



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 19 420 T2** 2004.09.02

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 891 836 B1**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **B23K 11/25**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 19 420.9**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 305 423.0**

(96) Europäischer Anmeldetag: **08.07.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **20.01.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **05.11.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **02.09.2004**

(30) Unionspriorität:

**18874497      14.07.1997      JP**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, ES, FR, GB, IT**

(73) Patentinhaber:

**Nadex Co., Ltd., Nagoya, JP**

(72) Erfinder:

**Hasegawa, Hiroshi, Nagoya-shi, Aichi-ken, JP;**

**Furukawa, Masatoshi, Nagoya-shi, Aichi-ken, JP**

(74) Vertreter:

**Maikowski & Ninnemann, Pat.-Anw., 10707 Berlin**

(54) Bezeichnung: **Elektrisches Widerstandschweisssystem**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Die vorliegenden Lehren betreffen eine Technik zum Schweißen von Werkstücken durch Einsatz elektrischer Widerstandsheizung, die durch Fließen von elektrischem Strom durch die Werkstücke erzeugt wird.

**BESCHREIBUNG DES STANDS DER TECHNIK**

[0002] Bekannte Schweißsysteme dieser Art umfassen im allgemeinen ein Elektrodenpaar zum Halten von Werkstücken, eine elektrische Stromquelle zur Erzeugung eines Schweiß-Stromflusses, der mittels des Elektrodenpaares durch die Werkstücke fließen kann und ein Kontrollelement zum Kontrollieren der elektrischen Stromquelle und des Stromflusses, der dadurch erzeugt wird. Um eine robuste Schweißung zu erzeugen, muß die Schweißleistung kontrolliert werden. Wenn die Schweißleistung, die dem Werkstück zugeführt wird, zu groß ist, kann die Schweißstelle spritzen und dadurch eine robuste Schweißung verhindern. Wenn die Schweißleistung andererseits zu gering ist, reduziert unzureichende Erhitzung an der Schweißstelle die Schweißqualität. Früher wurde die Schweißleistung durch Einstellen von entweder des Schweiß-Stromflusses oder der Schweiß-Spannung kontrolliert.

[0003] Es wurden verschiedene Arten vorbestimmter Werte zum Kontrollieren der Leistungsmenge verwendet, die der Schweißstelle zugeführt wird. Zum Beispiel wird Schweiß-Stromfluß im allgemeinen als derartiger vorbestimmter Wert genutzt. In diesem Fall wird der Schweiß-Stromfluß überwacht und erhöht, wenn er zu gering ist, um eine robuste Schweißung zu erzeugen. Der Schweiß-Stromfluß wird reduziert, wenn die Schweißleistung zu groß ist, um eine Überhitzung des Werkstücks zu verhindern.

[0004] Es müssen jedoch verschiedene Arten von Werkstücken geschweißt werden, und ein Optimalwert oder ein vorbestimmter Standardwert hängt von der Zusammensetzung des Werkstückmaterials ab, einschließlich davon, ob die Werkstücke beschichtet sind oder nicht. Bei bekannten Schweißtechniken könnten, wenn der Schweiß-Stromfluß als der vorbestimmte Wert verwendet wird, vorbestimmte Schweiß-Stromflußwerte infolge einer Variation der Werkstückzusammensetzung zu groß oder zu gering sein. Daher muß ein vorbestimmter Standardstromflußwert für jede Art von Werkstücken, die geschweißt werden, unabhängig bestimmt werden. Bei Anwendung dieser bekannten Schweißtechniken erfordert die Bestimmung des Standardstromflußwerts typischerweise eine große Anzahl von Versuchen.

[0005] Weiterhin muß, selbst wenn der Standardwert des vorbestimmten Werts auf der Grundlage von Versuchsergebnissen vorbestimmt wurde, ein Ausgleich für den Standardwert vorgesehen sein, wäh-

rend die Schweiß-Operationen weitergehen, weil sich der Widerstand der Schweißelektroden nach wiederholten Schweiß-Operationen gewöhnlich ändert. Wenn die Elektroden abgenutzt sind, kann eine robuste Schweißung nicht einfach durch Kontrollieren des Schweiß-Stromflusses auf der Grundlage des Standardwerts hergestellt werden, der bestimmt wurde, bevor die Elektroden durch wiederholte Schweiß-Operationen abgenutzt wurden. Es ist daher auch bekannt, daß die Bestimmung einer Technik zum Ausgleichen des Standardwerts gemäß der Abnutzung der Elektroden eine große Anzahl von Versuchen erfordert.

**DEFINITION DER ERFINDUNG**

[0006] Die Erfindung ist in Anspruch 1 und 5 definiert.

**KURZDARSTELLUNG DER LEHREN**

[0007] Es ist dementsprechend eine Aufgabe der vorliegenden Lehren, einen vorbestimmten Wert zum Schweißen von Werkstücken bereitzustellen, der nicht durch Variationen bei Werkstückmaterialien und bei der Abnutzung von Elektroden beeinträchtigt ist, um dadurch die Erfordernis zu vermeiden, Variationen bei Werkstückmaterialien und bei der Abnutzung der Elektroden auszugleichen. Wenn ein derartiger vorbestimmter Wert verwendet wird, können robuste Schweißungen durch Überwachung des vorbestimmten Standardwerts in konsistenter Weise hergestellt werden.

