

(19)



(11)

EP 2 539 089 B2

(12)

NEUE EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT
Nach dem Einspruchsverfahren

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Entscheidung über den Einspruch:
04.05.2022 Patentblatt 2022/18

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B21B 37/76 ^(2006.01) **C21D 11/00** ^(2006.01)
C21D 1/667 ^(2006.01)

(45) Hinweis auf die Patenterteilung:
25.06.2014 Patentblatt 2014/26

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B21B 37/76; C21D 1/667; C21D 11/005;
B21B 37/28; B21B 38/006; B21B 38/02;
B21B 45/0218; B21B 2261/20; B21B 2263/04;
C21D 9/46

(21) Anmeldenummer: **11701838.2**

(22) Anmeldetag: **04.02.2011**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2011/051663

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2011/104103 (01.09.2011 Gazette 2011/35)

(54) **VERFAHREN ZUR KÜHLUNG EINES BLECHS MITTELS EINER KÜHLSTRECKE, KÜHLSTRECKE
UND STEUER- UND/ODER REGELEINRICHTUNG FÜR EINE KÜHLSTRECKE**

METHOD FOR COOLING SHEET METAL BY MEANS OF A COOLING SECTION, COOLING
SECTION AND CONTROL DEVICE FOR A COOLING SECTION

PROCÉDÉ DE REFROIDISSEMENT D'UNE TÔLE AU MOYEN D'UNE BRANCHE DE
REFROIDISSEMENT, BRANCHE DE REFROIDISSEMENT ET DISPOSITIF DE CONTRÔLE ET/OU
DE RÉGULATION POUR UNE BRANCHE DE REFROIDISSEMENT

(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: **26.02.2010 EP 10154802**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.01.2013 Patentblatt 2013/01

(73) Patentinhaber: **Primetals Technologies Germany
GmbH**
91052 Erlangen (DE)

(72) Erfinder: **WEINZIERL, Klaus**
90480 Nürnberg (DE)

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

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 2 070 608 WO-A1-2009/106423
DE-A1- 19 520 138 DE-A1- 19 943 403
JP-A- 61 253 112 JP-A- H11 267 738

EP 2 539 089 B2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kühlung eines Blechs, insbesondere Grobblechs, mittels einer Kühlstrecke, wobei die Kühlstrecke eine Mehrzahl an Kühlmittelabgabeeinrichtungen zur Kühlung einer Blechoberseite und eine Mehrzahl an Kühlmittelabgabeeinrichtungen zur Kühlung einer Blechunterseite aufweist, wobei mittels der Kühlung ein vorgegebener Zielzustand des Blechs an einem Referenzpunkt bei und/oder nach Austritt aus der Kühlstrecke erreicht wird, wobei eine Kühlmittelabgabe für eine erste und eine zweite Kühlmittelabgabeeinrichtung ermittelt wird, wobei die erste und die zweite Kühlmittelabgabeeinrichtung relativ zum Blech gegenüberliegend angeordnet sind. Darüber hinaus betrifft die Erfindung eine Steuer und/oder Regeleinrichtung für eine Kühlstrecke.

[0002] Die Erfindung liegt auf dem technischen Gebiet der Walzstraßen, insbesondere Grobblechwalzstraßen und betrifft insbesondere die Kühlung für Grobblech.

[0003] Die Kühlung bzw. der Betrieb der Kühlstrecke beeinflusst maßgeblich die Qualität und die Eigenschaften des hergestellten Blechs. Die Kühlstrecke einer Grobblechstraße dient insbesondere dazu, die Werkstoffeigenschaften des Blechs in gewünschter Weise einzustellen.

[0004] Bei der Kühlung von Grobblech kann es aufgrund der vergleichsweise hohen Dicke und des damit verbundenen Wärmeinhalts während des Kühlens zu Unplanheiten kommen, welche durch thermische Verspannungen verursacht sind. Diese thermischen Verspannungen lassen sich durch den Betrieb der Kühlstrecke beeinflussen. Ziel ist es stets ein planes Blech herzustellen, welches die gewünschten mechanischen Eigenschaften aufweist.

[0005] Grobblech weist in der Regel eine Dicke von 3mm oder mehr auf und erfüllt damit die Definition gemäß EN 10029.

[0006] Aus der Europäischen Offenlegungsschrift EP 2070608 A1 ist ein Verfahren zum Kühlen von Grobblech bekannt. Hier wird eine Kühlmittelabgabe der Stellglieder oberhalb und unterhalb des Blechs individuell eingestellt, insbesondere derart, dass für die Blechoberseite und die Blechunterseite derselbe Wärmeübergangskoeffizient vorliegt. Dies hat den Nachteil, dass trotz der vergleichsweise exakten Ermittlung des Wärmeübergangskoeffizienten weiterhin Unplanheiten in der Kühlstrecke entstehen können. Auch können hiermit keine Unplanheiten des Blechs behoben werden, welche bereits vor der Kühlstrecke entstanden sind.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, beim Herstellen von Grobblech die Planheit von hergestelltem Grobblech weiter zu erhöhen bei gleichzeitig hohem Durchsatz der Grobblechstraße.

[0008] Der verfahrensmäßige Teil wird gelöst durch ein Verfahren zur Kühlung eines Blechs mittels einer Kühlstrecke, wobei die Kühlstrecke eine Mehrzahl an Kühlmittelabgabeeinrichtungen zur Kühlung einer Blechoberseite und eine Mehrzahl an Kühlmittelabgabeeinrichtungen zur Kühlung einer Blechunterseite aufweist, wobei mittels der Kühlung ein vorgegebener Zielzustand des Blechs an einem Referenzpunkt bei und/oder nach Austritt aus der Kühlstrecke erreicht wird, wobei eine Kühlmittelabgabe für eine erste und eine zweite Kühlmittelabgabeeinrichtung ermittelt wird, wobei die erste und die zweite Kühlmittelabgabeeinrichtung relativ zum Blech gegenüberliegend angeordnet sind, wobei die Ermittlung der Kühlmittelabgabe für die erste und zweite Kühlmittelabgabeeinrichtung anhand eines vorgegebenen abzuführenden Wärmestroms von der der jeweiligen Kühlmittelabgabeeinrichtung zugewandten Blechseite erfolgt, wobei für den jeweils abzuführenden Wärmestrom eine Temperatur, insbesondere Oberflächentemperatur, der jeweiligen Blechseite berücksichtigt wird.

