



(12) Wirtschaftspatent

Korrigiert gemäß § 23 Absatz 2 Anordnung  
über die Verfahren vor dem Patentamt

(19) DD (11) 206 960 C2

4(51) B 23 K 15/00

## AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

---

(21)	WP B 23 K / 233 291 2	(22)	15 09 81	(45)	11 11 87
				(45)	21 01 87
				(44)	15 02 84

---

(71) siehe (72)

(72) Mauer, Karl Otto, Dr -Ing , Block 378/11, Halle-Neustadt, 4090, DD

**(54) Verfahren zur Zentrierung eines Ladungsträgerstrahles**


---

(57) Die Erfindung bezieht sich auf die Zentrierung von Ladungsträgerstrahlen innerhalb der Strahlenkanone. Ziel ist, die Arbeitsproduktivität zu erhöhen und die Erzeugnisqualität zu verbessern. Die Aufgabe, ein Verfahren zur Zentrierung eines Ladungsträgerstrahles zu entwickeln, wird dadurch gelöst, daß aus dem linienförmigen Ladungsträgerstrahl elektronisch mit hoher Geschwindigkeit eine quasistationäre, räumliche Strahlförmigkeit beliebiger Gestalt im Koordinatensystem x-y-z erzeugt wird und in die X-Y-Ebene senkrecht zur elektronenoptischen Achse die mit Markierungen beliebiger Gestalt und Verteilung versehene Ebene eines massiven Körpers derart angeordnet wird, daß der Ladungsträgerstrahl diese Markierungen trifft, wobei gleichzeitig die durch die Zentrierungsspulen für die X- und Y-Richtung fließenden Gleichströme in schrittweiser Näherung von Hand oder automatisch derart variiert werden, daß die im Meßsignal entstehenden Markierungsimpulse bei Unter-, Scharf- und Überfokussierung ihren Abstand zueinander sowie ihre Amplitude nicht mehr verändern.

### **Erfindungsanspruch.**

Verfahren zur Zentrierung eines Ladungsträgerstrahles innerhalb der Strahlenkanone, auch für hohe Strahlleistungen, unter Verwendung des Elektronenrückstreustromes als Meßsignal und bei periodischer Änderung der Strahlfokussierung, insbesondere zum Schweißen, Schneiden, Spritzen und Werkstoffbearbeitung, **gekennzeichnet dadurch**, daß aus dem linienförmigen Ladungsträgerstrahl elektronisch mit hoher Geschwindigkeit eine quasistationäre, räumliche Strahlfigur beliebiger Gestalt im Koordinatensystem  $x-y-z$  erzeugt wird und in die X-Y-Ebene senkrecht zur elektronenoptischen Achse die mit Markierungen beliebiger Gestalt und Verteilung versehene Ebene eines massiven Körpers derart angeordnet wird, daß der Ladungsträgerstrahl diese Markierungen trifft, wobei gleichzeitig die durch die Zentrierungsspulen (12) für die X- und Y-Richtung fließenden Gleichströme in schrittweiser Näherung von Hand oder automatisch derart variiert werden, daß die im Meßsignal entstehenden Markierungsimpulse bei Unter-, Scharf- und Überfokussierung ihren Abstand zueinander sowie ihre Amplitude nicht mehr verändern.

Hierzu 1 Seite Zeichnungen

### **Anwendungsgebiet der Erfindung**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Zentrierung eines Ladungsträgerstrahles innerhalb der Strahlenkanone, auch für hohe Strahlleistungen, unter Verwendung des Elektronenrückstreustromes als Meßsignal und bei periodischer Änderung der Strahlfokussierung, insbesondere zum Schweißen, Schneiden, Spritzen und Werkstoffbearbeitung.

