

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 896 067 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
13.11.2002 Patentblatt 2002/46

(51) Int Cl.7: **C21C 5/52**, F27D 21/00

(21) Anmeldenummer: **98114023.9**

(22) Anmeldetag: **27.07.1998**

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Erfassung des Schlackezustandes und der Lichtbogenstabilität
in Lichtbogenöfen**

Process and installation to monitor the slag state and the arc stability of the arc furnace

Procédé et dispositif pour surveiller l'état du laitier et la stabilité de l' arc d'un four à arc

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU NL
SE**

(30) Priorität: **31.07.1997 DE 19733130**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
10.02.1999 Patentblatt 1999/06

(73) Patentinhaber: **Badische Stahl Engineering
GmbH
77694 Kehl (DE)**

(72) Erfinder:
• **Klein, Karl-Heinz Dr.-Ing.
77731 Willstätt (DE)**

• **Paul, Günter Dipl.-Ing.
77731 Willstätt (DE)**
• **Danilov, Vladimir Dipl.-Ing.
77694 Kehl (DE)**

(74) Vertreter: **Beetz & Partner Patentanwälte
Steinsdorfstrasse 10
80538 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 637 634 EP-A- 0 692 544
DE-A- 3 832 763 US-A- 5 115 447

EP 0 896 067 B1

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).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erfassung des Zustandes der Schlacke und der Stabilität des Lichtbogens in Lichtbogenöfen, in denen eine Flüssigmetallaufbereitung durchgeführt wird, insbesondere zur Stahlerzeugung aus Schrott, festem Roheisen oder Eisenschwamm.

[0002] In Lichtbogenöfen sind Elektroden auf Graphitbasis korrespondierend zu einem metallischen Ofeneinsatz angeordnet; Aufbau, Funktion und Betrieb solcher Lichtbogenöfen sind dem Fachmann geläufig.

[0003] Die Regelung und Optimierung von Lichtbogenöfen stellt, obgleich im Stand der Technik bereits zahlreiche Lösungsvorschläge angegeben wurden, noch immer ein großes Problem dar, insbesondere in wirtschaftlicher Hinsicht wegen nicht optimaler Energieausnutzung und in ökologischer Hinsicht, da bei nicht optimaler Prozeßführung des Schmelzvorgangs bei lokaler Überhitzung fluorhaltige Dämpfe aus Flußmitteln in die Umwelt gelangen können.

[0004] Der Schlacke kommt bei Lichtbogenöfen die wichtige Funktion zu, die vom Lichtbogen abgestrahlte Energie möglichst weitgehend in das Metallbad zu lenken und Abstrahlungsverluste so weit wie möglich zurückzudrängen.

[0005] Es ist Stand der Technik, der Schlacke durch Gasentwicklung eine schaumige Struktur zu verleihen ("Schaumslagge"), von der die Lichtbögen weitgehend abgeschirmt werden. Zur Bildung von Schaumslagge wird beispielsweise Sauerstoff über Lanzen in den flüssigen Stahl eingeblasen. Hierbei verbrennt im flüssigen Stahl vorliegender Kohlenstoff zu Kohlenmonoxid, durch das die Schlacke aufgeschäumt wird. Es ist auch möglich, Kohlenstoff über Lanzen in die bereits gebildete Schaumslagge einzublasen, wodurch in der Schlacke vorhandenes Eisenoxid in Eisen und Kohlenmonoxid umgewandelt wird, durch das die Schlacke weiter aufgeschäumt wird.

[0006] Unter dem Schlackezustand wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung der Schaumslaggezustand verstanden, bei dem die Schaumslagge die Lichtbögen mindestens teilweise und vorzugsweise vollständig einhüllt.

[0007] Durch die Schaumslagge werden die Feuerfestausmauerung und die Wasserkühlsysteme des Ofens vor der starken Strahlungsbelastung abgeschirmt. Hierdurch kann der Wirkungsgrad der Energieübertragung von der Elektrode auf das Metallbad verbessert werden. Für die Wirtschaftlichkeit des Lichtbogenofenbetriebs ist es daher von wesentlicher Bedeutung, die Lichtbogenabdeckung durch die Schaumslagge kontinuierlich zu beobachten und diese erforderlichenfalls durch entsprechend induzierte Gasentwicklung aufzuschäumen.

[0008] Eine einheitliche Erfassung und Interpretation aller physikalischen Lichtbogeneigenschaften ist allerdings aufgrund der erheblichen Komplexität der physikalischen und chemischen Vorgänge praktisch ausgeschlossen.

[0009] Man hat daher auf sehr verschiedene Weisen versucht, mit indirekten Meßverfahren geeignete Signale zu erhalten, mit denen sich der Schmelzzustand im Lichtbogenofen erkennen und steuern bzw. regeln läßt.

[0010] Aus der Zeitschrift "Elektrowärme International" 45 (1987), Seiten B29 - B36, ist ein Verfahren bekannt, in dem mit Hilfe spezieller Kennzahlen, wie beispielsweise Klirrfaktor und Schwingungsgehalt, die aus Lichtbogenstrom und Lichtbogenstrom ermittelt werden, die harmonischen Komponenten im Leistungsdichtespektrum elektrischer Lichtbogengrößen geeignet bewertet werden, so daß bei Abweichung der Kennzahlen von bestimmten vorgegebenen Werten entsprechend Maßnahmen zur Schaumslaggebildung getroffen werden können.

[0011] Aufgrund der Zusammenhänge zwischen den elektrischen und akustischen Lichtbogeneigenschaften kann auch die akustische Emission der Lichtbögen unmittelbar für eine Zustandsbeobachtung, insbesondere für den Schlackenaufbau, herangezogen werden.

[0012] Aus der Zeitschrift "Elektrowärme International" 42 (1994), B220 - B227, sind Schalldruckmessungen während des Schmelzbetriebes von Lichtbogenöfen zur Bestimmung der Abhängigkeit der Geräuschentwicklung von den elektrischen Lichtbogengrößen bekannt. Das Schallsignal besteht im wesentlichen aus einem breitbandigen Rauschen, aus dem sich charakteristisch ein 100 Hz-Ton mit einer Reihe von harmonischen Vielfachen abhebt. Mit dem Schmelzfortschritt im Ofen ändert sich der Schalldruck, wobei diese Veränderung quantitativ durch eine Rauschzahl erfaßt wird, welche zur Prozeßsteuerung herangezogen werden kann.

[0013] Aus DD 295 248 ist ein Verfahren zur Messung der Instabilität eines Lichtbogens in einem Elektroofen bekannt, bei dem eine Wechselbeziehung zwischen der Änderung der Stromstärke im Lichtbogen und der Schlackenaufblähung ausgenutzt wird. Bei diesem Verfahren wird ein Signal erzeugt, das dem Differentialquotienten (di/dt) der Stromstärke i des durch den Lichtbogen fließenden Stroms entspricht, insbesondere durch eine Rogowski-Spule. Dieses Signal wird einer Filterung durch ein Hochfrequenz-Breitbandfilter und ein schmalbandiges Tiefbandfilter unterzogen, worauf ein Teilermodul das Verhältnis der von den Filtern stammenden Signaleffektivwerte erzeugt, das als Indikator für die Schlackenaufblähung dient und bei maximaler Schlackenaufblähung einen Minimalwert annimmt. Das dieses Verhältnis kennzeichnende Signal wird entweder einer Anzeige zugeführt oder kann zur Regelung bestimmter Betriebsparameter des Lichtbogenofens herangezogen werden, beispielsweise zur Bestimmung der Beendigung des Schmelzprozesses.

[0014] Aus DE 4425089 ist ferner bekannt, zur Steuerung der Durchsatzrate an eingeblasenem Kohlenstoff im Drehstromlichtbogenofen die Schallemission des Lichtbogenofens automatisch zu erfassen, wobei eine Auswertung der Amplitude des Schalls frequenzselektiv durchgeführt wird. Bei Überschreiten eines durch eine Steuereinheit vorgegebenen Schallpegels wird die Durchsatzrate des Kohlenstoffs erhöht und bei einem Unterschreiten vermindert. Das

Frequenzspektrum wird im Bereich von 100 Hz ausgewertet, da dieser Bereich die Schallemission der Lichtbögen besonders signifikant wiedergibt und Störgeräusche relativ gleich verteilt über das Frequenzspektrum vorliegen. Gemäß Fig. 1 dieser Druckschrift wertet eine Steuereinheit das Signal eines Mikrophons aus, das im Bereich des Elektrolichtbogenofens angeordnet ist.

[0015] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur quantitativen Erfassung, Steuerung bzw. Regelung und Optimierung des Schlackezustandes und der Stabilität des Lichtbogens in Lichtbogenöfen anzugeben, mit denen der elektrothermische Wirkungsgrad der Lichtbogenöfen verbessert und der Verbrauch an elektrischer Energie abgesenkt werden kann.

[0016] Die Aufgabe wird gemäß den unabhängigen Ansprüchen gelöst.

[0017] Die abhängigen Ansprüche betreffen vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindungskonzeption.

