

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 200 216 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
11.12.2002 Patentblatt 2002/50

(51) Int Cl.7: **B22D 11/124**, B22D 11/12,
B22D 11/22

(21) Anmeldenummer: **00951251.8**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE00/02117

(22) Anmeldetag: **29.06.2000**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 01/003867 (18.01.2001 Gazette 2001/03)

(54) **VERFAHREN UND EINRICHTUNG ZUM HERSTELLEN EINES STRANGES AUS METALL**

METHOD AND DEVICE FOR MAKING A METAL STRAND

PROCEDE ET DISPOSITIF DE FABRICATION D'UN BRIN METALLIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE DE FI GB IT

(30) Priorität: **07.07.1999 DE 19931331**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.05.2002 Patentblatt 2002/18

(73) Patentinhaber: **SIEMENS
AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München (DE)**

(72) Erfinder:
• **WELKER, Hans-Herbert
D-91074 Herzogenaurach (DE)**
• **STÜRMER, Uwe
D-91083 Baiersdorf (DE)**

• **KEMNA, Andreas
D-91052 Erlangen (DE)**
• **SIEBER, Albrecht
D-91096 Möhrendorf (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A- 4 417 808 DE-A- 19 612 420

• **HARSTE K ET AL: "NEUBAU EINER
VERTIKALSTRANGGIESSANLAGE BEI DER AG
DER DILLINGER HUETTENWERKE" STAHL UND
EISEN,DE,VERLAG STAHLISEN GMBH.
DUSSELDORF, vol. 117, no. 11, 10 November
1997 (1997-11-10), pages 73-79,153,
XP000737187 ISSN: 0340-4803**

EP 1 200 216 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Verfahren und eine Einrichtung zum Herstellen eines Stranges aus Metall mittels einer Stranggießanlage, die zumindest eine Kühleinrichtung zur Kühlung des Stranges aufweist, wobei der Kühleinrichtung zumindest ein Reduktionsgerüst zur Dickenreduktion des Stranges zugeordnet ist, wobei der Strang bei der Dickenreduktion eine erstarrte Hülle und einen flüssigen Kern aufweist.

[0002] Zum Herstellen von Strängen ist es bekannt, einer Stranggießanlage ein Reduktionsgerüst nach- oder zuzuordnen. Dabei wird eine besonders große Dickenreduktion dann erreicht, wenn der Strang beim Einlaufen in das Reduktionsgerüst einen noch flüssigen Kern aufweist. Bei diesem Verfahren, das als sogenannte Soft-Reduction bekannt ist, ist es wichtig, daß der flüssige Kern groß genug ist, um die notwendige Dickenreduktion des Stranges zu gewährleisten, jedoch auch nicht so groß ist, daß es zu einem Strangdurchbruch und Austritt von flüssigem Metall kommt. Zum Erreichen der notwendigen Abmessung des flüssigen Kerns bei Erreichen des Reduktionsgerüsts wird der Strang mittels einer Kühleinrichtung gekühlt, wobei die notwendige Kühlung von einem Bediener nach dessen Abschätzung der Abmessung des flüssigen Kerns eingestellt wird.

[0003] Das Dokument "Neubau einer Vertikalstranggießanlage bei der AG der Dillinger Hüttenwerke"; Stahl und Eisen 117, Nr. 11; 10. November 1997, zeigt die Problematik der Lage und Positionierung der Sumpfspitze eines Stranges in Relation der Soft-Reduktion-Zone und es wird die Lehre gegeben, die Soft-Reduktion-Zone während des Gießbetriebes der jeweiligen Position der Sumpfspitze hinweg nachzuführen. Dies ist durch hydraulische Positionierbarkeit der Segmente in der Strangführung möglich.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren sowie eine Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens anzugeben, das eine gegenüber dem Stand der Technik verbesserte Soft-Reduction, insbesondere auch bei variierender Strangeschwindigkeit, erlaubt.

[0005] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 bzw. eine Einrichtung gemäß Anspruch 10 gelöst. Dabei ist zum Herstellen eines Stranges aus Metall mittels einer Stranggießanlage, die zumindest eine Kühleinrichtung zur Kühlung des Stranges aufweist, der Kühleinrichtung zumindest ein Reduktionsgerüst zur Dickenreduktion des Stranges nachgeordnet, wobei der Strang bei der Dickenreduktion eine erstarrte Hülle und einen flüssigen Kern aufweist, und wobei die Kühlung mittels eines Temperatur- und Erstarrungsmodells derart, insbesondere automatisch, eingestellt wird, daß die Erstarrungsgrenze zwischen der erstarrten Hülle und dem flüssigen Kern bei Einlauf des Stranges in das Reduktionsgerüst einer vorgegebenen Soll-Erstarrungsgrenze zwischen der erstarrten Hülle und dem flüssigen Kern entspricht. Auf diese Weise wird eine besonders gute Soft-Reduction erreicht. Reduktionsgerüste im Sinne der Erfindung können dabei neben einfachen Walzgerüsten komplexe Walzgerüste sein, mittels denen dem Strang eine bestimmte Geometrie eingewalzt wird. Das Temperatur- und Erstarrungsmodell kann beispielsweise ein analytisches Modell, ein neuronales Netz oder eine Kombination aus analytischem Modell und neuronalem Netz sein.

