



DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK
AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

PATENTSCHRIFT 148 599

Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 5 Absatz 1 des Änderungsgesetzes zum Patentgesetz

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

- 1) 148 599 (44) 03.06.81 3 (51) B 23 K 15/00 ^{Int. Cl.³}
1) WP B 23 K / 218 559 (22) 21.01.80
-

- 1) siehe (72)
2) Mauer, Karl-Otto, Dr.-Ing., DD
3) siehe (72)
4) Zentralinstitut für Schweißtechnik der DDR, Leit-BfN
„Schweißtechnik“, 4030 Halle, PSF 16
-

- 4) Verfahren und Einrichtungen zur Kontrolle und Regelung
technologischer Ladungsträgerstrahlprozesse
-

7) Die Erfindung bezieht sich auf die Kontrolle, Einstellung und Regelung der Strahlfokussierung, Strahlzentrierung und technologischer Verfahren bei Ladungsträgerstrahlprozessen. Ziel ist, die Arbeitsproduktivität zu erhöhen und die Erzeugnisqualität verbessern. Die Aufgabe, eine meßbare Prozeßgröße zu ermitteln, welche die Wechselbeziehung zwischen dem Fokussierungsgrad, Zentrierungszustand und Prozeßparametern und den dabei entstehenden Prozeßergebnissen direkt wiedergibt und für jede Strahlleistung eine Kontrolle, Einstellung und Regelung der Strahlfokussierung, Strahlzentrierung und Prozeßstabilisierung mit geringer Zeitkonstante wahrleistet, wird dadurch gelöst, daß der durch die Einwirkung des Ladungsträgerstrahles auf dem Werkstück vom Prozeßort ausgehende Prozeßstrom mittels geeigneter Meßfühler in eine äquivalente elektrische Größe umgewandelt wird und die Gleichstromkomponente (Mittelwert) und/oder Wechselstromkomponente (Effektivwert, positive und negative Amplitude und Impulsspitzen) des Meßsignals zur Kontrolle, Einstellung und Regelung der Strahlfokussierung, Strahlzentrierung und Ladungsträgerstrahlprozessen verwendet werden. - Fig.1 -

Verfahren und Einrichtungen zur Kontrolle und Regelung
technologischer Ladungsträgerstrahlprozesse

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Einrichtungen zur Prozeßkontrolle und -regelung bei technologischen Verfahren mit Ladungsträgerstrahlen, insbesondere zum Schweißen, Verdampfen, Spritzen, Schneiden, Schmelzen sowie zur Werkstoffbearbeitung.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Es ist bereits bekannt, den beim Elektronenstrahlschweißen auftretenden, mit dem Prozeß in Verbindung stehenden Rückstreu-, Werkstück- und Durchdringungs-Elektronenstrom zu messen und deren Gleichstromkomponente (Mittelwert) und Wechselstromkomponente (Amplitude, Frequenz und Impulslänge) zur Stabilisierung der Schweißnahtgeometrie durch Prozeßkontrolle und ein- oder mehrschleifige Prozeßregelung auszunutzen. Weiterhin werden bestimmte Komponenten einiger Meßgrößen zur Einstellung und Kontrolle der Strahlfokussierung und Strahlzentrierung ausgenutzt.

Unter Verwendung des Rückstreuelektronenstromes als Meßgröße ist die Ausübung der Verfahren bis etwa 5 kW Strahlleistung gewährleistet. Bei höheren Strahlleistungen ändert sich jedoch die Verhaltensweise des Rückstreuelektronenstromes

gegenüber der Nahtgeometrie. So treten beispielsweise die charakteristischen Wendepunkte der Meßsignale und die maximale Nahttiefe bei verschiedenen Fokussierungsstromstärken auf.

Die Ausnutzung des Werkstückelektronenstromes zur Prozeßkontrolle und -regelung hat den entscheidenden Nachteil, daß das Werkstück zur Meßsignalgewinnung gegenüber Masse vollständig isoliert sein muß, wodurch hohe Anforderungen an die Schweißvorrichtungen gestellt werden. Demzufolge liegen Untersuchungsergebnisse nur für geringe Strahlleistungen und einfache Schweißaufgaben vor.

Die Kontrolle und Stabilisierung der Nahttiefe unter Verwendung des Durchdringungselektronenstromes als Prozeßmeßsignal ist prinzipiell für jede Strahlleistung möglich. Voraussetzungen sind jedoch die Durchschweißung der Werkstücke sowie eine ausreichende Zugänglichkeit unterhalb der Schweißstelle zur Anordnung des Meßsignalauffängers. Ändert sich jedoch während des Schweißens oder nach mehreren Arbeitsstunden der Fokussierungsgrad (bei zeitabhängiger Abstandsänderung zwischen Katode-Steuer Elektrode und Katode-Anode), so erhöht der Regler beispielsweise die Strahlleistung oder verringert die Schweißgeschwindigkeit, bis der Sollwert des Durchdringungselektronenstromes erreicht ist. Die Nahttiefe ist somit zwar stabilisiert, jedoch wird die Schweißnaht breiter, der Wärmeeintrag nimmt zu und in der Naht können durch die Fokussierungsgradänderung Poren und Erstarrungslunker auftreten.

Weiterhin ist bekannt, daß während des Elektronenstrahlschweißens entstehenden, mit dem Prozeß verbundenen Ionenstrom oberhalb oder im Falle der Werkstückdurchschweißung auch unterhalb der Schweißstelle zu messen und deren Gleichstromkomponente (Mittelwert) und Wechselstromkomponente (Amplitude, Frequenz und Impulslänge) zur

Stabilisierung der Schweißnahtgeometrie durch Prozeßkontrolle und ein- oder mehrschleifige Prozeßregelung auszunutzen. Diese Komponenten werden aber auch zur Einstellung und Kontrolle der Strahlfokussierung und Strahlzentrierung ausgenutzt.

