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

(11) EP 0 949 339 A1

# (12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
**13.10.1999 Patentblatt 1999/41**

(51) Int. Cl.[6]: **C21C 7/10**, C22B 9/04

(21) Anmeldenummer: **99105806.6**

(22) Anmeldetag: **23.03.1999**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE**
Benannte Erstreckungsstaaten:
**AL LT LV MK RO SI**

(30) Priorität: **06.04.1998 DE 19815298**

(71) Anmelder: **Thyssen Krupp Stahl AG**
**40211 Düsseldorf (DE)**

(72) Erfinder:
- **Zeimes, Manfred**
  **40723 Hilden (DE)**
- **Münscher, Franz Dr.-Ing.**
  **47506 Neukirchen-Vluyn (DE)**
- **Knopp, Ingo**
  **46519 Alpen (DE)**
- **Piechert, Ralf**
  **47166 Duisburg (DE)**

(74) Vertreter: **Simons, Johannes**
**Cohausz & Florack**
**Patentanwälte**
**Kanzlerstrasse 8 A**
**40472 Düsseldorf (DE)**

## (54) RH-Vakuumverfahren mit Massenumlaufratesteuerung zur Reduzierung des Kohlenstoffgehalts einer Stahlschmelze

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Behandeln einer Stahlschmelze (S), bei dem die Schmelze (S) mit einem Unterdruck ($P_{VK}$) beaufschlagt wird, der in einer Vakuumkammer (3) erzeugt wird, an die ein Steig- (5) und ein Fallrohr (6) angeschlossen sind, welche in eine die Stahlschmelze (S) aufnehmende Pfanne (2) tauchen, wobei in die bei Unterdruckbeaufschlagung in dem Steigrohr (5) anwesende Stahlschmelze (S) ein Fördergas eingeblasen wird, um einen Umlauf ($\dot{M}_{St}$) der Stahlschmelze (S) von der Pfanne (2) über das Steigrohr (5) in die Vakuumkammer (3) und von dort über das Fallrohr (6) zurück in die Pfanne (2) zu erzwingen, und wobei während des Aufstiegs der Stahlschmelze (S) im Steigrohr (5) ein Reaktionsgas entsteht, welches in der Vakuumkammer (3) ebenso wie das Fördergas im wesentlichen vollständig aus der Stahlschmelze (2) ausgast.

Erfindungsgemäß wird der umlaufende Massenstrom der Stahlschmelze auf Grundlage der Differenzkraft im Steigrohr und Fallrohr ermittelt und daraus die Abnahme des Sauerstoffs- und Kohlenstoffgehalts während der Behandlungsdauer bestimmt unter Verwendung eines Rechenmodells für die Entkohlungskinetik.

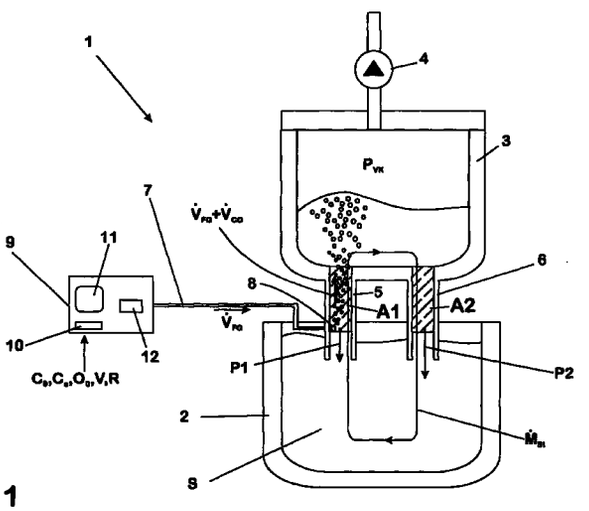


**Fig. 1**

EP 0 949 339 A1

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren Zum Behandeln einer Stahlschmelze, bei dem die Schmelze mit einem Unterdruck beaufschlagt wird, der in einer Vakuumkammer erzeugt wird, an die ein Steig- und ein Fallrohr angeschlossen sind, welche in eine die Stahlschmelze aufnehmende Pfanne tauchen, wobei in die bei Unterdruckbeaufschlagung in dem Steigrohr anwesende Stahlschmelze ein Fördergas eingeblasen wird, um einen Umlauf der Stahlschmelze von der Pfanne über das Steigrohr in die Vakuumkammer und von dort über das Fallrohr zurück in die Pfanne zu erzwingen, und wobei während des Aufstiegs der Stahlschmelze im Steigrohr Reaktionsgas entsteht, welches in der Vakuumkammer ebenso wie das Fördergas im wesentlichen vollständig aus der Stahlschmelze ausgast. Ein derartiges zur Erzeugung von Stählen mit geringem Kohlenstoffgehalt eingesetztes Verfahren ist beispielsweise in "Einsatz des RH-Verfahrens für die Erzeugung von Ultra-Low-Carbon-Stählen bei der Thyssen Stahl AG", Thyssen Technische Berichte, Heft 1/90, beschrieben worden.

**[0002]** Zur Reduzierung des Kohlenstoffgehalts der Stahlschmelze wird nach dem bekannten Verfahren der Druck in der Vakuumkammer unterhalb des Kohlenmonoxid-Partialdruckes abgesenkt. Mit Beginn der Unterdruckbeaufschlagung beginnt die Stahlschmelze sowohl in das Steig- als auch in das Fallrohr zu steigen. Durch das in das Steigrohr eingeblasene Fördergas wird dann ein Umlauf der Stahlschmelze von der Pfanne zur Vakuumkammer und zurück erzwungen. Die Auftriebskraft des Fördergases dient dabei als Antrieb für die Stahlschmelze, welche aufgrund von Reibung mit den Gasblasen und der ihr eigenen Viskosität von dem Färdergas vorangetrieben wird. Gleichzeitig unterstützen die Gasblasen des Fördergases die Entstehung von Kohlenmonoxid im Steigrohr, indem sie als "Keime" für die Bildung von CO-Gas, dem Reaktionsgas, wirken. Das derart im Steigrohr entstehende Kohlenmonoxid trägt zusätzlich zum Antrieb der Schmelze bei. Dabei ist die Bildungsrate des entstehenden CO-Gases abhängig von dem jeweils aktuellen Kohlenstoff- bzw. Sauerstoffgehalt der Schmelze. Dies führt dazu, daß der Kohlenmonoxidstrom im Laufe der Behandlung der Stahlschmelze abnimmt, bis zuletzt kein derartiges Reaktionsgas mehr aus der Schmelze ausgast.

**[0003]** Das im Steigrohr entstehende Reaktionsgas tritt in der Vakuumkammer gemeinsam mit dem Fördergas im wesentlichen vollständig aus der Stahlschmelze aus. Durch das Fallrohr strömt daher eine von Gasanteilen im wesentlichen vollständig befreite Stahlschmelze zur Pfanne zurück.

