



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
28.06.2017 Patentblatt 2017/26

(51) Int Cl.:
B22D 11/22 (2006.01) B22D 11/16 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16201292.6**

(22) Anmeldetag: **30.11.2016**

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

(30) Priorität: **30.11.2015 DE 102015223788**

(71) Anmelder: **SMS group GmbH**
40237 Düsseldorf (DE)

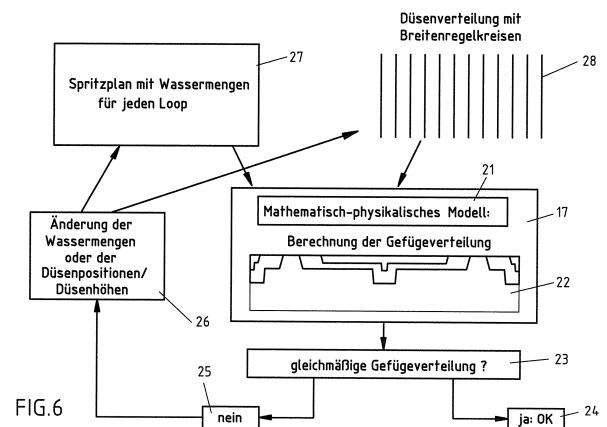
(72) Erfinder:
• **Erdem-Hornauer, Esra**
40629 Düsseldorf (DE)
• **Reifferscheid, Markus**
41352 Korschenbroich (DE)
• **Plociennik, Uwe**
40882 Ratingen (DE)
• **Heimann, Thomas**
58644 Iserlohn (DE)

(74) Vertreter: **Klüppel, Walter**
Hemmerich & Kollegen
Patentanwälte
Hammerstraße 2
57072 Siegen (DE)

(54) **VERFAHREN ZUM STRANGGIEßEN EINES METALLSTRANGES UND DURCH DIESES VERFAHREN ERHALTENER GIEßSTRANG**

(57) Bei einem Verfahren zur Herstellung eines Metallstrangs umfassend das Vergießen einer Metallschmelze im Stranggießverfahren zu einem Gießstrang (6), wobei unter Zugrundelegung eines oder mehrerer die zeitabhängige Temperaturverteilung und/oder die Ausbildung eines gewünschten Gefüges über die Gießstranglänge berechnender Simulations- und Rechenmodelle (21) ständig während der Herstellung des Gießstrangs (6) Werte mitberechnet werden, welche die Ausbildung der jeweiligen Gefügezusammensetzung beschreiben und/oder diese beeinflussende Verfahrensparameter steuern und auf Basis welcher online dynamisch die Kühlung des Gießstrangs (6) eingestellt wird, soll eine Lösung geschaffen werden, mit welcher sich der Einfluss der Kühlung auf die Herstellung eines beim Stranggießen erhaltenen Gießstranges weiter verbessern lässt. Dies wird dadurch erreicht, dass das oder die Simulations- und Rechenmodelle (21) in Abhängigkeit von der berechneten aktuellen Temperaturverteilung über die Gießstranglänge und/oder in einem jeweils betrachteten Querschnitt des Gießstrangs die örtlich auf den Gießstrang aufzubringende Kühlmittelmenge und/oder die Gießgeschwindigkeit und/oder die Rollen- und/oder Segmentanstellung derart regeln, dass die gewünschte Gefügezusammensetzung oder eine gewünschte Lage der Sumpfspitze oder eine gewünschte geometrische Abmessung und/oder Oberflächenbeschaffenheit oder Innenstrukturbeschaffenheit des Gießstrangs (6) eingestellt

stellt wird/werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung richtet sich auf ein Verfahren zur Herstellung eines Metallstrangs, insbesondere eines Stahlstrangs, umfassend das Vergießen einer Metallschmelze, insbesondere Stahlschmelze, im Stranggießverfahren zu einem Gießstrang, der mit Kühlmittel gekühlt und gewünschtenfalls dickenreduziert wird, wobei unter Zugrundelegung eines oder mehrerer die zeitabhängige Temperaturverteilung über die Gießstranglänge und/oder die Ausbildung eines gewünschten Gefüges des Gießstrangs über die Gießstranglänge beschreibender und/oder berechnender Simulations- und Rechenmodelle, insbesondere dem sogenannten DSC(Dynamic Solidification Control)-Berechnungs- und Steuerungsprogramm, ständig während der Herstellung des Gießstrangs Werte mitberechnet werden, welche die Ausbildung der jeweiligen Gefügezusammensetzung beschreiben und/oder diese oder die Gießstrangausbildung beeinflussende Verfahrensparameter steuern und auf Basis welcher online dynamisch während der Herstellung des Gießstrangs die Kühlung des Gießstrangs und/oder die Gießgeschwindigkeit eingestellt wird.

Weiterhin richtet sich die Erfindung auf einen Gießstrang, der durch ein solches Verfahren erhalten wird.

[0002] Beim Vergießen einer Stahlschmelze in einer Stranggießanlage sinkt die Temperatur des erhaltenen Gießstranges beim Erstarren an jeder Querschnittsposition des Gießstranges während der Herstellung von der analysenabhängig ca. 1.550 °C betragenden Gießtemperatur bis unter 900 °C, teilweise bis unter 700 °C ab. Die Duktilität des eingesetzten Stahlwerkstoffes, die ein Bewertungskriterium für die Schwächung des Werkstoffes darstellt, weist in diesem Temperaturintervall lokale Minima auf. Bei der Durchführung des Gießprozesses wird daher auf die Temperaturführung besonderen Wert gelegt und diese so ausgewählt und eingestellt, dass in den risikritischen Biege- und Richtbereichen einer Stranggießanlage bei der Herstellung des Gießstranges die Duktilität hoch genug ist, um Risse zu vermeiden.

[0003] Dies wird bisher dadurch erreicht, dass der Gießstrang in der sogenannten heißen Fahrweise nur mit wenig Spritzwasser als Kühlmedium gekühlt wird. Hierdurch wird erreicht, dass die Temperaturen während der Herstellung des Gießstranges so hoch bleiben, dass der ansonsten aufgrund von sich bildenden Ausscheidungen im Stahlgefüge auftretende Duktilitätsabfall nicht auftritt. Alternativ besteht eine andere Möglichkeit zur Verminderung oder Vermeidung des Duktilitätsabfalles darin, dass der Stahl bei der Herstellung des Gießstranges sehr stark abgekühlt wird, und zwar so stark, dass der Stahl bereits die Umwandlung von γ -Eisen in α -Eisen abgeschlossen hat, wenn er in den risikritischen Biege- und Richtbereich einer Stranggießanlage eintritt. Diese Fahrweise mit einer intensiven Kühlung des erhaltenen Gießstranges hat den Vorteil, dass es aufgrund der niedrigen Temperaturen zu einer Reduzierung der Breitung des erhaltenen Gießstranges und auf den Schmalseiten des erhaltenen Gießstranges zu einer Reduzierung der Ausbauchung kommt.

[0004] Zudem besteht die Gefahr, dass es bei der Ausbildung von niedrigen Ferrit-Anteilen in dem sich einstellenden Gefüge, was beispielsweise dann der Fall ist, wenn sich zur Oberflächenseite hin Ferritsäume mit einem Volumenanteil von 5% bis 40% bilden, sich Ferritkörner auf den Austenitkorngrenzen absetzen, was wiederum zu einem erhöhten Risiko für die Bildung von Rissen in dem Gießstrang führt.

[0005] Weiterhin stellt sich bei der Abkühlung des Gießstranges die Problematik, dass bei einer ungleichmäßigen Kühlung, beispielsweise einer auf der Schmalseiten des entstehenden Gießstranges, in einem Querschnitt des Gießstranges Gefügeanteile ungleichmäßig entstehen können. Da Ferrit eine geringere Dichte und damit ein größeres spezifisches Volumen als Austenit aufweist, dehnt sich das jeweilige Stahlmaterial bei der Umwandlung von Austenit in Ferrit unterschiedlich stark aus. Wenn es nun zu einer ungleichmäßigen Kühlung des Gießstrangquerschnittes kommt, entstehen unterschiedliche Ferrit-Anteile und unterschiedliche Spannungen über den Verlauf einer Schmalseite des Gießstranges. Dies kann gegebenenfalls wiederum zu Rissen führen, insbesondere dann, wenn zusätzlich äußere Spannungen wie beispielsweise durch die Biegung des Gießstranges im Biege- oder Richtbereich einer Stranggießanlage hinzukommen.

[0006] Aus der DE 10 2012 224 502 A1 ist ein Simulations- und Rechenmodell bekannt, mittels welchem es möglich ist, beim Walzen metallischen Walzgutes, und hier insbesondere beim Walzen von Stahl in einer Warmbandstraße oder einem Grobblechwerk, ZTU(Zeit-Temperatur-Umwandlungs)-Diagramme oder Schaubilder zu berechnen und sich einstellende Gefügezusammensetzungen vorherzusagen. Basis dieses Simulations- und Rechenmodells ist ein Temperaturberechnungsmodell, in welches u. a. der dynamische Verlauf der Enthalpie und der Wärmeleitung als Eingangsgröße eingeht.

[0007] Die WO 01/91943 A1 offenbart ein Verfahren, bei welchem mittels eines Simulations- und Rechenmodells die aufzubringende Kühlmittelmenge berechnet wird, um das als Zielvorgabe definierte gewünschte Gefüge des beim Stranggießen erzeugten Gießstranges zu erhalten. Das Stranggießen wird unter Online-Berechnung unter Zugrundelegung eines die Ausbildung des gewünschten Gefüges des Gießstranges beschreibenden Simulations- und Rechenmodells durchgeführt, wobei die die Gefügeausbildung beeinflussende Variable des Stranggießverfahrens, wie zum Beispiel die zur Kühlung des Stranges vorgesehene spezifische Kühlmittelmenge, online dynamisch, d.h. während des laufenden Gießens, eingestellt werden. Mit diesem Verfahren ist es möglich, ein Stahlstranggießen derart durchzuführen, dass sich gewünschte Ferrit- und Perlit-Strukturen einstellen und/oder ausscheiden und nicht erwünschte Ausscheidungen,

wie beispielsweise Aluminiumnitrid-Ausscheidungen, an den Korngrenzen vermieden werden. Das Simulations- und Rechenmodell umfasst ein metallurgisches Rechenmodell, das die Phasenumwandlungskinetik und Keimbildungskinetik berücksichtigt und ein thermisches Rechenmodell, das eine Temperaturanalyse aufgrund der Lösung von Wärmeleitungsgleichungen ermöglicht. Basis ist insbesondere die angemessene Berücksichtigung der Gibbs'schen Energie und die Multikomponentensysteme in das Rechenmodell integriert sind. Dieses bekannte Simulations- und Rechenmodell umfasst auch die Maßnahme, auf Basis der im Rechner gespeicherten ZTU-Schaubilder und der sich in Abhängigkeit von der Zeit einstellenden Temperatur den Anteil an umgewandeltem Material zu berechnen, um somit auch die gegebenenfalls ungleichmäßig stattfindende Kühlung des erzeugten Gießstranges berücksichtigen zu können.

[0008] Mit bekannten Temperaturberechnungsverfahren wie zum Beispiel dem DSC (Dynamic Solidification Control)-Verfahren bzw. dem DSC(Dynamic Solidification Control)-Berechnungs- und Steuerungsprogramm, welches ein von der Anmelderin entwickeltes Programm bezeichnet, ist es möglich, die Wärmeleitungsgleichung

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial s} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial s} \right) = Q$$

für jede Strangposition dynamisch für die aktuellen Gießverhältnisse in der Gießanlage numerisch zu lösen. Insbesondere bei Dick- und Dünnbrammen sowie Knüppel, Rund- und Vorklochanlagen findet dieses Modell Anwendung. Mit einem integrierten Materialmodell können dann Werkstoffdaten wie Phasengrenzen, Enthalpien, Liquid Fraction Anteile, Dichte und Wärmeleitzahl für jede Analyse und jede Temperatur berechnet werden. Die Temperaturberechnung erfolgt unter Berücksichtigung aller Anlagenkomponenten wie:

Kokille (Wassermenge, Wassertemperatur, Wassertemperaturerhöhung, Kupferwanddicke, Gießpulvereinfluss)
 Rollen (Durchmesser, Anpresskraft, Rollentemperatur)
 Rührer (Position und Intensität)
 Isolierungen (Verminderung der Wärmestrahlung)
 Sekundärkühlzone (Einzelposition jeder Düse, Wasser- und Luftmenge, Wasser und Luftdruck, Schwallwasser, Wassertemperatur, Leidenfrosteffekte)
 Lagerlücken (kein Rollenkontakt, eventuell mehr Schwallwasser) Rollgängen (Wärmeverlust durch Strahlung und Konvektion an Luft)

[0009] Aus der berechneten Temperatur an jeder Strangposition können weitere technologische Größen abgeleitet werden:

Strangschalendicke:

[0010] Da die Temperatur an jedem Berechnungsknoten bekannt ist, kann über die Kenntnis der Solidustemperatur aus dem Materialmodell zu jedem Zeitpunkt und für jede Anlagenposition die Dicke der Strangschale berechnet werden. Von besonderem Interesse ist auch die Durchschnittstemperatur der Strangschale, denn Temperaturschwankungen im bereits erstarrten Material können zu Spannungen und zu Rissen führen.

Lage der Sumpfspitze:

[0011] Sobald alle Temperaturen des Strangquerschnittes kleiner der Solidustemperatur sind, ist der Strang durcherstarrt. Die Position der völligen Durcherstarrung ist in einer Gießanlage von besonderer Wichtigkeit, da sie nicht über die letzten Rolle hinauslaufen darf um ein unkontrolliertes Aufblähen des Stranges (Walbildung) zu verhindern. Für die Durchführung einer sogenannten Softreduction wird ebenfalls die exakte Position der Sumpfspitze benötigt.

Solid Fraction Anteile (Festphasenanteile):

[0012] Neben der Schalendicke können auch die Isolinien für alle Solid Fraction Anteile im Erstarrungsintervall und die Isolinien unterhalb der Solidustemperatur ($T_s - 10^\circ\text{C}$ bis $T_s - 50^\circ\text{C}$) berechnet werden. Mit dieser Methode ist es auch möglich, den Bildungsort von Innenrissen im Gießstrang in der Anlage auszuwerten und den Zusammenhang zwischen Innenrissen in der Nähe der Nullzähigkeitstemperatur T_{NZ} (ZDT) zu verdeutlichen. Kenngrößen der Innenrissanfälligkeit sind die Nullfestigkeitstemperatur (ZST) oder besser die Nullzähigkeitstemperatur (ZDT). Mit der Temperatur T_{NZ} (ZDT) werden in der Literatur Solid Fraction Anteile von 0.97, 0.98, 0.99 und 1.0 gleichgesetzt. Ausgangspunkt ist eine Rissentstehung im Bereich $0.90 < f_s < 1.0$. Der Rissfortschritt verläuft nach außen in das Nullzähigkeitsgebiet bis in den

Temperaturbereich $T_s - 10^\circ\text{C}$ bis $T_s - 50^\circ\text{C}$ hinein. Die Solid Fraction Anteile werden ebenfalls zur Bestimmung der Soft-reduction Positionen benötigt. Der optimale Zeitpunkt bei Softreduction ist mit dem Flüssigfest Verhältnis (Solid Fraction Anteil) im Strangkern bestimmt, das ein Kriterium für die Auswertung der Auswirkung der Softreduction auf die Mittenseigerung ist. Bei der Erstarrung des flüssigen Stahls bewirkt die unterschiedliche Löslichkeit der Legierungselemente im Festen und im Flüssigen eine Anreicherung der Legierungselemente in der schmelzflüssigen Phase. Als Folge davon weisen die zuletzt erstarrenden Bereiche eine höhere Konzentration auf als die Ausgangskonzentration (nominale Analyse). In diesem Gebiet kommt es dadurch zu einer Absenkung der Solidustemperatur. Dies ist nicht für die Walbildung maßgeblich, aber für die Erkennung von Heißrissen.