Wird der Ionenstrom oberhalb der Schweißstelle gemessen und der Mittelwert oder die Wechselstromamplitude als Meßsignal verwendet, so ist die Ausübung der Verfahren bis etwa 60 kW Strahlleistung gewährleistet. Bei höheren Strahlleistungen treten im Meßsignal jedoch in zunehmendem Maße extrem niederfrequente Störungen auf, die durch die Schmelzbaddynamik verursacht werden. Die Meßsignaländerung ist in diesen Fällen wesentlich stärker als die Änderung der Nahtgeometrie, wodurch die Prozeßkontrolle und -regelung erschwert wird. Die Verwendung der Frequenz oder Impulslänge erfordert ab etwa 10 kW Strahlleistung besondere elektronische Maßnahmen zur Signalaufbereitung (Filter).

Wird der aus der Schweißkapillare nach unten austretende Ionenstrom gemessen, so besteht gegenüber dem Durchdringungselektronenstrom zwar der Vorteil, daß im Meßsignal gleichzeitig Informationen über den Fokussierungsgrad enthalten sind, jedoch sind die Werkstückdurchschweißung und Zugänglichkeit unterhalb der Schweißstelle auch nach diesem Verfahren notwendige Voraussetzungen zur Prozeßkontrolle und -regelung.

Es ist auch bekannt, die während des Elektronenstrahlschweißens aus dem Schmelzbad austretende Lichtstrahlung (richtbares und infrarotes Spektrum) zur Stabilisierung der Schweißnahtgeometrie durch Prozeßkontrolle und -regelung sowie zur Einstellung und Kontrolle der Strahlfokussierung auszunutzen, wobei optoelektronische Bauelemente zur Meßsignalgewinnung benutzt werden. Da der während des Schweißens entstehende Metalldampf auch auf der Meßfühleroberfläche kondensiert, ist die Ausübung des Ver-

fahrens bei geringen Strahlleistungen kurzzeitig möglich. Für höhere Strahlleistungen ist das Verfahren nicht geeignet und liegen demzufolge keine Untersuchungsergebnisse vor.

Weiterhin ist bekannt, die durch den Elektronenstrahlschweißprozeß hervorgerufene Schallemission zur Prozeßkontrolle und Einstellung der Strahlfokussierung zu nutzen, wobei die Meßfühler stets mit dem Werkstück gekoppelt sind. Die durch die Schweißvorrichtung mit ihrem Antrieb und durch das Vakuumpumpsystem entstehende Schallemission wirkt hierbei jedoch als Störgröße, wobei Nutz- und Störsignal je nach Prozeßbedingungen im gleichen Frequenzspektrum liegen können. Da die Meßsignalgewinnung eine Kopplung zwischen Werkstück und Meßfühler erfordert, wird die Ausübung der Verfahren außerdem besonders beim Schweißen von axialen und radialen Rundnähten schwierig.

Ziel der Erfindung

Durch die Erfindung ist ein Verfahren und Einrichtungen zur Prozeßkontrolle und -regelung bei technologischen Verfahren mit Ladungsträgerstrahlen zu schaffen, welches in der Lage ist, die Arbeitsproduktivität und Erzeugnisqualität auch unter solchen Prozeßbedingungen zu verbessern, wo bereits bekannte Verfahren versagen oder unbefriedigende Ergebnisse liefern.

Das Wesen der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, für technologische Verfahren mit Ladungsträgerstrahlen eine meßbare Prozeßgröße zu ermitteln, die die Wechselbeziehung zwischen den einzelnen Prozeßparametern und dem dabei entstehenden Prozeßergebnis direkt wiedergibt und für jede Strahlleistung zur Stabilisierung des Prozeßergebnisses durch Prozeßkontrolle und -regelung mit geringer Zeitkonstante sowie zur Einstellung und Kontrolle der Strahlfokussierung und der Strahlzentrierung geeignet ist.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß der durch die Einwirkung des Ladungsträgerstrahles auf den Werkstoff vom Prozeßort ausgehende Dampfstrom von geeigneten Meßfühlern in eine äquivalente elektrische Größe umgewandelt und die Gleichstromkomponente (Mittelwert) und/oder Wechselstromkomponente (Effektivwert, Mittelwert, mittlere und maximale positive und negative Amplitude, Frequenz, Impulslänge und Impulsspitzen) des Meßsignals zur Stabilisierung des Prozeßergebnisses durch Prozeßkontrolle und ein- oder mehrschleifigen Prozeßregelung sowie zur Einstellung und Kontrolle der Strahlfokussierung und Strahlzentrierung von Hand oder automatisch verwendet werden.

Unter gewissen Bedingungen des technologischen Prozesses ist es zweckmäßig, nur ein bestimmtes Frequenzspektrum aus dem Meßsignal auszuwählen und/oder das Meßsignal im Verlaufe seiner Verarbeitung einer ein- oder mehrfachen Frequenzteilung und/oder -vervielfachung zu unterziehen, um durch die Prozeßregelung insbesondere eine erzwungene Prozeßdynamik (Resonanz) zu erzielen und die Empfindlichkeit bei der Verfahrensausübung zu erhöhen.

Weiterhin ist es unter bestimmten technologischen Bedingungen bei einer mehrschleifigen Regelung zweckmäßig, neben dem Dampfstrom auch bereits bekannte Prozeßmeßsignale (insbesondere den Ionenstrom) in den Regelprozeß einzubeziehen.

Zur Messung des Dampfstromes ist es vorteilhaft, einen oder mehrere Meßfühler im Raum zwischen Strahlenkanone und Werkstück und bei Werkstückdurchdringung gegebenenfalls auch unter dem Werkstück derart anzuordnen, daß der vom Prozeßort ausgehende Dampfstrom zu den Meßfühlern gelangen kann und die prozeßabhängige Winkelverteilung des Dampfstromes das Meßsignal nicht beeinflußt oder bei der Meßsignalgewinnung mit ausgenutzt wird.