[0018] Die Erfindung beruht auf der Feststellung, daß der Effektivwert $[d^n i / dt^n]_{\text{eff}}$ der n-ten Ableitung $d^n i / dt^n$ der Stromstärke $i(t)$ bzw. eines ihr proportionalen Signals in enger Korrelation mit dem Schlackezustand in einem Lichtbogenofen steht. Da der Schlackezustand einen Prozeßparameter darstellt, der im Hinblick auf optimale Energieausnutzung und optimale Temperaturführung wesentlich ist, eröffnet die vorliegende Erfindung die Möglichkeit der direkten Steuerung oder auch Regelung des Schlackezustandes. Liegt der Effektivwert $[d^n i / dt^n]_{\text{eff}}$ nicht mehr im Bereich zwischen vorgegebenen Grenzwerten, der im folgenden als Schlackefenster bezeichnet wird und innerhalb dessen der Schlackezustand und die Schlackemenge bzw. der Einhüllungsgrad der Elektrode optimal sind, kann der Schlackezustand sofort nachoptimiert werden, indem Kohlenstoff bzw. Kohle in die Schlacke oder Sauerstoff in das Metallbad eingeblasen wird und/oder schlackenbildende Stoffe in den Lichtbogenofen eingebracht werden und/oder entsprechende Zugaben gedrosselt oder gestoppt werden.

[0019] Nach einer vorteilhaften Weiterbildung wird bei Erfassung eines Effektivwertes außerhalb des Schlackefensters, unabhängig von anderen Maßnahmen, die Elektrodenposition durch geeignete Nachführung geändert.

[0020] Der Effektivwert von Ableitungen der Stromstärke $i(t)$ bzw. eines ihr proportionalen Signals stellt einen sensiblen Indikator für die Tendenz zur Änderung des Signals dar und erlaubt so eine Steuerung wie auch Regelung des Schlackezustandes und auch der Stabilität des Lichtbogens mit außerordentlich hoher Zugriffsgeschwindigkeit und entsprechend hoher Genauigkeit.

[0021] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erfassung des Schlackezustandes in Lichtbogenöfen, in denen ein flüssiges Metallbad, insbesondere ein Stahlbad, mit einer Schlackeschicht bedeckt ist, die den zwischen Metallbad und Elektrode brennenden Lichtbogen zumindest teilweise einhüllt, beruht auf der Erzeugung eines aus der Stromstärke $i(t)$ des über die Elektrode fließenden Stroms abgeleiteten Signals, das mit der Schallemission des Plasmas des Lichtbogens korreliert ist, und der Ermittlung des Schlackezustandes aus diesem Signal; es ist gekennzeichnet durch

- Bildung der n-ten Ableitung $d^n i / dt^n$ der von der Zeit t abhängigen Stromstärke $i(t)$ bzw. eines ihr proportionalen Signals zu vorgegebenen Zeitpunkten oder kontinuierlich,
- Bildung des Effektivwertes $[d^n i / dt^n]_{\text{eff}}$ der n-ten Ableitung $d^n i / dt^n$ der Stromstärke $i(t)$ bzw. des ihr proportionalen Signals in Form des quadratischen Mittelwerts nach der Formel I

$$[d^n i / dt^n]_{\text{eff}} = \sqrt{1/T \int_0^T (d^n i / dt^n)^2 dt} \quad (I),$$

worin bedeuten:

- i die Stromstärke des über die Elektrode fließenden Stroms,
- n 2, 3 oder 4 und
- T die Integrationsdauer,

und

- Ermittlung, ob der Effektivwert $[d^n i / dt^n]_{\text{eff}}$ innerhalb vorgegebener Grenzwerte (Schlackefenster) liegt, innerhalb deren der Schlackezustand und die Schlackemenge bzw. der Einhüllungsgrad der Elektrode optimal sind.

[0022] Das Erfindungskonzept eignet sich gleich gut für Gleichstrom- und Drehstromlichtbogenöfen.

[0023] Es kann die zweite, dritte oder vierte Ableitung der Stromstärke $i(t)$ gebildet werden. Vorzugsweise wird zur Bildung des Effektivwertes die zweite Ableitung ($n = 2$) der Stromstärke $i(t)$ herangezogen.

[0024] Es ist auch möglich, die Bildung der n-ten Ableitung $d^n i / dt^n$ aus Inkrementen nullter bis n-ter Ordnung ent-

sprechend der Formel II

$$d^n i / dt^n = k_0 + k_1 \cdot di/dt + k_2 \cdot d^2 i / dt^2 + k_3 \cdot d^3 i / dt^3 + k_4 \cdot d^4 i / dt^4 \quad (II)$$

vorzunehmen, in der k_0 , k_1 , k_2 , k_3 und k_4 vorgegebene und insbesondere durch Eichung oder empirisch bestimmte Konstante darstellen, wobei die Bedingungen k_0 , $k_1 \geq 0$ sowie k_2 und/oder k_3 und/oder $k_4 > 0$ gelten. Die Polynomentwicklung, die der Beziehung zugrundeliegt, ist außerordentlich genau an die jeweils herrschenden Verhältnisse anpaßbar und erlaubt so, besonders nach einer vorherigen Eichung nach einem unabhängigen Verfahren, eine quantitative Bestimmung der differentiellen Stromstärke.

[0025] Das der n-ten Ableitung der Stromstärke $i(t)$ entsprechende Signal wird vor der Bildung des Effektivwertes zur Abtrennung unerwünschter Frequenzen vorzugsweise gefiltert. Bei Drehstromöfen werden insbesondere die Netzfrequenz oder unerwünschte Hochfrequenzen abgetrennt; vorteilhaft werden Frequenzen außerhalb des Frequenzbereichs von 800 Hz bis 100 kHz abgetrennt. Besonders im Falle von Gleichstromöfen ist es günstig, Frequenzen außerhalb des Frequenzbereichs von 20 Hz bis 1 kHz auszufiltern.

[0026] Das erfindungsgemäße Verfahren kann auch in der Einschmelzphase angewandt werden, in der der Lichtbogen zumindest teilweise von der Schlacke eingehüllt wird. Damit ist es möglich, die Schmelzzeiten zu verringern, wodurch sich eine entsprechende Verringerung des Energiebedarfs ergibt, da bei maximierten Schmelzgeschwindigkeit die kürzesten Schmelzzeiten und damit die geringsten Energieverluste vorliegen, wobei zugleich überhöhte Temperaturen und damit verbundene Abstrahlungsverluste vermieden werden.

[0027] Besonders vorteilhaft kann das erfindungsgemäße Verfahren nach dem Aufschmelzen der gesamten Charge herangezogen werden. In dieser Betriebsphase ist es notwendig, die feuerfeste Ausmauerung und die wassergekühlten Wand- und Deckenelemente des Oberofens gegen die unmittelbare Lichtbogenstrahlung zu schützen. Aus diesem Grund soll der Lichtbogen ganz von der Schlacke eingeschlossen werden. Beim erfindungsgemäßen Verfahren kann der angestrebte Schlackezustand über den Effektivwert $[d^n i / dt^n]_{\text{eff}}$ der Ableitungen der Stromstärke feinfühlig erfaßt und durch entsprechendes Einblasen von Kohlenstoff oder Sauerstoff bzw. Zusatz von Schlackenbildnern aufrechterhalten werden.

[0028] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erfassung des Schlackezustandes in Lichtbogenöfen, in denen ein flüssiges Metallbad, insbesondere ein Stahlbad, hergestellt wird, das mit einer Schlackeschicht bedeckt ist, die den zwischen Metallbad und Elektrode brennenden Lichtbogen zumindest teilweise einhüllt, die insbesondere zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist, weist auf:

- eine Stromerfassungseinrichtung, welche die Stromstärke $i(t)$ des über die Elektrode fließenden Stroms erfaßt,
- eine Differenziereinrichtung, die eine Ableitung der Stromstärke $i(t)$ erzeugt,
- und
- eine Kontrolleinrichtung, die aus der Ableitung der Stromstärke $i(t)$ ein dem Schlackezustand entsprechendes Signal erzeugt;

sie ist dadurch gekennzeichnet, daß

die Differenziereinrichtung die n-te Ableitung $d^n i / dt^n$ der von der Zeit t abhängigen Stromstärke $i(t)$, bzw. ein der n-ten Ableitung entsprechendes Signal zu vorgegebenen Zeitpunkten oder kontinuierlich erzeugt, wobei n gleich 2, 3 oder 4 ist,

eine der Differenziereinrichtung nachgeschaltete Effektivwerteinrichtung vorgesehen ist, die den Effektivwert $[d^n i / dt^n]_{\text{eff}}$ der n-ten Ableitung $d^n i / dt^n$ der Stromstärke $i(t)$ bzw. des ihr proportionalen Signals in Form des quadratischen Mittelwerts nach der Formel I bildet,

$$[d^n i / dt^n]_{\text{eff}} = \sqrt{1/T \int_0^T (d^n i / dt^n)^2 dt} \quad (I),$$

worin bedeuten:

- i die Stromstärke des über die Elektrode fließenden Stroms,
 t die Zeit,

n 2, 3 oder 4 und
T die Integrationsdauer, und

die Kontrolleinrichtung der Effektivwerteinrichtung nachgeschaltet ist und den Effektivwert $[d^n i/dt^n]_{\text{eff}}$ mit vorgegebenen Grenzwerten vergleicht, innerhalb deren der Schlackezustand und die Schlackemenge bzw. der Einhüllungsgrad der Elektrode optimal sind (Schlackefenster), und bei Erfassung eines außerhalb des Schlackefensters liegenden Effektivwertes $[d^n i/dt^n]_{\text{eff}}$ ein entsprechendes Signal abgibt und/oder eine oder mehrere Lanzen zum Einblasen von Kohlenstoff bzw. Kohle in die Schlacke oder von Sauerstoff in das Metallbad und/oder eine Eintrageinrichtung zum Eintragen von schlackebildenden Stoffen ansteuert und/oder die Elektrode geeignet positioniert.

