



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 15 384 T2 2005.02.24**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 165 850 B1**

(51) Int Cl.7: **C22C 33/08**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 15 384.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/SE99/02393**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 964 892.6**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 00/37699**

(86) PCT-Anmeldetag: **16.12.1999**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **29.06.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.01.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **03.03.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **24.02.2005**

(30) Unionspriorität:

9804419	18.12.1998	SE
9902407	24.06.1999	SE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:

SinterCast AB, Stockholm, SE

(72) Erfinder:

**POPELAR, Patrik, S-602 21 Norrköping, SE;
ANDERSSON, Conny, S-635 13 Eskilstuna, SE**

(74) Vertreter:

**HOEGER, STELLRECHT & PARTNER
Patentanwälte, 70182 Stuttgart**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUR VORHERSAGE DER MIKROSTRUKTUR VON ERSTARRENDEM GUSSEISEN**

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).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein verbessertes Verfahren zum Voraussagen der Mikrostruktur, mit der eine bestimmte Gusseisenschmelze erstarren wird. Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens und ein Computerprogramm zur Verwendung mit der Vorrichtung.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Die WO 86/01755 (durch Bezugnahme eingefügt) offenbart ein Verfahren zur Herstellung von Gusseisen mit Kompaktgraphit mittels thermischer Analyse. Aus einem Gusseisenschmelzebad wird eine Probe genommen, und diese Probe lässt man 0,5 bis 10 Minuten lang erstarren. Die Temperatur wird gleichzeitig von zwei auf Temperatur ansprechenden Mitteln aufgezeichnet, von denen eines im Zentrum der Probe angeordnet ist und das andere in unmittelbarer Nachbarschaft der Behälterwandung. Für jedes der beiden auf Temperatur ansprechenden Mittel werden sogenannte Abkühlkurven aufgezeichnet, welche die Temperatur der Eisenprobe als Funktion der Zeit repräsentieren. Gemäß dieser Schrift ist es dann möglich, die notwendige Menge an strukturmodifizierenden Agenzien zu bestimmen, die der Schmelze zugesetzt werden muss, um die gewünschte Mikrostruktur zu erhalten.

[0003] Die WO 92/06809 (durch Bezugnahme eingefügt) beschreibt ein spezifisches Verfahren für die Auswertung der Abkühlkurven, welche mit dem Verfahren nach WO 86/01755 erhalten werden. In Einklang mit dieser Schrift wird die thermische Analyse in einem Probengefäß durchgeführt, welches mit einem Material belegt ist, das die aktive Form des strukturmodifizierenden Agens verzehrt. Dieses Material kann Oxide von Si, Mn, Fe, K und Na umfassen. Ein frühes Plateau in der Abkühlkurve, die durch ein bestimmtes auf Temperatur ansprechendes Mittel, welches in der Nähe der Gefäßwand angeordnet ist, aufgezeichnet wird, weist darauf hin, dass sich Flockengraphit gebildet hat infolge Wechselwirkung mit der Beschichtung. Es ist sodann möglich, durch die Verwendung von Kalibrationsdaten zu bestimmen, ob der Schmelze ein strukturmodifizierendes Agens zugesetzt werden muss, um Gusseisen mit Kompaktgraphit zu erhalten.

[0004] Beim Gießen von Gusseisen mit Kompaktgraphit in einer kommerziellen, großtechnischen Gießerei ist es von äußerster Wichtigkeit, dass genaue und zuverlässige Vorhersagen der Mikrostruktur der Gussstücke getroffen werden können. In manchen Fällen werden Abkühlkurven, die schwierig zu interpretieren sind, als CGI hingenommen, ungeachtet der Tatsache, dass sich etwas Flockengraphit gebildet hat. Um die Genauigkeit der Auswertung zu verbessern, besteht demnach Bedarf an alternativen

Methoden zum Auswerten von Abkühlkurven, welche Verfahren Abweichungen vom normalen Erscheinungsbild der Abkühlkurven kompensieren können.

Zusammenfassung der Erfindung

[0005] Es wurde nun gefunden, dass es durch Studium der Wärmeübertragung in einem Probengefäß, welches eine Probe einer Gusseisenschmelze enthält, möglich ist, genaue Vorhersagen der Mikrostruktur, in der die geschmolzene Gusseisenprobe erstarren wird, zu treffen. Dieses Verfahren ist ferner sehr gut geeignet für die Automatisierung durch die Verwendung eines Computers. Das Verfahren, die Vorrichtung und das Computerprogramm-Erzeugnis in Einklang mit der Erfindung sind in den beigefügten Ansprüchen dargelegt.

Definitionen

[0006] Der Ausdruck "Abkühlkurve", wie hierin offenbart, bezieht sich auf Graphen, welche die Temperatur als Funktion der Zeit repräsentieren, wobei die Graphen in der in WO 86/01755 und WO 92/06809 offenbarten Weise aufgezeichnet worden sind.

[0007] Der Ausdruck "Wärmeerzeugungskurve", wie er hierin verwendet wird, bezieht sich auf einen Graphen, welcher die in einer bestimmten Zone eines geschmolzenen Gusseisens erzeugte Wärme als Funktion der Zeit zeigt. Zum Zwecke der vorliegenden Erfindung werden die Wärmeerzeugungskurven hierin bestimmt für eine Zone, welche sich im Zentrum einer geschmolzenen Gusseisenprobe befindet (die Zone A) bzw. an der Peripherie einer geschmolzenen Gusseisenprobe (die Zone B). Im Folgenden werden Verfahren zum Bestimmen von Wärmeerzeugungskurven noch näher beschrieben.