[0008] Gemäß den vorliegenden Lehren wird eine Gesamtleistung pro Volumeneinheit des Werkstücks als der vorbestimmte Wert verwendet. In dieser Beschreibung soll Leistung Leistung zur Widerstandsheizung von Werkstücken bedeuten, und die Menge der Leistung ist durch  $V \cdot I$  ( $= I^2 R$ ) angegeben. Durch Vorbestimmen der Gesamtleistung, die zum Erzeugen einer robusten Schweißung notwendig ist, und späterem Zuführen derselben Gesamtleistungsmenge pro Volumeneinheit an jede Schweißstelle für eine vorgegebene Werkstückzusammensetzung können robuste Schweißungen ungeachtet von Variationen bei Werkstückmaterialien und bei der Abnutzung von Elektroden in konsistenter Weise hergestellt werden. Nach der Durchführung verschiedener Versuche, bei denen Werte der Gesamtleistung pro Volumeneinheit des Werkstücks verändert wurden, wurde bestätigt, daß robuste Schweißungen ungeachtet von Variationen bei Werkstückmaterialien und bei der Abnutzung von Elektroden hergestellt werden konnten, wenn den Werkstücken die Gesamtleistung pro Volumeneinheit innerhalb eines vorbestimmten Bereichs zugeführt wird.

[0009] Weil sich die Kontaktfläche zwischen den Elektroden und dem Werkstück verändert, wenn die Elektrode abgenutzt ist, wurde es früher als schwierig erachtet, eine einzelne vorbestimmte Gesamtleis-

tung pro Volumeneinheit für Werkstücke zu berechnen, die für die Lebensdauer der Elektroden verwendet werden konnte. Wenn sich jedoch gemäß der vorliegenden Lehren der leitende Querschnitt der Werkstücke aufgrund von Veränderung der Kontaktfläche der Elektrode mit dem Werkstück ändert, ändert sich auch die Schweißleistung, die dem Werkstück zugeführt wird, entsprechend der Kontaktflächenveränderung. Nach der Durchführung bestimmter Berechnungen können diese Änderungen jedoch so vorgenommen werden, daß sie sich aufheben und für den vorbestimmten Gesamtleistungswert, der dem Werkstück zugeführt wird, unerheblich sind. Infolgedessen ändert sich die bevorzugte Gesamtleistung pro Volumeneinheit des Werkstücks nicht, wenn sich die Kontaktfläche der Elektrode mit dem Werkstück aufgrund von Abnutzung verändert.

[0010] Daher wird die Gesamtleistung pro Volumeneinheit als der vorbestimmte Wert zum Kontrollieren der Schweißleistung gemäß der vorliegenden Lehren verwendet. Wenn ein vorbestimmter Standardwert für den vorbestimmten Wert bestimmt ist, der robuste Schweißungen für ein besonderes Werkstückmaterial erzeugt, erzeugt dieser vorbestimmte Standardwert ungeachtet von Variationen bei Werkstückmaterialien und bei der Abnutzung der Elektroden robuste Schweißungen, wodurch ermöglicht wird, robuste Schweißungen in konsistenter Weise zu erzielen.

[0011] In einem ersten bevorzugten Aspekt der vorliegenden Lehren wird die Gesamtleistung pro Volumeneinheit der Werkstücke auf der Grundlage der kombinierten Dicke der Werkstücke, die geschweißt werden, und der Zeit, die zum Erzeugen einer robusten Schweißung erforderlich ist, berechnet. Variationen bei den Werkstückmaterialien und bei der Abnutzung der Elektroden sind für die vorliegenden Berechnungen im allgemeinen unerheblich. Die meisten Werkstücke können dann unter Nutzung dieser Technik in befriedigender Weise geschweißt werden.

[0012] In einem weiteren bevorzugten Aspekt werden Leistung pro Volumeneinheit und per Zeiteinheit während der Schweißperiode einem Modell entsprechend berechnet, in dem die Schweißleistung während der ersten Hälfte der Schweißperiode auf einen ersten Wert und während der zweiten Hälfte der Schweißperiode auf einen zweiten, niedrigeren Wert eingestellt wird. Durch relativ hohes Einstellen der Leistung pro Volumeneinheit und pro Zeiteinheit während der ersten Hälfte der Schweißperiode kann die Temperatur des Werkstücks in einer kurzen Zeit erhöht werden, wodurch ein Kurzzeitschweißen ermöglicht ist. Außerdem kann durch Reduzieren der Leistung während der zweiten Hälfte der Schweißperiode eine Überhitzung des Werkstücks vermieden werden, wodurch sichergestellt ist, daß eine robuste Schweißung erfolgt. Daher kann in diesem bevorzugten Aspekt dem Werkstück die erforderliche Gesamtleistung pro Volumeneinheit in einem relativ kurzen Zeitraum zugeführt werden.

[0013] In einem zweiten Aspekt der vorliegenden

Lehren wird die Leistung pro Volumeneinheit, die dem Werkstück zugeführt wird, gemessen. Dieser gemessene Wert kann dann mit dem Wert verglichen werden, der gemäß dem ersten Aspekt berechnet wurde, um zu bestimmen, ob eine robuste Schweißung hergestellt wurde oder nicht.

[0014] Infolgedessen kann eine Schweißqualität ohne Berücksichtigung von Variationen bei Werkstückmaterialien und bei der Abnutzung von Elektroden konsistent bestimmt sein. Daher gestatten die vorliegenden Lehren, daß Schweißdefekte leicht und genau identifiziert werden.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0015] **Fig. 1** ist ein Blockdiagramm, das eine bevorzugte Ausführungsform eines Widerstandsschweißsystems zeigt, welches gemäß den vorliegenden Lehren aufgebaut ist;

[0016] **Fig. 2** ist ein Ablaufdiagramm, das Verarbeitungsschritte zeigt, die gemäß der bevorzugten Ausführungsform ausgeführt werden können; und

[0017] **Fig. 3** ist eine Graphik, die Beispiele der Beziehung zwischen den Verarbeitungsschritten und Zyklus-für-Zyklus-Leistung bezüglich der Gesamtleistung zeigt.

## DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0018] Es wird nun ein bevorzugtes Beispiel zum Berechnen von Leistung „Q“ pro Volumeneinheit gemäß der vorliegenden Lehren beschrieben. Die folgenden Zeichen werden zur einfachen Bezugnahme in dieser Beschreibung verwendet:

„t“ bezeichnet die Gesamtdicke eines Werkstückpaars;

„r“ bezeichnet den elektrischen Widerstand der Werkstücke;

„V“ bezeichnet die Spannung zwischen den Elektroden, die den Werkstücken zugeführt wird;

„I“ bezeichnet den Schweiß-Stromfluß, der durch die Werkstücke fließt;

„S“ bezeichnet die Kontaktfläche der Elektroden mit dem Werkstück.

[0019] In diesem Fall fließt der Schweiß-Stromfluß durch einen Querschnitt der Werkstücke, der säulenförmig ist und die Querschnittfläche „S“ aufweist, und der Widerstand der Werkstücke in diesem Querschnitt erzeugt Erhitzung dort hindurch, wenn der Stromfluß zugeführt ist. Leistung „q“ pro Volumeneinheit und Zeiteinheit, die dem säulenförmigen Abschnitt der Werkstücke zugeführt wird, kann durch die folgende Gleichung berechnet werden:

$$q = (V \cdot I) / (S \cdot t) \quad (1).$$

[0020] Des weiteren wird der elektrische Widerstand R des säulenförmigen Abschnitts durch die folgende Gleichung erhalten:

$$R = (r \cdot t) / S \quad (2).$$

[0021] Wenn Gleichung (2) durch Einsetzen des Verhältnisses von S zu R, r und t in Gleichung (1) gelöst wird, ergibt sich folgende Beziehung:

$$q = (V \cdot I \cdot R) / (r \cdot t^2) = (V^2) / (r \cdot t^2) \quad (3).$$

[0022] Daher kann Leistung (q) pro Volumeneinheit und pro Zeiteinheit auf der Grundlage der Spannung V zwischen den Elektroden und der Gesamtdicke t der Werkstücke berechnet werden, und daher wird dieser Wert nicht durch die Kontaktfläche S der Elektrode mit dem Werkstück beeinträchtigt.

[0023] Der Fachmann wird erkennen, daß in Gleichung (3) Leistung q auf der Grundlage der Spannung V zwischen den Elektroden berechnet wird. Leistung q kann jedoch auch auf der Grundlage des Stromflusses I zwischen den Elektroden durch Einsetzen von  $V = I \cdot R$  in Gleichung (3) berechnet werden. Außerdem ist, wie oben angeführt, die Kontaktfläche S der Elektrode mit dem Werkstück für die Berechnung der Leistung pro Volumeneinheit pro Zeiteinheit oder der Gesamtleistung Q pro Volumeneinheit, die den Werkstücken zugeführt wird, unerheblich.

[0024] In den vorliegenden Lehren wird die Gesamtleistung Q pro Volumeneinheit als ein vorbestimmter Wert benutzt. Dieser Wert wird durch Addieren der Leistung q, die in jeder Zeiteinheit während der gesamten Schweißperiode zugeführt wird, berechnet. Die Gesamtschweißleistung, die den Werkstücken zugeführt wird, wird auf der Grundlage des vorbestimmten Werts eingestellt.

[0025] Es wird nun eine erste Ausführungsform der vorliegenden Lehren beschrieben. **Fig. 1** ist eine Ansicht, die einen Gesamtaufbau eines Widerstandsschweißsystems zeigt, das mit einer Netzstromquelle **10** verwendet werden kann. Ein Thyristor **26** ist zum Ändern des Schweiß-Stromflusses durch Einstellen eines Zündwinkels vorgesehen, der die Phase der WS-Stromversorgung bezeichnet, in der dem Thyristor ein „Ein“-Signal zugeführt wird. Schweiß-Stromfluß, der durch den Thyristor **26** eingestellt ist, wird durch einen Schweiß-Transformator **30** in eine Schweißleistung mit niedriger Spannung und großem Stromfluß transformiert. Der Schweiß-Stromfluß fließt dann durch Werkstücke **60**, die zwischen einem Paar Elektroden **51** und **52** gehalten sind. Eine Einspannkraft, die zum Halten der Werkstücke **60** zwischen dem Paar Elektroden **51** und **52** vorgesehen ist, kann durch vielerlei Mittel reguliert sein, die in der Technik bekannt sind. Ein großer Stromfluß fließt vorzugsweise durch die Werkstücke **60**, um eine Widerstandsheizung der Werkstücke **60** zu bewirken, wobei die Widerstandsheizung ein Schweißen der Werkstücke **60** ermöglicht.

[0026] Die Spannung durch das Paar Elektroden **51** und **52** wird durch einen Spannungsmesser **40** gemessen. Die gemessene Spannung wird durch einen

A/D-Umwandler **24** vorzugsweise in ein digitales Signal umgewandelt und dann einer CPU **23** zugeführt. Die CPU kann entsprechend einem Kontrollprogramm kontrolliert sein, das in einem Festwertspeicher **21** gespeichert ist, so daß Leistung pro Zeiteinheit (in dieser Ausführungsform ist ein Zyklus die Zeiteinheit) und pro Volumeneinheit durch Kontrollieren des Zündwinkels des Thyristors eingestellt werden können. Vorzugsweise ist eine E/A-Schnittstelle **25** zum Zünden des Thyristors **26** durch ein Zündsignal vorgesehen, das von der CPU **23** ausgegeben wird.

