



Republik
Österreich
Patentamt

(11) Nummer: **AT 394 480 B**

(12)

PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 2722/81

(51) Int.Cl.⁵ : **H05B 7/10**
H05B 7/144

(22) Anmeldetag: 19. 6.1981

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 9.1991

(45) Ausgabetag: 10. 4.1992

(30) Priorität:

20. 6.1980 US 161461 beansprucht.

(56) Entgegenhaltungen:

US-PS4002816 US-PS3872231 DE-PS2721664 FR-PS2008517

(73) Patentinhaber:

CONSARC CORPORATION
08073 RANCOCAS (US).

(54) VERFAHREN ZUR REGELUNG DER ELEKTRODENVORTRIEBSGESCHWINDIGKEIT IN EINEM ABSCHMELZELEKTRODENOFEN

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren für die Kontrolle der Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit in einem Abschmelzelektrodenofen. Die Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit wird auf eine Grundgeschwindigkeit geregelt, die aus den gemessenen Veränderungen in den physikalischen Merkmalen der Elektrode oder des Gußblocks wie z.B. Gewichtsveränderungen im Verlauf des Schmelzvorganges errechnet werden. Die Grundgeschwindigkeit berücksichtigt auch die bekannte Geometrie der Elektrode, der Kokille oder des Schmelztiegels, die Dichte des Gußblockmaterials und die Geschwindigkeit einer Bewegung des Bodens des Gußblocks, wenn dieser nicht stationär bleibt. Die Grundgeschwindigkeit wird durch eine Abstechgeschwindigkeit erhöht oder verringert, die durch ein elektrisches Phänomen bestimmt wird, das mit dem Abschmelzvorgang assoziiert ist, wobei das elektrische Phänomen einen relativ langen Zeitwert aufweist, der sich auf den Abstand zwischen der Bodenfläche der Elektrode und der Oberfläche des Gußblocks bezieht.

AT 394 480 B

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Regelung der Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit (S) in einem Abschmelzelektrodenofen, um einen im wesentlichen konstanten Abstand zwischen dem Boden einer Elektrode und der Oberseite eines Schmelz- bzw. Gußblockes in einem Abschmelzelektrodenofen aufrechtzuerhalten, der eine Elektrode, eine fluidgekühlte Kokille und ein Zufuhrsystem für elektrischen Strom aufweist, um die Elektrode zu schmelzen und einen Schmelz- bzw. Gußblock in der Kokille herzustellen, wobei der Abschmelzelektrodenofen Elektrodenvortriebseinrichtungen zur Positionierung der Elektrode während des Schmelzvorganges, eine Einrichtung für die Messung des Gewichtes der Elektrode oder des Gußblockes während des Abschmelzvorganges und eine Einstelleinrichtung für die Regelung der Vortriebsgeschwindigkeit der Elektrodenvortriebseinrichtung umfaßt.

Die Regelung der Vortriebsgeschwindigkeit der Elektrodenvortriebseinrichtung erfolgt üblicherweise als Funktion der Elektrodenvortriebs-Basisgeschwindigkeit (S_B) algebraisch modifiziert durch die Schmelz- bzw. Abstechgeschwindigkeit (S_T). Die Basisgeschwindigkeit (S_B) wird aus der Schmelzgeschwindigkeit und der bekannten Geometrie der Elektrode und des Schmelztiegels zusammen mit den gemessenen Veränderungen im Gewicht der Elektrode oder des Gußblocks im Verlauf des Schmelzvorganges bestimmt. Die Abstechgeschwindigkeit (S_T) wird von einem relativ langsam wirkenden Regelkreis bestimmt, der Spannungsdiskontinuitäten als Rückkopplungssignal verwendet. Die Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit (S) kann daher während eines Schmelzvorganges nach der Gleichung

$$S = f(S_B, S_T)$$

eingestellt werden, z. B.

$$S = S_B + S_T$$

Das richtige Instellungbringen der Elektrode ist ein kritisches Element im Betrieb eines Abschmelzelektrodenofens, z. B. eines Vakuumlichtbogenofens. Der Betrieb einer Vakuumlichtbogenschmelzanlage hängt von der Kontrolle der Lichtbogenlänge oder des Lichtbogenzwischenraumes ab, welcher der Abstand zwischen dem Boden der Elektrode und der Oberfläche des Bades von geschmolzenem Metall an der Oberseite des Gußblockes ist. Die Qualität eines in einem solchen Ofen hergestellten Gußblocks hängt vom Aufrechterhalten einer konsistenten Lichtbogenlänge ab, die weder zu kurz noch zu lang sein darf.

