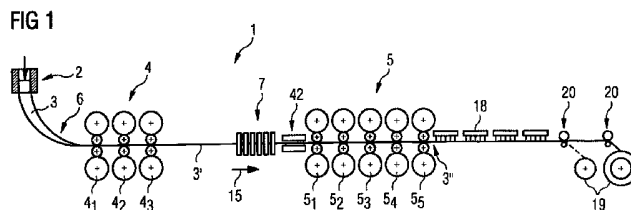


Österreichische Patentanmeldung

(51) Int. Cl. : **B21B 1/46** (2006.01)
B21B 1/26 (2006.01)
B21B 3/00 (2006.01)
B22D 11/06 (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01)
C22C 38/12 (2006.01)
C22C 38/24 (2006.01)

(72) Erfinder:
Linzer Bernd Dipl.Ing. Dr.
Linz (AT)
Rimnac Axel Dipl.Ing.
Linz (AT)

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines mikrolegierten Röhrenstahls in einer Gieß-Walz-Verbundanlage (1) und den mikrolegierten Röhrenstahl, der durch die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens hergestellt werden kann. Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum kostengünstigen Herstellen eines mikrolegierten Röhrenstahls vorzuschlagen, mit dem der mikrolegierte Röhrenstahl kostengünstig, betriebssicher und mit hoher Qualität hergestellt werden kann. Diese Aufgabe wird durch das Verfahren nach Anspruch 1 gelöst.

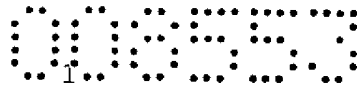


Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines mikrolegierten Röhrenstahls in einer Gieß-Walz-Verbundanlage
5 (1) und den mikrolegierten Röhrenstahl, der durch die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens hergestellt werden kann. Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum kostengünstigen Herstellen eines mikrolegierten Röhrenstahls vorzuschlagen, mit dem der mikrolegierte Röhrenstahl
10 kostengünstig, betriebssicher und mit hoher Qualität hergestellt werden kann. Diese Aufgabe wird durch das Verfahren nach Anspruch 1 gelöst.

(Fig 1)

15



Beschreibung

Verfahren zum Herstellen eines mikrolegierten Röhrenstahls in einer Gieß-Walz-Verbundanlage und mikrolegierter Röhrenstahl

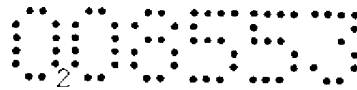
5

Gebiet der Technik

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines mikrolegierten Röhrenstahls in einer Gieß-Walz-Verbundanlage und den mikrolegierten Röhrenstahl, der durch die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens hergestellt werden kann.

Als mikrolegiert bezeichnet man Stähle, denen man 0,01 bis 0,1 Massenprozent an Niob, Vanadium oder Titan zulegiert (bzw. auch höhere Gehalte einer Kombination der genannten Elemente), um zum Beispiel über Bildung von Karbiden und Nitriden und Kornfeinung eine hohe Festigkeit zu erzielen. Die Legierungselemente lösen sich teilweise bei Erwärmung auf Umformtemperatur auf. Sie sind im Austenit gelöst und bewirken eine Steigerung der Rekristallisationstemperatur. Bei der Umwandlung des verformten Austenitkornes in Ferrit und Perlit, Bainit bzw. auch Martensit bildet sich ein je nach Umformungsgrad verfeinertes Umwandlungsgefüge. Zusätzlich bilden sie bei Abkühlung mit Kohlenstoff Karbide und mit Stickstoff Nitride. Die so bewirkte Kornfeinung steigert die Festigkeit, im Wesentlichen ohne die Zähigkeit herabzusetzen.

Die Streckgrenze ist ein Werkstoffkennwert und bezeichnet diejenige Spannung, bis zu der ein Werkstoff bei einachsiger und momentenfreier Zugbeanspruchung keine sichtbare plastische Verformung zeigt. Beim Überschreiten der Streckgrenze kehrt das Material nach Entlastung nicht mehr in die ursprüngliche Form zurück, sondern eine Probenverlängerung verbleibt. Die Streckgrenze wird gewöhnlich im Zugversuch ermittelt und in der Einheit $\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$ angegeben.



Stahlgüten mit einer Mindeststreckgrenze von mindestens 485 N/mm² werden für den Standard API 5L-X70, API 5L-X80 des American Petroleum Institute (kurz API) oder höher benötigt. So weist Stahl nach dem Standard API 5L-X70 eine Streckgrenze von zumindest 485 N/mm² und eine Zugfestigkeit von zumindest 570 N/mm² auf.

Mit diesem Standard werden Stahlprodukte bezeichnet, die durch Verschweißen zur Herstellung von Rohren für den Pipelinebau verwendet werden können, und daher eine bestimmte Festigkeit aufweisen müssen, gleichzeitig aber eine hohe Duktilität bei tiefen Temperaturen haben. Die Produktion solcher Stahlprodukte erfordert bestimmte Verfahrensweisen.

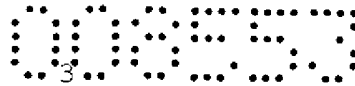
15 Stand der Technik

Bei bisherigen Herstellungsverfahren für derartige Stähle müssen in der Regel folgende Voraussetzungen vorliegen:

- 20 Für die Stahlzusammensetzung kommt nur Reineisen mit geringen Schwefel- und Phosphorgehalten in Frage, die Beifügung von Mikrolegierungselementen, wie Niob Nb, Titan Ti, Vanadium V, zur Erzielung eines feinen Kornes ist notwendig.
- 25 Bei der Herstellung der Bramme muss durch geeignete Temperaturführung verhindert werden, dass Seigerungen, also Entmischungen der Schmelze, auftreten. Sie entstehen beim Übergang der Schmelze in den festen Zustand und ergeben unterschiedliche Werkstoffeigenschaften innerhalb der Bramme.
- 30 Weiters kann mit einer geeigneten Temperaturführung verhindert werden, dass sich im zweiten Duktilitätsminimum Risse bilden.

Das Walzen der Bramme erfolgt durch sogenanntes thermomechanisches Walzen:

Beim Vorwalzen gelangt eine gleichmäßig durchwärmte Bramme aus einem Erwärmungssofen mit einem relativ grobkörnigen

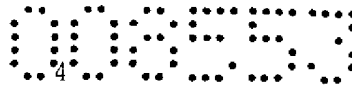


Gefüge in die Vorwalzstraße (Roughing Mill), es muss zur Erzielung der Rekristallisation, bei welcher das relativ grobkörnige Gefüge der Bramme zunehmend feinkörnig wird, die Dicke des Stahls um mindestens 40% verringert werden, meist
5 in reversierender Betriebsweise. Feines Austenitkorn ist notwendig, bevor das Walzgut in der Fertigwalzstraße weiter verformt wird.

Beim Fertigwalzen in der Fertigwalzstraße erfolgt die
10 Endverformung in einem Temperaturbereich, bei dem der Werkstoff nicht mehr rekristallisiert - typischerweise im Temperaturbereich von 800-900 °C. Dabei erfährt das Stahlband zum Erzielen der gewünschten Materialeigenschaften eine Streckung um mindestens den Faktor 2,5, meist höher als 3.
15 Typische Eintrittstemperaturen des Stahlbands in die Fertigwalzstraße liegen zwischen 800 und 900°C. Die Ausgangstemperatur des Stahlbands bei Austritt aus der Fertigwalzstraße liegt typischer Weise im Bereich von 830°C.
20 Eine beschleunigte Abkühlung des Stahlbandes nach Austritt aus der Fertigwalzstraße führt zur Bildung besonders feiner Ferritkörner, unter Umständen sogar zur Ausbildung von acikularem (nadelförmigem) Ferrit. Dadurch erzielt man ein äußerst feinkörniges Umwandlungsgefüge mit hoher Festigkeit
25 und sehr guter Zähigkeit.

Aus der EP 1 978 121 A1 ist ein entsprechendes Verfahren zur Herstellung von gut schweißbaren Stahlblechen mit einer Streckgrenze (yield stress) von mind. 350 MPa und einer
30 Zugfestigkeit (tensile strength) von mind. 570 MPa bekannt, bei dem der Stahl in der Fertigwalzstraße thermomechanisch gewalzt wird.