[0006] Das Temperatur- und Erstarrungsmodell setzt vorteilhafterweise die Kühlung des Stranges und die Erstarrungsgrenze zwischen der erstarrten Hülle und dem flüssigen Kern in Beziehung. Eine derartige Ausgestaltung der Erfindung ist von besonderem Vorteil, da das Temperatur- und Erstarrungsmodell die Erstarrungsgrenze zwischen der erstarrten Hülle und dem flüssigen Kern in Abhängigkeit von der Kühlmenge die Ursache Wirkung-Beziehung zwischen Kühlung und die Erstarrungsgrenze zwischen der erstarrten Hülle und dem flüssigen Kern abbildet.

[0007] In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung wird mit dem Temperatur- und Erstarrungsmodell die Erstarrungsgrenze zwischen der erstarrten Hülle und dem flüssigen Kern in Abhängigkeit von der Kühlung des Stranges, insbesondere in Echtzeit und ständig, ermittelt und die notwendige Kühlung des Stranges auf iterative Weise in Abhängigkeit der vorgegebenen Soll-Erstarrungsgrenze zwischen der erstarrten Hülle und dem flüssigen Kern bestimmt, wobei so oft iteriert wird, bis die Abweichung der mit dem Temperatur- und Erstarrungsmodell ermittelten Erstarrungsgrenze zwischen der erstarrten Hülle und dem flüssigen Kern von dem vorgegebenen Soll-Erstarrungsgrenze zwischen der erstarrten Hülle und dem flüssigen Kern kleiner ist als ein vorgegebener Toleranzwert.

[0008] In weiterhin vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung wird zur Bestimmung der notwendigen Kühlung des Stranges in Abhängigkeit von der vorgegebenen Soll-Erstarrungsgrenze zwischen der erstarrten Hülle und dem flüssigen Kern zumindest eine weitere Größe der Größen Strangeschwindigkeit, Stranggeometrie, Strangschalendicke, Kokillenlänge, Zeit, Strangmaterial, Kühlmitteldruck bzw. -volumen, Tröpfchengröße des Kühlmittels und Kühlmitteltemperatur verwendet.

[0009] In weiterhin vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung werden zur Bestimmung der notwendigen Kühlung des Stranges in Abhängigkeit der Erstarrungsgrenze zwischen der erstarrten Hülle und dem flüssigen Kern die Größen Stranggeometrie, Strangschalendicke, Zeit, Strangmaterial, Kühlmitteldruck bzw. -volumen und Kühlmitteltemperatur verwendet. Die Verwendung dieser Größen, ist besonders geeignet, eine besonders präzise Kühlung des Stranges zu erzielen.

[0010] In weiterhin vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung wird jeder Reduktionseinrichtung eine Soll-Erstarrungsgrenze zwischen der erstarrten Hülle und dem flüssigen Kern des Stranges zugeordnet.

[0011] In weiterhin vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung wird im Temperatur- und Erstarrungsmodell die Wirkung der Dickenreduktion durch das Reduktionsgerüst, insbesondere die Lage der Grenze zwischen erstarrter Hülle und flüssigem Kern mit modelliert.

[0012] In weiterhin vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung erfolgt die Modellierung der Dickenreduktion durch das Reduktionsgerüst durch zumindest eine der Größen Reduktionskraft und Reduktionsgrad.

[0013] In weiterhin vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung wird zumindest eine der Größen Reduktionskraft und Reduktionsgrad im Reduktionsgerüst gemessen und zur Adaption des Temperatur- und Erstarrungsmodells verwendet.

[0014] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden die Größen Reduktionskraft und Reduktionsgrad im Reduktionsgerüst gemessen und zur Adaption des Temperatur- und Erstarrungsmodells verwendet.

[0015] Weitere Vorteile und erfinderische Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels, anhand der Zeichnungen und in Verbindung mit den Unteransprüchen. Im einzelnen zeigen:

FIG 1 eine Stranggießanlage,

FIG 2 ein Ablaufdiagramm zur iterativen Bestimmung einer Soll-Kühlung des Stranges mittels eines Temperatur- und Erstarrungsmodells,

FIG 3 ein Ablaufdiagramm zur iterativen Bestimmung eines Adaptionkoeffizienten.

[0016] FIG 1 zeigt eine Stranggießanlage. Dabei bezeichnet Bezugszeichen 1 den gegossenen Strang, der eine erstarrte Hülle 21 innerhalb einer Erstarrungsgrenze 22 und einen flüssigen Kern 2 aufweist. Der Strang wird mit Antriebs- bzw. Führungsrollen 4 bewegt und auf seinem Weg durch Kühleinrichtungen 5 gekühlt. Diese sind vorteilhafterweise als Wassersprüheinrichtungen ausgebildet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind nicht alle Antriebs- bzw. Führungsrollen 4 und Kühleinrichtungen 5 mit Bezugszeichen versehen. Bei bekannten Verfahren sind die Kühleinrichtungen 5 in Kühlsegmente aufgeteilt. Diese Aufteilung ist beim neuen und erfinderischen Verfahren nicht notwendig, kann aber berücksichtigt werden. Sowohl die Antriebsrollen 4 als auch die Kühleinrichtungen 5 sind datentechnisch mit einer Recheneinrichtung verbunden. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind beide datentechnisch mit ein und demselben Automatisierungsgerät 7 verbunden. Das Automatisierungsgerät 7 weist optional außerdem ein nicht dargestelltes Terminal und eine nicht dargestellte Tastatur auf. Außerdem ist das Automatisierungsgerät 7 mit einem übergeordneten Rechensystem 8 verbunden. Das zum Stranggießen notwendige Material, in diesem Fall flüssiger Stahl, wird über eine Zuführvorrichtung 20 zugeführt. Die Stellgrößen für die Kühleinrichtungen 5 werden mittels eines Temperatur- und Erstarrungsmodells, d.h. eines thermischen Modells des Stranges berechnet, das in der beispielhaften Ausgestaltung auf dem übergeordneten Rechensystem 8 implementiert ist.