Duktilität:

[0013] Für eine gegebene Duktilitätskurve eines Werkstoffes und einem Wert für die minimal zulässige Duktilität im risskritischen Biege- und Richtbereich kann der Duktilitätsverlauf an der gesamten Oberfläche dargestellt werden. Ebenso können Isothermen des kritischen Duktilitätsverlaufes zur Lokalisierung von Innenrissen benutzt werden.

Bulging:

[0014] Mit Hilfe der Temperatur und der Strangschalendicke kann an jeder Anlagenposition unter Berücksichtigung der Rollenabstände die Ausbauchung und die zugehörige Dehnung berechnet werden. Die Dehnung kann mit einer vorgegebenen maximal erlaubten Dehnung verglichen werden.

Lunker und Kernlockerstellen:

[0015] Eines der metallurgischen Probleme des Stranggießens ist die Bildung einer großen gerichtet dendritischen Zone auf Kosten des Bereichs der globulitischen Kernzone, da die wesentlich höheren Abkühlgeschwindigkeiten beim Stranggießen große Temperaturgradienten an der Grenzfläche fest-flüssig (mushy Zone) hervorrufen.

[0016] Während der Erstarrung kommt es zu einer Volumenschwindung. Diese entstehenden Hohlräume müssen mit Schmelze aufgefüllt werden. Wenn ein kontinuierliches Nachfließen mit flüssiger Schmelze nicht mehr oder unzureichend gewährleistet werden kann, können sich bei der Erstarrung Kernlunker (Knüppel und Vorblock) und Kernporen/Kernlockerungen (Brammen und Vorblock) bilden.

[0017] Bei Brammen spitzt sich der Sumpf keilförmig wegen der eindimensionalen Wärmeableitung und Erstarrung zu. Örtliche Kristallbrücken führen nicht zu einer völligen Abschnürung des Sumpfes, so dass die Nachspeisung von Schmelze weiter möglich ist und keine Kernlunker sondern höchstens Kernlockerungen entstehen.

Runde und quadratische Stränge haben wegen der zweidimensionalen Wärmeableitung und Erstarrung einen spitz zulaufenden kegeligen Krater, durch das flüssiges Metall nachgespeist wird, um die Erstarrungsschwindung auszugleichen. Günstig orientierte, voreilende Dendriten können Brücken bilden, den darunter befindlichen Sumpf abschließen und ein Nachspeisen mit Schmelze von oben behindern oder unterbinden. Diese Vorgänge führen im Strang zum Kernlunker und Kernlockerung.

[0018] Voraussetzung für die Berechnung von Lunkern und Porenbildung ist das zeitliche Temperaturfeld des Stranges. Über die Temperaturverteilung und die hieraus berechnete Erstarrungsgeschwindigkeit können der Sekundär-Dendritenarmabstand (SDAS) und eine dem hydrostatischen Druck entgegenwirkende Permeabilität berechnet werden. Die Permeabilität beschreibt die Durchlässigkeit der Dendritenstruktur. Je größer die Permeabilität ist umso größer ist die Durchlässigkeit. Der Druckverlust der nachströmenden Schmelze steigt mit abnehmender Permeabilität. Die Nachspeisung endet wenn der Druckverlust der nachspeisenden Strömung größer als die ferrostatische Last ist. Dies ist bei einer Auftragung von Druckverlust und hydrostatischem Druck in bar über dem Abstand vom Gießspiegel in Meter (m), und damit über der Gießstranglänge, Schnittpunkt der Kurven von Druckverlust und hydrostatischen Druck der Fall.

Erstarrungsgefüge (Makrogefüge):

[0019] Die Mittenseigerungen werden mit dem Auftreten des transkristallinen (gerichteten) Erstarrungsgefüges in Verbindung gebracht. Die Ursachen sind Strömungen der Restschmelze im Bereich der Sumpfspitze, die zu einer Umverteilung der Legierungselemente führen. Die angereicherte Schmelze gelangt zur Strangmitte und verursacht dort die positive Mittenseigerung. Es ist charakteristisch für eine Mittenseigerung, dass mit der Anreicherung in der Strangmitte immer eine Verarmung der sich anschließenden Bereiche verbunden ist. Die positive Seigerung muss mengenmäßig der negativen entsprechen. Es ist von großer Bedeutung, zu erkennen, wie der Anteil des globulitischen (ungerichteten & equiaxed) Erstarrungsgefüges von stranggießtechnischen Maßnahmen und der Stahlzusammensetzung abhängt. Ist das Erstarrungsgefüge globulitisch (ungerichtet & equiaxed), sind die beobachteten Seigerungen meist geringer.

[0020] Stähle mit hohem Kohlenstoffgehalt haben eine viel größere Neigung zur Mittenseigerung (Makroseigerung)

als solche mit geringem oder mittlerem Kohlenstoffgehalt. Hoher Kohlenstoffgehalt begünstigt die transkristalline (gerichtete) Erstarrung und damit die Mittenseigerung. Der Werkstoff ist zusätzlich durch Innenfehler geschwächt, was zur Brüchigkeit während des Transportes führt.

[0021] Zur Vermeidung von Oberflächenfehlern (Zugrilligkeit) im fertig gewalzten Kaltband bei ferritischen Stählen ist es wünschenswert einen Mindestanteil an globulitischem (equiaxed) Gefüge zu erzielen.

[0022] Aus den berechneten Temperaturfeldern können die Erstarrungsgeschwindigkeiten und der Temperaturgradienten an der Erstarrungsfront bestimmt werden. Mit einem gekoppelten Werkstoffmodell CET kann dann der Anteil an globulitischem Gefüge berechnet werden. Der globulitische Anteil am Erstarrungsgefüge lässt sich durch den Einsatz von Rührern und das Gießen mit niedriger Überhitzungstemperatur erhöhen.

Mikrogefüge:

■ *γ/α Phasenumwandlung*

[0023] Ein wichtiger Aspekt der Duktilitätseigenschaften von Brammen ist der Gefügestand. Bei der "harten Kühlung" wird der Strang z.B. zur Vermeidung von Ausbauchungen stark gekühlt um schnell eine dicke Strangschale zu bekommen. Hierbei kann die Temperatur unter die Umwandlungstemperatur γ/α sinken. Da Ferrit sehr viel weicher als Austenit ist, wird angenommen, dass die Verformung des Materials vorzugsweise an den Ferritsäumen vor sich geht. Der Bruch wird dann an den Ferritsäumen initiiert. Aus berechneten Temperaturfeldern können für beliebige Strangpositionen die Abkühlraten berechnet werden. Mit diesen Abkühlraten und den minimal erreichten Temperaturen kann mit einem gekoppelten synthetischen ZTU-Modell die Gefügeverteilung abgelesen werden.

■ *Ausscheidungsbildung*

[0024] In den meisten Untersuchungen wird die Ferritversprödung unter A_3 Temperatur durch Zusammenwirken von Ferritsäumen und Ausscheidungen erklärt. Die Ferritsäume bilden sich bei Unterschreiten der A_3 -Temperatur an den Austenitkorngrenzen und Ausscheidungen der Nitride und Karbonitride erfolgen in diesen Ferritsäumen.

Zunderberechnung:

[0025] Bei einer "heißen Fahrweise" wird in Teilen des Horizontalbereiches des Gießstranges kein Spritzwasser aufgebracht. Hierdurch platzt der sich bildende Zunder nicht ab und die Wärmeabfuhr des Stranges wird durch eine Zunderschicht verringert. Durch Addition des vorhandenen und des abgeplatzten Zunders lässt sich der Produktionsverlust bestimmen.

Aus der Praxis sind folgende Regelungssysteme bekannt:

Spritzplan:

[0026] Über ein Tabellenwerk wird für mehrere Gießgeschwindigkeitsstützstellen für jeden Regelkreis die Wassermengen vorgegeben. Zwischen diesen Stützstellen werden die Wassermengen linear interpoliert. Bei einer Änderung der Gießgeschwindigkeit werden sofort die Wassermengen in allen Regelkreisen geändert.

LifeTime Regelung:

[0027] Bei einer Änderung der Gießgeschwindigkeit werden nicht sofort die Wassermengen aller Regelkreise geändert. Die Änderungen werden über das Strangalter bestimmt.

Temperaturregelung:

[0028] Für bestimmte Positionen in der Sekundärkühlung, in der Regel das Ende einer Kühlzone, werden je nach Werkstoffgruppe Solltemperaturen vorgegeben. Die Spritzwassermengen werden nun so geregelt, dass diese vorgegebenen Temperaturen eingestellt werden. Hierdurch behält der Strang auch bei Änderungen der Gießgeschwindigkeit die gleiche Temperaturverteilung und dadurch konstante Qualitäten. Durch eine dynamische Änderung der Solltemperaturkurve kann automatisch auf ungewollte Probleme reagiert werden.

[0029] So kann durch eine Absenkung der Solltemperaturen frühzeitig die Ausbildung einer zu langen Sumpfspitze vermieden werden.

Sumpfspitzenregelung:

[0030] Regelung der Wassermengen oder der Gießgeschwindigkeit um die Sumpfspitze an eine gewünschte Position zu legen.

Gießgeschwindigkeitsregelung:

[0031] Die Gießgeschwindigkeit wird variiert, um an einer vorgegebenen Position die Sumpfspitze zu legen oder um eine gewünschte Temperatur zu erreichen.

Duktilitätsregelung:

[0032] Der Temperaturverlauf wird so geregelt, dass in den risskritischen Biege- und Richtbereich die Oberflächentemperaturen einen kritischen Wert nicht unterschreiten. Dieser kritische Temperaturwert berechnet sich aus dem Schnittpunkt der vorgegebenen Duktilitätskurve mit dem Wert einer kritischen Grenze (z.B. 75 %).

Dehnungsregelung:

[0033] So wie aus dem aktuellen Temperaturverlauf die aktuelle Dehnung berechnet werden kann, kann auch aus der zulässigen maximalen Dehnung ein maximal zulässiger Temperaturwert zurück gerechnet werden. Die Berechnung der maximal zulässigen Temperaturwerte erfolgt aus der maximalen Dehnung mit Hilfe eines rekursiven Berechnungsverfahrens, da mit sinkender Temperatur die Strangschale dicker wird und sich die Ausbauchung und damit auch die Dehnung vermindert.

[0034] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Lösung zu schaffen, mit welcher sich der Einfluss der Kühlung auf die Herstellung eines beim Stranggießen erhaltenen Gießstranges weiter verbessern lässt.

[0035] Bei einem Verfahren der Eingangs näher bezeichneten Art wird diese Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass das oder die Simulations- und Rechenmodelle in Abhängigkeit von der berechneten aktuellen Temperaturverteilung über die Gießstranglänge und/oder in einem jeweils betrachteten Querschnitt des Gießstrangs die örtlich auf den Gießstrang aufzubringende Kühlmittelmenge und/oder Kühlmittelverteilung, insbesondere Spritzwassermenge und/oder Spritzwasserverteilung, und/oder die Gießgeschwindigkeit und/oder die Rollen- und/oder Kühlsegmentanstellung derart regeln, dass das gewünschte Gefüge oder die gewünschte Gefügezusammensetzung oder ein gewünschter Bereich oder eine gewünschte Lage und/oder Ausbildung der Sumpfspitze oder eine gewünschte geometrische Abmessung und/oder Oberflächenbeschaffenheit oder Innenstrukturbeschaffenheit des Gießstrangs eingestellt wird/werden.

[0036] Ein erfindungsgemäßer Gießstrang zeichnet sich dadurch aus, dass er durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1-12 erhalten wird oder erhältlich ist.

[0037] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich nun verschiedene Regelungsmechanismen realisieren, die alle eine Verbesserung der Kühlung des sich beim Stranggießen bildenden Gießstranges und/oder dessen geometrischen, mechanischen, gefügemäßigen oder oberflächenmäßigen Eigenschaften oder Ausgestaltungen bewirken. Basis ist immer mindestens ein Simulations- und Rechenmodell, dem sich die aktuelle Temperaturverteilung über die Gießstranglänge und/oder in einem jeweils betrachteten Querschnitt des Gießstrangs berechnen lässt. Mit Hilfe eines solchen oder mehrerer solcher Simulations- und Rechenmodelle lassen sich verschiedene Regelungskonzepte bezüglich des Makrogefüges, des Mikrogefüges, zur Erzielung einer gleichmäßig ausgebildeten Sumpfspitze, zur Regelung einer konstanten Auslaufdicke des Gießstranges und zur Verminderung von Lunker und Kernlockerstellen realisieren, die nachstehend noch ausgeführt sind.

Regelungskonzept Makrogefüge:

[0038] Für ein auf das Makrogefüge gerichtetes Regelkonzept ist es von Vorteil, wenn gemäß Ausgestaltung der Erfindung ein gewünschtes Makrogefüge, wobei es sich um das Erstarrungsgefüge handelt, mit einem globulitischen Gefügeanteil von mindestens 30%, vorzugsweise mindestens 35%, und bei ferritischem Stahl von mindestens 40%, vorzugsweise mindestens 45%, eingestellt wird. Die %-Angaben beziehen sich jeweils auf die Fläche eines Schliffbildes.

[0039] Vorteilhaft ist es für die Einstellung des Makrogefüges, aber auch des Mikrogefüges, weiterhin, wenn zur Einstellung des gewünschten Makrogefüges bei einer mit einem Rührer ausgestatteten Stranggießanlage die Gießgeschwindigkeit und die Spritzwassermenge geregelt werden und bei einer Stranggießanlage mit verstellbarem Rührer zusätzlich die in Bezug auf die Erzielung des gewünschten Makrogefüges und/oder die gewünschte Gefügezusammensetzung des Gießstrangs optimale Rührerposition und die Rührintensität mittels oder auf Basis des Simulations- und Rechenmodells berechnet und eingestellt werden, wodurch sich die Erfindung weiterhin auszeichnet. Bei einer vorgegebenen Überhitzung wird die Gießgeschwindigkeit und/oder die Sekundärkühlung so geregelt, dass das gewünschte

Gefüge erzielt wird.

