

(19)



(11)

**EP 4 028 181 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**06.09.2023 Patentblatt 2023/36**

(21) Anmeldenummer: **20768550.4**

(22) Anmeldetag: **07.09.2020**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**B21B 37/74<sup>(2006.01)</sup>**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**B21B 37/74**; B21B 1/28; B21B 3/00; B21B 37/46;  
B21B 38/006; B21B 45/004; B21B 45/0218;  
B21B 45/0251; B21B 2027/103; B21B 2261/20;  
B21B 2275/06; C21D 8/0236

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2020/074901**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2021/048038 (18.03.2021 Gazette 2021/11)**

(54) **KALTWALZEN EINES WALZGUTS IN EINER WALZSTRASSE MIT MEHREREN WALZGERÜSTEN**  
COLD ROLLING STOCK IN A ROLLING MILL TRAIN WITH MULTIPLE ROLL STANDS  
LAMINAGE À FROID DE PRODUIT DANS UN TRAIN DE LAMINOIRS À MULTIPLES CAGES DE LAMINOIR

(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**

(30) Priorität: **10.09.2019 EP 19196307**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**20.07.2022 Patentblatt 2022/29**

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

(72) Erfinder:  
• **BERGMANN, Martin**  
4020 Linz (AT)  
• **KRIMPELSTAETTER, Konrad**  
4210 Gallneukirchen (AT)

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

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A1- 3 461 566 DE-A1-102009 056 264**  
**JP-A- H01 218 710**

**EP 4 028 181 B1**

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

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft das Kaltwalzen eines Walzguts in einer Walzstraße mit mehreren Walzgerüsten.

**[0002]** In einem Walzgerüst wird ein Walzgut, in der Regel ein metallisches Walzband, in einem Walzspalt zwischen zwei Arbeitswalzen des Walzgerüstes gewalzt, um die Dicke des Walzguts zu reduzieren. Oft werden in einer so genannten Walzstraße mehrere Walzgerüste angeordnet, die von dem Walzgut nacheinander durchlaufen werden, um die Dicke des Walzguts sukzessive zu reduzieren. Das Walzen des Walzguts in einem der Walzgerüste wird als ein Walzstich bezeichnet. In einer Walzstraße mit mehreren Walzgerüsten werden also mehrere Walzstiche nacheinander ausgeführt. Die Reduzierung der Dicke des Walzguts bei einem Walzstich wird als Stichabnahme des Walzstichs bezeichnet. Beim Kaltwalzen wird das Walzgut bei einer Walzguttemperatur unterhalb der Rekristallisationstemperatur gewalzt.

**[0003]** Unter anderem für Anwendungen im technischen Gebiet der Elektromobilität gewinnen Elektrobleche mit hohen Siliziumanteilen mehr und mehr an Bedeutung. Die hohe Sprödigkeit dieser Elektrobleche kann zu zahlreichen Schwierigkeiten speziell bei der Kaltumformung führen, beispielsweise zu häufigen Bandrissen und daher instabilen Produktionsbedingungen beim Kaltwalzen. Durch Erhöhen der Walzguttemperatur des Walzguts kann dessen Sprödigkeit herabgesetzt werden.

**[0004]** Andererseits darf die Walzguttemperatur beim Kaltwalzen prinzipbedingt die Rekristallisationstemperatur des Walzguts nicht überschreiten. Außerdem sollte die Walzguttemperatur beim Kaltwalzen in der Regel auch aus anderen Gründen limitiert werden. Beispielsweise wird beim Kaltwalzen meist ein Schmiermittel auf die Arbeitswalzen der Walzgerüste und/oder auf das Walzgut aufgebracht, um eine Reibung zwischen dem Walzgut und den Arbeitswalzen zu reduzieren. Das Schmiermittel ist oder enthält ein Walzöl, das bei hohen Temperaturen, beispielsweise über 200°C, vercracken kann. Ferner können dem Kaltwalzen Bearbeitungsschritte zum Bearbeiten des kaltgewalzten Walzguts, beispielsweise ein Beschichten des Walzguts, nachgeordnet sein, für die eine zu hohe Walzguttemperatur nachteilig ist (im Fall des Beschichtens des Walzguts beispielsweise zu einer verminderten Haftung der Beschichtung). Des Weiteren kann eine hohe Walzguttemperatur zu einem erhöhten Verschleiß von Anlagenequipment, beispielsweise von kunststoffbeschichteten Umlenkrollen für das Walzgut oder von Ablagesätteln für das gewalzte Walzgut, oder zu einer thermischen Verformung der Arbeitswalzenkontur in axialer Richtung, die eine Planheit des Walzguts beeinträchtigt, führen.

**[0005]** Die JP H01 218710 A schlägt vor, ein in ein Kaltwalzgerüst einlaufendes Walzband auf eine Temperatur zwischen 100°C - 500°C zu erwärmen, sowie die Arbeitswalzen des Walzgerüsts einlaufseitig mit

Schmiermittel und auslaufseitig mit Wasser als Kühlmittel zu beaufschlagen. Durch die Erwärmung soll einerseits der Umformungswiderstand des Walzbandes verringert werden, andererseits soll durch das Aufbringen von Kühlwasser eine Zerstörung des Schmierfilmes auf den Arbeitswalzen aufgrund von Überhitzung sowie eine zu starke thermische Verformung der Arbeitswalzen verhindert werden.

**[0006]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Walzstraße zum Kaltwalzen eines Walzguts mit mehreren Walzgerüsten anzugeben, die hinsichtlich der Temperierung des Walzguts während des Walzens und/oder nach dem Walzen verbessert sind.

**[0007]** Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und eine Walzstraße mit den Merkmalen des Anspruchs 12 gelöst.

**[0008]** Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0009]** Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Kaltwalzen eines Walzguts in einer Walzstraße mit mehreren Walzgerüsten, die von dem Walzgut nacheinander durchlaufen werden, wird für wenigstens einen ausgewählten Walzstich, insbesondere für jeden Walzstich, eine obere Grenztemperatur und/oder eine untere Grenztemperatur für eine Walzguttemperatur des Walzguts vorgegeben und die Walzguttemperatur wird durch die folgenden Steuer- oder Regulationsmaßnahmen derart gesteuert und/oder geregelt, dass die Walzguttemperatur in jedem ausgewählten Walzstich die für den Walzstich vorgegebene obere Grenztemperatur nicht überschreitet und/oder die für den Walzstich vorgegebene untere Grenztemperatur nicht unterschreitet:

- Erwärmen des Walzguts vor dem ersten Walzstich auf eine Einlauftemperatur,
- Kühlen der Arbeitswalzen wenigstens eines Walzgerüsts durch Aufbringen eines Walzenkühlmittels auf die Arbeitswalzen, wobei ein Walzenkühlmittelstrom und/oder ein Walzenkühlmitteldruck des Walzenkühlmittels gesteuert oder geregelt wird,
- Kühlen des Walzguts zwischen wenigstens zwei aufeinander folgenden Walzstichen durch Aufbringen eines Walzgutkühlmittels auf das Walzgut, wobei ein Walzgutkühlmittelstrom und/oder ein Walzgutkühlmitteldruck des Walzgutkühlmittels gesteuert oder geregelt wird,
- Aufbringen eines Schmiermittels auf die Arbeitswalzen oder/und auf das Walzgut bei wenigstens einem Walzstich, wobei ein Schmiermittelstrom und/oder ein Schmiermitteldruck des Schmiermittels gesteuert oder geregelt wird,
- Erstellen und Umsetzen einer Stichplanverteilung für die Stichabnahmen der einzelnen Walzstiche, und
- Steuern oder Regeln einer Walzgeschwindigkeit, mit der das Walzgut die Walzstraße durchläuft.

**[0010]** Die Erfindung sieht also vor, die Walzguttemperatur in wenigstens einem Walzstich zu kontrollieren, so dass sie eine walzstichspezifische obere Grenztemperatur nicht überschreitet und/oder eine walzstichspezifische untere Grenztemperatur nicht unterschreitet. Dadurch können generell Betriebsstörungen wie Bandrisse reduziert werden und somit kann der Durchsatz einer Walzstraße erhöht werden. Insbesondere werden die Produktionsbedingungen für das Kaltwalzen kritischen Walzguts wie beispielsweise von Elektroblechen mit hohem Siliziumanteil verbessert oder sogar erst geschaffen. Durch eine geeignete Vorgabe der Grenztemperaturen kann ferner die Walzgutendtemperatur am Ausgang der Walzstraße gezielt beeinflusst werden, wodurch eine flexible Weiterverarbeitbarkeit des kaltgewalzten Walzguts erreicht werden kann. Ferner kann durch eine geeignete Vorgabe der Grenztemperaturen eine am Eingang der Walzstraße erforderliche Einlauftemperatur des Walzguts minimiert werden und dadurch Energie zum Erwärmen des Walzguts vor dem ersten Walzstich eingespart werden. Ferner kann durch eine geeignete Vorgabe der Grenztemperaturen das Anlageequipment geschont werden, um dessen Verschleiß zu reduzieren.