[0017] Bezugszeichen 9, 10 und 11 bezeichnen der Kühleinrichtung 5 zugeordnete Reduktionsgerüste. Diese sind in vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung datentechnisch mit der speicherprogrammierbaren Steuerung 7 verbunden, wobei an die Automatisierungsgerät 7 die Walzkraft und der Reduktionsgrad, z.B. in Form des Walzspaltes, übertragen werden. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind drei Reduktionsgerüste 9, 10 und 11 vorgesehen. Im in FIG 1 dargestellten Ausführungsbeispiel ist vorgesehen, daß nur in den Reduktionsgerüsten 9 und 10 eine sogenannte Soft-Reduction durchgeführt wird. Bei der sogenannten Soft-Reduction ist der zu reduzierende Strang nicht durchstartet, sondern weist einen flüssigen Kern 2 und eine erstarrte Hülle 21 auf, wenn er in ein Reduktionsgerüst einläuft. Im Ausführungsbeispiel gemäß FIG 1 ist für den Strang 1 lediglich eine Soft-Reduction in den Reduktionsgerüsten 9 und 10 vorgesehen. Die Kühlung mit den Kühleinrichtungen 5 wird mittels des Automatisierungsgeräts 7 derart eingestellt, daß die Erstarrungsgrenze 22 zwischen der erstarrten Hülle 21 und dem flüssigen Kern 2 des Stranges 1 bei Einlauf in die Reduktionsgerüste 9 und 10 einer gewünschten Soll-Erstarrungsgrenze zwischen dem flüssigen Kern 2 und der erstarrten Hülle 21 entspricht.

[0018] Das Reduktionsgerüst 9 ist in besonders vorteilhafter Weise innerhalb der Kühlstrecke angeordnet, d.h. es sind vor und hinter dem Reduktionsgerüst 9 Kühleinrichtungen 5 vorgesehen. Es kann in weiterhin vorteilhafter Weise vorgesehen werden, auch hinter dem zweiten Reduktionsgerüst 10 Kühleinrichtungen vorzusehen. Die Kühleinrichtung 9 ist vorteilhafterweise nicht in der Biegung des Stranges 1 angeordnet, wie dies aus Gründen der Übersichtlichkeit in FIG 1 angedeutet ist, sondern vor der Biegung des Stranges oder hinter der Biegung des Stranges 1 angeordnet.

[0019] FIG 2 zeigt dabei ein Ablaufdiagramm zur iterativen Bestimmung eines Sollwertes k_0 für die Kühlung des Stranges mittels eines Temperatur- und Erstarrungsmodells 13, wobei das Temperatur- und Erstarrungsmodell 13 und die übrigen dargestellten iterativen Abläufe auf dem übergeordneten Rechensystem 8 implementiert sind. Dazu wird im Temperatur- und Erstarrungsmodell 13 aus einer gegebenen Kühlung des Stranges k_i mittels des Temperatur- und Erstarrungsmodells 13 die Erstarrungsgrenzen e_i im Strang ermittelt. Diese Erstarrungsgrenze e_i wird in einem Vergleich 14 mit der Soll-Erstarrungsgrenze e_0 im Strang verglichen. Im Vergleich 14 erfolgt die Abfrage, ob $|e_i - e_0| \leq \Delta e_{\max}$, wobei $\Delta e_{\max}$ ein vorgegebener Toleranzwert ist. Ist der Betrag der Differenz von e_i und e_0 zu groß, so ermittelt der Funktionsblock 12 einen neuen Vorschlag k_j für eine verbesserte Kühlung des Stranges. Als Anfangswert für die Iteration wird ein Wert für die Kühlung verwendet, der sich im langzeitlichen Durchschnitt als bewährter Erfahrungswert erwiesen hat. Ist der Betrag der Differenz von e_i und e_0 kleiner oder gleich dem Toleranzwert $\Delta e_{\max}$, so wird mit einer

Sollkühlungsfestsetzung 15 der Sollwert k_0 für die Kühlung des Stranges gleich dem Wert k_i gesetzt. Die Werte e_i , e_0 , $\Delta e_{\max}$, k_i , k_0 sind nicht unbedingt Skalare, sondern Spaltenmatrizen mit ein oder mehr Werten. So enthält z. B. die Spaltenmatrix k_0 die verschiedenen Stell- bzw. Führungsgrößen für die Kühleinrichtungen 5 der einzelnen Kühlsegmente 6 einer Strangkühlanlage oder die Spaltenmatrix e_0 , die Soll-Erstarrungsgrenzen an verschiedenen Stellen des Stranges. In vorteilhafter Ausgestaltung erfolgt der in FIG 2 dargestellte Iterationskreislauf auf der Basis genetischer Algorithmen. Dies bietet sich insbesondere dann an, wenn k_i bzw. k_0 Spaltenmatrizen mit vielen Elementen sind.

[0020] Das Temperatur- und Erstarrungsmodell 13 kann sowohl als eindimensionales Modell als auch als zweidimensionales Modell implementiert werden. Basis des Temperatur- und Erstarrungsmodells stellt, hier für den zweidimensionalen Fall dargestellt, die Wärmeleitungs-Gleichung

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

dar, die für das Temperatur- und Erstarrungsmodell 13 in Differenzform, d.h. in der Form

$$\Delta_t T = a \Delta T \left(\frac{1}{\Delta x^2} \Delta_x^2 T + \frac{1}{\Delta y^2} \Delta_y^2 T \right) \quad (2)$$

verwendet wird. Dabei ist T die Temperatur, t die Zeit und a die Temperaturleitfähigkeit. x und y sind die zweidimensionalen Raumkoordinaten.