[0009] Der Erfinder hat erkannt, dass es für eine möglichst gute Einhaltung der Planheit nicht ausreichend ist, lediglich den Wärmeübergangskoeffizienten jeweils für Oberseite und Unterseite zu berücksichtigen und diesen einander anzugleichen.

[0010] Vielmehr wird ein möglichst planes Blech bspw. dann erreicht, wenn - bei plan einlaufendem Blech - der Wärmestrom für Oberseite und Unterseite gleich groß ist. Hierzu muss jedoch die Temperatur der Oberseite und der Unterseite explizit berücksichtigt werden, da diese den abführbaren Wärmestrom direkt beeinflusst. Im Stand der Technik gemäß der EP 2 070608 A1 wird dies nicht berücksichtigt. Vielmehr wird dort die Gleichheit des Wärmeübergangskoeffizienten für Ober- und Unterseite angestrebt. Bei unterschiedlichen Temperaturen von Blechoberseite und Blechunterseite führt dies jedoch gerade zu einem ungleichmäßigen Wärmefluss für Ober- und Unterseite, welcher bei einem plan einlaufenden Blech eine Unplanheit bewirken kann. Dies kann durch die vorliegende Erfindung vermieden werden.

[0011] Daher wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung die Kühlmittelabgabe für die erste und zweite Kühlmittelabgabeeinrichtung mittels der folgenden Gleichungen ermittelt:

$$0 = x \cdot j_{oben} - (1 - x) \cdot j_{unten}$$

und

$$j_{ges} = j_{oben} + j_{unten}$$

wobei x ein vorgebbare Faktor zwischen 0 und 1, j_{oben} ein abzuführender Wärmestrom von der Oberseite des Blechs, j_{unten} ein abzuführender Wärmestrom von der Unterseite des Blechs, und j_{ges} ein abzuführender und vorzugebender Gesamtwärmestrom sind. Bei der Kühlmittelabgabe wird berücksichtigt, dass während des Durchlaufens der Kühlstrecke die Temperatur der Blechoberseite und/oder die Temperatur der Blechunterseite jeweils stets größer oder gleich einer vorgegebenen Grenztemperatur ist. Die Grenztemperatur kann insbesondere 350 °C betragen. Weiterhin wird ein Verhältnis von abzuführendem Wärmestrom von der Blechoberseite zu Blechunterseite in Abhängigkeit von einer Planheit des Blechs eingestellt. Diese Planheit kann insbesondere bei Einlauf in die Kühlstrecke vorliegen.

[0012] Die Temperatur der Blechoberseite bzw. Blechunterseite kann mittels einer Messung ermittelt werden, bspw. mittels eines Pyrometers. Alternativ können auch berechnete Ist-Temperaturen, bspw. bekannt aus einer Blechverfolgungsberechnung, herangezogen werden.

[0013] Unter Kühlmittelabgabe wird sowohl die mengenmäßige Abgabe des Kühlmittels pro Zeiteinheit verstanden, als auch die Art und Weise der Abgabe des Kühlmittels, bspw. der Einstellung des Aufbringungswinkels, etc.... Häufig wird lediglich die Kühlmittelmenge pro Zeiteinheit eingestellt.

[0014] Als Kühlmittelabgabeeinrichtungen wird eine Einrichtung angesehen, welche zur Abgabe von Kühlmittel auf das Blech ausgebildet ist.

[0015] Die Kühlmittelabgabeeinrichtung kann eine einzeln schaltbare Ventilanordnung mit einem oder mehreren Kühlmittelauslässen sein. Alternativ kann dies auch eine Mehrzahl an einzeln schaltbaren Ventil-Auslass-Einrichtungen sein, welche gemeinsam gesteuert bzw. betrieben werden. Erstgenannte Ausführung ist für die Erfindung bevorzugt, da diese eine flexiblere Einstellung bzw. einen flexibleren Betrieb der Kühlstrecke erlaubt.

[0016] Vorzugsweise sind alle Kühlmittelabgabeeinrichtungen der Kühlstrecke, sowohl zur Kühlung der Blechunterseite, als auch zur Kühlung der Blechoberseite, als jeweils einzeln schaltbare Ventilanordnungen mit zugehörigen Kühlmittelauslässen ausgebildet.

[0017] Als Endzustand für ein Blech kann eine gewünschte zu erreichende Temperatur angesehen werden oder auch ein gewünschtes Gefüge bzw. eine gewünschte Phasenzusammensetzung des Blechs. Der Endzustand stellt sicher, dass ein gewünschtes Produkt tatsächlich durch die Kühlstrecke der Grobblechwalzstraße bereitgestellt wird. Wird der Endzustand nicht erreicht, so ist das hergestellte Produkt in der Regel minderwertig oder als Schrott zu verwerfen.

[0018] Hierdurch ist es möglich, mittels der Kühlstrecke bzw. der Kühlung derart auf das Blech einzuwirken, wie es benötigt wird. Insbesondere kann mittels der Kühlstrecke korrigierend auf die Planheit des Bleches eingewirkt werden, falls erforderlich. Hierdurch kann die Kühlstrecke zur Einhaltung der Produktqualität betragen, da einerseits bereits unplanenes Blech in planenes Blech überführt werden kann, andererseits plan in die Kühlstrecke einlaufendes Blech auch wieder plan aus der Kühlstrecke ausläuft. Vorteilhafterweise kann hierzu die Steuer-und/oder Regeleinrichtung für die Kühlstrecke mit einer Planheitsmesseinrichtung vor der Kühlstrecke wirkverbunden werden, so dass die Kühlstrecke entsprechend in Abhängigkeit von der erfassten Planheit gesteuert und/oder geregelt werden kann, insbesondere derart, dass die Unplanheiten eines in die Kühlstrecke einlaufenden unplanen Blechs verringert werden und plan in die Kühlstrecke einlaufendes Blech erhalten bleibt.

