(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 4 224 992 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
13.11.2024 Patentblatt 2024/46

(21) Anmeldenummer: **22155430.6**

(22) Anmeldetag: **07.02.2022**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
H05B 7/148 *(2006.01)* ***F27B 3/08*** *(2006.01)*

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
H05B 7/148; F27B 3/085

(54) **BETRIEBSVERFAHREN FÜR EINEN LICHTBOGENOFEN**

OPERATING METHOD FOR A AN ARC FURNACE

PROCÉDÉ DE FONCTIONNEMENT POUR UN FOUR À ARC

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
09.08.2023 Patentblatt 2023/32

(73) Patentinhaber: **Primetals Technologies Germany GmbH**
91058 Erlangen (DE)

(72) Erfinder: **Matschullat, Thomas**
90542 Eckental (DE)

(74) Vertreter: **Metals@Linz**
Primetals Technologies Austria GmbH
Intellectual Property Upstream IP UP
Turmstraße 44
4031 Linz (AT)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 1 026 921
EP-A1- 3 124 903
WO-A1-2015/176899

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 4 224 992 B1

Beschreibung

Gebiet der Technik

[0001] Die vorliegende Erfindung geht aus von einem Betriebsverfahren für einen Lichtbogenofen, wobei während einer Schmelzphase in einem Ofengefäß des Lichtbogenofens befindliches Metall geschmolzen wird, wobei eine Steuereinrichtung des Lichtbogenofens

- anhand elektrischer Sollgrößen von den Elektroden zuzuführender elektrischer Energie vorläufige Spannungssollwerte ermittelt, so dass bei Anlegen von mit den vorläufigen Spannungssollwerten korrespondierenden Spannungen an die Elektroden erste elektrische Istgrößen von den Elektroden zugeführter elektrischer Energie den elektrischen Sollgrößen so weit wie möglich angenähert werden, und
- eine Energieversorgungseinrichtung des Lichtbogenofens basierend auf endgültigen Spannungssollwerten ansteuert, so dass mit den endgültigen Spannungssollwerten korrespondierende Spannungen an die Elektroden angelegt werden, so dass die Energieversorgungseinrichtung elektrische Energie aus einem Versorgungsnetz bezieht und über einen Ofentransformator den Elektroden zuführt.

[0002] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einem Steuerprogramm für eine Steuereinrichtung eines Lichtbogenofens, wobei das Steuerprogramm Maschinencode umfasst, der von der Steuereinrichtung abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes durch die Steuereinrichtung bewirkt, dass die Steuereinrichtung den Lichtbogenofen gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

[0003] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einer Steuereinrichtung eines Lichtbogenofens, wobei die Steuereinrichtung mit einem derartigen Steuerprogramm programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung den Lichtbogenofen gemäß einem derartigen Betriebsverfahren betreibt.

[0004] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einem Lichtbogenofen,

- wobei der Lichtbogenofen ein Ofengefäß aufweist, dem Metall zuführbar ist,
- wobei der Lichtbogenofen eine Energieversorgungseinrichtung und Elektroden sowie einen Ofentransformator aufweist,
- wobei die Energieversorgungseinrichtung eingangsseitig mit einem Versorgungsnetz und ausgangsseitig über den Ofentransformator mit den Elektroden verbunden ist,
- wobei der Lichtbogenofen eine Steuereinrichtung aufweist, von der die Energieversorgungseinrichtung ansteuerbar ist,
- wobei die Steuereinrichtung so wie obenstehend erläutert ausgebildet ist.

Stand der Technik

[0005] Die genannten Gegenstände sind allgemein bekannt. Beispielsweise kann auf die WO 2015/176 899 A1 verwiesen werden. Auch die EP 1 026 921 A1 und die EP 3 124 903 A1 können in diesem Zusammenhang genannt werden.

Zusammenfassung der Erfindung

[0006] Beim Schmelzen von Metall - insbesondere Stahl - in einem Lichtbogenofen erfolgt die Zufuhr der elektrischen Energie zu den Elektroden des Lichtbogenofens über einen Ofentransformator. Oftmals ist der Ofentransformator über einen Mittelspannungstransformator an das Versorgungsnetz angeschlossen. Der Ofentransformator stellt mehrere Spannungsstufen zur Verfügung. Für den Bereich konstanter Leistung und andere Hochstrombereiche kann die jeweilige Spannungsstufe am Ofentransformator gewählt werden. Eine Feinregelung innerhalb einer bestimmten Spannungsstufe kann beispielsweise mittels einer Impedanzregelung erfolgen.

[0007] Bei dieser Vorgehensweise sind nur einige wenige Spannungsstufen möglich, und die Elektrodenströme unterliegen starken Schwankungen. Zur Reduzierung der Schwankungen werden die Positionierungen der Elektroden mechanisch geregelt, meist über hydraulische Verstelleinrichtungen. Das mechanische Verstellen der Elektroden weist eine erheblich geringere Dynamik auf als das reale Verhalten der Lichtbögen. Die Schwankungen können daher nur unzureichend ausgeregelt werden. Weiterhin führen die Schwankungen zu erheblichen Belastungen der Bauteile, beispielsweise der Hochstromkabel, der stromführenden Tragarme, der Hydraulikzylinder usw. Die Schwankungen treten sowohl in der Schmelzphase als auch in einer nachfolgenden Flachbadphase auf.

[0008] Bei der Einstellung der Elektrodenspannung über die Spannungsstufen des Ofentransformators muss die Positionierung der Elektroden laufend nachgeregelt werden. Die Nachregelung kann beispielsweise derart erfolgen, dass auf eine bestimmte Impedanz oder eine bestimmte Leistung geregelt wird. Da die Dynamik der Positioniereinrichtung jedoch im Vergleich zu den Veränderungen im elektrischen System des Lichtbogens relativ niedrig ist, verbleiben gewisse Schwankungen, die nicht ausgeregelt werden können. Dadurch ist die Energieeinbringung in die Metallschmelze nicht optimal.

[0009] Aus den Dokumenten des Standes der Technik, insbesondere aus der WO 2015/176 899 A1 und der EP 3 124 903 A1 und in begrenztem Umfang auch aus der EP 1 026 921 A1, sind Vorgehensweisen bekannt, bei denen die Elektrodenspannungen kontinuierlich eingestellt werden können. Diese Ausgestaltungen bieten gegenüber einer Einstellung der Elektrodenspannung über Spannungsstufen des Ofentransformators erhebliche Vorteile. Zum einen können die Elektrodenspannungen

nicht nur stufenweise, sondern kontinuierlich variiert werden. Zum anderen kann der Ofentransformator einfacher ausgebildet sein, weil er nicht mehrere Spannungsstufen zur Verfügung stellen muss. Weiterhin werden durch diese Ausgestaltungen weitere Arten der Regelung ermöglicht.

[0010] Wenn - wie aus dem Stand der Technik bekannt - die Elektrodenspannungen kontinuierlich eingestellt werden können, erfolgt die elektrische Energiezufuhr oftmals mit konstanter Leistung oder konstantem Strom. Die Leistung bzw. der Strom können maximal sein, das heißt so groß wie auslegungsbedingt möglich ("Energieversorgungseinrichtung, liefere was du kannst"). Die an die Elektroden angelegten Spannungen dienen in diesem Fall zur Einstellung der gewünschten Leistung bzw. des gewünschten Stromes. Insbesondere während der Anfangsphase einer Schmelzphase des Lichtbogenofens, wenn sich die Elektroden noch ziemlich weit oben in der Nähe des Deckels des Lichtbogenofens befinden, kann dies dazu führen, dass sich der Lichtbogen von den Elektroden aus gesehen nicht zum Metall, sondern zum Deckel hin bildet. Dies führt nicht nur zu einer deutlich reduzierten Einbringung von Energie in das Metall, sondern darüber hinaus auch zu einem deutlich erhöhten Verschleiß des Deckels bis hin zu bereits nach kurzer Zeit auftretenden Schäden am Deckel.

[0011] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Möglichkeiten zu schaffen, mittels derer die Nachteile des Standes der Technik vermieden werden können.

[0012] Die Aufgabe wird durch ein Betriebsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Betriebsverfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis 5.

[0013] Erfindungsgemäß wird ein Betriebsverfahren der eingangs genannten Art dadurch ausgestaltet, dass die Steuereinrichtung zumindest während einer Anfangsphase der Schmelzphase die endgültigen Spannungssollwerte durch Begrenzung der vorläufigen Spannungssollwerte auf einen zulässigen Maximalwert ermittelt, wobei der zulässige Maximalwert unterhalb eines möglichen Maximalwertes liegt, der von der Energieversorgungseinrichtung an die Elektroden anlegbar ist.