[0021] Der Querschnitt der Stranghaut wird in kleine Rechtecke der Größe Δx mal Δy unterteilt und die Temperatur wird in kleinen Zeitschritten Δt berechnet. Als Ausgangspunkt für die Temperaturverteilung wird angenommen, daß die Temperatur beim Eintritt in die Kokille (in allen Rechtecken) die Verteilertemperatur des Stahls besitzt.

[0022] Der an der Strangoberfläche abzuführende Wärmestrom Q berechnet sich aus der Oberflächentemperatur T_O des Strangs, der Umgebungstemperatur T_U , der Oberfläche A und dem Wärmeübergangskoeffizienten α mit $Q = \alpha (T_U - T_O) A$.

[0023] Für die Kühlung in der Kokille wird α als konstant angenommen und T_U der Temperatur des Kühlwassers in der Kokille gleichgesetzt. Für die Kühlung durch die Kühleinrichtungen 5 wird T_U der Temperatur des Kühlmittels gleichgesetzt und α wird beispielsweise gemäß

$$\alpha = \left(200 + 1.82 \cdot V \frac{\text{m}^2 \text{ min}}{1} \right) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \quad (3)$$

berechnet, wobei V das Kühlmittelvolumen in $\frac{1}{2} \text{ min}$ ist. Dabei kann V für jeden Punkt an der Strangoberfläche unterschiedlich angegeben werden, wodurch mit dem Modell auch Düsencharakteristika beschrieben werden können.

[0024] Aus dem Verlauf der Temperaturverteilung im Strang berechnet das Modell auch den Verlauf der Erstarrungsgrenze.

[0025] Die einzelnen Modellparameter sind u.a.:

- Kokillenlänge
- Stranggeometrie (Höhe und Breite)
- Stranggeschwindigkeit
- Wärmeübergangskoeffizient α in der Kokille
- Kühlmitteltemperatur in der Kokille
- Schmelztemperatur
- Erstarrungsenthalpie
- Wärmeleitkoeffizient λ

- Spezifische Wärmekapazität c
- Dichte ρ
- Länge jeder Kühlzone
- Kühlmittelvolumen V in jeder Kühlzone
- Strangmaterial

[0026] Die Temperatur- und Materialabhängigkeit von λ , c , Enthalpie und ρ wird im Modell berücksichtigt.

[0027] FIG 3 zeigt ein Ablaufdiagramm zur iterativen Bestimmung eines Adaptionkoeffizienten d_0 zur Adaption des Wärmeübergangskoeffizienten α mittels eines Temperatur- und Erstarrungsmodells 13, wobei der adaptierte Wärmeübergangskoeffizient α_a durch

$$\alpha_a = d_0 * \alpha$$

aus dem Wärmeübergangskoeffizienten α ermittelt wird. Dazu wird im Temperatur- und Erstarrungsmodell 13 aus einer gegebenen Kühlung des Stranges mittels des Temperatur- und Erstarrungsmodells 13 die Erstarrungsgrenzen e_i im Strang ermittelt. Diese Erstarrungsgrenze e_i wird in einem Vergleich 17 mit den auftretenden Anstellungsverhältnissen $\Delta W_{j,y,u}$ (unten) und $\Delta W_{j,y,o}$ (oben) in den Reduktionsgerüsten sowie den Walzkräften $F_{j,u}$ (unten) und $F_{j,o}$ (oben) in den Reduktionsgerüsten verglichen. Falls die für eine Geometrieänderung typischen Werte der Anstellungsverhältnisse unterschritten und/oder die für eine Geometrieänderung typischen Werte der Walzkräfte überschritten werden, ermittelt der Funktionsblock 16 einen neuen Vorschlag für einen verbesserten Adaptionfaktor d_i . Dadurch wird die Erstarrungsgrenze solange verschoben, bis die entsprechenden Grenzwerte über- bzw. unterschritten werden. Als Anfangswert für die Iteration wird ein Wert $d_0 = 1$ verwendet. Der Abschluß der Iteration wird durch den Funktionsblock 18 $d_0 = d_i$ gesetzt. Anschließend wird in Gleichung 3 der Wärmeübergangskoeffizient α durch den adaptierten Wärmeübergangskoeffizienten α_a ersetzt.

[0028] Es ist besonders vorteilhaft, eine Vorsteuerung der Kühleinrichtung vorzusehen, wobei die Vorstrahlenabhängigkeit von bekannten Zeitpunkten der Änderungen von Anlagenwerten wie z.B. der Gießgeschwindigkeit und/oder des Strangmaterials erfolgt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Stranges (1) aus Metall mittels einer Stranggießanlage, die zumindest eine Kühleinrichtung (5) zur Kühlung des Stranges (1) aufweist, wobei der Kühleinrichtung (5) zumindest ein Reduktionsgerüst (9,10,11) zur Dickenreduktion des Stranges (1) zugeordnet ist, wobei der Strang (1) bei der Dickenreduktion eine erstarrte Hülle (21) und einen flüssigen Kern (2) aufweist,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Kühlung mittels eines Temperatur- und Erstarrungsmodells (13) derart eingestellt wird, daß die Erstarrungsgrenze (22) zwischen der erstarrten Hülle (21) und dem flüssigen Kern (2) bei Einlauf des Stranges (1) in das Reduktionsgerüst (9,10,11) einer vorgegebenen Soll-Erstarrungsgrenze zwischen der erstarrten Hülle (21) und dem flüssigen Kern (2) entspricht.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

