



(11)

EP 2 279 052 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
09.11.2016 Patentblatt 2016/45

(51) Int Cl.:
B22D 11/12 ^(2006.01) **B22D 11/20** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09749696.2**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2009/054786

(22) Anmeldetag: **22.04.2009**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2009/141206 (26.11.2009 Gazette 2009/48)

(54) VERFAHREN ZUM STRANGGIESSEN EINES METALLSTRANGS

METHOD FOR THE CONTINUOUS CASTING OF A METAL STRAND

PROCÉDÉ DE COULÉE CONTINUE D'UNE BARRE MÉTALLIQUE

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

(30) Priorität: **21.05.2008 AT 8162008**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.02.2011 Patentblatt 2011/05

(73) Patentinhaber: **Primetals Technologies Austria GmbH**
4031 Linz (AT)

(72) Erfinder:
• **DITTENBERGER, Kurt**
A-4060 Leonding (AT)
• **FEISCHL, Udo**
A-4204 Reichenau (AT)

- **HAUSER, Klemens**
A-4055 Pucking (AT)
- **KIBLER, Wolfgang**
A-4210 Alberndorf (AT)
- **PENNERSTORFER, Paul**
A-4600 Thalheim (AT)
- **WAHL, Helmut**
A-4222 Luftenberg (AT)

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

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A-01/89742 WO-A-03/051558
DE-A1- 4 417 808 DE-A1-102005 028 711
US-A1- 2002 070 000

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

EP 2 279 052 B1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Stranggießen eines Metallstrangs in einer Stranggießanlage.

[0002] Konkret betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Stranggießen eines Metallstrangs, insbesondere eines Stahlstrangs, in einer Stranggießanlage, wobei ein Strang mit einem, von einer Strangschale eingeschlossenen, flüssigen Kern aus einer gekühlten Durchlaufkokille ausgezogen, in einer der Durchlaufkokille nachgeordneten Strangstützeinrichtung, gestützt, mit Kühlmittel gekühlt und gegebenenfalls metallurgisch reduziert wird, wobei thermodynamische Zustandsänderungen des gesamten Strangs in einem mathematischen Simulationsmodell, beinhaltend eine Wärmeleitungsgleichung, mitberechnet werden.

[0003] Aus der DE 4417808 A1 ist ein Verfahren zum Stranggießen eines Metallstrangs bekannt, bei dem ein Strang mit von einer Strangschale eingeschlossenem flüssigen Kern aus einer gekühlten Kokille ausgezogen, anschließend in einer Strangstützeinrichtung gestützt und mit Kühlmittel gekühlt wird. Die im Zuge des Stranggussprozesses passierenden Zustandsänderungen werden mittels eines mathematischen Simulationsmodells, beinhaltend die Wärmeleitungsgleichung, für den gesamten Strang in Echtzeit mitberechnet und die Kühlung des Strangs in Abhängigkeit der berechneten thermodynamischen Zustandsänderungen eingestellt.

[0004] Aus der DE 10122118 A1 ist ein Verfahren zum Stranggießen bekannt, bei dem ein Metallstrang aus einer Kokille ausgezogen, in einer Strangstützeinrichtung gestützt, mit Kühlmittel gekühlt und von wenigstens einem Paar von Strangstützrollen einer metallurgischen Reduktion, konkret einer Dickenreduktion in Form einer Liquid Core Reduction, unterzogen wird.

[0005] Aus den Schriften WO 01/89742 A, DE 10 2005 028711 A1, WO 03/051558 A, US 2002/070000 A1 und DE 44 17 808 A1 sind Verfahren zum Anstellen eines oder mehrerer Rollensegmente in einer Stranggießanlage für Metalle bekannt, wobei gemäß der WO 01/89742 A die Rollen im Segmentoberrahmen und im Segmentunterrahmen durch Paare von hydraulischen Kolben-Zylinder-Einheiten an Rahmentraversen positions- und/oder druckgeregelt angestellt werden, wobei von einem positionsauf einen druckgeregelten Betrieb zum Führen und/oder Drücken des Gießstrangs umgeschaltet wird, wenn der Druck innerhalb des jeweiligen Paares von Kolben-Zylinder-Einheiten einen vorgegebenen Höchstwert erreicht.

[0006] Dem Fachmann ist weiters bekannt, dass ein Metallstrang beim Stranggießen im Zuge seiner Erstarrung einer Schrumpfung, d.h. einer Änderung von Strangabmessungen, unterworfen ist. Die Größe der auftretenden Strangschrumpfungen ist abhängig von Betriebsparametern der Stranggießanlage, beispielsweise von physikalischen Parametern des zu vergießenden Metalls, der Gießtemperatur, der Gießgeschwindigkeit, der Strangdicke oder der Strangkühlung.

[0007] Die während des Stranggießprozesses auftretenden Änderungen der Betriebsparameter einer Stranggießanlage - beispielsweise Änderungen der Gießgeschwindigkeit oder der Strangkühlung - bleiben bzgl. der Abstände der Strangstützrollen der Strangstützeinrichtung unberücksichtigt und führen in weiterer Folge zu Qualitätsminderungen des Metallstrangs.