**[0011]** Die genannten Steuer- oder Regulationsmaßnahmen eignen sich in besonderem Maße zur Beeinflussung der Walzguttemperatur während des Kaltwalzens. So reduziert eine Erwärmung des Walzguts vor dem ersten Walzstich die Sprödigkeit des Walzguts und damit die Gefahr von Bandrissen des Walzguts.

**[0012]** Durch das Kühlen von Arbeitswalzen und/oder des Walzguts zwischen Walzstichen wird einer Erwärmung der Arbeitswalzen und des Walzguts beim Kaltumformen des Walzguts entgegengewirkt. Bei der Walzenkühlung mittels auf die Arbeitswalzen ausgegebenen Walzenkühlmittels lässt sich die aus den Arbeitswalzen abgeführte Wärmemenge aus der Modellierung des Wärmeüberganges (Bestimmung des Wärmeübergangskoeffizienten zwischen einer Walzenoberfläche und dem Walzenkühlmittel) ermitteln und ist beispielsweise aus F. Hell: Grundlagen der Wärmeübertragung, VDI-Verlag 1982, ISBN-Nummer 978-3-18-400529-0, Seiten 77-85 bekannt. Alternativ kann der Wärmeübergangskoeffizient auch empirisch als Funktion des Walzenkühlmittelstromes und des Walzenkühlmitteldrucks ermittelt werden (sogenanntes Tabellenmodell). Daraus lässt sich die Temperatur der Arbeitswalzen bestimmen, woraus wiederum der Wärmefluss zwischen dem Walzgut und den Arbeitswalzen - also die vom Walzgut an die Arbeitswalzen abgegebene Wärmemenge - im Walzspalt ermittelt und durch entsprechende Steuerung bzw. Regelung des Walzenkühlmittelstromes und/oder des Walzenkühlmitteldrucks reguliert werden kann, sodass die Walzguttemperatur im Walzspalt gezielt eingestellt werden kann. Gleichmaßen lässt sich bei der Walzgutkühlung mittels auf das Walzgut aufgebrachtem Walzgutkühlmittel die dabei aus dem

Walzgut an das Walzgutkühlmittel abgeführte Wärmemenge bei Kenntnis des Walzgutkühlmittelstromes und des Walzgutkühlmitteldrucks durch eine Modellierung des Wärmeüberganges bestimmen, entweder durch eine oben beispielhaft genannte modellbasierte oder durch eine empirische Bestimmung des Wärmeübergangskoeffizienten zwischen dem Walzgutkühlmittel und der damit beaufschlagten Walzgutoberfläche in Abhängigkeit von Walzgutkühlmittelstrom und Walzgutkühlmitteldruck. Daraus lassen sich wiederum - durch entsprechende Steuerung bzw. Regelung des Walzgutkühlmittelstromes und/oder des Walzgutkühlmitteldrucks - der Wärmefluss aus dem Walzgut und in der Folge die Temperatur des Walzguts in jenen Bereichen der Walzanlage gezielt einstellen, in denen das Walzgut direkt mit Walzgutkühlmittel beaufschlagt wird.

**[0013]** Durch das Aufbringen eines Schmiermittels auf die Arbeitswalzen und/oder auf das Walzgut bei wenigstens einem Walzstich wird die Reibung zwischen dem Walzgut und den Arbeitswalzen verringert und damit einer Erwärmung des Walzguts und/oder der Arbeitswalzen entgegengewirkt. Je mehr Schmiermittel aufgetragen wird, desto geringer ist die beim Walzen entstehende Reibungsverlustleistung. Letztere errechnet sich grundsätzlich aus einer aufgetragenen Walzkraft, einem Reibungskoeffizienten und einer Differenzgeschwindigkeit zwischen dem Walzband und den Arbeitswalzen im Walzspalt des jeweiligen Walzgerüsts. Die Walzkraft wird in der Regel von einer Anlagenautomation der Walzstraße zur Erzielung der gewünschten Stichabnahme am betreffenden Gerüst vorgegeben und ist somit bekannt. Alternativ kann die aktuelle Walzkraft, beispielsweise im Falle einer Dickenregelung, auch laufend über Vorrichtungen, welche die Walzkraft am betreffenden Walzgerüst erzeugen (beispielsweise Hydraulikzylinder), online gemessen werden. Zum Ermitteln der Differenzgeschwindigkeit im Walzspalt ist beispielsweise Formel (3.13) in H. Hoffmann: Handbuch Umformen, 2012, ISBN 978-3-446-42778-5 bekannt, in welche die Ein- bzw. Austrittsgeschwindigkeit des Walzguts am Walzgerüst sowie die Walzspaltgeometrie, die von den Walzendurchmessern der Arbeitswalzen und der Stichabnahme am entsprechenden Gerüst abhängt, Eingang findet. Für die Ermittlung des Reibungskoeffizienten im Walzspalt kann beispielsweise auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. So bestimmen beispielsweise die bei einem speziellen Walzvorgang bekannten Parameter Oberflächenqualität, Materialeigenschaften und Schmiermittelauftrag den Reibungskoeffizienten. Alternativ ist auch eine Modellierung des Reibungskoeffizienten aus J.B.A.F. Smeulders: Lubrication in the Cold Rolling Process Described by a 3D Stribeck Curve, AISTech 2013 Proceedings bekannt.

**[0014]** Durch eine Stichplanverteilung für die Stichabnahmen der einzelnen Walzstiche wird die in der Walzstraße zu erzielende Dickenreduzierung des Walzguts auf die einzelnen Walzgerüste aufgeteilt. Prinzipiell erfolgt in jedem Walzgerüst eine Walzguterwärmung durch

die plastische Umformung des Walzguts. Die dabei im Walzgut entstehende Umformungswärme kann vom Fachmann in einfacher Weise aus der Stichabnahme am jeweiligen Walzgerüst sowie aus Materialeigenschaften des Walzguts ermittelt werden. Durch eine geeignete Wahl der Stichabnahmen, die sämtliche Gerüste der Walzstraße berücksichtigt, kann beispielsweise erreicht werden, dass ein vorgegebener Temperaturbereich für die Walzguttemperatur über die gesamte Walzstraße eingehalten wird.

**[0015]** Unter der Walzgeschwindigkeit wird eine Geschwindigkeit verstanden, mit der das Walzgut die Walzgerüste der Walzstraße durchläuft. Die Walzgeschwindigkeit kann direkt die oben genannte Reibungsverlustleistung an den einzelnen Walzgerüsten beeinflussen, da von der Walzgeschwindigkeit unmittelbar auch die Differenzgeschwindigkeiten in den einzelnen Walzgerüsten betroffen sind. Daher beeinflusst die Walzgeschwindigkeit auch die Walzguttemperatur in den einzelnen Walzstichen.

**[0016]** Zur Beeinflussung der Walzguttemperatur beim Kaltwalzen in einer Walzstraße mit mehreren Walzgerüsten, die von dem Walzgut nacheinander durchlaufen werden, stehen somit gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren mehrere Steuer- oder Regelungsmaßnahmen zur Verfügung, die den Walzprozess jeweils über eine entsprechende Stellgröße beeinflussen und die es ermöglichen, die Walzguttemperatur während des gesamten Durchlaufs des Walzguts durch die Walzstraße innerhalb eines bestimmten Temperaturbereiches, der durch eine untere und eine obere Grenztemperatur vorgegeben ist, zu halten. Diese Stellgrößen umfassen die Heizleistung einer Heizvorrichtung zum Einstellen einer Einlauftemperatur des Walzbandes vor dem ersten Walzstich, die Kühlparameter zur Einstellung der Wärmemenge, die durch den Kontakt des Walzguts mit den Arbeitswalzen sowie durch das auf das Walzgut aufgebraachte Walzgutkühlmittel aus dem Walzgut abgeführt wird, die Schmierparameter zum Einstellen der Reibungsverlustleistung im Walzspalt der jeweiligen Walzgerüste, die Stichplanverteilung zum Einstellen der bei der Stichabnahme in den jeweiligen Walzgerüsten entstehenden Umformungswärme, sowie die Walzgeschwindigkeit, die ebenfalls die Reibungsverlustleistung bei der Stichabnahme in den einzelnen Walzgerüsten beeinflusst.

**[0017]** Bei den obengenannten Steuer- oder Regelungsmaßnahmen kann beispielsweise anhand einer Simulation durch eine Recheneinheit vorab, d.h. vor der tatsächlichen Durchführung des Walzvorganges selbst, eine Ermittlung der dabei resultierenden Walzguttemperaturen erfolgen. Diese Recheneinheit kann identisch mit der Steuerung sein, die die Steuer- oder Regelungsmaßnahmen an der Walzstraße beim realen Walzvorgang durchführt.