Das Problem des Aufrechterhaltens der richtigen Bogenlänge wurde von den Herstellern und Benützern von Schmelzöfen auf verschiedene Weise behandelt. Ursprünglich wurde zu diesem Zweck der Spannungsgradient über den Zwischenraum eingesetzt, dies erwies sich jedoch als unzulänglich. Später wurde gefunden, daß die Frequenz und/oder Dauer periodischer Schwankungen im Bogenspannungssignal dazu verwendet werden kann, die Regelung der Bogenlänge während des gesamten Verlaufs des Vakuumschmelzverfahrens zu verbessern. Es sind mehrere Patentschriften bekannt, die auf die Notwendigkeit der Kontrolle der Stellung der Elektrode bei der Aufrechterhaltung einer vorgegebenen Bogenlänge während des gesamten Schmelzvorganges und auf die Lösung des Problems bei den Schwierigkeiten gerichtet sind, die mit diesem Bestreben verbunden sind. Siehe z. B. US-PS 2,942,045, 2,904,718, 3,372,224, 3,187,078 und 3,186,043. In einigen dieser Patentschriften, z. B. US-PS 2,942,045 und 3,187,078, ist die Verwendung der Frequenz und/oder Dauer der periodischen Schwankungen im Bogenspannungssignal entweder allein (US-PS 2,942,045) oder kombiniert mit dem Bogenspannungssignal (US-PS 3,187,078) als Angabe der Bogenlänge beschrieben.

Der Betrieb eines Abschmelzelektrodenofens ist ein dynamischer Vorgang. Die Elektrode wird abgeschmolzen und muß daher abgesenkt werden, um für ihre verringerte Länge zu kompensieren. Der Schmelz- bzw. Gußblock wird selbstverständlich innerhalb des Schmelztiegels geformt, daher beeinflußt die Geschwindigkeit, mit welcher seine Oberfläche steigt, die Geschwindigkeit, mit welcher die Elektrode zu dieser Oberfläche hin abgesenkt wird. Die Elektrodenvortriebsvorrichtung wird daher traditionell so angeordnet, daß sie die Elektrodenzufuhrgeschwindigkeit so einstellt, daß eine konstante Bogenlänge unter Verwendung der Frequenz und/oder Dauer der periodischen Schwankungen in der Bogenspannung als Rückkopplungssignal, das der Bogenlänge entspricht, aufrechterhalten wird.

Ein grundlegendes Problem bei Bogenlängeneinstellungssystemen dieses Typs besteht darin, daß die periodischen Schwankungen in der Bogenspannung obwohl sie in einem langfristigen Durchschnittsverhältnis zur Bogenlänge stehen, auch eine kurzfristige Zufallskomponente aufweisen. Eine genaue Bestimmung der Bogenlänge erfordert, daß die durchschnittliche Frequenz und/oder Dauer der Schwankungen im Bogenspannungssignal über einen ausreichend langen Zeitraum hin gemessen wird, um die Zufallsschwankungen auf den Nullbereich auszugleichen.

Daraus ergibt sich ein Dilemma im Aufbau des Bogenlängenregelsystems. Wenn das Regelsystem so aufgebaut wird, daß es anspricht und relativ schnell wirkt, spricht es auch auf kurzfristige Zufallskomponenten im Rückkopplungssignal an, was wieder zu kurzfristigen Zufallsschwankungen der Bogenlänge führt, die eine sehr stark nachteilige Wirkung auf die Qualität des Gußblocks haben können. Wenn das Kontrollsystem so ausge-

bildet wird, daß es weniger stark anspricht, kann es nicht die relativ raschen Veränderungen in der Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit erzeugen, die erforderlich sind, wenn sich die Schmelzgeschwindigkeit schnell verändert, wie es oft zu Beginn und am Ende eines Schmelzvorganges der Fall ist. Im letzteren Fall führt das Nachhinken im Ansprechen des Elektrodenregelsystems dazu, daß übermäßig lange Bogenlängen erzielt werden, wenn die Schmelzgeschwindigkeit ansteigt und übermäßig kurze Bogenlängen bei abnehmender Schmelzgeschwindigkeit erhalten werden.

Das Bestehen des vorstehend beschriebenen Problems ist in der US-PS 2,942,045 in Spalte 8, Zeile 61 bis Spalte 9, Zeile 27 gewürdigt und wird auch in der US-PS 3,187,078 in Spalte 3, Zeilen 11 und 12 gestreift. Beide Patentschriften beschreiben Regelsysteme, welche die zweite der vorstehenden Annäherungen an den Aufbau des Systems wählen; das Bogenlängenregelsystem wird langsam arbeitend ausgebildet, indem elektrische oder elektromechanische Integratoren eingebaut werden, die eine lange Zeitkonstante im Regelkreis aufweisen.

Analoge Probleme treten bei anderen Typen von Abschmelzelektrodenöfen wie z. B. Elektroschlack-Umschmelzöfen (ESS) auf. Herkömmlich basiert die Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit auf der Messung des Stromdurchflusses durch das Schlackenbad oder die Spannung quer darüber. Wie im Fall des Vakuumschmelzofens sind auch hier die elektrischen Messungen unerwünschten kurzfristigen oder Zufallsstörungen unterworfen. So z. B. kann die Spannung während des Anlassens einer anderen maschinellen Vorrichtung abfallen, die mit dem gleichen elektrischen Stromverteilernetz verbunden ist, das den ESS-Ofen mit elektrischem Strom versorgt. Es ist nicht erwünscht, daß der Elektrodenvortrieb auf eine solche Störung anspricht.

Ziel der Erfindung ist die Schaffung eines Regelverfahrens, bei welchem die vorstehend angeführten Nachteile der Wahl zwischen einem übermäßig ansprechenden oder zu wenig ansprechenden Regelsystem für die Regelung der Elektrodengeschwindigkeit während eines Schmelzvorganges ausgeschaltet werden und eine konsistente Aufrechterhaltung des Zwischenraumes zwischen dem Boden einer Elektrode und der oberen Fläche eines Schmelz- bzw. Gußblocks geschaffen wird.