Aus der Veröffentlichung
35 C. Klein et al. Von CSP zu CSP flex - das neue Konzept für die Dünnbrammentechnologie, stahl und eisen 131(2011), Nr. 11.



ist es bekannt, den Röhrenstahl API X70 auf einer als „CSP flex“ bezeichneten Gieß-Walz-Verbundanlage herzustellen. Nachteilig an dem vorgeschlagenen Herstellverfahren ist, dass die Stahlschmelze einen relativ hohen Legierungsanteil, insbesondere an Niob, aufweisen muss, um das Kornwachstum des geschnittenen Dünnbrammenstrangs im einem Erwärmungssofen (meist ein Tunnelofen) zu begrenzen. Durch den hohen Legierungsanteil steigen die Herstellkosten pro Tonne Fertigstreifen an.

Nachteilig an den bisherigen Verfahren ist, dass es durch den langen Aufenthalt des Stahls im Erwärmungssofen vor der Vorwalzstraße und/oder der Fertigwalzstraße zu einem unerwünschten Kornwachstum kommt. Dies soll durch die vorliegende Erfindung verhindert werden.

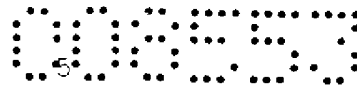
Zusammenfassung der Erfindung

Die Aufgabe der Erfindung ist es, die Nachteile des Stands der Technik zu überwinden und ein Verfahren zum kostengünstigen Herstellen eines mikrolegierten Röhrenstahls vorzuschlagen, mit dem der mikrolegierte Röhrenstahl

- kostengünstig, d.h. mit geringen Betriebskosten für die Stahlschmelze sowie niedrigen Energiekosten für die Herstellung,
- betriebssicher, d.h. das der Röhrenstahl selbst bei unvermeidbaren Schwankungen im Herstellprozess mit annähernd gleich bleibender Qualität hergestellt werden kann, und
- mit hoher Qualität hergestellt werden kann.

Diese Aufgabe wird durch das Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Eine weitere Aufgabe besteht darin, einen hochqualitativen Röhrenstahl der Stahlgüte X70 anzugeben, der einen - verglichen mit dem Stand der Technik - niedrigen Anteil an



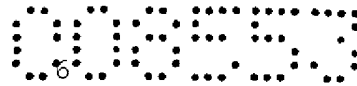
Legierungselementen aufweist, allerdings bei vergleichbar guten mechanischen Eigenschaften.

5 Diese Aufgabe wird durch den mikrolegierten Röhrenstahl nach Anspruch 14 gelöst.

Konkret wird die erstgenannte Aufgabe durch ein Verfahren zum Herstellen eines mikrolegierten Röhrenstahls in einer Gieß-Walz-Verbundanlage gelöst, wobei die Gieß-Walz-Verbundanlage
10 eine Stranggießmaschine mit einer Kokille und einer Strangführung, eine ein- oder mehrgerüstige Vorwalzstraße, einen Induktionsofen, eine Entzunderungseinrichtung, eine mehrgerüstige Fertigwalzstraße, eine Kühlstrecke und eine Speichereinrichtung umfasst, aufweisend folgende

15 Verfahrensschritte:

- Vergießen einer Stahlschmelze in der Kokille zu einem teilerstarnten Dünnbrammenstrang, wobei die Stahlschmelze in Gewichtsprozent aus 0,04-0,05% C, 1,3-1,5% Mn, 0,035-0,05% Nb, 0,035-0,06% V, 0,2-0,4% Cr, 0,2-0,3% Si, 0,015-0,05% Al,
20 < 0,008% N, der Rest Fe und unvermeidlichen Verunreinigungen besteht,
- Umlenken des teilerstarnten Dünnbrammenstrangs in eine bogenförmige Strangführung;
- Stützen, Führen und Abkühlen des Dünnbrammenstrangs in
25 der bogenförmigen Strangführung;
- Umlenken des Dünnbrammenstrangs in eine horizontale Strangführung, wobei der Dünnbrammenstrang entweder in der bogenförmigen oder der horizontalen Strangführung durcherstarrt;
- 30 - Vorwalzen des ungeschnittenen Dünnbrammenstrangs zu einem Vorstreifen in der Vorwalzstraße, wobei der Dünnbrammenstrang beim Eintritt in die Vorwalzstraße eine Kerntemperatur aufweist, die zumindest um 50°C, bevorzugt um zumindest 100°C, höher ist als dessen Oberflächentemperatur,
35 und der Dünnbrammenstrang in der Vorwalzstraße mit einem Gesamtreduktionsgrad von zumindest 40%, bevorzugt zumindest 50%, vorgewalzt wird, und beim Vorwalzen eine vollständige statische Rekristallisation des Gefüges stattfindet;



- Wiedererwärmen des Vorstreifens in dem Induktionsofen auf eine gemittelte Vorstreifentemperatur von $> 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- Entzundern des wiedererwärmten Vorstreifens in der Entzunderungseinrichtung;

5 - Fertigwalzen des entzundernten Vorstreifens in einer ersten Gruppe von Walzgerüsten der Fertigwalzstraße zu einem teilweise fertiggewalzten Vorstreifen, wobei das Gefüge des Vorstreifens nach einem Walzstich in der ersten Gruppe von Walzgerüsten der Fertigwalzstraße zumindest teilweise,

10 bevorzugt vollständig, statisch rekristallisiert; unmittelbar anschließend

 - Fertigwalzen des teilweise fertiggewalzten Vorstreifens in einer zweiten Gruppe von Walzgerüsten der Fertigwalzstraße zu einem Fertigstreifen, wobei das Gefüge
15 des teilweise fertiggewalzten Vorstreifens nicht rekristallisiert;

 - Abkühlen des Fertigstreifens in der Kühlstrecke;

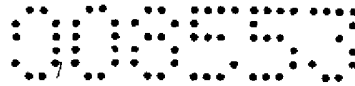
 - Schneiden und Speichern des Fertigstreifens in der Speichereinrichtung.

20

Unter „dynamischer Rekristallisation“ bezeichnet man die Rekristallisation des verformten Gefüges noch im Walzspalt. Die dynamische Rekristallisation ist beim Austritt des Materials aus dem Walzspalt beendet. Weiters wird die

25 dynamische Rekristallisation im Gegensatz zur statischen Rekristallisation durch hohe Umformgeschwindigkeiten angeregt. Im Gegensatz dazu versteht man unter „statischer Rekristallisation“ die Rekristallisation des verformten Gefüges außerhalb des Walzspaltes. Die statische
30 Rekristallisation wird vorrangig durch hohe Umformgrade angeregt.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren ist es möglich, eine wesentlich niedriger legierte Stahlschmelze (beim CSP flex
35 Herstellverfahren sind 0,06% Nb erforderlich; hingegen können beim erfindungsgemäßen Verfahren gute Ergebnisse auch noch mit 0,035% Nb erzielt werden) in der Stranggießmaschine zu vergießen, wodurch aufgrund der geringeren Legierungsanteile



die Herstellkosten reduziert und die Schweißbarkeit des Röhrenstahls verbessert werden kann. Typischerweise tritt der Dünnbrammenstrang in senkrechter Richtung (bei einer geraden Kokille) bzw. im Wesentlichen in senkrechter Richtung (bei
5 einer gebogenen Kokille) aus der Kokille aus und wird anschließend in eine bogenförmige Strangführung umgebogen.

Um möglichst viel Gießhitze vom Stranggießprozess in den Vor- bzw. Fertigwalzprozess mitzunehmen, ist es vorteilhaft, wenn
10 der Dünnbrammenstrang in der Strangführung erst kurz (typischerweise einige wenige Meter) vor dem Vorwalzen in der Vorwalzstraße durcherstarrt.

Beim Vorwalzen wird das Gießgefüge des ungeschnittenen
15 Dünnbrammenstrangs bei relativ niedrigem Massenfluss vollständig statisch rekristallisiert, wobei es das inverse Temperaturprofil (d.h. dass die Kerntemperatur des Dünnbrammenstrangs um zumindest um 50°C höher ist als dessen Oberflächentemperatur) des Dünnbrammenstrangs zulässt, dass
20 alle Querschnitte des Dünnbrammenstrangs in der Vorwalzstraße beinahe gleichmäßig reduziert und gleichmäßig rekristallisiert werden. Dadurch ist gewährleistet, dass auch die Kernregion des Vorstreifens ein feinkörniges Gefüge aufweist. Durch die vollständige statische Rekristallisation
25 wird das grobkörnige Gussgefüge vollständig in ein feinkörniges Walzgefüge umgewandelt.