**[0004]** Ein Problem bei der Durchführung des Verfahrens der voranstehend erläuterten Art besteht unter anderem darin, daß zu keinem Zeitpunkt der Behandlungsdauer verläßliche Daten über den jeweils aktuellen Kohlenstoffgehalt der Stahlschmelze vorliegen. Dies erschwert die Festlegung des Endes der Behandlung.

**[0005]** Um eine Aussage über den Verlauf der Entkohlung der Stahlschmelze machen zu können, wird in der Praxis der CO- und $CO_2$-Gehalt des aus dem Vakuumbehälter während der Behandlung abgezogenen Gasstromes erfaßt. Sobald kein Kohlenmonoxid mehr in dem Gasstrom nachweisbar ist, wird davon ausgegangen, daß keine Entkohlung der Stahlschmelze mehr stattfindet, und die Behandlung beendet. Das Problem bei dieser Vorgehensweise besteht darin, daß die Erfassung des CO- und $CO_2$-Gehaltes in dem abgezogenen Gasstrom mit erheblichen Fehlern belastet ist. Diese werden unter anderem durch Anteile des Gasstroms verursacht, welche beispielsweise durch ein unbeabsichtigtes, in der Praxis aber unvermeidbares Einschleppen von Gasen aus der äußeren Umgebung des Vakuumbehälters verursacht wenden.

**[0006]** Zur Beseitigung der voranstehend erläuterten Probleme ist versucht worden, die Vorgänge während der Entkohlungsbehandlung einer Stahlschmelze anhand theoretischer Überlegungen nachzuvollziehen und, ausgehend von diesen Überlegungen, Steuerungen zur Verfügung zu stellen, welche eine exaktere Führung und Überwachung der Entkohlungsbehandlung ermöglichen sollen. Grundlage dieser Versuche waren jeweils empirisch ermittelte Rechenmodelle, anhand derer das Verhalten der Schmelze während ihres Umlaufs beschrieben wird. In der Fachliteratur sind formelmäßige Zusammenhänge dieser Art beispielsweise in "Dynamisches Modell für den Vakuum-Umlauf-Prozeß zur Entkohlung von Stahlschmelzen", Stahl und Eisen 115 (1995) Nr. 8, oder "Prozeßmodell zur Vakuumbehandlung von Stahl", Stahl und Eisen 115 (1995) Nr. 7 beschrieben worden.

**[0007]** Ein weiterer Versuch der mathematischen Beschreibung des Schmelzenumlaufs während einer Entkohlungsbehandlung ist in dem Aufsatz "Circulation rate of liquid steel in RH degassers" von F. Ahrenhold und W. Pluschkell, steel research 69 (1998) No.2, beschrieben worden. Das in dieser Veröffentlichung beschriebene Berechnungsmodell geht von der Annahme aus, daß durch das Einblasen des Fördergases ein zusätzlicher Druck erzeugt wird, welcher die Strömung der Schmelze bewirkt. Darüber hinaus wird erwähnt, daß die vorher stets vertretene Ansicht der Fachwelt vermutlich unzutreffend ist, nach der mit jeder Erhöhung des Fördergasstroms eine Verbesserung der Stahlumlaufrate einhergehe.

**[0008]** Der Vergleich der nach den bekannten Rechenmodellen ermittelten Steuergrößen für den Behandlungsprozeß mit den aus der Praxis gewonnen Erkenntnissen zeigt jedoch, daß sämtliche Rechenmodelle die tatsächlichen Vorgänge während der Behandlung der Stahlschmelze nur innerhalb bestimmter Grenzen richtig beschreiben. Insbesondere zeigt sich, daß es auch mit den bekannten Rechenmodellen nicht möglich ist, die tatsächliche Stahlumlaufrate und den Zeitpunkt des Endes der Entkohlungsbehandlung rich-

tig zu ermitteln. Darüber hinaus ermöglicht beispielsweise auch die in steel research veröffentlichte mathematische Beschreibung der Umlaufrate keine optimale Steuerung des Fördergasstroms bei der Behandlung einer Stahlschmelze. Daher sind die bekannten Rechenmodelle nur eingeschränkt zur automatischen Steuerung und Überwachung der Entkohlungsbehandlung geeignet. Aus diesem Grund ist man in der Praxis nach wie vor auf die ungenaue, fehlerbehaftete Abgasmessung zur Bestimmung des Endes der Entkohlungsbehandlung angewiesen.

**[0009]** Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, mit dem bei Kenntnis des jeweiligen Entkohlungszustandes der Stahlschmelze eine genauere Steuerung der Behandlung einer Stahlschmelze möglich ist.

**[0010]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß ausgehend von den zu Beginn der Behandlung vorhandenen Sauerstoff- und Kohlenstoffgehalten der Stahlschmelze die folgenden Schritte durchlaufen werden:

a) Ermittlung einer den Umlauf der Stahlschmelze bewirkenden Differenzkraft auf Grundlage der wegen des eingeblasenen Fördergasstroms und des sich bildenden Reaktionsgasstroms unterschiedlichen Drücke der im Steigrohr und der im Fallrohr anwesenden Stahlschmelze,

b) Ermittlung des umlaufenden Massenstroms der Stahlschmelze auf Grundlage der Differenzkraft,

c) Ermittlung der Abnahme des Sauerstoff- und Kohlenstoffgehalts der Stahlschmelze wahrend der Behandlungsdauer unter Verwendung eines Rechenmodells für die Entkohlungskinetik,

d) Wiederholen der Schrittfolge a) - c) für den Fall, daß der ermittelte Kohlenstoffgehalt größer als ein Grenzwert ist,

e) Beenden der Behandlung für den Fall, daß der ermittelte Kohlenstoffgehalt nicht größer als der Grenzwert ist.

**[0011]** Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, daß die Dichte der Schmelze im Steigrohr wegen des in sie eingeblasenen Fördergases und des in ihr entstehenden Reaktionsgases geringer ist als die Dichte der Schmelze, welche im Fallrohr von Gasanteilen befreit zurückströmt. Ausgehend von dieser Überlegung wird gemäß der Erfindung die Kraft- bzw. Druckdifferenz ermittelt, welche den Umlauf der Stahlschmelze bewirkt. Die Erfindung stellt somit ein auf eine Analyse der tatsächlichen Gegebenheiten gegründetes, vom jeweils eingeblasenen Fördergasstrom und vom jeweils entstehenden Reaktionsgasstrom abhängiges Rechenmodell zur Verfügung. Dieses Rechenmodell ermöglicht es, die "Antriebskraft", durch welche die Schmelze wahrend ihres Umlaufs vorangetrieben wird, im hohen Maße wirklichkeitsgetreu zu ermitteln.