Dieses Ziel wird bei dem eingangs näher bezeichneten Verfahren erfindungsgemäß dadurch erreicht, daß die Vortriebsgeschwindigkeit (S) der Elektrodenvortriebseinrichtung auf eine kurzfristige Änderungen der Betriebsparameter berücksichtigende Basisgeschwindigkeit (S_B) eingeregelt wird und durch eine langfristige Änderungen der Betriebsparameter berücksichtigende Schmelz- bzw. Abstechgeschwindigkeit (S_T) erhöht oder verringert wird, die durch gemessene Veränderungen der elektrischen Spannung oder des Stromes bestimmt wird, deren Werte sich als Funktion des Abstandes zwischen der Bodenfläche der Elektrode und der oberen Fläche des Gußblockes verändern, wobei die Basisgeschwindigkeit (S_B) eine Funktion von gemessenen Veränderungen des Gewichtes der Elektrode oder des Gußblockes während des Schmelzvorganges, der geometrischen Abmessungen der Elektrode, der geometrischen Abmessungen der Kokille und der Geschwindigkeit (S_T) der Bewegung der Bodenfläche des Gußblockes darstellt, mit

$$S_B = \frac{4M}{\pi} \left(\frac{1}{De^2 \cdot B} - \frac{1}{D_i^2 \cdot A} \right),$$

worin

$\pi = 3.1416$

S_B = Elektrodengrundgeschwindigkeit

M = Schmelzgeschwindigkeit, berechnet aus der Geschwindigkeit, mit welcher das Gewicht der Elektrode abnimmt oder das Gewicht des Gußblocks zunimmt

De = Elektrodendurchmesser

B = durchschnittliche Elektrodendichte

Di = Gußblockdurchmesser

A = durchschnittliche Gußblockdichte

und

$$B = \frac{We \cdot 4}{\pi \cdot De^2 \cdot Le}$$

worin

$\pi \approx 3.1416$

B = durchschnittliche Elektrodendichte

We = ursprüngliches Elektrodengewicht

De = Elektrodendurchmesser und

Le = ursprüngliche Elektrodenlänge

bedeuten, und wobei

$$S_T = K_1 e + K_2 \int e dt + K_3 de/dt$$

5 worin

$e = T_a - T_{sp}$ den Fehler zwischen durchschnittlicher Zeit zwischen Tropfen und Einstellzeit zwischen Tropfkurzschlüssen

10 T_a = die durchschnittliche Zeit zwischen der vorgegebenen Zahl der zuletzt aufgetretenen Tropfkurzschlüsse

T_{sp} = den durchschnittlichen Einstellwert der Zeit zwischen Tropfkurzschlüssen

S_T = die Elektrodenabstechgeschwindigkeit

K_1 = die Proportionalitätskonstante

K_2 = die Integrationskonstante und

15 K_3 = die Geschwindigkeitskonstante

bedeuten.

20 Gemäß diesem Verfahren wird somit die Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit auf einer Basisgeschwindigkeit eingeregelt, die aus gemessenen Veränderungen in den physikalischen Merkmalen wie z. B. der Gewichtsveränderung der Elektrode oder des Gußblocks im Verlauf des Schmelzvorgangs, der bekannten Geometrie der Elektrode und des Schmelzriegels, der Dichte des Gußblockmaterials und der Bewegungsgeschwindigkeit (wenn vorgesehen) des Bodens des Gußblocks berechnet werden, wobei diese Basisgeschwindigkeit durch eine Abstechgeschwindigkeit erhöht oder verringert wird, die durch gemessene Veränderungen der elektrischen Spannung oder des Stromes bestimmt wird, die mit dem Abschmelzelektrodenverfahren zusammenhängen, wobei dies relativ langfristige Änderungen sind.

Die Erfindung wird anhand einer bevorzugten, jedoch keineswegs einschränkenden Ausführungsform unter Hinweis auf die Zeichnung näher erläutert. Die Zeichnung zeigt ein schematisches Blockdiagramm eines Regelsystems für die Regelung der Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit in einem Abschmelzelektrodenofen.

30 Die Zeichnung zeigt in schematischer Darstellung ein Regelkreissystem für einen Vakuumlichtbogen-schmelzofen (10). Obgleich die Erfindung in Zusammenhang mit einem Vakuumlichtbogenschmelzofen beschrieben wird, wird vorausgesetzt, daß dies nur beispielhaft und nicht einschränkend ist und die Erfindung auch auf andere Abschmelzelektrodenöfen wie z. B. Elektroschlackenöfen anwendbar ist.

35 Wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, umfaßt ein Vakuumschmelzofen (10) eine Kokille, die von einem wassergekühlten Schmelzriegel (12) gebildet wird, der aus einer wassergekühlten Bodenplatte (14) abgestützt ist. Innerhalb des Schmelzriegels (12) wird mittels einer (nicht dargestellten) Evakuierungsvorrichtung, die mit einem Rohr (16) in einem Kopf (17) verbunden ist, ein Vakuum aufrechterhalten.