[0008] Der Ausdruck "Probengefäß", wie hierin offenbart, bezieht sich auf einen kleinen Probenbehälter, der zur Verwendung für eine thermische Analyse mit einer Probe geschmolzenen Metalls gefüllt wird. Die Temperatur des geschmolzenen Metalls wird dann während der Erstarrung auf geeignetem Wege aufgezeichnet. Bevorzugt ist das Probengefäß in der Weise ausgestaltet, wie in WO 86/01755, WO 92/06809, WO 91/13176 (durch Bezugnahme eingefügt), WO 96/2306 (durch Bezugnahme eingefügt) oder PCT/SE98/02122 offenbart.

[0009] Der Ausdruck "Probenahmeverrichtung", wie hierin offenbart, bezieht sich auf eine Vorrichtung, umfassend ein Probengefäß, welches mit mindestens zwei auf Temperatur ansprechenden Mitteln für die thermische Analyse ausgestattet ist, wobei die Mittel dazu gedacht sind, während der Analyse in der erstarrenden Metallprobe eingetaucht zu sein, und ein Mittel zum Füllen des Probengefäßes mit geschmolzenem Metall. Das Probengefäß ist bevorzugt

mit dem Sensor in der Weise ausgestattet, wie in **Fig. 2** in WO 96/23206 oder PCT/SE98/02122 offenbart.

[0010] Der Ausdruck "strukturmodifizierendes Agens", wie hierin offenbart, betrifft Verbindungen, welche die Morphologie des in dem geschmolzenen Gusseisen vorhandenen Graphits beeinflussen. Geeignete Verbindungen können ausgewählt sein aus der Gruppe von Magnesium und Seltenerd-Metallen, z. B. Cerium, oder Mischungen von diesen Verbindungen. Die Beziehung zwischen der Konzentration an strukturmodifizierenden Agenzien in geschmolzenem Gusseisen ist bereits in den oben angeführten Schriften WO 92/06809 und WO 86/01755 diskutiert worden.

[0011] Der Ausdruck "CGI", wie hierin offenbart, bezieht sich auf Gusseisen mit Kompaktgraphit.

[0012] Der Ausdruck "SGI", wie hierin offenbart, bezieht sich auf Gusseisen mit Kugelgraphit.

Figuren

[0013] Die Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die beigefügte zeichnerische Darstellung beschrieben, wobei

[0014] **Fig. 1** eine schematische Darstellung eines Probengefäßes ist, welches in Verbindung mit der vorliegenden Erfindung Verwendung finden kann. In einem solchen Probengefäß wird die Wärme gleichmäßig in allen Richtungen transportiert. Eine Probe von geschmolzenem Gusseisen, welche in einem solchen Probengefäß enthalten ist, kann deshalb als eine Erstarrungssphäre betrachtet werden. In dieser Figur ist die Erstarrungssphäre unterteilt in zwei Zonen, nämlich A und B. Die Radien r_1 und r_2 beziehen sich auf den mittleren Radius der Zone A bzw. der Zone B.

[0015] **Fig. 2** offenbart Abkühlkurven und korrespondierende Wärmeerzeugungskurven für CGI. In den **Fig. 2** bis 7 werden die folgenden Abkürzungen verwendet: T_A = zentral aufgezeichnete Abkühlkurve, T_B = peripher aufgezeichnete Abkühlkurve, P_A = Wärmeerzeugung im Zentrum und P_B = Wärmeerzeugung an der Peripherie;

[0016] **Fig. 3** offenbart Abkühlkurven und korrespondierende Wärmeerzeugungskurven für CGI mit niedriger Kugeligkeit. Während der Messung bildet sich Flockengraphit im Probengefäß infolge der Reaktion mit der Wandbeschichtung;

[0017] **Fig. 4** offenbart Abkühlkurven und korrespondierende Wärmeerzeugungskurven für Gusseisen mit einem hohen Kohlenstoffäquivalentgehalt;

[0018] **Fig. 5** offenbart Abkühlkurven und korrespondierende Wärmeerzeugungskurven für naheutektisches Eisen;

[0019] **Fig. 6** offenbart Abkühlkurven und korrespondierende Wärmeerzeugungskurven für eutektisches oder übereutektisches Eisen; und

[0020] **Fig. 7** offenbart Abkühlkurven und korrespondierende Wärmeerzeugungskurven für graues Eisen mit Flockengraphit; und

[0021] **Fig. 8** ist eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Kontrollieren der Herstellung von Gusseisen mit Kompaktgraphit in Einklang mit der vorliegenden Erfindung.

Detailbeschreibung der Erfindung

[0022] Wie bereits im Vorstehenden offenbart, betrifft die vorliegende Erfindung das Vorhersagen der Mikrostruktur, mit der eine bestimmte geschmolzene Gusseisenprobe erstarren wird, durch Messen der Wärmeentwicklung in der Probe. Im Besonderen betrifft die Erfindung die Bestimmung des Wärmeübergangs zwischen zwei Probenzonen (eine Zone im Zentrum der Probe und eine periphere Zone, welche die zentrale Zone umschließt) und der Umgebung. Durch Studium von Graphen, welche die Ableitung der Wärme als Funktion der Zeit präsentieren, ist es möglich, genaue Vorhersagen zu treffen.

[0023] Die Wärmebilanz eines beliebigen gleichförmigen Elementes kann beschrieben werden durch die Beziehung:

$$Q_{\text{gespeichert}} = Q_{\text{erzeugt}} + Q_{\text{ein}} - Q_{\text{aus}} \quad (1)$$

worin $Q_{\text{gespeichert}}$ die durch die Wärmekapazität des Materials gespeicherte Wärmemenge ist, worin Q_{erzeugt} die durch das Materialvolumen erzeugte Wärmemenge ist, worin Q_{ein} die in das Material von seiner Umgebung übertragene Wärme ist und worin Q_{aus} die aus dem Probenvolumen an seine Umgebung übertragene Wärme ist.