**[0012]** Ausgehend von der Ermittlung der Differenzkraft wird eine ebenso exakte, wirklichkeitsgetreue Ermittlung des pro Zeiteinheit umlaufenden Massenstroms der Stahlschmelze durchgeführt. Anhand dieses Massenstroms wird dann die sich jeweils einstellende Verminderung des Kohlenstoffgehalts der Schmelze anhand eines an sich bekannten Rechenmodells für die Entkohlungskinetik bestimmt. Ein solches, mit den tatsächlichen Gegebenheiten gut übereinstimmendes Rechenmodell für die Entkohlungskinetik ist beispielsweise in dem eingangs schon erwähnten Aufsatz "Einsatz des RH-Verfahrens für die Erzeugung von Ultra-Low-Carbon-Stählen bei der Thyssen Stahl AG", Thyssen Technische Berichte, Heft 1/90, im einzelnen beschrieben worden, auf den insoweit ebenfalls bezug genommen wird.

**[0013]** Erfindungsgemäß wird ausgehend von der exakten Kenntnis des Entkohlungsverlaufs der Zeitpunkt bestimmt, an dem die Behandlung der Stahlschmelze beendet wird. Zu diesem Zweck wird der mit jedem Durchlauf der Schrittfolge a) - c) neu ermittelte Kohlenstoffgehalt mit einem Grenzwert verglichen. Dessen Erreichen stellt ein eindeutiges Kriterium für die Entscheidung dar, die Behandlung zu beenden.

**[0014]** Aufgrund der bei erfindungsgemäßer Vorgehensweise genauen Kenntnis über die Vorgänge während der Entkohlungsbehandlung und wegen der Eindeutigkeit des Entscheidungskriteriums für das Beenden des Behandlungsprozesses eignet sich das erfindungsgemäße Verfahren in besonderer Weise zur automatisierten Steuerung der Entkohlungsbehandlung einer Stahlschmelze.

**[0015]** Gemaß einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird der Volumenstrom des in das Steigrohr eingeblasenen Fördergases gleich demjenigen Fördergasvolumenstrom eingestellt, bei dem der während des Durchlaufs der Schrittfolge a) - c) jeweils ermittelte Massenstrom der umlaufenden Stahlschmelze ein Maximum aufweist. Überraschenderweise hat die erfindungsgemäße analytische Ermittlung des Massenstroms der Stahlschmelze ausgehend von der Differenzkraft und in Abhängigkeit vom eingeblasenen Fördergasstrom und vom sich im Laufe der Behandlung verändernden Reaktionsgasstromes ergeben, daß ein bezogen auf den jeweiligen Bearbeitungsfortschritt optimaler Fördergasstrom existiert, bei dessen Überschreiten sich eine Verschlechterung des Behandlungsergebnisses einstellt. Indem der eingeblasene Fördergasstrom stets in Übereinstimmung mit dem ermittelten optimalen Gasvolumenstrom gebracht wird, wird ein ebenso optimaler Massenstrom der Stahlschmelze erreicht. Vergleiche mit praktischen Erfahrungen haben gezeigt, daß die gemäß der Erfindung vorgegebenen Fördergasvolumenströme genau mit den aus der praktischen Erfahrung bekannten Fördergas-

strömen übereinstimmen, bei welchen sich in der Praxis optimale Behandlungsergebnisse einstellen.

**[0016]** Ein weiterer Vorzug der voranstehend erläuterten erfindungsgemäßen Einstellung des Fördergasstroms besteht darin, daß stets nur der für ein optimales Arbeitsergebnis benötigte Volumenstrom eingeblasen wird. Dies führt zum einen zu einer deutlichen Einsparung an Fördergas gegenüber der bekannten Vorgehensweise. Zum anderen kann dadurch, daß stets nur die tatsächlich benötigte Fördergasmenge in das Steigrohr eintritt, ein durch eine übermäßige Fördergasströmung verursachter vorzeitiger Verschleiß der Steigrohrauskleidung vermieden werden.

**[0017]** Die Genauigkeit der Ermittlung der Differenzkraft und/oder der Ermittlung des Massenstroms der umlaufenden Stahlschmelze kann dadurch zusätzlich gesteigert werden, daß dabei Änderungen des Unterdrucks berücksichtigt werden, die sich während der Behandlungsdauer einstellen. Bei dieser Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden Schwankungen des Unterdrucks bei der Berechnung der Differenzkraft bzw. des Massenstroms berücksichtigt. Solche Abweichungen vom vorgegebenen Sollwert des Unterdrucks treten beispielsweise zu Beginn der Behandlung auf, wenn die Vakuumkammer im noch nicht ausreichenden Maße evakuiert ist.

**[0018]** Bei einem in der Praxis zur Beschreibung des Entkohlungsvorgangs bewährten Rechenmodell für die Entkohlungskinetik, welches bevorzugt in Verbindung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzt wird, wird das Gewicht oder das Volumen der Schmelze, der im vorhergehenden Durchlauf der Schrittfolge a) - c) ermittelte Kohlenstoffgehalt, der Massenstrom der umlaufenden Schmelze und die Behandlungsdauer berücksichtigt.

**[0019]** Eine weitere, die Wirklichkeitstreue des erfindungsgemäßen Verfahrens weiter verbessernde Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß bei der Ermittlung der Differenzkraft die durch den während der Behandlungsdauer eintretenden Verschleiß bedingten Änderungen der Geometrie der von dem Massenstrom der Stahlschmelze wahrend eines Umlaufs durchströmten Bauteile, wie Steigrohr und Fallrohr, berücksichtigt werden. Durch diese Berücksichtigung des Verschleißes der Feuerfest-Auskleidung der von der Schmelze durchströmten Bauteile wird sichergestellt, daß die wesentlichen, sich durch Verschleiß verändernden Einflußgrößen bei der analytischen Ermittlung der Differenzkraft, wie beispielsweise der Durchmesser des Steig- und Fallrohrs, stets an den jeweiligen tatsächlichen Verschleißzustand angepaßt werden. In der Praxis hat es sich als sinnvoll erwiesen, die Anpassung an den jeweiligen Verschleißzustand zwischen einzelnen Behandlungszyklen vorzunehmen, innerhalb derer eine Schmelzencharge die Behandlung jeweils vollständig durchläuft.

**[0020]** Die Differenzkraft kann dadurch ermittelt werden, daß in einer Horizontalebene die Druckkraft, welche von der im Steigrohr stehenden Gemischsäule aus Stahlschmelze und Fördergas bezogen auf die Querschnittsfläche des Steigrohrs ausgeübt wird, mit der Druckkraft verglichen wird, der von der im Fallrohr stehenden Stahlschmelzensäule bezogen auf die Querschnittsfläche des Fallrohres ausgeübt wird. Diese Betrachtung kann unter Berücksichtigung der jeweiligen hydrostatischen Drücke durchgeführt werden. Ein genaueres Ergebnis ergibt sich jedoch dann, wenn zusätzlich zu dem hydrostatischen Druckdnteil auch der strömungsbedingte dynamische Druckanteil berücksichtigt wird.