[0029] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann zur Steuerung oder zur Regelung unter Erfassung des Schlackezustandes ausgelegt sein und umfaßt, wie oben erläutert, eine Stromerfassungseinrichtung, eine Differenziereinrichtung, eine Effektivwerteinrichtung zur Bildung des Effektivwertes und eine Kontrolleinrichtung, die den Effektivwert mit den vorgegebenen Grenzwerten vergleicht und ggf. Steuersignale für Stellglieder erzeugt. Die Kontrolleinrichtung kann also auch als Regeleinrichtung mit geschlossenem Regelkreis ausgelegt sein und eine oder mehrere Lanzen zum Einblasen von Kohlenstoff bzw. Kohle in die Schlacke und/oder von Sauerstoff in das Metallbad oder auch die Elektrodenpositioniereinrichtung ansteuern und den Schlackezustand über den Effektivwert der n-ten Ableitung des Stroms so regeln, daß der Effektivwert im Schlackefenster gehalten wird.

[0030] Durch die Stromerfassungseinrichtung wird die Stromstärke $i(t)$ des Stroms erfaßt, der im Elektrodenkreis fließt.

[0031] Es ist vorteilhaft, den Strom beispielsweise dadurch zu erfassen, daß in einer Elektrodenzuführungsleitung an zwei voneinander beabstandeten Punkten ein Meßwiderstand parallelgeschaltet und der an diesem Meßwiderstand auftretende Spannungsabfall, der dem in der Leitung fließenden Strom entspricht, gemessen bzw. erfaßt wird.

[0032] Die Bildung der n-ten Ableitung erfolgt durch die Differenziereinrichtung. Hierfür können dem Fachmann geläufige Differenzierglieder oder Differenzierschaltungen, die auch mit entsprechenden Filtern kombiniert sein können, Verwendung finden.

[0033] Als Stromerfassungseinrichtungen sind Meßtransformatoren günstig geeignet. Je nach der Art des Meßtransformators (z.B. Stromwandlertyp oder Rogowski-Typ) resultiert ein Ausgangssignal, das dem Strom $i(t)$ oder der 1. Ableitung davon, di/dt , entspricht.

[0034] Ferner können auch Hall-Generatoren als Stromerfassungseinrichtungen herangezogen werden. In derartigen Fällen, in den als Ausgangssignal der Stromerfassungseinrichtung bereits ein Ableitungssignal resultiert, ist die Differenziereinrichtung 4 so ausgelegt, daß sie aus dem als Eingangssignal erhaltenem Ableitungssignal durch entsprechendes Nachdifferenzieren ein der gewünschten Ableitung (2., 3. oder 4. Grades) entsprechendes Ausgangssignal liefert.

[0035] Die Stromerfassungseinrichtung und die Differenziereinrichtung müssen im Rahmen der vorliegenden Erfindung nicht unbedingt getrennte, diskrete Einrichtungen darstellen. Die Stromerfassungseinrichtung und die Differenziereinrichtung können funktionell und gegebenenfalls auch strukturell oder schaltungsmäßig eine Einheit bilden bzw. miteinander integriert sein.

[0036] Die vorteilhaft als Stromerfassungseinrichtung verwendeten zwei- oder dreidimensionalen Spulen weisen mindestens zwei bzw. mindestens drei Wicklungen auf, deren Achsen in aufeinander senkrecht stehenden Raumrichtungen orientiert sind.

[0037] Hierdurch ist es möglich, das Stromsignal (in Form der 1. Ableitung) weitgehend richtungsunabhängig zu erfassen. Diese Ausführungsform ist besonders günstig für Gleichstromöfen verwendbar.

[0038] Derartige dreidimensionale Meßtransformatoren können in besonders vorteilhafter Weise aus Windungen oder Wicklungen aufgebaut sein, deren Achsenrichtungen mehr oder weniger gleichmäßig über alle Raumrichtungen verteilt ausgerichtet sind. Solche einem Wollknäuel ähnelnde Anordnungen ermöglichen es, das Stromsignal bzw. dessen 1. Ableitung praktisch richtungsunabhängig zu erfassen.

[0039] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann ferner eine von der Kontrolleinrichtung gesteuerte Signaleinrichtung aufweisen, die ein akustisches und/oder optisches und/oder elektrisches, etwa zu Steuer- oder Regelzwecken verwendbares Signal abgibt, wenn der Effektivwert der n-ten Ableitung innerhalb oder außerhalb des Schlackefensters liegt.

[0040] Die Kontrolleinrichtung ist ferner vorteilhaft so ausgebildet, daß auf einem Display angezeigt wird oder das abgegebene Signal auch die Information beinhaltet, ob der Effektivwert oberhalb oder unterhalb des Schlackefensters liegt.

[0041] Wenn die Kontrolleinrichtung als Regler ausgelegt und in einem geschlossenen Regelkreis integriert ist, weist sie vorteilhaft ein PD-, PI-, PID- oder PDPI-artiges Regelverhalten auf. Wenn sie einen digitalen Regler mit frei wählbarer bzw. programmierbarer Charakteristik oder ein adaptives, lernendes System darstellt, können hierbei analoge Kennlinien realisiert sein. Durch ein derartiges Regelverhalten, das vorzugsweise ofenspezifisch empirisch optimiert wird, läßt sich eine gegenüber P-artigen Reglern praktisch totzeitfreie Regelung mit hoher Ansprech- und Ausregel-

geschwindigkeit realisieren, wobei die Regelabweichung minimiert werden kann.

[0042] Die Effektivwerteinrichtung zur Bildung des Effektivwertes der n-ten Ableitung $[d^n i/dt^n]_{\text{eff}}$ ist vorteilhaft ein Meßgleichrichter, dem ggf. ein Integrator nachgeschaltet ist.

[0043] Die Kontrolleinrichtung ist vorzugsweise ein digitales Mikroprozessorsystem, worin die dem Schlackefenster zugeordneten Grenzwerte gespeichert oder speicherbar sind und das die Steuerung der Stellglieder übernimmt und ggf. den Effektivwert auf einem Display anzeigt.

[0044] Die Kontrolleinrichtung ist vorteilhaft als adaptiver Regler ausgelegt. Durch Implementierung von Fuzzy-Logik kann die Steuer- bzw. Reglerfunktion weiter optimiert werden.

[0045] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann ferner auch Filter aufweisen, um unerwünschte Frequenzen, wie etwa die Netzfrequenz und unerwünschte hochfrequente Anteile, zu eliminieren und so die Selektivität der Signalerfassung zu erhöhen. Besonders geeignet sind digitale Filter, da sie es erlauben, beliebige Durchlaßkennlinien zu realisieren.

[0046] Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezug auf die Zeichnungen näher erläutert; es zeigen:

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erfassung und gegebenenfalls Regelung des Schlackezustandes in einem Lichtbogenofen;

Fig. 2 eine weitere erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erfassung und gegebenenfalls Regelung des Schlackezustandes in einem Lichtbogenofen;

Fig. 3 eine Registrierkurve, die den Effektivwert der zweiten Ableitung der Stromstärke in Abhängigkeit von der Zeit zeigt, wobei der Schlackezustand sowohl in der Einschmelzphase als auch für den geschmolzenen Zustand des Metallbads dargestellt ist.

[0047] Die in Fig. 1 dargestellte Vorrichtung ist eine erfindungsgemäße Vorrichtung, mit welcher der Schlackezustand nicht nur quantitativ erfaßt und gesteuert, sondern auch, durch die Einwirkung auf entsprechende Stellglieder in einem geschlossenen Regelkreis, geregelt werden kann.

[0048] Die Vorrichtung von Fig. 1 umfaßt eine Rogowski-Spule als Meßtransformator, der die Stromerfassungseinrichtung (3) darstellt, an deren Ausgang die erste Ableitung des Stromsignals $i(t)$ des durch die Elektrode 2 fließenden Stroms vorliegt, eine Differenziereinrichtung 4, welche daraus die zweite Ableitung der Stromstärke $i(t)$ bildet, einen nachgeschalteten Meßgleichrichter als Effektivwerteinrichtung 5, die den Effektivwert $[d^2 i/dt^2]_{\text{eff}}$ bildet, eine anschließend vorgesehene Integriereinrichtung 6 und eine Kontrolleinrichtung 7, die mit dem Ausgang der Integriereinrichtung 6 verbunden ist. Die Kontrolleinrichtung 7 stellt eine Steuerlogik dar, die aufgrund einer vorgegebenen oder wählbaren Regelcharakteristik und auf der Basis vorgegebener Sollwerte für dem Schlackefenster entsprechende Effektivwerte entsprechende Ausgangssignale an ein Stellglied 8 abgibt und eine Lanze 9 zum Einblasen von Sauerstoff ansteuert. Auch die (nicht dargestellte) Elektrodenpositioniereinrichtung kann ein solches Stellglied 8 sein.

[0049] Es können selbstverständlich mehrere Lanzen zum Einblasen von Kohlenstoff bzw. Kohle in die Schlacke oder zum Einblasen von Sauerstoff in das Stahlbad gleichzeitig angesteuert werden; es kann ferner auch eine Eintrageinrichtung zum Eintragen von schlackenbildenden Stoffen angesteuert werden. Der die Stromerfassungseinrichtung 3 für den Elektrodenstrom darstellende Meßtransformator erfaßt die Stromstärke $i(t)$ des Stroms, der über die Elektrode 2 des Lichtbogens fließt. In der Differenziereinrichtung 4 wird daraufhin die n-te Ableitung $d^n i/dt^n$ der vom Meßtransformator erfaßten Stromstärke $i(t)$ gebildet. Der Meßtransformator besteht beispielsweise aus einer Rogowski-Spule, die als Ausgangssignal bereits die 1. Ableitung di/dt der Stromstärke $i(t)$ liefert. Nach Differenzierung gelangt das Stromsignal zur Bildung des Effektivwertes $[d^n i/dt^n]_{\text{eff}}$ zu dem Meßgleichrichter 5 und wird im Integrator 6 integriert.