[0008] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, mit welchem die Produktqualität eines Metallstrangs, beispielsweise durch eine Verringerung der Porosität und/oder von Seigerungen, einer verbesserten Oberflächenqualität und/oder Formhaltigkeit, weiter verbessert werden kann.

[0009] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, bei dem im mathematischen Simulationsmodell eine natürliche Schrumpfung des Strangs in Echtzeit unter Berücksichtigung der physikalischen Parameter des Metalls, der Temperatur des Metalls im Gießverteiler, der ständig gemessenen Auszugsgeschwindigkeit, der Strangkühlung und der Dicke des Strangs mitberechnet wird und an den Strang anstellbare Strangführungsrollen der Strangstützeinrichtung unter Berücksichtigung der natürlichen Schrumpfung des Metallstrangs eingestellt werden.

[0010] Bei der Berechnung der natürlichen Schrumpfung des Strangs wird im mathematischen Simulationsmodell in Echtzeit eine Wärmeleitungsgleichung unter Berücksichtigung der physikalischen Parameter des Metalls, der Temperatur des Metalls im Gießverteiler, der ständig gemessenen Auszugsgeschwindigkeit, der Strangkühlung und der Dicke des Strangs numerisch gelöst. Hierzu wird der Strang diskretisiert, d.h. beispielsweise in eine Vielzahl von Volumenelementen zerteilt, und die Wärmeleitungsgleichung unter Berücksichtigung der Anfangs- und Randbedingungen mittels eines Prozessrechners für die Vielzahl von diskreten Elementen periodisch gelöst, wodurch sich das zeitveränderliche Temperaturfeld des gesamten Strangs ergibt. Als natürliche Schrumpfung wird das thermische Ausdehnungsverhalten des Strangs in Abhängigkeit von Temperaturänderungen bezeichnet. Nachdem die thermodynamischen Zustandsänderungen für jedes diskrete Element aus der Lösung der Wärmeleitungsgleichung bekannt sind, kann die natürliche Schrumpfung jedes Elements beispielsweise aus der Volumenausdehnung bzw. -kontraktion berechnet werden. Soll der Metallstrang nicht weitergehend metallurgisch reduziert werden, so werden die Abstände der an den Strang anstellbaren Strangführungsrollen in Strangdickenrichtung derart eingestellt, dass diese Abstände der natürlichen Schrumpfung des Metallstrangs in Strangauszugsrichtung folgen.

[0011] Zwei weitere vorteilhafterweise Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich dann,

wenn eine weitergehende metallurgische Reduktion des Metallstrangs in der Strangstützeinrichtung, beispielsweise eine Liquid Core Reduction, eine Soft Reduction (insbesondere eine dynamische Soft Reduction) oder eine Oberflächenbehandlung, unter Berücksichtigung der natürlichen Schrumpfung des Metallstrangs durchgeführt wird. Dem Fachmann sind die Liquid Core Reduction und die Soft Reduction bekannt, wodurch diese metallurgischen Reduktionsarten nicht weiter erläutert werden. Eine metallurgische Oberflächenbehandlung des Metallstrangs in der Strangstützeinrichtung ist ebenfalls aus der EP 1289691 B1 bekannt. Durch die Berücksichtigung der natürlichen Schrumpfung des Metallstrangs ist sichergestellt, dass eine weitergehende metallurgische Reduktion in allen Betriebspunkten des Stranggießprozesses - und nicht wie im Stand der Technik nur in einem Betriebspunkt - in vorteilhafter Weise durchgeführt werden kann.

[0012] Auf besonders genaue und daher vorteilhafte Art und Weise wird das erfindungsgemäße Verfahren ausgeführt, wenn im mathematischen Simulationsmodell die Wärmeleitungsgleichung unter Berücksichtigung temperaturabhängiger Dichteänderungen des Metallstrangs numerisch gelöst wird. Dem Fachmann ist bekannt, dass die Dichteänderung von Metall in Abhängigkeit der Temperatur signifikante Ausmaße annehmen kann. So erhöht sich beispielsweise beim Stranggussprozess die Dichte von Stahl von ca. 7000 kg/m³ bei 1550 °C (Temperatur der Schmelze im Gießverteiler) auf ca. 7800 kg/m³ bei 300 °C (durchgestarteter Strang).

[0013] Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass bei der numerischen Lösung der Wärmeleitungsgleichung unter Berücksichtigung temperaturabhängiger Dichteänderungen des Metallstrangs approximative Gleichungen für die Enthalpie verwendet werden, welche für den gesamten Strang die exakte Masse und die exakte Enthalpie aufweisen. Mittels dieser Ausführungsform ist sichergestellt, dass die Berechnung der natürlichen Schrumpfung des Metallstrangs sowohl richtig bzgl. der Masse als auch der Enthalpie erfolgt, wodurch eine besonders hohe Genauigkeit der Lösung, d.h. der thermodynamischen Zustandsänderungen und der natürlichen Schrumpfung, sichergestellt wird.