daß mit dem Temperatur- und Erstarrungsmodell (13) die Erstarrungsgrenze (22) zwischen der erstarrten Hülle (21) und dem flüssigen Kern (2) in Abhängigkeit von der Kühlung des Stranges (1), insbesondere in Echtzeit und ständig, ermittelt wird und daß die notwendige Kühlung des Stranges (1) auf iterative Weise in Abhängigkeit der vorgegebenen Soll-Erstarrungsgrenze (e_0) zwischen der erstarrten Hülle (21) und dem flüssigen Kern (2) bestimmt wird, wobei so oft iteriert wird, bis die Abweichung der mit dem Temperatur- und Erstarrungsmodell (13) ermittelten Erstarrungsgrenze (e_i) zwischen der erstarrten Hülle (21) und dem flüssigen Kern (2) von der vorgegebenen Soll-Erstarrungsgrenze (e_0) zwischen der erstarrten Hülle (21) und dem flüssigen Kern (2) kleiner ist als ein vorgegebener Toleranzwert.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet,

daß zur Bestimmung der notwendigen Kühlung des Stranges (1) in Abhängigkeit von der vorgegebenen Soll-Erstarrungsgrenze zwischen der erstarrten Hülle (21) und dem flüssigen Kern (2) zumindest eine weitere Größe der Größen Stranggeschwindigkeit, Stranggeometrie, Strangschalendicke, Kokillenlänge, Zeit, Strangmaterial,

Kühlmitteldruck bzw. -volumen, Tröpfchengröße des Kühlmittels und Kühlmitteltemperatur verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß zur Bestimmung der notwendigen Kühlung des Stranges (1) in Abhängigkeit der Erstarrungsgrenze (22) zwischen der erstarrten Hülle (21) und dem flüssigen Kern (2) auch die Größen Stranggeometrie, Strangschalendicke, Zeit, Strangmaterial, Kühlmitteldruck bzw. -volumen und Kühlmitteltemperatur verwendet werden.
5. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, wobei der Kühleinrichtung (5) zumindest zwei Reduktionsgerüsten (9,10,11) nachgeordnet sind,
dadurch gekennzeichnet,
daß zumindest zwei Reduktionsgerüsten (9,10,11) eine Soll-Erstarrungsgrenze zwischen der erstarrten Hülle (21) und dem flüssigen Kern (2) des Stranges (1) bei Einlauf in das jeweilige Reduktionsgerüst (9,10,11) zugeordnet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 4 oder 5,
dadurch gekennzeichnet,
daß im Temperatur- und Erstarrungsmodell (13) die Wirkung der Dickenreduktion durch das Reduktionsgerüst (9,10,11), insbesondere die Lage der Erstarrungsgrenze (22) zwischen erstarrter Hülle (21) und flüssigem Kern (2), mit berücksichtigt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Modellierung der Dickenreduktion durch das Reduktionsgerüst (9,10,11) durch zumindest eine der Größen Reduktionskraft und Dickenreduktionsgrad erfolgt.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß zumindest eine der Größen Reduktionskraft und Reduktionsgrad im Reduktionsgerüst (9,10,11) gemessen und zur Adaption des Temperatur- und Erstarrungsmodells (13) verwendet wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Größen Reduktionskraft und Reduktionsgrad im Reduktionsgerüst (9,10,11) gemessen und zur Adaption des Temperatur- und Erstarrungsmodells (13) verwendet werden.
10. Stranggießanlage zum Herstellen eines Stranges (1), insbesondere nach einem Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Stranggießanlage zumindest eine Kühleinrichtung (5) zur Kühlung des Stranges (1) und zumindest ein zugeordnetes Reduktionsgerüst (9,10,11) zur Dickenreduktion des Stranges (1) sowie eine Recheneinrichtung zur Steuerung der Kühlung des Stranges mittels der Kühleinrichtung (5) aufweist,
dadurch gekennzeichnet,
daß auf der Recheneinrichtung ein Temperatur- und Erstarrungsmodell (13) zur derartigen Einstellung der Erstarrungsgrenze (22) zwischen einer erstarrten Hülle (21) und einem flüssigen Kern (2) des Stranges (1) bei Einlauf des Stranges (1) in das Reduktionsgerüst (9,10,11) implementiert ist, daß die Erstarrungsgrenze (22) einer vorgegebenen Soll-Erstarrungsgrenze zwischen der erstarrten Hülle (21) und dem flüssigen Kern (2) entspricht.

Claims

1. Method for producing a strand (1) made from metal by means of a continuous-casting installation which has at least one cooling device (5) for cooling the strand (1), the cooling device (5) being assigned at least one reduction stand (9, 10, 11) for reducing the thickness of the strand (1), the strand (1), during the thickness reduction, having a solidified skin (21) and a liquid core (2), **characterized in that** the cooling is set, by means of a temperature and solidification model (13), in such a manner that the solidification boundary (22) between the solidified skin (21) and the liquid core (2) when the strand (1) enters the reduction stand (9, 10, 11) corresponds to a predetermined set solidification boundary between the solidified skin (21) and the liquid core (2).
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the temperature and solidification model (13) is used to de-

termine the solidification boundary (22) between the solidified skin (21) and the liquid core (2) as a function of the cooling of the strand (1), in particular in real time and continuously, and **in that** the required cooling of the strand (1) is determined iteratively as a function of the predetermined set solidification boundary (e_0) between the solidified skin (21) and the liquid core (2), iteration being repeated until the deviation in the solidification boundary (e_i) between the solidified skin (21) and the liquid core (2), which has been determined using the temperature and solidification model (13), from the predetermined set solidification boundary (e_i) between the solidified skin (21) and the liquid core (2) is less than a predetermined tolerance value.