Regelungskonzept Mikrogefüge:

5 **[0040]** Ein Regelungskonzept für die Ausbildung des Mikrogefüges in dem sich bildenden Gießstrang zeichnet sich dadurch aus, dass zur Einstellung des gewünschten Mikrogefüges das Simulations- und Rechenmodell ZTU(Zeit-Temperatur-Umwandlungs)-Diagramme umfasst und diese mit mittels eines Online-Temperaturmodells des Gießstrangs berechneten Gießstrangabkühlraten derart kombiniert werden, dass für jedes definierte Berechnungselement eines jeden Gießstrangquerschnitts die jeweils aktuelle Gießstrangabkühlrate und die sich daraus ergebende Gefügezusammensetzung berechenbar und berechnet werden sowie durch Steuerung der Gießstrangabkühlraten das gewünschte Gefüge eingestellt wird.

10 **[0041]** Mit Hilfe dieser Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es möglich, die Abkühlbedingungen an dem sich bildenden Gießstrang beim Stranggießen derart einzustellen, dass die Gefügeumwandlung gleichmäßig über den Querschnitt und insbesondere in den Randbereichen zur Oberflächenseite des Gießstranges hin erfolgt und Ferritsäume mit einem Ferritanteil von ca. 5 bis 40 % und somit in Bereichen mit niedrigen Ferritgehalten auf den Korngrenzen vermieden werden können.

15 **[0042]** Eine kontinuierliche, dynamische und ständige online-Berechnung des sich jeweils an einem Gießstrangquerschnitt einstellenden Gefügebildes, d.h. der sich in einer solchen Querschnittsfläche einstellenden Gefügezusammensetzung und Gefügeverteilung wird bisher bei der Herstellung eines Metallstranges, insbesondere eines Stahlstranges, im Stranggussverfahren nicht durchgeführt.

20 **[0043]** Mit der Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es nun möglich, einen Gießstrang bei seiner Herstellung gleichmäßig zu kühlen, da zu jedem Gießstrangquerschnitt die jeweilige Gießstrangabkühlrate und das zu jedem Zeitpunkt in diesem Gießstrangquerschnitt entstehende Gefüge, d.h. die jeweilige Gefügezusammensetzung, berechnet werden können. Sollten sich dabei Ungleichmäßigkeiten oder ungewünschte Gefügezusammensetzungen zeigen, so kann mit Hilfe des oder der Simulations- und Rechenmodelle eine derartige Nachsteuerung und Änderung der jeweiligen Gießstrangabkühlraten durchgeführt werden, dass eine gleichmäßige Abkühlung und damit ein nahezu gleichmäßiges Gefügebild an der Oberfläche des jeweiligen Querschnittes erreicht wird.

25 **[0044]** Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und dessen Ausgestaltungen und Weiterbildungen sowie insbesondere mit dem oder den in einer entsprechenden Recheneinheit hinterlegten Simulations- und Rechenmodellen ist es möglich, dass die bei den jeweiligen Stahlsorten bei verschiedenen Abkühlgeschwindigkeiten auftretenden Grenzen des dritten Duktilitätsminimums berechnet und eingezeichnet werden. Eine solche Möglichkeit ist in der DE 10 2012 224 502 A1 beschrieben und kann grundsätzlich auch für die Anwendung beim Gießen eines Gießstranges in einer Stranggießanlage adaptiert werden. In das oder die jeweils berechneten ZTU-Schaubild(er) oder in aufgrund von Messwerten errechnete und in dem Simulations- und Rechenmodell hinterlegte ZTU-Diagramme können die jeweils berechneten Kühlraten eingezeichnet und zur Berechnung der dann entstehenden Gefügeanteile genutzt werden. In die jeweils erstellten ZTU-Diagramme können auch die bei der jeweiligen Stahlsorte bei den verschiedenen Temperaturen auftretenden Duktilitätsminima eingezeichnet werden. Ein Online-Temperaturmodell, mit welchem die jeweiligen Kühlraten berechnet werden, stellt das Dynamic Solidification Control (DSC)-Verfahren oder -Modell dar. Mit Hilfe des derart aufgebauten Simulations- und Rechenmodells kann an jeder beliebigen Position in Gießrichtung des Gießstranges ein Gießstrangquerschnitt mit der sich dann dort aktuell einstellenden Gefügeverteilung erstellt und visualisiert bzw. dargestellt werden. Für alle Berechnungselemente über den Querschnitt des Gießstranges an einer definierte, bestimmten Stelle lassen sich damit die jeweils aktuellen Kühlraten und die sich daraus ergebenden Gefügeanteile berechnen.

30 **[0045]** Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und dessen Ausgestaltungen und Weiterbildungen lassen sich die auf die jeweilige Oberflächenseite(n) des Gießstranges aufzubringende Kühlmittelmenge, insbesondere Wassermenge, oder die Position der Düsen, beispielsweise durch Höhenverstellung der Düsen, derart regeln und steuern, dass eine gleichmäßige Umwandlung des Gefüges aus dem Austenit in den Ferrit auf der Schmal- und/oder Breitseite erzielt werden kann. Hierdurch kann insbesondere bei der starken, intensiven Kühlung das dann auftretende Risiko von Oberflächenrissen als Folge einer ungleichmäßigen Kühlung vermindert werden.

35 **[0046]** Ziel einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, eine gleichmäßige gewünschte Gefügeverteilung zu erzielen. In Ausgestaltung zeichnet sich die Erfindung daher dadurch aus, dass die Gießstrangabkühlraten an ihrer jeweiligen Position bezüglich des Gießstrangs durch Regelung der in diesem Bereich jeweils auf den Gießstrang auftreffenden Kühlmittelmenge und/oder die Steuerung des Ortes oder der Fläche des Auftreffens des Kühlmittels auf den Gießstrang derart gesteuert und geregelt werden, dass eine möglichst gleichmäßige Umwandlung des Metallgefüges auf der Schmalseite und/oder der Breitseite des Gießstrangs, insbesondere bei einem Stahlstrang unter Vermeidung der Ausbildung der Absetzung von Ferritkörnern auf Austenitkorngrenzen, sogenannten Ferritsäumen, erreicht wird.

40 **[0047]** Erfindungsgemäß ist es hierbei dann auch möglich, mittels des oder der Anwendung findenden Simulations- und Rechenmodelle auch unmittelbar ZTU-Schaubilder oder Diagramme zu berechnen und der Steuerung der Kühlmittelbeaufschlagung zugrunde zu legen. Die Erfindung sieht daher weiterhin vor, dass die ZTU(Zeit-Temperatur-Umwand-

lungs)-Diagramme mittels des Simulations- und Rechenmodells berechnet werden. Hierzu ist ein rekursives Berechnungsverfahren nötig, mit dessen Hilfe aus der Abkühlgeschwindigkeit die erforderliche Kühlintensität der Sekundärkühlung berechnet wird.

[0048] Es ist möglich, dass die Gießstrangabkühlraten an ihrer jeweiligen Position bezüglich des Gießstrangs durch Regelung der in diesem Bereich jeweils auf den Gießstrang auftreffenden Kühlmittelmenge und/oder die Steuerung des Ortes oder der Fläche des Auftreffens des Kühlmittels auf den Gießstrang derart gesteuert und geregelt werden, dass eine möglichst gleichmäßige Umwandlung des Metallgefüges über die jeweils betrachtete Querschnittsfläche oder Seitenfläche des Gießstrangs erreicht wird.

[0049] Insbesondere ist die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Steuerung einer gleichmäßigen Gefügeausbildung und einer gleichmäßigen Kühlung der Schmalseiten eines üblicherweise querschnittsmäßig rechteckig ausgebildeten Gießstranges zur Vermeidung von Rissbildungen von Vorteil. Die Erfindung sieht daher auch vor, dass die Gießstrangabkühlraten in Bezug auf die Schmalseiten des Gießstrangs ermittelt werden und die auf die Schmalseiten des Gießstrangs auftreffende Kühlmittelmenge und/oder der Ort oder die Fläche, auf welche(n) das Kühlmittel auf der jeweiligen Schmalseite des Gießstrangs aufgebracht wird, in Abhängigkeit von dem sich im Grenzbereich zur Oberfläche der Schmalseite einstellenden Gefüge gesteuert und geregelt wird/werden.

Regelungskonzept gleichmäßige Sumpfspitze

[0050] Ein Regelungskonzept zur Erzielung einer gleichmäßig ausgebildeten Sumpfspitze lässt sich gemäß weiterer Ausgestaltung der Erfindung in vorteilhafter Weise dadurch realisieren, dass zur Einstellung der gewünschten Lage und/oder Ausbildung der Sumpfspitze des Gießstrangs mittels oder auf Basis des oder der Simulations- und Rechenmodelle eine gewünschte Sumpflänge in Form eines SPDF(Solidification Point Difference Factor)-Wertes (Definition siehe weiter unten) berechnet wird und bei Überschreiten eines maximalen $SPDF_{max}$ -Wertes durch Erhöhung der Spritzwassermenge in den Randzonen des Gießstrangs im Bereich der Sumpfspitze der gewünschte SPDF-Wert eingeregelt und eingestellt wird.

Regelungskonzept konstante Auslaufdicke

[0051] Ein Regelungskonzept zur Erzielung einer konstanten Auslaufdicke des Gießstranges lässt sich gemäß Weiterbildung der Erfindung in vorteilhafter Weise dadurch realisieren, dass zur Einstellung der gewünschten geometrischen Abmessung des Gießstrangs mittels oder auf Basis des oder der Simulations- und Rechenmodelle ausgehend von der gewünschten Enddicke des Gießstrangs am Anlagenende bis zur Kokille über die Länge des Gießstrangs die eine zur Bereitstellung der für das Erreichen der gewünschten Abmessung des Gießstrangs notwendige Kühlrate und/oder Verformung bewirkende Anstellung für jedes Segment und/oder jede Rolle berechnet, eingeregelt und eingestellt wird. Bei dieser Ausgestaltung der Erfindung ist es zudem zweckmäßig, wenn die an einem jeden Segment dort zur Erreichung einer für die Erzielung der gewünschten Enddicke jeweils notwendigen Strangdicke einzustellende Segmentanstellung und/oder Rollenanstellung aus der aus der jeweils ermittelten Temperatur oder Temperaturverteilung ermittelten (temperaturabhängigen) Dichte (des Werkstoffs) und der sich über die Gießstranglänge ergebenden Dichtedifferenz mittels oder auf Basis des oder der Simulations- und Rechenmodelle berechnet wird/werden, was die Erfindung ebenfalls vorsieht.

Regelungskonzept Lunkerbildung

[0052] Um Lunkerbildungen und die Bildung von Kernlockerstellen zu vermindern, ist das Zurückgreifen auf eine Geschwindigkeitsregelung besonders vorteilhaft. Um ein darauf basierendes Regelungskonzept zu realisieren, zeichnet sich die Erfindung in weiterer Ausgestaltung dadurch aus, dass zur Einstellung der gewünschten Oberflächenbeschaffenheit oder Innenstrukturbeschaffenheit des Gießstrangs und zur Verminderung von Lunker- oder Kernlockerstellen mittels oder auf Basis des oder der Simulations- und Rechenmodelle über die Gießstranglänge ein gewünschter Lunkerdurchmesser berechnet wird und bei Überschreiten eines vorgegebenen Höchstwertes des Lunkerdurchmessers die Gießgeschwindigkeit verringert wird.

[0053] Insbesondere wird das erfindungsgemäße Verfahren bei der Sekundärkühlung des Gießstranges angewendet, was die Erfindung in Ausgestaltung schließlich auch vorsieht.

[0054] Die Erfindung ist nachstehend anhand einer Zeichnung beispielhaft näher erläutert. Diese zeigt in

Fig. 1 in schematischer Darstellung eine Stranggießanlage mit Gießstrang,

Fig. 2 ein mit einem erfindungsgemäßen Simulations- und Rechenmodell berechnetes ZTU-Diagramm mit eingezeichneten Gießstrangabkühlkurven,

- Fig. 3 in schematischer Darstellung einen Querschnitt durch den Gießstrang mit Darstellung der bei einer Abkühlung gemäß Fig. 2 entstehenden Gefügeanteile,
- Fig. 4 eine der Fig. 2 entsprechende Darstellung bei ungleichmäßiger Abkühlung des Gießstranges nach dem Stand der Technik,
- Fig. 5 das ZTU-Diagramm nach der Fig. 4 mit eingezeichnetem kritischen Ferrit-Bereich,
- Fig. 6 in schematischer Darstellung den Regelungsmechanismus zur Erzielung einer gleichmäßigen Kühlung, insbesondere der Schmalseiten des Gießstrangs,
- Fig. 7 ein Regelungsschema für die Realisierung eines Regelungskonzeptes zur Einstellung eines gewünschten Makrogefüges,
- Fig. 8 ein Regelungsschema für die Realisierung eines Regelungskonzeptes zur Erzielung einer gleichmäßig ausgebildeten Sumpfspitze,
- Fig. 9 ein Regelungsschema für ein Regelungskonzept zur Erzielung einer konstanten Auslaufdicke des Gießstrangs und in
- Fig.10 ein Regelungsschema eines Regelungskonzeptes zur Verminderung von Lunker- und Kernlockerstellen im Gießstrang.

[0055] Die Fig. 1 zeigt den insgesamt mit 1 bezeichneten Gießbogen einer Stranggießanlage, der sich von einer Durchlaufkokille 2 ausgehend, in die eine flüssige Stahlschmelze 3 vergossen wird, über den Biegebereich 4 und den Richtbereich 5 bis in den Bereich des durchgestarteten Gießstranges 6 erstreckt. Im Verlaufe des Gießbogens wird der sich bildende Gießstrang 6 auf hydraulisch anstellbaren Stützrollen 7 geführt und mit Spritzwasser 8 als Kühlmittel, das von außen auf seine Oberflächenseiten gesprüht wird, gekühlt, so dass sich innerhalb des Gießstranges 6 ein flüssiger Kern 9 aus nicht erstarrter Schmelze 3 ausbildet, bis dieser flüssige Kern nach Durchlaufen des Richtbereiches 5 in Form einer Sumpfspitze 10 in dem Gießstrang endet. Das Spritzwasser 8 tritt aus Spritzdüsen aus, die zu mehreren in jeweils einem anstellbaren Segment 29 angeordnet sind, wovon eine Vielzahl aneinandergereiht längs des Gießstranges 6 angeordnet ist. In diesem Bereich ist der Gießstrang 6 zudem einer Wasserkühlung 11 ausgesetzt. Der Gießstrang 6 weist eine im Wesentlichen und annähernd rechteckige Querschnittsfläche mit zwei sich gegenüber liegenden Breitseiten und zwei sich gegenüber liegenden Schmalseiten auf. Während des Abkühlens der Stahlschmelze 3 bilden sich in Abhängigkeit von der jeweiligen Stahlsorte sowie den jeweils eingestellten Gießstrangabkühlraten unterschiedliche Gefüge und Gefügeanteile innerhalb des Gießstranges 6 und damit in einer jeden (denkbaren) Querschnittsfläche über die von der Durchlaufkokille 2 bis zur Sumpfspitze 10 oder dem sich danach gebildet habenden durchgestarteten Gießstrang 6 hin erstreckende Länge des Gießstrangs 6 oder Metallstrangs, insbesondere Stahlstrangs, aus.