Die Meßsignalgewinnung erfolgt zweckmäßigerweise durch den technologischen Prozeß konstruktiv angepaßte elektronische Meßfühler, insbesondere auf Elektronenstrom-, Ionisation-, Entladungs- und/oder Wärmeleitbasis, die gegen fremde, mit dem Ladungsträgerstrahlprozeß in Verbindung stehende Elektronen und Ionen in der Regel durch geeignete Anordnung von Gittern mit entsprechendem Potential abgeschirmt sind, gegebenenfalls als Druckstufe ausgeführt sind und mit einem speziellen Vakuumpumpensystem in Verbindung stehen können.

Bei bestimmten technologischen Ladungsträgerstrahlverfahren kann es auch zweckmäßig sein, dem Prozeß konstruktiv angepaßte Meßfühler vorzugsweise auf elektromechanischer, kapazitiver, induktiver und/oder piezoelektrischer Basis zu verwenden, die gegebenenfalls gegen fremde Ladungsträger, vorzugsweise durch Potential führende Gitter abgeschirmt sind.

Zur Prozeßkontrolle wird der Istwert einer oder mehrerer Komponenten des Meßsignals durch geeignete Geräte angezeigt oder gespeichert, wobei die entsprechenden Nominalwerte zwar für den jeweiligen technologischen Prozeß zu ermitteln sind.

Bei der Prozeßregelung wird der Istwert einer oder mehrerer Komponenten des Meßsignals einem analog oder digital arbeitenden elektronischen Regler, der gegebenenfalls ein Prozeßrechner, insbesondere ein Mikrorechner sein kann, zugeführt und mit einem oder mehreren Sollwerten verglichen, wonach der Regler entsprechend der Regelabweichungen und der zugehörigen Prozeßgleichungen mit bestimmtem zeitlichen Verhalten ein oder mehrere Stellsignale zur Einwirkung auf eine oder mehrere Stellgrößen erarbeitet. Dazu ist für die jeweilige Komponente des Meßsignals (Gleichstrom, mittlerer und effektiver Wechselstrom, mittlere und maximale, positive und negative Wechselstromamplitude, Frequenz, Impulslänge und Impulsspitzen) eine geeignete Stellgröße (Beschleunigungsspannung, Strahlstrom, modulierter Strahlstrom, dynamische Strahlablenkung in x- und/oder y-Richtung, gegebenenfalls mit symmetrischer und/oder unsymmetrischer Halbwelle, Fokussierungsstrom, Schweißgeschwindigkeit) auszuwählen. Die zu verwendeten Regelparameter sind zuvor für den jeweiligen technologischen Prozeß zu ermitteln.

Wird unter gegebenen Prozeßbedingungen der Fokussierungsgrad des Ladungsträgerstrahles im Bereich von der Unter- bis zur Überfokussierung variiert, so existiert eine Fokussierungsstromstärke, bei der die Einwirkung des Ladungsträgerstrahles auf den Werkstoff am intensivsten

ist und die einzelnen Komponenten des Meßsignals einen charakteristischen Wendepunkt aufweisen. Die Festlegung der für den jeweiligen Prozeß erforderlichen Fokussierungsstromstärke (Arbeitspunkt) erfolgt nach einem Versuchsprogramm entsprechend der technologischen Forderungen.

Zur Einstellung und Kontrolle der Strahlfokussierung werden die Relativwerte von einer oder mehreren Komponenten des Meßsignals und von der Fokussierungsstromstärke zwischen Wendepunkt und Arbeitspunkt benutzt. Die zulässigen Abweichungen sind zuvor durch Versuche zu ermitteln. Die Durchführung des Verfahrens kann von Hand oder automatisch und bei entsprechender Geschwindigkeit auch während des laufenden Prozesses erfolgen. Wird unter gegebenen Prozeßbedingungen die Strahlzentrierung variiert, so existiert für die x- und y-Richtung jeweils eine Zentrierungsstromstärke, bei der die Einwirkung des Ladungsträgerstrahles auf den Werkstoff am intensivsten ist (größte Leistungsdichte, beste Leistungsdichteverteilung, minimale Abbildungsfehler) und die einzelnen Komponenten des Meßsignals einen charakteristischen Wendepunkt aufweisen.

Zur Einstellung und Kontrolle der Strahlzentrierung werden unter Prozeßbedingungen die Zentrierungsströme für die x- und y-Richtung abwechselnd nach der Methode der schrittweisen Näherung derart variiert, daß die Arbeitspunkte genau im entsprechenden Wendepunkt der jeweils verwendeten Meßsignalkomponente liegen. Die Durchführung des Verfahrens kann von Hand oder automatisch und bei entsprechender Geschwindigkeit auch während des laufenden Prozesses erfolgen.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an mehreren Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen:

Fig. 1: ein Schema zur Prozeßkontrolle und -regelung beim Elektronenstrahlschweißen

Fig. 2: das Schema eines Dampfstrommeßfühlers auf Elektronenstrombasis

Fig. 3: das Schema eines Dampfstrommeßfühlers auf Ionisationsbasis

Fig. 4: das Schema eines Dampfstrommeßfühlers auf elektromechanischer Basis.

Nach Fig. 1. trifft der von der Elektronenstrahlschweißkanone 1 erzeugte Elektronenstrahl $E S$ auf das im Arbeitsabstand a angeordnete Werkstück 2 der Dicke s , das sich mit der Schweißgeschwindigkeit v_g relativ zum Elektronenstrahl $E S$ bewegt. Bei entsprechender Abstimmung der einzelnen Prozeßparameter entsteht eine Schweißnaht der Tiefe h_n . Während des Schweißens verdampft gleichzeitig ein bestimmter Werkstoffanteil, so daß aus der Schweißkapillare ein Dampfstrom DS austritt, der in den Raum zwischen Werkstück 2 und Elektronenstrahlschweißkanone 1 gerichtet ist. Der Dampfstrom DS ist dabei prozeßabhängig (Werkstoff, Prozeßparameter, Prozeßdynamik) und