[0014] Wenn von der Auslegung der Energieversorgungseinrichtung her gesehen also beispielsweise bis zu 1200 V an die Elektroden angelegt werden können und über die Elektroden 5000 A fließen sollen, so wird im Stand der Technik die Spannung bei Bedarf bis auf die vollen 1200 V ausgeregelt, um den gewünschten Strom von 5000 A einzustellen. Erfindungsgemäß hingegen erfolgt ein derartiges Ausregeln nur bis zu einem Wert unter 1200 V, beispielsweise bis auf maximal 700 V. Ist zum Einstellen eines Stromes von 5000 A ein Spannungswert oberhalb von 700 V erforderlich, wird die Abweichung des Stromes von dem eigentlichen gewünschten Wert (= 5000 A) hingenommen. Dadurch wird zwar dem Lichtbogenofen eine geringere Energie zugeführt, die zugeführte Energie wird aber zuverlässig in das Metall eingebracht, das geschmolzen werden soll, nicht aber in Bestandteile des Lichtbogenofens selbst. Die genannten Zahlenwerte von 700 V und 1200 V sowie von 5000 A sind beispielhaft genannte Werte, die der Erläuterung dienen. In der Praxis können auch größere oder kleinere Werte auftreten. Insbesondere der Strom kann oftmals erheblich größer sein.

[0015] In der allereinfachsten Ausgestaltung ist der zulässige Maximalwert fest vorgegeben. In diesem Fall ist es möglich, dass der zulässige Maximalwert nur während der Anfangsphase der Schmelzphase berücksichtigt wird, in einem späteren Abschnitt der Schmelzphase hingegen nicht mehr. Alternativ ist es möglich, dass der zulässige Maximalwert während der gesamten Schmelzphase berücksichtigt wird, nicht mehr aber in der nachfolgenden Flachbadphase.

[0016] In anderen Ausgestaltungen kann der zulässige Maximalwert dynamisch sein.

[0017] Beispielsweise ist es möglich, dass die Steuereinrichtung von einer Bedienperson einen Eingabewert entgegennimmt und dass die Steuereinrichtung den zulässigen Maximalwert in Abhängigkeit von dem Eingabewert ermittelt. Hierbei ist es alternativ möglich, dass der Eingabewert stets den zulässigen Maximalwert bestimmt, dass also bei einem Eingabewert von beispielsweise "500 V" der zulässige Maximalwert stets ebenfalls 500 V ist. Alternativ ist es möglich, dass der Eingabewert nur im Sinne einer oberen Grenze vorgegeben wird. In diesem Fall kann die Steuereinrichtung den zulässigen Maximalwert zunächst auf andere Art und Weise ermitteln. Ist der so ermittelte Wert kleiner als der durch den Eingabewert bestimmte Spannungswert (beispielsweise nur 450 V gegenüber 500 V gemäß Eingabewert), wird der von der Steuereinrichtung ermittelte Wert (450 V) als zulässiger Maximalwert verwendet. Ist der von der Steuereinrichtung ermittelte Wert größer als der durch den Eingabewert bestimmte Spannungswert (beispielsweise 550 V), wird der durch den Eingabewert bestimmte Spannungswert (500 V) als zulässiger Maximalwert verwendet. Auch hier sind die genannten Zahlenwerte von 450 V, 500 V und 550 V rein beispielhaft genannte Werte, die der Erläuterung dienen. In der Praxis können auch größere oder kleinere Werte auftreten.

[0018] Eine Vorgabe gemäß einem Eingabewert kann alternativ kontinuierlich oder in Stufen erfolgen.

[0019] In einer anderen Ausgestaltung ist es möglich, dass die Steuereinrichtung - alternativ oder zusätzlich zur Berücksichtigung des Eingabewertes - den zulässigen Maximalwert in Abhängigkeit von einer seit Beginn der Schmelzphase gestrichenen Zeitspanne ermittelt. Beispielsweise kann der zulässige Maximalwert zunächst einen relativ niedrigen Wert aufweisen und nach Ablauf einer bestimmten Wartezeit von beispielsweise 5 Minuten in einem Sprung, in mehreren Stufen oder kontinuierlich (linear oder nichtlinear) erhöht werden. Der zulässige Maximalwert kann in späteren Abschnitten, d.h. nach zumindest der Anfangsphase der Schmelzphase, bis auf den möglichen Maximalwert (und theoretisch so-

gar darüber hinaus) angehoben werden. In diesem Fall ist die erfindungsgemäße Spannungsbegrenzung ab dem Zeitpunkt, zu dem der mögliche Maximalwert erreicht wird, nicht mehr aktiv. Auch die genannte Zeitdauer von 5 Minuten ist nur beispielhaft. In der Praxis können auch größere oder kleinere Werte auftreten.

[0020] In aller Regel variiert eine Positionierung der Elektroden zeitlich. Die Positionierung der Elektroden kann der Steuereinrichtung bekannt sein. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung auch die Positionierung der Elektroden vornehmen oder kann der Steuereinrichtung die Positionierung der Elektroden von außen zugeführt werden. In einer Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ist es daher möglich, dass die Steuereinrichtung den zulässigen Maximalwert in Abhängigkeit von der Positionierung der Elektroden ermittelt.

[0021] Analog zu einer Ermittlung in Abhängigkeit von einer seit Beginn der Schmelzphase gestrichenen Zeitspanne kann auch bei einer Ermittlung in Abhängigkeit von der Positionierung der Elektroden der zulässige Maximalwert zunächst einen relativ niedrigen Wert aufweisen und bei Erreichen bestimmter Positionen, d.h. im Ergebnis in späteren Abschnitten der Schmelzphase, in einem Sprung, in mehreren Stufen oder kontinuierlich (linear oder nichtlinear) erhöht werden. Der zulässige Maximalwert kann bis auf den möglichen Maximalwert und sogar darüber hinaus angehoben werden.

[0022] In einer anderen Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ist es möglich, dass die Steuereinrichtung durch Auswertung des zeitlichen Verlaufs zweiter elektrischer Istgrößen der den Elektroden zugeführten elektrischen Energie und/oder durch Auswertung akustischer Istgrößen des Lichtbogenofens einen Fortschritt des Schmelzens des Metalls in dem Lichtbogenofen ermittelt und den zulässigen Maximalwert in Abhängigkeit von dem ermittelten Fortschritt ermittelt.

[0023] Der Begriff "zweite elektrische Istgrößen" dient der rein formalen Unterscheidung von den ersten elektrischen Istgrö-ßen. Es soll zum Ausdruck gebracht werden, dass die elektrischen Istgrößen, anhand derer die Steuereinrichtung den Fortschritt des Schmelzens des Metalls in dem Lichtbogenofen ermittelt, nicht notwendigerweise dieselben elektrischen Istgrößen sind, die nach Möglichkeit den elektrischen Sollgrößen angenähert werden. Dies ist zwar möglich, aber eben nicht zwingend erforderlich. Beispielsweise können die ersten elektrischen Istgrößen die Elektrodenströme sein, während die zweiten elektrischen Istgrößen die an die Elektroden angelegten Spannungen oder die über die Elektroden fließenden Leistungen sein können. Es kann sich im Einzelfall aber auch um dieselben elektrischen Istgrößen handeln.

[0024] Analog zu einer Ermittlung in Abhängigkeit von einer seit Beginn der Schmelzphase gestrichenen Zeitspanne kann auch bei einer Ermittlung in Abhängigkeit von dem ermittelten Fortschritt der zulässige Maximalwert zunächst einen relativ niedrigen Wert aufweisen und bei Erreichen eines bestimmten Prozessfortschritts in einem Sprung, in mehreren Stufen oder kontinuierlich (linear oder nichtlinear) erhöht werden. Der zulässige Maximalwert kann bis auf den möglichen Maximalwert und auch darüber hinaus angehoben werden.

[0025] Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Steuerprogramm mit den Merkmalen des Anspruchs 6 gelöst. Erfindungsgemäß bewirkt die Abarbeitung des Maschinencodes durch die Steuereinrichtung, dass die Steuereinrichtung den Lichtbogenofen gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

[0026] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Steuereinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 7 gelöst. Erfindungsgemäß ist die Steuereinrichtung mit einem erfindungsgemäßen Steuerprogramm programmiert, so dass die Steuereinrichtung den Lichtbogenofen gemäß einem erfindungsgemäßen Betriebsverfahren betreibt.

