



(11) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz

(19) DD (11) 277 587 A3

5(51) B 23 K 7/10

## AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

(21)	WP B 23 K / 315 482 1	(22)	06.05.88	(45)	11.04.90
(71)	Zentralinstitut für Schweißtechnik der DDR, Köthener Straße 33a, Halle, 4060, DD				
(72)	Fröhlich, Hans, Dr.-Ing.; Telzer, Hans-Joachim; Scheming, Frank; Roloff, Hans-Joachim; Göttert, Wolfgang, Dr.-Ing., DD				
(54)	Verfahren zur Kontrolle der Prozeßzustände „Flamme brennt“, „Schnitt“ und „Fehlschnitt“ beim thermischen Trennen				

(55) thermisches Trennen, Brennschneiden Schneidprozeß, Prozeßkontrolle, Prozeßsteuerung, elektrische Leitfähigkeit der Flamme

(57) Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Kontrolle der Prozeßzustände „Flamme brennt“, „Schnitt“ und „Fehlschnitt“ beim thermischen Trennen unter Ausnutzung der elektrischen Leitfähigkeit des Gasplasmas zwischen Brenner und Werkstück. Ziel ist, das thermische Trennen durch eine bessere Überwachung und Steuerung effektiver zu gestalten. Aufgabengemäß soll eine reproduzierbare Prozeßauswertung insbesondere hinsichtlich der Flammenerkennung und der Unterscheidung zwischen Schnitt und Fehlschnitt bei Vorhandensein von normalen dünnen und dicken Rostschichten ermöglicht werden. Kennzeichnend für die Erfindung ist, daß bei normal dünnem Rost eine periodisch sich wiederholende Folge von mindestens drei zeitlich kurzen unterschiedlichen positiven Konstantgleichströmen durch das Gasplasma geleitet wird, daß die zugehörigen Spannungsabfälle gemessen und gespeichert werden, daß Prozeßsteuergrößen erfaßt und als logische Größen zugeordnet gespeichert und mit Grenzwerten verglichen werden und daß beim Vorhandensein dicker Rostschichten eine höchstens 20 ms lang periodische Folge von zeitlich kurzen großemäßig verschiedenen Konstantgleichströmen durch das Gasplasma geleitet und deren Spannungsabfälle zur Approximation der Kennlinie so ausgewertet wird, daß durch Erfassung des linearen Teils, des Knickstroms und der Knickspannung eine Relation zu einer Sollknickspannung hergestellt wird.

**Patentanspruch:**

Verfahren zur Kontrolle der Prozeßzustände „Flamme brennt“, „Schnitt“ und „Fehlschnitt“ beim thermischen Trennen von normal rostigen und stark rostigen oder verschmutzten Werkstückoberflächen unter Ausnutzung der elektrischen Leitfähigkeit des Gasplasmas zwischen Brenner und Werkstück, wobei ein elektrischer Strom definierter Stärke und Polarität durch das Gasplasma geleitet wird und dessen Spannungsabfälle über dem Gasplasma erfaßt und die Vergleichsergebnisse als logische Größen zugeordnet gespeichert werden, wobei die den Prozeßsteuergrößen und die den Spannungsabfällen zugeordnet gespeicherten logischen Größen untereinander und miteinander logisch verknüpft werden sowie Signalisierungsgrößen für Prozeßzustände und/oder Prozeßsteuergrößen ausgegeben werden, **gekennzeichnet dadurch**, daß eine periodische Folge von 3 zeitlich kurzen, größenmäßig verschiedenen positiven Konstantgleichströmen bei normalen rostigen Oberflächen durch das Gasplasma geleitet wird und im Zeitintervall eines jeden Konstantgleichstromes der Spannungsabfall über dem Gasplasma gemessen und dem zugehörigen Konstantgleichstrom zugeordnet gespeichert wird und mindestens die Prozeßsteuergrößen „Heizgasgemisch“, „Schneidsauerstoff“ und „Vorschub“ nach ihrem Schaltzustand erfaßt werden und den Prozeßsteuergrößen als logische Größe zugeordnet gespeichert werden und, daß die gespeicherten Spannungsabfälle mit einem jeweils zugeordneten Spannungsgrenzwert verglichen werden sowie bei dicken Rostschichten eine periodische höchstens 20 ms lange Folge von 11 zeitlich kurzen, größenmäßig verschiedenen positiven Konstantströmen, die in einem bei 0 beginnenden Intervall liegen, durch das Gasplasma geleitet wird und im Zeitintervall eines jeden Konstantgleichstroms der Spannungsabfall über dem Gasplasma gemessen und dem zugehörigen Konstantgleichstrom zugeordnet gespeichert wird, wobei eine Approximation des positiven Kennlinienastes des Gasplasmas erfolgt und daß mindestens die Prozeßsteuergrößen „Heizgasgemisch“, „Schneidsauerstoff“ und „Vorschub“ nach ihrem Schaltzustand erfaßt werden und der positive Kennlinienast bezüglich seiner wesentlichen Merkmale: mittlerer Anstieg des linearen Teils, Knickstrom und Knickspannung bewertet wird.