**[0018]** Konkret bedeutet dies, dass beispielsweise ausgehend von voreingestellten Werten für die einzelnen Stellgrößen zunächst der Temperaturverlauf des Walz-

guts - über einen bestimmten Walzstich oder über die gesamte Walzstraße hinweg

- ermittelt wird: beispielsweise wird
- die aufgrund der am ersten Walzgerüst voreingestellten Kühlparameter aus dem Walzgut and die Arbeitswalzen und an das Walzgutkühlmittel abgeführte Wärmemenge ermittelt,
- es wird weiterhin die aufgrund der am ersten Walzgerüst voreingestellten Schmierparameter sowie der am ersten Walzgerüst voreingestellten Walzgeschwindigkeit die Reibungsverlustleistung im Walzspalt des ersten Walzgerüsts ermittelt, und
- es wird die aufgrund der voreingestellten Stichplanverteilung am ersten Walzgerüst entstehende Umformungswärme aus der Stichabnahme am ersten Walzgerüst und aus den Materialeigenschaften des Walzguts ermittelt.

**[0019]** Auf Basis dieser ermittelten Wärmeflüsse kann - ausgehend von einer mittels einer Heizvorrichtung voreingestellten oder anderweitig ermittelten Einlauftemperatur des Walzguts beim Einlaufen in das erste Walzgerüst - die resultierende Walzguttemperatur hinter dem ersten Walzgerüst nach Aufbringen des Walzgutkühlmittels ermittelt werden. Die derart ermittelte Walzguttemperatur hinter dem ersten Walzgerüst kann als Ausgangspunkt verwendet werden, um in gleicher Weise die Walzguttemperatur hinter dem zweiten Walzgerüst auf Basis der am zweiten Walzgerüst voreingestellten Walzgeschwindigkeit, Stichabnahme sowie Kühlungs- und Schmierparameter zu ermitteln. Diese sukzessive Ermittlung der Walzguttemperatur kann bis zum Austreten des Walzguts aus dem letzten Walzgerüst der Walzstraße fortgesetzt werden.

**[0020]** Wird eine Über- bzw. Unterschreitung der oberen bzw. unteren Grenztemperatur festgestellt, dann kann eine der obengenannten Steuer- oder Regelungsmaßnahmen mit von den voreingestellten Werten abweichenden Werten für die jeweilige Stellgröße angesetzt und die Walzguttemperatur erneut rechnerisch ermittelt werden, um zu überprüfen, ob die vorgegebenen Grenztemperaturen mit geänderten Parametern für die Steuer- oder Regelungsmaßnahmen eingehalten werden. Nach jeder Änderung der angesetzten Stellgrößen kann die Überprüfung erneut durchgeführt werden.

**[0021]** So kann beispielsweise bei einer festgestellten Überschreitung der Walzguttemperatur an einem bestimmten Walzgerüst die aufgebraachte Schmierung und/oder die Kühlung an diesem Gerüst erhöht werden, um die Reibungsverlustleistung zu verringern und/oder die aus dem Walzgut abtransportierte Wärmemenge zu erhöhen.

**[0022]** Bei einem sogenannten 'globalen Optimierungsproblem' wird eine Lösung gesucht, bei der mehrere Kriterien gleichzeitig unter Vorgabe einer Zielfunktion zu beachten sind, wobei die Zielfunktion die einzelnen Kriterien individuell gewichtet und diese Kriterien

z.B. eine gewünschte Temperaturführung über die gesamte Walzstraße hinweg, einen optimierten Stichplan in Bezug auf gewünschte Materialeigenschaften, eine möglichst hohe Durchsatzrate durch die Walzstraße, das Einhalten einer bestimmten Walzkraftverteilung oder einen möglichst geringen Einsatz von Kühl- und Schmiermittel umfassen können. Der Rechenaufwand zum Auffinden einer Lösung eines globalen Optimierungsproblems steigt überproportional mit der Anzahl der variablen Parameter.

**[0023]** Die unabhängige und nicht erfindungsgemäße Ausführung einer oder mehrerer der obengenannten Steuer- oder Regemaßnahmen liefert zwar nicht notwendigerweise die optimale Lösung in Bezug auf ein derartiges globales Optimierungsproblem, dafür aber ist eine unabhängige Implementierung der Ausführung einer oder mehrerer der obengenannten Steuer- oder Regemaßnahmen voneinander beispielsweise als Nachrüstlösung für bestehende Steuerungen von Walzstraßen geeignet, da die Überprüfung, ob eine angesetzte Steuer- oder Regemaßnahme die Einhaltung der Grenztemperaturen gewährleistet, in jedem Fall nur proportional zu den Walzgerüsten der Walzstraße ist, jedoch nicht von der Anzahl der variablen Parameter selbst abhängt. Die in einem solchen Fall benötigte Rechenleistung kann daher auch von einer Steuerung der Walzstraße selbst bereitgestellt werden kann. So müssen beispielsweise bei der Änderung der Kühlparameter an einem bestimmten Walzgerüst lediglich die Walzguttemperaturen im Bereich der dem betreffenden Walzgerüst nachgeordneten Walzgerüst neu ermittelt werden. Aber auch bei einer zusätzlich angesetzten Änderung des Stichplanes oder der Walzgeschwindigkeit, die sich jeweils auf die Gesamtheit der Walzgerüste der Walzstraße auswirken, ist die Anzahl der in der oben beschriebenen Weise neu zu ermittelnden Wärmemengen zur Überprüfung auf Einhaltung der Grenztemperaturen durch eben diese Gesamtzahl der Walzgerüste beschränkt.

**[0024]** Bei einer Ausgestaltung der Erfindung erfolgt eine modellbasierte Berechnung der Einlauftemperatur des Walzguts, der Kühl- und Schmierungsparameter, der Stichplanverteilung und der Walzgeschwindigkeit als Lösung eines globalen Optimierungsproblems unter Vorgabe einer Zielfunktion. Unter einem globalen Optimierungsproblem Dabei kann es eine Vielzahl von Lösungen geben, unter denen die geeignetste beispielsweise erst unter Berücksichtigung weiterer Kriterien, beispielsweise durch zusätzliches Maximieren der Walzgeschwindigkeit oder Einhalten einer bestimmten Walzkraftverteilung auf die Walzgerüste 3 bis 7, ebenfalls modellbasiert bestimmt wird.

**[0025]** Bei einer Ausgestaltung der Erfindung wird für wenigstens einen Walzstich eine obere Grenztemperatur im Bereich zwischen 140°C und 250°C und/oder eine untere Grenztemperatur im Bereich zwischen 20°C und 140°C vorgegeben. Durch eine derartige obere Grenztemperatur kann insbesondere das oben bereits genannten Vercracken von Walzöl vermieden werden, das als

Schmiermittel oder Bestandteil eines Schmiermittels verwendet wird. Die untere Grenztemperatur ist materialabhängig und wird daher dem Walzgut angepasst.

**[0026]** Bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung werden eine gemeinsame obere Grenztemperatur und/oder eine gemeinsame untere Grenztemperatur für alle Walzstiche vorgegeben. Dies vereinfacht das erfindungsgemäße Verfahren gegenüber einer Ausführung mit walzstichabhängigen Grenztemperaturen.

**[0027]** Bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird das Walzgut vor dem ersten Walzstich mit einer Heizvorrichtung, insbesondere mit einer Induktionsheizung, auf eine Einlauftemperatur erwärmt. Bei einer induktiven Erwärmung des Walzguts kann die Erwärmung des Walzguts einfach aus einer Leistung der Induktionsheizung, dem Wirkungsgrad und der Einwirkdauer, die sich aus der Walzgutgeschwindigkeit und der Baulänge der Heizung ergibt, sowie Materialeigenschaften des Walzguts, insbesondere dessen spezifischer Wärmekapazität, ermittelt werden.

**[0028]** Bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung werden die Arbeitswalzen wenigstens eines Walzgerüsts durch nur auslaufseitiges Aufbringen eines Walzenkühlmittels auf die Arbeitswalzen gekühlt. Unter der Auslaufsseite eines Walzgerüsts wird diejenige Seite des Walzgerüsts verstanden, auf der das Walzgut das Walzgerüst verlässt. Entsprechend wird unter der Einlaufseite eines Walzgerüsts diejenige Seite des Walzgerüsts verstanden, auf der das Walzgut in das Walzgerüst einläuft. Ein auslaufseitiges Aufbringen eines Walzenkühlmittels auf die Arbeitswalzen ist effizienter als ein einlaufseitiges Aufbringen, da aufgrund der Drehrichtung der Arbeitswalzen die durch den Walzvorgang erzeugte Wärme sofort abgeführt wird, während für eine einlaufseitige Walzenkühlung die betreffende Stelle der Arbeitswalze zuerst noch etwa eine halbe Umdrehung zurücklegen muss.