40 Eine Elektrode (18) ist innerhalb des Ofens (10) mittels einer Klemme (20) am Ende eines Stempels (21) abgestützt. Der Stempel (21) erstreckt sich durch eine Vakuumdichtung (22) in der Oberwand des Ofens (10). Die Klemme (20) weist eine Kraftmeßdose (24) auf. Der Stempel (21) ist seinerseits mit einer Elektrodentragschraube (26) verbunden, die sich innerhalb einer Mutter (28) dreht. Die Elektrodentragschraube (26) wird von einem Elektrodenantriebsmotor (30) und einem Getriebe (31) angetrieben.

Der Strom zum Betrieb des Ofens wird von einer Gleichstromquelle (32) geliefert.

45 Der Vakuumschmelzofen an sich ist dem Fachmann aus den US-PS 2,726,278 und 3,246,070 bekannt. Es ist daher nicht nötig, seine Funktion und seinen Betrieb näher zu beschreiben.

50 Der Ofen (10) ist in der Mitte eines Schmelzvorganges mit einem teilweise geformten Schmelz- bzw. Gußblock (34) im Schmelzriegel (12) dargestellt. Ein Schmelzbad aus geschmolzenem Metall (36) an der Oberfläche des Gußblocks (34) wird gebildet, wenn geschmolzene Metalltröpfchen von der Elektrode (18) abfallen. Es wird angenommen, daß durch die geschmolzenen Tröpfchen oder das Aufspritzen, das diese im Schmelzbad verursachen, die Spannungsunterbrechungen herbeigeführt werden.

Der Elektrodenvortriebsmotor (30) dreht die Elektrodentragschraube (26) und senkt daher die Elektrode (18) auf den Gußblock (34) zu ab. Die Geschwindigkeit, mit welcher er die Elektrode absenkt, wird von dem nachstehend beschriebenen Regelsystem bestimmt.

55 Wie schon vorstehend beschrieben, ist die Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit S eine Funktion der Grundgeschwindigkeit S_B und der Abstechgeschwindigkeit S_T ; d. h.

$$S = f(S_B, S_T)$$

Es wurde auch schon angeführt, daß die Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit S gemäß der vorstehenden Funktion mittels folgender Gleichung bestimmt werden kann:

$$S = S_B + S_T \quad (\text{Gleichung 1})$$

worin

- S = Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit
 S_B = Grundgeschwindigkeit
 S_T = Abstechgeschwindigkeit

Die Grundgeschwindigkeit S_B wird durch ein Regelsystem bestimmt, das die folgenden beiden Gleichungen löst:

$$B = \frac{W_e \cdot 4}{\pi \cdot D_e^2 \cdot L_e} \quad (\text{Gleichung 2})$$

worin

- $\pi \simeq 3.1416$
 B = durchschnittliche Elektrodendichte
 W_e = ursprüngliches Elektrodengewicht
 D_e = Elektrodendurchmesser
 L_e = ursprüngliche Elektrodenlänge

$$S_B = \frac{4M}{\pi} \left(\frac{1}{D_e^2 \cdot B} - \frac{1}{D_i^2 \cdot A} \right) \quad (\text{Gleichung 3})$$

worin

- $\pi \simeq 3.1416$
 S_B = Elektrodengrundgeschwindigkeit
 M = Schmelzgeschwindigkeit berechnet aus der Geschwindigkeit, mit welcher die Elektrodengeschwindigkeit abnimmt oder das Gewicht des Gußblocks zunimmt.
 D_e = Elektrodendurchmesser
 B = durchschnittliche Elektrodendichte
 D_i = Gußblockdurchmesser
 A = durchschnittliche Gußblockdichte

Die Herleitung der Gleichung 3 ist folgende:

- Es ist bekannt, daß bei einem zylindrischen Gußblock des Durchmessers D_I (cm bzw. Längeninches) und der Dichte A (kg/cm³ bzw. Dichteeinheit) die Achsenlänge für ein kg bzw. eine Masseinheit wie folgt ausgedrückt wird:

$$L_I = \frac{4}{\pi \cdot D_I^2 \cdot A}$$

Ähnlich beträgt bei einer Elektrode des Durchmessers D_e und der Dichte B die Länge bei 1 kg Gewicht

$$L_e = \frac{4}{\pi \cdot D_e^2 \cdot B}$$

5

Wenn die Basis des Schmelzblocks stationär ist und die Lichtbogenlänge konstant gehalten werden soll, muß die Elektrode um einen Abstand abgesenkt werden, der gleich ist der Differenz zwischen der Elektrodenlänge und der Länge des Gußblocks.

10 Für jedes abgeschmolzene kg (bzw. jede Masseinheit) muß daher die Elektrode um einen Abstand T_1 (cm bzw. Längeneinheit) abgesenkt werden, der durch folgende Formel ausgedrückt ist:

$$15 \quad T_1 = L_e - L_I = \frac{4}{\pi} \left(\frac{1}{D_e^2 B} - \frac{1}{D_I^2 A} \right)$$

20 Für M abgeschmolzene kg (bzw. Masseinheiten) beträgt die Fortbewegung daher

$$25 \quad T_M = \frac{4M}{\pi} \left(\frac{1}{D_e^2 B} - \frac{1}{D_I^2 A} \right)$$

Wenn M kg in einer Stunde geschmolzen werden (d. h. die Abschmelzgeschwindigkeit beträgt M kg pro Stunde), wird die Elektrode um T_M cm pro Stunde abgesenkt, um eine konstante Bogenlänge beizubehalten.