[0056] Die Fig. 2 zeigt ein im Rahmen der Durchführung des erfindungsgemäßen Regelungskonzeptes zur Einstellung eines gewünschten Mikrogefüges mit dem dabei zur Anwendung kommenden Simulations- und Rechenmodell erstelltes ZTU-Diagramm mit darin eingezeichneten Gießstrangabkühlkurven 12-15, die sich durch ihre Positionen 12' auf der Oberfläche einer Breitseite des Gießstranges 6, 13' im Übergangsbereich der Breitseite zu einer angrenzenden Schmalseite des Gießstranges 6 sowie 14' und 15' auf der Schmalseite des Gießstranges 6 unterscheiden, wie dies schematisch in dem oberen rechten Teilbild, das schematisch einen Querschnitt durch einen Teilbereich eines Gießstranges 6 darstellt, dargestellt ist. Den einzelnen Gießstrangabkühlkurven 12-15 sind jeweils unterschiedliche Gießstrangabkühlraten mit dem Ergebnis zugeordnet, dass sich an den jeweiligen Positionen 12'-15' in dem vom Simulations- und Rechenmodell jeweils zugeordneten und erfassten Berechnungselement 16 (dargestellt ist das der Position 14' zugeordnete Berechnungselement 16) des Querschnittsbereiches unterschiedliche Gefügeanteile einstellen. In Figur 2 sind die Gießstrangabkühlraten und die Gefügeanteile an einem Querschnitt nach 2235 mm, also noch vor dem Biegebereich, dargestellt. Die unterschiedlichen Gießstrangabkühlraten und erhaltenen Gefügeanteile sind in dem oberen linken Teilbild der Fig. 2 in den jeweiligen Spalten 12" bis 15" dargestellt, die jeweils der gleichzahligen Gießstrangabkühlkurve sowie der gleichzahligen Position zugeordnet sind. Die Gießstrangabkühlkurve 12 wird also mit einer Gießstrangabkühlrate von 0,1 K/s durchgeführt und es wird ein Gefügeanteil von 100 % Austenit in dem an die Position 12' angrenzenden Bereich erhalten. Mittels der Gießstrangabkühlkurve 13 wird mit einer Gießstrangabkühlrate von 2,30 K/s in einem an die Kante des Gießstranges 6 angrenzenden Bereich eine Zusammensetzung des Gefüges erhalten, die aus 77,91 % Ferrit, 1,65 % Perlit, 4,24 % Bainit und 16,2 % Austenit besteht. Die Gießstrangabkühlkurve 14 wird mit einer Gießstrangabkühlrate von 9,93 K/s durchgeführt und in dem an die Position 14' angrenzenden Bereich 16 wird eine Gefügezusammensetzung erhalten, die aus 72,73 % Ferrit, 3,13 % Perlit, 7,17 % Bainit und 16,97 % Austenit besteht. Die Gießstrangabkühlkurve

15 wird mit einer Gießstrangabkühlrate von 5,30 K/s durchgeführt, so dass sich in dem an die Position 15' angrenzenden Querschnittsbereich des Gießstranges 6 eine Gefügezusammensetzung einstellt, die aus 10,41 % Ferrit und 89,59 % Austenit besteht.

5 **[0057]** In dem vorstehend anhand der Fig. 2 erläuterten Beispiel werden die Abkühlraten beispielsweise mittels Dynamic Solidification Control (DSC) ermittelt und berechnet und in das entweder mittels des Simulations- und Rechenmodells berechnete ZTU-Diagramm oder in ein solches in einer Recheneinheit 17, siehe Figur 6 und zugehörige Beschreibung, gespeichertes und hinterlegtes ZTU-Diagramm eingezeichnet. Mit dem Simulations- und Rechenmodell lassen sich zudem die dann in den einzelnen Berechnungselement 16 erhaltenen Gefügeanteile berechnen, so dass zur Einstellung der gewünschten Gefügezusammensetzung an der jeweiligen Position die Gießstrangabkühlraten gezielt gesteuert und beeinflusst werden können, beispielsweise durch Regulierung der an der jeweiligen Position aufgespritzten Kühlmittelmenge oder durch Beeinflussung des Spritzgebietes und damit der Fläche, auf welche das Kühlmittel auf die jeweilige Oberflächenseite des Gießstranges 6 auftrifft.

10 **[0058]** Mit dem vorstehend anhand der Fig. 2 erläuterten Beispiel an einer ungleichmäßigen Kühlung lässt sich dies einstellen und ist nun auch eine gleichmäßige Kühlung der Schmalseite 18 des Gießstranges 6 eingestellt und erreicht. Bei dieser gleichmäßigen Kühlung stellt sich bei einer Gießgeschwindigkeit des Gießstranges 6 von 1,09 m/min in dem an die Schmalseite 18 angrenzenden Querschnittsbereich für die gleiche betrachtete Querschnittsfläche des Gießstranges 6 die aus der Fig. 3 ersichtliche Gefügezusammensetzung ein. Während im Kern 9 noch flüssige Schmelze 3 vorhanden ist, bildet sich an der Schmalseite 18 ein an die Oberfläche des Gießstranges 6 angrenzender Ferritbereich aus. An der Position von 2,235 m unterhalb des Gießspiegels, also noch vor dem Biegebereich, ist im Kern 9 noch flüssige Schmelze 3 vorhanden. Im Mushy Bereich 30 bilden sich die ersten Dendriten. Diese erstarren bei dieser Analyse (MediumCarbon) zuerst zu Austenit 31. An der Schmalseite 18 bildet sich aufgrund der niedrigeren Temperaturen an der Oberfläche des Gießstranges 6 ein Ferritbereich 32 aus. Die Mitte der Schmalseite 18 ist an stärksten abgekühlt, so dass dort bereits der erste Bainit 33 entsteht.

25 **[0059]** Auf diese Weise lässt sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren eine gleichmäßige Kühlung und daraus resultierend eine Gefügezusammensetzung, insbesondere im Bereich der Schmalseite 18, ausbilden, bei welchem die Temperaturführung derart ist, dass die Duktilität hoch genug ist, um Risse in den Oberflächenbereichen zu vermeiden. Würden hingegen die Gießstrangabkühlraten nicht mittels eines Simulations- und Rechenmodells in der erfindungsgemäßen Weise gesteuert und beeinflusst und würde sich eine ungleichmäßige Kühlung der Schmalseite 18 einstellen, so käme es zu den in den Fig. 4 und 5 dargestellten Verläufen der Gießstrangabkühlkurven 12a bis 15a und an den in den Fig. 2 und 3 analogen Positionen 12a' bis 15a' zu den zu den Darstellungen analogen Gießstrangabkühlraten und Gefügeflächenanteilen 12a" bis 15a". Bei den im rechten Teilbild der Fig. 4 dargestellten Gefügeausbildungen wäre aufgrund der gegebenen Duktilität mit der Ausbildung von Rissen im Gießstrang 6 zu rechnen. In der Fig. 5 ist zusätzlich der kritische Ferritbereich, der sich über den Bereich von 5 % bis 40 % Anteil an Ferrit in einem Gefügequerschnitt erstreckt, in das Ferritgebiet 20 eingezeichnet. Die Gießstrangabkühlraten und Gießstrangabkühlkurven können erfindungsgemäß so gesteuert werden, dass dieser Bereich eines Duktilitätsminimums bei der Abkühlung des Gießstranges 6 nicht eingestellt wird.

35 **[0060]** Um die gewünschte gleichmäßige Abkühlung und gleichmäßige Gefügeverteilung in einem jeweils betrachteten Querschnitt des Gießstranges 6 an einer beliebigen Position zwischen der Kokille 2 und dem Ende der Gießmaschine des Gießbogens 1 der Stranggießanlage durchführen zu können, ist erfindungsgemäß eine Regelung und Steuerung der Beaufschlagung der Breitseiten 19 und/oder der Schmalseiten 18 des Gießstranges 6 vorgesehen. Den prinzipiellen Aufbau dieser Steuerung und Regelung zeigt die Fig. 6. Herzstück ist die Recheneinheit 17, in welcher das Simulations- und Rechenmodell 21, das auf einem mathematisch/physikalischen Modell beruht, wie es beispielsweise in der DE 10 2012 224 502 A1 beschrieben ist, hinterlegt ist. Mit Hilfe dieses Simulations- und Rechenmodells 21 sowie beispielsweise mittels des Dynamic Solidification Control (DSC) Verfahrens an den jeweiligen Positionen 12' bis 15' ermittelter Temperaturen und daraus berechneter Gießstrangabkühlraten oder Gießstrangabkühlkurven 12 bis 15 wird in dieser Recheneinheit 17 die sich an der jeweils betrachteten Querschnittsfläche einstellende Gefügeverteilung 22, insbesondere an der Schmalseite 18, berechnet. In einem Prüfschritt 23 wird geprüft, ob es sich bei der berechneten Gefügeverteilung 22 um eine gleichmäßige Gefügeverteilung handelt. Ist dies der Fall (Prüfergebnis: OK 24), wird mit der aktuellen Kühlmittelbeaufschlagung das Verfahren weiter betrieben. Ist als Ergebnis dieses Prüfschrittes 23 ein negatives Ergebnis 25 festzustellen, so werden mit Hilfe des Simulations- und Rechenmodells 21 eine Änderung der aus den jeweiligen Düsen strömenden Kühlmittels, insbesondere Wasser, und/oder der Position der Düsen relativ zur Oberfläche einer Breitseite 19 oder Schmalseite 18 oder der Abstand der Düse von der jeweils zugeordneten Oberflächenseite geändert, wie dies in Schritt 26 angedeutet ist. Mit der Durchführung des Schrittes 26 wird in den Spritzplan 27 des betreffenden Loops und/oder in die Düsenverteilung und Düsenanordnung 28 eingegriffen. Der Eingriff in den Spritzplan besteht darin, dass die auf die jeweilige Oberflächenseite des Gießstranges 6 abgegebene Kühlmittelmenge geändert, d.h. erhöht oder erniedrigt wird. Der Einfluss in Bezug auf die Düsenverteilung 28 besteht darin, dass dadurch die Position einer oder mehrerer Düsen längs einer oder mehrerer Seitenfläche(n), d.h. der Breitseite 19 und/oder einer Schmalseite 18, insbesondere aber einer Schmalseite 18, verändert wird. Dies lässt sich beispielsweise durch in Bezug auf die Höhe

(Dicke) eines Gießstranges 6 höhenverstellbare Spritzdüsen erreichen, so dass durch diese Höhenverstellbarkeit eine verstellbare Relativposition der jeweiligen Düse zur Schmalseite 18 einstellbar ist. Es ist aber auch ebenso möglich oder ergänzend möglich, den Abstand der jeweiligen Düse von einer Breitseite 19 oder Schmalseite 18 veränderbar auszubilden, so dass über eine solche Verstellung die von einer Düse jeweils besprühte Fläche einer Breitseite 19 oder Schmalseite 18 beeinflussbar ist. Bestandteil des Regelschrittes 28 ist somit auch eine Steuerung und Regelung der Düsenverteilung mit breiten Regelkreisen. Die sich aus der Verstellung in den Schritten 27 und 28 ergebenden Veränderungen der Kühlmittelmengen und der Kühlmittelbeaufschlagung, die jeweils geänderte Gießstrangabkühlraten mit sich bringen, fließen dann wiederum in das Simulations- und Rechenmodell 21 ein, so dass sich ein geschlossener Regelkreis ergibt. Durch diesen Regelkreis lässt sich die Gefügebildung auf den Breitseiten 19 und den Schmalseiten 18 eines Gießstranges 6 gezielt steuern und beeinflussen, wobei insbesondere die Beeinflussung der Gefügebildung und Gefügeverteilung auf den Schmalseiten 18 des Gießstranges 6 erfindungsgemäß vorgesehen ist. Es wird eine gleichmäßige Kühlung angestrebt.

[0061] Mittels der Recheneinheit 17 und des Simulations- und Rechenmodells 21 werden ständig und kontinuierlich während der Herstellung des Gießstranges 6 Werte mitberechnet, welche die Ausbildung der jeweiligen Gefügezusammensetzung beschreiben und Verfahrensparameter, d.h. insbesondere die Kühlmittelbeaufschlagung, steuern, so dass auf Basis dieser berechneten Werte und Verfahrensparameter eine dynamische online-Steuerung der Herstellung des Gießstrangs 6 und insbesondere der Kühlung des Gießstrangs 6 möglich und eingestellt wird. Hierbei kombiniert das Simulations- und Rechenmodell 21 ZTU-Diagramme und mittels eines online-Temperaturmodells ermittelte Gießstrangabkühlraten derart, dass für jedes definierte Berechnungselement 16 eines jeden Gießstrangquerschnittes die jeweils aktuelle Gießstrangabkühlrate an einer jeweils definierten und bestimmten Position ermittelt und die sich daraus ergebenden Gefügezusammensetzung berechnet wird sowie durch die Steuerung der Gießstrangabkühlraten dahingehend beeinflusst wird, dass sich das jeweils gewünschte Gefüge bzw. gewünschte Gefügezusammensetzung in dem jeweiligen Berechnungselement 16 einstellt. Insbesondere wird diese Regelung und Steuerung an den Schmalseiten 18 des Gießstrangs 6 durchgeführt. Das Regelungskonzept wirkt also auf die höhenverstellbare Seitenkühlung des Gießstranges 6 und die Steuerung der Schmalseiteneinspritzwassermenge auf Basis der Gefügeberechnung.

Regelungskonzept zur Einstellung eines Makrogefüges (CET "Columnar to equiaxed transition").

[0062] Zur Vermeidung von Oberflächenfehlern sollte der Anteil des globulitischen Gefüges bei ferritischen Stählen über 45 % liegen. Bei anderen Werkstoffen ist es zur Verbesserung der Innenqualität eines Gießstranges ebenfalls wünschenswert, einen globulitischen Anteil von mindestens 35 % zu erhalten. Der globulitische Gefügeanteil ist neben der Überhitzung, der Gießgeschwindigkeit und der Sekundärkühlung vor allem von der Art und Lage der beim Vergießen einer Metallschmelze, insbesondere Stahlschmelze im Strangguss Verwendung findenden Rührer abhängig. Bei einem nicht verstellbaren Rührer und einer vorgegebenen Überhitzung können die Gießgeschwindigkeit und die Spritzwassermengen (Kühlmittel) so geregelt werden, dass mit Modellrechnungen das gewünschte Erstarrungsgefüge erreicht wird. Bei verstellbaren Rührern kann außerdem ihre optimale Position und Intensität berechnet und eingestellt werden. Das Regelungskonzept zur Einstellung eines Makrogefüges (CET) ist der Fig. 7 zu entnehmen. Wie üblich werden aktuelle Prozessparameter ermittelt und dem mathematisch-physikalischen Modell, welches Bestandteil eines Simulations- und Rechenmodells 21 ist, zugeführt. Mithilfe dieses Simulations- und Rechenmodells 21 wird der sich über die Gießstranglänge an einem jeweils definierten Ort einstellende globulitische Anteil am Makrogefüge in % berechnet und geprüft, ob dieser berechnete globulitische Anteil $\geq$ dem gewünschten globulitischen Anteil ist. Falls ja, bleiben die Prozessparameter unverändert. Falls nein, wird die Rührerwirkung erhöht, falls dies möglich ist, und/oder wird die Überhitzung herabgesetzt und/oder wird die Gießgeschwindigkeit erhöht. Überprüft wird das Berechnungsmodell 21 anhand von Schlibbildern. Falls die Schlibbilder einen anderen globulitischen Gefügeanteil am Makrogefüge zeigen, als sich aus der Berechnung ergibt, wird das Berechnungsmodell entsprechend adaptiert bzw. angepasst. Mit diesem Regelungskonzept werden insbesondere die leistungsverstellbaren Rührer mit zugehöriger Automation und die Sekundärkühlung beaufschlagt und beeinflusst.