**[0029]** Bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird auf die Arbeitswalzen oder/und auf das Walzgut bei wenigstens einem Walzstich ein Schmiermittel aufgebracht, indem in einer Zerstäubungseinrichtung ein Gemisch aus dem Schmiermittel und einem Trägergas erzeugt wird und das Gemisch mit Schmiermitteldüsen auf die Arbeitswalzen und/oder auf das Walzgut gesprüht wird. Ein derartiges Aufbringen von Schmiermittel ist beispielsweise aus EP 2 651 577 B1 bekannt und hat beispielsweise gegenüber dem Aufbringen einer Schmieremulsion den Vorteil, dass das Schmiermittel sehr gezielt und sparsam aufgetragen werden kann.

**[0030]** Bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird auf die Arbeitswalzen oder/und auf das Walzgut bei wenigstens einem Walzstich nur einlaufseitig ein Schmiermittel aufgebracht. Dies ist insbesondere bei Walzstichen vorteilhaft, bei denen Kühlmittel nur auslaufseitig aufgebracht wird, weil dann kein Schmiermittel von dem Kühlmittel abgewaschen wird und somit Schmiermittel eingespart wird.

**[0031]** Bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung

wird für wenigstens einen Parameter einer Steuer- oder Regelungsmaßnahme ein Parameterwert offline anhand eines Rechenmodells wenigstens eines Teils der Walzstraße ermittelt und der Parameter wird bei dem Betrieb der Walzstraße auf den Parameterwert eingestellt. Zu den Parametern, die von einem Rechenmodell ermittelt werden können, zählen eine Einlauftemperatur des Walzguts, Kühlparameter (z.B. Walzenkühlmittelströme, Walzenkühlmitteldrücke, Walzgutkühlmittelströme und Walzgutkühlmitteldrücke), Schmierungsparameter (z.B. Schmiermittelströme und Schmiermitteldrücke), eine Stichplanverteilung (d.h. die Stichabnahmen der einzelnen Walzstiche), sowie eine Walzgeschwindigkeit.

**[0032]** Bei diesen Ausgestaltungen der Erfindung wird also wenigstens eine Teilmenge der Parameter zur Steuerung oder Regelung der Walzguttemperatur vorab ermittelt (insbesondere berechnet).

**[0033]** Bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung werden wenigstens zwei offline ermittelte Parameterwerte als Lösung eines globalen Optimierungsproblems unter Vorgabe einer Zielfunktion ermittelt wird. Dadurch wird - zusätzlich zur Einhaltung der oberen und unteren Grenztemperatur - vorteilhaft die Berücksichtigung zumindest eines weiteren Kriteriums beim Walzvorgang des Walzguts ermöglicht.

**[0034]** Bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird im Betrieb der Walzstraße wenigstens ein Messwert der Walzguttemperatur erfasst, und wenigstens ein Parameter einer Steuer- oder Regelungsmaßnahme wird online in Abhängigkeit von wenigstens einem Messwert eingestellt. Bei dieser Ausgestaltung der Erfindung wird also wenigstens eine Teilmenge der Parameter zur Steuerung oder Regelung der Walzguttemperatur in Abhängigkeit von einer gemessenen Walzguttemperatur des Walzguts online eingestellt. Dies kann insbesondere die Kühlung und Schmierung der Arbeitswalzen und/oder des Walzguts betreffen.

**[0035]** Eine erfindungsgemäße Walzstraße umfasst mehrere Walzgerüste zum Kaltwalzen eines Walzguts und eine Steuerung, die eingerichtet ist, die oben genannten Steuer- oder Regelungsmaßnahmen auszuführen. Die Walzstraße umfasst:

- eine von der Steuerung steuer- oder regelbare Heizvorrichtung, die eingerichtet ist, das Walzgut vor dem ersten Walzstich zu erwärmen,
- ein von der Steuerung steuer- oder regelbares Kühlsystem, das eingerichtet ist, ein Walzenkühlmittel auf die Arbeitswalzen wenigstens eines Walzgerüsts und/oder ein Walzgutkühlmittel zwischen wenigstens zwei aufeinander folgenden Walzstichen auf das Walzgut auszugeben,
- ein von der Steuerung steuer- oder regelbares Schmierungssystem, das eingerichtet ist, bei wenigstens einem Walzstich ein Schmiermittel auf die Arbeitswalzen oder/und auf das Walzgut auszugeben, und bevorzugt
- wenigstens eine Messeinheit, die zum Erfassen ei-

ner Walzguttemperatur des Walzguts an einer beliebigen Stelle der Walzstraße eingerichtet ist.

**[0036]** Die Vorteile einer derartigen Walzstraße entsprechen den oben genannten Vorteilen des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0037]** Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Dabei zeigen

FIG 1 schematisch ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Walzstraße,

FIG 2 ein Ablaufdiagramm eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0038]** Figur 1 (FIG 1) zeigt schematisch ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Walzstraße 1 mit fünf Walzgerüsten 3 bis 7 zum Kaltwalzen eines Walzguts 2. Jedes Walzgerüst 3 bis 7 weist zwei übereinander angeordnete Arbeitswalzen 9, 10 auf, die voneinander durch einen Walzspalt 11 beabstandet sind. Zum Walzen des Walzguts 3 werden die Arbeitswalzen 9, 10 motorgetrieben in Rotation versetzt und das Walzgut 3 wird durch die rotierenden Arbeitswalzen 9, 10 in einer Walzrichtung 13 durch die Walzspalte 11 gezogen.

**[0039]** Bei dem in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiel einer Walzstraße 1 weist ferner jedes Walzgerüst 3 bis 7 für jede Arbeitswalze 9, 10 zwei Stützwalzen 15 bis 18 auf, die übereinander auf einer von dem Walzgut 2 abwandten Seite der jeweiligen Arbeitswalze 9, 10 angeordnet sind, wobei eine erste Stützwalze 15, 17 die zweite Stützwalze 16, 18 und die Arbeitswalze 9, 10 kontaktiert.

**[0040]** Von jedem Walzgerüst 3 bis 7 wird ein Walzstich ausgeführt, bei dem die Dicke des Walzguts 2 um die so genannte Stichabnahme des Walzstichs reduziert wird. Eingangs der Walzstraße 1 ist eine Heizvorrichtung 19 angeordnet, die eingerichtet ist, das Walzgut 2 vor dem ersten Walzstich, der von einem ersten Walzgerüst 3 ausgeführt wird, zu erwärmen. Die Heizvorrichtung 19 ist beispielsweise als eine Induktionsheizung ausgebildet, mit der das Walzgut 3 induktiv erwärmbar ist.

**[0041]** Die Walzstraße 1 weist ferner ein Kühlsystem auf, das eingerichtet ist, ein Walzenkühlmittel 21 auf die Arbeitswalzen 9, 10 der Walzgerüste 4 bis 6, die den zweiten, dritten und vierten Walzstich ausführen, und ein Walzgutkühlmittel 23 zwischen dem zweiten und dem dritten Walzstich, dem dritten und dem vierten Walzstich und dem vierten und dem fünften Walzstich auf das Walzgut 2 auszugeben. Das Kühlsystem umfasst für jedes der Walzgerüste 4 bis 6 einen oberen Kühlbalken 25 und einen unteren Kühlbalken 27. Mit dem oberen Kühlbalken 25 ist Walzenkühlmittel 21 auslaufseitig auf die obere Arbeitswalze 9 des jeweiligen Walzgerüsts 4 bis 6 und

Walzgutkühlmittel 23 auf eine obere Walzgutoberfläche des Walzguts 3 ausgebbar. Mit dem unteren Kühlbalken 27 ist Walzenkühlmittel 21 auslaufseitig auf die untere Arbeitswalze 10 des jeweiligen Walzgerüsts 4 bis 6 und Walzgutkühlmittel 23 auf eine untere Walzgutoberfläche des Walzguts 3 ausgebbar. Jeder Kühlbalken 25, 27 umfasst beispielsweise mehrere Walzenkühlmitteldüsen, mit denen das Walzenkühlmittel 21 auf die jeweiligen Arbeitswalze 9, 10 ausgebbar ist, und/oder mehrere Walzgutkühlmitteldüsen, mit denen das Walzgutkühlmittel 23 auf das Walzgut 2 ausgebbar ist.

**[0042]** Das Walzenkühlmittel 21 ist beispielsweise Wasser oder eine Kühlemulsion. Das Walzgutkühlmittel 23 ist ebenfalls beispielsweise Wasser oder eine Kühlemulsion und kann mit dem Walzenkühlmittel 21 überstimmen. Eine Kühlemulsion besteht aus einer Kühlflüssigkeit und einem Schmierstoff, beispielsweise aus Wasser als Kühlflüssigkeit und Öl als Schmierstoff, sowie eventuell aus Emulgatoren. Die Hauptkomponente der Kühlemulsion ist dabei die Kühlflüssigkeit, während der Schmierstoffanteil der Kühlemulsion nur wenige Prozent, beispielsweise zwei bis drei Prozent, beträgt. Beispielsweise entspricht die auf die beiden Arbeitswalzen 9, 10 eines Walzgerüsts 4 bis 6 aufgebrachte Menge an Walzenkühlmittel 21 (insgesamt, das heißt auf beide Arbeitswalze 9, 10 zusammen) in Litern pro Minute ungefähr einer Motorleistung des Walzgerüsts 4 bis 6 in kW, wobei die Motorleistung die Leistung eines die Arbeitswalzen 9, 10 des Walzgerüsts 4 bis 6 antreibenden Motors ist.