**Anwendungsgebiet der Erfindung**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kontrolle der Prozeßzustände „Flamme brennt“, „Schnitt“ und „Fehlschnitt“ beim thermischen Trennen unter Ausnutzung der elektrischen Leitfähigkeit des Gasplasmas zwischen Brenner und Werkstück.

**Charakteristik des bekannten Standes der Technik**

Nach DD-PS 249598 ist ein Verfahren zur Prozeßkontrolle beim thermischen Trennen bekannt, bei dem unter Ausnutzung der elektrischen Leitfähigkeit des Gasplasmas zwischen Brenner und Werkstück durch die Brennerflamme ein elektrischer Wechselstrom mit einer Frequenz um 1 kHz konstanter Amplitude sowohl in der positiven als auch in der negativen Halbwelle unterhalb der Sättigungsstromstärke des Gasplasmas geleitet wird und die Spannungsabfälle beider Halbwellen im Gasplasma erfaßt, gespeichert und mit Vorgabewerten und untereinander verglichen werden, die Vergleichsergebnisse untereinander und mit den Prozeßgrößen Schnittgeschwindigkeit, Schneidsauerstoffdruck und Brenner Temperatur logisch verknüpft und zur Steuerung von Prozeßabläufen ausgewertet werden.

Die Anordnung zur Durchführung dieses Verfahrens ist derart realisiert, daß eine Stromquelle, ausgelegt für einen konstanten Wechselstrom um 1 kHz sowie ein mit einem Anschluß auf Werkstückpotential liegender Abgleichwiderstand an den Brenner angeschlossen sind und zusammen mit einem von diesen Bauelementen galvanisch getrennten Trennverstärker verbunden sind, der eine Einrichtung zur Spitzenwertgleichrichtung der positiven und negativen Meßspannungshalbwelle sowie einen Anstiegsdetektor für die Temperaturmeßspannung enthält, daß die Ausgänge des Trennverstärkers mit einem Antriebsregler für ein Motorventil für Heizesauerstoff, einem Komparator und einem Logikbaustein verbunden sind, an dessen Eingängen der Trennverstärker und den Zustand des Maschinenvorschubs und des Schneidsauerstoffdrucks darstellende Schaltglieder gelegt sind, und daß die Ausgänge des Logikbausteins mit Schaltgliedern der Prozeßzustände verknüpft sind.

Ein Nachteil der Lösung ist, daß die gemessenen Spannungsabfälle bei bestimmten technologischen bedingten Leitfähigkeitsänderungen, bezüglich des Prozeßzustandes, Fehlinterpretationen liefern. Solche Leitfähigkeitsänderungen entstehen beispielsweise, wenn sich auf der Oberfläche des Werkstücks Rost, Zunder, Konservierungsmittel oder Farbaufstriche in ungleichmäßiger Dicke und Zusammensetzung befinden. Durch diese technologischen Randbedingungen, die mit der Werkstückoberfläche verbunden sind, wird die Aussagekraft der gemessenen Spannungsabfälle in Frage gestellt. Praktisch äußert sich dies darin, daß mit dem obengenannten Verfahren beim thermischen Trennen von Blechen, die mit normalem Flugrost behaftet sind, keine sichere Auswertung, insbesondere der Prozeßzustände Schnitt bzw. Fehlschnitt, möglich sind.