### **Charakteristik der bekannten technischen Lösungen**

Es ist bereits bekannt, die Zentrierung eines Ladungsträgerstrahles innerhalb der Strahlenkanone nach subjektiven Kriterien durch den Anlagenbediener einzustellen. Jede Ladungsträgerstrahlkanone besitzt eine elektronenoptische Achse (gedachte Linie), um die alle zur Elektronenoptik gehörenden Bauteile konzentrisch verlaufen müssen (Katode, Wehneltzylinder mit Bohrung, Zentrierungssystem, Fokussierungsspule und Ablenkspulen). Ist das nicht der Fall, so führt das unmittelbar zu „Abbildungsfehlern“ und dementsprechend zur Verzerrung der Leistungsdichteverteilung in der Umgebung des Strahlfokusses. Waren die Abweichungen der zur Elektronenoptik gehörenden Bauteile bezüglich der elektronenoptischen Achse für eine vorhandene Strahlenkanone unter der Voraussetzung hinreichend kleiner Toleranzen stets unverändert, so wurde man mit gleichen technologischen Parametern auch etwa gleiche technologische Prozeßergebnisse erreichen. Jeder Katodenwechsel führt aber dazu, daß die Katode und, in Abhängigkeit von der Konstruktion, auch der Wehneltzylinder nicht mehr, wie genau vorher, konzentrisch um die elektronenoptische Achse verlaufen, so daß bei gleichen Prozeßparametern mit erheblichen Abweichungen im Prozeßergebnis zu rechnen ist. Die Prozeßparameter können nicht einfach durch den Operator dem jeweiligen Zentrierungszustand der Kanone angepaßt werden. Zum Ausgleich dieser Einstelltoleranzen nach jedem Katodenwechsel werden Ladungsträgerstrahlkanonen meist mit Zentrierungsspulen ausgerüstet. Dabei handelt es sich um vier Elektromagneten, die unmittelbar um die Anodenbohrung oder auch gleich unterhalb dieser angeordnet sind und eine Verschiebung des Ladungsträgerstrahles innerhalb der Strahlenkanone in Abhängigkeit von der Stromstärke und Stromrichtung durch die Elektromagneten in der X-Y-Ebene (senkrecht zur Strahlachse) gestatten. Die Auswahl der Stromstärke und Stromrichtungen durch die Zentrierungsspulen erfolgt grundsätzlich nur einmal nach jedem Katodenwechsel oder Eingriff in die Ladungsträgerstrahlkanone und soll reproduzierbare technologische Prozeßergebnisse ermöglichen. Bei der subjektiven Verfahrensweise werden der Ladungsträgerstrahl bezüglich der Werkstückebene periodisch unter- und überfokussiert und gleichzeitig die durch die Zentrierungsspulen X- und Y-Richtung fließenden Gleichströme so lange variiert, bis der linienförmige Ladungsträgerstrahl bei Ausführung dieser Operation in der X-Y-Ebene des Werkstückes eine unveränderte Position einnimmt.

Nachteilig bei dieser Verfahrensweise ist die ungenügende Reproduzierbarkeit und Verschiebungen des linienförmigen Ladungsträgerstrahles lassen sich praktisch nur in der Ebene quer zur Blickrichtung des Operators wahrnehmen. Da Meßmittel nicht vorgesehen sind, werden hohe Anforderungen an die fachliche Qualifikation und praktische Erfahrung des Anlagenbedieners gestellt. Mit zunehmender Strahlleistung sinkt die Genauigkeit bei dieser Verfahrensweise, da vom Strahlauftreffort gleichzeitig eine intensive Lichtemission ausgeht, die den Operator in der Beobachtung behindert. Ein bei geringer Strahlleistung zentrierter Ladungsträgerstrahl ist aber in der Regel bei höheren Strahlleistungen nicht mehr exakt zentriert. Das wirkt sich auf alle Verfahren zur Strahl-Stoß-Positionierung negativ aus, die bei kleinen Strahlleistungen positionieren und den technologischen Prozeß bei höheren Strahlleistungen ausführen.

Es ist auch bekannt, die durch die Einwirkung des Ladungsträgerstrahles vom Prozeßort ausgehende Sekundäremission (Rückstreu-, Werkstück- und Ionenstrom) zu messen und die Änderung einzelner Komponenten dieser Meßsignale (Frequenz, Amplitude und Impulslänge des Wechselstromes sowie Gleichstrom) in Abhängigkeit von der Leistungsdichte und ihrer Verteilung in der Umgebung des Arbeitsflecks, die wesentlich durch die Strahlzentrierung beeinflußt werden, als Einstellkriterium zu nutzen. Alle diese Verfahren basieren auf der Erreichung der für gegebene Prozeßbedingungen maximal möglichen Leistungsdichte im Arbeitsfleck, bei der die einzelnen Meßsignal-Komponenten einen charakteristischen Wendepunkt aufweisen (Frequenzmaximum, Amplituden-, Impuls- und Gleichstromminimum). Die Verfahrensausübung geschieht von Hand oder automatisch nach der Methode der schrittweisen Näherung. Besonders bei Messung und Auswertung des Ionenstromes sind auch hohe Strahlleistungen möglich. Auch diese Verfahren stellen hohe Anforderungen an die fachliche Qualifikation und praktische Erfahrung des Anlagenbedieners, da die Schmelzbaddynamik und damit die Meßwertänderung bei maximaler Leistungsdichte im Arbeitsfleck am größten sind.