[0019] In einer bevorzugten Ausführungsform ist bei einem planen Blech, insbesondere einem plan in die Kühlstrecke einlaufenden Blech, das Verhältnis des von der Oberseite abzuführenden Wärmestroms und des von der Unterseite abzuführenden Wärmestroms im Wesentlichen gleich eins. D.h. die abgeführte Wärme pro Zeiteinheit auf der Oberseite ist gleich der abgeführten Wärme pro Zeiteinheit auf der Unterseite. Aufgrund der ggf. unterschiedlichen Temperaturen und der unterschiedlichen Kühlmittelverweildauer auf dem Blech, insbesondere für Blechoberseite und Blechunterseite, bedeutet dies, dass für Oberseite und Unterseite unterschiedlich viel Kühlmittel aufgebracht werden muss.

[0020] In einer weiteren vorteilhaften Variante der Erfindung wird bei einem unplanen Blech das Verhältnis derart eingestellt, dass die Unplanheit des Blechs nach Durchlaufen der Kühlstrecke relativ zur Unplanheit des Blechs vor Durchlaufen der Kühlstrecke verringert ist. Hierdurch wird nicht nur sichergestellt, dass ein gewünschtes Produkt mittels der Kühlstrecke hergestellt wird, sondern es kann auch noch auf die Qualität des hergestellten Produkts im Hinblick auf Planheit mittels der Kühlstrecke Einfluss genommen werden. Es können insbesondere durch eine entsprechend angepasste Kühlung, d.h. entsprechende Ungleichverteilung des Wärmestroms für Blechoberseite und Blechunterseite, Planheitsfehler des Blechs in der Kühlstrecke noch korrigiert werden, wodurch ggf. auch die Ausbeute der Grobblechstraße steigt.

[0021] Der jeweilige Wärmestrom kann über ein empirisches, physikalisches oder empirisch-physikalisches Modell modelliert werden. Dieses kann der Fachmann bspw. mit Hilfe von in der Vergangenheit gekühlten Blechen ermitteln. Das Modell des Wärmestroms ist in der Regel zumindest eine Funktion der jeweiligen Temperatur der Blechseite, der jeweiligen Temperatur des Kühlmittels, welches zur Kühlung verwendet wird, der Blechgeschwindigkeit, sowie der Kühlmittelmenge. Weitere Parameter können auftreten, beispielsweise die Geschwindigkeit, mit der das Kühlmittel auf der Blechoberfläche auftritt.

[0022] Auf Basis des obigen Gleichungssystems kann dann eine Kühlmittelmenge für eine Kühlmittelabgabeeinrichtung ermittelt werden, um einen gewünschten Wärmefluss einzustellen.

[0023] Als Grenztemperatur wird vorzugsweise eine Oberflächentemperatur des Blechs verwendet. Der Betrag der

Grenztemperatur wird bspw. derart bestimmt, dass das Kühlwirkungsprinzip für die gesamte Kühlstrecke das gleiche ist. Ändert sich das Kühlwirkungsprinzip für das Blech, während dieses die Kühlstrecke durchläuft, so wird die Kühlung schwer beherrschbar. Aus diesem Grund wird vorgesehen, die Kühlstrecke derart zu betreiben, dass diese Grenztemperatur weder von der Oberseite des Bleches noch von der Unterseite des Blechs während des Durchlaufens der Kühlstrecke unterschritten wird. Dazu kann man entweder j_{ges} soweit vermindern, dass die genannte Nebenbedingung berücksichtigt wird (= zusätzlich), oder man kann den berechneten Wärmestrom auf der Seite, die ansonsten zu einer Unterschreitung führen würde, nachträglich entsprechend vermindern (= ersatzweise), dass die Unterschreitung nicht erfolgt.

[0024] Bspw. kann die Grenztemperatur aus einem Temperaturbereich von 420°C bis 300°C ausgewählt werden. In diesem Oberflächentemperaturbereich des Blechs tritt - abhängig von den jeweiligen Kühlbedingungen in einer Kühlstrecke - insbesondere auf der Oberseite eine Änderung des Kühlmittelverhaltens bei der Kühlung des Blechs auf, womit eine Änderung des Kühlmechanismus bzw. Kühlwirkungsprinzips einhergeht. Diese Änderung führt zu schwer beherrschbaren Kühlbedingungen, welche dazu führen, dass das Blech unplan aus der Kühlstrecke auslaufen kann. Durch die Festlegung einer Grenztemperatur, welche die Blechoberseite und/oder die Blechunterseite nicht unterschreiten darf, und Berücksichtigung dieser Grenztemperatur bei der Ermittlung der Kühlmittelabgabe, kann sichergestellt werden, dass ein kritisches, für die Kühlung kaum beherrschbares Temperaturregime der Blechoberfläche während des Durchlaufens des Blechs durch die Kühlstrecke vermieden wird. Während der Betrieb der oberhalb und unterhalb des Blechs angeordneten Kühlmittelabgabeeinrichtungen in obiger Weise durch Verwendung eines Gleichungssystems gekoppelt wird, kann alternativ eine getrennte Berechnung für oberhalb und unterhalb des Blechs angeordnete Kühlmittelabgabeeinrichtungen erfolgen.

[0025] Alternativ zu einer Aufteilung des Wärmestroms wird in einer alternativen Ausführungsform der Erfindung für wenigstens eine der Kühlmittelabgabeeinrichtungen die Kühlmittelabgabe unabhängig von der Kühlmittelabgabe der relativ zum Blech gegenüberliegenden Kühlmittelabgabeeinrichtung, ermittelt. In diesem Fall erfolgt die Ermittlung derart, dass das Blech - insbesondere ohne explizite Berechnung des oben genannten Punktes - im Wesentlichen parallel zur Oberseite oder Unterseite virtuell in ein erstes oberes Blech und ein zweites unteres Blech geteilt wird, wobei die Kühlmittelabgabe jeweils separat für das erste und das zweite Blech ermittelt wird, wobei bei der jeweiligen Ermittlung ein Wärmeaustausch zwischen dem ersten Blech und dem zweiten Blech unberücksichtigt bleibt. Die Teilung erfolgt gemäß einem Zahlenwert x , der das Verhältnis der Dicke des unteren Blechs relativ zur Gesamtdicke bedeutet. Diese virtuelle Aufteilung wird in Abhängigkeit von einer Planheit des Blechs vorgenommen, die bei Einlauf in die Kühlstrecke gemessen wird. Auch bei dieser Ausgestaltung wird berücksichtigt, dass während des Durchlaufens der Kühlstrecke die Temperatur der Blechoberseite und/oder die Temperatur der Blechunterseite jeweils stets größer oder gleich einer vorgegebenen Grenztemperatur ist. Die Grenztemperatur kann insbesondere 350 °C betragen.