[0024] Bei der Durchführung der vorliegenden Erfindung ist es vorteilhaft, ein Probengefäß zu verwenden wie in SE 9704411-9 offenbart. In einem derartigen Probengefäß ist der Wärmetransport in einer in dem Gefäß enthaltenen Probe in allen Richtungen annähernd gleich. Im Folgenden wird nun der Wärmetransport zwischen dem Zentrum (**Fig. 1**, Zone A) und dem mehr peripheren Teil (**Fig. 1**, Zone B) des in einem Probengefäß enthaltenen geschmolzenen Gusseisens beschrieben. Da die Zone A im Zentrum der Erstarrungssphäre liegt, wird keine Wärme in die Zone transportiert und Q_{ein} ist deshalb gleich Null. Durch geeignetes Einsetzen in die obige Beziehung (1) erhält man die folgende Gleichung:

$$C_p m_A dT_A/dt = Q_{genA} + 0 - 4\pi ke[(T_A - T_B)/(l/r_1 - l/r_2)] \quad (2)$$

worin C_p die Wärmekapazität je Masseinheit bedeutet, worin m_A die Masse der Zone A ist, worin dT_A/dt für die Temperaturänderung der Zone A je Zeiteinheit steht, worin ke der effektive Wärmeübergangskoeffizient des Materials ist und worin $(l/r_1 - l/r_2)^{-1}$ die mittlere Weglänge für den Wärmetransport bedeutet. Die Radien r_1 und r_2 sind beide in **Fig. 1** definiert. T_A und T_B sind die Temperaturen in der Zone A bzw. der Zone B.

[0025] Aus Gleichung (2) können wir den Wärmeerzeugungsterm isolieren und die mittlere Wärmeerzeugung im Volumen in der Zone A berechnen:

$$Q_{genA} = C_p m_A dT_A/dt + 4\pi ke[(T_A - T_B)/(l/r_1 - l/r_2)] \quad (3)$$

[0026] In Gleichung (3) sind alle Variablen Konstanten, ausgenommen dT_A/dt und $(T_A - T_B)$. Dementsprechend kann die Gleichung (3) vereinfacht werden auf:

$$Q_{genA} = k_1 dT_A/dt + k_2(T_A - T_B) \quad (4)$$

worin k_1 und k_2 Konstanten sind. Somit kann eine zu der Zone A korrespondierende Wärmeerzeugungskurve berechnet werden aus einem Satz von Abkühlkurven, welche im Zentrum und an der Peripherie einer Probe von geschmolzenem Gusseisen aufgezeichnet werden.

[0027] Die Wärmebilanz für die Zone B ähnelt der Bilanz für Zone A, wobei jedoch Wärme sowohl in die Zone hinein transportiert wird (von der Zone A) als auch aus der Zone heraus transportiert wird (in die Umgebung). Demnach ist der Term Q_{ein} in der Beziehung (1) nicht gleich Null. Durch geeignetes Einsetzen in die obige Beziehung (1) erhält man die folgende Gleichung:

$$C_p m_B dT_B/dt = Q_{genB} + 4\pi ke[(T_A - T_B)/(l/r_1 - l/r_2)] - [h(T_B - T_s) + \epsilon A_B \sigma (T_B^4 - T_s^4)] \quad (5)$$

worin, neben den in Verbindung mit den obigen Gleichungen (5) und (3) definierten Variablen, h für den Konvektionswärmeverlust an die Umgebung steht, worin T_s die Temperatur der Umgebung bedeutet und worin $\epsilon A_B \sigma$ die geeignete Konstante im Stefan-Boltzmann-Strahlungsgesetz ist.

[0028] Bezüglich des letzten Terms können wir davon ausgehen, dass das Verhältnis zwischen gesamtem Strahlungswärmeverlust und Konvektionswärmeverlust konstant ist:

$$C = \epsilon A_B \sigma / h \quad (6)$$

[0029] Dementsprechend können wir den Wärmeerzeugungsterm der Zone B, Q_{genB} , isolieren:

$$Q_{genB} = C_p m_B dT_B/dt - 4\pi ke[(T_A - T_B)/(l/r_1 - l/r_2)] + h[(T_B - T_s) + C\sigma(T_B^4 - T_s^4)] \quad (7)$$

[0030] In Gleichung (7) sind alle Variablen konstant, ausgenommen dT_B/dt , $(T_A - T_B)$ und T_B . Dementsprechend kann die Gleichung (7) vereinfacht werden auf:

$$Q_{genB} = k_3 dT_B/dt - k_4(T_A - T_B) + k_5 T_B + k_6 T_B^4 - k_7 \quad (8)$$

[0031] Durch Anwendung der Gleichungen (4) und (8) auf Abkühlkurven, welche in der Weise aufgezeichnet werden, wie in WO 86/01755 und WO 92/06809 offenbart, können wir die korrespondierenden Wärmeerzeugungskurven bestimmen. Die **Fig. 2A** bis **6A** offenbaren verschiedene Arten von Abkühlkurven und die **Fig. 2B** bis **6B** korrespondierende Wärmeerzeugungskurven.

[0032] Wie bereits erwähnt, basieren diese Berechnungen auf einer Situation, in der Wärme gleichmäßig in allen Richtungen transportiert wird. Für den Fachmann ist es selbstverständlich möglich, andere Gleichungen, welche zu anderen Wärmetransportbedingungen korrespondieren, zu bestimmen.

[0033] Es gibt größere Differenzen zwischen verschiedenen Arten von Wärmeerzeugungskurven verglichen mit korrespondierenden Abkühlkurven. Für CGI (**Fig. 2**) umfasst die Kurve, welche die Wärmefreisetzung in der Zone B repräsentiert, zwei deutliche Peaks, einen größeren und einen kleineren, während die Wärmefreisetzung für CGI mit niedriger Kugeligkeit (**Fig. 3**) so viel größer ist, dass diese beiden Peaks kaum getrennt werden können. Dies gilt auch für Kurven, welche Gusseisen mit einem hohen Kohlenstoffäquivalent betreffen (**Fig. 4**). Ein Primäraustenit-Peak ist in der Zone-A-Kurve sichtbar. In Wärmeerzeugungskurven, welche naheutektisches Eisen repräsentieren (**Fig. 5**), ist ein kleiner Austenit-Peak immer noch sichtbar, während in den Kurven, die sich auf eutektisches oder übereutektisches Eisen beziehen (**Fig. 6**) dieser Peak verschwunden ist. Was graues Gusseisen mit Flockengraphit anbelangt (**Fig. 7**), dominiert der erste Peak der Wärmeerzeugungskurve, welche die Zone B repräsentiert.