Da der Vorstreifen noch sehr viel Gießhitze aus dem Stranggießprozess aufweist, ist es i.A. ausreichend, den
30 Vorstreifen mit geringem Energieeintrag wiederzuerwärmen. Dazu wird erfindungsgemäß ein Induktionsofen verwendet. Der Induktionsofen erlaubt es, rasch auf sich ändernde Bedingungen (z.B. geänderte Gießgeschwindigkeiten aufgrund eines Pfannenwechsels in der Stranggießmaschine) zu
35 reagieren, und dennoch die Einlauftemperatur in die Fertigwalzstraße bzw. die Endwalztemperatur beim letzten Walzstich in der Fertigstraße konstant zu halten. Weiters erlaubt es der Induktionsofen, bei relativ niedriger Frequenz



der Bestromung der Induktoren den Querschnitt des
Vorstreifens wesentlich gleichmäßiger zu erwärmen als dies
bei einem Tunnelofen der Fall ist. Außerdem wird durch die
rasche Wiedererwärmung im Induktionsofen das Kornwachstum
5 niedrig gehalten und eine Versprödung an den Korngrenzen des
Austenits reduziert bzw. weitgehend verhindert.

Nach dem Wiedererwärmen wird der Vorstreifen entzündert. Dies
kann naturgemäß entfallen, wenn der Induktionsofen in einer
10 inerten oder reduzierenden Atmosphäre betrieben wird.

Das Fertigwalzen des Vorstreifens in der Fertigwalzstraße
erfolgt in zwei Schritten. In einer ersten Gruppe von
Walzgerüsten der Fertigwalzstraße wird das Vorband zumindest
15 teilweise statisch rekristallisierend zum einem teilweise
fertiggewalzten Vorstreifen fertiggewalzt. Dadurch wird ein
besonders feinkörniges Gefüge ausgebildet. Unmittelbar danach
wird der teilweise fertiggewalzte Vorstreifen in einer
zweiten Gruppe von Walzgerüsten der Fertigwalzstraße nicht
20 rekristallisierend, d.h. thermomechanisch, auf
Fertigstreifendicke fertiggewalzt.

Nach dem Fertigwalzen wird der Fertigstreifen rasch auf
Speichertemperatur (d.h. Wickeltemperatur bei einem Haspel
25 oder Ablagetemperatur beim Ausfördern von Platten) abgekühlt,
sodass der Fertigstreifen besonders feinkörnige Ferrit und
Bainit Körner aufweist.

Anschließend wird der abgekühlte Fertigstreifen auf
30 Bundgewicht bzw. Plattenlänge abgeschnitten und in einer
Speichereinrichtung, z.B. zumindest eine Haspeleinrichtung
für sog. Coils oder eine Ablageeinrichtung für Platten,
gespeichert.

35 Erfindungsgemäß wird eine Reduktion der erreichbaren
Festigkeiten des Fertigstreifens, wie es bei einer
konventionellen Prozessführung aufgrund der niedrigen
Anteile von Legierungselementen (insbesondere Niob und/oder



Titan) in der Stahlschmelze unweigerlich eintreten würde,
durch ein Ausscheidungshärten (engl. *precipitation hardening*)
des Fertigstreifens kompensiert. Das Ausscheidungshärten wird
zum Einen durch einen steileren Temperaturgradienten beim
5 Fertigwalzen gefördert, zum Anderen haben die Ausscheidungen
weniger Zeit zum Wachsen, sodass sich insgesamt ein feineres
Gefüge einstellt. Durch das feinere Gefüge werden die
Beiträge zur Festigkeitssteigerung aufgrund des Schneidens
(engl. *cutting*) und Umgehen (engl. *circumventing*) maximiert,
10 sodass die Festigkeitssteigerung (engl. *precipitation
strengthening*) aufgrund des Ausscheidungshärtens maximiert
wird.

Durch das erfindungsgemäße Herstellverfahren liegen die
15 Korngrößen D der Ausscheidungen (z.B. Niobkarbide,
Niobnitride, Vanadiumkarbide, gegebenenfalls auch
Titannitride) im Fertigstreifen typischerweise $2\text{nm} \leq D \leq 12$
nm.

20 Es ist vorteilhaft, wenn sämtliche Verfahrensschritte vom
Vergießen der Stahlschmelze bis einschließlich des
Fertigwalzens des teilweise fertiggewalzten Vorstreifens,
gegebenenfalls auch das Abkühlen des Fertigstreifens, im
Endlosbetrieb erfolgen.

25 Es ist vorteilhaft, wenn der teilerstarnte Dünnbrammenstrang
in der bogenförmigen Strangführung und/oder der horizontalen
Strangführung der Stranggießmaschine einer LCR (engl. *Liquid
Core Reduction*, d.h. einer Dickenreduktion des nicht
30 durcherstarnten bzw. teilerstarnten Dünnbrammenstrangs)
unterzogen wird. Bei der LCR wird typischerweise die Dicke
des Dünnbrammenstrangs zwischen 1 und 30 mm (gemessen
zwischen dem Ausgang der Kokille und dem
Durcherstarrungspunkt) reduziert.

35 Die Herstellung eines verkaufbaren Fertigstreifens wird
erleichtert bzw. die Anzahl der Walzgerüste in der Vor- und
der Fertigwalzstraße wird niedrig gehalten, wenn der

10 000553

durcherstarnte Dünnbrammenstrang die Stranggießmaschine mit einer Dicke von 80-160 mm, bevorzugt 90-125 mm, besonders bevorzugt 95-115 mm verlässt. Die genannten Anforderungen an einen verkaufbaren Fertigstreifen erfüllt insbesondere ein
5 Fertigstreifen mit einer Dicke von 4-26 mm.

Im Allgemeinen ist es zweckmäßig, wenn der Dünnbrammenstrang in der Vorwalzstraße durch ein bis drei Walzstiche vorgewalzt wird.

10

Weiters ist es vorteilhaft, wenn jeder Walzstich beim Vorwalzen einen Reduktionsgrad von 12-60% aufweist, wobei insbesondere beim ersten Walzstich eine Reduktion von 30-60%, beim zweiten Walzstich eine Reduktion von 20-60%, und beim
15 dritten Walzstich eine Reduktion von 12-40% stattfindet.

Um eine Versprödung des austenitischen Korns hintanzuhalten bzw. das Korn nicht zu stark anwachsen zu lassen, ist es vorteilhaft, wenn zwischen der Vorwalzstraße und der
20 Fertigwalzstraße eine oder mehrere Wiedererwärmungsphasen von maximal 120 s, bevorzugt < 90 s, besonders bevorzugt < 75 s, Summendauer stattfinden.

Der Temperaturabfall durch das Entzundern wird niedrig
25 gehalten, wenn das Entzundern durch einen Hochdruckentzunderer, insbesondere einen Hochdruck-Rotationsentzunderer, erfolgt.

Für die Ausbildung eines feinen Korns beim Fertigwalzen ist
30 es vorteilhaft, wenn die teilweise, bevorzugt die vollständige, statische Rekristallisation des teilweise fertiggewalzten Vorstreifens nach dem ersten oder dem zweiten Walzstich in der ersten Gruppe von Walzgerüsten der Fertigwalzstraße erfolgt.

35

Für eine gute Oberflächenqualität bzw. gute Geometrie des Fertigstreifens ist es vorteilhaft, wenn der teilweise fertiggewalzte Vorstreifen in der zweiten Gruppe von

11 00853

- Walzgerüsten der Fertigwalzstraße nicht rekristallisierend fertiggewalzt wird, wobei typischerweise eine Gesamtreduktion von $\geq 50\%$ stattfindet. Beim letzten Walzstich in der Fertigwalzstraße sollte die niedrigste Reduktion aller
- 5 Walzgerüste der Fertigwalzstraße passieren.