**[0043]** Die Walzstraße 1 weist außerdem ein Schmierungssystem auf, das eingerichtet ist, auf die Arbeitswalzen 9, 10 aller Walzgerüste 3 bis 7 einlaufseitig ein Schmiermittel 29 auszugeben. Das Schmierungssystem weist für jedes Walzgerüst 3 bis 7 einen oberen Schmierbalken 31 und einen unteren Schmierbalken 33 auf. Mit dem oberen Schmierbalken 31 ist Schmiermittel 29 einlaufseitig auf die obere Arbeitswalze 9 des jeweiligen Walzgerüsts 3 bis 7 ausgebbar. Mit dem unteren Schmierbalken 33 ist Schmiermittel 29 einlaufseitig auf die untere Arbeitswalze 10 des jeweiligen Walzgerüsts 3 bis 7 ausgebbar. Beispielsweise umfasst jeder Schmierbalken 31, 33 eine Zerstäubungseinrichtung, in der ein Gemisch aus dem Schmiermittel 29 und einem Trägergas erzeugbar ist, und mehrere Schmiermitteldüsen, mit denen das Gemisch auf die jeweilige Arbeitswalze 9, 10 sprühbar ist. Dabei ist das Schmiermittel 29 beispielsweise reines Walzöl und das Trägergas ist beispielsweise Luft. Beispielsweise werden maximal zwei Liter Walzöl pro Minute auf jede Arbeitswalze 9, 10 ausgegeben. Alternativ ist das Schmiermittel 29 eine Schmieremulsion, die aus einer Trägerflüssigkeit und Walzöl sowie eventuell aus Emulgatoren besteht, und jeder Schmierbalken 31, 33 weist Schmiermitteldüsen auf, mit denen die Schmieremulsion auf die jeweilige Arbeitswalze 9, 10 ausgebbar ist.

**[0044]** Unter den Walzgerüsten 3 bis 7 sind Auffangvorrichtungen 35 angeordnet, die eingerichtet sind, von den Walzgerüsten 3 bis 7 abfließendes Walzenkühlmittel

21, Walzgutkühlmittel 23 und Schmiermittel 29 aufzufangen. Das von den Auffangvorrichtungen 35 aufgefangene Gemisch aus Walzenkühlmittel 21, Walzgutkühlmittel 23 und Schmiermittel 29 wird vorzugsweise in seine Bestandteile zerlegt, die anschließend wiederverwendet werden.

**[0045]** Die Walzstraße 1 weist des Weiteren mehrere Messeinheiten 37 auf, die jeweils zum Erfassen einer Walzguttemperatur des Walzguts 2 eingerichtet sind. Eine Messeinheit 37 ist zwischen der Heizvorrichtung 19 und dem ersten Walzgerüst 3 angeordnet, weitere Messeinheiten 37 sind jeweils zwischen zwei benachbarten Walzgerüsten 3 bis 7 angeordnet, und eine Messeinheit 37 ist am Ende der Walzstraße 1 hinter dem Walzgerüst 7, das den fünften Walzstich ausführt, angeordnet.

**[0046]** Die Walzstraße 1 weist überdies eine Steuerung 39 auf, mit der die Heizvorrichtung 19, das Kühlsystem, das heißt die von den Kühlbalken 25, 27 jeweils ausgegebenen Walzenkühlmittelströme, Walzenkühlmitteldrücke, Walzgutkühlmittelströme und Walzgutkühlmitteldrücke, und das Schmierungssystem, das heißt die von den Schmierbalken 31, 33 jeweils ausgegebenen Schmiermittelströme und Schmiermitteldrücke, jeweils steuer- oder regelbar sind, um die Walzguttemperatur des Walzguts 2 in jedem Walzstich zu steuern oder zu regeln. Dazu wird für jeden Walzstich ein Temperaturfenster für die Walzguttemperatur zwischen einer oberen Grenztemperatur und einer unteren Grenztemperatur vorgegeben, und die Walzguttemperatur wird derart gesteuert und/oder geregelt, dass die Walzguttemperatur in jedem Walzstich einen in dem für den Walzstich vorgegebenen Temperaturfenster liegenden Temperaturwert annimmt. Neben der Steuerung oder Regelung der Heizvorrichtung 19, des Kühlsystems und des Schmierungssystems wird eine Stichplanverteilung für die Stichabnahmen der einzelnen Walzstiche erstellt und umgesetzt. Die Walzgerüste 3 bis 7, das heißt die Spalthöhen der Walzspalte 11 der Walzgerüste 3 bis 7, werden gemäß der Stichplanverteilung eingestellt. Ferner wird eine Walzgeschwindigkeit, mit der das Walzgut 2 die Walzstraße 1 durchläuft, gesteuert oder geregelt, um die Walzguttemperatur in den Walzstichen zu beeinflussen. Die Walzgeschwindigkeit wird durch die Drehzahlen der Arbeitswalzen 9, 10 eingestellt.

**[0047]** Die Parameter der Temperatursteuerung und/oder -regelung sind eine mit der Heizvorrichtung 19 einzustellende Einlauftemperatur des Walzguts 2, die von den Kühlbalken 25, 27 jeweils ausgegebenen Walzenkühlmittelströme, Walzenkühlmitteldrücke, Walzgutkühlmittelströme und Walzgutkühlmitteldrücke (Kühlparameter), die von den Schmierbalken 31, 33 jeweils ausgegebenen Schmiermittelströme und Schmiermitteldrücke (Schmierungsparameter), die Stichplanverteilung und die Walzgeschwindigkeit. Diese Parameter werden jeweils beispielsweise offline anhand eines Rechenmodells wenigstens eines Teils der Walzstraße 1 ermittelt. Beispielsweise erfolgt eine modellbasierte Berechnung der Einlauftemperatur des Walzguts 2, der Kühl- und

Schmierungsparameter, der Stichplanverteilung und der Walzgeschwindigkeit als Lösung eines globalen Optimierungsproblems unter Vorgabe einer Zielfunktion. Dabei kann es eine Vielzahl von Lösungen geben, unter denen die geeignetste beispielsweise erst unter Berücksichtigung weiterer Kriterien, beispielsweise durch zusätzliches Maximieren der Walzgeschwindigkeit oder Einhalten einer bestimmten Walzkraftverteilung auf die Walzgerüste 3 bis 7, ebenfalls modellbasiert bestimmt wird. Die so ermittelten Parameter (offline-Parameter) werden jeweils manuell oder durch die Steuerung 39 eingestellt. Alternativ können einige oder alle Parameter (online-Parameter) online in Abhängigkeit von den Messwerten der Messeinheiten 37 derart geregelt werden, dass die Walzguttemperatur in jedem Walzstich einen in dem für den Walzstich vorgegebenen Temperaturfenster liegenden Temperaturwert annimmt. Beispielsweise werden die Stichplanverteilung, die Einlauftemperatur des Walzguts 2 und die Walzgeschwindigkeit offline bestimmt, während die Kühl- und Schmierungsparameter online in Abhängigkeit von den Messwerten der Messeinheiten 37 geregelt werden.

**[0048]** Figur 2 (FIG 2) zeigt ein Ablaufdiagramm 100 eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Kaltwalzen eines Walzguts 2 in einer Walzstraße 1 mit Verfahrensschritten 101 bis 106.

**[0049]** In einem ersten Verfahrensschritt 101 wird für jeden Walzstich ein Temperaturfenster für die Walzguttemperatur des Walzguts 2 in dem Walzstich vorgegeben.

**[0050]** In einem zweiten Verfahrensschritt 102 werden wie oben beschrieben die offline-Parameter anhand eines Rechenmodells wenigstens eines Teils der Walzstraße 1 bestimmt, beispielsweise die Stichplanverteilung, die Einlauftemperatur des Walzguts 2 und die Walzgeschwindigkeit.

**[0051]** In einem dritten Verfahrensschritt 103 wird das Kaltwalzen des Walzguts 2 in der Walzstraße 1 mit den in dem zweiten Verfahrensschritt 102 bestimmten offline-Parametern und vorgegebenen Anfangswerten der online-Parameter gestartet.