für gegebenen Werkstoff der Nahttiefe h_n proportional. Zur Umwandlung des Dampfstromes DS in eine äquivalente elektrische Größe ist unter der Elektronenstrahl-schweißkanone 1 in der Nähe des Elektronenstrahles ES ein zur Schweißkapillare gerichteter Meßfühler 3 angeordnet, der mit einer elektronischen Schaltanordnung zur Meßsignalgewinnung MSG in Verbindung steht. Der Meßfühler 3 gemäß Fig. 2, besteht aus einem Gehäuse 4, in dem ein Triodensystem aus direkt geheizter Katode 5, Steuergitter 6 und Anode 7 angeordnet ist. Gegebenenfalls sind außerdem Schirm- und Bremsgitter zwischen Katode 5 und Anode 7 angeordnet. Beim Schweißen im Vorvakuum oder mit hohen Leistungen ist das Gehäuse 4 gegenüber der Schweißkammer als Druckstufe ausgeführt und mit einem speziellen Vakuumpumpsystem VPS verbunden. Die erforderlichen Betriebsspannungen für das Triodensystem (Heizspannung U_h , Anodenspannung U_a , Steuerungspannung U_{st}) werden von der elektronischen Schaltanordnung zur Meßsignalgewinnung MSG bereitgestellt. Unter Betriebsbedingungen fließt von der Katode 5 zur Anode 7 ein Elektronenstrom I_e , dessen Stärke über die Steuerungspannung U_{st} am Steuergitter 6 verschiedenen Prozeßbedingungen angepaßt werden kann. Gelangt der von der Schweißkapillare ausgehende Dampfstrom DS in den Meßfühler 3, so wird der Stromfluß I_e im Triodensystem in Abhängigkeit von der Stärke des Dampfstromes DS geschwächt.

Zur Abschirmung des Meßfühlers 3 gegen die beim Elektronenstrahl-schweißen auftretenden Elektronen und Ionen sind im Strahlengang Gitter 8 angeordnet, die gegenüber Masse ein bestimmtes positives und negatives Potential führen. Das mit Masse verbundene Gitter 8 dient hauptsächlich der Feldtrennung.

Die Erfüllung der Bedingung Dampfstrom $DS = \text{Null}$ ----> Meßsignal $MS = \text{Null}$ erfolgt durch eine entsprechende Nullkorrektur NK (Fig. 1). Das prozeßabhängige Meßsignal gelangt anschließend direkt oder über elektronische Filter eF mit Tief-, Band- oder Hochpaßverhalten zu elektronischen Schaltanordnungen, in denen jeweils eine dem Mittelwert MW , Effektivwert EW , der positiven Amplitude pA , negativen Amplitude nA , Frequenz F und Impulslänge IL proportionale Spannung erzeugt wird.

Zur Prozeßkontrolle wird der Istwert \tilde{x} einer oder mehrerer charakteristischer Meßsignalkomponenten, deren Nominalwerte zuvor für die jeweiligen Prozeßbedingungen zu ermitteln sind, von einem Meßinstrument $M I$ angezeigt oder einem Lichtstrahlschreiber LSS gespeichert.

Bei der einschleifigen Prozeßregelung wird der Istwert \tilde{x} einer charakteristischen Meßsignalkomponente in einem elektronischen Regler eR mit dem entsprechenden Sollwert \tilde{w} verglichen. In Abhängigkeit von der Regelabweichung und der zugehörigen Prozeßgleichung erarbeitet der Regler mit bestimmtem zeitlichen Verhalten das Stellsignal SS zur Ansteuerung des Stellgliedes SG für die verwendete Stellgröße y (Strahlstrom I_s , Strahlablenkung I_A , Schweißgeschwindigkeit v_s , Beschleunigungsspannung U_B , Fokussierungsstrom I_p). Sollen für die Prozeßregelung nur positive oder negative Impulsspitzen des Meßsignals MS genutzt werden, so ist im Signalweg vor dem elektronischen Regler eR ein Schwellenwertschalter SWS vorgesehen, dessen Schwellwert SW kontinuierlich einstellbar ist. Die Prozeßregelung kann aber auch derart ausgeführt sein, daß das Meßsignal MS über elektronische Schaltanordnungen zur Frequenzteilung FT oder Frequenzvervielfachung FV zum elektronischen Regler eR gelangt. Die zu

verwendenden Regelparameter sind zuvor für den jeweiligen technologischen Prozeß zu ermitteln.

Der Meßfühler gemäß Fig. 3 besteht aus einem Gehäuse 4, in dem ein Triodensystem aus direkt geheizter Katode 5, Steuergitter 6 und Anode 7 sowie eine Auffangelektrode 10 für die positiven Werkstoffdampfionen angeordnet sind.

Gegebenenfalls sind außerdem Schirm- und Bremsgitter zwischen Katode 5 und Anode 7 angeordnet. Beim Schweißen im Vorvakuum oder mit hohen Strahlleistungen ist das Gehäuse 4 gegenüber der Schweißkammer als Druckstufe ausgeführt und mit einem speziellen Vakuumpumpsystem VPS verbunden. Die erforderlichen Betriebsspannungen für das Triodensystem (Heizspannung U_H , Anodenspannung U_a , Steuerspannung U_{st}) werden von der elektronischen Schaltanordnung zur Meßsignalgewinnung MSG bereitgestellt. Unter Betriebsbedingungen fließt von der Katode 5 zur Anode 7 ein Elektronenstrom I_e , dessen Stärke über die Steuerspannung U_{st} am Steuergitter 6 den verschiedenen Prozeßbedingungen angepaßt wird. Gelangt der von der Schweißkapillare ausgehende Dampfstrom DS in den Meßfühler 3, so wird bei konstanten, hinreichend großer Stromstärke I_e im Triodensystem der Dampfstrom DS in Abhängigkeit von seiner Stärke ionisiert. Diese Dampfionen werden von der Auffangelektrode 10, die über eine Spannungsquelle aus der elektronischen Schaltanordnung zur Meßsignalgewinnung MSG und einen Widerstand R_I mit Masse verbunden ist und ein bestimmtes negatives Potential erhält, angesaugt, wogegen die Elektronen abgestoßen werden. Über dem Widerstand R_I steht ein Spannungsabfall (Meßsignal MS) zur Verfügung, der der Stärke des Dampfstromes DS proportional ist. Zur Abschirmung des Meßfühlers 3 gegen die beim Elektronenstrahlschweißen auftretenden Elektronen und Ionen sind

im Strahlengang Gitter 8 angeordnet, die gegenüber Masse ein bestimmtes positives und negatives Potential führen. Das mit Masse verbundene Gitter 9 dient hauptsächlich der Feldtrennung.