[0027] Die Aufgabe wird weiterhin durch einen Lichtbogenofen mit den Merkmalen des Anspruchs 8 gelöst. Erfindungsgemäß ist die Steuereinrichtung als erfindungsgemäße Steuereinrichtung ausgebildet.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0028] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die in Verbindung mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Hierbei zeigen in schematischer Darstellung:

FIG 1 ein Blockschaltbild eines Lichtbogenofens,
FIG 2 ein Ofengefäß während einer Schmelzphase,
FIG 3 ein Ablaufdiagramm,
FIG 4 das Ofengefäß während einer Flachbadphase,
FIG 5 ein Zeitdiagramm,
FIG 6 ein Positionsdiagramm und
FIG 7 ein Phasendiagramm.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0029] Gemäß FIG 1 weist ein Lichtbogenofen ein Ofengefäß 1 auf. Dem Ofengefäß 1 kann - siehe FIG 2 - Metall 2 zugeführt werden. Das Metall 2 wird dem Ofengefäß 1 in festem Aggregatszustand zugeführt. Es kann sich bei dem Metall 2 beispielsweise um Stahl und im Falle von Stahl insbesondere um Schrott handeln.

[0030] Der Lichtbogenofen weist weiterhin eine Energieversorgungseinrichtung 3 auf. Die Energieversorgungseinrichtung 3 ist eingangsseitig mit einem Versorgungsnetz 4 verbunden. Das Versorgungsnetz 4 ist in der Regel ein Mittelspannungsnetz, das eine Nennspannung im 2-stelligen kV-Bereich aufweist und mit einer Basisfrequenz f0 betrieben wird. Die Basisfrequenz f0 liegt in der Regel bei 50 Hz oder 60 Hz. Das Versorgungsnetz 4 ist entsprechend der Darstellung in FIG 1 in der Regel ein Drehstromnetz.

[0031] Der Lichtbogenofen weist weiterhin einen Ofen-

transformator 5 und Elektroden 6 auf. Die Energieversorgungseinrichtung 3 ist ausgangsseitig über den Ofentransformator 5 mit den Elektroden 6 verbunden. In der Regel sind entsprechend der Darstellung in FIG 1 mehrere Elektroden 6 vorhanden und ist weiterhin der Ofentransformator 5 als Drehstromtransformator ausgebildet. Es sind aber auch andere Ausgestaltungen möglich, insbesondere eine einphasige Ausgestaltung. Unabhängig von der konkreten Ausgestaltung liegen an die Elektroden 6 angelegte Elektrodenspannungen U jedoch deutlich unterhalb der Nennspannung des Versorgungsnetzes 4. Die Elektrodenspannung U ist in FIG 1 nur für eine der Elektroden 6 dargestellt. Meist liegen die Elektrodenspannungen U im Bereich von mehreren 100 V. Im Einzelfall sind auch Spannungen oberhalb von 1 kV möglich. 2 kV werden in aller Regel aber nicht überschritten.

[0032] In der Regel sind weiterhin Schalteinrichtungen vorhanden, mittels derer die Energieversorgungseinrichtung 3 vom Versorgungsnetz 4 getrennt werden kann. Weiterhin können Schalteinrichtungen vorhanden sein, mittels derer die Energieversorgungseinrichtung 3 vom Ofentransformator 5 und/oder der Ofentransformator 5 von den Elektroden 6 getrennt werden kann. Die Schalteinrichtungen führen rein binäre Schaltvorgänge durch, aber keinerlei Einstellung von Spannungen und Strömen. Weiterhin können primärseitig oder sekundärseitig des Ofentransformators 5 aktive oder passive Filtereinrichtungen angeordnet sein. Die Schalteinrichtungen und auch die Filtereinrichtungen sind für die erfindungsgemäße Funktionsweise untergeordneter Bedeutung und daher in FIG 1 (und auch den anderen FIG) der Übersichtlichkeit halber nicht mit dargestellt.

[0033] Die Energieversorgungseinrichtung 3 kann aus dem Versorgungsnetz 4 elektrische Energie beziehen und die bezogene elektrische Energie über den Ofentransformator 5 den Elektroden 6 zuführen. Die Energieversorgungseinrichtung 3 weist zu diesem Zweck in der Regel viele Halbleiterschalter auf. Mögliche Ausgestaltungen der Energieversorgungseinrichtung 3 sind in der WO 2015/176 899 A1 ("Goldstandard") beschrieben. Alternativ können beispielsweise auch die Ausgestaltungen gemäß der EP 3 124 903 A1 oder der EP 1 026 921 A1 verwendet werden. Unabhängig von der konkreten Ausgestaltung der Energieversorgungseinrichtung 3 ist die Energieversorgungseinrichtung 3 jedoch in der Lage, ausgangsseitig - also zum Ofentransformator 5 hin - eine quasi-kontinuierliche Abstufung der an die Elektroden 6 angelegten Elektrodenspannungen U und/oder der den Elektroden 6 zugeführten Elektrodenströme I vorzunehmen. Analog zu der Darstellung für die Elektrodenspannungen U ist der Elektrodenstrom I in FIG 1 ebenfalls nur für eine der Elektroden 6 dargestellt.

[0034] Die Elektrodenspannungen U können maximal einen Wert U0 (siehe FIG 5 bis 7) erreichen. Der Wert U0 - also der mögliche Maximalwert der Elektrodenspannungen U - ist durch die Nennspannung des Versorgungsnetzes 4, die Auslegung der Energieversorgungseinrichtung 3 und die Auslegung des Ofentransformators 5 bestimmt. Beispielsweise kann der Wert U0 bei 1200 V liegen.

[0035] Weiterhin weist der Lichtbogenofen eine Positioniereinrichtung 7 auf. Mittels der Positioniereinrichtung 7 können die Elektroden 6, wie in FIG 1 durch einen Doppelpfeil 8 neben einer der Elektroden 6 angedeutet ist, positioniert werden. Im einfachsten Fall erfolgt eine gemeinsame Positionierung der Elektroden 6. Es kann aber auch eine individuelle Positionierung der Elektroden 6 erfolgen. Die Bewegungsrichtung, in welcher die Elektroden 6 positioniert werden, kann vertikal sein. Alternativ kann die Bewegungsrichtung auch gegenüber der Vertikalen leicht geneigt sein. Auch in diesem Fall aber ist die Komponente in Vertikalrichtung die dominierende Komponente der Bewegung. Die Positioniereinrichtung 7 kann beispielsweise eine oder mehrere Hydraulikzylindereinheiten aufweisen.

[0036] Schließlich weist der Lichtbogenofen eine Steuereinrichtung 9 auf. Von der Steuereinrichtung 9 wird zumindest die Energieversorgungseinrichtung 3 gesteuert. Die Steuereinrichtung 9 generiert also Ansteuerwerte A1, mit denen sie die Energieversorgungseinrichtung 3 ansteuert. Entsprechend den Ansteuerwerten A1 wird die Energieversorgungseinrichtung 3 betrieben.

[0037] Oftmals wird von der Steuereinrichtung 9 auch die Positioniereinrichtung 7 gesteuert in diesem Fall generiert die Steuereinrichtung 9 weitere Ansteuerwerte A2, mit denen sie die Positioniereinrichtung 7 ansteuert. Entsprechend diesen Ansteuerwerten A2 wird in diesem Fall die Positioniereinrichtung 7 betrieben. Die Ansteuerung der Positioniereinrichtung 7 ist als solche jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Erfindung und wird daher nicht näher erläutert.

[0038] Die Steuereinrichtung 9 ist als softwareprogrammierbare Steuereinrichtung ausgebildet. Dies ist in FIG 1 durch die Angabe "µP" (für mikroprozessorgesteuert) angedeutet. Die Wirkung-und Betriebsweise der Steuereinrichtung 9 wird durch ein Steuerprogramm 10 bestimmt, mit dem die Steuereinrichtung 9 programmiert ist. Das Steuerprogramm 10 umfasst Maschinencode 11, der von der Steuereinrichtung 9 abarbeitbar ist. Die Abarbeitung des Maschinencodes 11 durch die Steuereinrichtung 9 bewirkt, dass die Steuereinrichtung 9 den Lichtbogenofen gemäß einem Betriebsverfahren betreibt, wie es nachstehend in Verbindung mit den weiteren FIG näher erläutert wird.