Regelungskonzept zur Erzielung einer gleichmäßig ausgebildeten Sumpfspitze

[0063] Falls über die Breite des Gießstrangs 6 eine einheitliche Spritzwassermenge aufgebracht wird, stellt sich auch eine einheitliche Temperaturverteilung über die Breite des Gießstranges ein. Nur an den Kanten, d.h. den Übergängen zu den angrenzenden senkrechten Seitenbereichen fällt die Temperatur aufgrund einer zweidimensionalen Wärmeabfuhr wesentlich stärker ab. Diese "Zweidimensionalität" bezieht sich darauf, dass die senkrecht zueinander stehenden Seiten beide mit Kühlwasser oder Kühlmittel beaufschlagt werden. Die Schmalseiten werden in der Regel nur im oberen Bereich der Strangführung unterhalb der Kokille mit Kühlwasser beaufschlagt. Im unteren Bereich der Strangführung führt dagegen hauptsächlich die Wärmestrahlung an den Schmalseiten in zwei Dimensionen zu dem Temperaturabfall an der Kante.

[0064] Das Ergebnis einer gleichmäßigen Kühlung ist eine gleichmäßig ausgebildete Sumpfspitze. Um den starken Temperaturabfall an den Kanten zu verringern, sind die aufgebrachten bzw. beaufschlagten Spritzwassermengen über die Strangbreite oft nicht konstant, sondern sind den Randbereichen dann so genannte Randregelkreise zugeordnet, mittels welcher eine geringere spezifische Wassermenge als im übrigen Bereich der Fläche der Strangbreite aufgetragen wird. Hierdurch erhöht sich die Oberflächentemperatur der Kante und der Temperaturabfall an der Kante ist dann nicht mehr so hoch. Negativ hierbei ist allerdings, dass der Strang über seine Breite nicht mehr gleichmäßig erstarrt, sondern die Sumpfspitze eine so genannte "W"-Form ausbildet. Eine ungleichmäßige Sumpfspitze ist sehr problematisch. Es kann zu einer verstärkten Mittenseigerung an den Rändern führen und somit an sich ein erhöhter Innenfehlerbefall an unterschiedlichsten Stellen des Gießstrangs 6 einstellen. Des Weiteren lässt sich keine optimale Position für das Durchführen einer SoftReduction bestimmen. Diese Problematik wird bei dem erfindungsgemäßen Regelungskonzept zur Erzielung einer gleichmäßig ausgebildeten Sumpfspitze dadurch vermieden, dass ein so genannter "SPDF" (Solidification Point Difference Factor)-Wert definiert und gebildet wird, der Abweichungen der Sumpflänge beschreibt. Dieser SPDF-Wert lautet:

$$\text{SPDF} = \frac{\text{maximale Sumpflänge} - \text{Sumpflänge in der Strangmitte}}{\text{Sumpflänge in der Strangmitte}}$$

[0065] Die Wassermengen in den Randzonen werden nun so geregelt, dass der SPDF-Wert ein vorgegebenes Maß, den $\text{SPDF}_{\max}$ -Wert, nicht überschreitet. Sollte dies der Fall sein, werden die Spritzwassermengen in den Randzonen wieder erhöht. Die Bestimmung der jeweiligen Erstarrungsposition erfolgt mithilfe eines mathematisch-physikalischen Modells, welches das oder eines der gegebenenfalls mehreren Simulations- und Rechenmodelle 21 ausbildet oder Bestandteil eines solchen ist. Das Regelungsschema ist der Fig. 8 zu entnehmen. Mithilfe des Simulations- und Rechenmodells 21 wird die Durcherstarrungsfront berechnet und ermittelt. Weiterhin wird geprüft, ob der aktuell berechnete SPDF-Wert $\leq$ einem gewünschten, maximalen $\text{SPDF}_{\max}$ -Wert ist. Sollten sich hier Abweichungen vom $\text{SPDF}_{\max}$ -Wert feststellen lassen, wird die Temperaturdifferenz in den Randbereichen des Gießstranges 6 durch Angleichen der spezifischen Wassermengen zwischen Mitten- und Randregelkreisen verringert. Dieses Regelungskonzept wirkt auf und beaufschlagt die Sekundärkühlung und die Messung und Rückführung eventueller Messwerte in das Simulations- und Rechenmodell 21.

Regelungskonzept zur Erzielung einer konstanten Auslaufdicke des Gießstrangs

[0066] Um in einem an die Stranggießanlage anschließenden Walzwerk in Bezug auf den zu walzenden Gießstrang 6 immer die gleichen Startbedingungen vorliegen zu haben, ist es wünschenswert, einen Gießstrang oder daraus hergestellte Brammen mit einer konstanten Enddicke zu erstellen. Für alle Stahlsorten, Gießgeschwindigkeiten und die hieraus erzielten Temperaturverteilungen im Gießstrang 6 dürfen die erzeugten Brammen bei Raumtemperatur dann eine gewisse Dickentoleranz nicht über- oder unterschreiten. Aus einem in das Simulations- und Rechenmodell 21 integrierten Materialmodell kann, zum Beispiel bei Anwendung des so genannten Dynamic Solidification Control (DSC) - Modells, für jede Analyse und jede Temperatur die sich dann einstellende Dichte des Gießstrangs 6 bestimmt werden. Wichtig ist hierbei die Kenntnis der Umwandlungstemperaturen, d.h. bei welcher Temperatur der Werkstoff eine Phasenumwandlung vollzieht. Das Kokillenaustrittsmaß kann nicht unmittelbar aus der gewünschten Enddicke und der Dichtedifferenz bestimmt werden. Die einzelnen Segmente 29 und Rollen müssen nämlich so angestellt werden, dass diese den sich durch die Dichtedifferenz bildenden natürlichen Strumpf wegdrücken. Hierzu muss für die aktuellen Prozesswerte die Temperaturdifferenz in jedem Berechnungselement 16 und die damit verbundene Kontraktion berechnet werden. Die Kontraktion des noch flüssigen Materials (Metalls, Stahls) muss nicht berücksichtigt werden, da es durch die ferrostatische Last im Stranginneren ständig nachfließt. Danach wird ausgehend von der geforderten Enddicke vom Anlagenende her bis zur Kokille hin über die Länge des Gießstranges 6 hinweg die Anstellung für jedes Segment 29 und deren Rollen 7 berechnet. Bei einer Änderung der Prozesswerte erfolgt sofort eine neue Bestimmung der Segmentanstellung. Wenn die Brammen zum Beispiel im kalten Zustand bei 25°C eine Dicke von 250 mm haben sollen, kann über die Dichtedifferenz und die Temperaturverteilung an der letzten Stellposition, d.h. an der am letzten Segment 29 des Gießstranges 6 vor Abtrennung einer Bramme, die dort benötigte Dicke berechnet werden. Als Stranganstellung dienen die hydraulisch anstellbaren Segmente in Brammengießanlagen oder verstellbare Einzelrollen bei Langprodukte erstellenden Anlagen. Ebenso kann nun wieder bei Kenntnis der Differenz der Temperaturverteilungen über den Querschnitt und/oder die Länge des Gießstranges 6 zwischen der vorletzten und letzten Anstellposition des Gießstranges 6 und dem daraus resultierenden Volumenschumpf die dortige Anstellung berechnet werden. Die Gießstrangdicke am Austritt aus der Kokille 2 ist hingegen anlagenspezifisch bestimmt und festgelegt und kann nicht dynamisch verstellt werden. Um bei Temperaturschwankungen durch stationäre Prozessbedingungen wie einer geänderten Überhitzung dennoch die gewünschte Enddicke zu erhalten, ist es notwendig das Kokillenaustrittsmaß des Gießstranges 6 etwas

größer anzusetzen als es zum Ausgleich des natürlichen Schrumpfes sein müsste. Über eine Anstellverteilung wird diese zusätzliche Dickenabnahme über die einzelnen Anstellpositionen verteilt. Falls die berechnete Materialdicke nach der Abkühlung auch ohne Anstellung schon geringer als die vorgegebene Enddicke ist, kann dies nicht durch eine Änderung von Gießgeschwindigkeit oder Spritzwassermenge kompensiert werden. Diese Änderungen würden nur das zeitliche Ende der Abkühlung verschieben. Zur Verringerung des Schrumpfes muss dann die Austrittstemperatur des Stranges an der Kokille 2 beispielsweise durch eine Verringerung der Kokillentemperatur herabgesetzt werden. Dies sollte aber nicht ohne eine Warnung an die Operatoren automatisiert werden. Ein dieses Regelungskonzept zur Erzielung einer konstanten Auslaufdicke des Gießstranges 6 realisierendes Regelungsschema ist in der Figur 9 dargestellt. Be-

Regelungskonzept zur Verminderung von Lunker und Kernlockerstellen im Gießstrang

[0067] Für die Berechnung von Lunkern und Porenbildung in einem Gießstrang 6 beim Stranggießen ist die Kenntnis des zeitlichen Temperaturfeldes des Gießstranges 6 eine Voraussetzung. Über die Temperaturverteilung und die hieraus berechneten Erstarrungsgeschwindigkeit können der Sekundär-Dendritenarmabstand (SDAS) und eine dem hydrostatischen Druck entgegenwirkende Permeabilität berechnet werden. Die Permeabilität beschreibt dabei die Durchlässigkeit der Dendritenstruktur. Je größer die Permeabilität ist, umso größer ist die Durchlässigkeit. Der Druckverlust der nachströmenden Schmelze steigt mit abnehmender Permeabilität. Die Nachspeisung endet, wenn der Druckverlust der nachspeisenden Strömung größer als die ferrostatische Last ist. Bei der Auftragung des Druckverlustes und des hydrostatischen Druckes in der Maßeinheit "bar" über der Gießstranglänge oder dem Abstand des betrachtenden Ortes vom Gießspiegel in der Maßeinheit "m" ist die Grenze genau im Schnittpunkt von Druckverlust und hydrostatischem Druck erreicht. Aus der Literatur ist bekannt, dass das Lunkervolumen eine Funktion der Gießgeschwindigkeit ist und mit einer Erhöhung der Gießgeschwindigkeit das Lunkervolumen fast linear ansteigt. Das erfindungsgemäße Regelungskonzept besteht nun darin, die Gießgeschwindigkeit in einer Stranggussanlage für Brammen und Langprodukte (Vorblick-, Knüppel- oder Rundanlagen) so zu variieren, dass der mit den mathematisch-physikalischen Rechenmodell bzw. einem der Simulations- und Rechenmodelle 21 bestimmte Lunkerdurchmesser einen vorgegebenen Messwert nicht überschreitet. Hierdurch kann zwar die Produktivität der Anlage herabgesetzt werden, auf jeden Fall wird hierdurch aber die Qualität des erhaltenen Gießstranges 6 verbessert. Das Regelungsschema für dieses Regelungskonzept ist in der Figur 10 dargestellt. Hieraus wird ersichtlich, dass mithilfe des Simulations- und Rechenmodells 21 der Lunkerdurchmesser (am jeweiligen Ort des Gießstranges 6) berechnet und mit der gewünschten Größe, d.h. einem gewünschten Lunker-

durchmesser, verglichen wird. Ist der berechnete Lunkerdurchmesser größer als gemäß Vorgabe, dann wird die Gießgeschwindigkeit gesenkt, um die sich einstellenden Lunkerdurchmesser zu verringern. Mit diesem Regelungskonzept werden die hydraulische Segment- und/oder Rollenanstellung sowie die Mess- und Regelsysteme der Stranggießanlage beeinflusst und beaufschlagt

Bezugszeichenliste

[0068]

1	Gießbogen
2	Durchlaufkokille
3	Stahlschmelze / Schmelze
4	Biegebereich
5	Richtbereich
6	Gießstrang
7	Rolle
8	Kühlmittel / Spritzwasser
9	flüssiger Kern
10	Sumpfspitze
11	Kühlmittel / Wasserkühlung
12 - 15	Gießstrangabkühlkurven
16	Berechnungselement
17	Recheneinheit
18	Schmalseite
19	Breitseite
20	Ferritgebiet
21	Simulations- und Rechenmodelle
22	Gefügeverteilung

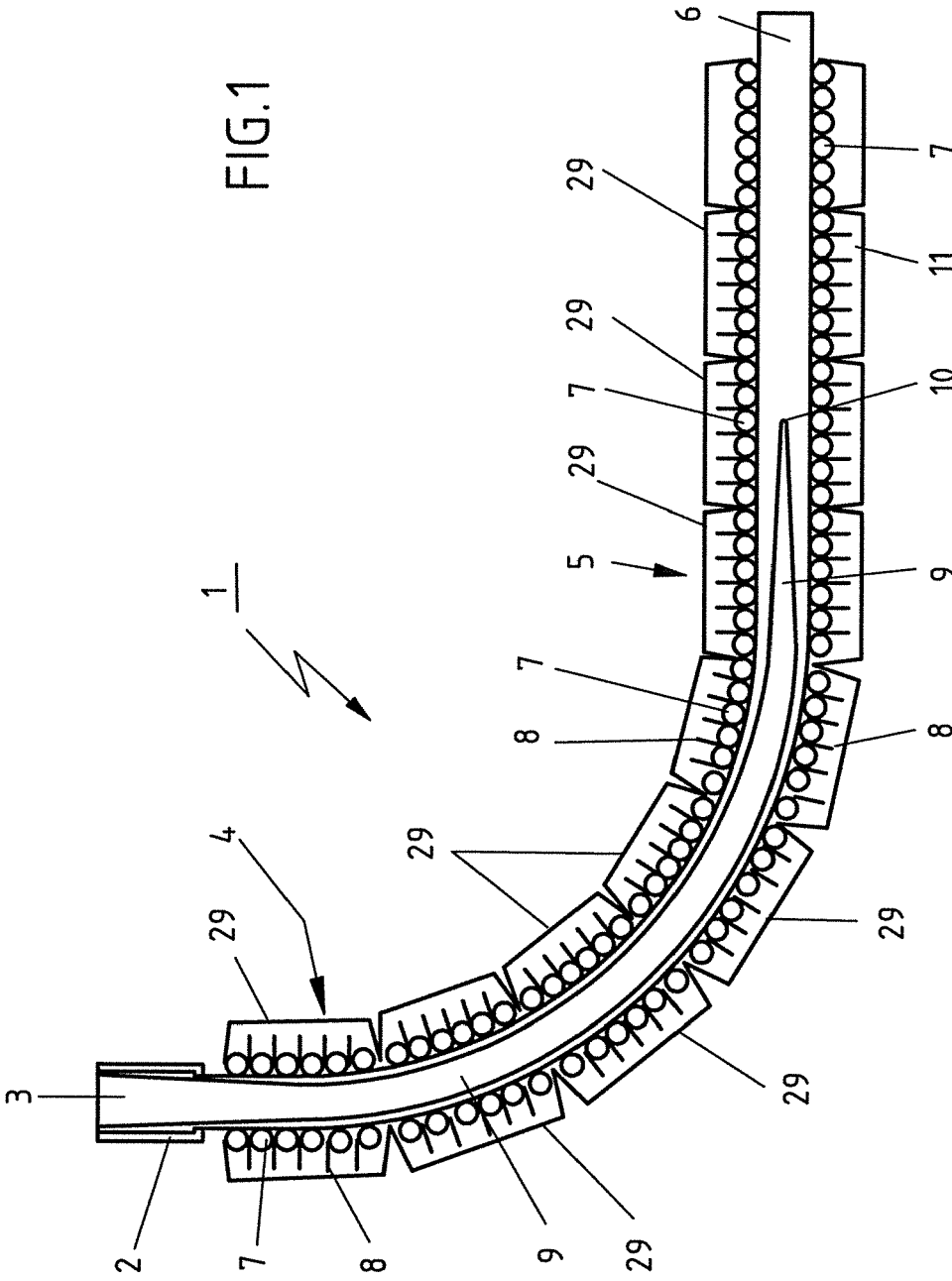
23	Prüfschritt
24	positives Prüfergebnis
25	negatives Prüfergebnis
26	Schritt
5 27	Spritzplan
28	Düsenverteilung
29	Segment
30	Mushy - Gefüge
31	Austenit - Gefüge
10 32	ferrit-Gefüge
33	Bainit-Gefüge