30 Die vorstehenden Gleichungen sind auf der Annahme aufgebaut, daß die Elektrode und der Schmelztiegel annähernd zylindrisch sind. Die Schmelztiegel sind üblicherweise leicht konisch verjüngt, was oft auch bei den Elektroden der Fall ist. Außerdem können sowohl Elektrode als auch Schmelztiegel unrunde Querschnitte aufweisen. Derartige Varianten können jedoch durch Modifizierung der vorstehenden Gleichungen abgedeckt werden.

35 Durchmesser und Länge der Elektrode können auf einfache Weise vor dem Beginn eines Schmelzvorgangs gemessen werden. Das Gewicht der Elektrode wird vor Beginn des Schmelzvorgangs und in regelmäßigen Zeitabständen während der Schmelze gemessen. Aus diesen ursprünglichen Messungen ist die Dichte der Elektrode leicht ersichtlich.

Die Dichte des Gußblocks ist aus Erfahrung als der durchschnittliche Durchmesser des Gußblocks bekannt, der in einem Schmelztiegel von bekanntem Durchmesser gebildet wird.

40 Die Bestimmung der durchschnittlichen Elektrodendichte B wird einmal zu Beginn des Schmelzvorgangs vorgenommen, um den durchschnittlichen Wert B festzulegen, der während des gesamten Schmelzvorgangs anzuwenden ist.

45 Eine Berechnung der Abschmelzgeschwindigkeit M und der Grundgeschwindigkeit S_B wird in häufigen Zeitabständen während des gesamten Schmelzvorgangs vorgenommen, um einen neuen Wert für die Geschwindigkeit festzulegen, mit welcher die Elektrode angetrieben werden muß. Daher wird sich die Grundgeschwindigkeit S_B gemäß den erforderlichen Veränderungen in der Abschmelzgeschwindigkeit M verändern. Die Abschmelzgeschwindigkeit ist das Gewicht pro Zeiteinheit, innerhalb welcher die Elektrode zu geschmolzenem Metall geschmolzen ist. Wie in der US-PS 4,131,754 beschrieben, kann ein Abschmelzgeschwindigkeitssignal errechnet und als Rückkopplungssignal für die Energiezufuhr in einem automatischen Schmelzgeschwindigkeitsregelsystem verwendet werden. Es wird auf das Schmelzgeschwindigkeitsregelsystem gemäß US-PS 4,131,754 verwiesen.

Gemäß einem nicht einschränkenden Ausführungsbeispiel kann die Abschmelzgeschwindigkeit wie in "A System for the Automatic Measurement and Control of Melt Rate During Electrosag Remelting" von Raymond J. Roberts, veröffentlicht in "Proceedings of the Fifth International Symposium on Electrosag and Other Special Melting Technologies on October 16-18, 1974 in Pittsburgh, Pa.", beschrieben, errechnet werden.

55 Die Abstechgeschwindigkeit S_T kann auf verschiedene Arten bestimmt werden, je nachdem, ob das Regelsystem auf Grundlage der Frequenz, der Dauer oder sowohl der Frequenz als auch der Dauer der Schwankungen im Lichtbogenspannungssignal aufgebaut werden soll. In der folgenden Erklärung wird angenommen, daß die Kontrolle der Abstechgeschwindigkeit auf der Grundlage der Frequenz des Auftretens von Spannungsschwankungen

basiert, die durch Tröpfchen von Metall verursacht werden, die den Bogenzwischenraum überspannen. Dieses Tropfkurzschlußphänomen ist in der US-PS 2,942,045 beschrieben.

Das Regelsystem verwendet dieses Phänomen dazu, die Abstechgeschwindigkeit S_T durch Messung des Zeitintervalls zwischen aufeinanderfolgenden Tropfkurzschlüssen und Berechnung der durchschnittlichen Zeit zwischen einer vorgegebenen Anzahl der zuletzt aufgetretenen Tropfkurzschlüsse zu errechnen. So z. B. könnte der Zeitabstand zwischen den 10 zuletzt aufgetretenen Kurzschlüssen berechnet werden. Diese Anzahl kann jedoch je nach Erfahrung über- oder unterschritten werden und je nach Abmessung des Schmelztiegels und der eingesetzten Metallegierung variieren.

Diese durchschnittliche Zeit wird dann mit einem durchschnittlichen Einstell- bzw. Sollwert verglichen, um die Abstechgeschwindigkeit wie folgt zu bestimmen:

$$S_T = K_1 e + K_2 \int e dt + K_3 de/dt \quad (\text{Gleichung 4})$$

worin

$e = T_a - T_{sp}$ den Fehler zwischen durchschnittlicher Zeit zwischen Tropfen und Einstellzeit zwischen Tropfkurzschlüssen

T_a = die durchschnittliche Zeit zwischen der vorgegebenen Zahl der zuletzt aufgetretenen Tropfkurzschlüsse

T_{sp} = den durchschnittlichen Einstellwert der Zeit zwischen Tropfkurzschlüssen

S_T = die Elektrodenvortriebsabstechgeschwindigkeit

K_1 = die Proportionalitätskonstante

K_2 = die Integrationskonstante und

K_3 = die Geschwindigkeitskonstante

bedeutet.