[0039] Zunächst wird das Ofengefäß 1 gemäß FIG 3 in einem Schritt S1 mit dem Metall 2 beschickt. Das Beschicken kann unter Steuerung durch die Steuereinrichtung 9 erfolgen. Es muss aber nicht unter Steuerung durch die Steuereinrichtung 9 erfolgen. Der Schritt S1 ist daher in FIG 3 nur gestrichelt dargestellt.

[0040] An das Beschicken des Ofengefäßes 1 mit dem Metall 2 schließt sich eine Schmelzphase des Lichtbogenofens an. Während der Schmelzphase wird das Metall 2 zu einer Metallschmelze 12 geschmolzen. Die Schmelzphase umfasst Schritte S2 bis S6. An die Schmelzphase schließt sich eine Flachbadphase an. Die

Flachbadphase umfasst Schritte S7 bis S11.

[0041] In der Schmelzphase nimmt die Steuereinrichtung 9 zunächst im Schritt S2 Sollgrößen X* entgegen. Die Sollgrößen X* sind elektrische Größen für eine elektrische Energie, die den Elektroden 6 zugeführt werden sollen. Es kann sich beispielsweise um elektrische Sollströme oder um elektrische Sollleistungen handeln.

[0042] Im Schritt S3 ermittelt die Steuereinrichtung 9 endgültige Spannungssollwerte U2*. Zur Ermittlung der endgültigen Spannungssollwerte U2* ermittelt die Steuereinrichtung 9 zunächst anhand der elektrischen Sollgrößen X* (gegebenenfalls unter zusätzlicher Berücksichtigung erster elektrischer Istgrößen X, welche für die den Elektroden 6 zugeführte elektrische Energie charakteristisch sind) vorläufige Spannungssollwerte U1*. Die Ermittlung der vorläufigen Spannungssollwerte U1* erfolgt derart, dass dann, wenn mit den vorläufigen Spannungssollwerten U1* korrespondierende Spannungen U an die Elektroden 6 angelegt würden, die ersten elektrischen Istgrö-ßen X den korrespondierenden Sollgrößen X* so weit wie möglich angenähert werden. Es wird also versucht, beispielsweise den elektrischen Iststrom oder die elektrische Istleistung so weit wie möglich an den elektrischen Sollstrom oder an die elektrische Sollleistung anzunähern. Die so ermittelten vorläufigen Spannungssollwerte U1* werden im Schritt S3 jedoch nach oben auf einen zulässigen Maximalwert Umax begrenzt. Der zulässige Maximalwert Umax liegt (siehe die FIG 5 bis 7) seinerseits unterhalb des möglichen Maximalwertes U0. Meist liegt er zwischen 50 % und 75 % des möglichen Maximalwertes U0. Bei einem möglichen Maximalwert U0 von 1200 V kann der zulässige Maximalwert Umax beispielsweise zwischen 600 V und 900 V liegen.

[0043] Sodann ermittelt die Steuereinrichtung 9 im Schritt S4 die Ansteuerwerte A1 für die Energieversorgungseinrichtung 3. Die Ermittlung erfolgt basierend auf den endgültigen Spannungssollwerten U2*. Im Schritt S5 steuert die Steuereinrichtung 9 die Energieversorgungseinrichtung 3 entsprechend den ermittelten Ansteuerwerten A1 an. Aufgrund der entsprechenden Ansteuerung werden mit den endgültigen Spannungssollwerten U2* korrespondierende Spannungen U an die Elektroden 6 angelegt. Dadurch bezieht die Energieversorgungseinrichtung 3 elektrische Energie aus dem Versorgungsnetz 4 und führt die elektrische Energie über den Ofentransformator 5 den Elektroden 6 zu. Im Ergebnis bilden sich dadurch Lichtbögen 13 aus.

[0044] Im Schritt S6 prüft die Steuereinrichtung 9, ob eine Beendigungsbedingung erreicht ist. Die Beendigungsbedingung kann darin bestehen, dass die Schmelzphase als solches beendet ist. Beendet ist die Schmelzphase, wenn die Metallschmelze 12 entsprechend der Darstellung in FIG 4 vollständig oder zumindest im wesentlichen eine durchgehende horizontale Oberfläche gebildet hat. Es ist also entweder das Metall 2 vollständig geschmolzen oder die noch nicht geschmolzenen Elemente des Metalls 2 befinden sich vollständig unter der Oberfläche der Metallschmelze 12 oder die noch nicht geschmolzenen Elemente des Metalls 2 ragen nur noch unwesentlich über die Oberfläche der Metallschmelze 12 hinaus. Weiterhin kann sich auf der Oberfläche der Metallschmelze 12 eine Schlackenschicht 14 gebildet haben. Alternativ kann die Beendigungsbedingung beispielsweise darin bestehen, dass innerhalb der Schmelzphase eine Anfangsphase abgeschlossen ist, beispielsweise eine Bohrphase. Unabhängig von der Ausgestaltung der Beendigungsbedingung ist die Beendigungsbedingung in der Regel jedoch erst mehrere Minuten nach Beginn der Schmelzphase erfüllt.

[0045] Es ist möglich, dass die Steuereinrichtung 9 im Rahmen der Prüfung, ob die Beendigungsbedingung erreicht ist, messtechnisch erfasste Istgrößen des Lichtbogenofens auswertet. Beispielsweise ist es möglich, dass die Steuereinrichtung 9 die Elektrodenströme I und/oder die Elektrodenspannungen U auswertet, insbesondere deren Schwankungen. Auch kann die Steuereinrichtung 9 akustische Größen des Lichtbogenofens auswerten, beispielsweise den Geräuschpegel oder das akustische Spektrum des erzeugten Geräuschs. Alternativ ist es möglich, dass der Steuereinrichtung 9 von einer Bedienperson 15 (siehe FIG 1) vorgegeben wird, dass die Beendigungsbedingung erreicht ist.

[0046] Wenn die Beendigungsbedingung noch nicht erreicht ist, geht die Steuereinrichtung 9 zum Schritt S2 (alternativ zum Schritt S3) zurück. Wenn die Beendigungsbedingung hingegen erreicht ist, geht die Steuereinrichtung 9 zum Schritt S7 und damit zu einer weiteren Betriebsphase des Lichtbogenofens über. Die weitere Betriebsphase kann beispielsweise die Flachbadphase sein. Alternativ kann die weitere Betriebsphase eine späterer Abschnitt der Schmelzphase zuzüglich der Flachbadphase sein.

[0047] In der weiteren Betriebsphase des Lichtbogenofens nimmt die Steuereinrichtung 9 im Schritt S7 die Sollgrößen X* entgegen. Weiterhin ermittelt die Steuereinrichtung 9 im Schritt S8 die endgültigen Spannungssollwerte U2*. Sodann ermittelt die Steuereinrichtung 9 im Schritt S9 die Ansteuerwerte A1 für die Energieversorgungseinrichtung 3. Im Schritt S10 steuert die Steuereinrichtung 9 die Energieversorgungseinrichtung 3 entsprechend den ermittelten Ansteuerwerten A1 an.

[0048] Die Schritte S7 bis S10 korrespondieren im wesentlichen mit den Schritten S2 bis S5. Der Unterschied besteht lediglich darin, dass die Steuereinrichtung 9 im Schritt S8 die vorläufigen Spannungssollwerte U1* direkt als endgültige Spannungssollwerte U2* übernimmt, also keine Begrenzung auf den zulässigen Maximalwert Umax vornimmt.

[0049] Im Schritt S11 prüft die Steuereinrichtung 9, ob die weitere Betriebsphase des Lichtbogenofens beendet ist. Es ist analog zur Prüfung des Schrittes S6 möglich, dass die Steuereinrichtung 9 im Rahmen der Prüfung des Schrittes S11 messtechnisch erfasste Istgrößen des Lichtbogenofens auswertet. Alternativ ist es möglich, dass der Steuereinrichtung 9 von der Bedienperson 15 vorgegeben wird, dass die weitere Betriebsphase been-

det ist.

[0050] Wenn die weitere Betriebsphase noch nicht beendet ist, geht die Steuereinrichtung 9 zum Schritt S7 (alternativ zum Schritt S8) zurück. Wenn die weitere Betriebsphase hingegen beendet ist, geht die Steuereinrichtung 9 zu einem Schritt S12 über. Im Schritt S12 wird die erzeugte Metallschmelze 12 aus dem Ofengefäß 1 entnommen, beispielsweise in eine Pfanne (nicht dargestellt) gegossen. Das Entnehmen der Metallschmelze 12 kann unter Steuerung durch die Steuereinrichtung 9 erfolgen. Es muss aber nicht unter Steuerung durch die Steuereinrichtung 9 erfolgen. Der Schritt S12 ist daher in FIG 3 - analog zum Schritt S1 - nur gestrichelt dargestellt.