[0027] Ein Arbeitsspeicher **22** kann zum vorübergehenden Speichern verschiedener Arten von Daten genutzt werden. Das Kontrollprogramm, das in dem Festwertspeicher **21** gespeichert ist, dient dazu, einen Arbeitsprozeß auszuführen, der durch ein Ablaufdiagramm in **Fig. 2** gezeigt ist. Dieser Prozess wird ausgeführt, wenn die Schweiß-Operation durchgeführt wird.

[0028] Der Fachmann wird erkennen, daß die vorliegenden Lehren mit einem analogen Signalverarbeitungssystem oder einem gemischten analog/digitalem Signalverarbeitungssystem verwendet werden können. Die besonderen Schaltungen und Techniken zum Erzielen der vorliegenden Lehren können in hohem Maße von der bevorzugten Ausführungsform abweichen, ohne vom Anwendungsbereich der Erfindung, wie in den Ansprüchen definiert, abzuweichen.

[0029] Es wird nun unter Bezugnahme auf das Ablaufdiagramm von **Fig. 2** ein repräsentatives Kontrollprogramm zur Durchführung einer Schweiß-Operation entsprechend der vorliegenden Lehren beschrieben.

[0030] Zunächst wird in Schritt S1 die Gesamtleistung Q pro Volumeneinheit, die zum befriedigenden Schweißen des Werkstücks erforderlich ist, auf der Grundlage der Gesamtdicke t und dem Gesamtzeitbetrag, in dem die Schweiß-Operation abläuft, berechnet, welcher in diesem Fall die Gesamtanzahl von Schweißzyklen c des WS-Netzstroms **10** ist.

[0031] Auf der Grundlage von Versuchen, bei denen die Werkstückarten und die Gesamtdicke der Werkstücke verändert wurden, kann die Gesamtleistung Q pro Volumeneinheit, die zum Erzeugen robuster Schweißungen erforderlich ist, auf der Grundlage der Gesamtdicke der Werkstücke und der Schweißzeit (der Anzahl von Schweißzyklen c) bestimmt werden:

$$Q = Q_0 + k \cdot c / t \quad (4),$$

wobei c die Anzahl der Schweißzyklen, t die Gesamtdicke der Werkstücke,  $Q_0$  eine Konstante, die sich vorzugsweise in einem Bereich von 1 bis 100 J/mm<sup>3</sup> bewegt, und k ein Koeffizient ist, der sich vorzugsweise in einem Bereich von 0 bis 10 J/(c·mm<sup>2</sup>) bewegt. Vorzugsweise ist, wenn das Werkstück aus Eisen hergestellt ist,  $Q = 9 \text{ J/mm}^3$  und  $k = 2,6 \text{ J/(c·mm}^2\text{)}$ . In diesem Fall kann ein Wert des Koeffizienten k durch das Verhältnis Widerstandsheizungsleis-

tung/(Schweißperiode·mm<sup>2</sup>) angegeben sein.

[0032] Entsprechend dem Versuchsergebnis, das auf der Grundlage der vorliegenden Lehren erzielt wurde, werden, wenn die Gesamtleistung Q auf einen vorbestimmten Wert eingestellt ist, der aus Gleichung (4) erhalten wird, robuste Schweißungen in konsistenter Weise hergestellt, ungeachtet von Variablen wie Werkstückmaterialien, Vorhandensein oder Fehlen der Beschichtung, Materialien der Beschichtung, Abnutzung der Elektroden **51** und **52** und Größenordnung der Einspannkraft zwischen den Elektroden **51** und **52**. Früher wurde Schweißleistung durch eine Erscheinung kontrolliert, die auf einer Zeiteinheitgrundlage vorkommt. Zum Beispiel wurde Schweiß-Stromfluß als der vorbestimmte Wert zur Kontrolle der Schweißleistung ausgewählt. Im Gegensatz dazu wird gemäß der vorliegenden Lehren Gesamtleistung als der vorbestimmte Wert anstelle der Erscheinung verwendet, die auf einer Zeiteinheitgrundlage vorkommt. Diese Änderung ermöglicht, daß robuste Schweißungen ungeachtet von Variationen bei Werkstückmaterialien und der Abnutzung der Elektroden in konsistenter Weise hergestellt sind.

[0033] Der Fachmann wird erkennen, daß Gleichung (4) ein bevorzugtes Beispiel zum Ausdrücken der Berechnung, die gemäß der vorliegenden Lehre verwendet wird, ist, und daß andere Näherungsgleichungen zum Erzielen eines Optimalwerts für Q verwendet werden können, ohne die erzielten Ergebnisse zu beeinträchtigen. Außerdem kann der Optimalwert für Q aus einer vorbereiteten Aufstellung berechnet werden, in der der Wert Q durch die Gesamtdicke der Werkstücke und die Schweißzeit aufgefunden werden kann.

[0034] In Schritt S2 von **Fig. 2** wird Leistung q pro Zyklus berechnet, um sicherzustellen, daß die wünschenswerte Gesamtleistung Q, die in Schritt S1 berechnet wurde, den Werkstücken zugeführt wird.