[0050] Das Signal wird dann der Kontrolleinrichtung 7 zugeführt, die den Effektivwert $[d^n i/dt^n]_{\text{eff}}$ mit vorgegebenen Grenzwerten vergleicht.

[0051] Liegt das erfaßte Signal außerhalb des vorgegebenen Wertebereichs (des Schlackefensters), wird ein entsprechendes Stellsignal an das Stellglied 8 abgegeben, um über die Lanze 9 Sauerstoff in das Stahlbad einzublasen.

[0052] Die in Fig. 2 dargestellte erfindungsgemäße Vorrichtung stellt eine vorteilhafte Weiterbildung der Regeleinrichtung von Fig. 1 dar und eignet sich insbesondere für Gleichstromlichtbogenöfen.

[0053] Die Vorrichtung von Fig. 2 unterscheidet sich von der Vorrichtung der Fig. 1 dadurch, daß dem Meßgleichrichter der die Effektivwerteinrichtung 5 darstellt, ein Tiefpaßfilter 10 vorgeschaltet ist, das vor der Bildung des Effektivwertes unerwünschte Frequenzen außerhalb des Frequenzbereiches von 20 Hz bis 1 kHz abtrennt.

[0054] Ferner ist nach der Kontrolleinheit 7 eine weitere Kontrolleinheit 11 vorgesehen, die nach dem Prinzip der Fuzzy-Logik arbeitet.

[0055] Die gestrichelte Linie zwischen der Kontrolleinheit 7 und der Elektrode 2 soll andeuten, daß erfindungsgemäß auch die Auf- und Abbewegung der Elektrode 2 durch die Kontrolleinheit 7 in Abhängigkeit vom Schlackezustand geregelt werden kann.

[0056] Figur 3 zeigt den Schlackezustand in einem Drehstromlichtbogenofen in der Einschmelz- sowie in der

Schmelzphase. Bei diesem Versuch wurden 80 t Schrott eingeschmolzen. Fig. 3 zeigt den zeitlichen Verlauf des Effektivwertes der zweiten Ableitung der Stromstärke $i(t)$ des über die Elektrode fließenden Stroms in Form eines ihm proportionalen Spannungssignals (V). Nach der Einschmelzphase lag der Effektivwert zuverlässig im Bereich des Schlackefensters, das durch die parallelen Linien mit dazwischenliegender Schraffierung angedeutet ist.

[0057] Durch die Anwendung des Erfindungskonzepts konnten in Drehstromlichtbogenöfen Energieeinsparungen von 5 - 30 kWh pro Tonne eingesetzten Schrotts erzielt werden. Bei Gleichstromlichtbogenöfen lag diese Energieersparnis sogar noch etwas höher.

[0058] Ferner konnte der Verbrauch an Feuerfestmaterialien um etwa 0,5 kg/t verringert werden.

[0059] Zusammenfassend ist festzustellen, daß die vorliegende Erfindung eine schnelle und zuverlässige Erfassung des Schlackezustandes in Lichtbogenöfen ermöglicht, wodurch die Wirtschaftlichkeit des Lichtbogenofenbetriebes verbessert werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erfassung des Schlackezustandes in Lichtbogenöfen, in denen ein flüssiges Metallbad, insbesondere ein Stahlbad, mit einer Schlackeschicht bedeckt ist, die den zwischen Metallbad und Elektrode brennenden Lichtbogen zumindest teilweise einhüllt, durch Erzeugung eines aus der Stromstärke $i(t)$ des über die Elektrode fließenden Stroms abgeleiteten Signals und Ermittlung des Schlackezustandes aus diesem Signal,

gekennzeichnet durch

- Bildung der n-ten Ableitung $d^n i/dt^n$ der von der Zeit t abhängigen Stromstärke $i(t)$ bzw. eines ihr proportionalen Signals zu vorgegebenen Zeitpunkten oder kontinuierlich, wobei n gleich 2, 3 oder 4 ist,
- Bildung des Effektivwertes $[d^n i/dt^n]_{\text{eff}}$ der n-ten Ableitung $d^n i/dt^n$ der Stromstärke $i(t)$ bzw. des ihr proportionalen Signals in Form des quadratischen Mittelwerts nach der Formel I,

$$[d^n i/dt^n]_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (d^n i/dt^n)^2 dt} \quad (I),$$

worin bedeuten:

i die Stromstärke des über die Elektrode fließenden Stroms,
 n 2, 3 oder 4 und
 T die Integrationsdauer,

und

- Ermittlung, ob der Effektivwert $[d^n i/dt^n]_{\text{eff}}$ innerhalb vorgegebener Grenzwerte (Schlackefenster) liegt, innerhalb deren der Schlackezustand und die Schlackemenge bzw. der Einhüllungsgrad der Elektrode optimal sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die 2. Ableitung ($n = 2$) der Stromstärke $i(t)$ zur Bildung des Effektivwertes herangezogen wird ($[d^2 i/dt^2]_{\text{eff}}$).

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die n-te Ableitung $d^n i/dt^n$ aus Inkrementen nullter bis n-ter Ordnung nach der Formel II

$$d^n i/dt^n = k_0 + k_1 \cdot di/dt + k_2 \cdot d^2 i/dt^2 + k_3 \cdot d^3 i/dt^3 + k_4 \cdot d^4 i/dt^4 \quad (II)$$

erzeugt wird, in der k_0 , k_1 , k_2 , k_3 und k_4 vorgegebene und insbesondere durch Eichung oder empirisch bestimmte Konstante darstellen, wobei die Bedingungen k_0 , $k_1 \geq 0$ sowie k_2 und/oder k_3 und/oder $k_4 > 0$

gelten.

4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3 zur Steuerung oder Regelung des Schlackezustandes, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei Erfassung eines außerhalb des Schlackefensters liegenden Effektivwertes Kohlenstoff bzw. Kohle in die Schlacke oder Sauerstoff in das Metallbad eingeblasen wird bzw. das Einblasen dieser Stoffe reduziert und/oder gestoppt wird.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4 zur Steuerung oder Regelung des Schlackezustandes, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei Erfassung eines außerhalb des Schlackefensters liegenden Effektivwertes schlackenbildende Stoffe in den Lichtbogenofen eingebracht werden bzw. die Zufuhr dieser Stoffe reduziert und/oder gestoppt wird.
6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei Erfassung eines außerhalb des Schlackefensters liegenden Effektivwertes die Elektrodenposition entsprechend geändert wird.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** das der n-ten Ableitung der Stromstärke $i(t)$ entsprechende Signal $d^n i/dt^n$ vor der Bildung des Effektivwertes gefiltert wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** so gefiltert wird, daß Signalkomponenten des Signals $d^n i/dt^n$ außerhalb des Frequenzbereichs von 800 Hz bis 100 kHz abgetrennt werden.
9. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** Signalkomponenten außerhalb des Frequenzbereichs von 20 Hz bis 1 kHz abgetrennt werden.
10. Vorrichtung zur Erfassung des Schlackezustandes in Lichtbogenöfen (1), in denen ein flüssiges Metallbad, insbesondere ein Stahlbad, herstellbar ist, das mit einer Schlackeschicht bedeckt ist, die den zwischen Metallbad und Elektrode (2) brennenden Lichtbogen zumindest teilweise einhüllt, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 9, die aufweist
 - eine Stromerfassungseinrichtung (3), welche die Stromstärke $i(t)$ des über die Elektrode (2) fließenden Stroms erfaßt,
 - eine Differenziereinrichtung (4), die eine Ableitung der Stromstärke $i(t)$ erzeugt, und
 - eine Kontrolleinrichtung (7), die aus der Ableitung der Stromstärke $i(t)$ ein dem Schlackezustand entsprechendes Signal erzeugt,

dadurch gekennzeichnet, daß

die Differenziereinrichtung (4) die n-te Ableitung $d^n i/dt^n$ der von der Zeit t abhängigen Stromstärke $i(t)$, bzw. ein der n-ten Ableitung entsprechendes Signal zu vorgegebenen Zeitpunkten oder kontinuierlich erzeugt, wobei n gleich 2, 3 oder 4 ist,

eine der Differenziereinrichtung (4) nachgeschaltete Effektivwerteinrichtung (5) vorgesehen ist, die den Effektivwert $[d^n i/dt^n]_{\text{eff}}$ der n-ten Ableitung $d^n i/dt^n$ der Stromstärke $i(t)$ bzw. des ihr proportionalen Signals in Form des quadratischen Mittelwerts nach der Formel I bildet,

$$[d^n i/dt^n]_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (d^n i/dt^n)^2 dt} \quad (I),$$

worin bedeuten:

i die Stromstärke des über die Elektrode (2) fließenden Stroms,

t die Zeit,
 n 2, 3 oder 4 und
 T die Integrationsdauer,

und

die Kontrolleinrichtung (7) der Effektivwerteinrichtung (5) nachgeschaltet ist und den Effektivwert $[d^n i/dt^n]_{\text{eff}}$ mit vorgegebenen Grenzwerten vergleicht, innerhalb deren der Schlackezustand und die Schlackemenge bzw. der Einhüllungsgrad der Elektrode (2) optimal sind (Schlackefenster), und bei Erfassung eines außerhalb des Schlackefensters liegenden Effektivwertes $[d^n i/dt^n]_{\text{eff}}$ ein entsprechendes Signal abgibt und/oder eine oder mehrere Lanzen (9) zum Einblasen von Kohlenstoff bzw. Kohle in die Schlacke oder von Sauerstoff in das Metallbad und/oder eine Eintrageinrichtung zum Eintragen von schlackebildenden Stoffen ansteuert und/oder die Elektrode (2) geeignet positioniert.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Stromerfassungseinrichtung (3) ein an zwei voneinander beabstandeten Punkten des Elektrodenkreises parallelgeschalteter Meßwiderstand ist, wobei der daran auftretende Spannungsabfall, der dem Strom $i(t)$ entspricht, als Eingangssignal zur Differenziereinrichtung (4) gelangt, die daraus die n-te Ableitung $d^n i/dt^n$ der Stromstärke $i(t)$ erzeugt.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Stromerfassungseinrichtung (3) ein Meßtransformator ist, der ein Ausgangssignal abgibt, das der ersten Ableitung di/dt der Stromstärke $i(t)$ entspricht, und die Differenziereinrichtung (4) so ausgebildet ist, daß sie aus dem Ausgangssignal des Meßtransformators durch Nachdifferenzieren ein der n-ten Ableitung $d^n i/dt^n$ der Stromstärke $i(t)$ entsprechendes Ausgangssignal erzeugt.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Stromerfassungseinrichtung (3) eine ein-, zwei- oder dreidimensionale Spule ist.

14. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 10, 12 und 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Stromerfassungseinrichtung (3) eine Rogowski-Spule ist.

15. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Differenziereinrichtung (4) mit der Stromerfassungseinrichtung (3) eine funktionelle Einheit bildet bzw. mit der Stromerfassungseinrichtung (3) integriert ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 10 und/oder 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Stromerfassungseinrichtung (3) ein Hall-Generator ist.

17. Vorrichtung nach einem der mehreren der Ansprüche 10 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Effektivwerteinrichtung (5) zur Bildung des Effektivwertes der n-ten Ableitung ein Meßgleichrichter ist, dem gegebenenfalls eine Integriereinrichtung (6) nachgeschaltet ist.

18. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kontrolleinrichtung (7) ein Rechner bzw. ein Mikrocomputer ist, in dem die dem Schlackefenster zugeordneten Grenzwerte gespeichert oder speicherbar sind.

19. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kontrolleinrichtung (7) ein Display aufweist, auf dem anzeigbar ist, ob der Effektivwert der n-ten Ableitung innerhalb oder außerhalb des Schlackefensters liegt.

20. Vorrichtung nach einem der mehreren der Ansprüche 10 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kontrolleinrichtung (7) eine Signaleinrichtung aufweist, die ein akustisches und/oder optisches und/oder elektrisches Signal abgibt, wenn der Effektivwert der n-ten Ableitung innerhalb oder außerhalb des Schlackefensters liegt.

21. Vorrichtung nach Anspruch 19 und/oder 20, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kontrolleinrichtung (7) so ausgebildet ist, daß auf dem Display auch angezeigt wird, ob der Effektivwert oberhalb oder unterhalb des Schlackefensters liegt.

22. Vorrichtung nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kontrolleinrichtung (7) so ausgebildet ist, daß das abgegebene Signal auch die Information beinhaltet, ob der Effektivwert oberhalb oder unterhalb des Schlack-

kefensters liegt.

23. Vorrichtung nach einem der mehreren der Ansprüche 10 bis 22, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kontrolleinrichtung (7) als Steuereinrichtung mit offenem Wirkungsablauf ausgelegt ist.

24. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 22, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kontrolleinrichtung (7) als Regeleinrichtung mit geschlossenem Regelkreis ausgelegt ist und als Stellglieder eine oder mehrere Lanzen zum Einblasen von Kohlenstoff bzw. Kohle in die Schlacke und/oder von Sauerstoff in das Metallbad und/oder die Elektrodenpositioniereinrichtung ansteuert und den Schlackezustand über den Effektivwert $[d^n i/dt^n]_{\text{eff}}$ der n-ten Ableitung des Stroms $i(t)$ so regelt, daß der Effektivwert im Schlackefenster gehalten wird.

25. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Differenziereinrichtung (4) so ausgebildet ist, daß sie die 2. Ableitung $d^2 i/dt^2$ des Stroms $i(t)$ bildet.

26. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Differenziereinrichtung (4) so ausgebildet ist, daß sie als n-te Ableitung $d^n i/dt^n$ ein aus Inkrementen nullter bis n-ter Ordnung bestehendes Signal erzeugt, das der Formel II entspricht,

$$d^n i/dt^n = k_0 + k_1 \cdot di/dt + k_2 \cdot d^2 i/dt^2 + k_3 \cdot d^3 i/dt^3 + k_4 \cdot d^4 i/dt^4 \quad (\text{II}),$$

in der k_0 , k_1 , k_2 , k_3 und k_4 vorgegebene und insbesondere durch Eichung oder empirisch bestimmte Konstante darstellen, für welche die Bedingungen
 k_0 , $k_1 \geq 0$ sowie k_2 und/oder k_3 und/oder $k_4 > 0$ gelten.

27. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 26, **dadurch gekennzeichnet, daß** sie eine der Differenziereinrichtung (4) nachgeschaltete Filtereinrichtung (10) aufweist, die unerwünschte Signalkomponenten ausfiltert.

28. Vorrichtung nach Anspruch 27, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Filtereinrichtung (10) so ausgebildet ist, daß sie Signalkomponenten ausfiltert, die außerhalb des Bereichs von 800 Hz bis 100 kHz liegen.

29. Vorrichtung nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Filtereinrichtung (10) so ausgebildet ist, daß sie Signalkomponenten ausfiltert, die außerhalb des Bereichs von 20 Hz bis 1 kHz liegen.

30. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 29, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Kontrolleinrichtung (7) eine weitere Kontrolleinrichtung (11) nachgeschaltet oder zugeordnet ist.

31. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 30, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kontrolleinrichtung (7) und/oder die ihr nachgeschaltete oder zugeordnete weitere Kontrolleinrichtung (11) ein auf Fuzzy-Logik beruhender Fuzzy-Controller ist.

32. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 10 bis 31, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Effektivwert-einrichtung (5) und die Kontrolleinrichtung(en) (7, 11) funktionell miteinander integriert sind und vorzugsweise einen Mikrocomputer darstellen.

33. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 24 bis 32, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kontrolleinrichtung (7, 11) so ausgelegt ist, daß sie als adaptiver Regler arbeitet.

Claims

1. Method for the acquisition of the slag condition in arc furnaces, in which a liquid metal bath, in particular a steel bath, is covered with a layer of slag which at least partially envelops the arc which burns between the metal bath and the electrode, by means of the generation of a signal differentiated from the strength $i(t)$ of the current flowing over the electrode and the determination of the slag condition from this signal, **characterised by**

- the formation of the n^{th} derivation $d^n i/dt^n$ of the time-dependent current strength $i(t)$ or a signal proportional to it, at predetermined times or continuously, where n is equal to 2, 3 or 4,
- the formation of an effective value $[d^n i/dt^n]_{\text{eff}}$ of the n^{th} derivation $d^n i/dt^n$ of the current strength $i(t)$ or the signal proportional to it in the form of a quadratic mean value according to formula I,

$$[d^n i/dt^n]_{\text{eff}} = \sqrt{1/T \int_0^T (d^n i/dt^n)^2 dt} \quad (I),$$

where:

i is the strength of the current flowing over the electrode,
 n is 2, 3 or 4 and
 T is the duration of integration,

and

- determination, whether the effective value $[d^n i/dt^n]_{\text{eff}}$ lies within the predetermined limit values (slag window) within which the slag condition and the slag quantity or the degree of envelopment of the electrode are optimal.

- Method according to Claim 1, **characterised by** the fact that the 2nd derivation ($n = 2$) of the current strength $i(t)$ is employed to form the effective value $[d^2 i/dt^2]_{\text{eff}}$.
- Method according to Claim 1 **characterised by** the fact that the n^{th} derivation $d^n i/dt^n$ is generated from increments of the 0th to the n^{th} order according to formula II

$$d^n i/dt^n = k_0 + k_1 di/dt + k_2 d^2 i/dt^2 + k_3 d^3 i/dt^3 + k_4 d^4 i/dt^4 \quad (II)$$

where k_0, k_1, k_2, k_3 and k_4 represent a constant which is predetermined and in particular determined by calibration or empirically, where the conditions $k_0, k_1 \geq 0$ as well as k_2 and/or k_3 and/or $k_4 > 0$ are applicable.

- Method according to one or more of the Claims 1 to 3 for the control or regulation of the slag condition, **characterised by** the fact that during the acquisition of an effective value which lies outside the slag window, carbon is blown into the slag or oxygen is blown in to the steel bath, or the blowing in of these substances is reduced and/or stopped.
- Method according to one or more of the Claims 1 to 4 for the control or regulation of the slag condition, **characterised by** the fact that during the acquisition of an effective value which lies outside the slag window, slag-forming substances are introduced into the arc furnace or the introduction of these substances is reduced and/or stopped.
- Method according to one or more of the Claims from 1 to 5, **characterised by** the fact that during the acquisition of an effective value which lies outside the slag window, the position of the electrodes is correspondingly altered.
- Method according to one or more of the Claims from 1 to 6, **characterised by** the fact that the signal $d^n i/dt^n$ corresponding to the n^{th} derivation of the current strength $i(t)$ is effectively filtered before the formation of the effective value.
- Method according to Claim 7, **characterised by** the fact of the filtration being such that signal components of the signal $d^n i/dt^n$ outside the frequency range of 800 Hz to 100 kHz are cut off.
- Method according to Claim 7, **characterised by** the fact that the signal components outside the frequency range

of 20 Hz to 1 kHz are cut off.