Ein weiterer Nachteil dieser Lösung ist, daß zwar durch den relativ niedrigen parallel zum Brenner liegenden Widerstand der gesamte Widerstandsbereich der Flamme erfaßt werden kann, daß aber der für die Erkennung der Flamme in größerer Entfernung von Werkstück zu erfassende, relativ große Widerstand nur eine geringe Änderung des Spannungsabfalls bewirken kann. Somit ist die Flammenerfaßbarkeit erst in relativ geringer Entfernung von Werkstück oder von anderen auf demselben Potential liegenden Objekten möglich oder zumindest durch die normalen Spannungsschwankungen im schaltungstechnischen Aufbau erschwert.

Weiterhin ist nach PCT/US 79/00174 ein Verfahren bekannt, das durch Abtastung der U-I-Kennlinie im linearen Bereich des positiven Kennlinienastes durch Konstantgleichströme und Messung der über der Flamme bei jedem Konstantgleichstrom abfallenden Spannung eine Höheninformation und eine Schnittabrisßinformation gewinnt. Nachteil dieses Verfahrens ist, daß die EMK der Flamme zur Erkennung des Schnittabrisßes dient, diese jedoch durch Massepotentialverschiebungen aufgrund ihrer geringen Größe sehr störanfällig ist und außerdem in ihrer Größe vom Zustand der Oberfläche des Werkstückes und von der Zusammensetzung des Heizgasgemisches abhängig ist, was eine sichere Funktion des vorgestellten Verfahrens bezüglich der Schnitt-Fehlschnitt-Auswertung verhindert.

Ein Nachteil beider Verfahren ist, daß während des Prozeßablaufs auftretende, insbesondere durch den Oberflächenzustand des Werkstückes und die Größe des Schmelzbades hervorgerufene, abrupte Leitfähigkeitsänderungen zu Fehlinterpretationen des Prozeßzustandes führen.

### Ziel der Erfindung

Es ist das Ziel der Erfindung, die Kontrolle der Prozeßzustände „Flamme brennt“, „Schnitt“ und „Fehlschnitt“ beim thermischen Trennen zu vervollkommen und den Anteil manuellen Aufwandes dabei drastisch zu senken.