[0035] **Fig. 3** stellt eine bevorzugte Beziehung zwischen der Anzahl von Schweißzyklen und Menge von Leistung q dar, die den Werkstücken während jedem Zyklus zugeführt wird. Allgemein gesagt hängt die Anzahl von Schweißzyklen von der Gesamtdicke der Werkstücke ab. Das heißt, daß ein dünnes Werkstück nur eine kurze Schweißzeit erfordern könnte, während ein dickes Werkstück eine lange Schweißzeit erfordern könnte.

[0036] In **Fig. 3** bezeichnet C3 eine bevorzugte Anzahl von Schweißzyklen, wenn die Gesamtdicke der Werkstücke 3 mm beträgt, und C5 bezeichnet eine bevorzugte Anzahl von Schweißzyklen, wenn die Gesamtdicke der Werkstücke 5 mm beträgt. Linie P3 stellt eine bevorzugte Zyklus-für-Zyklus-Veränderung von Leistung q dar, die zum Erzielen der gewünschten Gesamtleistung Q3 verwendet werden kann, wenn die Werkstückgesamtdicke 3 mm beträgt.

[0037] In einem anfänglichen Zyklus wird eine erste Leistungsmenge q<sub>3</sub> zugeführt. Im Verlauf des Schweißens der Werkstücke wird die Leistungsmenge, die in jedem Zyklus zugeführt wird, allmählich re-

duziert, bis etwa 85% der Anfangsleistung während des letzten Schweißzyklus zugeführt wird. Wert Q3 bezeichnet Gesamtleistung, die durch Addieren der Leistung q, die den Werkstücken in jedem der C3 Zyklen zugeführt wird, berechnet wird.

[0038] Gleicherweise sind Linie P5 und Gesamtleistung Q5 in **Fig. 3** für ein Werkstück gezeigt, das eine Dicke von 5 mm aufweist. Wiederum wird im Verlauf des Schweißens der Werkstücke die Leistungsmenge, die in jedem Zyklus zugeführt wird, allmählich reduziert, bis etwa 85% der Anfangsleistung während des letzten Schweißzyklus zugeführt wird. Wert Q5 bezeichnet Gesamtleistung, die durch Addieren der Leistung q, die den Werkstücken in jedem der C5 Zyklen zugeführt wird, berechnet wird.

[0039] Vorzugsweise wird der Anfangswert der Leistung q auf einen relativ hohen Wert eingestellt und in den folgenden Zyklen allmählich reduziert. Der Fachmann wird jedoch erkennen, daß die Leistung q in jedem Schweißzyklus konstant gehalten sein kann. Wie oben angeführt wird der letzte Wert von q in dieser bevorzugten Ausführungsform auf etwa 85% des Anfangswerts eingestellt, was das vorteilhafte Merkmal aufweist, starke Schweißungen herzustellen, während gleichzeitig die Schweißzeit verkürzt und die Möglichkeit von Schweißspritzen im wesentlichen reduziert ist.

[0040] Schritt S3 von **Fig. 2** dient zum Bestimmen, ob die Schweiß-Operation abgeschlossen werden kann. Vorzugsweise wird die Anzahl der Schweißzyklen während der Schweiß-Operation gezählt, und die Schweiß-Operation ist abgeschlossen, wenn die Anzahl der Zyklen einen vorbestimmten Wert erreicht, wie durch C3 oder C5 in **Fig. 3** gezeigt.

[0041] Bis die gewünschte Anzahl von Zyklen erreicht ist, wird NEIN ausgewählt und Schritt S4 ausgeführt. Schritt S4 dient zum Berechnen der Spannung V zwischen den Elektroden, die zur Erzeugung der gewünschten Leistung q pro Zyklus (Zeiteinheit) und pro Volumeneinheit erforderlich ist, die in Schritt S2 unter Anwendung von Gleichung (3) berechnet wurde. In Gleichung (3) ist die Einheit für die Zeiteinheit Sekunden. Leistung q pro Zyklus ist jedoch in **Fig. 3** dargestellt. Es sollte daher beachtet werden, daß beim Berechnen der Spannung V zwischen den Elektroden dieselbe Zeiteinheit verwendet werden muß.

[0042] Schritt S5 dient zum Berechnen des Schweiß-Stromflusses I, der zur Erzeugung der Spannung V zwischen den Elektroden erforderlich ist, die in Schritt S4 berechnet wurde. Anschließend wird ein Zündwinkel zum Ausführen des Schweiß-Stromflusses I berechnet, so daß der Thyristor **26** erregt und mit dem berechneten Zündwinkel gezündet werden kann (Schritt S6). Durch Ausführung von Schritt S6 wird Schweiß-Stromfluß so kontrolliert, daß er mit dem gewünschten Strom, der in Schritt S5 berechnet wurde, identisch ist.

[0043] In Schritt S7 wird die Spannung V zwischen den Elektroden gemessen. Der Widerstand zwischen

den Elektroden und die Leistung pro Volumeneinheit und pro Zeiteinheit (jeder Zyklus) zum Gebrauch bei der Überwachung werden unter Anwendung der gemessenen Spannung von Schritt S7 und des Stromflußwerts  $I$ , der vorher in Schritt S5 berechnet wurde, berechnet. Der Widerstand zwischen den Elektroden, der in Schritt S8 berechnet wird, wird zum Berechnen des Stromflusses  $I$  aus der Spannung  $V$  in Schritt S5 des nächsten Zyklus der Schweiß-Operation berechnet.

[0044] Schritt S4 bis S8 wird für jeden Zyklus wiederholt, und wenn die Anzahl von Schweißzyklen abgeschlossen ist, die durch C3 oder C5 in **Fig. 3** angezeigt ist, leitet Schritt S3 zu JA weiter, und die Schweiß-Operation ist abgeschlossen. Nach dem Abschluß der Schweißperiode wird Schritt S9 ausgeführt und die Leistung, die in Schritt S8 zum Gebrauch bei der Überwachung berechnet wurde, addiert.