[0034] Bevorzugt wird das Vorhersageverfahren durchgeführt unter Verwendung eines computergesteuerten Systems, besonders dann, wenn eine große Zahl von Messungen durchzuführen sind. Ein derartiges System ist in **Fig. 8** umrissen. Es wird eine Probe von einer Gusseisenschmelze genommen und in ein Probengefäß **22** überführt. Während der Messung einer bestimmten Probe senden die zwei auf Temperatur ansprechenden Mittel **10**, **12** Signale an Computer-Mittel **14**, um Abkühlkurven und korrespondierende Wärmeerzeugungskurven zu erzeugen, z. B. durch Anwendung der Gleichungen (3) und (6). Der Computer hat Zugriff auf Kalibrationsdaten, z. B. vorher aufgezeichnete Modellkurven, welche zu ei-

ner bekannten Menge an strukturmodifizierendem Agens oder einer bekannten Mikrostruktur korrespondieren, in einer ROM-Einheit **16** und berechnet die Menge an strukturmodifizierendem Agens, welche der Schmelze hinzuzufügen ist. Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird dies als Expertensystem implementiert. Die zuzugebende Menge an strukturmodifizierendem Agens wird einem Mittel **18** zur Abgabe eines strukturmodifizierenden Agens an die zu korrigierende Schmelze **20** signalisiert, wodurch die Schmelze mit einer geeigneten Menge derartiger Agenzien versorgt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen der Menge strukturmodifizierenden Agens, welche einer bestimmten Gusseisenschmelze zugegeben ist, um CGI oder optional SGI zu erhalten, wobei das Verfahren eine Probenahmevorrichtung und wenigstens zwei Mittel zum Aufzeichnen von Abkühlkurven verlangt, wobei das Verfahren die Schritte umfasst:

- a) Bereitstellen einer Probe des geschmolzenen Gusseisens, aus dem das Gussstück hergestellt werden soll, und Einbringen der Probe in ein Probengefäß;
- b) gleichzeitiges Aufzeichnen von wenigstens zwei Abkühlkurven in Abständen r_1 und r_2 etc. vom Zentrum des Probengefäßes;
- c) Bestimmen von wenigstens zwei Wärmeerkzeugungskurven unter Verwendung der in b) erhaltenen Informationen;
- d) Vergleichen der in c) erhaltenen Wärmeerkzeugungskurven mit zuvor bestimmten Wärmeerkzeugungskurven, welche bekannte Konzentrationen von strukturmodifizierenden Agenzien repräsentieren, wobei die zuvor bestimmten Wärmeerkzeugungskurven unter denselben Bedingungen erhalten worden sind wie in Schritt a), b) und c);
- e) Bestimmen der Menge an strukturmodifizierendem Agens, welche der Schmelze auf Basis des Vergleichs in Schritt d) zugegeben ist;

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es ferner darauf gerichtet ist, ein CGI-Gussstück oder optional ein SGI-Gussstück herzustellen, und dass es ferner Mittel zum Abgeben eines oder mehrerer strukturmodifizierender Agenzien an das geschmolzene Gusseisen, aus dem das Gussstück hergestellt werden soll, verlangt, wobei das Verfahren als weitere Schritte umfasst:

- f) Bewirken, dass die Mittel zum Abgeben eines strukturmodifizierenden Agens eine korrekte Menge an die Schmelze abgeben; und
- g) Durchführen der Gießoperation in einer an sich bekannten Weise.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Probengefäß von der Art ist, bei der die Wärme im Wesentlichen gleichmäßig in allen

Richtungen transportiert wird, wenn es mit dem geschmolzenen Gusseisen gefüllt ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass Gusseisen mit Kompaktgraphit hergestellt wird.

5. Vorrichtung zum Etablieren in Echtzeit einer Menge eines strukturmodifizierenden Agens, welche zugegeben ist, um ein CGI-Gussstück oder optional ein SGI-Gussstück herzustellen, wobei die Vorrichtung umfasst:

- einen ersten Temperatursensor (**10**), angeordnet in einem Abstand r_1 vom Zentrum eines Probengefäßes, aber innerhalb des Probengefäßes, zum Aufzeichnen einer ersten Abkühlkurve;
- einen zweiten Temperatursensor (**12**), in einem Abstand r_2 (wobei r_2 größer ist als r_1) vom Zentrum des Probengefäßes, aber innerhalb des Probengefäßes, zum Aufzeichnen einer zweiten Abkühlkurve;
- eine Computereinrichtung (**14**) zum Bestimmen eines Mengenwertes (V_a) eines der Schmelze zugegebenden strukturmodifizierenden Agens;
- Speichermittel (**16**), welche mit vorab aufgezeichneten Kalibrationsdaten ausgestattet sind;
- wobei der Computer eingestellt ist zum Bestimmen von Wärmeerkzeugungskurven für eine zentrale Zone und eine periphere Zone in dem Probengefäß durch Anwenden

i) der Wärmebilanz-Formel:

$$Q_{\text{gespeichert}} = Q_{\text{erzeugt}} + Q_{\text{ein}} - Q_{\text{aus}}$$

wobei $Q_{\text{gespeichert}}$ die durch die Wärmekapazität des Materials gespeicherte Wärmemenge ist, wobei Q_{erzeugt} die durch das Materialvolumen erzeugte Wärmemenge ist, wobei Q_{ein} die in das Material aus seiner Umgebung übertragene Wärme ist und wobei Q_{aus} die an die Umgebung übertragene Wärme ist; und

ii) der von dem ersten und dem zweiten Temperatursensor (**10**, **12**) aufgezeichneten ersten und zweiten Abkühlkurve;

wobei der Computer eingestellt ist zum Bestimmen eines Mengenwertes (V_a) eines der Schmelze zugegebenden strukturmodifizierenden Agens durch Vergleichen der Wärmeerkzeugungskurven mit vorab aufgezeichneten Kalibrationsdaten.