K_1 , K_2 und K_3 sind die Konstanten für die genormte Kontrollgleichung mit drei Gliedern, die häufig in Regelkreisverfahren eingesetzt wird. Bei Anwendung auf das erfindungsgemäße Kontrollsystem sollen K_1 und K_3 klein im Verhältnis zu K_2 gehalten werden, so daß der Integralausdruck in Gleichung 4 dominant wird. Auch sollte K_2 selbst klein genug sein, um zuzulassen, daß eine relativ lange Zeit für S_T erforderlich ist, um wesentliche Veränderungen in der Gesamtgeschwindigkeit durchzuführen.

T_{sp} kann eine Konstante für eine bestimmte Bogenlänge und für ein bestimmtes Material sein, oder es kann selbst eine Variable sein, die in einem bekannten Verhältnis zum Stromwert und/oder Vakuumwert bei einer bestimmten Bogenlänge steht.

Der Wert der Grundgeschwindigkeit (S_B) und der Abstechgeschwindigkeit (S_T) wird während eines Abschmelzvorgangs häufig wiederberechnet, die Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit wird gemäß Gleichung 1 eingestellt. Da die Abschmelzgeschwindigkeit (M) in Gleichung 3 immer 0 oder positiv ist, und da der Elektrodendurchmesser immer geringer ist als der Gußblockdurchmesser und die Dichte der Elektrode immer gleich der oder geringer ist als die Dichte des Gußblocks, ist der Wert (S_B) nach Gleichung 3 entweder 0 oder ein positiver Wert.

Die nach Gleichung 4 errechnete Abstechgeschwindigkeit (S_T) kann positiv oder negativ sein und sich auf das Ansteigen oder Absinken der Vortriebsgeschwindigkeit in bezug auf die Grundgeschwindigkeit auswirken. Die Abstechgeschwindigkeit (S_T) kompensiert daher etwaige Ungenauigkeiten in dem Wert, der für die Berechnung der Grundgeschwindigkeit (S_B) verwendet wird, d. h. dem Wert, der auf der rechten Seite der Gleichung 1 aufscheint.

Gleichung 4 betrifft eine Bestimmung von S_T in einem Regelsystem. Eine Überprüfung der Gleichung zeigt jedoch, daß die Regelvariable für einen Vakuumlichtbogenschmelzofen T_a ist.

Daraus kann eine allgemeinere Funktion für die Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit in einem Vakuum-schmelzofen abgeleitet werden. Daher

$$S = f(S_B, S_T)$$

$$S_T = f(T_a - T_{sp})$$

T_{sp} ist eine Konstante

$$S = f(S_B, T_a)$$

5

worin

S = die Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit

S_B = die Grundgeschwindigkeit und

10

T_a einen Wert bedeutet, der auf einer statistischen Analyse der Frequenz und/oder Dauer von Tropfkurzschlüssen beruht.

15

20

Der Vorteil der Kontrolle des Zwischenraumes zwischen dem unteren Ende einer Elektrode und der oberen Fläche eines Gußblocks unter Verwendung einer Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit, die auf einer Kombination von Grundgeschwindigkeit und Abstechgeschwindigkeit beruht, kann jetzt besser erkannt werden. Rasche Veränderungen in der Schmelzgeschwindigkeit führen zu einer unmittelbaren Veränderung der Grundgeschwindigkeit (S_B). Dadurch kann der Elektrodenvortrieb derartige Veränderungen genau verfolgen. Wenn jedoch dieses System allein angewendet wird, um den Elektrodenvortrieb zu regeln, führen unweigerlich kleine Ungenauigkeiten der Messung oder Annahme in bezug auf die verschiedenen Parameter auf der rechten Seite der Gleichung 3 zu einem langsamen, kumulativen Aufbaufehler im Wert der Bogenlänge. Ein solcher langsamer Aufbau wird jedoch durch die Abstechgeschwindigkeitsfunktion (S_T) kompensiert, die nach der Beobachtung der Bogenspannungssignale über einen ausreichend langen Zeitraum hinweg berechnet wird, um zu gewährleisten, daß Zufallsschwankungen durch Errechnen von Durchschnittswerten oder andere statistische Manipulationen ausgeschaltet werden.

25

30

Es ist nicht beabsichtigt, die Modifizierung der Grundgeschwindigkeit durch eine Abstechgeschwindigkeitsfunktion auf die vorstehend beschriebene algebraische Addition einzuschränken. So z. B. könnte der nach Gleichung 4 berechnete Fehlerwert dazu verwendet werden, einen Multiplikationsfaktor zu errechnen, mittels welchem die Grundgeschwindigkeit eingestellt wird. In diesem System würde ein Fehlerwert Null zu einem multiplikativen Einheitsfaktor führen, d. h. daß die Elektrode mit Grundgeschwindigkeit vorgetrieben würde. Ein positiver Fehlerwert (das Ergebnis einer zu großen Bogenlänge) würde zu einem Multiplikationsfaktor größer als der Einheitswert führen, d. h. daß die Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit höher wäre als die Grundgeschwindigkeit und die Bogenlänge damit auf den gewünschten Wert herabgesenkt würde. Umgekehrt würde ein negativer Fehlerwert zu einem Multiplikationsfaktor führen, der kleiner als der Einheitswert ist, und damit die Vortriebsgeschwindigkeit verringert, so daß die Bogenlänge auf den gewünschten Wert erhöht werden könnte.