[0045] Schritt S10 und S11 dienen zum Einschätzen der Schweißergebnisse. In Schritt S10 wird der Gesamtwert der Leistung, der den Werkstücken zugeführt und in Schritt S9 berechnet wurde, durch den vorbestimmten Wert für die Gesamtleistung  $Q$  geteilt, der in Schritt S1 berechnet wurde. Wenn der Wert, der in Schritt S10 bestimmt wird (als Koinzidenzverhältnis  $X$  bezeichnet), einen unteren Grenzwert überschreitet, der geringfügig unter 1,0 liegt, wurde den Werkstücken der vorbestimmte Wert für die Gesamtleistung zugeführt. Wenn dies zutrifft, wird ein OK-Schritt ausgeführt und der Prozess abgeschlossen.

[0046] Wenn das Koinzidenzverhältnis  $X$  jedoch unter dem unteren Grenzwert liegt, wurde den Werkstücken die erforderliche Gesamtleistung nicht zugeführt. Daher wird ein NG- („nicht gut“)- Schritt ausgeführt und der Prozess abgeschlossen. In diesem Falle müssen die Werkstücke eingeschätzt werden, um zu bestimmen, ob eine robuste Schweißung erzielt wurde.

[0047] Gemäß der oben beschriebenen Ausführungsform wird die Schweißleistung auf der Grundlage des vorbestimmten Werts kontrolliert, der die Gesamtleistung pro Volumeneinheit der Werkstücke darstellt ( $Q3$  oder  $Q5$  entsprechend, die durch Eingliedern von Linie P3 oder P4 von **Fig. 3** erhalten werden). Daher kann der Standardwert ungeachtet von Variationen bei Werkstückmaterialien oder der Abnutzung der Elektroden eingestellt werden, wodurch robuste Schweißungen ermöglicht werden.

[0048] Außerdem wird die Leistung pro Zeiteinheit vorzugsweise allmählich Zyklus für Zyklus reduziert, wodurch ein rasches Ansteigen der Werkstücktemperatur am Anfang der Schweiß-Operation gestattet sowie übermäßige Erhitzung am Ende der Schweiß-Operation verhindert ist. Daher können robuste Schweißungen in einem kurzen Zeitraum hergestellt werden.

[0049] Ferner kann durch Einschätzen der Schweißergebnisse auf der Grundlage der Gesamtleistung

pro Volumeneinheit, die dem Werkstück tatsächlich zugeführt wurde, eine hochwertige Einschätzung ungeachtet von Variationen bei den Werkstückmaterialien und bei der Abnutzung der Elektroden durchgeführt werden.

[0050] Während die Lehren unter Bezugnahme auf bevorzugte Ausführungsformen davon beschrieben wurden, ist zu verstehen, daß Modifikationen oder Veränderungen leicht vorgenommen werden können, ohne vom Anwendungsbereich der beiliegenden Ansprüche abzuweichen.

## Patentansprüche

1. Ein Widerstands-Schweißsystem aufweisend:

- ein Elektrodenpaar zum Halten eines Werkstückes
- eine elektrische Stromquelle zur Erzeugung eines Schweiß-Stromflusses, der mittels des genannten Elektrodenpaares durch das genannte Werkstück fließt; und
- ein Kontrollelement zum Kontrollieren der genannten elektrischen Stromquelle und zur Durchführung eines Schweißprozesses

**dadurch gekennzeichnet** dass das Kontrollelement aufweist:

- ein Mittel zur Berechnung der elektrischen Leistung ( $q$ ) pro Zyklus and pro Volumeneinheit, um sicherzustellen, dass dem zu schweißenden Stück eine vorbestimmte elektrische Gesamtleistung ( $Q$ ) pro Volumeneinheit zugeführt wird;
- ein Mittel zur Berechnung einer zwischen den Elektroden benötigten Spannung, um die genannte elektrische Gesamtleistung ( $Q$ ) pro Volumeneinheit zu erzeugen; und
- ein Mittel zur Berechnung eines Schweiß-Stromflusses, der benötigt wird, um die genannte zwischen den Elektroden benötigten Spannung zu erzeugen und zur Kontrolle des Schweiß-Stromflusses, so dass er mit dem genannten berechneten benötigten Stromfluss identisch ist.

2. Widerstands-Schweißsystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die genannte vorbestimmte elektrische Gesamtleistung pro Volumeneinheit auf der Basis einer Gesamtdicke des Werkstückes und einer Gesamtschweißzeit berechnet wird.

3. Widerstands-Schweißsystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die genannte Leistung pro Volumeneinheit dem Werkstück pro Zeiteinheit zugeführt wird, und berechnet wird aus der genannten Gesamtleistung pro Volumeneinheit entsprechend einer Aufstellung, in der die genannte Leistung pro Volumeneinheit pro Zeiteinheit während der ersten Hälfte einer Schweiß-Operation relativ hoch und während der zweiten Hälfte einer Schweiß-Operation relativ niedrig ist.

4. Widerstands-Schweißsystem gemäß An-

spruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistung pro Volumeneinheit dem Werkstück pro Zeiteinheit zugeführt wird und allmählich während der Schweiß-Operation reduziert wird.