### Wesen der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem unter Ausnutzung der elektrischen Leitfähigkeit der Brennerflamme während des Durchflusses eines Meßstromes durch das Gasplasma eine reproduzierbare Prozeßauswertung und -steuerung insbesondere hinsichtlich der Unterscheidung der Prozeßzustände „Flamme brennt“, „Schnitt“ und „Fehlschnitt“ auch bei während des Prozeßablaufs sich verändernden technologischen Randbedingungen, die durch die auf der Werkstückoberfläche befindlichen, insbesondere rostigen Rostschichten hervorgerufen werden, möglich ist. Die Aufgabe wird unter Ausnutzung der elektrischen Leitfähigkeit des Gasplasmas zwischen Brenner und Werkstück, wobei ein elektrischer Strom definierter Stärke und Polarität durch das Gasplasma geleitet wird und dessen Spannungsabfälle über dem Gasplasma erfaßt und die Vergleichsergebnisse als logische Größen zugeordnet gespeichert werden, wobei die den Prozeßsteuergrößen und die den Spannungsabfällen zugeordnet gespeicherten logischen Größen untereinander und miteinander logisch verknüpft werden sowie Signalisationsgrößen für Prozeßzustände und/oder Prozeßsteuergrößen ausgegeben werden, erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine periodische Folge von 3 zeitlich kurzen, großenteils verschiedenen positiven Konstantgleichströmen bei normalen rostigen Oberflächen durch das Gasplasma geleitet wird und im Zeitintervall eines jeden Konstantgleichstromes der Spannungsabfall über dem Gasplasma gemessen und dem zugehörigen Konstantgleichstrom zugeordnet gespeichert wird und mindestens die Prozeßsteuergrößen „Heizgasgemisch“, „Schneidsauerstoff“ und „Vorschub“ nach ihrem Schaltzustand erfaßt werden und den Prozeßsteuergrößen als logische Größen zugeordnet gespeichert werden, und daß die gespeicherten Spannungsabfälle mit einem jeweils zugeordneten Spannungsgrenzwert verglichen werden sowie bei dicken Rostschichten eine periodische höchstens 20 ms lange Folge von 11 zeitlich kurzen, großenteils verschiedenen positiven Konstantgleichströmen, die in einem bei 0 beginnenden Intervall liegen, durch das Gasplasma geleitet wird und im Zeitintervall eines jeden Konstantgleichstroms der Spannungsabfall über dem Gasplasma gemessen und dem zugehörigen Konstantgleichstrom zugeordnet gespeichert wird, wobei eine Approximation des positiven Kennlinienastes des Gasplasmas erfolgt und daß mindestens die Prozeßsteuergrößen „Heizgasgemisch“, „Schneidsauerstoff“ und „Vorschub“ nach ihrem Schaltzustand erfaßt werden und der positive Kennlinienast bezüglich seiner wesentlichen Merkmale: mittlerer Anstieg des linearen Teils, Knickstrom und Knickspannung bewertet wird.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß bei einem positiven elektrischen Strom durch das Gasplasma, wobei der Brenner positiv gegenüber dem Werkstück gepolt ist, aufgrund der Erwärmung des Werkstückes von dessen Oberfläche Elektronen emittiert werden, die aufgrund der entsprechenden Polarität des Werkstückes gegenüber dem Brenner in den Leitungsprozeß des Gasplasmas einbezogen werden.

Die besonderen Wirkungen der Erfindung beruhen auf der Erkenntnis, daß die Anzahl der emittierten Elektronen begrenzt ist und somit ein Kennlinienknick dann auftritt, wenn zusätzlich zur normalen, bereits nahezu gesättigten Plasmaleitfähigkeit Elektronen am Leitungsprozeß beteiligt sind. Die Anzahl der emittierten Elektronen ist dabei vom Prozeßzustand und vom Zustand der Werkstückoberfläche abhängig. Überraschenderweise tritt jedoch der Kennlinienknick beim „Fehlschnitt“ trotz unterschiedlicher Oberflächen in einem Strombereich auf, der stets kleiner als der Strombereich des Kennlinienknicks beim Prozeßzustand „Schnitt“ und unterschiedlichen Oberflächen ist. Somit ist eine sichere Unterscheidung hinsichtlich dieser beiden Prozeßzustände in einem großen Bereich der Oberflächeneigenschaften des Werkstückes möglich, ohne bestimmte Entscheidungsgrenzwerte zu verändern.

Ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen, ist es möglich, weitere Prozeßsteuergrößen zu erfassen, zusätzliche oder ausgewählte Signalisationsgrößen und/oder Prozeßsteuergrößen auszugeben.

### Ausführungsbeispiel

Von einer zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeigneten Anordnung werden für die Messung der Spannungsabfälle  $U_1, U_2, U_3$  folgende Konstantströme  $I$  ausgegeben:

- $I_1 = 1\,275\ \mu\text{A}$  für die Kurzschlußerkennung,
- $I_2 = 300\ \mu\text{A}$  für die Flammenerkennung und für die Unterscheidung zwischen Schnitt und Fehlschnitt,
- $I_{3,1} = 350\ \mu\text{A}$  bei sauberer sandgestrahlter Oberfläche,
- $I_{3,2} = 625\ \mu\text{A}$  bei leicht rostiger Oberfläche und
- $I_{3,3} = 1\,000\ \mu\text{A}$  bei stark verrosteter Oberfläche.

Als Spannungsgrenzwerte werden unabhängig von Strom  $I_3$  folgende Werte vorgegeben:

- $G_1 = 1\ \text{V}$
- $G_2 = 34\ \text{V}$  und
- $G_3 = 17,5\ \text{V}$ , deren digitale Werte mit dem digitalen Spannungswerten verglichen werden.