6. Computerprogramm-Erzeugnis zur Verwendung in einer Vorrichtung nach Anspruch 5 zum Etablieren in Echtzeit einer Menge eines strukturmodifizierenden Agens, welche einer Gusseisenschmelze (**20**) während des Verfahrens zum Herstellen eines Gussstücks aus Gusseisen mit Kompaktgraphit, wie in Anspruch 1 definiert, zugegeben ist, wobei das Computerprogramm-Erzeugnis umfasst: ein Aufzeichnungsmedium und computerlesbare Code-Mittel zum Steuern der Computereinrichtung zum Bestimmen der Wärmeerkzeugungskurven für eine zentrale Zone und eine periphere Zone in dem Pro-

bengefäß durch Anwenden

i) der Wärmebilanz-Formel:

$$Q_{\text{gespeichert}} = Q_{\text{erzeugt}} + Q_{\text{ein}} - Q_{\text{aus}}$$

wobei $Q_{\text{gespeichert}}$ die durch die Wärmekapazität des Materials gespeicherte Wärmemenge ist, wobei Q_{erzeugt} die durch das Materialvolumen erzeugte Wärmemenge ist, wobei Q_{ein} die in das Material aus seiner Umgebung übertragene Wärme ist und wobei Q_{aus} die an die Umgebung übertragene Wärme ist; und
ii) der von dem ersten und dem zweiten Temperatursensor (**10**, **12**) aufgezeichneten ersten und zweiten Abkühlkurve; und
ein Aufzeichnungsmedium und computerlesbare Code-Mittel zum Bestimmen eines Mengenwertes (V_a) eines der Schmelze zuzugebenden strukturmodifizierenden Agens durch Vergleichen der Wärmeerzeugungskurven mit vorab aufgezeichneten Kalibrationsdaten.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