[0014] Das Wachstum bzw. die Umwandlung zwischen unterschiedlichen Gefügearten lässt sich vorteilhaft im erfindungsgemäßen Verfahren berücksichtigen, wenn das mathematische Simulationsmodell eine die Ausbildung eines gewünschten Gefüges im Metallstrang beschreibendes Rechenmodell, in besonders vorteilhafter Weise durch die Anwendung eines kontinuierlichen Phasen-Umwandlungsmodell nach Avrami, beinhaltet.

[0015] In einer weiteren, besonders vorteilhaften Ausprägung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wird die Strangkühlung unter Berücksichtigung der errechneten thermodynamischen Zustandsänderungen eingestellt. Durch diese Maßnahme wird eine äußerst hohe Produktqualität des Metallstrangs sichergestellt, da der Metallstrang unter Berücksichtigung der thermodynamischen Zustandsänderungen abgekühlt und die natürliche Strangschrumpfung bei der Einstellung der Abstände der Strangführungsrollen mitberücksichtigt wird.

[0016] Das erfindungsgemäße Verfahren kann uneingeschränkt beim Gießen von Metallsträngen mit Knüppel-, Vorblock-, Brammen- oder Dünnbrammenquerschnitt beliebiger Abmessungen verwendet werden, um die Qualität der gegossenen Metallstränge zu verbessern.

[0017] Eine weitere vorteilhafte Ausprägung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, die an den Strang anstellbaren Strangführungsrollen so anzustellen, dass die Dicke des Strangs einem Sollwert möglichst entspricht. Mittels dieser Ausprägung des Verfahrens ist es möglich, die anstellbaren Strangführungsrollen so anzustellen, dass die Dicke bei einer bestimmten Position in Auszugsrichtung des Strangs (z.B. bei einer bestimmten Führungsrolle der Strangstützeinrichtung) einem Dicken-Sollwert, dh. einer Zieldicke des Strangs, möglichst entspricht, sodass bereits beim Stranggießen eine hohe Dickengenauigkeit des Strangs erreicht werden kann.

[0018] Eine Ausführungsform besteht darin, dass ein Regler unter Zuhilfenahme eines Regelgesetzes und unter Berücksichtigung des Sollwerts und der natürlichen Schrumpfung des Strangs eine Stellgröße ermittelt, die wenigstens einer anstellbaren Strangführungsrolle zugeführt wird, sodass die Dicke des Strangs dem Sollwert möglichst entspricht. Bei dieser Ausführungsform geht der Regler entweder von der berechneten Dicke des Strangs oder von einer gemessenen Stranddicke aus. Im ersten Fall, wird die berechnete Dicke zur Ermittlung der Stellgröße herangezogen, sodass die Dicke des Strangs oder ein Abstand zwischen den Strangführungsrollen nicht gesondert erfasst werden muss.

[0019] Im zweiten Fall, wird die Dicke des Strangs mittels einer Messeinrichtung erfasst und einem Regler zugeführt, wobei die Stellgröße unter Berücksichtigung der erfassten Dicke des Strangs ermittelt wird. Mittels dieses Regelverfahrens ist eine hochgenaue Erreichung der Strangdicke möglich.

[0020] Weitere Vorteile und Merkmale der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung nicht einschränkender Ausführungsbeispiele, wobei auf die folgenden Figuren Bezug genommen wird, die Folgendes zeigen:

Fig. 1 eine Stranggussanlage in schematischer Seitenansicht

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines hydraulisch anstellbaren Segments einer Strangstützeinrichtung

[0021] Ein Stahlstrang 1 wird aus einer Stahlschmelze 2 mit einer bestimmten chemischen Zusammensetzung durch Gießen in einer gekühlten Durchlaufkokille 3 gebildet. Die Stahlschmelze 2 wird aus einer Gießpfanne 4 über ein