**[0021]** Vorzugsweise wird bei der Ermittlung der Drücke die erste Bilanzgrenze im Bereich des Übergangs von Fall- und Steigrohr in den Vakuumbehälter angesetzt, während die zweite Bilanzgrenze für Steig- und Fallrohr auf Höhe der Eintrittsdüsen des Steigrohres angeordnet wird.

**[0022]** Ausgehend von der Vergleichsbetrachtung kann problemlos eine Kräfte- bzw. Druckbilanz zur Ermittlung des umlaufenden Massenstroms der Stahlschmelze durchgeführt werden. In dieser Bilanz werden, wie erwähnt, zweckmäßigerweise auch die strömungsmechanischen Verlustkräfte berücksichtigt, welche der ermittelten Differenzkraft bzw. dem ermittelten Differenzdruck entgegenstehen. Diese Verluste werden beispielsweise durch Reibungskrafte, Dissipation und Umlenkverluste der Schmelzenströmung verursacht.

**[0023]** Nachfolgend wird die Erfindung anhand einer ein Ausführungsbeispiel darstellenden Zeichnung näher erläutert. Es zeigen schematisch:

Fig. 1 eine Vorrichtung zur Entkohlungsbehandlung einer Stahlschmelze im Schnitt;

Fig. 2 ein den Ablauf der Steuerung während der Entkohlungsbehandlung wiedergebendes Flußdiagramm;

Fig. 3 ein Diagramm, in welchem der Massenstrom der Stahlschmelze über dem Fördergasstrom für eine unverschlissene und eine verschlissene Vorrichtung gemäß Fig. 1 aufgetragen ist.

**[0024]** Die Vorrichtung 1 zum Entkohlen einer Stahlschmelze S weist eine Pfanne 2 und eine Vakuumkammer 3 auf. Zum Evakuieren der Vakuumkammer 3 sind Pumpen 4 vorgesehen, die innerhalb der Vakuumkammer 3 einen Unterdruck $P_{VK}$ erzeugen. Der Unterdruck $P_{VK}$ ist während der Entkohlungsbehandlung nicht konstant, da zu Beginn der Behandlung in der Vakuumkammer 3 Umgebungsdruck herrscht und die Pumpen 4 ihn in Abhängigkeit von ihrer Leistung auf den Unterdruck $P_{VK}$ absenken. Hinzu kommen unvermeidbare Undichtigkeiten des Vakuumbehälters 3, die ebenfalls zu Schwankungen des Unterdrucks $P_{VK}$ beitragen.

**[0025]** Im Boden der Vakuumkammer 3 münden ein Steigrohr 5 und ein Fallrohr 6, welche mit ihrem freien Ende in die Pfanne 2 tauchen. Bei Beaufschlagung der Schmelze S mit dem Unterdruck $P_{VK}$ steigt die Schmelze S zunächst gleichmäßig über das Steigrohr 5 und das Fallrohr 6 in die Vakuumkammer 3, wobei sich eine Höhe des Schmelzenspiegels in der Vakuumkammer 3 entsprechend dem vorhandenen Unterdruck $P_{VK}$ einstellt.

**[0026]** Über eine im Bereich des freien Endes des Steigrohres 5 mündende Fördergasleitung 7 kann ein Fördergasvolumenstrom $\dot{V}_{FG}$ über Düsen 8 in das Steigrohr 5 eingeblasen werden. Als Fördergas wird beispielsweise Argon eingesetzt. Sobald der Fördergasstrom $\dot{V}_{FG}$ in die in dem Steigrohr 5 bis dahin stehende Schmelze eingeblasen wird, beginnt ein Massenstrom $\dot{M}_{St}$ der Stahlschmelze von der Pfanne 2 über das Steigrohr 5 in die Vakuumkammer 3 und von dort über das Fallrohr 6 zurück in die Pfanne 2 umzulaufen. Dabei entsteht im Steigrohr 5 in Abhängigkeit von dem jeweiligen Kohlenstoff- C und dem Sauerstoffgehalt O der Schmelze S und von dem Unterdruck in der Vakuumkammer 3 ein Kohlenmonoxidstrom $\dot{V}_{CO}$. Dieser durch chemische Reaktion zusätzlich zum Fördergasstrom entstehende Gasstrom bewirkt eine Erhöhung der für den Stahlumlauf verantwortlichen Triebkraft.

**[0027]** Die Größe des Fördergasvolumenstroms $\dot{V}_{FG}$ wird von einer Steuer- und Kontrolleinrichtung 9 eingestellt, welche u.a. eine Tastatur 10 oder andere Eingabegeräte, die zur Eingabe von Daten $C_0,C_e,O_0,V,R$ geeignet sind, einen Bildschirm 11 oder andere zur Ausgabe von Prozeßvariablen C,O,t geeignete Geräte und eine Recheneinheit 12 umfaßt. Die Steuer- und Kontrolleinheit 9 steuert und kontrolliert ausgehend von den Anfangswerten des Kohlenstoffgehalts $C_0$ der Schmelze vor der Entkohlungsbehandlung, dem gewünschten Kohlenstoffgehalt $C_e$ nach der Entkohlungsbehandlung, dem Sauerstoffanfangsgehalt $O_0$ vor der Entkohlungsbehandlung, dem Volumen V der Schmelze S und den Geometrieparametern R, welche die Reibungsverluste einer Umlaufströmung durch das Steigrohr 5, die Vakuumkammer 3, das Fallrohr 6 und die Pfanne 2 berücksichtigen, den Verlauf der Entkohlungsbehandlung der Schmelze S. Während der Entkohlungsbehandlung gibt sie den jeweils aktuellen Kohlenstoffgehalt C und den jeweils aktuellen Sauerstoffgehalt O der Schmelze S sowie die Behandlungsdauer t über den Bildschirm 11 aus.

**[0028]** Das der von der Steuer- und Kontrolleinrichtung 9 durchgeführten Steuerung und Kontrolle zugrunde liegende Rechenmodell läßt sich wie folgt beschreiben:

**[0029]** Gemäß der Annahme, daß die Dichte der oberhalb der Düsen 8 im Steigrohr 5 stehenden Gemischsäule A1 aus Schmelze und Fördergas in Abhängigkeit von der Größe des in sie eingedüsten Volumenstroms $\dot{V}_{FG}$ an Fördergas und von dem in ihr entstehenden Kohlenmonoxidstrom $\dot{V}_{CO}$ geringer ist als die Dichte der im Fallrohr 6 stehenden Schmelzensäule A2 gleicher Höhe, wird eine Druckdifferenz $\Delta P$ der von den Schmelzensäulen A1,A2 bezogen auf den jeweiligen Querschnitt des Steigrohrs 5 bzw. des Fallrohres 6 ausgeübten Druckkräfte P1,P2 ermittelt. Dabei wird berücksichtigt, daß die Querschnitte des Steigrohrs 5 und des Fallrohrs 6 aufgrund von zunehmendem Verschleiß während der Behandlung größer werden. Die Anpassung des Berechnungsmodels an den jeweiligen Verschleißzustand erfolgt in regelmäßigen zeitlichen Abständen, deren Länge einem oder mehreren Behandlungszyklen entspricht.