3. Method according to Claim 1 or 2, **characterized in that** at least one further variable selected from the variables strand velocity, strand geometry, strand shell thickness, mould length, time, strand material, coolant pressure or volume, droplet size of the coolant and coolant temperature is used to determine the required cooling of the strand (1) as a function of the predetermined set solidification boundary between the solidified skin (21) and the liquid core (2).

4. Method according to Claim 1, 2 or 3, **characterized in that** the variables strand geometry, strand shell thickness, time, strand material, coolant pressure and volume and coolant temperature are also used to determine the required cooling of the strand (1) as a function of the solidification boundary (22) between the solidified skin (21) and the liquid core (2).

5. Method according to Claim 1, 2, 3 or 4 in which at least two reduction stands (9, 10, 11) are arranged downstream of the cooling device (5), **characterized in that** at least two reduction stands (9, 10, 11) are assigned a set solidification boundary between the solidified skin (21) and the liquid core (2) of the strand (1) when it enters the reduction stand (9, 10, 11) in question.

6. Method according to Claim 1, 2, 3, 4 or 5, **characterized in that** the action of the reduction in thickness produced by the reduction stand (9, 10, 11), in particular the position of the solidification boundary (22) between solidified skin (21) and liquid core (2), is also taken into account in the temperature and solidification model (13).

7. Method according to Claim 5, **characterized in that** the modelling of the reduction in thickness produced by the reduction stand (9, 10, 11) is carried out using at least one of the variables reduction force and degree of reduction in thickness.

8. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** at least one of the variables reduction force and degree of reduction is measured in the reduction stand (9, 10, 11) and is used to adapt the temperature and solidification model (13).

9. Method according to Claim 8, **characterized in that** the variables reduction force and degree of reduction in the reduction stand (9, 10, 11) are measured and are used to adapt the temperature and solidification model (13).

10. Continuous-casting installation for producing a strand (1), in particular using the method according to one of the preceding claims, the continuous-casting installation having at least one cooling device (5) for cooling the strand (1) and at least one associated reduction stand (9, 10, 11) for reducing the thickness of the strand (1), and a computing device for controlling the cooling of the strand by means of the cooling device (5), **characterized in that** a temperature and solidification model (13) for such a setting of the solidification boundary (22) between a solidified skin (21) and a liquid core (2) of the strand (1) when the strand (1) enters the reduction stand (9, 10, 11) is implemented on the computing device, and **in that** the solidification boundary (22) corresponds to a predetermined set solidification boundary between the solidified skin (21) and the liquid core (2).

Revendications

1. Procédé de production d'une barre (1) en métal au moyen d'une installation de coulée continue qui comprend au moins un dispositif (5) de refroidissement destiné à refroidir la barre (1), au moins une cage (9, 10, 11) de réduction destinée à réduire l'épaisseur de la barre (1) étant associée au dispositif (5) de refroidissement, la barre (1) comprenant lors de la réduction d'épaisseur une enveloppe (21) solidifiée et un coeur (2) liquide,

caractérisé en ce que l'on règle le refroidissement au moyen d'un modèle (13) de température et de solidification de manière à ce que la limite (22) de solidification entre l'enveloppe (21) solidifiée et le coeur (2) liquide corresponde, lors de l'entrée de la barre (1) dans la cage (9, 10, 11) de réduction, à une limite de solidification de

consigne donnée à l'avance entre l'enveloppe (21) solidifiée et le coeur (2) liquide.