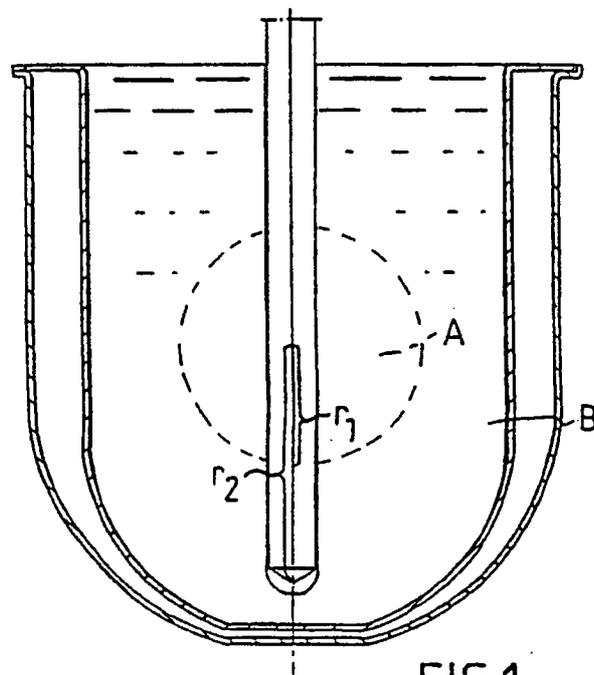


FIG.1

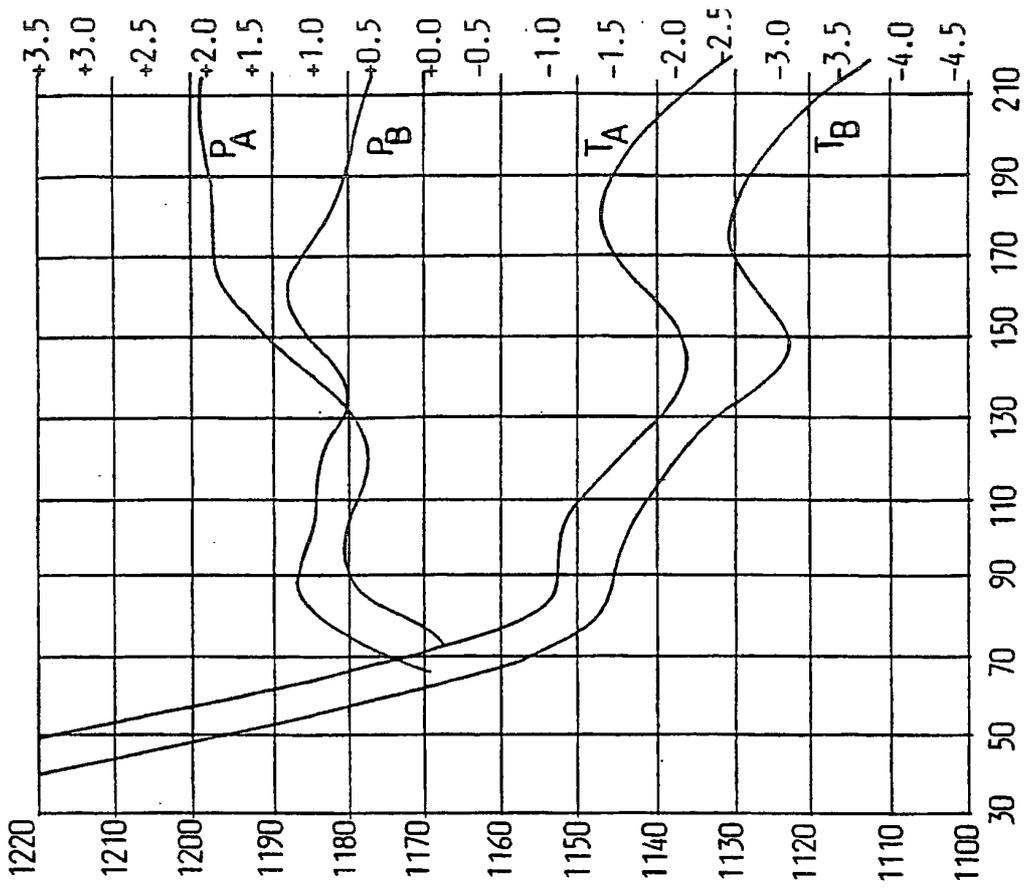


FIG. 3

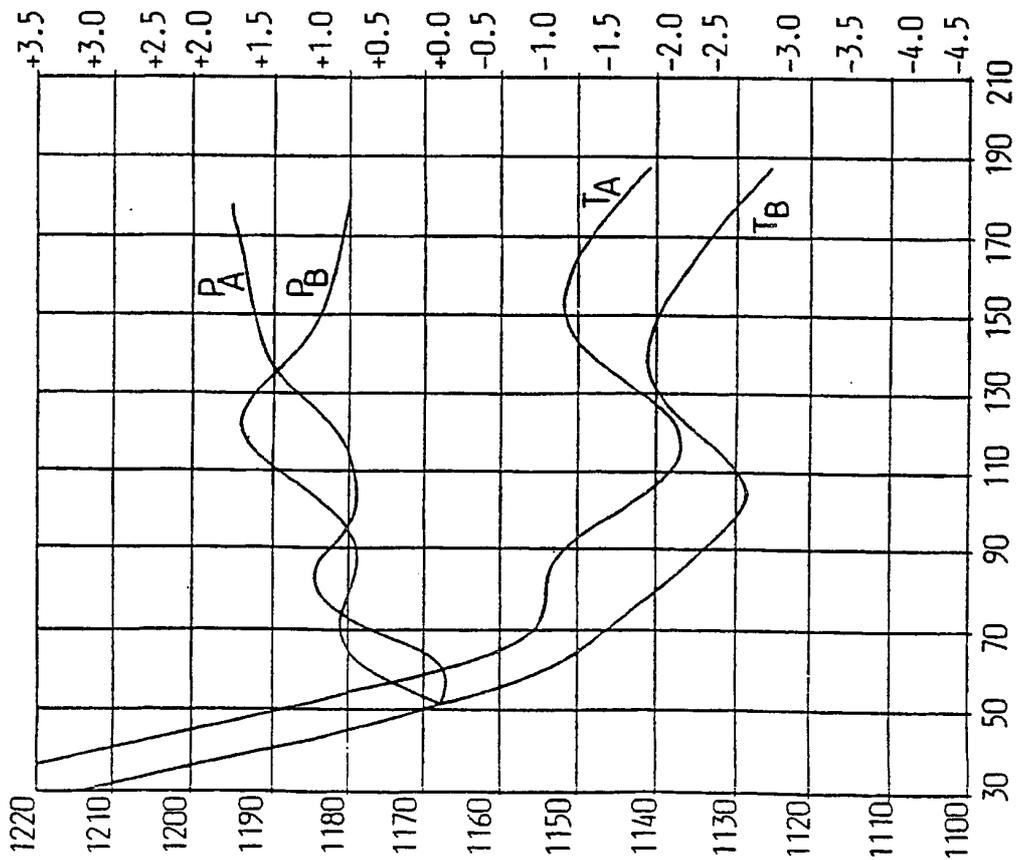