### Ziel der Erfindung

Es ist Ziel der Erfindung, ein Verfahren zur Zentrierung eines Ladungsträgerstrahles innerhalb der Strahlkanone zu schaffen, welches auch ohne spezielle Kenntnisse und Erfahrungen des Operators einen hohen Grad der Reproduzierbarkeit gewährleistet und die Erzeugnisqualität und Arbeitsproduktivität verbessert

### Das Wesen der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Zentrierung eines Ladungsträgerstrahles innerhalb der Strahlkanone zu entwickeln, wobei Maßnahmen vorzuschlagen sind, die auf einfache Weise im gesamten Strahlleistungsbereich einen hohen Grad der Reproduzierbarkeit gewährleisten und einen weitgehend automatischen Prozeßablauf ermöglichen

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß aus dem linienförmigen Ladungsträgerstrahl mit Hilfe des Ablenkensystems der Strahlkanone elektronisch mit hoher Geschwindigkeit eine quasistationäre, räumliche Strahlfigur im Koordinatensystem X-Y-Z erzeugt wird, wobei die Z-Achse des Koordinatensystems mit der elektronenoptischen Achse der Strahlkanone zusammenfällt. Die räumliche Strahlfigur kann prinzipiell beliebiger Gestalt sein und wird am besten als Ablenkfigur in der X-Y-Ebene beschrieben. Zu diesen Ablenkfiguren gehören auch der Kreis, die Ellipse, Acht, Doppelparabel, das Dreieck, der Buchstabe S. Die räumliche Strahlfigur ermöglicht das räumliche Erfassen der Strahlzentrierung und bewirkt gleichzeitig den Abbau der hohen Leistungsdichte durch schnelle Verteilung der Strahlleistung.

Senkrecht zur elektronenoptischen Achse wird die mit Markierungen versehene Ebene eines massiven Körpers, die mit der X-Y-Ebene zusammenfällt, als Hilfsmittel derart angeordnet, daß der sich durch die elektrische Ablenkung bewegende Ladungsträgerstrahl diese Markierungen trifft. Die Markierungen können prinzipiell in der X-Y-Ebene beliebig verteilt sein und beliebige Gestalt haben.

Zu derartigen Markierungen gehören auch der Kreuz- oder Doppelkreuzspalt, schmale, geradlinig oder gekrümmt verlaufende, durchgehende oder unterbrochene Erhebungen, einzelne Spitzen, Kegel, Kegelstumpfe, Buckel. Die Verteilung der Markierungen in der X-Y-Ebene geschieht in Abstimmung auf die räumliche Strahlfigur und dient zum räumlichen Erfassen der Strahlzentrierung. Der massive Körper hat Bedeutung für die Abfuhr der Wärmeenergie, insbesondere bei hohen Strahlleistungen.

Die im Elektronenruckstreustrom als Meßsignal enthaltenen Markierungsimpulse, die entstehen, wenn der Ladungsträgerstrahl die Markierungen trifft, werden zur Bewertung der Strahlzentrierung direkt oder über eine elektronische Schaltanordnung zur Festlegung definierter Meßbedingungen als Leuchtpunkte auf dem Bildschirm eines mit der Strahlableitung synchronisierten Oszillographen dargestellt oder bei Messung ihres zeitlichen Abstandes einem entsprechenden Analog- oder Digitalmeßgerät zugeführt.

Die Auswahl der Zentrierungsstromstärken und -richtungen (Stellgrößen) in den Zentrierungsspulen für die X- und Y-Richtung erfolgt abwechselnd in schrittweiser Näherung von Hand oder automatisch derart, daß die Markierungsimpulse bei Unter-, Scharf- und Überfokussierung ihren Abstand zueinander nicht mehr verändern. Dementsprechend behalten bei periodischer Änderung der Strahlfokussierung die Leuchtpunkte auf der Bildschirmfigur ihre Lage unverändert bei und auch der zeitliche Abstand zwischen den jeweiligen Markierungsimpulsen bleibt gleich.

Es ist auch möglich, die Amplitude der Markierungsimpulse als Meßkriterium zu nutzen und die Zentrierungseinstellung des Ladungsträgerstrahles in schrittweiser Näherung derart vorzunehmen, daß sich die Impulsamplituden bei Änderung der Strahlfokussierung nicht mehr verändern.

### Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. Die zugehörige Zeichnung zeigt ein Schema zur Strahlzentrierung innerhalb einer Elektronenstrahlenschweißkanone.

Der von der Schweißkanone 1 erzeugte Elektronenstrahl ES trifft auf den im Arbeitsabstand  $a$  angeordneten Kupfer-Zylinder 2, in den als Markierungen ein Kreuzspalt 3 von 0,3 mm Breite und 10 mm Tiefe eingearbeitet ist. Der Kupfer-Zylinder 2 ist so positioniert, daß die elektronenoptische Achse 4 der Schweißkanone 1 senkrecht durch den Spaltkreuzungspunkt verläuft und der Kreuzspalt 3 mit der X- sowie Y-Achse zusammenfällt.