2. Procédé suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'on détermine, notamment en temps réel et en permanence par le modèle (13) de température et de solidification, la limite (22) de solidification entre l'enveloppe (21) solidifiée et le coeur (2) liquide en fonction du refroidissement de la barre (1) et **en ce que** l'on définit le refroidissement nécessaire de la barre (1) de façon itérative en fonction de la limite (e_0) de solidification de consigne donnée à l'avance entre l'enveloppe (21) solidifiée et le coeur (2) liquide, en réitérant l'itération jusqu'à ce que l'écart de la limite (e_i) de solidification déterminée par le modèle (13) de température et de solidification entre l'enveloppe (21) solidifiée et le coeur (2) liquide à la limite (e_i) de solidification de consigne donnée à l'avance entre l'enveloppe (21) solidifiée et le coeur (2) liquide soit inférieur à une valeur de tolérance donnée à l'avance.
3. Procédé suivant la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que**, pour définir le refroidissement nécessaire de la barre (1) en fonction de la limite de solidification de consigne donnée à l'avance entre l'enveloppe (21) solidifiée et le coeur (2) liquide, on utilise au moins une autre grandeur choisie parmi la vitesse de la barre, la géométrie de la barre, l'épaisseur de peau de la barre, la longueur de la lingotière, la durée, le matériau de la barre, la pression moyenne de refroidissement ou le volume moyen de refroidissement, la dimension des gouttelettes du fluide de refroidissement et la température du fluide de refroidissement.
4. Procédé suivant l'une des revendications 1, 2 ou 3, **caractérisé en ce que**, pour définir le refroidissement nécessaire de la barre (1) en fonction de la limite (22) de solidification entre l'enveloppe (21) solidifiée et le coeur (2) liquide, on utilise également les grandeurs telles que la géométrie de la barre, l'épaisseur de la peau de la barre, la durée, la matière de la barre, la pression du fluide de refroidissement ou le volume du fluide de refroidissement et la température du fluide de refroidissement.
5. Procédé suivant la revendication 1, 2, 3 ou 4, dans lequel il est monté, en aval du dispositif (5) de refroidissement, au moins deux cages (9, 10, 11) de réduction, **caractérisé en ce que** l'on associe à au moins deux cages (9, 10, 11) de réduction une limite de solidification de consigne entre l'enveloppe (21) solidifiée et le coeur (2) liquide de la barre (1) lors de l'entrée dans la cage (9, 10, 11) respective de réduction.
6. Procédé suivant la revendication 1, 2, 3, 4 ou 5, **caractérisé en ce que** l'on tient compte, dans le modèle (13) de température et de solidification, de l'effet de la réduction d'épaisseur par la cage (9, 10, 11) de réduction, notamment de la position de la limite (22) de solidification entre l'enveloppe (21) solidifiée et le coeur (2) liquide.
7. Procédé suivant la revendication 5, **caractérisé en ce que** l'on effectue la modélisation de la réduction d'épaisseur par la cage (9, 10, 11) de réduction par au moins l'une des grandeurs que sont la force de réduction et le degré de réduction d'épaisseur.
8. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on mesure au moins l'une des grandeurs que sont la force de réduction et le degré de réduction dans la cage (9, 10, 11) de réduction et on les utilise pour adapter le modèle (13) de température et de solidification.
9. Procédé suivant la revendication 8, **caractérisé en ce que** l'on mesure les grandeurs que sont la force de réduction et le degré de réduction dans la cage (9, 10, 11) de réduction et on les utilise pour adapter le modèle (13) de température et de solidification.
10. Installation de coulée continue pour produire une barre (1), notamment par un procédé suivant l'une des revendications précédentes, dans laquelle l'installation de coulée continue comprend au moins un dispositif (5) de refroidissement destiné à refroidir la barre (1) et au moins une cage (9, 10, 11) associée de réduction destinée à réduire l'épaisseur de la barre (1), ainsi qu'une unité de calcul destinée à commander le refroidissement de la barre au moyen du dispositif (5) de refroidissement, **caractérisée en ce qu'il** est mis en oeuvre sur le dispositif de calcul un modèle (13) de température et de solidification pour un réglage tel de la limite (22) de solidification entre une enveloppe (21) solidifiée et un coeur (2) liquide de la barre (1) lors de l'entrée de la barre (1) dans la cage (9, 10, 11) de réduction que la limite (22) de solidification corresponde à une limite de solidification de consigne donnée à l'avance entre l'enveloppe (21) solidifiée et le coeur (2) liquide.

