



(12) Ausschließungspatent

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **282 801 A7**

5(51) B 23 K 7/10

PATENTAMT der DDR

(21) AP B 23 K / 315 480 5

(22) 06.05.88

(45) 26.09.90

(71) siehe (73)

(72) Fröhlich, Hans, Dr.-Ing.; Telzer, Hans-Joachim; Scherring, Frank; Roloff, Hans-Joachim; Göttert, Wolfgang, Dr.-Ing., DD

(73) Zentralinstitut für Schweißtechnik der DDR, Köthener Straße 33a, Halle, 4060, DD

(54) **Verfahren zur Kontrolle der Heizgaszusammensetzung beim thermischen Trennen**

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

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kontrolle der Heizgaszusammensetzung 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. Gemäß der Aufgabe soll eine reproduzierbare Prozeßsteuerung der Heizgaszusammensetzung ermöglicht werden. Kennzeichnend für die Erfindung ist, daß eine periodisch sich wiederholende Folge von mindestens 11 zeitlich kurzen unterschiedlichen negativen Konstantgleichströmen, die in einem bei 0 beginnenden Intervall liegen, durch das Gasplasma geleitet wird, daß die zugehörigen zeitbegrenzten Spannungsabfälle gemessen und gespeichert werden, daß der negative Kennlinienast des Gasplasmas mit seinen Merkmalen mittlerer Anstieg bei linearem Verlauf und Knickstrom bei nichtlinearen Sättigungen bewertet und mit Grenzwerten verglichen wird, daß die als logische Größe gespeicherte Prozeßsteuergröße „Heizgasgemisch“ mit den ebenso gespeicherten Vergleichswerten logisch verknüpft und Signalisations- und/oder Prozeßsteuergrößen ausgegeben werden.

Patentanspruch:

Verfahren zur Kontrolle der Heizgaszusammensetzung beim thermischen Trennen 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 den jeweiligen Grenzwerten als logische Größe zugeordnet gespeichert werden, daß die den Prozeßsteuergrößen und die den Grenzwerten der Kennlinienmerkmalen zugeordneten, gespeicherten logischen Größen untereinander und miteinander logisch verknüpft werden und Signalisationsgrößen für die Prozeßzustände und/oder Prozeßsteuergrößen ausgegeben werden, **gekennzeichnet dadurch**, daß eine höchstens 20ms lange periodisch sich wiederholende Folge von mindestens 11 zeitlich kurzen, großemäßig verschiedenen, negativen Konstantgleichströmen, die in einem bei 0 beginnenden Intervall liegen, durch das Gasplasma geleitet wird und eine Messung der Spannungsabfälle über dem Gasplasma mit einer Approximation des negativen Kennlinienastes erfolgt und mindestens die Prozeßsteuergröße „Heizgasgemisch“ nach ihrem Schaltzustand erfaßt und als logische Größe zugeordnet gespeichert wird, sowie der negative Kennlinienast hinsichtlich seiner wesentlichen Merkmale, mittlerer Anstieg bei linearem Verlauf und Knickstrom bei nichtlinearer Sättigungserscheinungen zeigenden Verlauf, bewertet und die ermittelten Merkmale mit zugehörigen Grenzwerten verglichen werden.

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kontrolle der Heizgaszusammensetzung 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 Brennerntemperatur 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 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 es zu Fehlinformationen, ausgelöst durch Schlackespritzer im Bereich der Düsenzündung kommt. Beim normalen Brennerbetrieb ist nicht auszuschließen, daß kleine schmelzflüssige Metall- oder Schlackepartikel sich an der Heißdüsenmündung festsetzen und dort, durch die Heizflamme und negative Meßspannungshalbwelle gehalten, haften bleiben. Die Glühemission dieser kleinen Teilchen, die an der relativ kalten Heißdüse anhaften, verursacht eine unkontrollierte Veränderung der Ladungsträgerverhältnisse und führt zu Fluktuationen der Meßspannung. Da die Regelung des Heizesauerstoffanteils mit einem Motorventil über die Auswertung des Spannungsabfalls der negativen Halbwelle erfolgt und sich die genannten Schlackespritzer in einer Vergrößerung der Leitfähigkeit äußern, würde es zu unkontrollierten Veränderungen der Heizgasgemischzusammensetzung kommen.

Es ist bekannt, daß zur Konstanthaltung des Abstandes zwischen dem Werkstück und einem Schneidbrenner berührungslose Höhenstellrichtungen verwendet werden.