Patentansprüche

- 15
1. Verfahren zur Herstellung eines Metallstrangs, insbesondere eines Stahlstrangs, umfassend das Vergießen einer Metallschmelze, insbesondere Stahlschmelze (3), im Stranggießverfahren zu einem Gießstrang (6), der mit Kühlmittel (8, 11) gekühlt und gewünschtenfalls dickenreduziert wird, wobei unter Zugrundelegung eines oder mehrerer die zeitabhängige Temperaturverteilung über die Gießstranglänge beschreibender und/oder die Ausbildung eines gewünschten Gefüges des Gießstrangs (6) über die Gießstranglänge beschreibender und/oder berechnender Simulations- und Rechenmodelle (21), zum Beispiel dem DSC(Dynamic Solidification Control)-Berechnungs- und Steuerungsprogramm während der Herstellung des Gießstrangs (6) Werte mitberechnet werden, welche die Ausbildung der jeweiligen Gefügezusammensetzung beschreiben und/oder diese oder die Gießstrangausbildung beeinflussende Verfahrensparameter steuern und auf Basis welcher online dynamisch während der Herstellung des Gießstrangs (6) die Kühlung des Gießstrangs (6) und/oder die Gießgeschwindigkeit eingestellt wird,
- 20
- dadurch gekennzeichnet,**
- dass** das oder die Simulations- und Rechenmodelle (21) in Abhängigkeit von der berechneten aktuellen Temperaturverteilung über die Gießstranglänge und/oder in einem jeweils betrachteten Querschnitt des Gießstrangs die örtlich auf den Gießstrang aufzubringende Kühlmittelmenge und/oder Kühlmittelverteilung, insbesondere Spritzwassermenge und/oder Spritzwasserverteilung, und/oder die Gießgeschwindigkeit und/oder die Rollen- und/oder Segmentanstellung derart regeln, dass das gewünschte Gefüge oder die gewünschte Gefügezusammensetzung oder eine gewünschte Lage und/oder Ausbildung der Sumpfspitze oder eine gewünschte geometrische Abmessung und/oder Oberflächenbeschaffenheit oder Innenstrukturbeschaffenheit des Gießstrangs (6) eingestellt wird/werden.
- 30
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein gewünschtes Makrogefüge (= Erstarrungsgefüge) mit einem globulitischen Gefügeanteil von mindestens 30 %, vorzugsweise mindestens 35 %, und bei ferritischem Stahl von mindestens 40 %, vorzugsweise mindestens 45 %, eingestellt wird.
- 35
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Einstellung des gewünschten Makrogefüges bei einer mit einem Rührer ausgestatteten Stranggießanlage die Gießgeschwindigkeit und die Spritzwassermenge geregelt werden und bei einer Stranggießanlage mit verstellbarem Rührer zusätzlich die in Bezug auf die Erzielung des gewünschten Makrogefüges und/oder die gewünschte Gefügezusammensetzung des Gießstrangs (6) optimale Rührerposition und die Rührintensität mittels oder auf Basis des Simulations- und Rechenmodells (21) berechnet und eingestellt werden.
- 40
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Einstellung des gewünschten Mikrogefüges das Simulations- und Rechenmodell (21) ZTU(Zeit-Temperatur-Umwandlungs)-Diagramme umfasst und diese mit mittels eines Online-Temperaturmodells des Gießstrangs (6) berechneten Gießstrangabkühlraten derart kombiniert werden, dass für jedes definierte Berechnungselement (16) eines jeden Gießstrangquerschnitts die jeweils aktuelle Gießstrangabkühlrate und die sich daraus ergebende Gefügezusammensetzung berechenbar und berechnet werden sowie durch Steuerung der Gießstrangabkühlraten das gewünschte Gefüge eingestellt wird.
- 45
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gießstrangabkühlraten an ihrer jeweiligen Position bezüglich des Gießstrangs (6) durch Regelung der in diesem Bereich jeweils auf den Gießstrang (6) auftreffenden Kühlmittelmenge und/oder die Steuerung des Ortes oder der Fläche des Auftreffens des Kühlmittels (8, 11) auf den Gießstrang (6) derart gesteuert und geregelt werden, dass eine möglichst gleichmäßige Umwandlung des Metallgefüges auf der Schmalseite (18) und/oder der Breitseite (19) des Gießstrangs (6), insbesondere bei einem Stahl-
- 50
- 55

strang unter Vermeidung der Ausbildung der Absetzung von Ferritkörnern auf Austenitkorngrenzen, erreicht wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ZTU(Zeit-Temperatur-Umwandlungs)-Diagramme mittels des Simulations- und Rechenmodells (21) berechnet werden.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 4 - 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gießstrangabkühlraten in Bezug auf die Schmalseiten (18) des Gießstrangs (6) ermittelt werden und die auf die Schmalseiten (18) des Gießstrangs (6) auftreffende Kühlmittelmenge und/oder der Ort oder die Fläche, auf welche(n) das Kühlmittel (8, 11) auf der jeweiligen Schmalseite (18) des Gießstrangs (6) aufgebracht wird, in Abhängigkeit von dem sich im Grenzbereich zur Oberfläche der Schmalseite (18) einstellenden Gefüge gesteuert und geregelt wird/werden.
8. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Einstellung der gewünschten Lage und/oder Ausbildung der Sumpfspitze des Gießstrangs (6) mittels oder auf Basis des oder der Simulations- und Rechenmodelle (21) eine gewünschte Sumpflänge in Form eines SPDF(Solidification Point Difference Factor)-Wertes berechnet wird und bei Überschreiten eines maximalen SPDF_{max}-Wertes durch Erhöhung der Spritzwassermenge in den Randzonen des Gießstrangs (6) im Bereich der Sumpfspitze der gewünschte SPDF-Wert eingeregelt und eingestellt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Einstellung der gewünschten geometrischen Abmessung des Gießstrangs (6) mittels oder auf Basis des oder der Simulations- und Rechenmodelle (21) ausgehend von der gewünschten Enddicke des Gießstrangs (6) am Anlagenende bis zur Kokille über die Länge des Gießstrangs (6) die eine zur Bereitstellung der für das Erreichen der gewünschten Abmessung des Gießstrangs (6) notwendige Kühlrate und/oder Verformung bewirkende Anstellung für jedes Segment (29) und/oder jede Rolle (7) berechnet, eingeregelt und eingestellt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die an einem jeden Segment (29) dort zur Erreichung einer für die Erzielung der gewünschten Enddicke jeweils notwendigen Strangdicke einzustellende Segmentanstellung und/oder Rollenstellung aus der aus der jeweils ermittelten Temperatur oder Temperaturverteilung ermittelten Dichte und der sich über die Gießstranglänge ergebenden Dichtedifferenz mittels oder auf Basis des oder der Simulations- und Rechenmodelle (21) berechnet wird/werden.
11. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Einstellung der gewünschten Oberflächenbeschaffenheit oder Innenstrukturbeschaffenheit des Gießstrangs und zur Verminderung von Lunker- oder Kernlockerstellen mittels oder auf Basis des oder der Simulations- und Rechenmodelle (21) über die Gießstranglänge ein gewünschter Lunkerdurchmesser berechnet wird und bei Überschreiten eines vorgegebenen Höchstwertes des Lunkerdurchmessers die Gießgeschwindigkeit verringert wird.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verfahren bei der Sekundärkühlung des Gießstrangs (6) angewendet wird.
13. Gießstrang, insbesondere Stahlstrang, erhalten oder erhältlich durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12.