- Für das Erreichen bzw. Einhalten einer genauen Fertigwalztemperatur ist es vorteilhaft, wenn eine Ist-Temperatur des teilweise fertiggewalzten Fertigstrangs
- 10 unmittelbar vor dem letzten Gerüst der Fertigwalzstraße mittels einer Temperaturmesseinrichtung erfasst und einem Regler zugeführt wird, und dass der Regler unter Berücksichtigung einer Soll-Temperatur eine Stellgröße ermittelt und zumindest einen Induktor des Induktionsofens so
- 15 angesteuert, dass die Ist-Temperatur der Soll-Temperatur möglichst entspricht. Üblicherweise wird Soll-Temperatur, d.h. die Fertigwalztemperatur, zwischen 780 und 850 °C eingestellt.
- 20 Für eine maximale Festigkeit des Fertigstreifens ist es vorteilhaft, wenn die Oberfläche des Fertigstreifens in der Kühlstrecke mit einer Abkühlgeschwindigkeit von ≥ 10 °K/s abgekühlt wird.
- 25 Um die Festigkeit des Fertigstreifens durch die Ausbildung von Titanitriden bzw. Titankarbidern weiter zu erhöhen, ist es ausreichend, wenn die Stahlschmelze < 1000 ppm Ti aufweist.
- 30 Konkret wird die zweitgenannte Aufgabe dadurch gelöst, dass der mikrolegierte Röhrenstahl, der durch das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13 erhältlich ist, eine chemische Zusammensetzung in Gewichtsprozent von 0,04-0,05% C, 1,3-1,5% Mn, 0,035-0,05% Nb, 0,035-0,06% V, 0,2-0,4% Cr, 0,2-0,3% Si,
- 35 $> 0,015\%$ Al, $< 0,008\%$ N, der Rest Fe und unvermeidliche Verunreinigungen aufweist, wobei zumindest 75% der Ausscheidungen des Röhrenstahls bei Raumtemperatur eine Größe $2\text{nm} \leq D \leq 12\text{nm}$ aufweisen, und der Röhrenstahl die

12 008553

mechanischen Anforderungen für die Stahlgüte X70 gemäß dem Standard API 5L/ISO3183:2007 erfüllt. Typischerweise beträgt die Korngröße des Röhrenstahls zwischen 4 und 8 µm.

5 Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Weitere Vorteile und Merkmale der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung nicht einschränkender Ausführungsbeispiele, wobei auf die folgenden

10 Figuren Bezug genommen wird, die zeigen:

Fig 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Gieß-Walz-Verbundanlage zur kontinuierlichen Herstellung von mikrolegiertem Röhrenstahl in
15 Seitenansicht

Fig 2 eine Detaildarstellung einer Strangführung der Anlage aus Fig 1 in vertikaler Schnittansicht

Fig 3 eine schematische Darstellung der Festigkeitssteigerung des erfindungsgemäßen Verfahrens durch Ausscheidungshärten
20

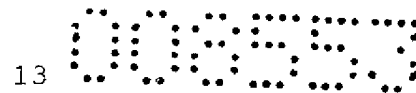
Fig 4 eine Darstellung des Gefüges des Fertigstreifens 3'' mit einer Enddicke von 6 mm bei Raumtemperatur

Fig 5 eine Variante der Gieß-Walz-Verbundanlage aus Fig 1 zur Darstellung der Endwalztemperaturregelung
25

Beschreibung der Ausführungsformen

Fig 1 zeigt in schematischer Weise eine Gieß-Walz-Verbundanlage 1, auf der das erfindungsgemäße Verfahren zum
30 Endloswalzen von Stahlwarmband durchführbar ist.

Ersichtlich ist eine Stranggießmaschine mit einer Kokille 2, in der Stränge 3 gegossen werden. An die Kokille 2 schließt eine Strangführung 6 an. Dann erfolgt das Vorwalzen in einer



Vorwalzstraße 4, die hier aus drei Walzgerüsten 4_1 , 4_2 , 4_3 besteht und in der der Strang 3 zu einem Vorstreifen 3' gewalzt wird. Beim Vorwalzen findet die Umwandlung von Gussgefüge in feinkörnigeres Walzgefüge statt. Die Transportrichtung des Vorstreifens 3' ist durch Pfeil 15 dargestellt.

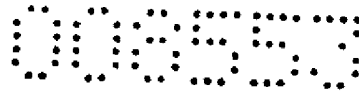
Die Gieß-Walz-Verbundanlage 1 umfasst des Weiteren eine Reihe an Komponenten wie z.B. eine Entzunderungseinrichtung 42 und in Fig 1 nicht dargestellte Abtrenneinrichtungen, welche im Wesentlichen dem Stand der Technik entsprechen und auf welche daher an dieser Stelle nicht näher eingegangen wird. Die z.B. in Form von Schnellscheren ausgeführten Abtrenneinrichtungen sind jedenfalls nach der Fertigwalzstraße 5 angeordnet und dienen zur Trennung der fertig gewalzten Stahlbänder zu Platten oder Bunden vom nachfolgenden Band. Die Schere kann bei Bandgeschwindigkeiten von 0,3 bis 5 m/s Dicken bis zu 26 mm durchschneiden, entweder durch Mitbewegung der gesamten Schere oder zumindest eines Trommelpaares synchron zur Bandgeschwindigkeit, wobei zufolge des Endlosgießwalzprozesses zwischen der Dicke d und der Breite b des Stahlbandes und der Bandgeschwindigkeit v in Abhängigkeit des breitenspezifischen Durchsatzes die Beziehung gilt:

$$v * b = 0,350 \dots 0,600 \text{ m}^2/\text{min} \text{ bzw.}$$

$$v * b = 0,006 \dots 0,012 \text{ m}^2/\text{s}.$$

Selbstverständlich können an weiteren Positionen der Gieß-Walz-Verbundanlage 1, etwa vor der Vorwalzstraße 4, oder zwischen der Vorwalzstraße 4 und der Fertigwalzstraße 5, weitere Abtrenneinrichtungen angeordnet sein.

Nach der Vorwalzstraße 4 ist ein Induktionsofen 7 für das Vorstreifen 3' angeordnet. Vorzugsweise wird ein Quersfelderwärmungs-Induktionsofen verwendet, der die Gieß-



Walz-Verbundanlage 1 besonders energieeffizient macht. Im Induktionsofen 7 wird der Vorstreifen 3' relativ gleichmäßig über den Querschnitt auf eine gewünschte Einlauftemperatur für den Einlauf in die Fertigwalzstraße 5 gebracht.

5

Nach der Erwärmung im Induktionsofen 7 erfolgt - nach einer zwischengeschalteten optionalen Entzunderung in der Entzunderungseinrichtung 42 - das Fertigwalzen in der fünfgerüstigen Fertigwalzstraße 5 mittels der

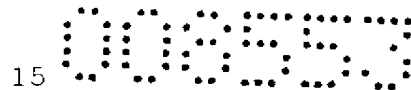
- 10 Fertigwalzgerüste 5₁, 5₂, 5₃, 5₄, 5₅ auf eine gewünschte Enddicke und Endwalztemperatur des Fertigstreifens 3'' und anschließend eine Bandkühlung in einer Kühlstrecke 18 sowie letztlich ein Aufwickeln zu Bunden mittels Unterflurhaspeln 19. Unmittelbar vor den Unterflurhaspeln 19 wird der
- 15 Fertigstreifen 3'' zwischen Treibrollen 20 geklemmt, die den Fertigstreifen 3'' auch führen und unter Bandzug halten.

Für den Strangguss kann das sogenannte LCR-Verfahren (Liquid-Core-Reduction Verfahren) verwendet werden, bei welchem der

20 aus der Kokille 2 austretende Strang 3 mittels der anschließenden Strangführung 6 bei flüssigem Querschnittskern des Stranges 3 reduziert wird.

- Zur LCR-Dickenreduzierung des Stranges 3 sind zu dessen
- 25 Kontaktierung vorbestimmte Führungselemente 9, 10 (typischerweise Strangführungsrollen) der Strangführung 6 relativ zu einer Längsachse des Stranges 3 (quer-) verstellbar, wobei eine Verstellung der Führungselemente in Abhängigkeit des Materials des Stranges und/oder der
- 30 Gießgeschwindigkeit vorgenommen wird, um die Strangdicke um bis zu 30 mm zu vermindern.