**[0030]** Anschließend wird zur Ermittlung des Massenstroms $\dot{M}_{St}$ eine Kräftebilanz aufgestellt, bei welcher der Druckdifferenz $\Delta P$ die Summe der Druckverluste im Verlauf des Umlaufs des Massenstroms $\dot{M}_{St}$ gegenübergestellt werden. Ausgehend von dieser Kräftebilanz wird dann ein Fördergasvolumenstrom $\dot{V}_{FGopt}$ ermittelt, für den sich ein Maximum des Massenstroms $\dot{M}_{stmax}$ der Stahlschmelze S ergibt.

**[0031]** Wie aus Fig. 3 erkennbar, ergibt sich für eine unverschlissene Vorrichtung 1 ein anderer Verlauf L1 des auf den Fördergasstrom $\dot{V}_{FG}$ bezogenen Massenstroms $\dot{M}_{St}$ als für eine verschlissene Vorrichtung 1 (Verlauf L2). Dementsprechend unterscheidet sich der optimale Födergasvolumenstrom $\dot{V}_{FGopt}$ für die unverschlissene Vorrichtung 1 auch von dem optimalen Fördergasvolumenstrom $\dot{V}_{FGopt}$ für eine verschlissene Vorrichtung 1.

**[0032]** Nach der Ermittlung des jeweils optimalen Massenstroms $\dot{M}_{Stmax}$ der Stahlschmelze S wird anhand eines bekannten Rechenmodells für die Entkohlungskinetik die seit Beginn der Behandlung eingetretene Abnahme des Kohlenstoff- C und Sauerstoffgehalts O der Schmelze S ermittelt:

$$C(t) = C_0 \exp(-K^*t)$$

mit

$C_0$ = Kohlenstoffgehalt zu Beginn der Behandlung,
t = Behandlungsdauer,
K = Reaktionskonstante.

**[0033]** Auf Grundlage des voranstehend erläuterten mathematischen Modells steuert die Steuer- und Kontrolleinrichtung 9 die Entkohlungsbehandlung, wie in Fig. 2 dargestellt. Dabei werden im Schritt S0 zunächst die Anfangsdaten $C_0,C_e,O_0,V,R$ von einem Bediener in die Steuer- und Kontrolleinrichtung 9 eingegeben und die Prozeßvariablen Kohlenstoffgehalt C und Sauerstoffgehalt O gleich den entsprechenden Anfangsbedingungen $C_0$ bzw. $O_0$ sowie die Startzeit t gesetzt (Schritt S1). Im folgenden Schritt S2 wird der aktuelle Druck $P_{VK}$ in der Vakuumkammer 3 abgefragt.

**[0034]** Unter Berücksichtigung des ermittelten bzw. gesetzten aktuellen Kohlenstoffgehalts C und des Sau-

erstoffgehalts O der Schmelze S, des aktuellen Drucks $p_{VK}$ in der Vakuumkammer 3 und der Geometrieparameter R wird im Schritt S3 anschließend, wie oben erläutert, der Fördergasstrom $\dot{V}_{FGopt}$ ermittelt, bei dem sich ein maximaler Massenstrom $\dot{M}_{Stmax}$ einstellt. Die Steuer- und Kontrolleinrichtung 9 stellt daraufhin den in das Steigrohr 5 eingeblasenen Fördergasvolumenstrom $\dot{V}_{FG}$ gleich dem ermittelten optimalen Fördergasvolumenstrom $\dot{V}_{FGopt}$ ein (Schritt S4).

**[0035]** Danach wird im Schritt S5 nach dem oben erläuterten Rechenmodell für die Entkohlungskinetik die den aktuellen Kohlenstoffgehalt C darstellende Prozeßvariable aktualisiert. Entsprechend der Abnahme des Kohlenstoffgehalts C wird dabei auch die den Sauerstoffgehalt O der Schmelze S darstellende Prozeßvariable angepaßt.

**[0036]** Schließlich wird im Schritt S6 durch die Steuer- und Kontrolleinrichtung 9 überprüft, ob der ermittelte Kohlenstoffgehalt C über dem gewünschten Kohlenstoffgehalt $C_6$ liegt. Ist dies der Fall, so wird die Entkohlungsbehandlung fortgesetzt. Dabei springt die Steuer- und Kontrolleinrichtung zum Schritt S2 zurück, um erneut die Schritte S2-S6 des Steuer- und Kontrollvorgangs zu durchlaufen.

**[0037]** Hat dagegen der Kohlenstoffgehalt C den gewünschten Kohlenstoffgehalt $C_e$ erreicht, so wird die Entkohlungsbehandlung beendet (Schritt S7).

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Behandeln einer Stahlschmelze (S), bei dem die Schmelze (S) mit einem Unterdruck ($P_{VK}$) beaufschlagt wird, der in einer Vakuumkammer (3) erzeugt wird, an die ein Steig- (5) und ein Fallrohr (6) angeschlossen sind, welche in eine die Stahlschmelze (S) aufnehmende Pfanne (2) tauchen, wobei in die bei Unterdruckbeaufschlagung in dem Steigrohr (5) anwesende Stahlschmelze (S) ein Fördergas eingeblasen wird, um einen Umlauf ($\dot{M}_{St}$) der Stahlschmelze (S) von der Pfanne (2) über das Steigrohr (5) in die Vakuumkammer (3) und von dort über das Fallrohr (6) zurück in die Pfanne (2) zu erzwingen, und wobei während des Aufstiegs der Stahlschmelze (S) im Steigrohr (5) Reaktionsgas entsteht, welches in der Vakuumkammer (3) ebenso wie das Fördergas im wesentlichen vollständig aus der Stahlschmelze (2) ausgast, **dadurch gekennzeichnet, daß** ausgehend von den zu Beginn der Behandlung vorhandenen Sauerstoff- (O) und Kohlenstoffgehalten (C) der Stahlschmelze (S) die folgenden Schritte durchlaufen werden:

   a) Ermittlung einer den Umlauf ($\dot{M}_{St}$) der Stahlschmelze bewirkenden Differenzkraft auf Grundlage der wegen des eingeblasenen Fördergasstroms ($\dot{V}_{FG}$) und des sich bildenden Reaktionsgasstroms ($\dot{V}_{CO}$) unterschiedlichen Drücke der im Steigrohr (5) und der im Fallrohr (6) anwesenden Stahlschmelze (S),