35

Die vorhergehende Bestimmung der Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit nimmt an, daß der Boden des Gußblocks (34) stationär ist. Nicht stationäre Gußblöcke, wie sie in einem Blockauszieh-Vakuumschmelzsystem verwendet werden, können durch eine Verlängerung der Kontrollgleichungen gedeckt werden. Wenn die Grundplatte des Gußblocks mit einer Geschwindigkeit (S_I) herausgezogen wird, muß dieser Wert der Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit hinzugefügt werden:

40

$$S = S_B + S_T + S_I \quad (\text{Gleichung 5})$$

45

In der Zeichnung ist ein Kontrollsystem dargestellt, das eine Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit gemäß Gleichung 1 herstellt.

50

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Elektrode (18) innerhalb des Schmelztiegels (12) abgesenkt wird, ist direkt proportional der Geschwindigkeit, mit welcher die Schraube (26) durch den Elektrodenvortriebsmotor (30) gedreht wird. Der Elektrodenvortriebsmotor (30) ist daher mit einem Tachometer (40) versehen, dessen Ausgangssignal proportional der Geschwindigkeit des Motors (30) ist. Der Motor (30) ist ein stufenlos verstellbarer elektrischer Motor wie z. B. der Motor (34) gemäß der US-PS 2,726,278.

55

Die Kraftmeßdose (24) gibt ein Signal ab, das proportional dem Gewicht der Elektrode ist. Dieses Signal wird dem Elektrodengewichtsanzeiger (42) zugeführt. Die Kraftmeßdose (24) kann jede beliebige Vorrichtung sein, die zum Messen des Gewichtes einer Elektrode während des Schmelzens derselben geeignet ist. Sie kann die Form einer hydraulischen Vorrichtung oder eines Dehnungsmessers aufweisen. So z. B. kann die Kraftmeßdose wie in der US-PS 3,272,905 beschrieben ausgebildet sein. Die Kraftmeßdose (24) kann außerhalb des Ofens angeordnet sein.

Der Elektrodengewichtsanzeiger (42) erregt nach Bedarf die Kraftmeßdose (24) und wandelt das Ausgangssignal der Kraftmeßdose (24) in ein Gewichtssignal um. Geeignete Elektrodengewichtsanzeiger sind handelsüblich und werden u. a. von der Firma BLH Electronics in Waltham, Massachusetts, vertrieben.

Der Elektrodengewichtsanzeiger (42) gibt ein dem Gewicht der Elektrode entsprechendes Signal in das Rechnersystem (44) ein. Das Rechnersystem (44) kann ein Analog- oder Digitalrechner sein. Bevorzugt ist es entweder ein Minirechner, Mikrorechner oder eine programmierbare Rechenmaschine, die mit einem geeigneten Koppelsystem für das Empfangen und Senden analoger und/oder digitaler Signale von und zu den hier beschriebenen verschiedenen Schaltkreisen versehen ist. Geeignete Rechnersysteme werden u. a. von den Firmen Data General Inc. und Digital Equipment Corporation vertrieben.

Ein Lichtbogenspannungssignal wird vom Lichtbogenspannungsschaltkreis (46) erfüllt und als Eingabe dem Rechnersystem (44) zugeführt. Das Rechnersystem empfängt das Bogenspannungssignal und bestimmt den Fehler e zwischen der durchschnittlichen Zeit zwischen einer vorgegebenen Anzahl von letzten Tropfkurzschlüssen T_a und dem durchschnittlichen Einstellwert der Zeit zwischen den Tropfkurzschlüssen T_{sp} .

Bei einem Elektroschlackenofen vergleicht das Rechnersystem Veränderungen in den Werten der Spannung quer über das Schlackenbad oder des Stromes durch das Schlackenbad mit einem eingestellten Wert der Spannung oder des Stromes, um ein Fehlersignal für die Berechnung von S_T in Gleichung 4 zu erhalten. Zusätzlich erhält das Rechnersystem (44) vom Operator zugeführte Eingabedaten vom Datenterminal (48). Die Daten können von einem Tastendrucker, einem CRT-Terminal oder einem Karten- oder Papierstreifenleser eingegeben werden, wie sie dem Fachmann bekannt sind. Geeignete Terminals, Tastaturen od. dgl. sind u. a. bei Texas Instruments, Lear Seagler, Hazeltine erhältlich. Wenn ein Analogrechnersystem verwendet wird, können die Daten mittels Potentiometer eingegeben werden.