[0026] Dies ist deshalb möglich, da es bei beidseitiger Wärmeabfuhr in Dickenrichtung des Blechs mindestens einen Punkt gibt, an welchem der Wärmefluss verschwindet bzw. gleich Null ist. Für diesen Punkt in Dickenrichtung findet kein Wärmeaustausch statt. Das Blech kann an diesem Punkt gedanklich geteilt werden, ohne dass sich dadurch das Ergebnis verändert. Daher kann eine Berechnung des abzuführenden Wärmestroms bzw. einer hierfür erforderlichen Kühlmittelmenge generell einseitig adiabatisch erfolgen, d.h. es muss bei der Berechnung bezüglich einer Seite, beispielsweise der Oberseite, nicht die Wechselwirkung mit der anderen Seite, beispielsweise der Unterseite des Blechs, berücksichtigt werden.

[0027] Mit anderen Worten bedeutet dies, dass für das erste Blech, z.B. das obere, die Kühlmittelmenge ermittelt wird, wobei für die dem zweiten Blech, z.B. dem unteren Blech, zugewandte Grenzfläche des ersten Blechs kein Wärmeaustausch berücksichtigt wird. Ferner wird die Kühlmittelabgabe für das zweite, z.B. das untere, Blech berechnet, wobei für die dem ersten Blech zugewandte Grenzfläche des zweiten Blechs kein Wärmeaustausch berücksichtigt wird. Der Wärmeaustausch zwischen dem ersten und dem zweiten Blech bleibt also rechentechnisch unberücksichtigt. Dadurch erhält man eine Gleichung mit einer Unbekannten, welche somit lösbar ist.

[0028] Der Begriff "virtuell" bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Teilung des Blechs nur aus einer Berechnungssicht erfolgt. Es erfolgt daher keine tatsächliche, d.h. physische, Teilung des Blechs.

[0029] Für die obige getrennte Berechnung für erstes Blech und zweites Blech wird vorteilhaft derart vorgegangen, dass für das erste Blech und das zweite Blech jeweils ein individueller, insbesondere zeitlicher, Verlauf einer einen energetischen Zustand des Blechs beschreibenden Größe ermittelt wird, anhand dessen ein abzuführender Wärmestrom für die jeweilige Blechoberseite und die Blechunterseite ermittelt wird. Als den energetischen Zustand beschreibende Größe kann bspw. ein, insbesondere berechneter, Ist-Temperaturverlauf, Ist-Enthalpieverlauf oder ein Verlauf einer anderen geeigneten Größe verwendet werden. Bei Verwendung eines zeitlichen Verlaufs wird dieses vorzugsweise individuell für eine Vielzahl definierter Blechabschnitte vorgegeben, so dass für die Kühlung eine größtmögliche Dynamik erreicht wird und das gesamte Blech durchgehend die gewünschten Eigenschaften aufweist.

[0030] Als Grenztemperatur wird vorzugsweise eine Oberflächentemperatur des Blechs verwendet. Der Betrag der Grenztemperatur wird bspw. derart bestimmt, dass das Kühlwirkungsprinzip für die gesamte Kühlstrecke das gleiche ist. Ändert sich das Kühlwirkungsprinzip für das Blech während dieses die Kühlstrecke durchläuft, so wird die Kühlung

schwer beherrschbar. Aus diesem Grund wird vorgesehen, die Kühlstrecke derart zu betreiben, dass diese Grenztemperatur vorzugsweise weder von der Oberseite des Bleches noch von der Unterseite des Blechs während des Durchlaufens der Kühlstrecke unterschritten wird. Bei diesem Verfahren wird dazu einfach die vorgegebene Grenzoberflächentemperatur als Nebenbedingung bei der Ermittlung des jeweiligen Wärmestroms berücksichtigt.

[0031] Unabhängig von der Art und Weise der Kühlung eines Blechs in einer Kühlstrecke ist es zu vermeiden, in einen Temperaturbereich des Blechs zugelangen, bei welchem sich der Kühlmechanismus der Kühlstrecke verändert. Der Kühlmechanismus wird in der Regel durch das Verhalten des Kühlmittels auf dem Blech bestimmt, z.B. Ausbildung von Dampfpolstern bei Wasserkühlung, Art und Weise der Verteilung des Dampfes auf dem Blech usw. Kommt es aufgrund des Temperaturverlaufs der Oberfläche des Blechs zu einer Änderung des Verhaltens des Kühlmittels des Blechs und damit zu einer Änderung des Kühlmechanismus, so führt dies zu einer schlechten Beherrschbarkeit der Kühlung und damit zu einem in der Regel nicht den Kundenwünschen entsprechenden Produkt. Bspw. ist dies insbesondere auf der Oberseite der Fall, wenn abseits des unmittelbaren Einwirkorts bzw. unmittelbar in der Nähe des Kühlmittelstrahls etwa überschüssiges, auf der Oberseite abfließendes Kühlmittel nicht mehr durch eine Dampfschicht von der Blechoberfläche getrennt ist, sondern sich in flüssiger Phase unkontrolliert über das Blech bewegt und dabei allmählich verdampft.

[0032] Insbesondere kann es bei Änderung des Kühlmechanismus zu einem unplanen Produkt kommen, da der Wärmefluss aufgrund der Änderung des Kühlmechanismus insbesondere auf der Blechoberseite schwer berechenbar und schwer voraussagbar ist. Hierdurch kommt es zu entsprechenden Temperaturabweichungen, welche Materialverspannungen bedingen. Diese führen dazu, dass sich das Blech verzieht und unplan wird.