   b) Ermittlung des umlaufenden Massenstroms ($\dot{M}_{St}$) der Stahlschmelze (S) auf Grundlage der Differenzkraft;

   c) Ermittlung der Abnahme des Sauerstoff- (O) und Kohlenstoffgehalts (C) der Stahlschmelze (S) während der Behandlungsdauer (t) unter Verwendung eines Rechenmodells für die Entkohlungskinetik,

   d) Wiederholen der Schrittfolge a) - c) für den Fall, daß der ermittelte Kohlenstoffgehalt (C) größer als ein Grenzwert ($C_e$) ist,

   e) Beenden der Behandlung für den Fall, daß der ermittelte Kohlenstoffgehalt (C) nicht größer als der Grenzwert ($C_e$) ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Volumenstrom ($\dot{V}_{FG}$) des in das Steigrohr (5) eingeblasenen Fördergases gleich demjenigen Fördergasvolumenstrom ($\dot{V}_{FGopt}$) eingestellt wird, bei dem der während des Durchlaufs der Schrittfolge a) - c) jeweils ermittelte Massenstrom ($\dot{M}_{St}$) der umlaufenden Stahlschmelze (S) ein Maximum ($\dot{M}_{Stmax}$) aufweist.

3. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei der Ermittlung der Differenzkraft und/oder bei der Ermittlung des Massenstroms der umlaufenden Stahlschmelze (S) Änderungen des Unterdrucks ($P_{VK}$) berücksichtigt werden, die sich während der Behandlungsdauer (t) einstellen.

4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** innerhalb des Rechenmodels für die Entkohlungskinetik das Gewicht oder Volumen (V) der Schmelze (S), der im vorhergehenden Durchlauf der Schrittfolge a) - c) ermittelte Kohlenstoffgehalt (C), der Massenstrom ($\dot{M}_{St}$) der umlaufenden Schmelze (S) und die Behandlungsdauer (t) berücksichtigt werden.

5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei der Ermittlung der Differenzkraft die durch den während der Behandlungsdauer (t) eintretenden Verschleiß bedingten Änderungen der Geometrie der von dem Massenstrom ($\dot{M}_{St}$) der Stahlschmelze (S) während eines Umlaufs durchströmten Bauteile, wie Steigrohr und Fallrohr, berücksichtigt werden.

6. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei der Ermitt-

lung der Differenzkraft die Druckkraft (P1), welche von der im Steigrohr (5) stehenden Gemischsäule (A1) aus Stahlschmelze und Fördergas bezogen auf die Querschnittsfläche des Steigrohrs (5) ausgeübt wird, mit der Druckkraft (P2) verglichen wird, die von der im Fallrohr (6) stehenden Stahlschmelzensäule (A2) in der gleichen Horizontalebene bezogen auf die Querschnittsfläche des Fallrohres (6) ausgeübt wird.

7. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, **daß** bei der Ermittlung des umlaufenden Massenstroms ($\dot{M}_{St}$) der Stahlschmelze (S) die strömungsmechanisch und strömungstechnisch bedingten Verluste berücksichtigt werden.

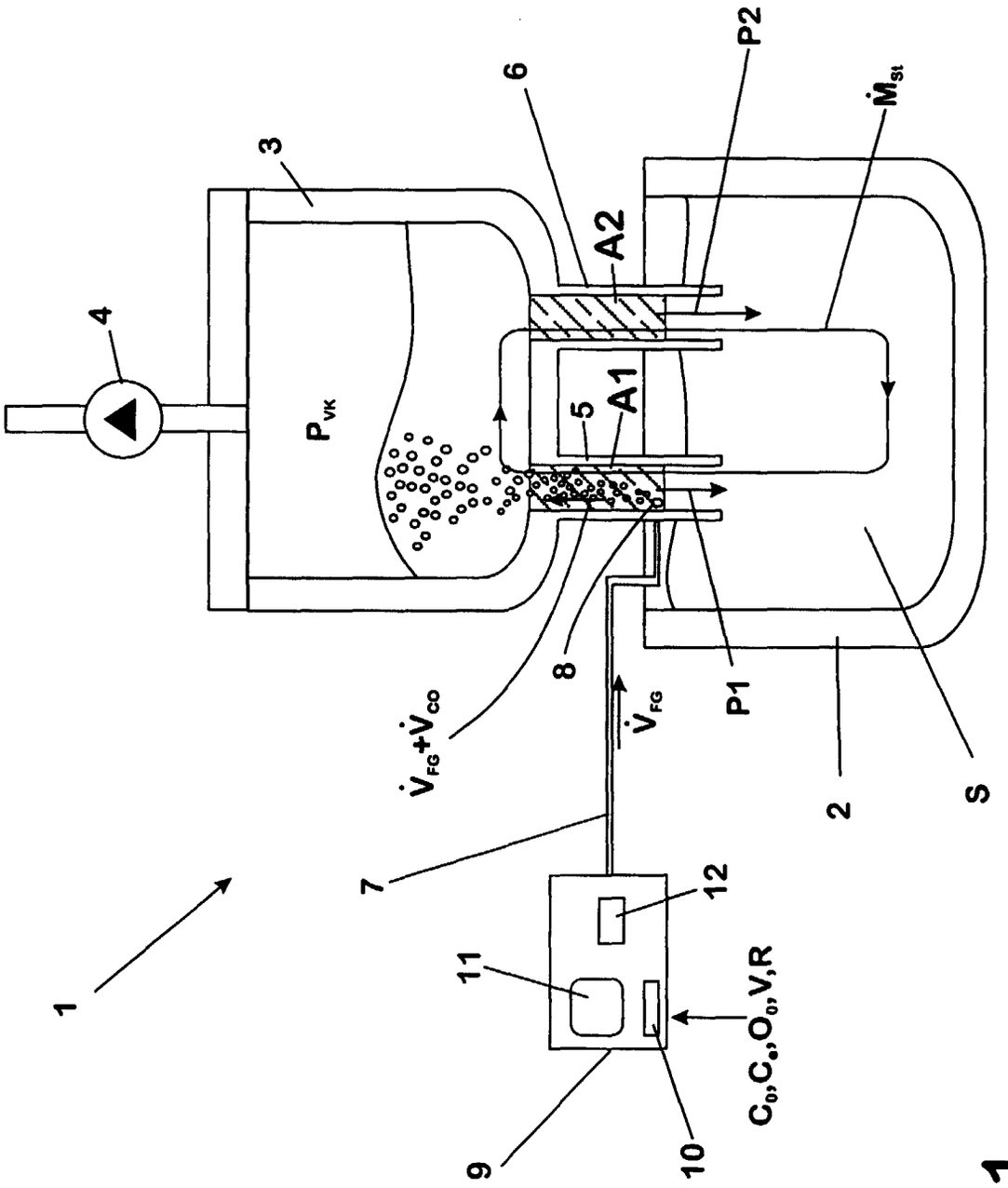
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
S
P1
P2
A1
A2
$P_{VK}$
$\dot{M}_{St}$
$\dot{V}_{FG}$
$\dot{V}_{FG}+\dot{V}_{CO}$
$C_0,C_s,O_0,V,R$

