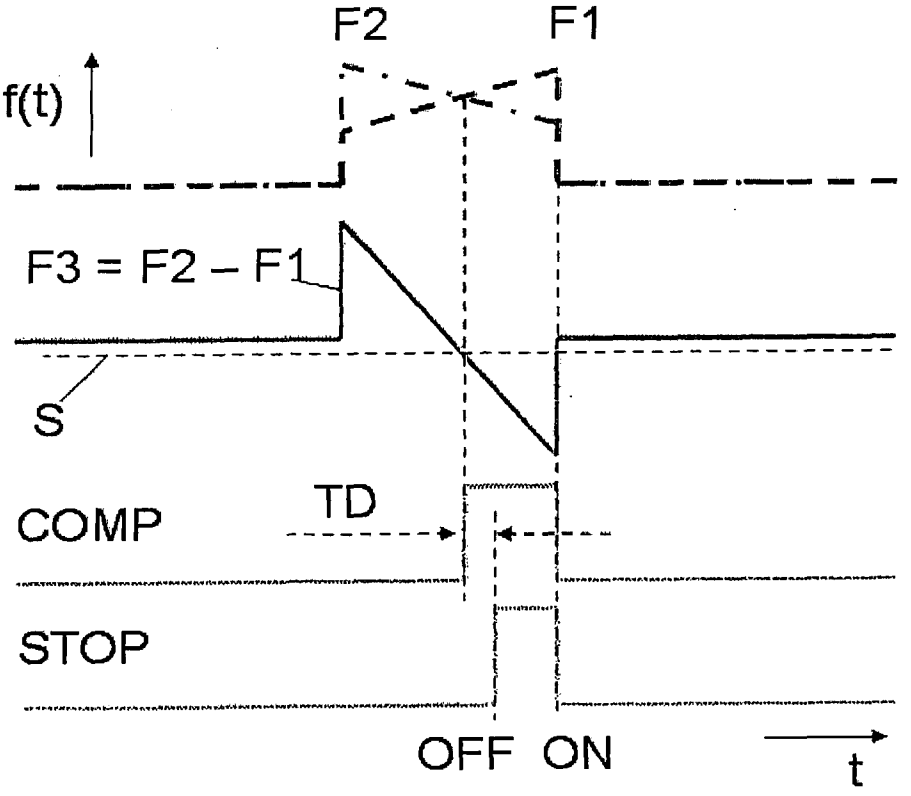

F2
F1
f(t)
F3 = F2 – F1
S
COMP
TD
STOP
OFF ON
t

FIG.3

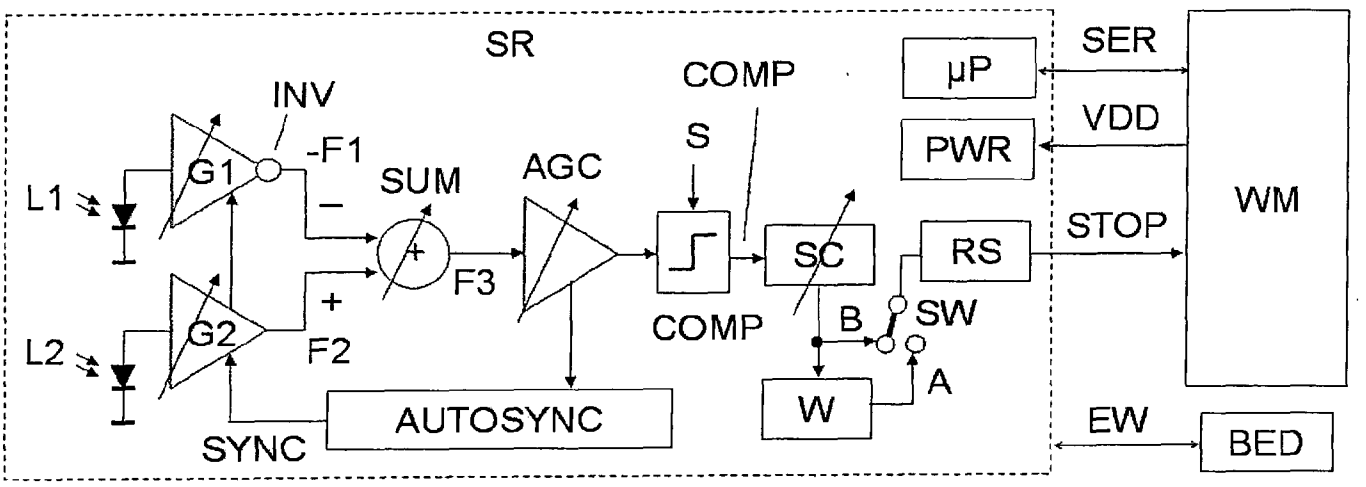

SR
INV
G1
-F1
L1
SUM
AGC
COMP
S
μP
SER
VDD
PWR
WM
STOP
L2
G2
F2
F3
COMP
SC
RS
B
SW
A
W
AUTOSYNC
SYNC
EW
BED

FIG.4

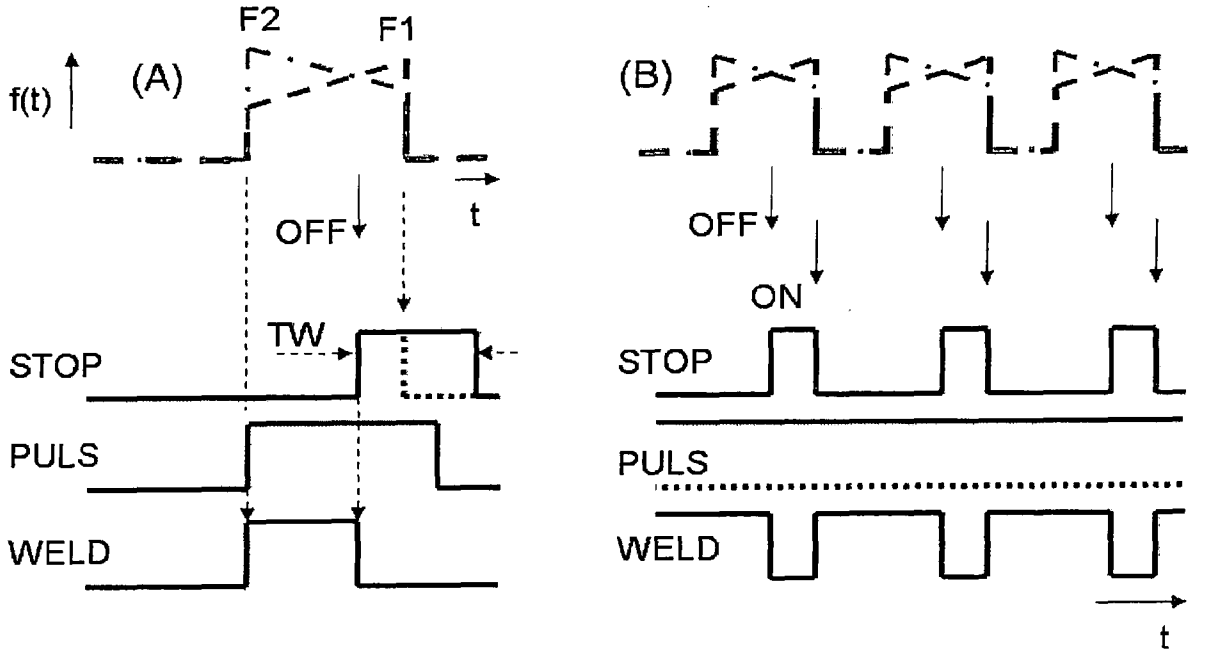
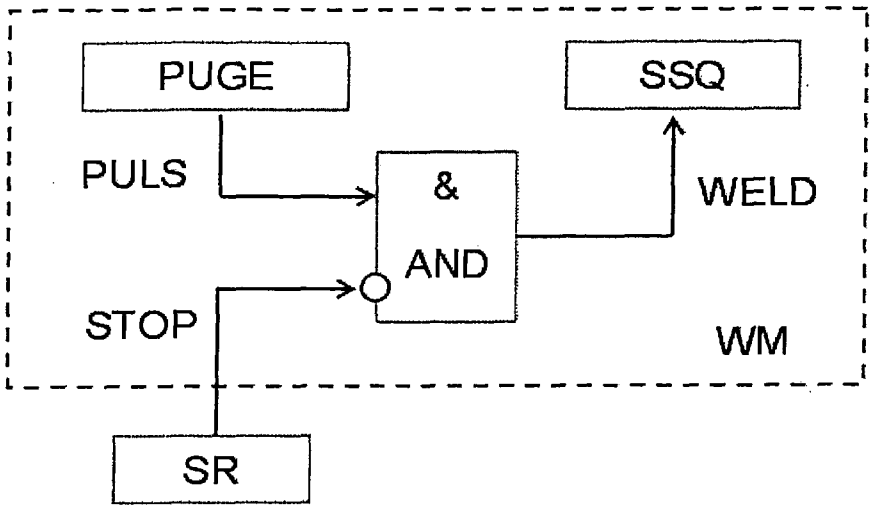

f(t)
(A)
F2
F1
OFF
t
TW
STOP
PULS
WELD
(B)
OFF
ON
STOP
PULS
WELD
t

FIG.5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/DE2009/001216

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102004015553 A1	16-06-2005	NONE	
JP 2001318004 A	16-11-2001	NONE	
US 6084205 A	04-07-2000	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2009/001216

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B23K9/095 B23K9/10

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B23K

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2004 015553 A1 (UNIV BERLIN TECH [DE]) 16. Juni 2005 (2005-06-16) in der Anmeldung erwähnt Absatz [0029] - Absatz [0042]; Ansprüche 1-2; Abbildungen 1-3	1-19
A	JP 2001 318004 A (DAIHATSU MOTOR CO LTD) 16. November 2001 (2001-11-16) Zusammenfassung	1-19
A	US 6 084 205 A (SHEAFFER DONALD A [US] ET AL) 4. Juli 2000 (2000-07-04) das ganze Dokument	1-19

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
27. Januar 2010	05/02/2010

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	De Backer, Tom