[0033] Durch die Berücksichtigung einer Grenztemperatur bei der Ermittlung der Kühlmittelabgabe kann dieses Problem vermieden werden, wodurch die Planheit des Blechs bei gleichzeitig hohem Durchsatz verbessert wird.

[0034] Die Aufgabe wird ebenfalls gelöst durch eine Steuer- und/oder Regeleinrichtung für eine Kühlstrecke, mit einem maschinenlesbaren Programmcode, welcher Steuerbefehle umfasst, welche die Steuer- und/oder Regeleinrichtung bei deren Ausführung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5 veranlassen.

[0035] Die Erfindung erstreckt sich ferner auf einen maschinenlesbaren Programmcode für eine Steuer- und/oder Regeleinrichtung für eine Kühlstrecke, wobei der Programmcode Steuerbefehle aufweist, welche die Regel- und/oder Steuereinrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5 veranlassen.

[0036] Darüber hinaus erstreckt sich die Erfindung auf ein Speichermedium mit einem darauf gespeicherten maschinenlesbaren Programmcode gemäß Anspruch 7. Als Speichermedium kommen alle Speichermedien in Frage, auf welche der entsprechende Programmcode hinterlegbar ist, bspw. können dies CDs, DVDs, Flash-Speichermedien, wie USB-Sticks, oder Speicherkarten sein.

[0037] Die Aufgabe wird ebenfalls gelöst durch eine Kühlstrecke zur Kühlung von Blech, wobei die Kühlstrecke eine Mehrzahl an Kühlmittelabgabeeinrichtungen zur Kühlung einer Blechoberseite und eine Mehrzahl an Kühlmittelabgabeeinrichtung zu Kühlung einer Blechunterseite aufweist, wobei die Kühlstrecke mit einer Steuer- und/oder Regeleinrichtung nach Anspruch 7 wirkverbunden ist, wobei die Kühlmittelabgabeeinrichtungen mittels der Steuer- und/oder Regeleinrichtung nach Anspruch 7 steuerbar und/oder regelbar sind. Hierdurch wird eine Kühlstrecke bereitgestellt, mittels welcher die Planheit des zu kühlenden Blechs verbessert wird.

[0038] Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus einem Ausführungsbeispiel, welches anhand der schematischen Zeichnungen nachfolgend genauer erläutert wird. Es zeigen:

FIG 1 eine schematische Darstellung einer Kühlstrecke zum Kühlen von Grobblech mit einer Mehrzahl an Kühlmittelabgabeeinrichtungen,

FIG 2 ein Ablaufdiagramm zur Ermittlung einer Kühlmittelabgabe für eine Kühlmittelabgabeeinrichtung auf Basis eines Gleichungssystems,

FIG 3 ein Ablaufdiagramm zur Ermittlung einer Kühlmittelabgabe für eine Kühlmittelabgabeeinrichtung auf Basis einer getrennten Ermittlung für Blechoberseite und Blechunterseite

FIG 4 ein Ablaufdiagramm zur Ermittlung einer Kühlmittelabgabe unter Berücksichtigung einer Grenztemperatur.

[0039] FIG 1 zeigt eine beispielhafte Kühlstrecke 1 zum Kühlen von Grobblech B. Diese ist Teil einer nicht näher gezeigten Grobblechstraße.

[0040] Die Kühlstrecke 1 umfasst eine Vielzahl an Kühlmittelabgabeeinrichtungen 2, welche sowohl oberhalb als auch unterhalb des Blechs B angeordnet sind. Deren Kühlmittelabgabe ist individuell einstellbar, wodurch eine möglichst große Flexibilität und Dynamik der Kühlstrecke 1 ermöglicht wird.

[0041] Häufig ist jeder Kühlmittelabgabeeinrichtung 2 der Kühlstrecke 1 eine direkt gegenüberliegende Kühlmittelabgabeeinrichtung 2 zugeordnet. Sind diese direkt gegenüberliegend angeordneten Kühlmittelabgabeeinrichtungen in Betrieb, so kühlen diese jeweils denselben Blechabschnitt. Die oberhalb des Blechs angeordnete Kühlmittelabgabeeinrichtung 2 kühlt eine Oberseite O des Blechabschnitts, während die unterhalb des Blechs B angeordnete Kühlmittelabgabeeinrichtung 2 eine Unterseite U des Blechabschnitts kühlt.

[0042] Ferner ist der Kühlstrecke 1 eine Planheitsmesseinrichtung 3 in Massenflussrichtung vorgeordnet, mittels wel-

cher eine Planheit des in die Kühlstrecke 1 einlaufenden Blechs B erfasst werden kann.

[0043] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel sind der Kühlstrecke 1 ferner zwei Temperaturmesseinrichtungen 4 bzw. 5 vorgeordnet, wovon die oberhalb des Blechs B angeordnete Temperaturmesseinrichtung 4 die Temperatur der Blechoberseite O erfasst und die unterhalb des Blechs B angeordnete Temperaturmesseinrichtung 5 die Temperatur der Blechunterseite U. Alternativ kann die Temperatur von Blechoberseite O und/oder von Blechunterseite U vor Einlaufen in die Kühlstrecke 1 mittels eines Modells ermittelt werden. Da in der Regel das Blech B berechnungstechnisch in eine Vielzahl an Blechabschnitten geteilt ist und jeder dieser Blechabschnitte berechnungstechnisch verfolgt wird, kann die Ist-Temperatur der Blechoberseite und/oder der Blechunterseite für einen jeweiligen Blechabschnitt an einem vorgebbaren Referenzpunkt vor der Kühlstrecke auch mittels der Blechverfolgungsrechnung ermittelt werden. Dies hat den Vorteil, dass die Temperaturmesseinrichtungen 4, 5 vor der Kühlstrecke 1 ganz oder teilweise entfallen können. Für den Fall, dass nur eine Temperaturmessung, z. B. eine Temperaturmessung auf der Oberseite, vorhanden ist, wird die von einem Modell berechnete Temperaturverteilung über die Blechdicke anhand der Temperaturmessung zunächst derart adaptiert, dass gemessene und berechnete Temperatur auf der Seite der Messung übereinstimmen. Sodann kann dem Modell der berechnete Wert auf der gegenüberliegenden Seite entnommen werden, auf der die Messung fehlt.