Fig. 1

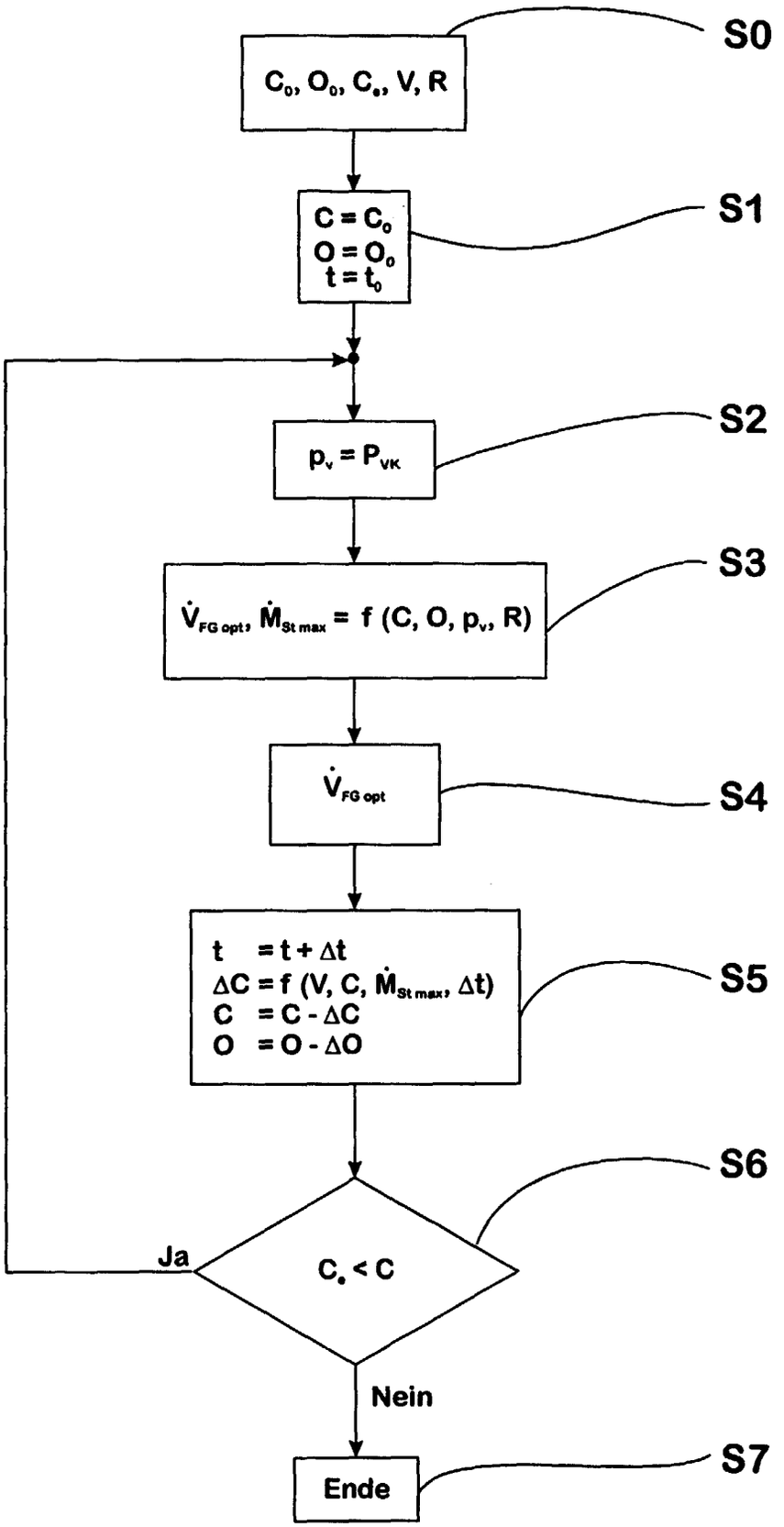
S0
$C_0$, $O_0$, $C_e$, V, R
S1
C = $C_0$
O = $O_0$
t = $t_0$
S2
$p_v = P_{VK}$
S3
$\dot{V}_{FG\,opt}$, $\dot{M}_{St\,max}$ = f (C, O, $p_v$, R)
S4
$\dot{V}_{FG\,opt}$
S5
t = t + Δt
ΔC = f (V, C, $\dot{M}_{St\,max}$, Δt)
C = C - ΔC
O = O - ΔO
S6
$C_e$ < C
Ja
Nein
S7
Ende