Die Erfüllung der Bedingung Dampfstrom $DS = \text{Null}$ -----> Meßsignal $MS = \text{Null}$ erfolgt durch eine entsprechende Nullkorrektur NK (Fig. 1).

Der Meßfühler gemäß Fig. 4 besteht aus einem Gehäuse 4, in dem ein optoelektronisches System aus Lumineszenzdiode 11 und Fotodiode 12 angeordnet ist. Der Lichtstrahl von der Lumineszenzdiode 11 zur Fotodiode 12 wird durch ein Plättchen 13 unterbrochen, das mit einem feinmechanischen, trägheitsarmen Hebelsystem aus Fangplättchen 14, Hebelarm 15, Welle 16 und Kugellager 17 in Verbindung steht und von einer Feder 18 in Ruhelage gehalten wird. Die erforderlichen Betriebsspannungen für das optoelektronische System werden von der elektronischen Schaltanordnung zur Meßsignalgewinnung MSG bereitgestellt. Trifft der von der Schweißkapillare ausgehende Dampfstrom DS auf das Fangplättchen 14, so gelangt in Abhängigkeit von der Stärke des Dampfstromes DS Licht zur Fotodiode 12, wobei die Lumineszenzdiode 11 im Konstantstrombetrieb arbeitet. Bei Dauerbetrieb oder höheren Schweißleistungen ist das Gehäuse 4 in Richtung Schweißort von einem mit Isolatoren 19 befestigten Hitzeschild 20 umgeben, um die Temperaturbedingungen für das optoelektronische System nicht zu verändern.

Die Erfüllung der Bedingung Dampfstrom $DS = \text{Null}$ -----> Meßsignal $MS = \text{Null}$ erfolgt durch eine entsprechende Nullkorrektur NK (Fig. 1).

Wird unter gegebenen Prozeßbedingungen der Fokussierungsgrad des Elektronenstrahles ES im Bereich von der Unterbis zur Überfokussierung variiert, so existiert eine

Fokussierungsstromstärke I_F , bei der die Nahttiefe h_N am größten ist und die einzelnen, von einem Meßinstrument MI angezeigten oder Lichtstrahlschreiber LSS gespeicherten Komponenten des Meßsignals MS einen charakteristischen Wendepunkt aufweisen. Die Festlegung der für den jeweiligen Prozeß erforderlichen Fokussierungsstromstärke (Arbeitspunkt) erfolgt nach einem Versuchsprogramm entsprechend den technologischen Forderungen.

Zur Einstellung und Kontrolle der Strahlfokussierung werden die Relativwerte von einer oder mehreren Komponenten des Meßsignals MS und von der Fokussierungsstromstärke I_F zwischen Wendepunkt und Arbeitspunkt benutzt. Die zulässigen Abweichungen sind zuvor durch Versuche zu ermitteln.

Wird unter gegebenen Prozeßbedingungen die Elektronenstrahlzentrierung variiert, so existiert für die x- und y-Richtung jeweils eine Zentrierungsstromstärke, bei der die Nahttiefe h_N am größten ist und die einzelnen, von einem Meßinstrument MI angezeigten oder Lichtstrahlschreiber LSS gespeicherten Komponenten des Meßsignals MS einen charakteristischen Wendepunkt aufweisen.

Zur Einstellung und Kontrolle der Elektronenstrahlzentrierung werden unter Prozeßbedingungen meist auf einem Phantom die Zentrierungsströme für die x- und y-Richtung abwechselnd nach der Methode der schrittweisen Näherung derart variiert, daß die Arbeitspunkte genau im entsprechenden Wendepunkt der jeweils verwendeten Meßsignalkomponente liegen.

E r f i n d u n g s a n s p r u c h

1. Verfahren zur Prozeßkontrolle und -regelung bei technologischen Verfahren mit Ladungsträgerstrahlen, insbesondere zum Schweißen, Verdampfen, Spritzen, Schneiden, Schmelzen sowie zur Werkstoffbearbeitung, g e k e n n z e i c h n e t d a d u r c h , daß der durch die Einwirkung des Ladungsträgerstrahles auf den Werkstoff vom Prozeßort ausgehende Dampfstrom (DS) mittels geeigneter Meßfühler (3) in eine äquivalente elektrische Größe umgewandelt wird und die Gleichstromkomponente (Mittelwert) und/oder Wechselstromkomponente (Effektivwert, Mittelwert, mittlere und maximale positive und negative Amplitude, Frequenz, Impulslänge und Impulsspitzen) des Meßsignals zur Stabilisierung des Prozeßergebnisses durch Prozeßkontrolle und ein- oder mehrschleifige Prozeßregelung sowie zur Einstellung und Kontrolle der Strahlfokussierung und Strahlzentrierung von Hand oder automatisch verwendet werden.

2. Verfahren zur Prozeßkontrolle und -regelung bei technologischen Verfahren mit Ladungsträgerstrahlen nach Punkt 1, g e k e n n z e i c h n e t d a d u r c h , daß unter gewissen Bedingungen des technologischen Prozesses zweckmäßigerweise nur ein bestimmtes Frequenzspektrum aus dem Meßsignal (MS) ausgewählt und/oder das Meßsignal (MS) im Verlaufe seiner Verarbeitung einer ein- oder mehrfachen

Frequenzteilung (FT) und/oder -vervielfachung (FV) unterzogen wird, derart, daß durch die Prozeßregelung insbesondere eine erzwungene Prozeßdynamik (Resonanz) erzielt und die Empfindlichkeit bei der Verfahrensausübung erhöht wird.