FIG. 2

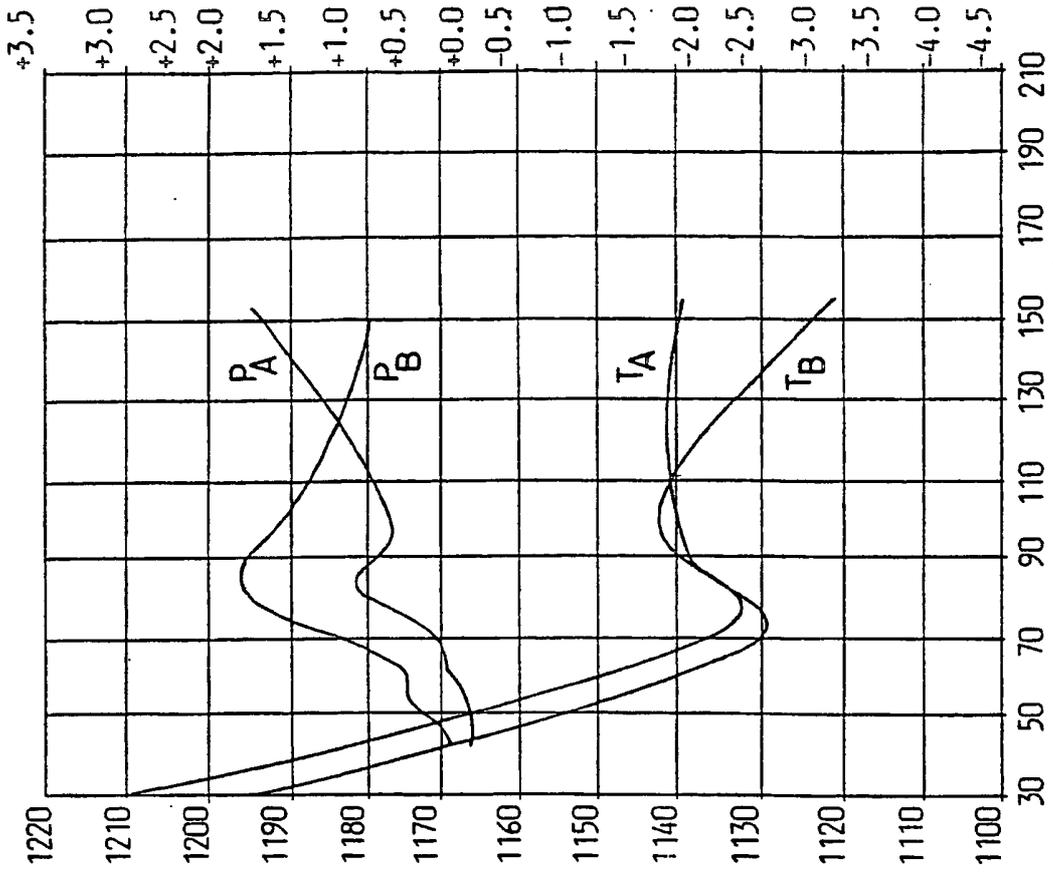


FIG. 5

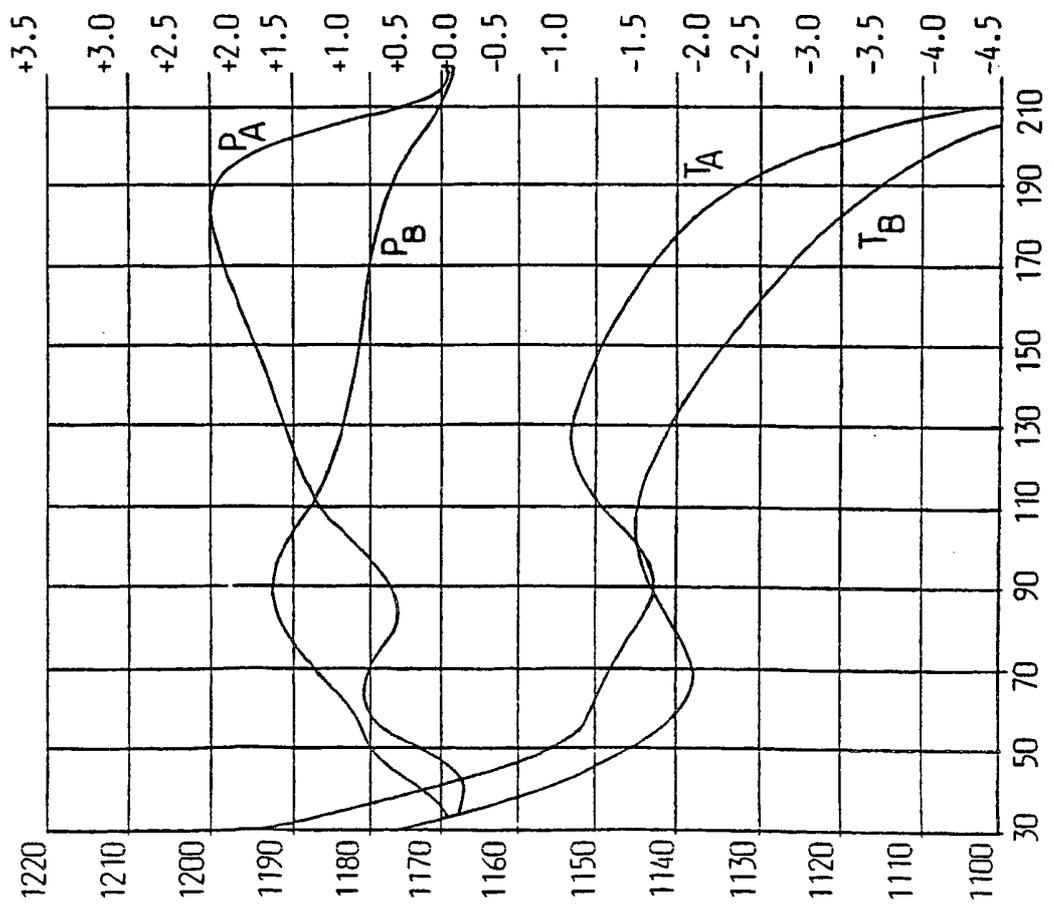


FIG. 4