Zwischengefäß 5 und ein vom Zwischengefäß 5 mittels eines unter den in der Durchlaufkokille 3 gebildeten Gießspiegel reichenden Gießrohres 6 in die Durchlaufkokille 3 gegossen. Unterhalb der Durchlaufkokille 3 sind Strangführungsrollen 7 einer Strangstützeinrichtung zur Abstützung des Stahlstrangs 1 vorgesehen, der noch einen flüssigen Kern 8 und zunächst eine nur sehr dünne Strangschale 9 aufweist. Der aus der Durchlaufkokille mit gerader Achse austretende Stahlstrang 1 wird in einer Biegezone 10 in eine Kreisbogenbahn 11 umgelenkt und von Strangführungsrollen 7, welche in mehreren hydraulisch anstellbaren Segmenten 13 angeordnet sind, gestützt. In einer der Kreisbogenbahn 11 nachfolgenden Richtzone 12 wird der Stahlstrang 1 wiederum geradegerichtet und über einen Auslaufrollgang ausgefördert oder direkt online dickenreduziert, z.B. mittels eines online angeordneten Walzgerüsts. Zur Kühlung des Stahlstranges 1 wird dieser direkt oder indirekt - über mit einer Innenkühlung versehene Strangführungsrollen 7 - gekühlt, wodurch eine bestimmte Temperatur des Stahlstrangs 1 eingestellt werden kann. Die Versorgung des Stahlstranges 1 mit der für das gewünschte Gefüge des Stahlstranges 1 notwendigen Kühlmittelmenge erfolgt über einen geschlossenen Regelkreis mittels eines Prozessrechners 14. Eine derartige Strangkühlung unter Berücksichtigung der online berechneten thermodynamischen Zustandsänderungen ist aus der DE 4417818 A1 der Anmelderin bekannt. In eine Eingabeeinheit des Prozessrechners 14 können beispielsweise noch die physikalischen Parameter des Stahls 2, beispielsweise die Dichte, die spezifische Wärmekapazität und -leitfähigkeit, weiters Parameter der Strangkühlung, die Rollenteilung, die Strangbreite, die Strangdicke in der Kokille sowie Messwerte der Strangdicke in den Segmenten 13 und die ständig gemessene Gießgeschwindigkeit eingegeben werden. In dem Prozessrechner 14 werden anhand eines mathematischen Simulationsmodells, aufweisend eine Wärmeleitungsgleichung und ein metallurgisches Rechenmodell zur Berücksichtigung der Phasenumwandlungskinetik nach Avrami, die Soll-Wassermengen der Strangkühlung errechnet. Der Stahlstrang 1 wird in jedem Segment kontrolliert abgekühlt, wobei die Kühlwassermenge in einzelnen Kühlzonen des Segments von jeweils einem Ventil (in Fig. 1 ist aus Gründen der Übersichtlichkeit nur ein Ventil bei einem Segment dargestellt) der Strangkühlung eingestellt wird, welches wiederum von einer Ausgabeeinheit des Prozessrechners 14 angesteuert wird. Aus der Lösung der Wärmeleitungsgleichung wird auch die Volumenskontraktion des Stahlstrangs 1 aufgrund der thermodynamischen Zustandsänderungen mittels der Formel

$$dV = \beta \cdot V_0 \cdot dT$$

berechnet, wobei

β Volumenausdehnungskoeffizient
 V Volumen eines Elements
 V_0 Volumen bei Referenztemperatur
 T Temperatur.

[0022] Soll der Stahlstrang 1 keiner weitergehenden metallurgischen Reduktion, beispielsweise Liquid Core Reduction, Soft Reduction oder eine Oberflächenbehandlung des Strangs unterzogen werden, wo wird der Abstand der an den Strang anstellbaren Strangführungsrollen 7 der Segmente 13 über einen oder mehrere Hydraulikzylinder 15 auf die errechnete Strangdicke, d.h. unter Berücksichtigung der natürlichen Schrumpfung, eingestellt. Soll jedoch eine weitergehende metallurgische Reduktion des Stahlstrangs durchgeführt werden, so werden die für die Reduktion notwendigen Dickenänderungen den errechneten Strangdicken - unter Berücksichtigung der natürlichen Schrumpfung - überlagert.

[0023] Vorzugsweise werden die thermodynamischen Zustandsänderungen des Stahlstrangs 1 mittels einer Wärmeleitungsgleichung unter Berücksichtigung der temperaturabhängigen Dichteänderung des Stahlstrangs berechnet. Eine zweidimensionale Wärmeleitungsgleichung lautet beispielsweise

$$\left(\frac{\partial E_{trans}(\vec{x}, t)}{\partial t} + v_{cast}(t) \frac{\partial E_{trans}(\vec{x}, t)}{\partial z} \right) = \frac{\partial^2 u(\vec{x}, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(\vec{x}, t)}{\partial y^2}$$

wobei

t Zeit in [s]
 x die Koordinate in Strangdickenrichtung
 y die Koordinate in Strangauszugsrichtung

$\frac{\partial}{\partial t}$ partielle Ableitung nach der Zeit t

$\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}$ partielle Ableitungen nach dem Ort x, y

$\vec{x}$ Ortsvektor in einem rechtwinkligen Koordinatensystem

$E_{mass}(\vec{x}, t)$ Massenbezogene Enthalpie an der Stelle x zur Zeit t

ξ Dimensionslose Laufvariable

$$u(\vec{x}, t) = \int_{T_{ref}}^{T(\vec{x}, t)} \lambda(\xi) \cdot d\xi$$

$T(\vec{x}, t)$ Temperatur an der Stelle x zur Zeit t

$E_{trans}(\vec{x}, t)$ Transformierte massenbezogene Enthalpie an der Stelle x zur Zeit t

[0024] Das erfindungsgemäße Verfahren ist unabhängig von der Dimension der Wärmeleitungsgleichung und kann daher uneingeschränkt auch mit Gleichungen anderer Dimension, z.B. dreidimensionalen Gleichungen, verwendet werden.