**[0052]** In einem vierten Verfahrensschritt 104 wird für jeden Walzstich eine Walzguttemperatur des Walzguts 2 ermittelt. Beispielsweise wird dazu für einen Walzstich mit wenigstens einer Messeinheit 37 die Walzguttemperatur erfasst oder die Walzguttemperatur in dem Walzstich wird berechnet, beispielsweise wie oben beschrieben mit einer Berechnung des Wärmeflusses zwischen dem Walzgut und den Arbeitswalzen im Walzspalt anhand einer Modellierung des Wärmeübergangs und/oder mit einer Berechnung der Umformungswärme, die bei einer Walzguterwärmung durch die plastische Umformung des Walzguts entsteht.

**[0053]** In einem fünften Verfahrensschritt 105 wird geprüft, ob die Walzguttemperatur in jedem Walzstich einen in dem für den Walzstich vorgegebenen Temperaturfenster liegenden Temperaturwert annimmt. Wenn die Prüfung ergibt, dass die Walzguttemperatur in jedem

Walzstich einen in dem für den Walzstich vorgegebenen Temperaturfenster liegenden Temperaturwert annimmt, wird wieder der vierte Verfahrensschritt 104 ausgeführt. Andernfalls wird ein sechster Verfahrensschritt 106 ausgeführt.

**[0054]** In dem sechsten Verfahrensschritt 106 wird der Wert wenigstens eines online-Parameters geändert, um die Walzguttemperatur in jedem Walzstich, bei dem die Walzguttemperatur außerhalb des für den Walzstich vorgegebenen Temperaturfensters liegt, in das vorgegebene Temperaturfenster zu führen. Nach dem sechsten Verfahrensschritt 106 wird wieder der vierte Verfahrensschritt 104 ausgeführt.

**[0055]** Obwohl die Erfindung im Detail durch bevorzugte Ausführungsbeispiele näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den durch die Ansprüche definierten Schutzbereich der Erfindung zu verlassen.

#### Bezugszeichenliste

#### [0056]

1	Walzstraße
2	Walzgut
3 bis 7	Walzgerüst
9, 10	Arbeitswalze
11	Walzspalt
13	Walzrichtung
15 bis 18	Stützwalze
19	Heizvorrichtung
21	Walzenkühlmittel
23	Walzgutkühlmittel
25, 27	Kühlbalken
29	Schmiermittel
31, 33	Schmierbalken
35	Auffangvorrichtung
37	Messeinheit
39	Steuerung
100	Ablaufdiagramm
101 bis 106	Verfahrensschritt

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Kaltwalzen eines Walzguts (2) in einer Walzstraße (1) mit mehreren Walzgerüsten (3 bis 7), die von dem Walzgut (2) nacheinander durchlaufen werden, wobei

- für wenigstens einen Walzstich eine obere Grenztemperatur und/oder eine untere Grenztemperatur für eine Walzguttemperatur des Walzguts (2) vorgegeben wird,
- und die Walzguttemperatur durch die folgenden Steuer- oder Regulationsmaßnahmen derart



- gesteuert und/oder geregelt wird, dass die Walzguttemperatur in dem wenigstens einen Walzstich die für den Walzstich vorgegebene obere Grenztemperatur nicht überschreitet und/oder die für den Walzstich vorgegebene untere Grenztemperatur nicht unterschreitet:
- Erwärmen des Walzguts (2) vor dem ersten Walzstich mittels einer Heizvorrichtung (19) auf eine Einlauftemperatur, wobei die Heizleistung der Heizvorrichtung (19) eingestellt wird,
  - Kühlen der Arbeitswalzen (9, 10) wenigstens eines Walzgerüsts (3 bis 7) durch Aufbringen eines Walzenkühlmittels (21) auf die Arbeitswalzen (9, 10), wobei ein Walzenkühlmittelstrom und/oder ein Walzenkühlmitteldruck des Walzenkühlmittels (21) gesteuert oder geregelt wird, wobei die beim Kühlen der Arbeitswalzen (9, 10) aus den Arbeitswalzen (9, 10) abgeführte Wärmemenge und die vom Walzgut (2) an die Arbeitswalzen (9, 10) abgegebene Wärmemenge ermittelt wird,
  - Kühlen des Walzguts (2) zwischen wenigstens zwei aufeinander folgenden Walzstichen durch Aufbringen eines Walzgutkühlmittels (23) auf das Walzgut (2), wobei ein Walzgutkühlmittelstrom und/oder ein Walzgutkühlmitteldruck des Walzgutkühlmittels (23) gesteuert oder geregelt und die beim Kühlen des Walzguts (2) aus dem Walzgut (2) an das Walzgutkühlmittel (23) abgeführte Wärmemenge ermittelt wird,
  - Aufbringen eines Schmiermittels (29) auf die Arbeitswalzen (9, 10) oder/und auf das Walzgut (2) bei wenigstens einem Walzstich, wobei ein Schmiermittelstrom und/oder ein Schmiermitteldruck des Schmiermittels (29) gesteuert oder geregelt und eine Reibungsverlustleistung im Walzspalt des jeweiligen Walzgerüsts (3 bis 7) ermittelt wird,
  - Erstellen und Umsetzen einer Stichplanverteilung für die Stichabnahmen der einzelnen Walzstiche, wobei die bei der plastischen Umformung des Walzguts (2) entstehende Umformungswärme aus der Stichabnahme am jeweiligen Walzgerüst und aus den Materialeigenschaften des Walzguts (2) ermittelt wird, und
  - Steuern oder Regeln einer Walzgeschwindigkeit, mit der das Walzgut (2) die Walzstraße (1) durchläuft, wobei die im jeweiligen Walzgerüst (3 bis 7) entstehende Reibungsverlustleistung ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei für wenigstens einen Walzstich eine obere Grenztemperatur im Bereich zwischen 140°C und 250°C vorgegeben wird.
  3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei für wenigstens einen Walzstich eine untere Grenztemperatur im Bereich zwischen 20°C und 140°C vorgegeben wird.
  4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine gemeinsame obere Grenztemperatur für alle Walzstiche vorgegeben wird.
  5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine gemeinsame untere Grenztemperatur für alle Walzstiche vorgegeben wird.
  6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Heizvorrichtung (19) als Induktionsheizung ausgestaltet ist.
  7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei auf die Arbeitswalzen (9, 10) oder/und auf das Walzgut (2) bei wenigstens einem Walzstich ein Schmiermittel (29) aufgebracht wird, indem in einer Zerstäubungseinrichtung ein Gemisch aus dem Schmiermittel (29) und einem Trägergas erzeugt wird und das Gemisch mit Schmiermitteldüsen auf die Arbeitswalzen (9, 10) und/oder auf das Walzgut (2) gesprüht wird.
  8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei für wenigstens einen Parameter einer Steuer- oder Regulationsmaßnahme ein Parameterwert offline anhand eines Rechenmodells wenigstens eines Teils der Walzstraße (1) ermittelt wird und der Parameter bei dem Betrieb der Walzstraße (1) auf den Parameterwert eingestellt wird.
  9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei wenigstens ein offline ermittelter Parameterwert eine Einlauftemperatur des Walzguts (2) und/oder Kühlparameter und/oder ein Schmierungsparameter und/oder eine Stichplanverteilung und/oder eine Walzgeschwindigkeit sind.
  10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, wobei wenigstens zwei offline ermittelte Parameterwerte als Lösung eines globalen Optimierungsproblems unter Vorgabe einer Zielfunktion ermittelt wird.
  11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei im Betrieb der Walzstraße (1) wenigstens ein Messwert der Walzguttemperatur erfasst wird und wenigstens ein Parameter einer Steuer- oder Regulationsmaßnahme online in Abhängigkeit von wenigstens einem Messwert eingestellt wird.
  12. Walzstraße (1) mit mehreren Walzgerüsten (3 bis 7) zum Kaltwalzen eines Walzguts (2) und einer Steuerung (39), umfassend
    - eine von der Steuerung (39) steuer- oder regelbare Heizvorrichtung (19), die eingerichtet ist, das Walzgut (2) vor dem ersten Walzstich

zu erwärmen,

- ein von der Steuerung (39) steuer- oder regelbares Kühlsystem, das eingerichtet ist, ein Walzenkühlmittel (21) auf die Arbeitswalzen (9, 10) wenigstens eines Walzgerüsts (3 bis 7) und/oder ein Walzgutkühlmittel (23) zwischen wenigstens zwei aufeinander folgenden Walzstichen auf das Walzgut (2) auszugeben, und
- ein von der Steuerung (39) steuer- oder regelbares Schmierungssystem, das eingerichtet ist, bei wenigstens einem Walzstich ein Schmiermittel (29) auf die Arbeitswalzen oder/und auf das Walzgut (2) auszugeben,
- wobei die Steuerung (39) eingerichtet ist, die Steuer- oder Regulationsmaßnahmen des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche auszuführen.

13. Walzstraße (1) nach Anspruch 12 mit wenigstens einer Messeinheit (37), die zum Erfassen einer Walzguttemperatur des Walzguts (2) an einer beliebigen Stelle der Walzstraße (1) eingerichtet ist.