[0051] Es ist auch möglich, dass die Schritte S6 bis S10 entfallen und stattdessen vom Schritt S11 aus zum Schritt S2 oder zum Schritt S3 zurückgegangen wird. In diesem Fall erfolgt die Berücksichtigung des zulässigen Maximalwertes Umax während des gesamten Betriebs des Lichtbogenofens.

[0052] Für die Festlegung des zulässigen Maximalwertes Umax gibt es verschiedene Möglichkeiten.

[0053] Beispielsweise kann der zulässige Maximalwert Umax von der Steuereinrichtung 9 entsprechend der Darstellung in FIG 5 als Funktion der Zeit t ermittelt werden. Ein Zeitpunkt t1 korrespondiert in diesem Fall mit dem Beginn der Schmelzphase, also im Prinzip dem erstmaligen Zünden der Lichtbögen 13 nach dem Beschicken des Ofengefäßes 1 mit dem Metall 2. Zum Zeitpunkt t1 weist der zulässige Maximalwert Umax in der Regel seinen niedrigsten Wert auf. Später kann der zulässige Maximalwert Umax - gemäß der Darstellung in FIG 5 kontinuierlich, alternativ in einer oder mehreren Stufen - auf einen höheren Wert ansteigen. Insbesondere kann er zu einem Zeitpunkt t2 den möglichen Maximalwert U0 erreichen. Im Falle der Ausgestaltung gemäß FIG 5 ermittelt die Steuereinrichtung 9 somit den zulässigen Maximalwert Umax in direkter Abhängigkeit von einer seit dem Beginn der Schmelzphase gestrichenen Zeitspanne: Ist die dem Beginn der Schmelzphase gestrichenen Zeitspanne bekannt, kann auch die zugehörige momentan gültige zulässige Maximalwert Umax ermittelt werden.

[0054] Alternativ kann der zulässige Maximalwert Umax von der Steuereinrichtung 9 entsprechend der Darstellung in FIG 6 als Funktion der Positionierung p der Elektroden 6 ermittelt werden. Die Darstellung in FIG 6 ist derart, dass die Positionierung p mit dem Abstand der Unterseiten der Elektroden 6 von einem Deckel 15 des Ofengefäßes 1 korrespondieren. In der Regel weist der zulässige Maximalwert Umax seinen niedrigsten Wert bei der kleinsten Positionierung p (also beim geringsten Abstand vom Deckel 15) auf und steigt mit zunehmendem Abstand - gemäß der Darstellung in FIG 6 kontinuierlich, alternativ in einer oder mehreren Stufen - auf einen höheren Wert an. Insbesondere kann der zulässige Maximalwert Umax bis zu einer ersten vorbestimmten Positionierung p bei seinem niedrigsten Wert liegen und bei einer zweiten vorbestimmten Positionierung p den möglichen Maximalwert U0 erreichen. Im Falle der Ausgestaltung gemäß FIG 5 ermittelt die Steuereinrichtung 9 somit den zulässigen Maximalwert Umax in Abhängigkeit von der Positionierung p der Elektroden 6.

[0055] Natürlich ist auch im Falle der Ausgestaltung gemäß FIG 6 im Ergebnis der zulässige Maximalwert Umax von der Zeit t abhängig. Die zugehörige funktionale Beziehung ist jedoch nicht vorab bekannt. Insbesondere kann der Fall auftreten, dass die Positionierung p nicht kontinuierlich ansteigt, sondern zeitweise auch wieder einen kleineren Wert annimmt.

[0056] Ebenso ist es möglich, dass die Steuereinrichtung 9 (ähnlich zur Vorgehensweise in den Schritten S6 und S11) durch Auswertung des zeitlichen Verlaufs elektrischer Istgrößen der den Elektroden 6 zugeführten elektrischen Energie und/oder durch Auswertung akustischer Istgrößen des Lichtbogenofens einen Fortschritt des Schmelzens des Metalls 2 in dem Lichtbogenofen ermittelt. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 9 auf diese Art und Weise den Übergang von der Bohrphase in den verbleibenden Teil der Schmelzphase und den Übergang von der Schmelzphase in die Flachbadphase erkennen. In diesem Fall kann die Steuereinrichtung 9 den zulässigen Maximalwert Umax in Abhängigkeit von dem ermittelten Fortschritt ermitteln. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 9 den zulässigen Maximalwert Umax entsprechend der Darstellung in FIG 7 während der Bohrphase auf einem relativ niedrigen Wert halten, während des verbleibenden Teils der Schmelzphase auf einem relativ hohen Wert (aber noch unterhalb des möglichen Maximalwertes U0) halten und während der Flachbadphase unberücksichtigt lassen (oder alternativ gleich dem möglichen Maximalwert U0 oder auf einen Wert oberhalb des möglichen Maximalwertes U0 setzen).

[0057] Ebenso ist es entsprechend der Darstellung in FIG 1 möglich, dass die Steuereinrichtung 9 von der Bedienperson 16 einen Eingabewert E entgegennimmt. In diesem Fall kann die Steuereinrichtung 9 den zulässigen Maximalwert Umax in Abhängigkeit von dem Eingabewert E ermitteln. Der Eingabewert E kann den zulässigen Maximalwert Umax nach Bedarf alleine bestimmen oder zusätzlich zu einer der Vorgehensweisen der FIG 5 bis 7 berücksichtigt werden.

[0058] Die vorliegende Erfindung weist viele Vorteile auf. Insbesondere können Überschläge der Lichtbögen 13 auf den Deckel 16 des Ofengefäßes 1 und die damit verbundenen Nachteile zuverlässig vermieden werden.

Bezugszeichenliste

[0059]

1 Ofengefäß
2 Metall
3 Energieversorgungseinrichtung
4 Versorgungsnetz
5 Ofentransformator

6	Elektroden
7	Positioniereinrichtung
8	Doppelpfeil
9	Steuereinrichtung
10	Steuerprogramm
11	Maschinencode
12	Metallschmelze
13	Lichtbögen
14	Schlackenschicht
15	Bedienperson
16	Deckel

A1, A2	Ansteuerwerte
E	Eingabewert
f0	Basisfrequenz
I	Elektrodenströme
p	Positionierung
p1, p2	vorbestimmte Positionierungen
S1 bis S12	Schritte
t	Zeit
t1, t2	Zeitpunkte
U	Elektrodenspannungen
U0	möglicher Maximalwert
Umax	zulässiger Maximalwert
X*	Sollgrößen
X	Istgrößen

Patentansprüche

1. Betriebsverfahren für einen Lichtbogenofen, wobei während einer Schmelzphase in einem Ofengefäß (1) des Lichtbogenofens befindliches Metall (2) geschmolzen wird, wobei eine Steuereinrichtung (9) des Lichtbogenofens

- anhand elektrischer Sollgrößen (X*) von den Elektroden (6) zuzuführender elektrischer Energie vorläufige Spannungssollwerte (U1*) ermittelt, so dass bei Anlegen von mit den vorläufigen Spannungssollwerten (U1*) korrespondierenden Spannungen (U) an die Elektroden (6) erste elektrische Istgrößen (X) von den Elektroden (6) zugeführter elektrischer Energie den elektrischen Sollgrößen (X*) so weit wie möglich angenähert werden, und
- eine Energieversorgungseinrichtung (3) des Lichtbogenofens basierend auf endgültigen Spannungssollwerten (U2*) ansteuert, so dass mit den endgültigen Spannungssollwerten (U2*) korrespondierende Spannungen (U) an die Elektroden (6) angelegt werden, so dass die Energieversorgungseinrichtung (3) elektrische Energie aus einem Versorgungsnetz (4) bezieht und über einen Ofentransformator (5) den Elektroden (6) zuführt,

dadurch gekennzeichnet ,

dass die Steuereinrichtung (9) zumindest während einer Anfangsphase der Schmelzphase die endgültigen Spannungssollwerte (U2*) durch Begrenzung der vorläufigen Spannungssollwerte (U1*) auf einen zulässigen Maximalwert (Umax) ermittelt, wobei der zulässige Maximalwert (Umax) unterhalb eines möglichen Maximalwertes (U0) liegt, der von der Energieversorgungseinrichtung (3) an die Elektroden (6) anlegbar ist.

2. Betriebsverfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet ,
dass die Steuereinrichtung (9) von einer Bedienperson (15) einen Eingabewert (E) entgegennimmt und dass die Steuereinrichtung (9) den zulässigen Maximalwert (Umax) in Abhängigkeit von dem Eingabewert (E) ermittelt.

3. Betriebsverfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet ,
dass die Steuereinrichtung (9) den zulässigen Maximalwert (Umax) in Abhängigkeit von einer seit Beginn der Schmelzphase gestrichenen Zeitspanne ermittelt.

4. Betriebsverfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet ,
dass eine Positionierung (p) der Elektroden (6) zeitlich variiert, dass die Positionierung (p) der Elektroden (6) der Steuereinrichtung (9) bekannt ist und dass die Steuereinrichtung (9) den zulässigen Maximalwert (Umax) in Abhängigkeit von der Positionierung (p) der Elektroden (6) ermittelt.

5. Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet ,
dass die Steuereinrichtung (9) durch Auswertung des zeitlichen Verlaufs zweiter elektrischer Istgrößen (U, I) der den Elektroden (6) zugeführten elektrischen Energie und/oder durch Auswertung akustischer Istgrößen des Lichtbogenofens einen Fortschritt des Schmelzens des Metalls (2) in dem Lichtbogenofen ermittelt und dass die Steuereinrichtung (9) den zulässigen Maximalwert (Umax) in Abhängigkeit von dem ermittelten Fortschritt ermittelt.

6. Steuerprogramm für eine Steuereinrichtung (9) eines Lichtbogenofens, wobei das Steuerprogramm Maschinencode (11) umfasst, der von der Steuereinrichtung (9) abarbeitbar ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Abarbeitung des Maschinencodes (11) durch die Steuereinrichtung (9) bewirkt, dass die Steuereinrichtung (9) den Lichtbogenofen gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der obigen Ansprüche betreibt.

7. Steuereinrichtung eines Lichtbogenofens, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung mit einem Steuerprogramm (10) nach Anspruch 6 programmiert ist, so dass die Steuereinrichtung den Lichtbogenofen gemäß einem Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 betreibt.

8. Lichtbogenofen,

- wobei der Lichtbogenofen ein Ofengefäß (1) aufweist, dem Metall (2) zuführbar ist,
- wobei der Lichtbogenofen eine Energieversorgungseinrichtung (3) und Elektroden (6) sowie einen Ofentransformator (5) aufweist,
- wobei die Energieversorgungseinrichtung (3) eingangsseitig mit einem Versorgungsnetz (4) und ausgangsseitig über den Ofentransformator (5) mit den Elektroden (6) verbunden ist,
- wobei der Lichtbogenofen eine Steuereinrichtung (9) aufweist, von der die Energieversorgungseinrichtung (3) ansteuerbar ist,
- **dadurch gekennzeichnet, dass**

die Steuereinrichtung (9) gemäß Anspruch 7 ausgebildet ist.

Claims

1. Operating method for an electric arc furnace, wherein metal (2) in a furnace vessel (1) of the electric arc furnace is melted during a melting phase, wherein a control device (9) of the electric arc furnace

- determines preliminary target voltage values (U1*) on the basis of target electrical variables (X*) of electrical energy to be supplied to the electrodes (6), with the result that, when voltages (U) corresponding to the preliminary target voltage values (U1*) are applied to the electrodes (6), first actual electrical variables (X) of electrical energy supplied to the electrodes (6) are approximated as far as possible to the target electrical variables (X*), and
- controls an energy supply device (3) of the electric arc furnace on the basis of definitive target voltage values (U2*), with the result that voltages (U) corresponding to the definitive target voltage values (U2*) are applied to the electrodes (6), with the result that the energy supply device (3) draws electrical energy from a supply network (4) and supplies it to the electrodes (6) via a furnace transformer (5),

characterized in that
the control device (9), at least during a starting phase of the melting phase, determines the definitive target voltage values (U2*) by limiting the preliminary target voltage values (U1*) to a permissible maximum value (Umax), wherein the permissible maximum value (Umax) is below a possible maximum value (U0) that can be applied to the electrodes (6) by the energy supply device (3) .

2. Operating method according to Claim 1,
characterized in that
the control device (9) receives an input value (E) from an operator (15), and **in that** the control device (9) determines the permissible maximum value (Umax) on the basis of the input value (E) .

3. Operating method according to Claim 1 or 2,
characterized in that
the control device (9) determines the permissible maximum value (Umax) on the basis of a period of time that has elapsed since the beginning of the melting phase.

4. Operating method according to Claim 1, 2 or 3,
characterized in that
a positioning (p) of the electrodes (6) varies over time, **in that** the positioning (p) of the electrodes (6) is known to the control device (9), and **in that** the control device (9) determines the permissible maximum value (Umax) on the basis of the positioning (p) of the electrodes (6).

5. Operating method according to one of the preceding claims,
characterized in that
the control device (9) determines progress of the melting of the metal (2) in the electric arc furnace by evaluating the temporal progression of second actual electrical variables (U, I) of the electrical energy supplied to the electrodes (6) and/or by evaluating actual acoustic variables of the electric arc furnace, and **in that** the control device (9) determines the permissible maximum value (Umax) on the basis of the determined progress.

6. Control program for a control device (9) of an electric arc furnace, wherein the control program comprises machine code (11) which can be executed by the control device (9), **characterized in that** the execution of the machine code (11) by the control device (9) has the effect that the control device (9) operates the electric arc furnace in accordance with an operating method according to any of the preceding claims.

7. Control device of an electric arc furnace, **characterized in that** the control device is programmed with a control program (10) according to Claim 6, such that the control device operates the electric arc furnace in accordance with an operating method according to any of Claims 1 to 5.

8. Electric arc furnace,

- wherein the electric arc furnace has a furnace vessel (1), to which metal (2) can be supplied,
- wherein the electric arc furnace has an energy supply device (3) and electrodes (6) as well as a furnace transformer (5),
- wherein the energy supply device (3) is connected, on the input side, to a supply network (4) and is connected, on the output side, to the electrodes (6) via the furnace transformer (5),
- wherein the electric arc furnace has a control device (9) which can control the energy supply device (3),
- **characterized in that** the control device (9) is designed according to Claim 7.

Revendications

1. Procédé de fonctionnement d'un four à arc, dans lequel pendant une phase de fusion du métal (2) se trouvant dans une cuve de four (1) du four à arc est fondu, dans lequel un dispositif de commande (9) du four à arc

- détermine, à l'aide de grandeurs électriques théoriques (X*) d'énergie électrique devant être amenée aux électrodes (6), des valeurs de tension théoriques provisoires (U1*) de sorte que lors de l'application aux électrodes (6) de tensions (U) correspondant aux valeurs de tension théoriques provisoires (U1*), des premières grandeurs électriques réelles (X) d'énergie électrique amenée aux électrodes (6) sont rapprochées autant que possible des grandeurs électriques théoriques (X*), et
- commande un dispositif d'alimentation en énergie (3) du four à arc en se basant sur des valeurs de tension théoriques définitives (U2*) de sorte que des tensions (U) correspondant aux valeurs de tension théoriques définitives (U2*) sont appliquées aux électrodes (6) de sorte que le dispositif d'alimentation en énergie (3) se procure de l'énergie électrique à partir d'un réseau d'alimentation (4) et alimente les électrodes (6) au moyen d'un transformateur de four (5),

caractérisé en ce que le dispositif de commande (9) détermine, au moins pendant une phase initiale de la phase de fusion, les valeurs de tension théoriques définitives (U2*) en limitant les valeurs de tension théoriques provisoires (U1*) à une valeur maximale admissible (Umax), dans lequel la valeur maximale admissible (Umax) se situe au-dessous d'une valeur maximale possible (U0) qui peut être appliquée aux électrodes (6) par le dispositif d'alimentation en énergie (3).

2. Procédé de fonctionnement selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le dispositif de commande (9) accepte d'un utilisateur (15) une valeur d'entrée (E) et **en ce que** le dispositif de commande (9) détermine la valeur maximale admissible (Umax) en fonction de la valeur d'entrée (E).

3. Procédé de fonctionnement selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le dispositif de commande (9) détermine la valeur maximale admissible (Umax) en fonction d'un laps de temps écoulé depuis le début de la phase de fusion.