Gemäß Fig 2 umfasst die Strangführung 6 mehrere (üblicherweise drei bis fünfzehn) Strangführungssegmente 16,

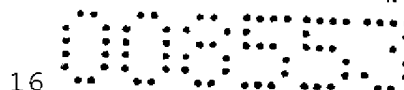


wobei jedes Segment 16 ein oder mehrere (üblicherweise drei bis zehn) Paare an vorzugsweise als Strangstützrollen ausgeführten Führungselemente 9, 10 umfasst. Die Stützrollen sind um eine orthogonal zur Transportrichtung des Stranges 3 verlaufende Achse drehbar. Anstelle von Strangstützrollen wäre es auch denkbar, einzelne Führungselemente als statische, z.B. kufenförmige Bauteile auszuführen. Unabhängig von der konkreten Ausführung der Führungselemente 9, 10 sind diese beiderseits der Strangbreitseiten angeordnet, sodass der Strang durch obere und untere Führungselemente-Serien geführt wird.

Wie in Fig 2 ersichtlich, werden die Führungssegmente 16 jeweils von einer unteren Serie an Führungselementen 9 und einer dazu parallel oder konvergierend angeordneten oberen Serie an Führungselementen 10 konstituiert. Jedes Führungselement 9 der unteren Führungselemente-Serie ist einem gegenüberliegenden Führungselement 10 der oberen Führungselemente-Serie zugeordnet.

Zwischen den beiden Führungselemente-Serien 9, 10 ist ein zur Aufnahme eines aus der Kokille 2 austretenden Stranges 3 vorgesehener Aufnahmeschacht 11 ausgebildet, welcher durch Ausbildung unterschiedlicher Abstände gegenüberliegender Führungselemente 9, 10 zueinander in Transportrichtung des Stranges 3 zumindest abschnittsweise verjüngt ist und dadurch der Strang 3 dickenreduzierbar ist.

Die oberen und unteren Führungselemente- bzw. Stützrollen 9, 10 können jeweils wiederum in (Sub-)Serien spezifischer Stützrollen mit unterschiedlichen Durchmessern und/oder Achsabständen gegliedert sein.



Die oberen Führungselemente 10 sind selektiv
tiefenverstellbar bzw. können an die unteren Führungselemente
9 angenähert werden, z.B. mittels eines hydraulischen
Antriebs. Eine der gewünschten Strangdicke d am Ende 14 der
Strangführung 6 entsprechende und zwischen einander
gegenüberliegenden oberen und unteren Führungselementen
gemessene lichte Aufnahmebreite 12 des Aufnahmeschachts 11
der Strangführung 6 könnte z.B. von 125 mm auf einen Bereich
zwischen 95 und 115 mm verkleinert werden.

10

Da ein in einem schmäleren Aufnahmeschacht 11 geführter
Strang 3 schneller erstarrt und auskühlt, müsste die
Gießgeschwindigkeit sowie äquivalent dazu der die Walzstraßen
4, 5 durchlaufende Volumenstrom erhöht werden, wenn man die
Sumpfspitze des Stranges weiterhin möglichst nahe an das Ende
der Strangführung 6 heranzuführen möchte.

15

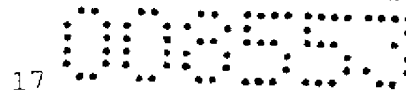
Zur Dickenreduzierung des Stranges 3 sind z.B. drei bis acht
Führungselemente(-Paare) 9, 10 eines der Kokille 2
zugewandten - aber nicht zwingend an die Kokille 2
anschließenden - ersten Führungssegmentes 16' verstellbar.
Alternativ können auch mehrere aneinandergereihte
Führungssegmente 16 zur LCR-Dickenreduzierung angewendet
werden, die unmittelbar oder mittelbar an die Kokille 2
anschließen.

20

25

Die Strangdicke d bzw. die lichte Aufnahmebreite 12 ist in
Abhängigkeit des Materials des Stranges 3 und/oder in
Abhängigkeit der Gießgeschwindigkeit einstellbar. Die
Verstellung der jeweiligen Führungselemente 9, 10 erfolgt in
einer im Wesentlichen orthogonal zur Transportrichtung des
Stranges verlaufenden Richtung, wobei sowohl die oberen
Führungselemente 10 als auch die unteren Führungselemente 9
verstellbar sein können. Die oberen Führungselemente 10 sind

30



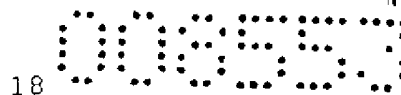
an korrespondierenden Stützelementen 17 angelenkt, welche vorzugsweise hydraulisch verstellbar sind.

Die (hydraulisch) verstellbaren LCR-Führungselemente 9, 10 sind vorzugsweise in einer der Kokille 2 zugewandten vorderen Hälfte, vorzugsweise in einem der Kokille 2 zugewandten vorderen Viertel der Längserstreckung der Strangführung 6 angeordnet.

Der Einsatz des LCR-Verfahrens führt zu besonders geringen Seigerungsraten, da sowohl feineres Erstarrungsgefüge erzielt werden kann als auch Makroseigerungen durch die mit dem LCR-Verfahren verbundene intensivere Durchmischung der Schmelze unterdrückt werden.

Zwischen dem Ende 14 der Strangführung 6 und einem Einlaufbereich der Vorwalzstraße 4 wird lediglich eine durch die relativ zur Strangoberfläche sehr niedrige Umgebungstemperatur bedingte Abkühlung des Stranges 3 zugelassen, d.h. es erfolgt keine artifizielle Kühlung des Stranges 3 mittels einer Kühlvorrichtung. Die Oberfläche des Stranges 3 weist in diesem Bereich im Mittel eine Temperatur $> 1050^{\circ}\text{C}$, vorzugsweise $> 1000^{\circ}\text{C}$ auf. Zwischen dem Ende 14 der Strangführung 6 und dem ersten Vorwalzgerüst 4₁ könnte aber auch eine klappbare thermische Abdeckung vorgesehen werden, um die Wärme möglichst im Strang 3 zu halten. Die thermische Abdeckung umgibt eine zum Transport des Stranges 3 vorgesehene, üblicherweise als Rollenband ausgeführte Fördervorrichtung zumindest abschnittsweise. Hierbei kann die thermische Abdeckung die Fördervorrichtung von oben und/oder von unten und/oder seitlich umgeben.

Als Ende 14 der Strangführung 6 wird hier die zur Strangkontaktierung vorgesehene führungsaktive Fläche bzw.



Mantellinie des letzten der Vorwalzstraße 4 zugewandten Führungselementes bzw. der letzten Stützrolle 10a der oberen Führungselemente 10 verstanden.

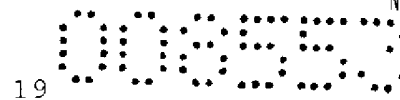
- 5 Erfindungsgemäß werden in der Gieß-Walz-Verbundanlage 1 folgende Verfahrensschritte durchgeführt:

Zunächst wird aus einer Stahlschmelze, die in Gewichts % aus 0,04% C, 1,3% Mn, 0,035% Nb, 0,05% V, 0,2% Cr, 0,2% Si, 0,03% Al, < 0,008% N, der Rest Fe und unvermeidlichen Verunreinigungen besteht, in einer Kokille 2 der Stranggießanlage ein teilerstarrender Dünnbrammenstrang 3 mit einer Dicke von 100 mm unmittelbar nach der Kokille 2 gegossen. Anschließend wird der Strang 3 im Liquid-Core-Reduction (LCR-) Verfahren mittels der Strangführung 6 bei flüssigem Querschnittskern auf eine Strangdicke d von 85 mm reduziert. Im Anschluss an die LCR findet die Durcherstarrung des Strangs 3 kurz vor dem Ende der bogenförmigen Strangführung 6 statt.

20 Das anschließende Vorwalzen, Wiedererwärmen und Fertigwalzen wird nachfolgend anhand des Stichplans von Tabelle 1 dargestellt. Bei diesem Beispiel wird als Ausgangsmaterial eine Stahlschmelze mit der chemischen Zusammensetzung gemäß des letzten Absatzes verwendet. Daraus wird ein Strang mit der Dicke von 85 mm und einer Breite von 1900 mm bei einer Gießgeschwindigkeit von 5,0 m/min vergossen.

30 Im ersten Beispiel wird daraus ein Band mit der Enddicke von 6 mm und der Endbreite von 1900 mm gewalzt.

In der Tabelle 1 sind in der ersten Spalte jeweils die einzelnen Walzgerüste bzw. die übrigen Einrichtungen der Vor- und Fertigwalzstraße eingetragen, wobei „H ein“ den Eintritt



in den Induktionsofen 7 (dessen Anfang) bezeichnet, „H aus“ den Austritt des Vorstreifens 3' aus dem Induktionsofen 7 (dessen Ende) und „Entz.“ die Entzunderungseinrichtung 42.