[0025] Vorteilhafterweise werden zwei Ansätze für eine, bzgl. der Masse und der Enthalpie global richtige, transformierte Enthalpie $E_{trans}(\vec{x}, t)$ verwendet. Oberhalb des Durcherstarrungspunkts lautet der Ansatz

$$E_{trans}(\vec{x}, t) = \int_{T_{ref}}^{T(\vec{x}, t)} [\rho(\xi) \cdot \dot{E}_{mass}(\xi) - \dot{\rho}(\xi) (E_{mass}(T_{tund}) - E_{mass}(\xi))] d\xi.$$

Hingegen verwendet man unterhalb des Durcherstarrungspunkts den Ansatz

$$E_{trans}(\vec{x}, t) = \int_{T_{ref}}^{T(\vec{x}, t)} \rho(\xi) \cdot \dot{E}_{mass}(\xi) \cdot d\xi$$

Hierin bedeuten

T_{ref} eine beliebige, aber konstante Referenztemperatur (üblicherweise 25 °C)

T_{tund} Temperatur des Metalls im Gießspiegel in [° K]

$\dot{E}_{trans}(\vec{x}, t)$ Zeitliche Ableitung der massenbezogenen Enthalpie

[0026] Einfacherweise wird die Wärmeleitungsgleichung auf Lagrange'sche Koordinaten $\vec{x}_{Lag}$ transformiert, d.h. von einem mit der Strangauszugsbewegung mitbewegten Beobachter betrachtet. Die Wärmeleitungsgleichung in Lagrange'schen Koordinaten kann mit Standardverfahren der numerischen Mathematik, beispielsweise dem Verfahren der Finiten Volumen, gelöst werden.

[0027] In Fig. 2 ist ein einstellbares Segment 13 der Strangstützeinrichtung näher gezeigt. Pro Segment 13 kann ein paralleler (wie dargestellt) oder konischer Verlauf der Strangdicke des Stahlstrangs 1 eingestellt werden. Hierbei kann die Dicke des Stahlstrangs 1 über eine hydraulische Anstellung des Segments 13 verstellt werden, wobei in einem Wegmesssystem eines Hydraulikzylinders 15 die Ist-Position und somit auch den Abstand zwischen gegenüberliegenden Strangführungsrollen 7 gemessen und an den Prozessrechner weitergegeben wird. Der Prozessrechner 14 errechnet über die Lösung der Wärmeleitungsgleichung die natürliche Strangschumpfung und berücksichtigt diese bei weiteren metallurgischen Reduktionen, im konkreten Fall einer LCR Reduktion mit einem flüssigen Kern 8, und gibt somit die Soll-Dicke des Stahlstrangs 1 vor. Von einem nicht dargestellten Positionsregler wird mittels eines Soll-Ist-Vergleichs der Strangdicke eine Stellgröße ermittelt und an ein elektro-hydraulisches Ventil, welches dem Hydraulikzylinder 15 zugeordnet ist, ausgegeben. Prinzipiell können die Segmente 13 einerseits für die Nachstellung der Strangführungsrollen 7 an die natürliche Strangschumpfung verwendet werden, andererseits lassen sich über entsprechende Stellungen der Rollen 7 natürlich sämtliche metallurgischen Reduktionen in der Strangstützeinrichtung realisieren. Auf der Außenseite stützt sich der Strang 1 über die Strangstützrollen 7 an einem Unterteil eines Segmentrahmens 17 ab, an der Innenseite des Strangs erfolgt die Abstützung über Strangstützrollen 7 an einem Oberteil des Segmentrahmens 16. Die Auszugs-

richtung des Stahlstrangs 1 ist durch einen Pfeil dargestellt.

Bezugszeichenliste

5 [0028]

- | | | |
|----|----|------------------------------------|
| | 1 | Stahlstrang |
| | 2 | Stahlschmelze |
| | 3 | Durchlaufkokille |
| 10 | 4 | Gießpfanne |
| | 5 | Zwischengefäß |
| | 6 | Gießrohr |
| | 7 | Strangführungsrolle |
| | 8 | Flüssiger Kern |
| 15 | 9 | Strangschale |
| | 10 | Biegezone |
| | 11 | Kreisbogenbahn |
| | 12 | Richtzone |
| | 13 | Segment der Strangstützeinrichtung |
| 20 | 14 | Prozessrechner |
| | 15 | Hydraulikzylinder |
| | 16 | Segmentrahmen Oberteil |
| | 17 | Segmentrahmen Unterteil |