5. Ein Widerstands-Schweißsystem aufweisend:

- ein Elektrodenpaar zum Halten eines Werkstückes
  - eine elektrische Stromquelle zur Erzeugung eines Schweiß-Stromflusses, der mittels des genannten Elektrodenpaars durch das genannte Werkstück fließt; und
  - ein Kontrollelement zum Kontrollieren der genannten elektrischen Stromquelle und zur Durchführung eines Schweißprozesses
- dadurch gekennzeichnet dass  
das Kontrollelement aufweist:
- ein Mittel zur Messung einer elektrischen Gesamtleistung pro Volumeneinheit, die dem Werkstück während einer Schweiß-Periode zugeführt wird; und
  - ein Mittel zum Vergleich der gemessenen elektrischen Gesamtleistung mit einem vorbestimmten Wert für die elektrische Gesamtleistung.

6. Widerstands-Schweißsystem gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass es weiterhin ein Mittel zur Berechnung einer vorbestimmten elektrischen Gesamtleistung pro Volumeneinheit des Werkstücks, die benötigt wird, um das genannte Werkstück in befriedigender Weise zu schweißen, aufweist, wobei die Berechnung auf der Grundlage einer Gesamtdicke des Werkstückes und einer Gesamtschweißzeit erfolgt.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