10. Device for the acquisition of the slag condition in arc furnaces (1) in which a liquid metal bath, in particular a steel bath, can be prepared, which is covered with a layer of slag which at least partly envelops the arc which burns between the metal bath and the electrode (2), in particular for the performance of the process according to Claims from 1 to 9, which has

- a current acquisition device (3) which acquires the current strength $i(t)$ of the current flowing over the electrode (2),
- a differentiation device (4) which produces a derivation of the current strength $i(t)$, and
- a control device (7) which generates a signal corresponding to the slag condition from the differentiation of the current strength $i(t)$,

characterised by the fact that

the differentiation device (4) is the n^{th} derivation $d^n i / dt^n$ of the time-dependent current strength $i(t)$ or a signal corresponding to the n^{th} derivation is produced at predetermined times or continuously, where n is equal to 2, 3 or 4,

an effective value device (5) connected to the differentiation device (4), which forms the effective value $[d^n i / dt^n]_{\text{eff}}$ of the n^{th} derivation $d^n i / dt^n$ of the current strength $i(t)$ or of the signal which is proportional to it, in the form of the quadratic mean value according to formula I,

$$[d^n i / dt^n]_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (d^n i / dt^n)^2 dt} \quad (I),$$

where:

- i is the strength of the current flowing over the electrode (2),
- t is the time,
- n is 2, 3 or 4 and
- T is the duration of integration,

and

the control device (7) which is connected to the effective value device (5) and compares the effective value $[d^n i / dt^n]_{\text{eff}}$ with predetermined limit values within which the slag condition and the slag quantity or the degree of enveloping of the electrode (2) are optimal (slag window) and during the acquisition of an effective value $[d^n i / dt^n]_{\text{eff}}$ which lies outside the slag window, produces a corresponding signal and/or triggers one or more lances (9) to blow in carbon or coal into the slag or oxygen into the metal bath and/or an introduction device for the introduction of slag-forming substances and/or suitably positions the electrode (2).

11. Device according to Claim 10, **characterised by** the fact that the current acquisition device (3) is a precision resistor connected in parallel to two mutually separated points of the electrode circuit, where the fall in voltage which occurs thereon and which corresponds to the current $i(t)$, arrives at the differentiation device (4), which produces from it the n^{th} derivation $d^n i / dt^n$ of the current strength $i(t)$.

12. Device according to Claim 10, **characterised by** the fact that the current acquisition device (3) is a measuring transformer, which gives an output signal which corresponds to the first derivation di/dt of the current strength $i(t)$ and the differentiation device (4) is so formed that it produces from the output signal of the measuring transformer via post-differentiation, an output signal which corresponds to the n^{th} derivation $d^n i / dt^n$ of the current strength $i(t)$.

13. Device according to Claim 12, **characterised by** the fact that the current acquisition device (3) is a one-, two or three-dimensional coil.

14. Device according to one or more of the Claims 10, 12 and 13, **characterised by** the fact that the current acquisition device (3) is a Rogowski coil.
15. Device according to one or more of the Claims 10 to 14, **characterised by** the fact that the differentiation device (4) together with the current acquisition device (3) forms a functional unit or is integrated with the current acquisition device (3).
16. Device according to Claim 10 and/or 15, **characterised by** the fact that the current acquisition device (3) is a Hall generator.
17. Device according to one or more of the Claims from 10 to 16, **characterised by** the fact that the effective value device (5) for forming of the effective value of the n^{th} derivation, is a measurement rectifier to which an integration device (6) is also connected.
18. Device according to one or more of the Claims from 10 to 17, **characterised by** the fact that the control device (7) is a computer or a micro-computer, in which the limit values allocated to the slag window, are or can be, stored.
19. Device according to one or more of the Claims from 10 to 18, **characterised by** the fact that the control device (7) has a display on which it can be shown whether the effective value of the n^{th} derivation lies within or outside the slag window.
20. Device according to one or more of the Claims from 10 to 19, **characterised by** the fact that the control device (7) has a signalling device which gives an acoustic and/or optical and/or electrical signal, when the effective value of the n^{th} derivation lies within or outside the slag window.
21. Device according to Claim 19 and/or 20, **characterised by** the fact that the control device (7) is so formed that the display is also able to show whether the effective value lies above or below the slag window.
22. Device according to Claim 20, **characterised by** the fact that the control device (7) is so formed that the signal produced also contains the information whether the effective value lies above or below the slag window.
23. Device according to one or more of the Claims from 10 to 22, **characterised by** the fact that the control device (7) is arranged as an open loop device.
24. Device according to one or more of the Claims from 10 to 22, **characterised by** the fact that the control device (7) is arranged as an adjustment device with a closed loop circuit and aims one or more lances for blowing in of carbon or coal into the slag and/or of oxygen into the metal bath and/or the electrode positioning device and controls the slag condition in such a way through the effective value $[d^n i/dt^n]_{\text{eff}}$ of the n^{th} derivation of the current $i(t)$ that the effective value is kept within the slag window.
25. Device according to one or more of the Claims from 10 to 24, **characterised by** the fact that the differentiation device (4) is so formed that it acts as the 2^{nd} derivation $d^2 i/dt^2$ of the current $i(t)$.
26. Device according to one or more of the Claims from 10 to 24, **characterised by** the fact that the differentiation device (4) is so formed that it produces as the n^{th} derivation $d^n i/dt^n$ a signal consisting of increments of the 0^{th} to n^{th} order, which corresponds to formula II

$$d^n i/dt^n = k_0 + k_1 \cdot di/dt + k_2 \cdot d^2 i/dt^2 + k_3 \cdot d^3 i/dt^3 + k_4 \cdot d^4 i/dt^4 \quad (\text{II})$$

where k_0 , k_1 , k_2 , k_3 and k_4 represent constants which are predetermined and in particular determined by calibration or empirically and for which the conditions k_0 , $k_1 \geq 0$ as well as k_2 and/or k_3 and/or $k_4 > 0$ are applicable.

27. Device according to one or more of the Claims from 10 to 26, **characterised by** the fact that it has filter device (10) which filters out undesirable signal components, connected to the differentiation device (4).

28. Device according to Claim 27, **characterised by** the fact that the filter device (10) is so formed that it filters out signal components, which lie outside the range of 800 Hz to 100 kHz.

29. Device according to Claim 18, **characterised by** the fact that the filter device (10) is so formed that it filters out signal components, which lie outside the range of 20 Hz to 1 kHz.

30. Device according to one or more of the Claims from 10 to 29, **characterised by** the fact that the control device (7) has connected or allocated to it a further control device (11).

31. Device according to one or more of the Claims from 10 to 30, **characterised by** the fact that the control device (7) and/or the further control (11) which is connected or allocated to it is a fuzzy controller which is based on fuzzy logic.

32. Device according to one or more of the Claims from 10 to 31, **characterised by** the fact that the effective value device (5) and the control device(s) (7,11) are functionally integrated with one another and preferably represent a micro-computer.

33. Device according to one or more of the Claims from 24 to 32, **characterised by** the fact that the control device (7,11) is so arranged that it functions as an adaptive controller.

Revendications

1. Procédé pour la détection de l'état du laitier dans des fours électriques à arc, dans lesquels un bain métallique liquide, en particulier un bain d'acier, est recouvert d'une couche de laitier qui enveloppe au moins partiellement l'arc électrique entre le bain métallique et l'électrode, par génération d'un signal dérivé de l'intensité $i(t)$ du courant traversant l'électrode et la détermination de l'état du laitier, à partir de ce signal,

caractérisé par

- la formation de la dérivée d'ordre n $d^n i / dt^n$ de l'intensité du courant $i(t)$ dépendant du temps t , ou d'un signal lui étant proportionnel, à des moments prédéterminés ou en continue, n étant égal à 2, 3 ou 4,
- la formation de la valeur effective $[d^n i / dt^n]_{\text{eff}}$ de la dérivée d'ordre n $d^n i / dt^n$ de l'intensité du courant $i(t)$ ou du signal lui étant proportionnel, sous la forme d'une valeur quadratique moyenne, conformément à la Formule I,

$$[d^n i / dt^n]_{\text{eff}} = \sqrt{1/T \int_0^T (d^n i / dt^n)^2 dt} \quad (I),$$

dans laquelle :

i est l'intensité du courant traversant l'électrode,
 n 2, 3 ou 4
 et
 T est la durée d'intégration,
 et

- la détermination du fait que la valeur effective $[d^n i / dt^n]_{\text{eff}}$ est située dans les valeurs limites prédéterminées (fenêtre de laitier), à l'intérieur desquelles l'état du laitier et la quantité de laitier ou le degré d'enveloppement de l'électrode sont à leur valeur optimale.

2. Procédé conformément à la revendication 1, **caractérisé en ce que** la dérivée seconde ($n = 2$) de l'intensité du courant $i(t)$ est utilisée pour former la valeur effective $[d^2 i / dt^2]_{\text{eff}}$.

3. Procédé conformément à la revendication 1, **caractérisé en ce que** la dérivée n $d^n i / dt^n$ est produite à partir d'in-

créments allant de zéro à n, conformément à la Formule II:

$$d^n i / dt^n = k_0 + k_1 \cdot di / dt + k_2 \cdot d^2 i / dt^2 + k_3 \cdot d^3 i / dt^3 + k_4 \cdot d^4 i / dt^4 \quad (II)$$

dans laquelle k_0 , k_1 , k_2 , k_3 et k_4 sont des constantes prédéterminées et, en particulier, déterminées par étalonnage ou empiriquement, sachant que l'on a les conditions suivantes :

k_0 , $k_1 \geq 0$ ainsi que k_2 et/ou k_3 et/ou $k_4 > 0$.