Weiterhin werden als logische Größen erfaßt:

- $S_1 = (\text{„Heizgasgemisch“} = \text{Schaltzustand „Ein“})$
- $S_2 = (\text{„Schneidsauerstoff“} = \text{Schaltzustand „Ein“})$
- $S_3 = (\text{„Vorschub“} = \text{Schaltzustand „Ein“})$

Im Ergebnis des Vergleichs der gemessenen Spannungsabfälle  $U_1, U_2, U_3$  mit den Spannungsgrenzwerten  $G_1, G_2, G_3$  entstehen die logischen Größen  $L_1, L_2, L_3$ .

Diese werden dann zu folgenden Signalisationsgrößen  $O$  verknüpft, gespeichert und ausgegeben:

- $O_1 = \overline{L_3} \cdot L_1 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3;$  „Schnitt“,
- $O_2 = L_3 \cdot L_2 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3;$  „Fehlschnitt“,
- $O_3 = \overline{L_2} \cdot S_1;$  „Flamme nicht erfassbar“,
- $O_4 = \overline{L_2} \cdot S_1;$  „Flamme vorhanden“,
- $O_5 = \overline{L_1};$  „Kurzschluß“.

Weiterhin werden folgende Prozeßsteuergrößen  $S$  erzeugt:

- $S_1 = S_1 \cdot \overline{O_2};$  „Heizgasgemisch“,
- $S_2 = S_2 \cdot \overline{O_2};$  „Schneidsauerstoff“,
- $S_3 = S_3 \cdot \overline{O_2};$  „Vorschub“,
- $S_4 = O_5;$  „Brenner heben“ (Kurzschluß).

Dabei werden die Prozeßsteuergrößen  $S_1, S_2$  und  $S_3$  der jeweils letzten 3 Verfahrenszyklen zwischengespeichert und für  $S_1, S_2$  und  $S_3$  der während dieser Zyklen häufigere Zustand ausgegeben. Die Prozeßsteuergröße  $S_4$  wird sofort ausgegeben. In einer zweiten Variante werden innerhalb von 10 ms 11 positive Konstantgleichströme  $I_i; i = 0, 1 \dots 10$  aus einem Intervall ( $0\ \mu\text{A}, 1\,000\ \mu\text{A}$ ) in äquidistanten Schritten beginnend mit  $I_0 = 0\ \mu\text{A}$  ausgegeben und die Spannungsabfälle  $U_i; i = 0, 1 \dots 10$  über dem Gasplasma bei jedem Konstantgleichstrom  $I_i$  gemessen und zugeordnet als  $U_i(I_i); i = 0, 1 \dots 10$  gespeichert. Weiterhin werden folgende Prozeßsteuergrößen entsprechend ihrem Schaltzustand erfaßt und als logische Größen  $S_1, S_2, S_3$  den Prozeßsteuergrößen zugeordnet gespeichert:

- $S_1 = (\text{„Heizgasgemisch“} = \text{Schaltzustand „Ein“}),$
- $S_2 = (\text{„Schneidsauerstoff“} = \text{Schaltzustand „Ein“}),$
- $S_3 = (\text{„Vorschub“} = \text{Schaltzustand „Ein“}).$

Danach wird der Grundanstieg  $A_0$  ermittelt und gespeichert, wobei jeder Anstieg  $A_j; j = 0, 1 \dots 9$  folgendermaßen ermittelt wird:

$$A_j = \frac{U_{j+1}(I_{j+1}) - U_j(I_j)}{I_{j+1} - I_j}; j = 0, 1 \dots 9$$

und jedem Anstieg  $A_j$  der Stromwert  $I_j^A = \frac{I_{j+1} - I_j}{2}; j = 0, 1 \dots 9$  zugeordnet wird. Danach werden die Anstiege  $A_j;$

$j = 1, 2 \dots 9$  fortlaufend solange ermittelt, bis eine der Bedingungen a), b) oder c):

- a)  $A_j > A_0 + T_A;$
- b)  $U_{j+1}(I_{j+1}) > U_6;$
- c)  $j = 9$  erfüllt ist.