Es ist auch bekannt, daß für berührungslose Höhenstellrichtungen mechanische, induktive oder kapazitive (DE-OS 1941728) sowie pneumatische (DE-OS 2402053) und optische (DE-OS 3541134) Höhenggeber verwendet werden. Grundsätzlicher Nachteil dieser Lösungen ist, daß zusätzliche Geber am Schneidbrenner befestigt werden müssen, wodurch bei Konturschnitten oder nichtebenen Werkstücken Schneidfehler unvermeidbar sind. Zwar können diese Nachteile teilweise durch Ermittlung von Korrekturgrößen wie in DD-PS 225651 verhindert werden, dennoch bleiben Einschränkungen des Bewegungsraumes des Brenners, die durch die am Brenner befestigten Geber verursacht werden.

Weiterhin sind Methoden bekannt, die die elektrischen Eigenschaften der Brennerflamme zur Höhensteuerung nutzen (US-PS 2364645, DD-PS 149034, DD-PS 141637 sowie PTC-US 79/00174). Der wesentliche Nachteil dieser Lösungen besteht darin, daß die EMK und/oder der lineare Teil des positiven Kennlinienastes des Gasplasmas ständigen, teils stochastischen, starken Größenschwankungen unterliegt. Diese starken Änderungen der Leitfähigkeit entstehen durch unterschiedliche Oberflächenzustände (Rost, Zunder, Konservierungsmittel und Farbaufstriche in unterschiedlicher Größe und Dicke), durch die

wechselnde Größe des Schmelzbades beim Schnitt, durch Massepotentialverschiebungen sowie durch Veränderungen der Gaszusammensetzung. Somit ist mit diesen Verfahren nur unter speziellen technologischen Randbedingungen eine sichere Höhensteuerung möglich.

Weiterhin gilt nach DE-OS 1954030, daß zwischen der Düse und dem Werkstück eine Sinuswechselspannungsquelle angeschlossen wird, die eine Abweichung einer Kennlinie des durch die Flamme fließenden Stromes von einer Bezugskennlinie registriert. Nachteilig ist dabei, daß bei Veränderung des Flammenbildes bzw. der Gaszusammensetzung infolge der jeweilig vorhandenen Ladungsträger sich der Meßstrom ändert und es zu Fehlmeldungen kommt.

Gemäß DD-PS 249598 wird zwar ebenfalls ein Verfahren sowie auch eine Anordnung vorgeschlagen wobei eine Wechselspannung und dazugehöriger konstanter Wechselstrom an das Gasplasma angelegt werden, jedoch stellt sich dabei als Nachteil heraus, daß es ebenfalls zu Fehlmeldungen bei unkontrollierten Veränderungen in der Zusammensetzung des Gasplasmas kommt.

Ziel der Erfindung

Es ist Ziel der Erfindung, das thermische Trennen durch eine bessere Überwachung und Steuerung des Heizgasgemisches effektiver zu gestalten und den Anteil an menschlichem Arbeitsaufwand dabei drastisch zu reduzieren.

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 Prozeßsteuerung der Heizgaszusammensetzung möglich ist.

Die Aufgabe wurde 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 den jeweiligen Grenzwerten als logische Größen zugeordnet gespeichert werden, daß die den Prozeßsteuergrößen und die den Grenzwerten der Kennlinienmerkmale zugeordneten, gespeicherten logischen Größen untereinander und miteinander logisch verknüpft werden und Signalisationsgrößen für die Prozeßzustände und/oder Prozeßsteuergrößen ausgegeben werden erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine höchstens 20 ms lange periodisch sich wiederholende Folge von mindestens 11 zeitlich kurzen, großemäßig verschiedenen, negativen Konstantgleichströmen, die in einem bei 0 beginnenden Intervall liegen, durch das Gasplasma geleitet wird und eine Messung der Spannungsabfälle über dem Gasplasma mit einer Approximation des negativen Kennlinienastes erfolgt und mindestens die Prozeßsteuergröße „Heizgasgemisch“ nach ihrem Schaltzustand erfaßt und als logische Größe zugeordnet gespeichert wird sowie der negative Kennlinienast hinsichtlich seiner wesentlichen Merkmale, mittlerer Anstieg bei linearem Verlauf und Knickstrom bei nichtlinearen Sättigungserscheinungen zeigenden Verlauf, bewertet und die ermittelten Merkmale mit zugehörigen Grenzwerten verglichen werden.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß bei einem negativen elektrischen Strom durch das Gasplasma, wobei der Brenner negativ gegenüber dem Werkstück gepolt ist, aufgrund der Erwärmung des Brenners oder von an diesem im Bereich der Heizgasdüse anhaftenden Schlacke- bzw. Metallpartikeln, Elektronen emittiert werden, die aufgrund der entsprechenden Polarität des Brenners gegenüber dem Werkstück in den Leitungsprozeß des Gasplasmas einbezogen werden. Die besonderen Wirkungen der Erfindung beruhen auf der Erkenntnis, daß die Anzahl der so emittierten Elektronen begrenzt ist und somit ein Kennlinienknick dann auftritt, wenn zusätzlich zur normalen, bereits gesättigten, durch die Gaszusammensetzung des Heizgasgemisches bestimmten, Plasmaleitfähigkeit die o. g. Elektronen am Leitungsprozeß beteiligt sind. Die Anzahl der emittierten Elektronen ist dabei von der Brennertemperatur und/oder von der Größe und Temperatur der anhaftenden Schlacke- bzw. Metallpartikel abhängig.