4. Procédé conformément à l'une ou plusieurs des revendications 1 à 3, pour la commande ou le réglage de l'état du laitier, **caractérisé en ce que**, lors de la détection d'une valeur effective située en dehors de la fenêtre de laitier, on insuffle du carbone ou du charbon dans le laitier, ou de l'oxygène dans le bain métallique où on réduit et / ou on stoppe l'insufflation de ces substances.
5. Procédé conformément à l'une ou plusieurs des revendications 1 à 4, pour la commande ou le réglage de l'état du laitier, **caractérisé en ce que**, lors de la détection d'une valeur effective située en dehors de la fenêtre de laitier, les substances formant le laitier sont introduites dans le four électrique à arc, ou bien l'apport de ces substances est réduit et / ou stoppé.
6. Procédé conformément à l'une ou plusieurs des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que**, en cas de détection d'une valeur effective située en dehors de la fenêtre de laitier, on modifie de manière correspondante la position des électrodes.
7. Procédé conformément à l'une ou plusieurs des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** le signal $d^n i / dt^n$ correspondant à la dérivée d'ordre n de l'intensité du courant $i(t)$ est filtré avant de déterminer la valeur effective.
8. Procédé conformément à la revendication 7, **caractérisé en ce que** le filtrage est tel que les composantes du signal $d^n i / dt^n$ situées en dehors de la plage de fréquences de 800 Hz à 100 kHz sont séparées.
9. Procédé conformément à la revendication 7, **caractérisé en ce que** les composantes du signal situées en dehors de la plage de fréquences de 20 Hz à 1 kHz sont séparées.
10. Dispositif pour la détection de l'état du laitier dans des fours à arc électrique (1), dans lesquels on peut préparer un bain métallique liquide, en particulier un bain d'acier, recouvert d'une couche de laitier qui enveloppe au moins partiellement l'arc électrique entre le bain métallique et l'électrode (2), en particulier pour la mise en oeuvre du procédé conformément aux revendications 1 à 9, qui comporte
 - un dispositif d'enregistrement du courant électrique (3), enregistrant l'intensité du courant $i(t)$ traversant l'électrode (2),
 - un dispositif de différentiation (4), générant une dérivée de l'intensité du courant $i(t)$, et
 - un dispositif de contrôle (7), générant un signal qui correspond à l'état du laitier à partir de la dérivée de l'intensité du courant $i(t)$,

caractérisé en ce que

le dispositif de différentiation (4) génère la dérivée d'ordre n $d^n i / dt^n$ de l'intensité du courant $i(t)$ dépendant du temps t ou bien d'un signal correspondant à la dérivée d'ordre n à des moments prédéterminés ou en continue, sachant que n est égal à 2, 3 ou 4,

un dispositif établissant la valeur effective (5) branché en aval du dispositif de différentiation (4) est prévu, qui établit la valeur effective $[d^n i / dt^n]_{\text{eff}}$ de la dérivée d'ordre n $d^n i / dt^n$ de l'intensité du courant $i(t)$, ou du signal lui étant proportionnel, sous la forme de la valeur quadratique moyenne, selon la Formule I,

$$[d^n i / dt^n]_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (d^n i / dt^n)^2 dt} \quad (I),$$

dans laquelle :

i est l'intensité traversant l'électrode (2),
t le temps
n 2, 3 ou 4

et

T est la durée d'intégration,

et

le dispositif de contrôle (7) du dispositif établissant la valeur effective (5) est branché en aval et compare la valeur effective $[d^n i / dt^n]_{\text{eff}}$ à des valeurs limites prédéterminées, à l'intérieur desquelles l'état du laitier et la quantité de laitier ou le degré d'enveloppement de l'électrode sont à leur valeur optimale (fenêtre de laitier) et, en cas de détection d'une valeur effective $[d^n i / dt^n]_{\text{eff}}$ située hors de la fenêtre de laitier, il produit un signal correspondant et / ou commande une ou plusieurs lances (9) pour insuffler du carbone ou du charbon dans le laitier ou bien de l'oxygène dans le bain de métal et / ou un dispositif de chargement pour introduire des substances constituant le laitier et / ou il positionne de manière appropriée l'électrode (2).

11. Dispositif conformément à la revendication 10, **caractérisé en ce que** le dispositif de détection de courant (3) est une résistance de mesure branchée en parallèle en deux points espacés l'un de l'autre du circuit d'électrode, la chute de tension s'y produisant, correspond à l'intensité du courant $i(t)$ arrivant, en tant que signal d'entrée, au dispositif de différenciation (4) qui, à partir de cela, produit la dérivée d'ordre n $d^n i / dt^n$ de l'intensité du courant $i(t)$.
12. Dispositif conformément à la revendication 10, **caractérisé en ce que** le dispositif de détection de courant (3) est un transformateur de mesure fournissant un signal de sortie correspondant à la dérivée première di / dt de l'intensité de courant $i(t)$, et le dispositif de différenciation (4) est réalisé de manière à ce qu'il produise, à partir du signal de sortie du transformateur de mesure, en procédant à une post-différenciation, un signal de sortie correspondant à la dérivée d'ordre n $d^n i / dt^n$ de l'intensité du courant $i(t)$.
13. Dispositif conformément à la revendication 12, **caractérisé en ce que** le dispositif de détection de courant (3) est une bobine mono-, bi- ou tri-dimensionnelle.
14. Dispositif conformément à l'une ou plusieurs des revendications 10, 12 et 13, **caractérisé en ce que** le dispositif de détection de courant (3) est une bobine de Rogowski.
15. Dispositif conformément à l'une ou plusieurs des revendications 10 à 14, **caractérisé en ce que** le dispositif de différenciation (4) forme, avec le dispositif de détection du courant (3), une unité fonctionnelle, ou bien est intégré au dispositif de détection de courant (3).
16. Dispositif conformément à la revendication 10 et / ou 15, **caractérisé en ce que** le dispositif de détection de courant (3) est un générateur à effet Hall.
17. Dispositif conformément à l'une ou plusieurs des revendications 10 à 16, **caractérisé en ce que** le dispositif de formation de la valeur effective (5), devant former la valeur effective de la dérivée d'ordre n , est un redresseur de mesure, en aval duquel, le cas échéant, est branché un dispositif d'intégration (6).
18. Dispositif conformément à l'une ou plusieurs des revendications 10 à 17, **caractérisé en ce que** le dispositif de contrôle (7) est un calculateur ou un micro-ordinateur, dans lequel les valeurs limites correspondantes à la fenêtre de laitier sont mémorisées ou susceptibles d'être mémorisées.

19. Dispositif conformément à l'une ou plusieurs des revendications 10 à 18, **caractérisé en ce que** le dispositif de contrôle (7) présente un écran d'affichage, sur lequel on peut afficher si la valeur effective de la dérivée d'ordre n est située dans ou en dehors de la fenêtre de laitier.

20. Dispositif conformément à l'une ou plusieurs des revendications 10 à 19, **caractérisé en ce que** le dispositif de contrôle (7) présente un dispositif de signalisation fournissant un signal acoustique et / ou optique et / ou électrique, lorsque la valeur effective de la dérivée d'ordre n est située dans ou en dehors de la fenêtre de laitier.

21. Dispositif conformément à la revendication 19 et / ou 20, **caractérisé en ce que** le dispositif de contrôle (7) est conçu de manière que l'on affiche également sur l'écran d'affichage le fait que la valeur effective soit située au-dessus ou au-dessous de la fenêtre de laitier.

22. Dispositif conformément à la revendication 20, **caractérisé en ce que** le dispositif de contrôle (7) est réalisé de manière à ce que le signal produit contienne également la formation indiquant si la valeur effective est située au-dessus ou au-dessous de la fenêtre de laitier.

23. Dispositif conformément à l'une ou plusieurs des revendications 10 à 22, **caractérisé en ce que** le dispositif de contrôle (7) est conçu sous forme de dispositif de commande ayant une action en boucle ouverte.

24. Dispositif conformément à l'une ou plusieurs des revendications 10 à 22, **caractérisé en ce que** le dispositif de contrôle (7) est conçu en tant que dispositif de réglage agissant en boucle fermée et, en tant qu'organes de réglage, une ou plusieurs lances pour insuffler du carbone ou du charbon dans le laitier et/ou insuffler de l'oxygène dans le bain de métal et/ou le dispositif de positionnement d'électrode étant commandé(es), et l'état du laitier étant réglé par le biais de la valeur effective $[d^n i / dt^n]_{\text{eff}}$ de la dérivée d'ordre n du courant $i(t)$, de manière à ce que la valeur effective soit maintenue dans la fenêtre de laitier.

25. Dispositif conformément à l'une ou plusieurs des revendications 10 à 24, **caractérisé en ce que** le dispositif de différentiation (4) est réalisé de manière à ce qu'il forme la dérivée seconde $d^2 i / dt^2$ du courant $i(t)$.

26. Dispositif conformément à l'une ou plusieurs des revendications 10 à 24, **caractérisé en ce que** le dispositif de différentiation (4) est réalisé de manière à produire, à titre de dérivée d'ordre n $d^n i / dt^n$, un signal formé d'incrémentes de l'ordre de zéro à n, signal correspondant à la Formule II,

$$d^n i / dt^n = k_0 + k_1 \cdot di / dt + k_2 \cdot d^2 i / dt^2 + k_3 \cdot d^3 i / dt^3 + k_4 \cdot d^4 i / dt^4 \quad (\text{II})$$

dans lequel k_0 , k_1 , k_2 , k_3 et k_4 sont des constantes prédéterminées et, en particulier, déterminées par étalonnage ou empiriquement, sachant que l'on a les conditions suivantes :

k_0 , $k_1 \geq 0$ ainsi que k_2 et/ou k_3 et/ou $k_4 > 0$.