5 In den weiteren Spalten sind angeführt:

- die Dicke des Stahlbands in mm, gemessen nach dem Durchlauf des jeweiligen Walzgerüsts,

- die Reduktion (Dickenabnahme) des Stahlbands im entsprechenden Walzgerüst relativ zur Dicke des

10 vorhergehenden Walzgerüsts, und

- die Temperatur des Stahlbands in °C am jeweiligen Walzgerüst bzw. beim Ein- und Austritt aus dem Induktionsofen 7.

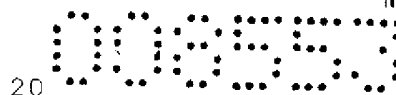
15

Tabelle 1:

Gerüst	Dicke [mm]	Red. [%]	Temp. [°C]
4 ₁	42,5	50	1108
4 ₂	21,25	50	1062
4 ₃	19	11	1026
H ein	19		905
H aus	19		1050
Entz.	19		1043
5 ₁	10,45	45	960
5 ₂	7,315	30	910
5 ₃	6,58	10	870
5 ₄	6,06	5	835
5 ₅	6	1	805

Der Strang 3 tritt also im ersten Beispiel mit einer Dicke d von 85 mm und einer Temperatur im Bereich von 1130-1300°C aus der Strangführung 6 aus und gelangt in das erste Walzgerüst

20 4₁ der Vorwalzstraße 4. Beim Eintritt in die Vorwalzstraße 4



weist der Dünnbrammenstrang 3 eine Kerntemperatur auf, die
zumindest um 50°C höher ist als die Oberflächentemperatur des
ungeschnittenen Strangs. Im ersten Gerüst 4_1 der
Vorwalzstraße 4 wird der Strang 3 um 50% auf eine Dicke von
5 42,5 mm reduziert, wodurch er auf 1108°C abkühlt. Im zweiten
Walzgerüst 4_2 erfolgt ein weiterer Stich mit einer Reduktion
von 50% auf 21,3 mm Dicke. Beim Austritt aus dem zweiten
Walzgerüst 4_2 hat der Strang 3 nur mehr eine Temperatur von
1062 $^{\circ}\text{C}$. Ein dritter Stich findet in der Vorwalzstraße 4 nicht
10 mehr statt. Beim Durchlaufen des dritten Walzgerüsts 4_3 ohne
Reduktion und bis zum Eintritt in den Induktionsofen 7 kühlt
der nunmehrige Vorstreifen 3' ohne erzwungene Abkühlung, nur
aufgrund der Abstrahlung des Vorstreifens 3', auf 905°C ab.
Diese Abkühlung könnte etwa durch Abdeckungen verringert
15 werden.

Im Induktionsofen 7 wird der Vorstreifen 3' wiedererwärmt,
sodass er mit einer Temperatur von 1050°C aus dem
Induktionsofen 7 austritt. Durch das Entzundern in der
20 Entzunderungseinrichtung 42 kühlt der Vorstreifen 3' auf
1043 $^{\circ}\text{C}$ ab und tritt mit etwa dieser Temperatur in das erste
Walzgerüst 5_1 der Fertigwalzstraße 5 ein. Dort erfolgt eine
Reduktion in fünf Stichen, also unter Verwendung aller
Walzgerüste 5_1 bis 5_5 der Fertigwalzstraße 5 gemäß den Werten
25 in Tabelle 1. Der Fertigstreifen 3'' tritt mit einer
Endtemperatur von 805°C aus der Fertigwalzstraße 5 aus.

Nach dem ersten Walzstich im Walzgerüst 5_1 oder dem zweiten
Walzstich im Walzgerüst 5_2 der Fertigwalzstraße 5 findet eine
30 teilweise statische Rekristallisation des Gefüges statt. Die
Rekristallisations-Stop-Temperatur des verwendeten Stahls
beträgt 900°C . In den letzten drei Walzstichen $5_3, 5_4, 5_5$ in
der Fertigwalzstraße 5 findet keine Rekristallisation des



Gefüges statt, d.h. es erfolgt ausschließlich das sogenannte thermomechanische Walzen.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird das Endband 3'' in
5 weiterer Folge auf eine Haspeltemperatur zwischen 500°C und
750°C, vorzugsweise auf 550°C bis 650°C gekühlt und zu einem
Bund aufgehaspelt. Die Abkühlung des Fertigstreifens in der
Kühlstrecke 18 erfolgt mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 15
K/s, sodass die fein dispers vorliegenden Ausscheidungen im
10 Fertigstreifen im Gefüge „eingesperrt“ werden, wodurch die
Festigkeitssteigerung des Fertigstreifens aufgrund des
Ausscheidungshärtens maximiert wird. Schließlich erfolgt eine
Durchtrennung des Fertigstreifens 3'' in einer quer zu deren
Transportrichtung 15 verlaufenden Richtung und ein
15 Fertighaspeln des walzstraßenseitig losen Fertigstreifens
3''. Alternativ zum Aufhaspeln wäre auch eine Umlenkung und
Stapelung des Fertigstreifens 3'' möglich.

Die Erwärmung des Vorstreifens 3' erfolgt innerhalb einer
20 Zeitspanne von 20 bis 50 Sekunden. Die Fertigwalzgerüste 5₁-
5₅ sind jeweils unter Abständen von < 7 m, vorzugsweise unter
Abständen von < 5 m zueinander angeordnet (gemessen zwischen
den Arbeitswalzachsen der Fertigwalzgerüste 5₁-5₅). Der
Arbeitswalzendurchmesser der Vorwalzgerüste beträgt bei der
25 Anlage nach Fig 1 670-750 mm.

Der resultierende Röhrenstahl von 6 mm Dicke weist bei
Raumtemperatur einen gemessenen Korndurchmesser von 5.2 µm
auf. Die Zugfestigkeit beträgt 594 N/mm².

30

Die Fig 3 zeigt schematisch den Beitrag des erfindungsgemäßen
Herstellungsverfahrens zur Festigkeitssteigerung des
Fertigstreifens 3'' durch das Ausscheidungshärten.
Erfindungsgemäß liegen die Größen der Ausscheidungen (hier

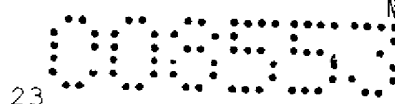


vor allem Niobkarbide, Niobnitride und Vanadiumkarbide)
zwischen 2 und 12 nm, im Vergleich zu 15 bis 30 nm bei einem
Herstellverfahren nach dem Stand der Technik. Bedingt durch
die Größe der Ausscheidungen, werden die

- 5 festigkeitssteigernden Beiträge aufgrund des Schneidens und
Umgehens beim Ausscheidungshärten maximiert, sodass der
niedriger legierte Röhrenstahl ebenfalls vergleichbare
Festigkeitskennwerte erreicht, wie ein höher legierter
Röhrenstahl der in einem konventionellen Herstellprozess
10 produziert wurde.

- Die Fig 4 zeigt eine Darstellung des Gefüges des Röhrenstahls
mit einer Dicke von 6 mm in einem EBSD (*Electron backscatter
diffraction*) Mikroskop. Das Forschungsinstitut CSM (*Centro
15 Sviluppo Materiali*) Italien hat bestätigt, dass der
erfindungsgemäß hergestellte Röhrenstahl die Anforderungen
für die Stahlgüte X70 des Standards API 5L/ISO 3183:2007
erfüllt.

- 20 Die Fig 5 zeigt eine Variante der Gieß-Walz-Verbundanlage aus
Fig 1 zur Darstellung der Endwalztemperaturreglung gemäß
Anspruch 10. Entweder kurz bevor der teilweise fertiggewalzte
Vorstreifen 3' das letzte Gerüst 5₅ der Fertigwalzstraße
durchläuft, oder kurz nachdem der Fertigstreifen 3'' das
25 letzte Gerüst 5₅ der Fertigwalzstraße 5 durchlaufen hat, wird
die Ist-Temperatur T_{Ist} des Vorstreifens 3' bzw. des
Fertigstreifens 3'' durch eine nicht näher dargestellte
Temperaturmesseinrichtung (z.B. einen Pyrometer) gemessen.
Durch einen analogen oder digitalen Regler 30 wird der
30 Regelfehler e zwischen einer Soll-Temperatur T_{Soll} (konkret
die Soll-Endwalztemperatur) und der Ist-Temperatur T_{Ist}
ermittelt, wobei der Regler 30 eine Stellgröße u ausgibt und
zumindest einen Induktor 7' des Induktionsofens 7 (im
konkreten Fall die letzten zwei Querfeldinduktoren 7') so



ansteuert, dass die Ist-Temperatur T_{Ist} der Soll-Temperatur T_{Soll} möglichst genau entspricht. Dadurch wird die Ist-Temperatur des Bands auch bei Schwankungen im Herstellprozess (z.B. bei eine Reduktion der Gießgeschwindigkeit beim Pfannenwechsel) mit hoher Genauigkeit bei der Endwalztemperatur gehalten.