3. Verfahren zur Prozeßkontrolle und -regelung bei technologischen Verfahren mit Ladungsträgerstrahlen nach Punkt 1 und 2, g e k e n n z e i c h n e t d a d u r c h , daß unter bestimmten technologischen Bedingungen bei einer mehrschleifigen Regelung vorzugsweise auch bereits bekannte Prozeßmeßsignale, insbesondere der Ionenstrom, in den Regelprozeß einbezogen werden.

4. Verfahren zur Prozeßkontrolle und -regelung bei technologischen Verfahren mit Ladungsträgerstrahlen nach Punkt 1, 2 und 3, g e k e n n z e i c h n e t d a d u r c h , daß zur Messung des Dampfstromes (DS) ein oder mehrere Meßfühler (3) im Raum zwischen Strahlenkanone (1) und Werkstück (2), bei Werkstückdurchdringung gegebenenfalls auch unter dem Werkstück (2), verwendet werden, indem der vom Prozeßort ausgehende Dampfstrom (DS) zu den Meßfühlern (3) gelangt, so daß die prozeßabhängige Winkelverteilung des Dampfstromes (DS) das Meßsignal (MS) nicht beeinflußt oder bei der Meßsignalgewinnung (MSG) mit ausgenutzt wird.

5. Verfahren zur Prozeßkontrolle und -regelung bei technologischen Verfahren mit Ladungsträgerstrahlen nach Punkt 1 bis 4, gekennzeichnet dadurch, daß die Meßsignalgewinnung (MSG) vorzugsweise durch den technologischen Prozeß konstruktiv angepaßte elektronische Meßfühler (3), insbesondere auf Elektronenstrom-, Ionisations-, Entladungs- und/oder Wärmeleitbasis, erfolgt, welche gegen fremde, mit dem Ladungsträgerstrahlprozeß in Verbindung stehende Elektronen und Ionen vorzugsweise durch eine geeignete Anordnung von Gittern (8) mit entsprechendem Potential abgeschirmt und gegebenenfalls als Druckstufe ausgeführt sind und mit einem speziellen Vakuumpumpensystem (VPS) in Verbindung stehen.

6. Verfahren zur Prozeßkontrolle und -regelung technologischer Verfahren mit Ladungsträgerstrahlen nach Punkt 1 bis 4, gekennzeichnet dadurch, daß bei bestimmten technologischen Ladungsträgerstrahlverfahren vorzugsweise dem Prozeß konstruktiv angepaßte Meßfühler (3) auf elektromechanischer, kapazitiver, induktiver und/oder piezoelektrischer Basis verwendet werden, die gegebenenfalls gegen fremde Ladungsträger, insbesondere durch Potential führende Gitter (8) abgeschirmt sind.

7. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Punkt 1, gekennzeichnet dadurch, daß zwischen Elektronenstrahlschweißkanone (1) und Werkstück (2) in der Nähe des Elektronenstrahles (ES) ein zur Schweißkapillare gerichteter

Meßfühler (3), bestehend aus Gehäuse (4), einem Triodensystem aus direkt geheizter Katode (5), Steuergitter (6) und Anode (7), angeordnet ist, wobei gegebenenfalls zwischen Katode (5) und Anode (7) Schirm- und Bremsgitter vorgesehen sind und der Strahlengang Gitter (8) aufweist, welche ein bestimmtes positives und negatives Potential führen.

8. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Punkt 1, g e k e n n z e i c h n e t d u r c h einen Meßfühler (3), bestehend aus dem Gehäuse (4) mit Triodensystem aus direkt geheizter Katode (5), Steuergitter (6) und Anode (7) und einer die positiven Werkstoffdampfrionen aufnehmenden Auffangelektrode (10), wobei gegebenenfalls Schirm- und Bremsgitter zwischen Katode (5) und Anode (7) vorgesehen sind und das Gehäuse (4) gegenüber der Schweißkammer als Druckstufe ausgebildet und mit einem speziellen Vakuumpumpensystem (VPS) verbunden ist.
9. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Punkt 1, g e k e n n z e i c h n e t d u r c h einen Meßfühler (3), bestehend aus Lumineszenzdiode (11) und Fotodiode (12) und Plättchen (13), das mit einem feinmechanischen, trägheitsarmen Hebelsystem, bestehend aus Fangplättchen (14), Hebelarm (15), Welle (16) und Kugellager (17), in Verbindung steht

und von einer Feder (18) in Ruhelage gehalten wird, wobei das Gehäuse (4) gegebenenfalls in Richtung Schweißort von einem mit Isolatoren (19) befestigten Hitzeschild (20) umgeben ist.