[0044] Ferner weist die Kühlstrecke eine Temperaturmesseinrichtung 6 auf, welche in Massenflussrichtung hinter der Kühlstrecke 1 angeordnet ist. Diese nach der Kühlstrecke 1 erfassten Temperaturwerte können zur Korrektur, z.B. im Rahmen einer Modelladaption, der Berechnung der Kühlmittelabgabe herangezogen werden.

[0045] Die Kühlmittelabgabeeinrichtung 2, die Temperaturerfassungseinrichtungen 4, 5 bzw. 6, und die Planheitsmesseinrichtung 3 ist bzw. sind mit einer Steuer- und/oder Regeleinrichtung 10 wirkverbunden. Mittels der Steuer- und/oder Regeleinrichtung 10 wird der Betrieb der Kühlstrecke 1, insbesondere die Kühlmittelabgabe, gesteuert bzw. geregelt. Auf dieser Steuer- und/oder Regeleinrichtung 10 sind daher die entsprechenden Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Kühlmittelabgabe hinterlegt.

[0046] Insbesondere weist die Steuer- und/oder Regeleinrichtung 10 einen maschinenlesbaren Programmcode 12 auf. Dieser umfasst Steuerbefehle, welche die Steuer- und/oder Regeleinrichtung 10 zur Durchführung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens veranlassen. Der maschinenlesbare Programmcode 12 wird bspw. mittels eines Speichermediums 11, etwa einer CD, einer DVD, einem Flash-Speichergerät, z.B. einem USB-Stick, oder anderen Datenträgern hinterlegt. Alternativ kann der maschinenlesbare Programmcode 12 der Steuer- und/oder Regeleinrichtung 10 über ein Netzwerk zugeführt werden.

[0047] Insbesondere wird der maschinenlesbare Programmcode 12 auf einem Speichermedium hinterlegt, welches Teil der Steuer- und/oder Regeleinrichtung 10 ist.

[0048] Nachfolgend werden Verfahren beschrieben, welche mit einer derart konfigurierten Kühlstrecke 1 vorteilhaft ausgeführt werden können.

[0049] FIG 2 zeigt ein Ablaufdiagramm, gemäß dem die Kühlmittelabgabe, insbesondere die pro Zeiteinheit abzugebende Kühlmittelmenge, für ein Paar direkt gegenüberliegend angeordnete Kühlmittelabgabeeinrichtungen ermittelt wird.

[0050] In einem Verfahrensschritt 100 wird die Temperatur T_o der Blechoberseite und die Temperatur T_u der Blechunterseite ermittelt. Dies kann bspw. mittels einer Messung erfolgen, wie gemäß FIG 1, alternativ können diese Temperaturen aus den mitlaufenden Modellberechnungen ermittelt werden.

[0051] In einem Verfahrensschritt 101 wird auf Basis des gewünschten Zielzustands des Blechs nach der Kühlstrecke ein Gesamtwärmestrom ermittelt, welcher erforderlich ist, das Blech vom seinem bekannten Anfangszustand vor den beiden gegenüberliegenden Kühlmittelabgabeeinrichtungen in den gewünschten Endzustand hinter den beiden gegenüberliegenden Kühlmittelabgabeeinrichtungen, z.B. auf einen gewünschten Anfangszustand vor den beiden nächsten gegenüberliegenden Kühlmittelabgabeeinrichtungen oder die Kühlstopptemperatur, zu überführen. Dadurch, dass die Temperatur der Blechoberseite und der Blechunterseite bekannt ist, kann dies mit erhöhter Genauigkeit erfolgen.

[0052] Somit ergibt für jedes Paar von gegenüberliegend angeordneten Kühlmittelabgabeeinrichtungen ein Gesamtwärmestrom, der von diesem Paar abgeführt werden sollte, damit der gewünschte Endzustand des Blechs erreicht wird.

[0053] Dieser erforderliche Gesamtwärmestrom ist nun auf die einzelnen Kühlmittelabgabeeinrichtungs-paare zu verteilen, wobei berücksichtigt wird, dass eine vorgegebene Grenztemperatur der Blechoberseite und der Blechunterseite nicht unterschritten werden darf. Ferner wird berücksichtigt, dass der abführbare Wärmestrom stark temperaturabhängig ist. Ferner wird die Planheit des Blechs vor Einlauf in die Kühlstrecke berücksichtigt.

[0054] Dazu wird zunächst in einem Verfahrensschritt 102 beispielsweise abhängig vom Planheitsmesswert des Blechs ein Zahlenwert x , $0 < x < 1$, ermittelt. Dies kann beispielsweise mittels einer Tabelle geschehen, die zu einem gegebenen Planheitsmesswert einen passenden Wert für x z. B. $x=0.5$ für planes Blech, $x=0.6$ für Blech, das leicht nach oben gebogen ist und $x=0.4$ für Blech, das leicht nach unten gebogen ist.

[0055] Sodann wird im Verfahrensschritt 103 der im Verfahrensschritt 101 ermittelte Gesamtwärmestrom j_{ges} auf die beiden Kühlmittelabgabeeinrichtungen verteilt. Aus dem im Verfahrensschritt 101 ermittelten Gesamtwärmestrom j_{ges} werden zunächst mittels der Gleichung

$$0 = x \cdot j_{oben} - (1 - x) \cdot j_{unten}$$

und

$$j_{ges} = j_{oben} + j_{unten}$$

die Wärmeströme der Oberseite, j_{oben} , und der Unterseite, j_{unten} , berechnet. Dabei bezeichnet x die im Schritt 102 berechnete Konstante. Sodann wird mittels des Modells geprüft, ob eine vorgegebene Grenztemperatur der Blechoberseite und der Blechunterseite unterschritten wird. Ist dies nicht der Fall, kann sofort mit dem Schritt 103 mit $a=1$ weiterverfahren werden. Ist dies der Fall, wird eine Zahl a , $0 < a < 1$, derart berechnet, dass bei Anwendung der Wärmeströme $a j_{oben}$ anstelle j_{oben} und/oder $a j_{unten}$ anstelle j_{unten} bei größtmöglichem Wert von a diese Grenztemperatur gerade noch eingehalten wird. Mit diesen Wärmeströmen wird dann mit Schritt 103 weiterverfahren.