25

Patentansprüche

1. Verfahren zum Stranggießen eines Metallstrangs (1) in einer Stranggießanlage, wobei der Metallstrang (1) mit einem, von einer Strangschale (9) eingeschlossenen, flüssigen Kern (8) aus einer gekühlten Durchlaufkokille (3) ausgezogen, in einer der Durchlaufkokille (3) nachgeordneten Strangstützeinrichtung, gestützt und mit Kühlmittel gekühlt wird, wobei thermodynamische Zustandsänderungen des gesamten Metallstrangs (1) in einem mathematischen Simulationsmodell, beinhaltend eine Wärmeleitungsgleichung, mitberechnet werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** im mathematischen Simulationsmodell eine natürliche Schrumpfung des Metallstrangs (1) in Echtzeit unter Berücksichtigung der physikalischen Parameter des Metalls, der Temperatur des Metalls im Gießverteiler (5), der ständig gemessenen Auszugsgeschwindigkeit, der Strangkühlung und der Dicke des Metallstrangs (1) mitberechnet wird und an den Metallstrang (1) anstellbare Strangführungsrollen (7) der Strangstützeinrichtung unter Berücksichtigung der natürlichen Schrumpfung des Metallstrangs (1) eingestellt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Metallstrang (1) als ein Stahlstrang ausgebildet ist.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Metallstrang (1) in der der Durchlaufkokille (3) nachgeordneten Strangstützeinrichtung metallurgisch reduziert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine metallurgische Reduktion des Metallstrangs (1) in der Strangstützeinrichtung unter Berücksichtigung der natürlichen Schrumpfung des Metallstrangs (1) durchgeführt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** als metallurgische Reduktion entweder eine Liquid Core Reduction, eine Soft Reduction oder eine Oberflächenbehandlung des Metallstrangs (1) durchgeführt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im mathematischen Simulationsmodell die Wärmeleitungsgleichung unter Berücksichtigung temperaturabhängiger Dichteänderungen des Metallstrangs (1) numerisch gelöst wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der numerischen Lösung der Wärmeleitungsgleichung unter Berücksichtigung temperaturabhängiger Dichteänderungen des Metallstrangs (1) approximierte Gleichungen für die Enthalpie verwendet werden, welche für den gesamten Metallstrang (1) die exakte Masse und die exakte Enthalpie aufweisen.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das mathematische Simulationsmodell eine die Ausbildung eines gewünschten Gefüges im Metallstrang (1) beschreibendes Rechenmodell beinhaltet.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im mathematischen Simulationsmodell ein Phasen-Umwandlungsmodell des Metalls integriert ist, insbesondere ein kontinuierliches Phasen-Umwandlungsmodell nach Avrami.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strangkühlung unter Berücksichtigung der errechneten thermodynamischen Zustandsänderungen eingestellt wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die an den Metallstrang (1) anstellbaren Strangführungsrollen (7) so angestellt werden, dass die Dicke des Metallstrangs (1) einem Sollwert möglichst entspricht.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Regler unter Zuhilfenahme eines Regelgesetzes und unter Berücksichtigung des Sollwerts und der natürlichen Schrumpfung des Metallstrangs (1) eine Stellgröße ermittelt, die wenigstens einer anstellbaren Strangführungsrolle (7) zugeführt wird, sodass die Dicke des Metallstrangs (1) dem Sollwert möglichst entspricht.
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dicke des Metallstrangs (1) mittels einer Messeinrichtung erfasst und einem Regler zugeführt wird, wobei die Stellgröße unter Berücksichtigung der erfassten Dicke des Metallstrangs (1) ermittelt wird.

Claims

1. Method for the continuous casting of a metal strand (1) in a continuous casting plant, wherein the metal strand (1) having a liquid core (8) enclosed by a strand shell (9) is withdrawn from a cooled in-line mold (3), supported in a strand support device downstream of the in-line mold (3) and cooled using a coolant, wherein thermodynamic state changes of the entire metal strand (1) are co-calculated in a mathematical simulation model involving a thermal conduction equation, **characterized in that** a natural shrinkage of the metal strand (1) is co-calculated in real time in the mathematical simulation model while taking into account the physical parameters of the metal, the temperature of the metal in the tundish (5), the constantly measured output speed, the strand cooling and the thickness of the metal strand (1), and strand guide rolls (7) of the strand support device, which can be set to the metal strand (1), are adjusted while taking the natural shrinkage of the metal strand (1) into account.
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the metal strand (1) is configured as a steel strand.
3. Method according to either of the preceding claims, **characterized in that** the metal strand (1) is metallurgically reduced in the strand support device downstream of the in-line mold (3).
4. Method according to Claim 3, **characterized in that** a metallurgical reduction of the metal strand (1) is carried out in the strand support device while taking the natural shrinkage of the metal strand (1) into account.
5. Method according to Claim 4, **characterized in that** either a liquid core reduction, a soft reduction or a surface treatment of the metal strand (1) is carried out as the metallurgical reduction.
6. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the thermal conduction equation in the mathematical simulation model is solved numerically while taking into account temperature-dependent density changes of the metal strand (1).
7. Method according to Claim 6, **characterized in that** approximated equations for the enthalpy, which have the correct mass and the correct enthalpy for the entire metal strand (1), are used in the numerical solution of the thermal conduction equation while taking into account temperature-dependent density changes of the metal strand (1).
8. The method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the mathematical simulation model involves a calculation model which describes the formation of a desired structure in the metal strand (1).

9. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** a phase transition model of the metal, in particular a continuous phase transition model according to Avrami, is integrated into the mathematical simulation model.
- 5 10. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the strand cooling is adjusted while taking the calculated thermodynamic state changes into account.
11. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the strand guide rolls (7), which can be set to the metal strand (1), are set so that the thickness of the metal strand (1) corresponds as far as possible to a setpoint value.
- 10 12. Method according to Claim 11, **characterized in that** a controller determines, with the aid of a control law and while taking into account the setpoint value and the natural shrinkage of the metal strand (1), a setpoint quantity which is delivered to at least one settable strand guide roll (7) so that the thickness of the metal strand (1) corresponds as far as possible to the setpoint value.
- 15 13. Method according to Claim 12, **characterized in that** the thickness of the metal strand (1) is recorded by means of a measuring device and delivered to a controller, the setpoint quantity being determined while taking the recorded thickness of the metal strand (1) into account.
- 20

Revendications

- 25 1. Procédé de coulée continue d'une barre métallique (1) dans une installation de coulée continue, selon lequel la barre métallique (1) ayant un noyau liquide (8) entouré par une croûte solidifiée (9), est extraite d'une lingotière sans fond (3) refroidie, soutenue dans un dispositif de soutien de barre placé en aval de la lingotière sans fond (3) et refroidie par un réfrigérant, des changements d'état thermodynamiques de l'ensemble de la barre métallique (1) étant calculés dans un modèle de simulation mathématique contenant une équation de conduction thermique, **caractérisé en ce que** dans le modèle de simulation mathématique, un retrait naturel de la barre métallique (1) est
- 30 calculé en temps réel, en tenant compte des paramètres physiques du métal, de la température du métal dans le répartiteur de coulée (5), de la vitesse d'extraction mesurée en permanence, du refroidissement et de l'épaisseur de la barre métallique (1), et des rouleaux de guidage de barre (7), applicables contre la barre métallique (1), du dispositif de soutien de barre sont réglés en tenant compte du retrait naturel de la barre métallique (1).
- 35 2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la barre métallique (1) se présente sous la forme d'une barre d'acier.
3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la barre métallique (1) est soumise à une réduction métallurgique dans le dispositif de soutien de barre placé en aval de la lingotière sans fond (3).
- 40 4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** une réduction métallurgique de la barre métallique (1) dans le dispositif de soutien de barre est réalisée en tenant compte du retrait naturel de la barre métallique (1).
- 45 5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** l'on réalise comme réduction métallurgique soit une « liquid core réduction » ou une « soft réduction », soit un traitement de surface de la barre métallique (1).
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** dans le modèle de simulation mathématique, l'équation de conduction thermique est résolue numériquement, en tenant compte de variations d'épaisseur de la barre métallique (1) dépendantes de la température.
- 50 7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** lors de la résolution numérique de l'équation de conduction thermique, en tenant compte de variations d'épaisseur de la barre métallique (1) dépendantes de la température, des équations approchées sont utilisées pour l'enthalpie, lesquelles comportent pour l'ensemble de la barre métallique (1) la masse et l'enthalpie exactes.
- 55 8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le modèle de simulation mathématique comprend un modèle de calcul décrivant la formation d'une structure souhaitée dans la barre métallique (1).

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'un** modèle de transformation de phase du métal est intégré dans le modèle de simulation mathématique, en particulier un modèle de transformation de phase continue selon Avrami.

5 10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le refroidissement de la barre est réglé en tenant compte des changements d'état thermodynamiques calculés.

10 11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les rouleaux de guidage de barre (7) applicables contre la barre métallique (1) sont réglés de manière que l'épaisseur de la barre métallique (1) corresponde autant que possible à une valeur de consigne.

15 12. Procédé selon la revendication 11, **caractérisé en ce qu'un** régulateur détermine à l'aide d'une loi de régulation, et en tenant compte de la valeur de consigne et du retrait naturel de la barre métallique (1), une grandeur de réglage qui est envoyée à au moins un rouleau de guidage de barre (7) réglable de manière que l'épaisseur de la barre métallique (1) corresponde autant que possible à la valeur de consigne.

20 13. Procédé selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** l'épaisseur de la barre métallique (1) est détectée au moyen d'un dispositif de mesure et envoyée à un régulateur, la grandeur de réglage étant déterminée en tenant compte de l'épaisseur détectée de la barre métallique (1).