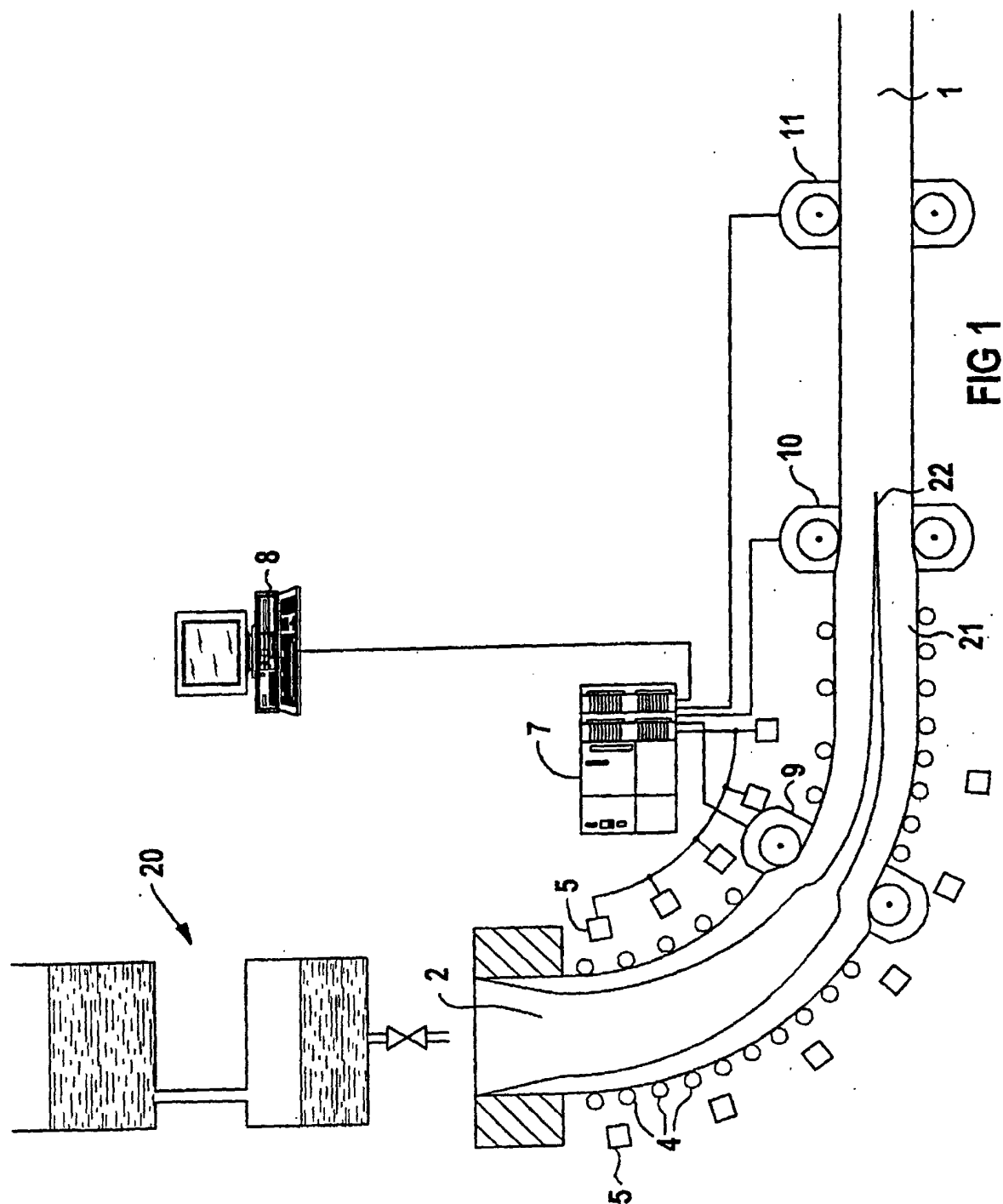


FIG 1

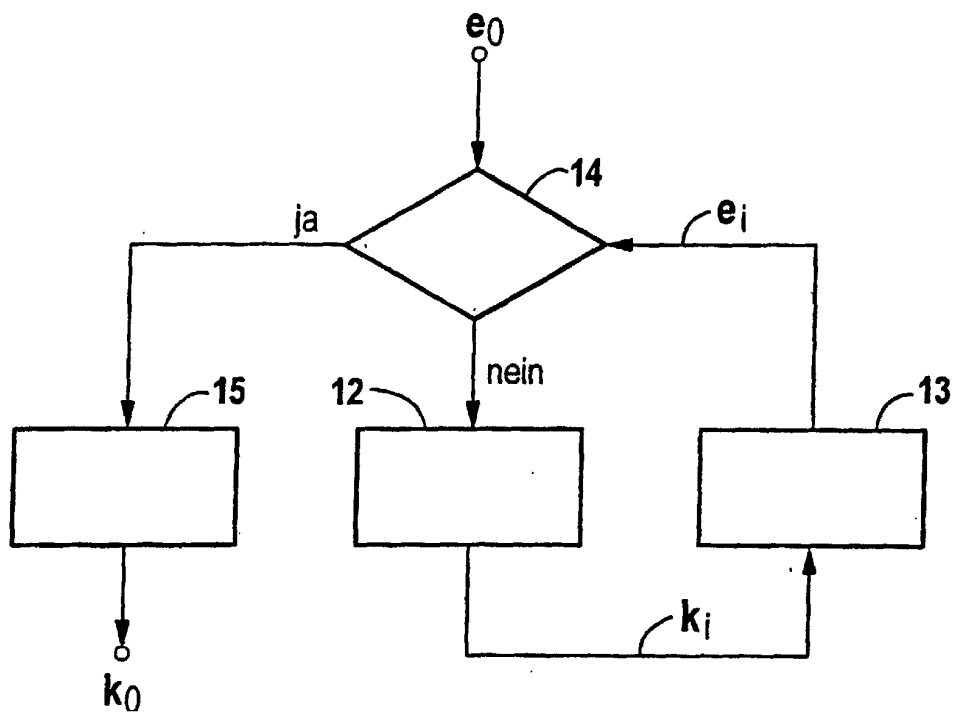


FIG 2

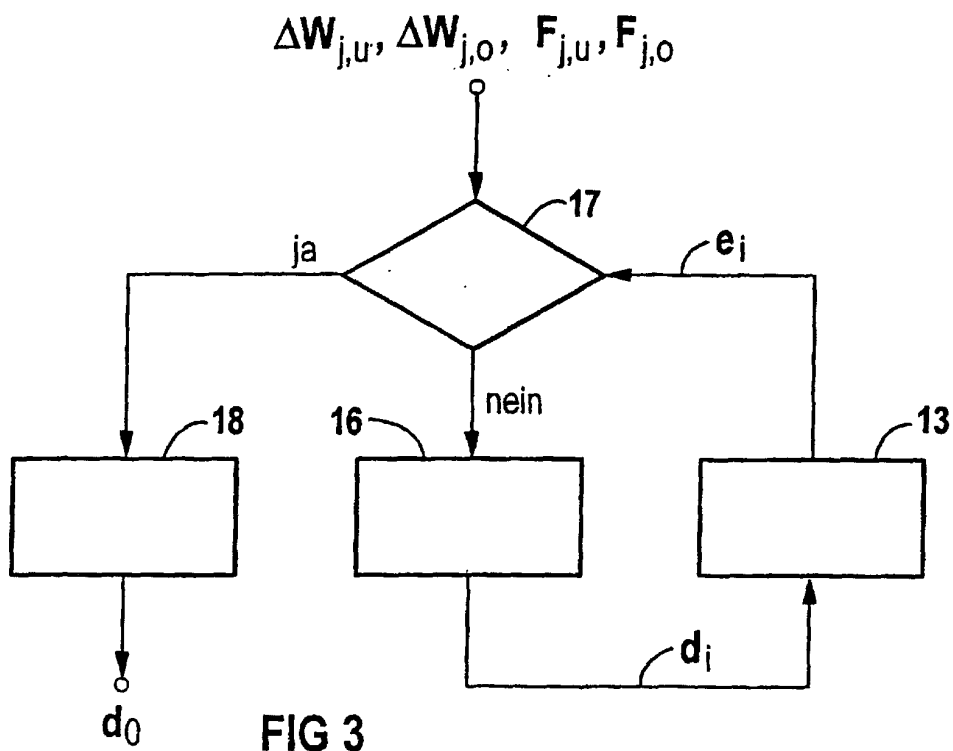


FIG 3