[0056] Daraus lassen sich dann die Kühlmittelmengen für die Kühlmittelabgabereinrichtung oberhalb des Blechs und unterhalb des Blechs für das jeweilige Paar an Kühlmittelinrichtungen ermitteln. Dies erfolgt in einem Verfahrensschritt 104.

[0057] Läuft bspw. ein planes Blech in die Kühlstrecke ein, so wird unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Temperaturen der Blechoberseite und der Blechunterseite der Wärmestrom derart eingestellt, dass von Blechoberseite und Blechunterseite der gleiche Wärmestrom abgeführt wird. Dies bedingt nämlich, da die Temperatur von Blechoberseite und Blechunterseite in der Regel unterschiedlich ist, eine Änderung der Kühlmittelmengen für die oberhalb des Blechs angeordnete Kühlmittelabgabereinrichtung und für die unterhalb des Blechs angeordnete Kühlmittelabgabereinrichtung verglichen mit den gemäß Stand der Technik ermittelten Kühlmittelmengen. Eine gleichmäßige Kühlung ist jedoch nur dann möglich, wenn der Wärmestrom auf Blechoberseite und Blechunterseite gleich ist, was durch ein Vorgehen gemäß einer der Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens erreicht wird.

[0058] Ggf. kann auch eine gezielte ungleichmäßige Kühlung von Blechoberseite und Blechunterseite gewünscht sein, bspw. dann, wenn das Blech bereits unplan in die Kühlstrecke einläuft. Dies wird mittels der Planheitsmessrichtung erfasst. Das Ergebnis der Planheitsmessung wird so in den weiteren Betrieb der Kühlstrecke einbezogen, wobei die Kühlung derart angepasst wird, dass der Unplanheit des Blechs entgegengewirkt wird.

[0059] Ein weiterer Grund für eine ungleichmäßige Einstellung des Wärmestroms für Blechoberseite und Blechunterseite kann auch eine zu große Temperaturdifferenz zwischen Blechoberseite und Blechunterseite sein. Diese kann bei heute bekannten Kühlweisen zu Unplanheiten des Blechs in der Kühlstrecke führen. Bspw. kann es bei zu großen Temperaturdifferenzen zwischen Blechoberseite und Blechunterseite nicht mehr möglich sein, das Blech derart zu kühlen, dass die Oberflächentemperatur stets oberhalb einer Grenztemperatur bleibt, aber gleichzeitig eine höhere Wärmeabfuhr erforderlich ist, um ein planes Blech zu erhalten, das den gewünschten Zielzustand auch erreicht. Die gezielte Ungleichverteilung des Wärmeflusses zwischen Blechoberseite und Blechunterseite ist dazu geeignet, derartige Temperaturdifferenzen zu verringern, und ein planes Blech herzustellen.

[0060] Dieses Vorgehen erfolgt für alle jeweils gegenüberliegenden Kühlmittelabgabereinrichtungen in dieser Weise. Ob dies für weitere gegenüberliegend angeordnete Kühlmittelabgabereinrichtungen erfolgen soll, wird jeweils in einem Verfahrensschritt 105 abgefragt.

[0061] Wird bspw. ein Endzustand des Blechs ohne weitere Kühlung erreicht, so ist keine weitere Abfrage mehr nach einer weiteren Kühlmittelmengenermittlung für in Massenflussrichtung nachfolgende Kühlmittelabgabereinrichtungen mehr erforderlich. Ein solcher Abfrageschritt kann zwischen Verfahrensschritt 103 und Verfahrensschritt 104 vorteilhaft vorgesehen werden. Dies vermeidet weitere Berechnungszyklen, deren Ergebnis bereits von vornherein feststeht, nämlich, dass die abzugebenden Kühlmittelmenge in diesen Fällen gleich Null ist.

[0062] Somit wird also für die erforderlichen Paare an Kühlmittelabgabereinrichtungen eine individuell von der jeweiligen Kühlmittelabgabereinrichtung abzugebende Kühlmittelmenge ermittelt, welche das Erreichen des Zielzustands des Blechs unter Einhaltung entsprechender Randbedingungen sicherstellt.

[0063] Anschließend erfolgt eine entsprechende Einstellung der Kühlmittelabgabereinrichtungen der Kühlstrecke auf obige Art und Weise, so dass der gewünschte Endzustand des Blechs erreicht wird.

[0064] Eine alternative Vorgehensweise für die Ermittlung der Kühlmittelabgabe ist in FIG 3 schematisch dargestellt.

[0065] Gemäß FIG 3 wird für die Ermittlung der Kühlmittelabgabe für die Kühlmittelabgabereinrichtungen oberhalb und unterhalb des Blechs ein Berechnungsverfahren verwendet, welches die Kühlmittelabgabe bzw. -menge getrennt für Blechoberseite und Blechunterseite ermittelt. Hierzu wird das Blech berechnungstechnisch in ein oberes und ein unteres Blech geteilt, wobei ein Wärmeaustausch zwischen diesem oberen und unteren Blech unberücksichtigt bleibt.

[0066] In einem Verfahrensschritt 200 wird zunächst beispielsweise abhängig vom Planheitsmesswert des Blechs ein Zahlenwert x , $0 < x < 1$, ermittelt. Dies kann beispielsweise mittels einer Tabelle geschehen, die zu einem gegebenen Planheitsmesswert einen passenden Wert für x z. B. $x=0.5$ für planes Blech, $x=0.6$ für Blech, das leicht nach oben

gebogen ist und $x=0.4$ für Blech, das leicht nach unten gebogen ist. Anschließend wird das Blech auf Höhe x in ein oberes Blech und ein unteres Blech virtuell geteilt. Dabei bedeutet x das Verhältnis der Dicke des unteren Blechs relativ zur Gesamtblechdicke. Die Teilung erfolgt virtuell auf Höhe x mal Blechdicke, gemessen ab der Unterseite des Blechs nach oben.