Gleichzeitig wird aus dem linienförmigen Elektronenstrahl ES elektronisch eine quasistationäre, räumliche Strahlfigur in Form eines Kegelmantels erzeugt, indem dem X-Y-Ablenkensystem 5 der Schweißkanone 1 über Leistungsverstärker LV gegeneinander um  $90^\circ$  phasenverschobene, sinusförmige Ablenkströme  $I_{Ax}$  und  $I_{Ay}$  zugeführt werden. In der X-Y-Ebene, die mit der Ebene des Kupfer-Zylinders 2 zusammenfällt, rotiert der Elektronenstrahl ES dabei auf einer Kreisbahn 6. Der Durchmesser der Kreisbahn 6 sowie die Frequenz der sinusförmigen Ablenkströme  $I_{Ax}$  und  $I_{Ay}$  sind derart auf die Leistung des Elektronenstrahles ES abgestimmt, daß die Oberfläche des Kupfer-Zylinders 2 auch bei Scharffokussierung nicht aufgeschmolzen wird. Über induktivitätsarme Widerstände  $R_x$  und  $R_y$  von  $\leq 1 \Omega$  werden den sinusförmigen Ablenkströmen  $I_{Ax}$  und  $I_{Ay}$  proportionale Meßspannungen  $U_{Ax}$  und  $U_{Ay}$  abgegriffen und dem X- und Y-Eingang eines Elektronenstrahloszillographen EO zugeführt. Bei gleicher Verstärkung wird auf dem Bildschirm 7 ein mit dem Elektronenstrahl ES synchronisierter Kreis 8 abgebildet, dessen Mittelpunkt mit dem Fadenkreuzungspunkt des Bildschirms 7 zusammenfällt. Zur Erzielung einer hohen Empfindlichkeit wird zwischen den Durchmessern der Kreise 8 und 6 ein Vergrößerungsmaßstab von 10:1 verwendet. Eine zusätzliche Empfindlichkeitssteigerung ergibt sich bei zunehmendem Abstand  $a$ .

Weiterhin ist unter der Schweißkanone 1 ein ebener Kreisringauffänger 9 für den Elektronenruckstreustrom  $I_R$  derart mit Isolatoren 10 befestigt, daß die Ebenen des Kreisringauffängers 9 sowie des Kupfer-Zylinders 2 parallel sind und die elektronenoptische Achse 4 der Schweißkanone 1 senkrecht durch den Mittelpunkt des Kreisringauffängers 9 verläuft. Der am Widerstand  $R$  abgegriffene, dem Elektronenruckstreustrom  $I_R$  proportionale Spannungsabfall gelangt zu einer elektronischen Schaltanordnung ESA, bestehend aus Verstärker, Komparator und Gleichrichterdiode, in der aus den Impulsen des Rückstreustromes  $I_R$  zeitlich synchron, kurze, negative Rechteckimpulse konstanter Amplitude gewonnen werden, die zum

Z-Eingang des Ostzillographen EO gelangen und der Helligkeitsmodulation dienen. Dadurch entstehen genau in den Augenblicken, in denen der Elektronenstrahl ES den jeweiligen Kreuzspalt 3 durchläuft, auf dem vom Bildschirm 7 wiedergegebenen Kreis 8 Leuchtpunkte. Bei falscher Zentrierung des Elektronenstrahles ES verschiebt sich der auf dem Kupfer-Zylinder 2 rotierende Kreis 6 bei Änderungen des Fokussierungsstromes  $I_F$ , für die Fokussierungslinse 11 in der X-Y-Ebene zum Kreis 6', da die Strahlachse nicht genau mit der elektronenoptischen Achse 4 zusammenfällt. Die Fokussierungslinse 11 wirkt in diesem Fall als Ablenkspule. Der Mittelpunkt des Kreises 6' fällt nicht mehr mit dem Spaltkreuzungspunkt zusammen, so daß der Elektronenstrahl ES den Kreuzspalt 3 in unterschiedlichen Zeitintervallen durchläuft und die Leuchtpunkte auf dem Kreis 8 des Bildschirms 7, bezogen auf den Kreisumfang, ungleiche Abstände haben.

Die Einstellung der Zentrierung des Elektronenstrahles ES innerhalb der Schweißkanone 1 erfolgt über die den Zentrierungsspulen 12 zugeführten Zentrierungsströme  $I_{Zx}$  und  $I_{Zy}$  in schrittweiser Näherung derart, daß die Leuchtpunkte auf dem vom Bildschirm 7 wiedergegebenen Kreis 8 für Unter-, Scharf- und Überfokussierung des Elektronenstrahles ES genau im Fadenkreuz des Bildschirms 7 liegen.

Der zeitliche Abstand zwischen den jeweiligen Markierungsimpulsen bleibt somit bei periodischer Änderung der Strahlfokussierung unverändert.

In Betracht gezogene Druckschriften:

DD-PS 110198 (B 23K, 15/00)

DE-PS 2220335 (B 23K, 15/00)

DE-OS 1943206 (49h, 15/00)