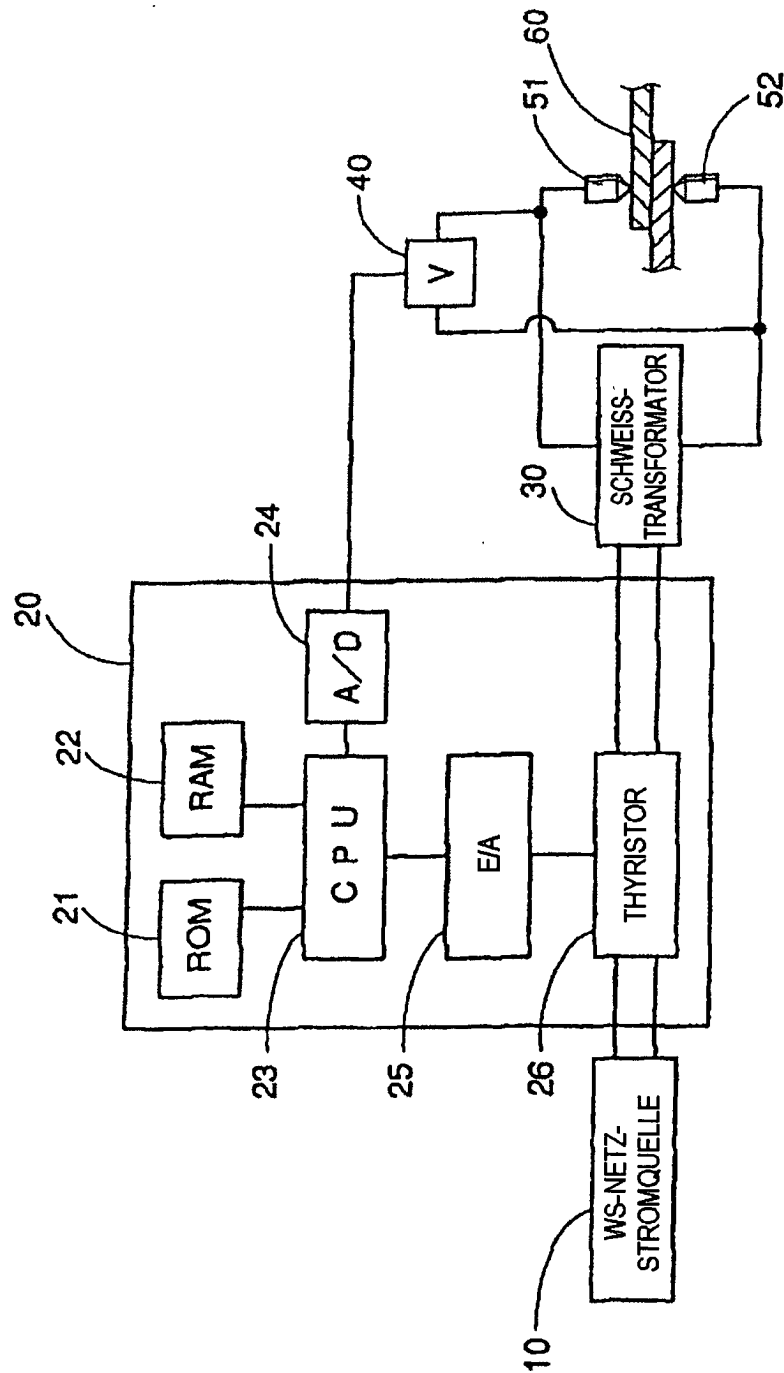


FIG.1



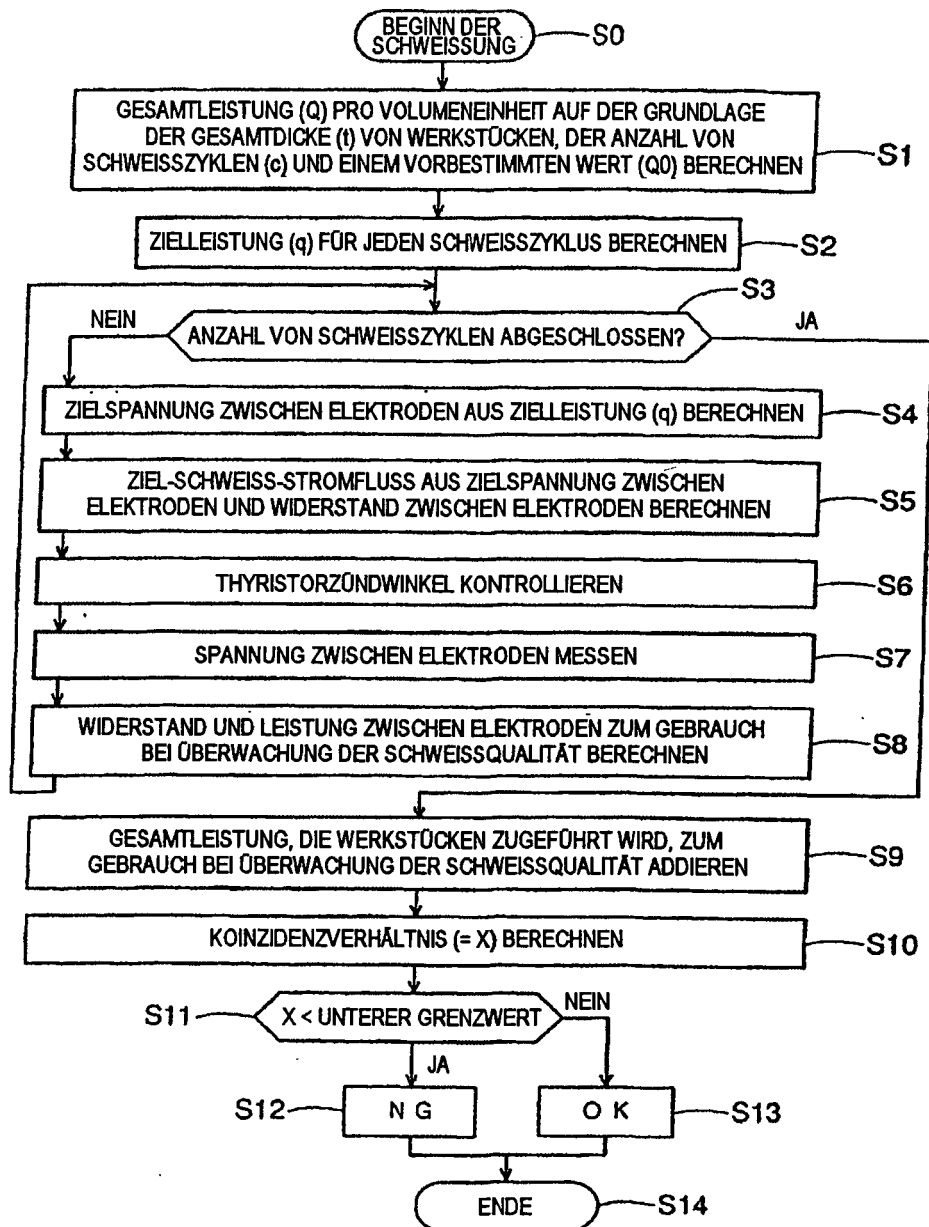
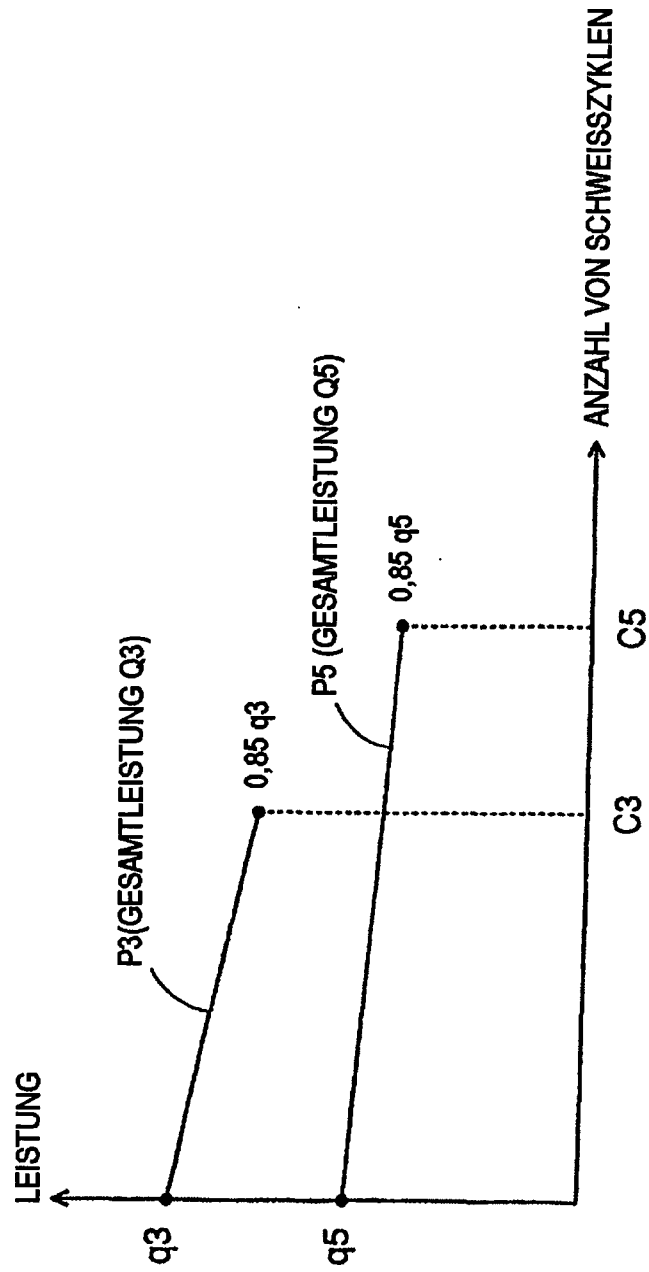


FIG.2



$$Q = Q_0 + k \cdot C / t$$

FIG.3