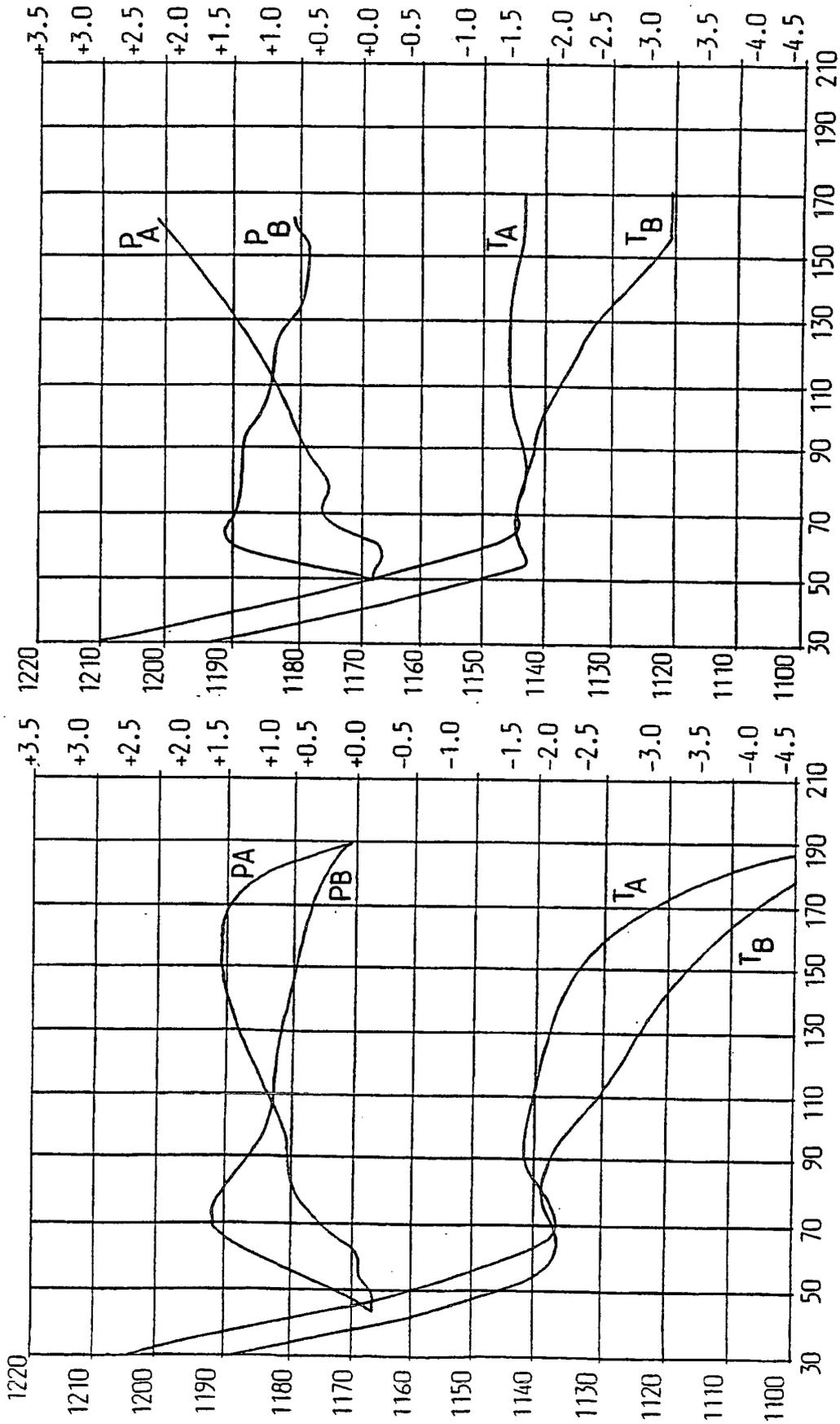


FIG. 6

Eisen mit Flockengraphit FIG. 7

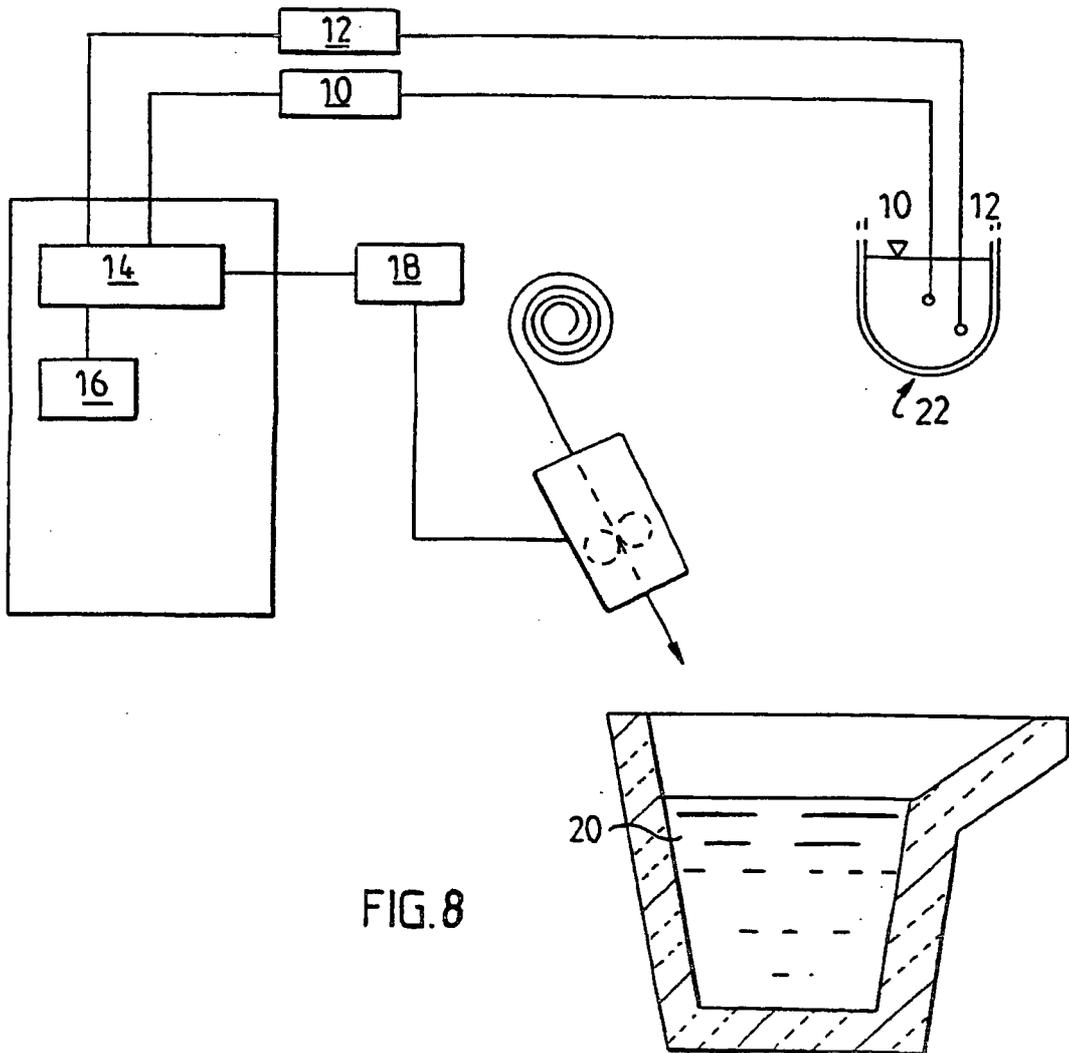


FIG. 8