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

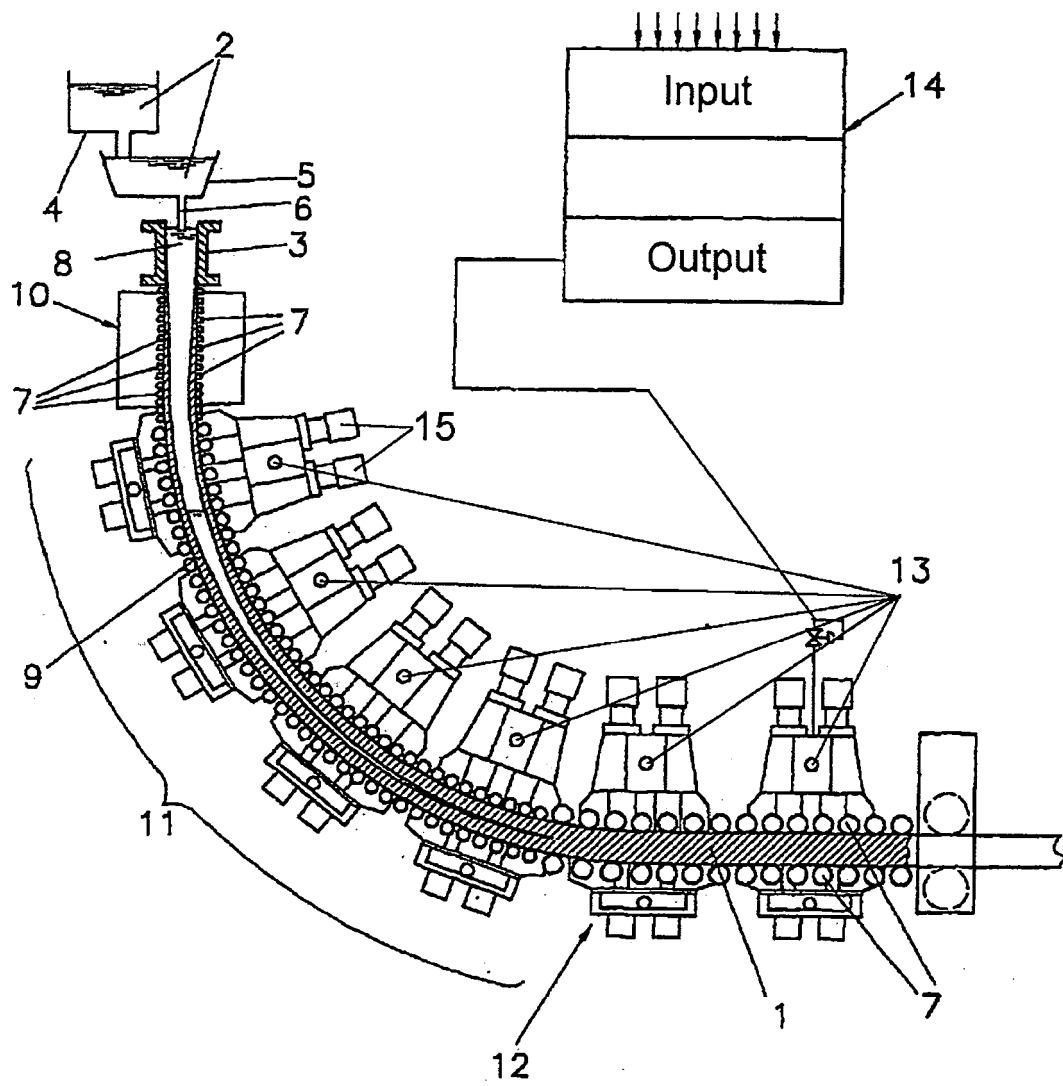
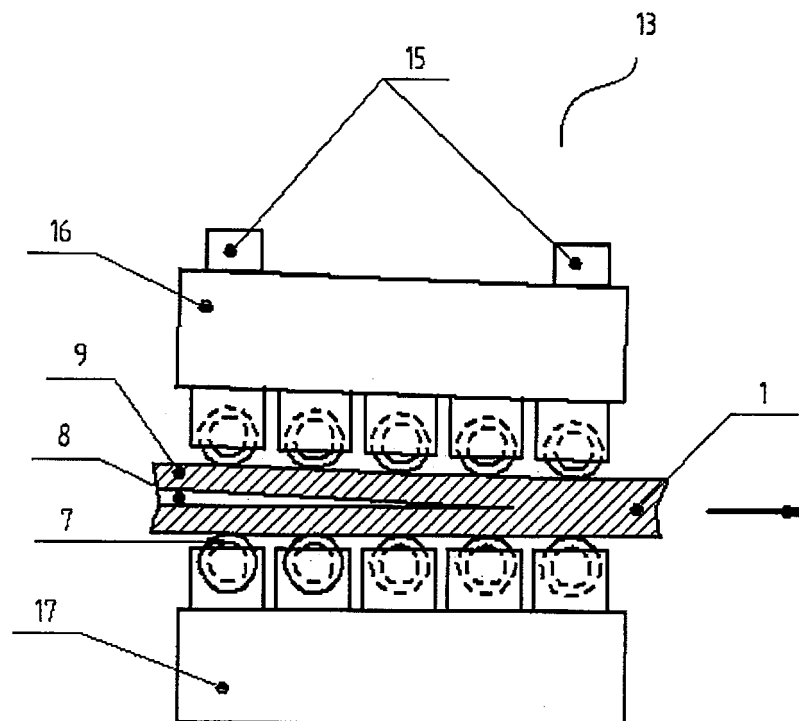


Fig. 2



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 4417808 A1 **[0003]** **[0005]**
- DE 10122118 A1 **[0004]**
- WO 0189742 A **[0005]**
- DE 102005028711 A1 **[0005]**
- WO 03051558 A **[0005]**
- US 2002070000 A1 **[0005]**
- EP 1289691 B1 **[0011]**
- DE 4417818 A1 **[0021]**