Dabei ist  $T_A$  ein vorgegebener Toleranzwert und  $U_G$  ein aus den Kennwerten der Anordnung resultierender Grenzwert. Je nachdem welche der Abbruchbedingungen a), b) oder c) erfüllt ist, werden dann:

$$a) I_K = I_j^A;$$

$$b) I_K = 0, A = \frac{U_j(I_j) - U_0(I_0)}{I_j - I_0};$$

$$c) I_K = 0, A = \frac{U_{j+1}(I_{j+1}) - U_0(I_0)}{I_{j+1} - I_0};$$

ermittelt und gespeichert, wobei  $I_K$  ein Knickstrom und  $A$  ein mittlerer Anstieg ist.

Durch den Vergleich mit 4 Grenzwerten werden folgende logische Größen  $L_1 \dots L_5$  erzeugt und gespeichert:

$$L_1 = (I_K \geq 0),$$

$$L_2 = (I_K \geq 0_1),$$

$$L_3 = (I_K = 0) \cdot (A \geq G_1),$$

$$L_4 = (I_K = 0) \cdot (A \geq G_3),$$

$$L_5 = (I_K = 0) \cdot (A \geq G_4),$$

Diese die Eigenschaften der Kennlinie charakterisierenden logischen Größen  $L_1 \dots L_5$  werden mit den logischen Größen  $S_1, S_2, S_3$  der Prozeßsteuergrößen logisch verknüpft, so daß die Signalisationsgrößen  $O_1, O_2, O_3, O_4$  und  $O_5$  wie folgt entstehen:

$$O_1 = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot (L_2 + L_3 \cdot \overline{L_4}); \text{ „Schnitt“},$$

$$O_2 = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot (L_2 + L_4 \cdot \overline{L_3}); \text{ „Fehlschnitt“},$$

$$O_3 = S_1 \cdot (L_4 + \overline{L_1}); \text{ „Flamme nicht erfaßbar“},$$

$$O_4 = S_1 \cdot (\overline{L_4} + L_1); \text{ „Flamme vorhanden“},$$

$$O_5 = \overline{L_2}; \text{ „Kurzschluß“}$$

und die Prozeßsteuergrößen  $S_1, S_2, S_3, S_4$  wie folgt entstehen:

$$S_1 = S_1 \cdot \overline{O_2}; \text{ „Heizgasgemisch“}$$

$$S_2 = S_2 \cdot \overline{O_2}; \text{ „Schneidsauerstoff“}$$

$$S_3 = S_3 \cdot \overline{O_2}; \text{ „Vorschub“}$$

$$S_4 = O_5; \text{ „Brenner heben“}$$

und gespeichert werden. Dabei werden die Prozeßsteuergrößen  $S_1, S_2, S_3$  der jeweils letzten 3 Verfahrenszyklen zwischengespeichert und für  $S_1, S_2$  und  $S_3$  der während dieser Zyklen jeweils häufigere logische Zustand ausgegeben. Die Prozeßsteuergröße  $S_4$  wird sofort ausgegeben.

Das konkrete Ausführungsbeispiel stellt eine Variante der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens dar. Prinzipiell ist diese Variante die schnellste und zugleich ungenaueste der möglichen Varianten. Durch eine engere Abtastung der Kennlinie, indem die Anzahl der auszugebenden Konstantgleichströme erhöht wird, läßt sich die Genauigkeit steigern, wobei aber zugleich die Geschwindigkeit des Verfahrens sinkt.

Resultierend aus den Kennwerten der Anordnung werden zur Durchführung des Verfahrens folgende Toleranz- und Grenzwerte verwendet:

$$T_A = 5 \text{ k}\Omega$$

$$U_G = 0,9 \cdot U_{\max}$$

$$G_2 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$G_3 = 4,8 \text{ k}\Omega$$

$$G_4 = 100 \text{ k}\Omega$$