4. Procédé de fonctionnement selon la revendication 1, 2 ou 3, **caractérisé en ce qu'**un positionnement (p) des électrodes (6) varie dans le temps, **en ce que** le positionnement (p) des électrodes (6) est connu du dispositif de commande (9) et **en ce que** le dispositif de commande (9) détermine la valeur maximale admissible (Umax) en fonction du positionnement (p) des électrodes (6).

5. Procédé de fonctionnement selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le dispositif de commande (9) détermine un avancement de la fusion du métal (2) dans le four à arc en évaluant l'évolution dans le temps des deuxièmes grandeurs électriques réelles (U, I) de l'énergie électrique amenée aux électrodes (6) et / ou en évaluant des grandeurs acoustiques réelles du four à arc et **en ce que** le dispositif de commande (9) détermine la valeur maximale admissible (Umax) en fonction de l'avancement déterminé.

6. Programme de commande pour un dispositif de commande (9) d'un four à arc, dans lequel le programme de commande comprend un code machine (11) qui peut être traité par le dispositif de commande (9), **caractérisé en ce que** le traitement du code machine (11) par le dispositif de commande (9) entraîne que le dispositif de commande (9) actionne le four à arc suivant un procédé de fonctionnement selon l'une des revendications précédentes.

7. Dispositif de commande d'un four à arc, **caractérisé en ce que** le dispositif de commande est programmé avec un programme de commande (10) selon la revendication 6 de sorte que le dispositif de commande actionne le four à arc suivant un procédé de fonctionnement selon l'une des revendications 1 à 5.

8. Four à arc,

- dans lequel le four à arc présente une cuve de four (1) à laquelle peut être amené du métal (2),
- dans lequel le four à arc présente un dispositif

d'alimentation en énergie (3) et des électrodes (6) ainsi qu'un transformateur de four (5),
- dans lequel le dispositif d'alimentation en énergie (3) est relié du côté de l'entrée à un réseau d'alimentation (4) et du côté de la sortie aux électrodes (6) au moyen du transformateur de four (5),
- dans lequel le four à arc présente un dispositif de commande (9) par lequel peut être commandé le dispositif d'alimentation en énergie (3),

caractérisé en ce que le dispositif de commande (9) est conçu selon la revendication 7.