Fig. 2

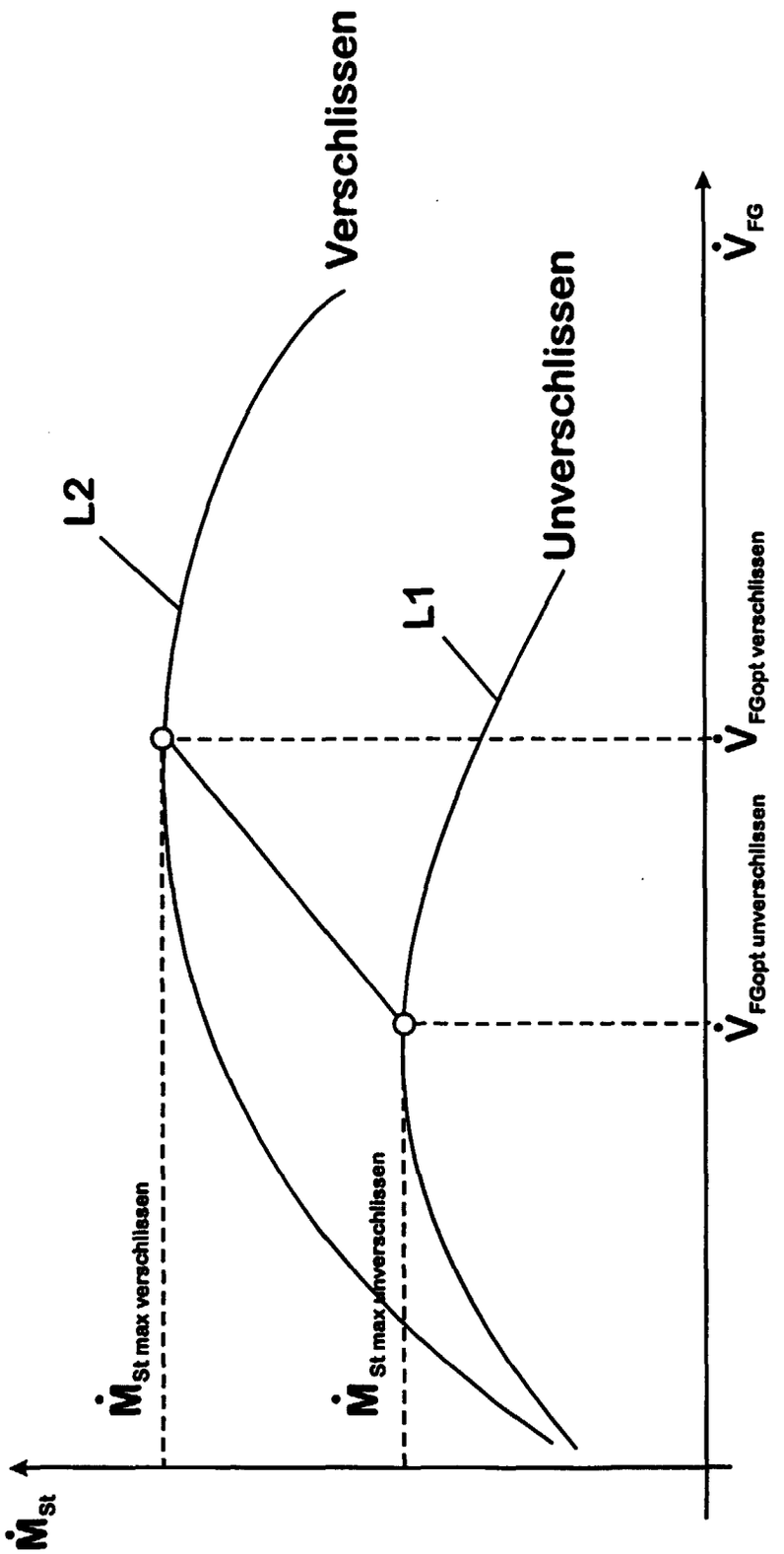
Verschlissen
Unverschlissen
L2
L1
$\dot{M}_{St}$
$\dot{M}_{St\ max\ verschlissen}$
$\dot{M}_{St\ max\ unverschlissen}$
$\dot{V}_{FG}$
$\dot{V}_{FGopt\ verschlissen}$
$\dot{V}_{FGopt\ unverschlissen}$

Fig. 3

Europäisches Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 99 10 5806

## EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

| Kategorie | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile | Betrifft Anspruch | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6) |
|---|---|---|---|
| A | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN<br>vol. 007, no. 083 (C-160),<br>6. April 1983 (1983-04-06)<br>& JP 58 011721 A (KAWASAKI SEITETSU KK),<br>22. Januar 1983 (1983-01-22)<br>* Zusammenfassung *<br>--- | 1 | C21C7/10<br>C22B9/04 |
| A | DATABASE WPI<br>Section Ch, Week 9116<br>Derwent Publications Ltd., London, GB;<br>Class M24, AN 91-115411<br>XP002108910<br>& SU 1 557 175 A (CHUMAKOV V P),<br>15. April 1990 (1990-04-15)<br>* Zusammenfassung *<br>--- | 1,3-7 | |
| A | GB 1 569 158 A (NIPPON STEEL CORP)<br>11. Juni 1980 (1980-06-11)<br>* Seite 3, Zeile 25 - Zeile 39; Ansprüche 1-6; Abbildungen 3-6 *<br>--- | 1 | |
| A | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN<br>vol. 018, no. 128 (C-1174),<br>2. März 1994 (1994-03-02)<br>& JP 05 311226 A (NIPPON STEEL CORP),<br>22. November 1993 (1993-11-22)<br>* Zusammenfassung *<br>--- | 1,3,6 | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)<br>C22B<br>C21C |
| A | SEWALD K E: "SUPERVISORY COMPUTER CONTROL FOR THE RH VACUUM DEGASSER"<br>IRON AND STEEL ENGINEER,<br>Bd. 68, Nr. 7, 1. Juli 1991 (1991-07-01),<br>Seiten 25-32, XP000237909<br>ISSN: 0021-1559<br>* Abbildungen 1-3 *<br>---<br>-/-- | 1 | |

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

| Recherchenort | Abschlußdatum der Recherche | Prüfer |
|---|---|---|
| DEN HAAG | 13. Juli 1999 | Bombeke, M |

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
A : technologischer Hintergrund
O : nichtschriftliche Offenbarung
P : Zwischenliteratur

T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

Europäisches Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 99 10 5806

## EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

| Kategorie | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile | Betrifft Anspruch | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6) |
|---|---|---|---|
| A | KLEIMT B ET AL: "DYNAMISCHES MODELL FUR DEN VAKUUM-UMLAUF-PROZESS ZUR ENTKOHLUNG VONSTAHLSCHMELZEN. DYNAMIC MODEL OF THE VACUUM CIRCULATION PROCESS FOR STEEL DECARBURISATION" STAHL UND EISEN, Bd. 115, Nr. 8, 15. August 1995 (1995-08-15), Seiten 75-81, 143, XP000520380 ISSN: 0340-4803 * das ganze Dokument * --- | 1 | |
| A | KHREBIN V N ET AL: "EFFECTIVENESS OF CIRCULATION VACUUM DEGASSING OF STEEL" STEEL IN TRANSLATION, Bd. 24, Nr. 10, 1. Januar 1994 (1994-01-01), Seite 7/8 XP000516426 ISSN: 0967-0912 * Abbildungen 3,4 * --- | 1 | |
| A | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 005, no. 012 (C-040), 24. Januar 1981 (1981-01-24) & JP 55 141515 A (KAWASAKI STEEL CORP), 5. November 1980 (1980-11-05) * Zusammenfassung * --- | 1 | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6) |
| A | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 015, no. 345 (C-0864), 3. September 1991 (1991-09-03) & JP 03 134114 A (SUMITOMO METAL IND LTD), 7. Juni 1991 (1991-06-07) * Zusammenfassung * ----- | 1 | |

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

| Recherchenort | Abschlußdatum der Recherche | Prüfer |
|---|---|---|
| DEN HAAG | 13. Juli 1999 | Bombeke, M |

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
A : technologischer Hintergrund
O : nichtschriftliche Offenbarung
P : Zwischenliteratur

T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

## ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 99 10 5806

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

13-07-1999

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|---|---|---|---|
| JP 58011721 A | 22-01-1983 | JP 1702349 C<br>JP 3068083 B | 14-10-1992<br>25-10-1991 |
| SU 1557175 A | 15-04-1990 | KEINE | |
| GB 1569158 A | 11-06-1980 | KEINE | |
| JP 05311226 A | 22-11-1993 | KEINE | |
| JP 55141515 A | 05-11-1980 | KEINE | |
| JP 03134114 A | 07-06-1991 | KEINE | |

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82