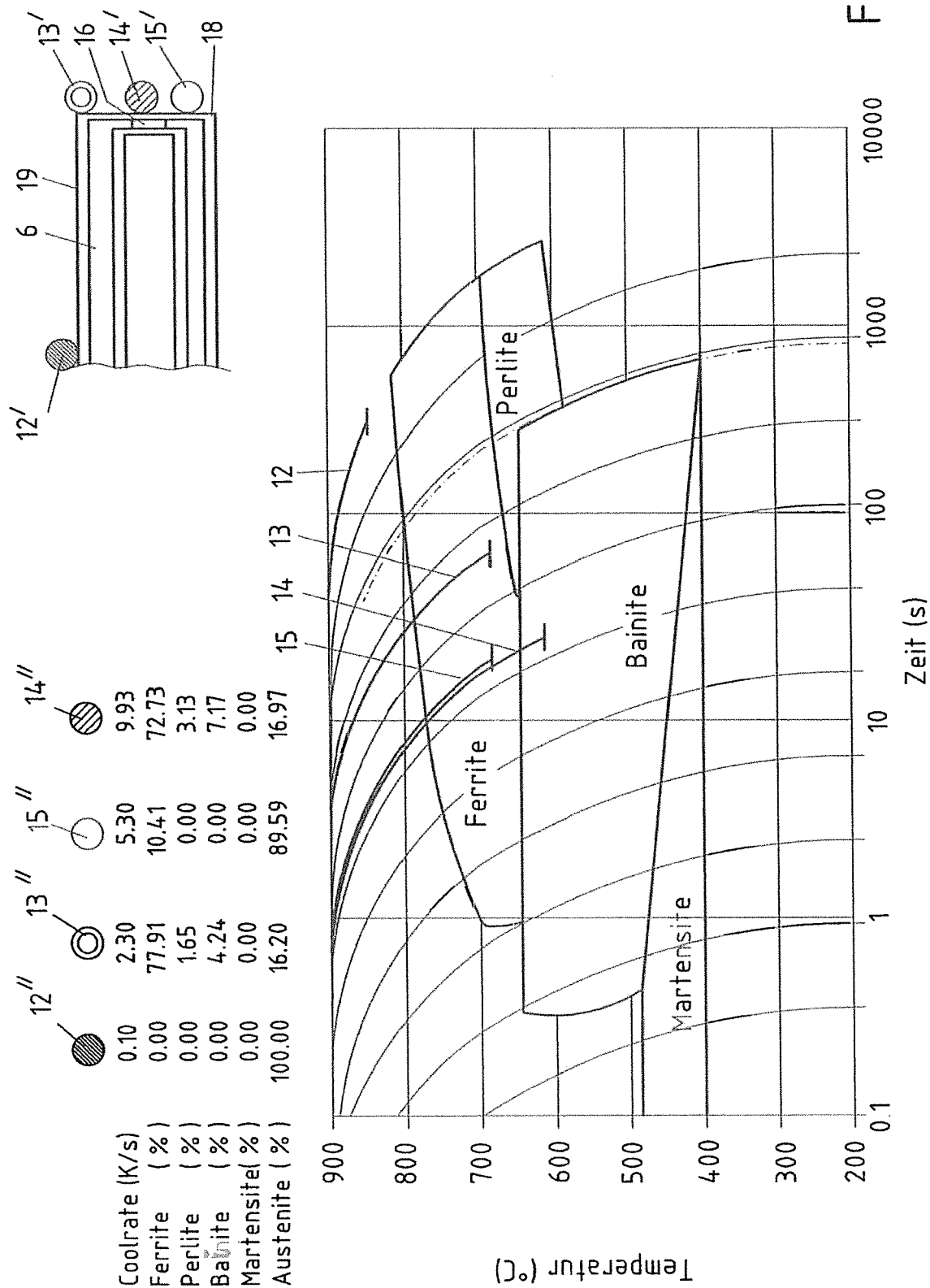


FIG.2

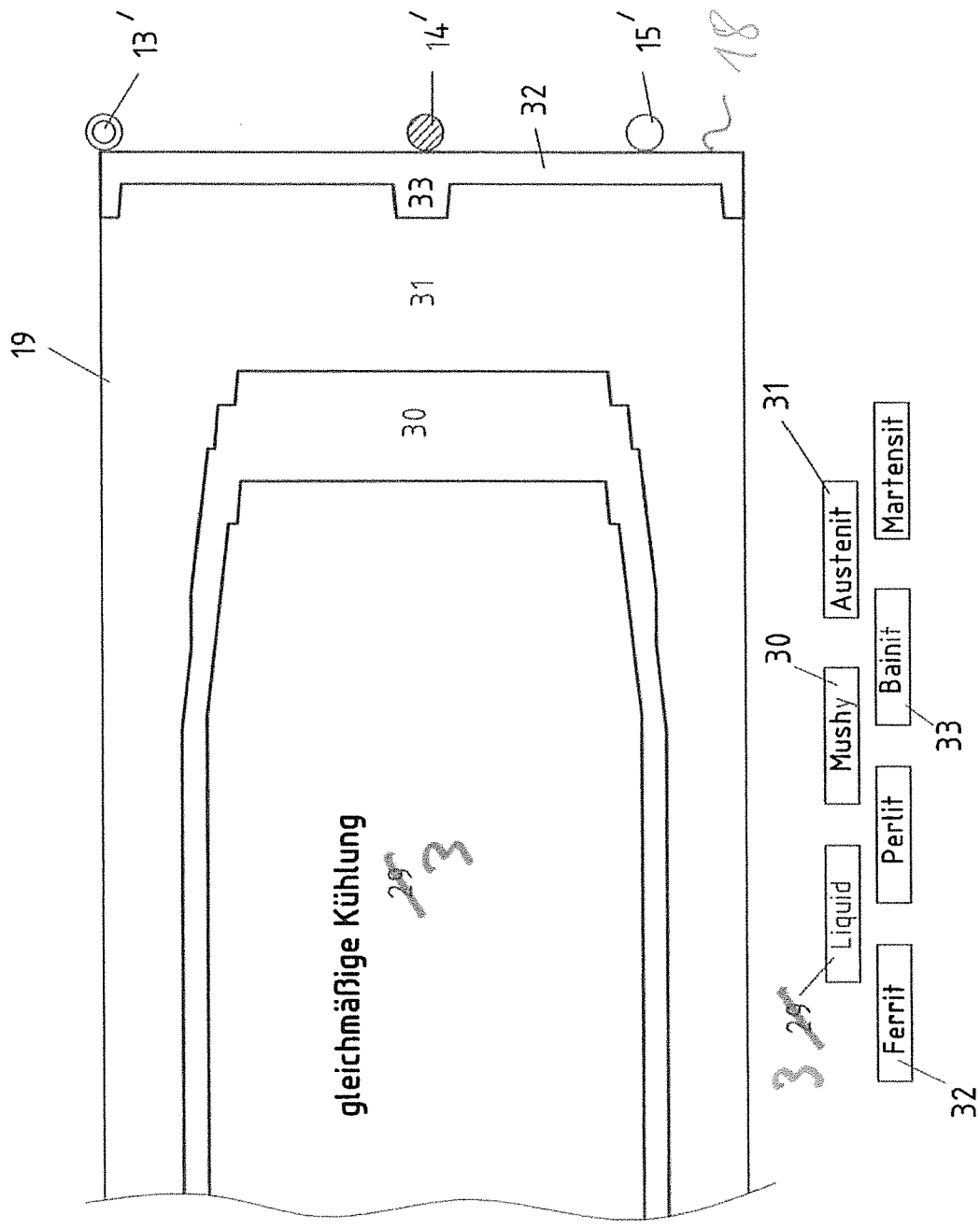
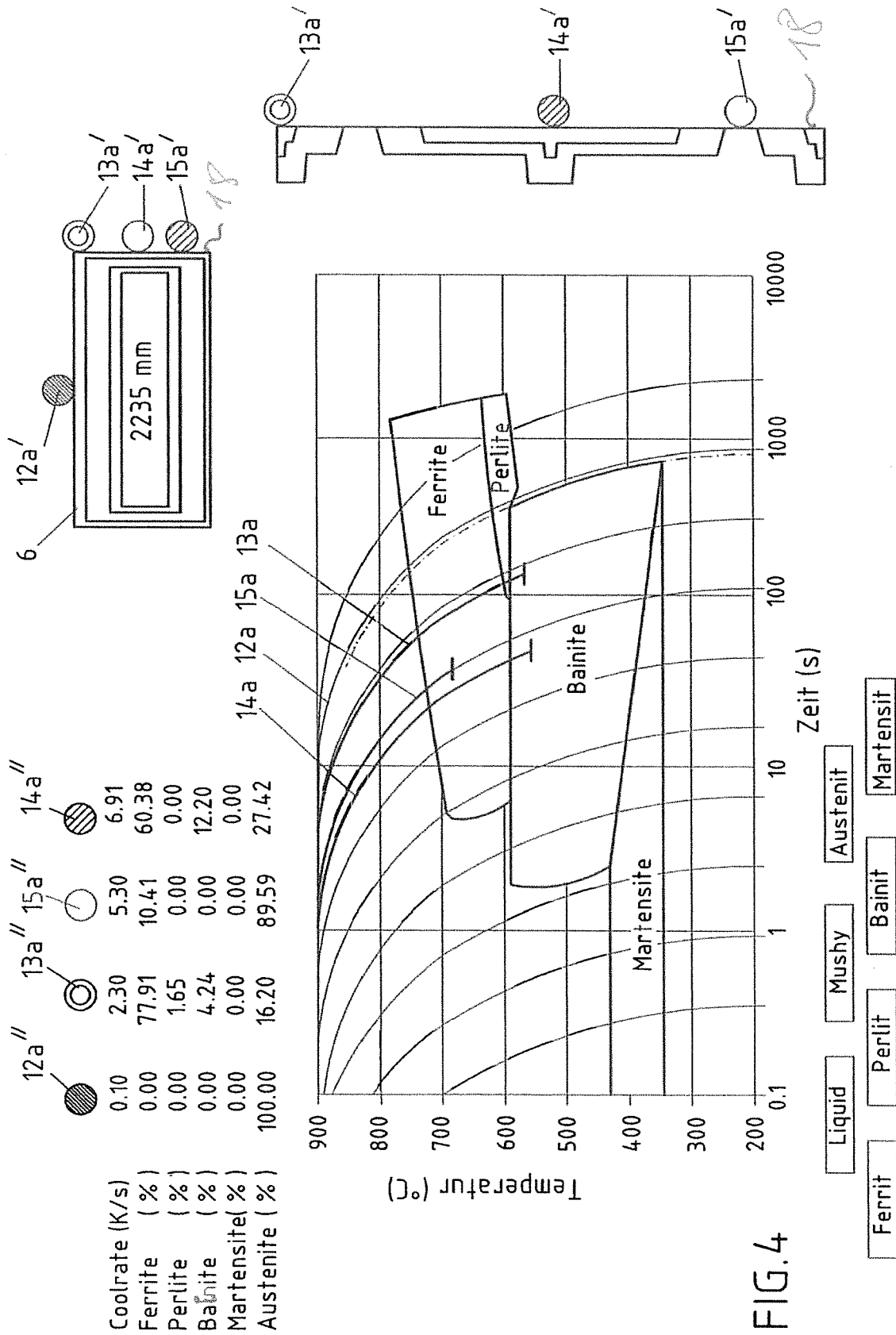
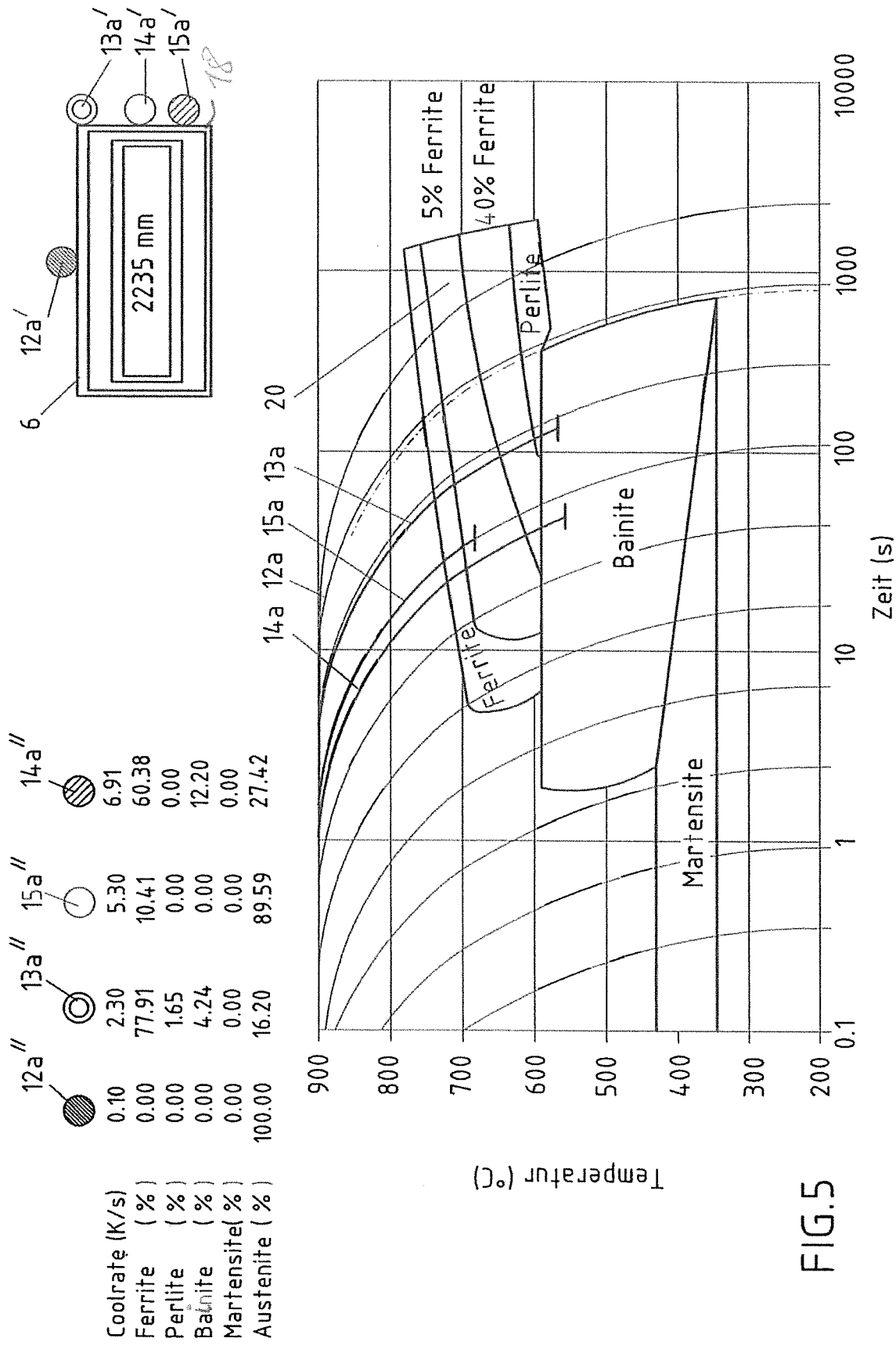