- Hierzu 4 Blatt Zeichnungen -

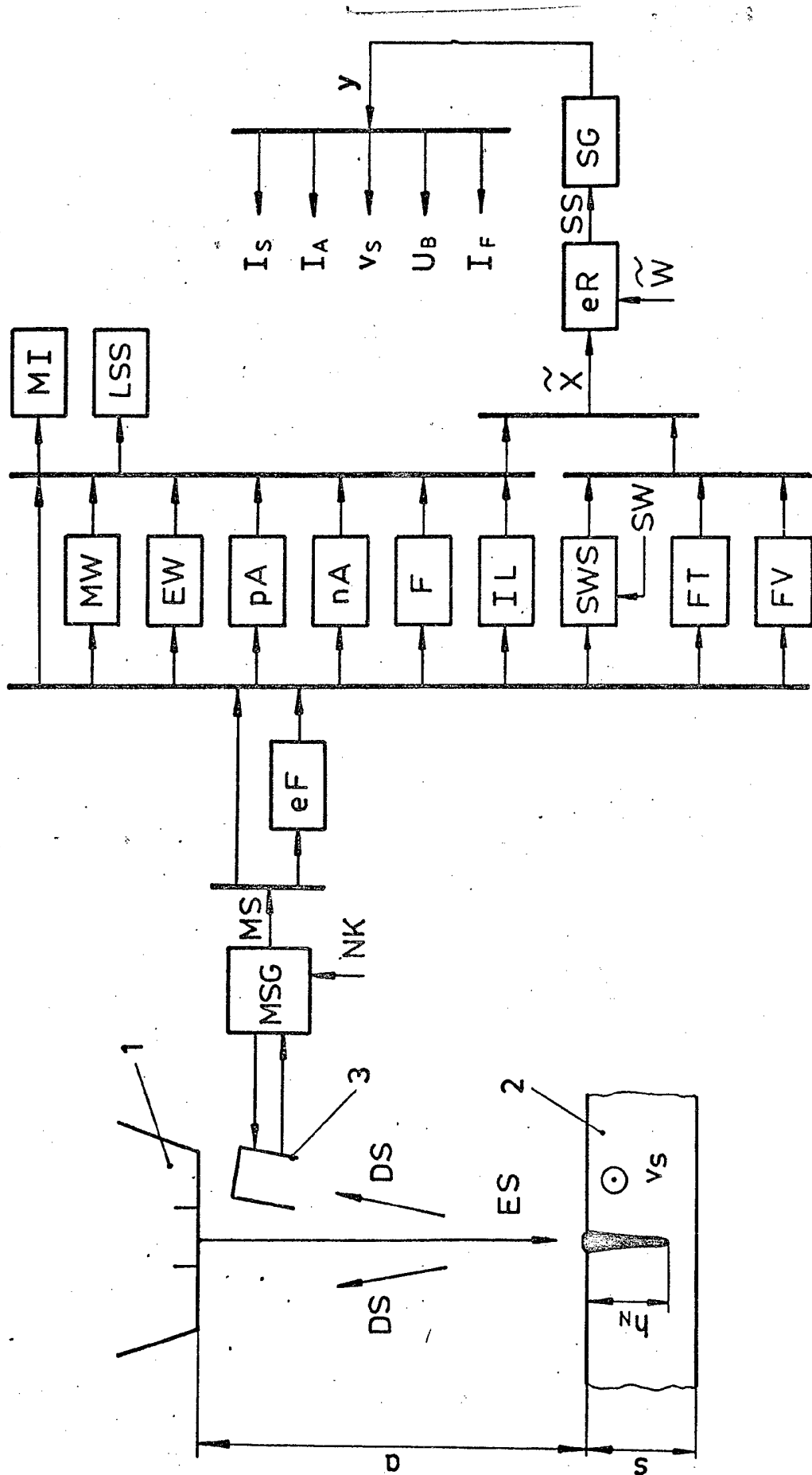


Fig. 1

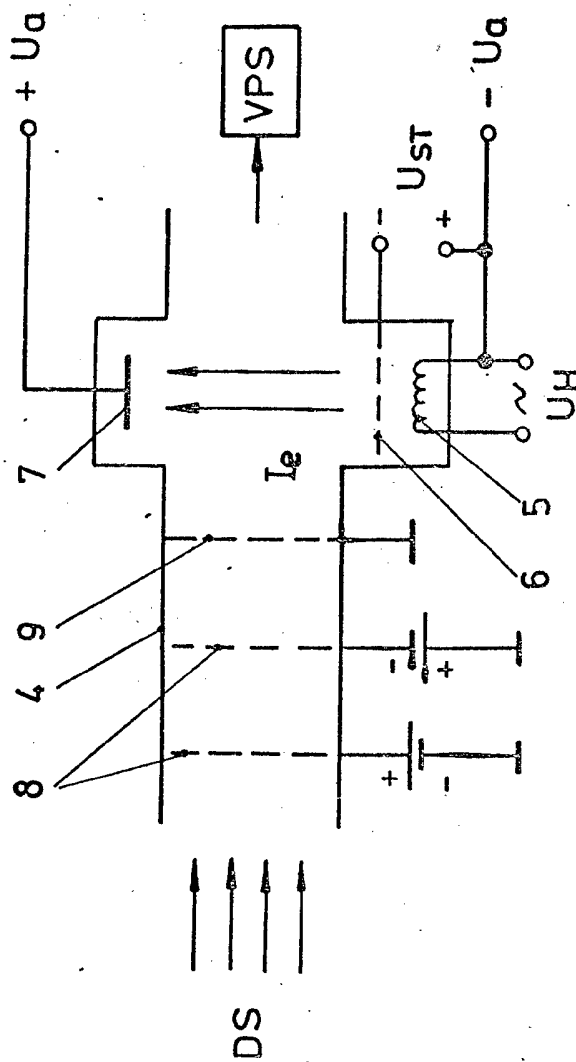


Fig. 2

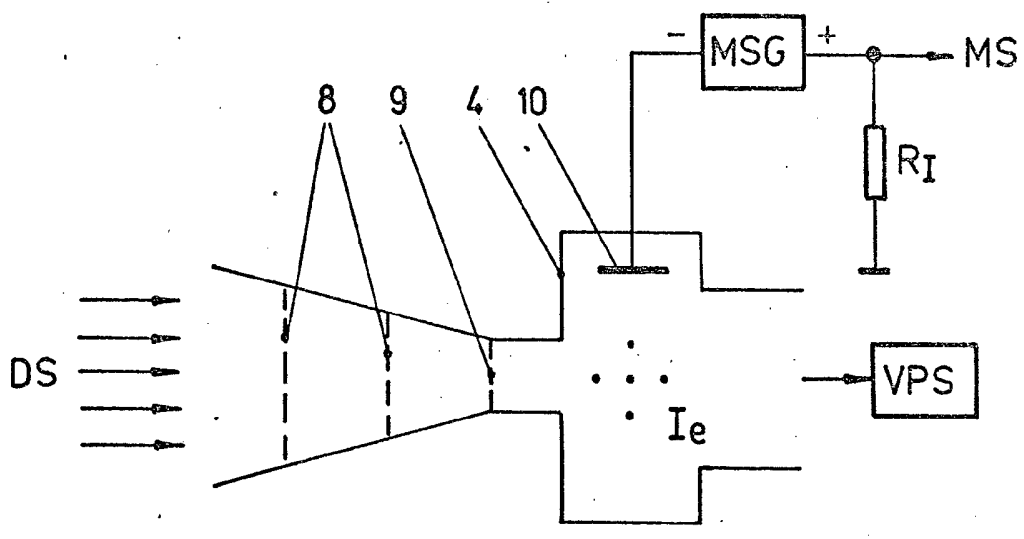
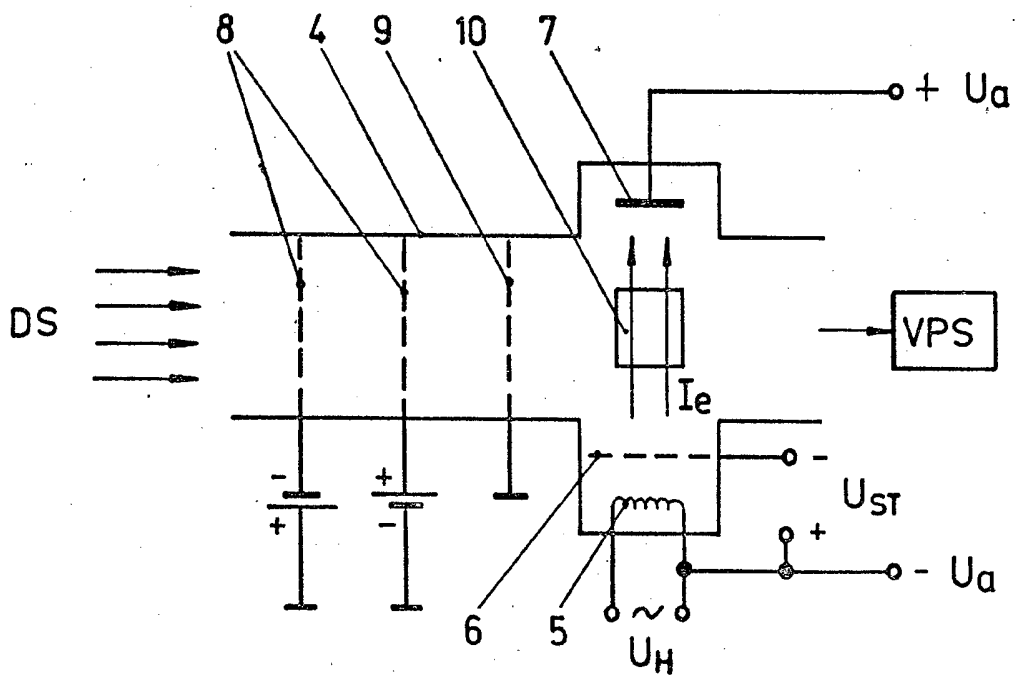