Ein Verstärker (50) gibt ein Antriebssignal an den Motor (30) in Abhängigkeit vom Elektrodenvortriebsgeschwindigkeitssignal S ab, das vom Rechnersystem (44) erzeugt wird. Der Verstärker (50) kann ein Magnetverstärker oder ein Thyristor- oder Transistor-Motorgeschwindigkeitsregler sein, wie sie u. a. von Westinghouse Electric Corporation, General Electric Corporation vertrieben werden. Solche Motorgeschwindigkeitsregler erfüllen die tatsächliche Geschwindigkeit des Motors (30) aufgrund des vom Tachometer (40) empfangenen Signals und stellen diese Geschwindigkeit auf die gewünschte Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit (S) ein.

Aus der vorstehenden Beschreibung geht hervor, daß das Rechnersystem (44) mit allen für die Lösung der Gleichung 1 erforderlichen Informationen versehen ist. Das Elektrodengewicht wird laufend vom Elektrodengewichtsanzeiger (42) zur Verfügung gestellt, das Lichtbogenspannungssignal wird kontinuierlich vom Lichtbogenspannungsschaltkreis (46) erzeugt. Alle anderen Daten und Ergänzungsdaten für diese Daten werden durch das Operatorterminal (48) eingegeben. Es ist zu beachten, daß das System genau so gut arbeitet, wenn kontinuierlich das Gußblockgewicht anstelle des Elektrodengewichts gemessen wird.

Die Erfindung ist keineswegs auf die vorstehend beschriebene Ausführungsform eingeschränkt, innerhalb des Schutzzumfangs und ohne vom Erfindungsgedanken abzuweichen sind Änderungen und Modifizierungen möglich.

PATENTANSPRUCH

Verfahren zur Regelung der Elektrodenvortriebsgeschwindigkeit (S) in einem Abschmelzelektrodenofen, um einen im wesentlichen konstanten Abstand zwischen dem Boden einer Elektrode und der Oberseite eines Schmelz- bzw. Gußblockes in einem Abschmelzelektrodenofen aufrechtzuerhalten, der eine Elektrode, eine fluidgekühlte Kokille und ein Zufuhrsystem für elektrischen Strom aufweist, um die Elektrode zu schmelzen und einen Schmelz- bzw. Gußblock in der Kokille herzustellen, wobei der Abschmelzelektrodenofen Elektrodenvortriebsvorrichtungen zur Positionierung der Elektrode während des Schmelzvorganges, eine Einrichtung für die Messung des Gewichtes der Elektrode oder des Gußblockes während des Abschmelzvorganges und eine Einstelleinrichtung für die Regelung der Vortriebsgeschwindigkeit (S) der Elektrodenvortriebsvorrichtung umfaßt, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vortriebsgeschwindigkeit (S) der Elektrodenvortriebsvorrichtung auf eine kurzfristige Änderungen der Betriebsparameter berücksichtigende Basisgeschwindigkeit (S_P) eingeregelt wird und durch eine langfristige Änderungen der Betriebsparameter berücksichtigende Schmelz- bzw. Abstechgeschwindigkeit (S_T) erhöht oder verringert wird, die durch gemessene Veränderungen der elektrischen Spannung oder des Stromes bestimmt wird, deren Werte sich als Funktion des Abstandes zwischen der Bodenfläche der Elektrode und der oberen Fläche des Gußblockes verändern, wobei die Basisgeschwindigkeit (S_P) eine Funktion von gemessenen Veränderungen des Gewichtes der Elektrode oder des Gußblockes während des Schmelzvorganges, der geometrischen Abmessungen der Elektrode, der geometrischen Abmessungen der Kokille und der Geschwindigkeit (S_f) der Bewegung der Bodenfläche des Gußblockes darstellt, mit

$$S_B = \frac{4M}{\pi} \left(\frac{1}{De^2 \cdot B} - \frac{1}{D_i^2 \cdot A} \right),$$

worin

- π = 3.1416
 S_B = Elektrodengrundgeschwindigkeit
 M = Schmelzgeschwindigkeit, berechnet aus der Geschwindigkeit, mit welcher das Gewicht der Elektrode abnimmt oder das Gewicht des Gußblocks zunimmt
 De = Elektrodendurchmesser
 B = durchschnittliche Elektrodendichte
 Di = Gußblockdurchmesser
 A = durchschnittliche Gußblockdichte

und

$$B = \frac{We \cdot 4}{\pi \cdot De^2 \cdot Le}$$

worin

- π \simeq 3.1416
 B = durchschnittliche Elektrodendichte
 We = ursprüngliches Elektrodengewicht
 De = Elektrodendurchmesser und
 Le = ursprüngliche Elektrodenlänge

bedeuten, und wobei

$$S_T = K_1 e + K_2 \int e dt + K_3 de/dt$$

worin

- e = $T_a - T_{sp}$ den Fehler zwischen durchschnittlicher Zeit zwischen Tropfen und Einstellzeit zwischen Tropf-
kurzschlüssen
 T_a = die durchschnittliche Zeit zwischen der vorgegebenen Zahl der zuletzt aufgetretenen Tropfkurzschlüsse
 T_{sp} = den durchschnittlichen Einstellwert der Zeit zwischen Tropfkurzschlüssen
 S_T = die Elektrodenabstechgeschwindigkeit
 K_1 = die Proportionalitätskonstante
 K_2 = die Integrationskonstante und
 K_3 = die Geschwindigkeitskonstante

bedeuten.

Hiezu 1 Blatt Zeichnung