FIG.3





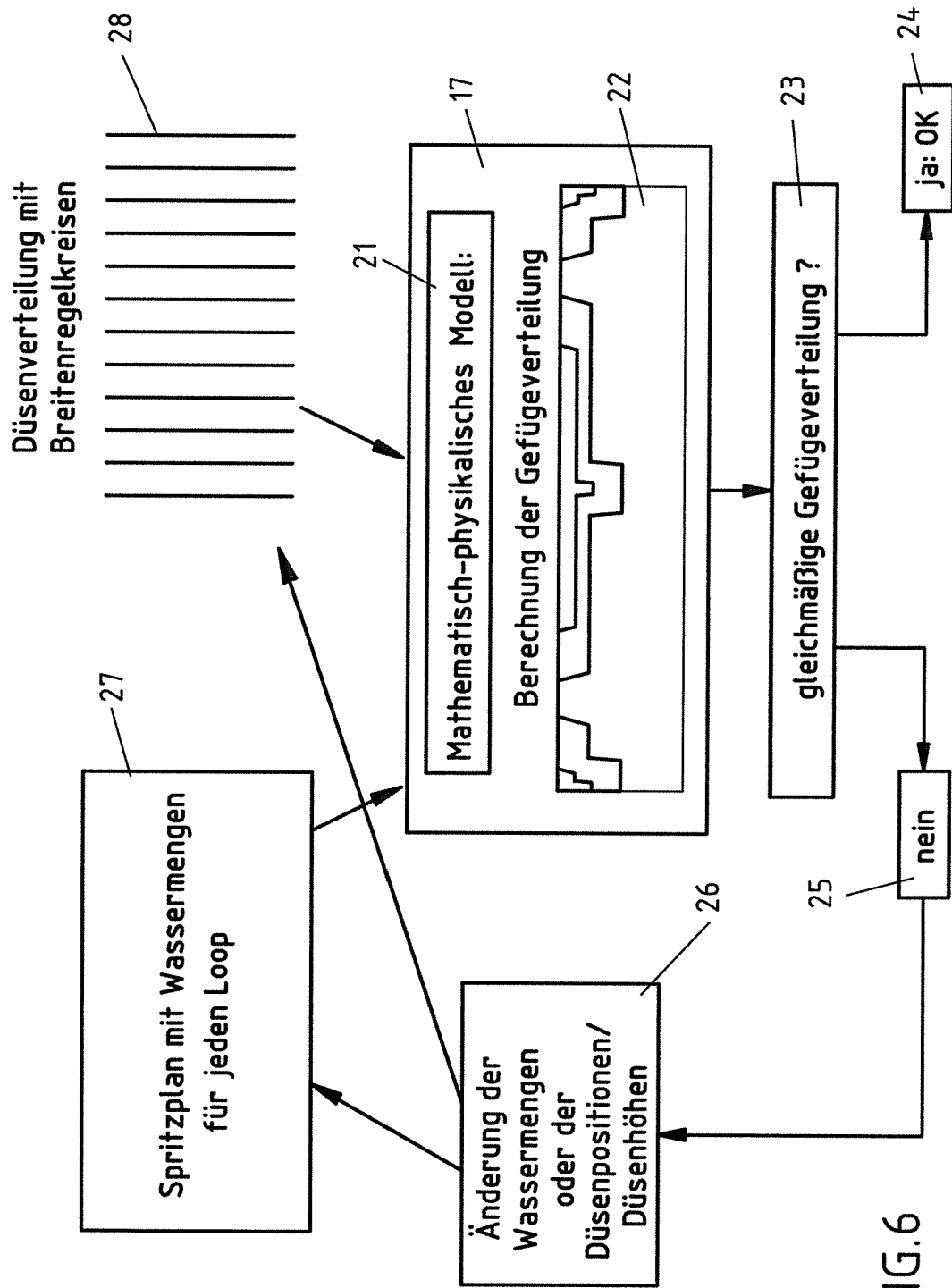


FIG.6

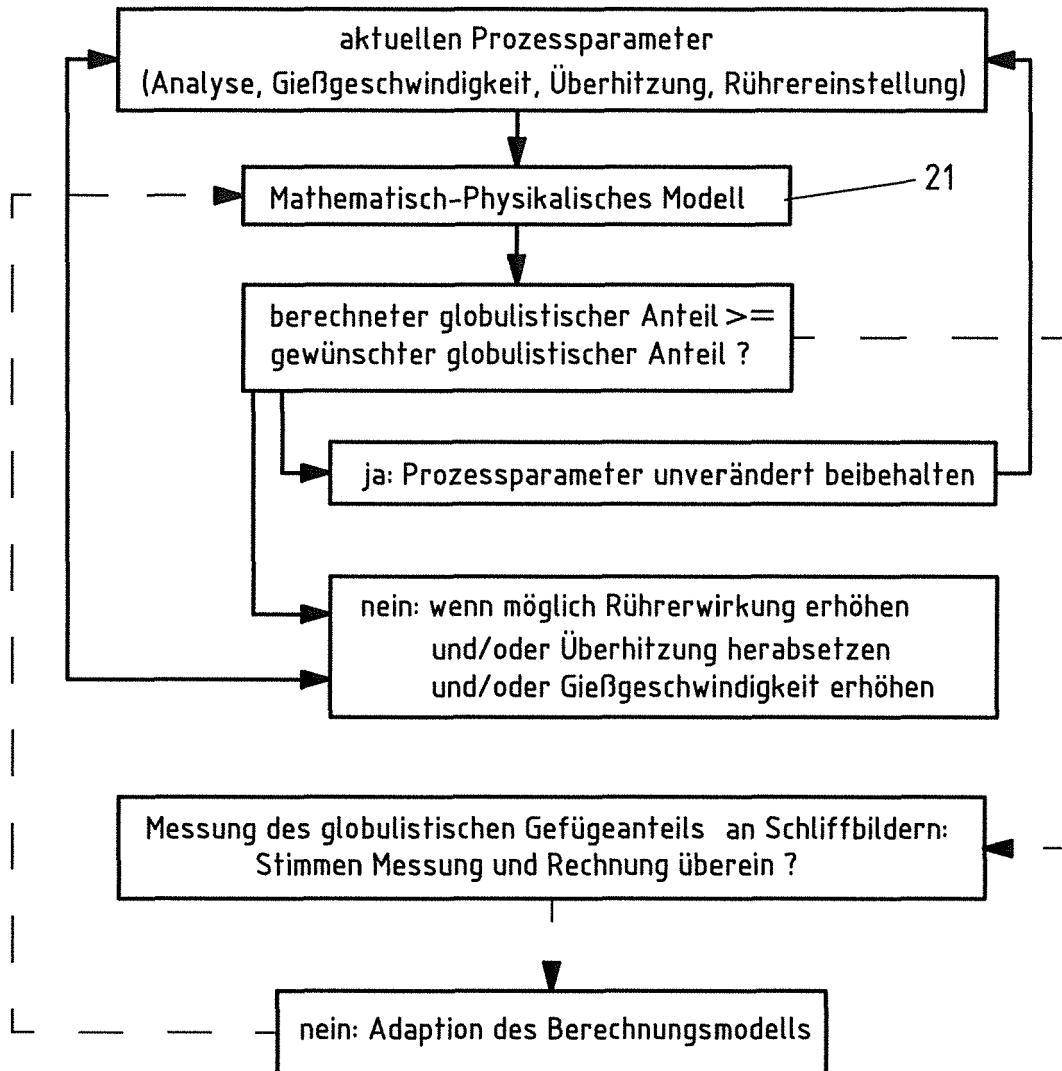
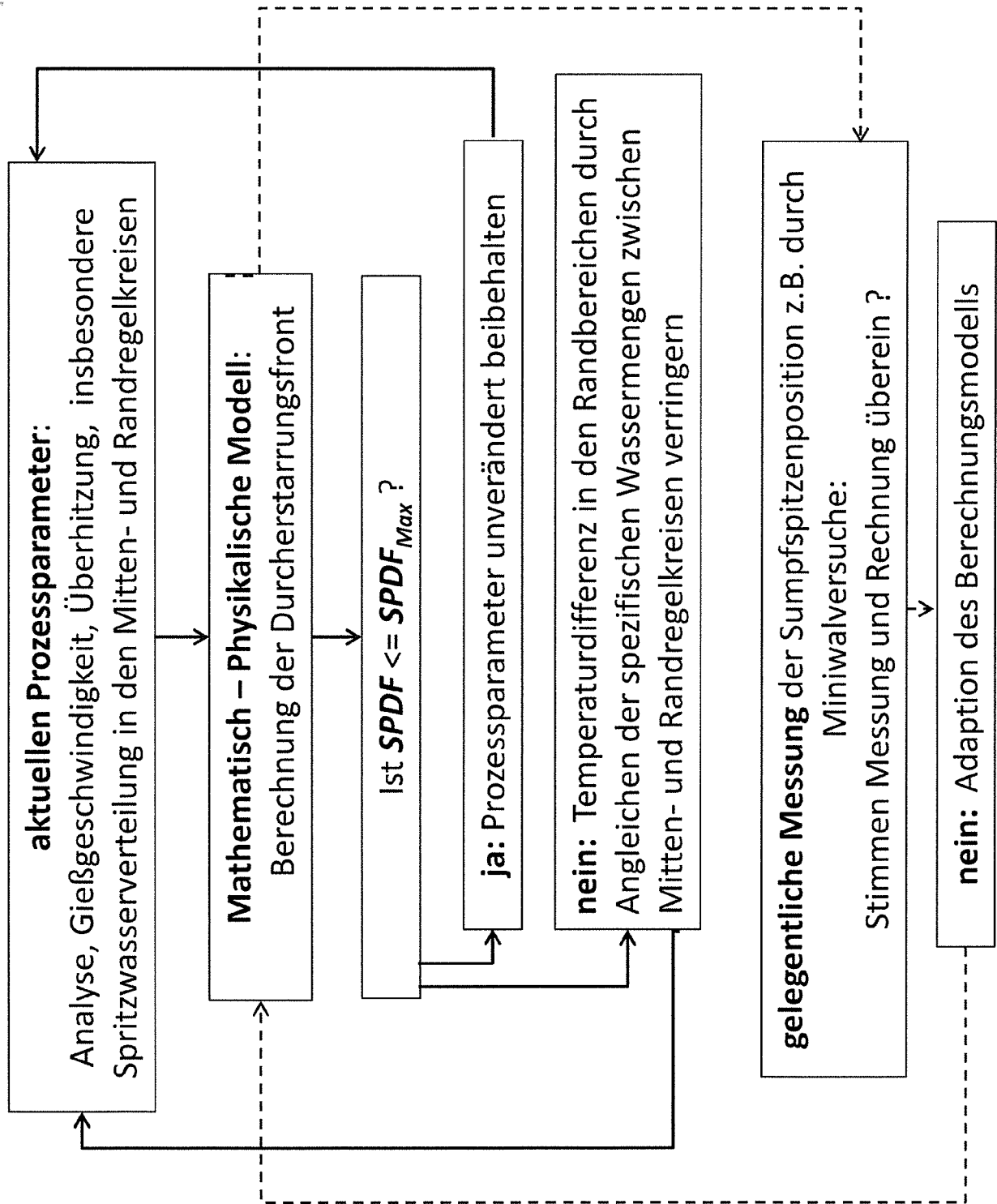


FIG.7



f 15.8

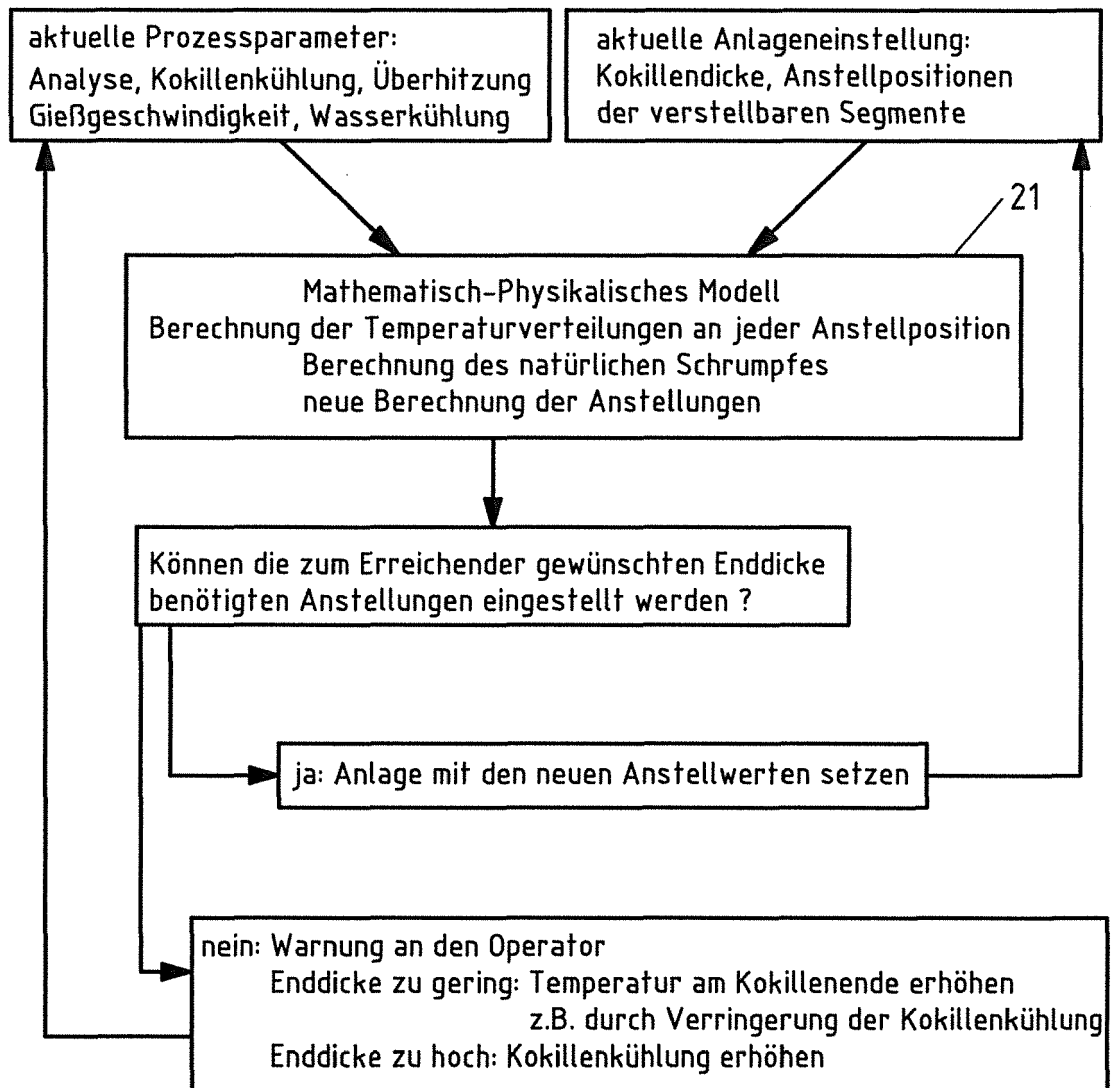


FIG.9

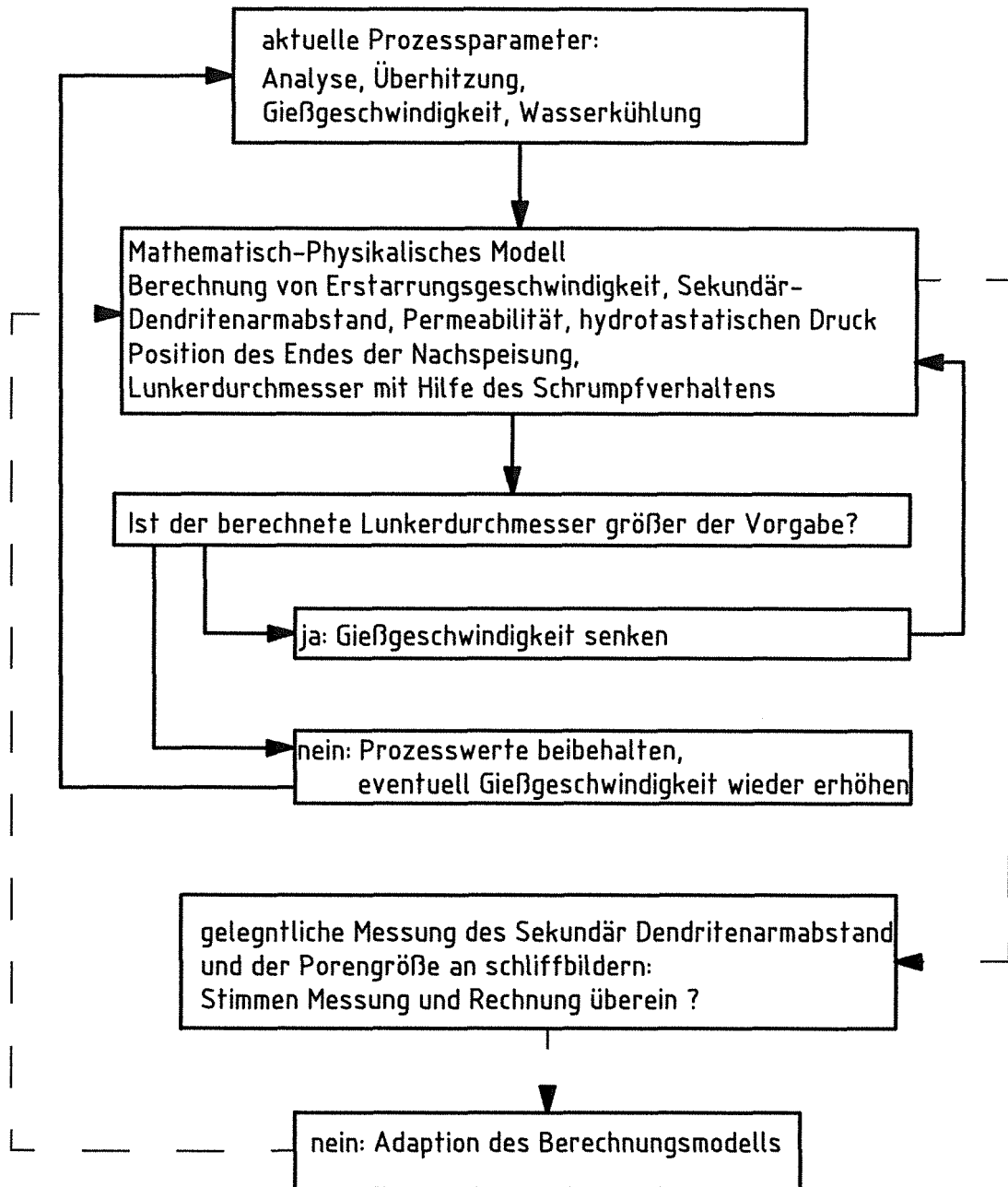


FIG.10



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 16 20 1292

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2009/084517 A1 (THOMAS BRIAN G [US] ET AL) 2. April 2009 (2009-04-02)	1,11-13	INV. B22D11/22 B22D11/16
Y	* Absätze [0004], [0028] - [0032]; Abbildungen 2-6 *	2,3	
X	DE 196 12 420 A1 (SIEMENS AG [DE]) 2. Oktober 1997 (1997-10-02)	1,8-13	
Y	* Ansprüche 1-9 *	2,3	
Y	DE 10 2014 105870 A1 (THYSSENKRUPP AG [DE]; THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG [DE]) 29. Oktober 2015 (2015-10-29)	2,3	
	* Absätze [0004], [0009] - [0011] *		
X,D	EP 1 289 691 B1 (VOEST ALPINE IND ANLAGEN [AT]) 29. November 2006 (2006-11-29)	1,4-7,11	
	* Absätze [0026] - [0031], [0034]; Ansprüche 1-4 *		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B22D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 24. Mai 2017	Prüfer Rischard, Marc
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 16 20 1292

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

24-05-2017

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	US 2009084517 A1	02-04-2009	US 2009084517 A1	02-04-2009
			US 2013068416 A1	21-03-2013
			US 2014116639 A1	01-05-2014
15	-----	-----	-----	-----
	DE 19612420 A1	02-10-1997	DE 19612420 A1	02-10-1997
			US 5988259 A	23-11-1999
	-----	-----	-----	-----
	DE 102014105870 A1	29-10-2015	CN 106536087 A	22-03-2017
20			DE 102014105870 A1	29-10-2015
			EP 3134220 A1	01-03-2017
			KR 20160146914 A	21-12-2016
			US 2017036267 A1	09-02-2017
			WO 2015162039 A1	29-10-2015
	-----	-----	-----	-----
25	EP 1289691 B1	29-11-2006	AT 409352 B	25-07-2002
			EP 1289691 A1	12-03-2003
			WO 0191943 A1	06-12-2001
	-----	-----	-----	-----
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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

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 102012224502 A1 [0006] [0044] [0060]
- WO 0191943 A1 [0007]