## Claims

1. Method for the cold rolling of rolled stock (2) in a rolling train (1) having multiple rolling stands (3 to 7) through which the rolled stock (2) passes in succession, wherein

- an upper limit temperature and/or a lower limit temperature for a temperature of the rolled stock (2) is predetermined for at least one rolling pass,
- and the rolled-stock temperature is open-loop and/or closed-loop controlled by the following open-loop or closed-loop control measures in such a way that the rolled-stock temperature in the at least one rolling pass does not exceed the upper limit temperature predetermined for the rolling pass and/or does not fall below the lower limit temperature predetermined for the rolling pass:
- heating the rolled stock (2) to a run-in temperature by means of a heating device (19) before the first rolling pass, wherein the heat output of the heating device (19) is set,
- cooling the working rollers (9, 10) of at least one rolling stand (3 to 7) by applying a roller coolant (21) to the working rollers (9, 10), wherein a flow of the roller coolant (21) and/or a pressure of the roller coolant (21) is open-loop or closed-loop controlled, wherein the amount of heat discharged from the working rollers (9, 10) when the working rollers (9, 10) are being cooled and the amount of heat discharged from the rolled stock (2) to the working rollers (9, 10) are ascertained,

- cooling the rolled stock (2) between at least two rolling passes which follow one another by applying a rolled-stock coolant (23) to the rolled stock (2), wherein a flow of the rolled-stock coolant (23) and/or a pressure of the rolled-stock coolant (23) is open-loop or closed-loop controlled and the amount of heat discharged from the rolled stock (2) to the rolled-stock coolant (23) when the rolled stock (2) is being cooled is ascertained,
- applying a lubricant (29) to the working rollers (9, 10) or/and to the rolled stock (2) in at least one rolling pass, wherein a flow of the lubricant (29) and/or a pressure of the lubricant (29) is open-loop or closed-loop controlled and a frictional power loss in the rolling gap of the respective rolling stand (3 to 7) is ascertained,
- compiling and implementing a pass sequence distribution for the pass reductions of the individual rolling passes, wherein the resulting heat of forming when the rolled stock (2) plastically deforms is ascertained from the pass reduction at the respective rolling stand and from the material properties of the rolled stock (2), and
- open-loop or closed-loop controlling a rolling speed at which the rolled stock (2) passes through the rolling train (1), wherein the resulting frictional power loss in the respective rolling stand (3 to 7) is ascertained.

2. Method according to Claim 1, wherein an upper limit temperature in the range of between 140°C and 250°C is predetermined for at least one rolling pass.
3. Method according to Claim 1 or 2, wherein a lower limit temperature in the range of between 20°C and 140°C is predetermined for at least one rolling pass.
4. Method according to one of the preceding claims, wherein a common upper limit temperature is predetermined for all of the rolling passes.
5. Method according to one of the preceding claims, wherein a common lower limit temperature is predetermined for all of the rolling passes.
6. Method according to one of the preceding claims, wherein the heating device (19) is designed as an induction heater.
7. Method according to one of the preceding claims, wherein a lubricant (29) is applied to the working rollers (9, 10) or/and to the rolled stock (2) in at least one rolling pass by creating a mixture of the lubricant (29) and a carrier gas in an atomization device and spraying the mixture onto the working rollers (9, 10) and/or onto the rolled stock (2) by means of lubricant nozzles.

8. Method according to one of the preceding claims, wherein a parameter value is ascertained offline for at least one parameter of an open-loop or closed-loop control measure on the basis of a calculation model of at least part of the rolling train (1) and the parameter is set to the parameter value during operation of the rolling train (1). 5
9. Method according to Claim 8, wherein at least one parameter value ascertained offline is a run-in temperature of the rolled stock (2) and/or a cooling parameter and/or a lubrication parameter and/or a pass sequence distribution and/or a rolling speed. 10
10. Method according to Claim 8 or 9, wherein at least two parameter values ascertained offline are ascertained as a solution to a global optimization problem with predetermination of a target function. 15
11. Method according to one of the preceding claims, wherein at least one measured value of the rolled-stock temperature is recorded during operation of the rolling train (1), and at least one parameter of an open-loop or closed-loop control measure is set online as a function of at least one measured value. 20 25
12. Rolling train (1) having multiple rolling stands (3 to 7) for the cold rolling of rolled stock (2) and a controller (39), comprising 30
- a heating device (19) that can be open-loop or closed-loop controlled by the controller (39) and is configured to heat the rolled stock (2) before the first rolling pass, 30
  - a cooling system that can be open-loop or closed-loop controlled by the controller (39) and is configured to dispense a roller coolant (21) onto the working rollers (9, 10) of at least one rolling stand (3 to 7) and/or a rolled-stock coolant (23) onto the rolled stock (2) between at least two rolling passes which follow one another, and 35 40
  - a lubrication system that can be open-loop or closed-loop controlled by the controller (39) and is configured to dispense a lubricant (29) onto the working rollers or/and onto the rolled stock (2) in at least one rolling pass, 45
  - wherein the controller (39) is configured to carry out the open-loop or closed-loop control measures of the method according to one of the preceding claims. 50
13. Rolling train (1) according to Claim 12 having at least one measuring unit (37) that is configured to record a temperature of the rolled stock (2) at any desired point on the rolling train (1). 55

## Revendications

1. Procédé de laminage à froid d'un produit laminé (2) dans un train de laminage (1) comprenant plusieurs cages de laminoir (3 à 7) qui sont traversées de manière successive par le produit laminé (2), dans lequel
- pour au moins une passe de laminage, une température limite supérieure et/ou une température limite inférieure est/sont prédéfinie(s) pour une température de produit laminé du produit laminé (2),
  - et la température de produit laminé est commandée et/ou régulée grâce aux actions de commande ou de régulation ci-dessous de telle manière que, pendant la au moins une passe de laminage, la température de produit laminé ne dépasse pas la température limite supérieure prédéfinie pour la passe de laminage et/ou ne descend pas en dessous de la température limite inférieure prédéfinie pour la passe de laminage :
  - chauffer le produit laminé (2) à une température d'entrée avant la première passe de laminage au moyen d'un dispositif de chauffage (19), dans lequel la puissance de chauffage du dispositif de chauffage (19) est ajustée,
  - refroidir les cylindres de travail (9, 10) d'au moins une cage de laminoir (3 à 7) par application d'un agent de refroidissement de cylindre (21) sur les cylindres de travail (9, 10), dans lequel un flux d'agent de refroidissement de cylindre et/ou une pression d'agent de refroidissement de cylindre (21) est/sont commandé(s) ou régulé(s), dans lequel la quantité de chaleur dissipée à partir des cylindres de travail (9, 10) lors du refroidissement des cylindres de travail (9, 10) et la quantité de chaleur transférée du produit laminé (2) vers les cylindres de travail (9, 10) sont déterminées,
  - refroidir le produit laminé (2) entre au moins deux passes de laminage consécutives par application d'un agent de refroidissement de produit laminé (23) sur le produit laminé (2), dans lequel un flux d'agent de refroidissement de produit laminé et/ou une pression d'agent de refroidissement de produit laminé de l'agent de refroidissement de produit laminé (23) est/sont commandé(s) ou régulé(s) et la quantité de chaleur dissipée à partir du produit laminé (2) vers l'agent de refroidissement de produit laminé (23) lors du refroidissement du produit laminé (2) est déterminée,
  - appliquer un lubrifiant (29) sur les cylindres de travail (9, 10) et/ou sur le produit laminé (2) lors d'au moins une passe de laminage, dans lequel