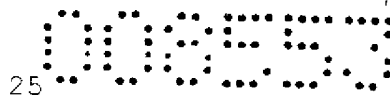
Bezugszeichenliste

1	Gieß-Walz-Verbundanlage
2	Kokille
3	Dünnbrammenstrang
3'	Vorstreifen
3''	Fertigstreifen
4	Vorwalzstraße
4 ₁	erstes Vorwalzgerüst
4 ₂	zweites Vorwalzgerüst
4 ₃	drittes Vorwalzgerüst
5	Fertigwalzstraße
5 ₁	erstes Fertigwalzgerüst
5 ₂	zweites Fertigwalzgerüst
5 ₃	drittes Fertigwalzgerüst
5 ₄	viertes Fertigwalzgerüst
5 ₅	fünftes Fertigwalzgerüst
6	Strangführung
7	Induktionsofen
7'	Induktor
9	untere Führungselemente
10	obere Führungselemente
10a	letzte Stützrolle der oberen Führungselemente 10
11	Aufnahmeschacht
12	lichter Aufnahmequerschnitt der Strangführung 6
14	Ende der Strangführung 6

00:55:33

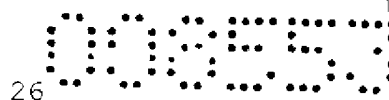
24

15	Transportrichtung
16	Führungssegmente
16'	erstes Führungssegment
17	Stützelemente
18	Kühlstrecke
19	Unterflurhaspel
20	Treibrollen
30	Regler
42	Entzunderungseinrichtung
d	Strangdicke
T _{ist}	Ist-Temperatur
T _{soll}	Soll-Temperatur
u	Stellgröße



Ansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines mikrolegierten Röhrenstahls in einer Gieß-Walz-Verbundanlage (1), wobei die Gieß-Walz-
- 5 Verbundanlage (1) eine Stranggießmaschine mit einer Kokille (2) und einer Strangführung (6), eine ein- oder mehrgerüstige Vorwalzstraße (4), einen Induktionsofen (7), eine Entzunderungseinrichtung (42), eine mehrgerüstige Fertigwalzstraße (5), eine Kühlstrecke (18) und eine
- 10 Speichereinrichtung (19) umfasst, aufweisend folgende Verfahrensschritte:
- Vergießen einer Stahlschmelze in der Kokille (2) zu einem teilerstarnten Dünnbrammenstrang (3), wobei die Stahlschmelze in Gewichtsprozent aus 0,04-0,05% C, 1,3-1,5%
 - 15 Mn, 0,035-0,05% Nb, 0,035-0,06% V, 0,2-0,4% Cr, 0,2-0,3% Si, 0,015-0,05% Al, < 0,008% N, der Rest Fe und unvermeidlichen Verunreinigungen besteht;
 - Umlenken des teilerstarnten Dünnbrammenstrangs (3) in eine bogenförmige Strangführung (6);
 - 20 - Stützen, Führen und Abkühlen des Dünnbrammenstrangs (3) in der bogenförmigen Strangführung (6);
 - Umlenken des Dünnbrammenstrangs (3) in eine horizontale Strangführung (6), wobei der Dünnbrammenstrang (3) entweder in der bogenförmigen oder der horizontalen
 - 25 Strangführung (6) durcherstarrt;
 - Vorwalzen des ungeschnittenen Dünnbrammenstrangs (3) zu einem Vorstreifen (3') in der Vorwalzstraße (4), wobei der Dünnbrammenstrang (3) beim Eintritt in die Vorwalzstraße (4) eine Kerntemperatur aufweist, die zumindest um 50°C,
 - 30 bevorzugt um zumindest 100°C, höher ist als dessen Oberflächentemperatur, und der Dünnbrammenstrang (3) in der Vorwalzstraße (4) mit einem Gesamtreduktionsgrad von zumindest 40%, bevorzugt zumindest 50%, vorgewalzt wird, und beim Vorwalzen eine vollständige statische Rekristallisation
 - 35 des Gefüges des stattfindet;
 - Wiedererwärmen des Vorstreifens (3') in dem Induktionsofen (7) auf eine gemittelte Vorstreifentemperatur von > 1000 °C;



- Entzundern des wiedererwärmten Vorstreifens (3') in der Entzunderungseinrichtung (42);

- Fertigwalzen des entzundernten Vorstreifens (3') in einer ersten Gruppe (5₁, 5₂) von Walzgerüsten der Fertigwalzstraße (5) zu einem teilweise fertiggewalzten Vorstreifen (3'), wobei das Gefüge des Vorstreifens (3') nach einem Walzstich in der ersten Gruppe (5₁, 5₂) von Walzgerüsten der Fertigwalzstraße (5) zumindest teilweise, bevorzugt vollständig, statisch rekristallisiert; unmittelbar anschließend

- Fertigwalzen des teilweise fertiggewalzten Vorstreifens (3') in einer zweiten Gruppe (5₃, 5₄, 5₅) von Walzgerüsten der Fertigwalzstraße (5) zu einem Fertigstreifen (3''), wobei das Gefüge des teilweise fertiggewalzten Vorstreifens (3') nicht rekristallisiert;

- Abkühlen des Fertigstreifens (3'') in der Kühlstrecke (18);

- Schneiden und Speichern des Fertigstreifens (3'') in der Speichereinrichtung (19).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der teilerstarnte Dünnbrammenstrang (3) in der bogenförmigen Strangführung (6) und/oder der horizontalen Strangführung (6) der Stranggießmaschine einer LCR unterzogen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der durcherstarnte Dünnbrammenstrang (3) die Stranggießmaschine mit einer Dicke (d) von 80-160 mm, bevorzugt 90-125 mm, besonders bevorzugt 95-115 mm verlässt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Dünnbrammenstrang (3) in der Vorwalzstraße (4) durch ein bis drei Walzstiche (4₁, 4₂, 4₃) vorgewalzt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** jeder Walzstich (4₁, 4₂, 4₃) einen Reduktionsgrad von 12-60% aufweist, wobei insbesondere beim ersten Walzstich (4₁) eine

Reduktion von 30-60%, beim zweiten Walzstich (4_2) eine Reduktion von 20-60%, und beim dritten Walzstich (4_3) eine Reduktion von 12-40% stattfindet.

- 5 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen der Vorwalzstraße (4) und der Fertigwalzstraße (5) eine oder mehrere Wiedererwärmungsphasen von maximal 120 s, bevorzugt < 90 s, besonders bevorzugt < 75 s, Summendauer stattfinden.
- 10 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Entzundern durch einen Hochdruckentzunderer (42), insbesondere einen Rotationsentzunderer, erfolgt.
- 15 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die teilweise, bevorzugt die vollständige, statische Rekristallisation des teilweise fertiggewalzten Vorstreifens ($3'$) nach dem ersten oder dem
- 20 zweiten Walzstich in der ersten Gruppe von Walzgerüsten ($5_1, 5_2$) der Fertigwalzstraße (5) erfolgt.
- 25 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der teilweise fertiggewalzte Vorstreifen ($3'$) in der zweiten Gruppe von Walzgerüsten ($5_3, 5_4, 5_5$) der Fertigwalzstraße (5) nicht rekristallisierend fertiggewalzt wird, wobei in der zweiten Gruppe von Walzgerüsten ($5_3, 5_4, 5_5$) typischerweise eine Gesamtreduktion von $\geq 50\%$ stattfindet.
- 30 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Ist-Temperatur (T_{Ist}) des teilweise fertiggewalzten Vorstreifens ($3'$) unmittelbar vor dem letzten Gerüst (5_5) der Fertigwalzstraße (5) mittels einer Temperaturmesseinrichtung erfasst und einem Regler (30)
- 35 zugeführt wird, und dass der Regler (30) unter Berücksichtigung einer Soll-Temperatur (T_{Soll}) eine Stellgröße (u) ermittelt und zumindest ein Induktor ($7'$) des Induktionsofens (7) so angesteuert wird, dass die Ist-