Fig. 3

012 W Freiburg, Abstraktfonctionelle Dresden 11/15/4 2173/7 2174/7 2175/7 2176/7 2177/7 200.0 W/ D 90290

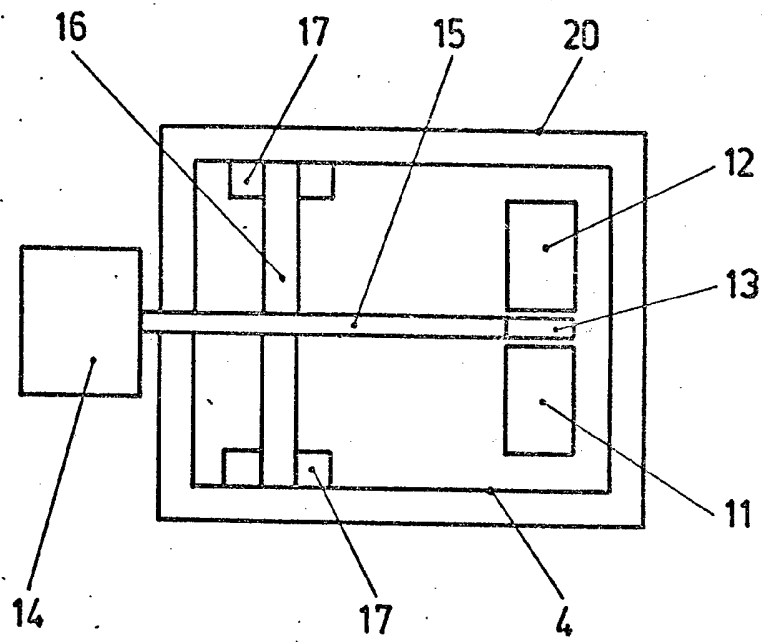
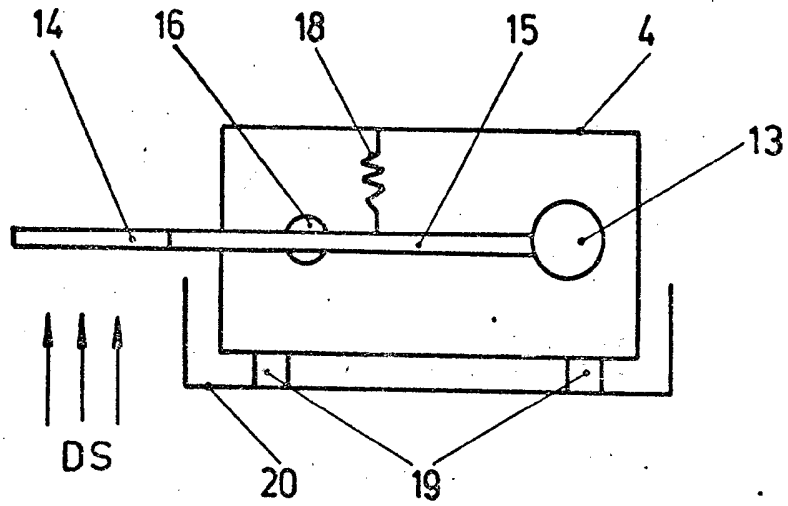


Fig. 4