27. Dispositif conformément à l'une ou plusieurs des revendications 10 à 26, **caractérisé en ce qu'il** présente un dispositif de filtrage branché en aval du dispositif de différentiation (4), éliminant par filtrage les composantes indésirables du signal.

28. Dispositif conformément à la revendication 27, **caractérisé en ce que** le dispositif de filtrage (10) est réalisé de manière à éliminer par filtrage des composantes de signal situées hors de la plage de 800 Hz à 100 KHz.

29. Dispositif conformément à la revendication 18, **caractérisé en ce que** le dispositif de filtrage (10) est réalisé de manière qu'il élimine par filtrage les composantes de signal situées hors de la plage de 20 Hz à 1 KHz.

30. Dispositif conformément à l'une ou plusieurs des revendications 10 à 29, **caractérisé en ce qu'un** autre dispositif de contrôle (11) est branché en aval du dispositif de contrôle (7) ou associé à celui-ci.

31. Dispositif conformément à l'une ou plusieurs des revendications 10 à 30, **caractérisé en ce que** le dispositif de contrôle (7) et / ou l'autre dispositif de contrôle (11), branché en aval de celui-ci ou lui étant associé, est un contrôleur flou, reposant sur la logique floue.

32. Dispositif conformément à l'une ou plusieurs des revendications 10 à 31, **caractérisé en ce que** le dispositif de valeur effective (5) et le ou les dispositifs de contrôle (7, 11) sont intégrés fonctionnellement ensemble et, de préférence, forment un micro-ordinateur.

5 33. Dispositif conformément à l'une ou plusieurs des revendications 24 à 32, **caractérisé en ce que** les dispositifs de contrôle (7, 11) sont conçus pour fonctionner en tant que commandes de réglage adaptatives.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

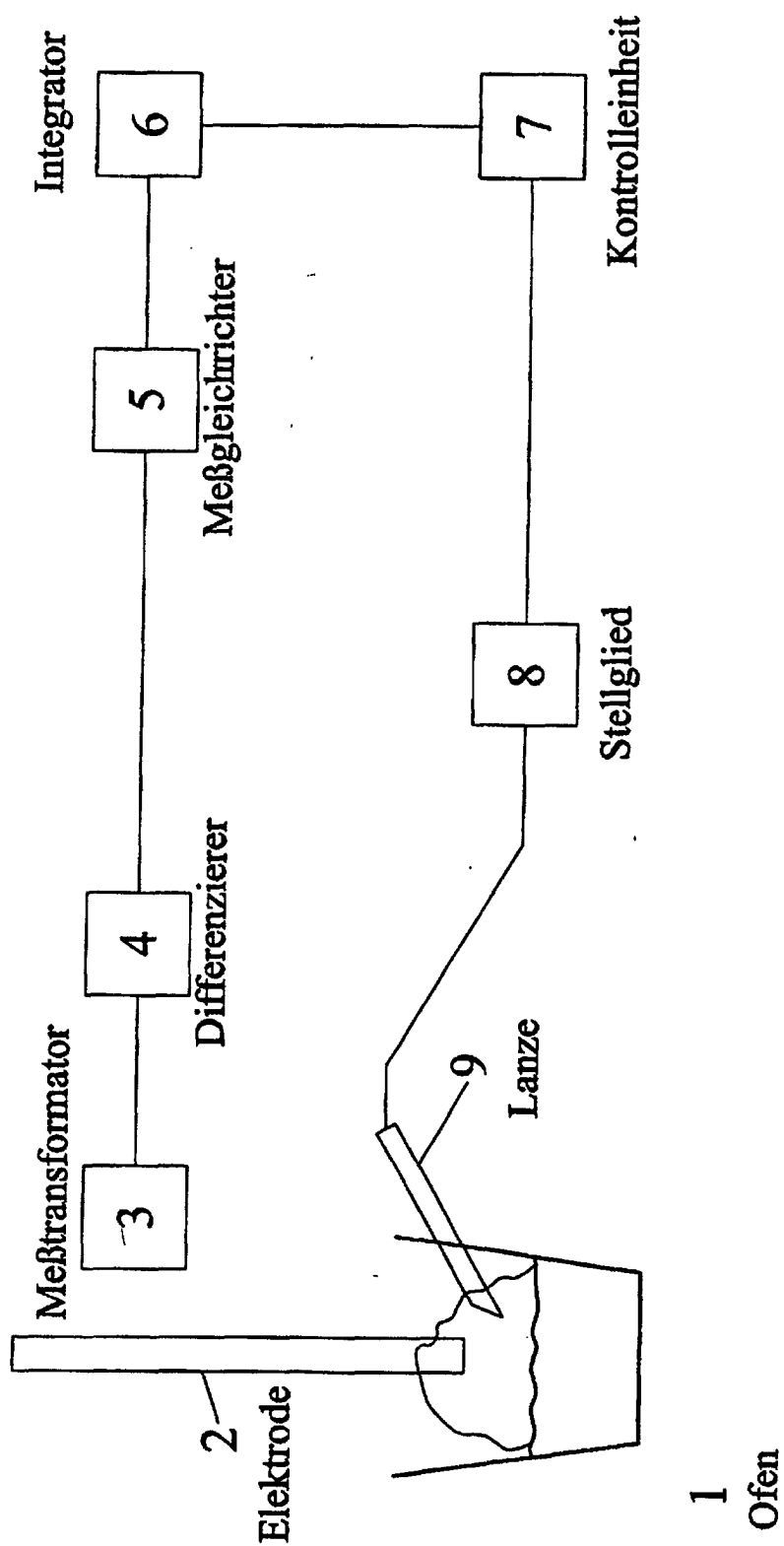


Fig. 1

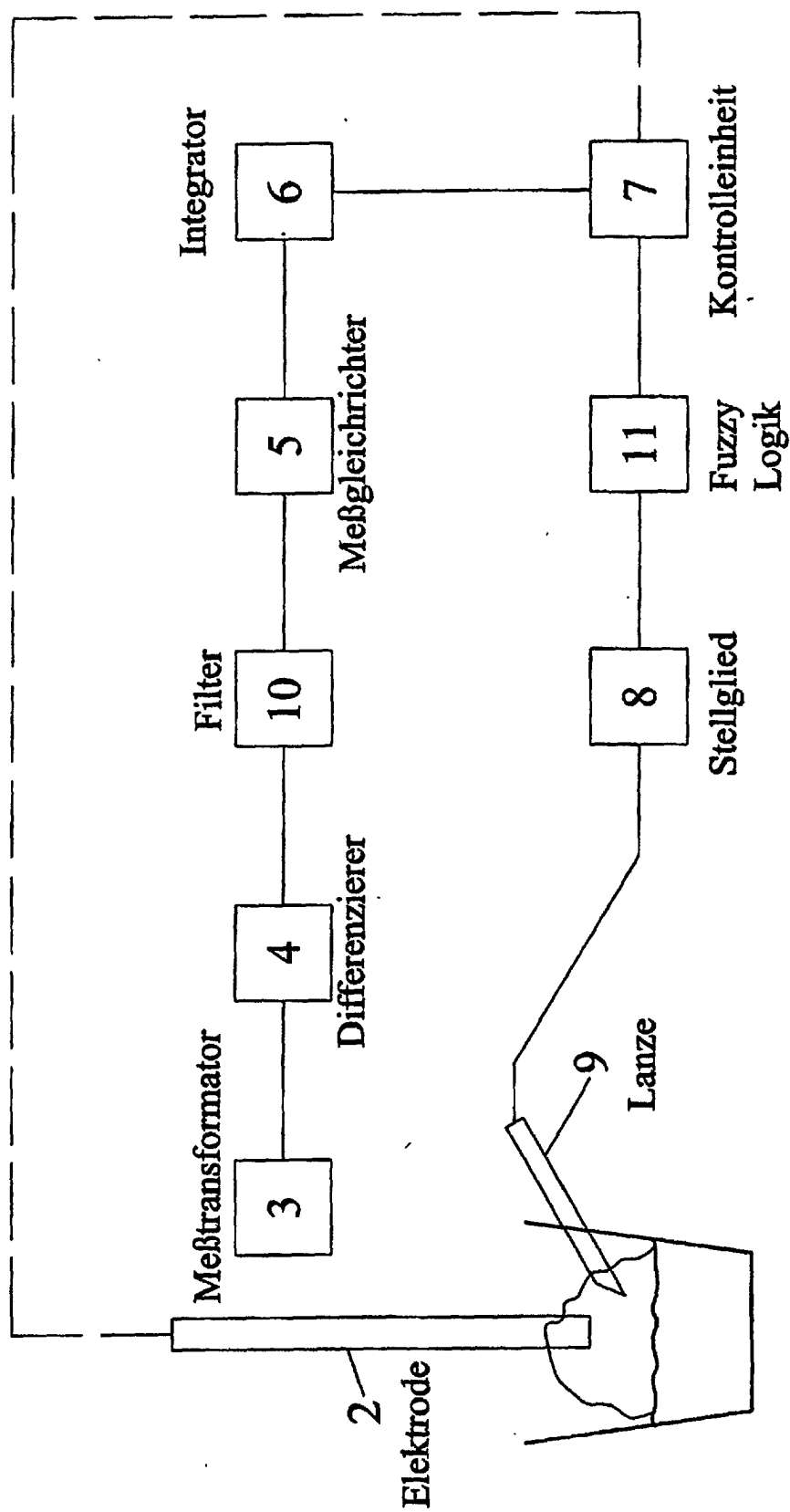


Fig. 2