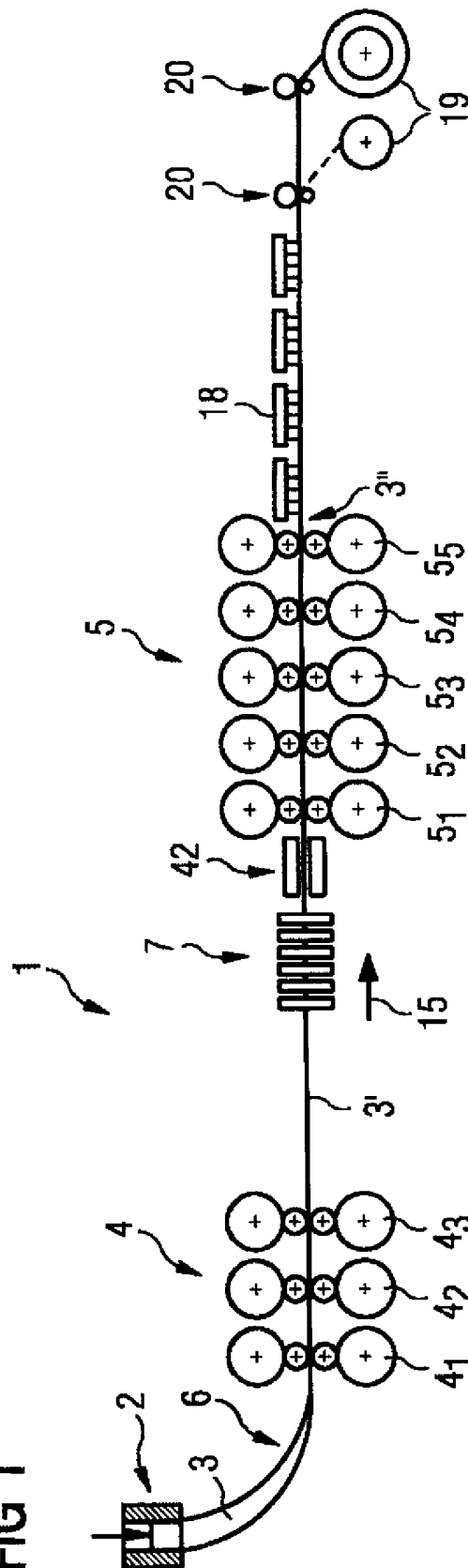
Temperatur (T_{Ist}) der Soll-Temperatur (T_{Soll}) möglichst entspricht.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
5 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberfläche des Fertigstreifens (3'') in der Kühlstrecke (18) mit einer Abkühlgeschwindigkeit von ≥ 10 °K/s abgekühlt wird.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
10 **dadurch gekennzeichnet, dass** der Fertigstreifen (3'') eine Dicke von 4-26 mm aufweist.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
15 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stahlschmelze < 1000 ppm Ti aufweist.
14. Mikrolegierter Röhrenstahl, erhältlich durch das Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einer chemischen Zusammensetzung in Gewichtsprozent von 0,04-0,05% C, 1,3-1,5% Mn, 0,035-0,05% Nb, 0,035-0,06% V, 0,2-0,4% Cr, 0,2-0,3% Si, $> 0,015\%$ Al, $< 0,008\%$ N, der Rest Fe und unvermeidliche Verunreinigungen, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest 75% des Ausscheidungen des Röhrenstahls bei Raumtemperatur eine Größe $2\text{nm} \leq D \leq 12\text{nm}$ aufweisen, und der
25 Röhrenstahl die mechanischen Anforderungen für die Stahlgüte X70 gemäß dem Standard API 5L/ISO3183:2007 erfüllt.

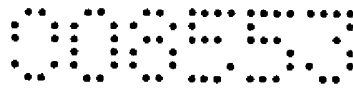
201221105

008853
1

FIG 1



201221105



2

Fig 2

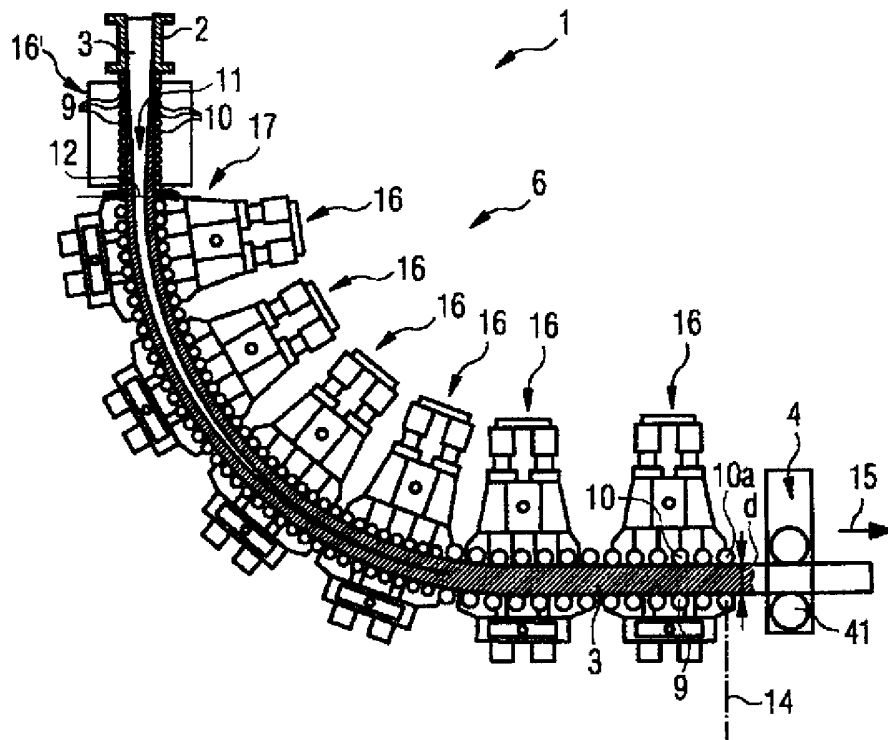
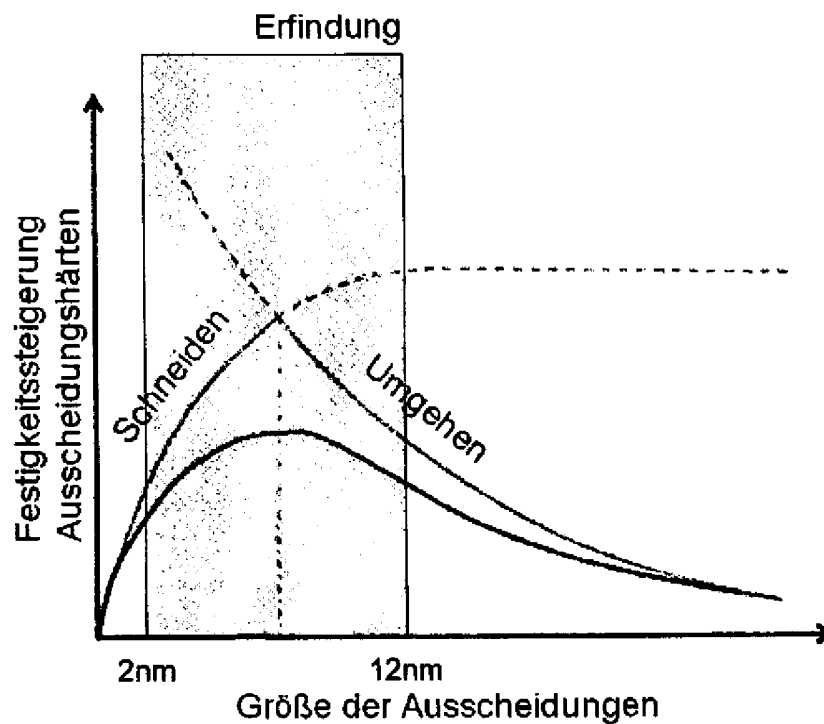


Fig 3



201221105

00853

3

Fig 4