Ausführungsbeispiel

Auf einer zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeigneten Anordnung werden innerhalb von 10 ms 11 negative Konstantgleichströme I_i ; $i = 0, 1 \dots 10$ aus einem Intervall ($0 \mu\text{A} - 1000 \mu\text{A}$) 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 wird die Prozeßsteuergröße „Heizgasgemisch“ entsprechend ihrem Schaltzustand erfaßt und als logische Größe S_i der Prozeßsteuergröße zugeordnet gespeichert:

$$S_i = (\text{„Heizgasgemisch“} = \text{Schaltzustand „EIN“})$$

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

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

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) $U_{j+1}(I_{j+1}) < U_G$;
- 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) $I_K = I_j^{\wedge}$;
- 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.

Weiterhin wird der Knickstrom I_K als aktueller Wert I_{K0} und der bisherige Wert I_{K0} als I_{K-1} gespeichert. Aus den Knickströmen I_{K-1} und I_{K0} wird eine Verschiebungsgeschwindigkeit des Knickstroms V_K ermittelt.

$$V_K = I_{K0} - I_{K-1}$$

und gespeichert.

Durch den Vergleich mit 8 Grenzwerten werden folgende logische Größen $L_1 \dots L_8$ erzeugt und gespeichert

- $L_1 = (I_K = 0) \cdot (A_M \geq G_1)$,
- $L_2 = (I_K = 0) \cdot (A_M \geq G_2)$,
- $L_3 = (I_K = 0) \cdot (A_M \geq G_3)$,
- $L_4 = (I_K = 0) \cdot (A_M \geq G_4)$,
- $L_5 = (V_K \geq G_5)$,
- $L_6 = (V_K \geq G_6)$,
- $L_7 = (V_K \geq G_7)$,
- $L_8 = (I_K > 0) \cdot (I_K > G_8)$.

Diese die Eigenschaften der Kennlinie charakterisierenden logischen Größen $L_1 \dots L_8$ werden mit der logischen Größe S_1 der Prozeßsteuergröße logisch verknüpft, so daß folgende Signalisationsgrößen entstehen:

- $O_1 = \overline{O_1} \cdot \overline{L_7} \cdot L_8 + O_1 \cdot L_8 + \overline{O_1} \cdot \overline{L_8} \cdot \overline{L_5}$; „Schlackeanlass“
- $O_2 = \overline{O_1} \cdot \overline{O_2} \cdot L_6 \cdot \overline{L_7} \cdot L_8 + \overline{O_1} \cdot O_2 \cdot L_8 + \overline{O_2} \cdot L_3 \cdot L_6 \cdot \overline{L_8}$; „Brennerüberhitzung“
- $O_3 = L_1 \cdot \overline{L_4} \cdot S_1$; „Heizgasgemischsteuerung“
- $O_4 = L_3 \cdot \overline{L_4} \cdot S_1$; „zuwenig Heizsauerstoff“
- $O_5 = L_2 \cdot \overline{L_3} \cdot S_1$; „optimale Flamme“
- $O_6 = L_1 \cdot \overline{L_2} \cdot S_1$; „zuviel Heizsauerstoff“
- $O_7 = \overline{L_1}$; „Kurzschluß“
- $O_8 = \overline{L_4} \cdot S_1$; „Flamme vorhanden“
- $O_9 = L_4 \cdot S_1$; „Flamme nicht erfaßbar“

und ausgegeben werden. Weiterhin werden folgende Prozeßsteuergrößen erzeugt:

- $S_1 = S_1 \cdot \overline{O_2}$; „Heizgasgemisch“
- $S_2 = S_1 \cdot \overline{O_2}$; „Schneidsauerstoff“
- $S_3 = S_1 \cdot \overline{O_2}$; „Vorschub“
- $S_4 = O_7$; „Brenner heben“
- $S_6 = O_4$; „mehr Heizsauerstoff“
- $S_7 = O_6$; „weniger Heizsauerstoff“

und 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:

- | | |
|-----------------------------------|--|
| $T_A = 5 \text{ k}\Omega$ | $G_5 = -150 \mu\text{A} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| $U_G = -0,9 \cdot U_{\text{max}}$ | $G_6 = 0$ |
| $G_1 = 1 \text{ k}\Omega$ | $G_7 = 150 \mu\text{A} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| $G_2 = 220 \text{ k}\Omega$ | $G_8 = 100 \mu\text{A}$ |
| $G_3 = 500 \text{ k}\Omega$ | |
| $G_4 = 1,4 \text{ M}\Omega$ | |