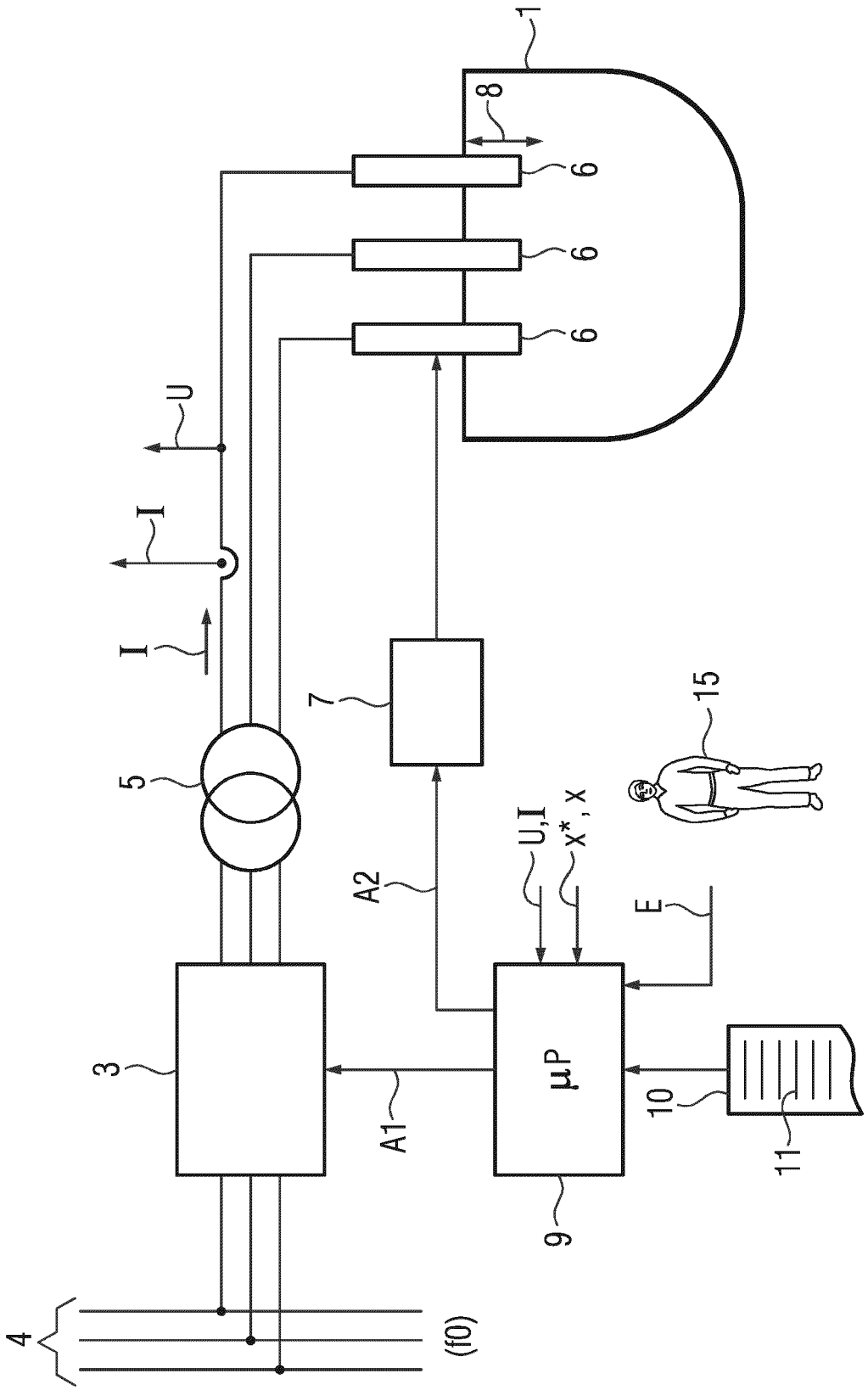


FIG 1

FIG 2

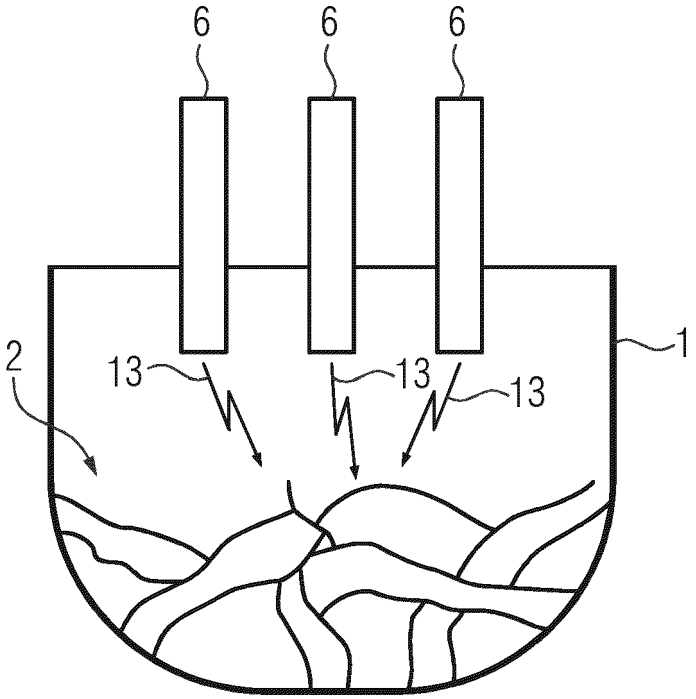


FIG 3

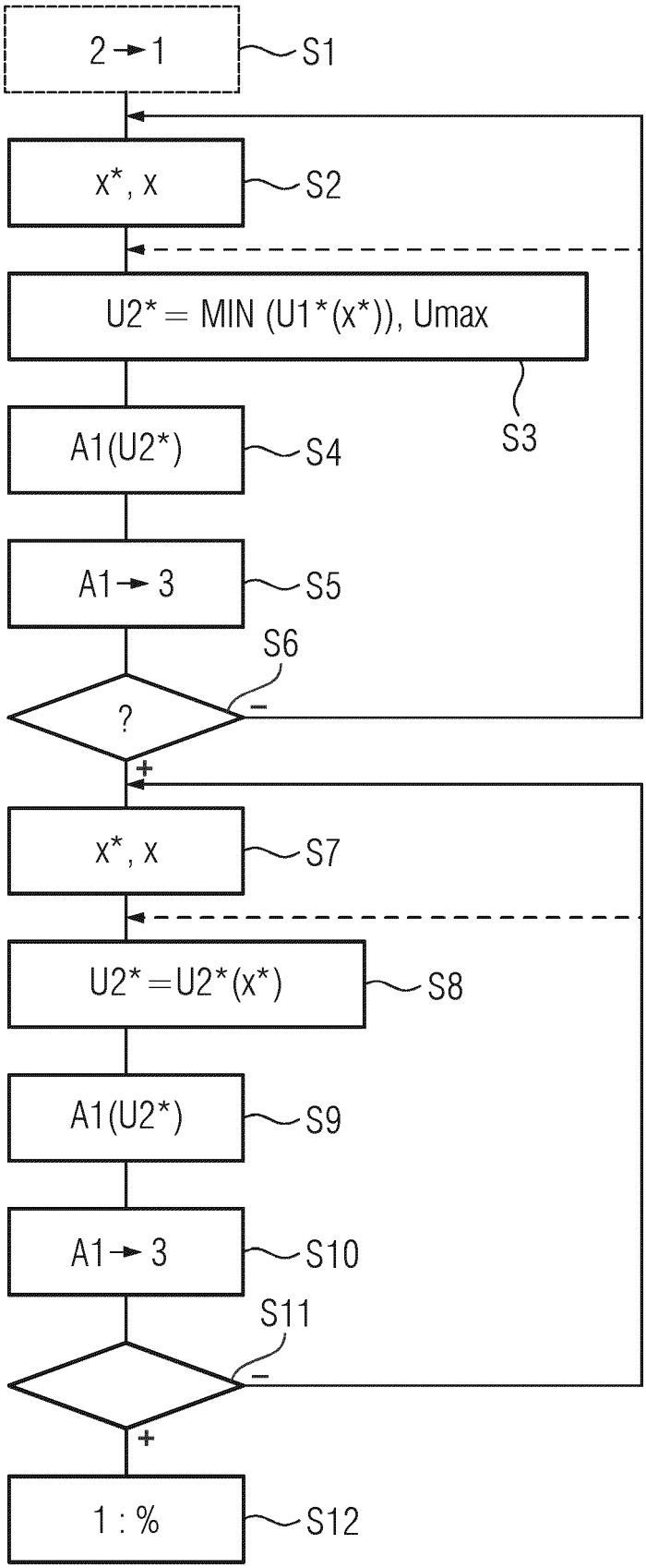

2 → 1
S1
x*, x
S2
U2* = MIN (U1*(x*)), Umax
S3
A1(U2*)
S4
A1 → 3
S5
S6
?
−
+
x*, x
S7
U2* = U2*(x*)
S8
A1(U2*)
S9
A1 → 3
S10
S11
−
+
1 : %
S12

FIG 4

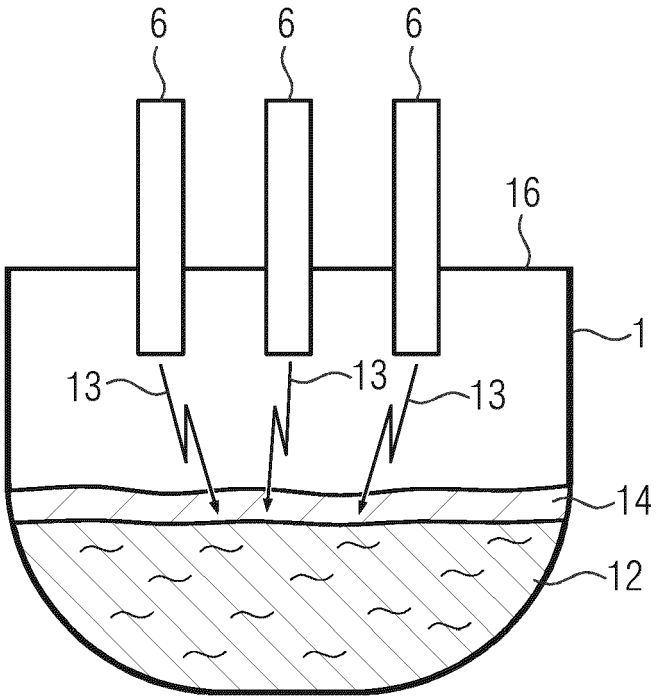


FIG 5

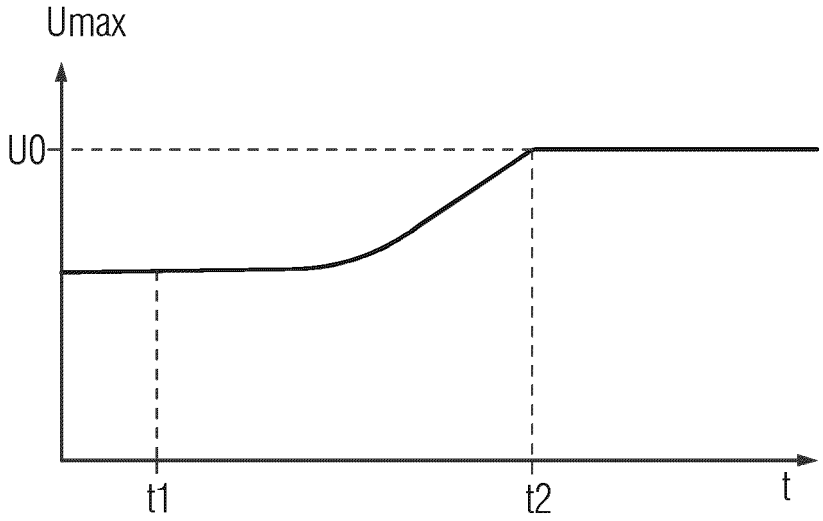


FIG 6

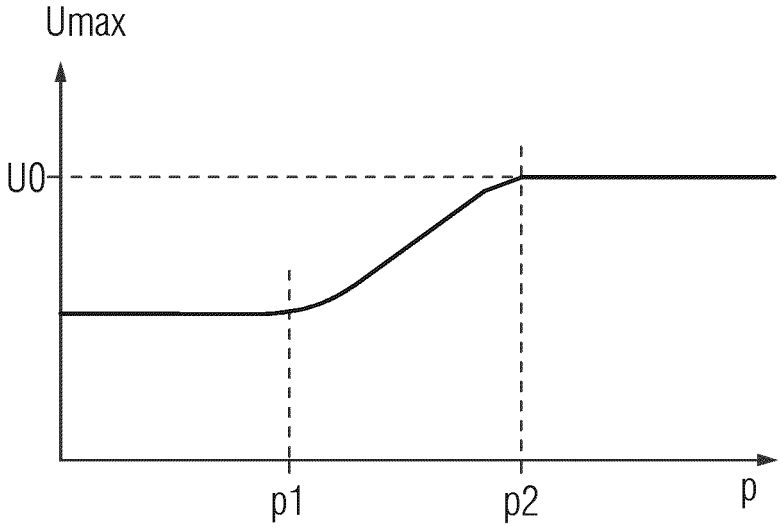
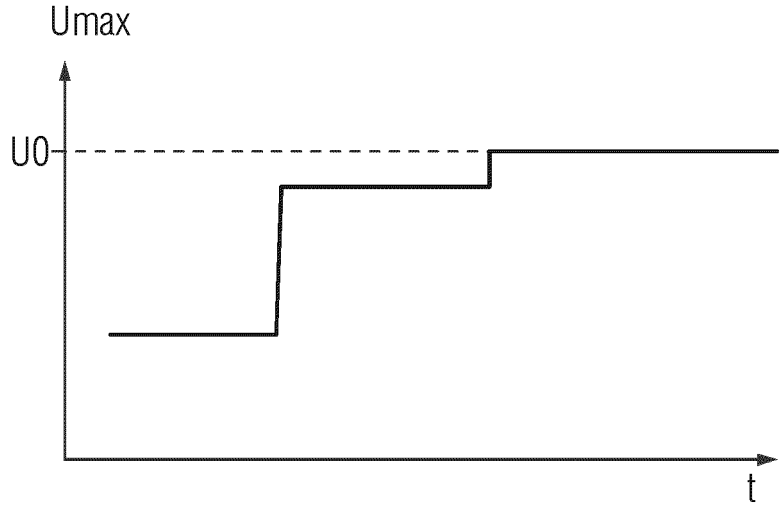


FIG 7



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2015176899 A1 **[0005] [0009] [0033]**
- EP 1026921 A1 **[0005] [0009] [0033]**
- EP 3124903 A1 **[0005] [0009] [0033]**