- un flux de lubrifiant et/ou une pression de lubrifiant du lubrifiant (29) est/sont commandé(s) ou régulé(s) et une puissance de perte par friction dans l'emprise de la cage de laminoir (3 à 7) respective est déterminée,
- établir et convertir une répartition des plans de passes pour les réductions aux passes des différentes passes de laminage, dans lequel la chaleur de formage générée lors du formage plastique du produit laminé (2) est déterminée à partir des réductions aux passes au niveau de la cage de laminoir respective et à partir des propriétés matérielles du produit laminé (2), et
  - commander ou réguler une vitesse de laminage à laquelle le produit laminé (2) traverse le train de laminage (1), dans lequel la puissance de perte par friction générée dans la cage de laminage (3 à 7) respective est déterminée.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel une température limite supérieure située dans la plage comprise entre 140°C et 250°C est prédéfinie pour au moins une passe de laminage.
  3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel une température limite inférieure située dans la plage comprise entre 20°C et 140°C est prédéfinie pour au moins une passe de laminage.
  4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel une température limite supérieure commune est prédéfinie pour toutes les passes de laminage.
  5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel une température limite inférieure commune est prédéfinie pour toutes les passes de laminage.
  6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le dispositif de chauffage (19) est conçu pour être un chauffage par induction.
  7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel un lubrifiant (29) est appliqué sur les cylindres de travail (9, 10) et/ou sur le produit laminé (2) lors d'au moins une passe de laminage, grâce à la production d'un mélange de lubrifiant (29) et d'un gaz porteur au sein d'un dispositif de pulvérisation et à la pulvérisation du mélange sur les cylindres de travail (9, 10) et/ou sur le produit laminé (2) grâce à des buses à lubrifiant.
  8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, pour au moins un paramètre d'une action de commande ou de régulation, une valeur de paramètre est déterminée hors ligne à l'aide d'un modèle de calcul d'au moins une partie du train de laminage (1) et le paramètre est ajusté à la valeur de paramètre lors du fonctionnement du train de laminage (1).
  9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel au moins une valeur de paramètre déterminée hors ligne est une température d'entrée du produit laminé (2) et/ou un paramètre de refroidissement et/ou un paramètre de lubrification et/ou une répartition de plans de passe et/ou une vitesse de laminage.
  10. Procédé selon la revendication 8 ou 9, dans lequel au moins deux valeurs de paramètres déterminées hors ligne sont déterminées en tant que solution d'un problème d'optimisation global avec spécification d'une fonction cible.
  11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, pendant le fonctionnement du train de laminage (1), au moins une valeur de mesure de la température de produit laminé est enregistrée et au moins un paramètre d'une action de commande ou de régulation est ajusté en ligne en fonction d'au moins une valeur de mesure.
  12. Train de laminage (1) avec plusieurs cages de laminoir (3 à 7) permettant de laminier à froid un produit laminé (2) et avec une commande (39), comprenant
    - un dispositif de chauffage (19) pouvant être commandé ou régulé par la commande (39) et conçu pour chauffer le produit laminé (2) avant la première passe de laminage,
    - un système de refroidissement pouvant être commandé ou régulé par la commande (39) et conçu pour fournir un agent de refroidissement de cylindre (21) sur les cylindres de travail (9, 10) d'au moins une cage de laminoir (3 à 7) et/ou un agent de refroidissement de produit laminé (23) sur le produit laminé (2) entre au moins deux passes de laminage consécutives, et
    - un système de lubrification pouvant être commandé ou régulé par la commande (39) et conçu pour fournir un lubrifiant (29) sur les cylindres de travail et/ou sur le produit laminé (2) lors d'au moins une passe de laminage,
    - dans lequel la commande (39) est conçue pour mettre en œuvre les actions de commande ou de régulation du procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes.
  13. Train de laminage (1) selon la revendication 12, comprenant au moins une unité de mesure (37) conçue pour enregistrer une température de produit laminé du produit laminé (2) au niveau d'un emplacement quelconque du train de laminage (1).

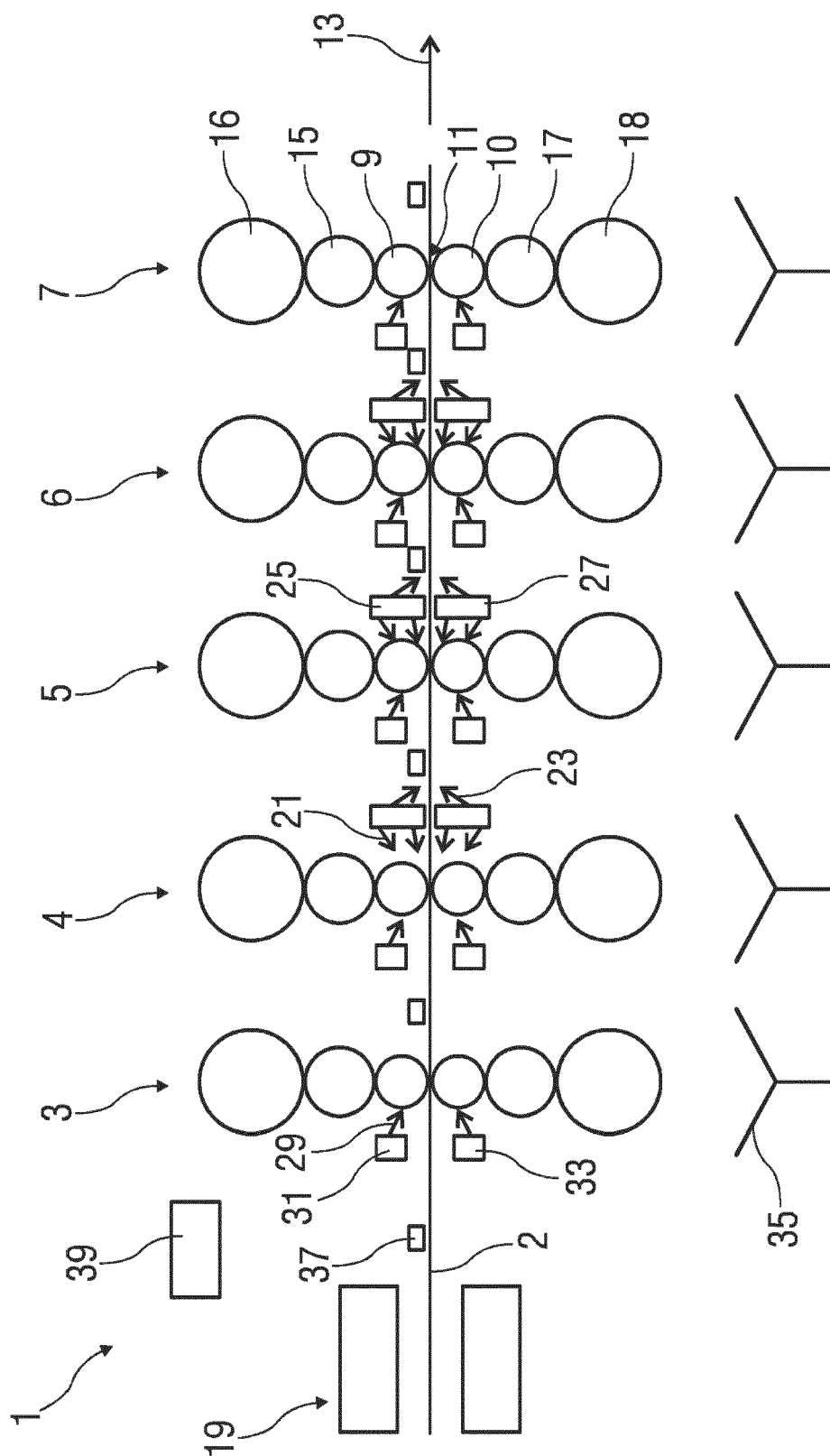


FIG 1

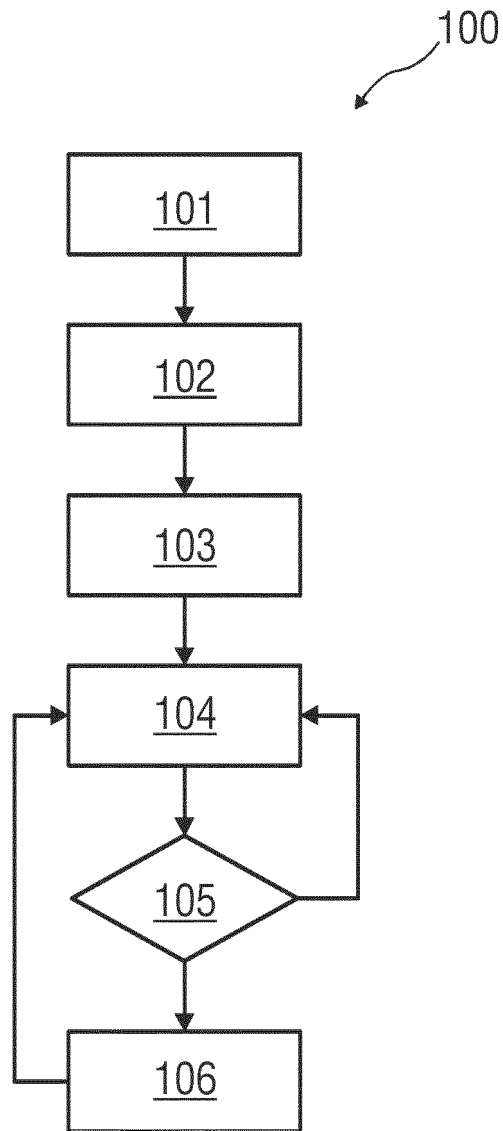


FIG 2

## IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

### In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- JP H01218710 A [0005]
- EP 2651577 B1 [0029]

### In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **F. HELL.** Grundlagen der Wärmeübertragung. VDI-Verlag, 1982, 77-85 [0012]
- **H. HOFFMANN.** Handbuch Umformen. 2012 [0013]
- **J.B.A.F. SMEULDERS.** Lubrication in the Cold Rolling Process Described by a 3D Stribeck Curve. *AISTech 2013 Proceedings* [0013]