[0067] In einem Verfahrensschritt 200 wird die Temperatur der Blechoberseite und der Blechunterseite vor der Kühlstrecke ermittelt. Hieraus und in Kenntnis des Temperaturverlaufs in Dickenrichtung des Blechs wird eine mittlere Temperatur für das obere Blech und eine mittlere Temperatur für das untere Blech ermittelt.

[0068] In einem Verfahrensschritt 201 wird nun für das obere Blech bspw. ein mittlerer Temperaturverlauf über die Zeit für einen bestimmten Blechabschnitt des Blechs vorgegeben, so dass dieser von einer bekannten mittleren Anfangstemperatur vor Kühlbeginn auf eine mittlere gewünschte Endtemperatur überführt wird. Dies geschieht analog für das untere Blech in einem Verfahrensschritt 204. Die vorgegebenen Temperaturverläufe sind für das obere Blech und das untere Blech aufgrund der unterschiedlichen Anfangstemperatur und des unterschiedlichen Kühlmittelverhaltens auf Blechoberseite und Blechunterseite in der Regel unterschiedlich. Jedoch stimmt der zu erreichende Endzustand in der Regel für das obere und das untere Blech überein.

[0069] Alternativ zu einem zeitlichen Temperaturverlauf kann auch ein örtlicher Temperaturverlauf für die beiden Bleche vorgegeben werden. Denkbar ist ebenfalls eine Vorgabe eines zeitlichen oder örtlichen Enthalpieverlaufs für das obere und untere Blech, so dass das Blech einen gewünschten Endzustand erreicht.

[0070] In einem Verfahrensschritt 202 bzw. 205 wird aus dem jeweils vorgegebenen Verlauf ein jeweiliger Wärmestrom für das obere bzw. untere Blech ermittelt, welcher erforderlich ist, um den gewünschten Verlauf für das obere Blech bzw. das untere Blech einzustellen. Dies geschieht mit den üblichen physikalischen Gleichungen, welche die Temperaturentwicklung und den Wärmeübergang beschreiben.

[0071] In einem Verfahrensschritt 203 bzw. 206 wird aus den ermittelten Wärmeströmen für das obere Blech und das untere Blech jeweils die Kühlmittelabgabe, insbesondere Kühlmittelmenge pro Zeiteinheit, für die oberhalb des Blechs angeordnete Kühlmittelabgabereinrichtung und für die unterhalb des Blechs angeordnete Kühlmittelabgabereinrichtung ermittelt.

[0072] In einem Verfahrensschritt 207 erfolgt eine entsprechende Einstellung der Kühlmittelabgabereinrichtungen der Kühlstrecke auf obige Art und Weise, so dass der gewünschte Endzustand des Blechs erreicht wird.

[0073] FIG 4 zeigt ein Ablaufdiagramm, welches bei einer Ermittlung einer Kühlmittelabgabe für eine Kühlmittelabgabereinrichtung eine Grenztemperatur berücksichtigt. Die Berücksichtigung einer solchen Grenztemperatur ist deswegen sehr vorteilhaft, weil - abhängig vom verwendeten Kühlmittel - die Kühlwirkung maßgeblich vom Kühlmittelverhalten abhängt. Das Verhalten des Kühlmittels kann sich bspw. aufgrund der Temperatur des Blechs ändern.

[0074] Bei der Verwendung von Wasser kann beobachtet werden, dass sich bspw. bei Temperaturen der Blechoberfläche unterhalb von 350°C , das Verhalten des Kühlwassers ändert. Es kommt zum Leidenfrosteffekt. Dies bedingt, dass insbesondere auf der Bandoberseite die Kühlwirkung des Wassers und damit die Kühlung des Blechs kaum noch zu beherrschen ist. Auf der Unterseite ist der Effekt nicht so stark, weil dort überschüssiges Kühlmittel von der Oberfläche einfach herunterfallen kann. Andererseits kann eine hohe Kühlleistung, d.h. eine hohe Kühlmittelmenge pro Zeiteinheit, für das Erreichen eines gewünschten Zustands des Blechs erforderlich sein.

[0075] Dies führt jedoch dazu, dass deutlich mehr Wärme von der Oberfläche abgeführt wird, als aus dem inneren des Blechs nachströmen kann. Es kommt zu einer starken Abkühlung an der Oberfläche des Blechs in Verbindung mit einem hohen Temperaturgradienten in Dickenrichtung des Blechs. Wird eine kritische Oberflächentemperatur unterschritten, führt dies in der Regel zu einer Unplanheit des Blechs. Häufig ist dieses unplane Blech als Produktionsausschuss anzusehen und nicht weiter verwertbar. Weiterhin besteht die Gefahr, dass Anlagenteile beschädigt werden.

[0076] Um dieses zu vermeiden, kann die Kühlmittelabgabe unter Berücksichtigung einer Grenztemperatur erfolgen, welche während der Kühlung zumindest nicht auf der Blechoberseite, ggf. auch nicht auf der Blechunterseite unterschritten werden darf.

[0077] In einem Verfahrensschritt 300 wird die Temperatur der Blechoberseite und/oder die Temperatur der Blechunterseite ermittelt. Dies kann wie oben beschrieben modellbasiert erfolgen oder mittels einer Messung.

[0078] Die Ermittlung der Kühlmittelabgabe kann gemäß einem beliebigen Verfahren erfolgen, vorzugsweise gemäß einem der oben geschilderten Verfahren. Dies geschieht gemäß FIG 4 in einem Verfahrensschritt 301.

[0079] In einem Verfahrensschritt 302 wird eine Oberflächentemperatur vorausberechnet, welche sich einstellt, wenn die gemäß Verfahrensschritt 301 errechnete Menge an Kühlmittel pro Zeiteinheit auf die Oberfläche des Blechs bzw. Blechabschnitts aufgebracht wird.

[0080] Die Einhaltung der Grenztemperatur wird in einem Verfahrensschritt 303 geprüft.

[0081] Unterschreitet die sich durch das Aufbringen des Kühlmittels einstellende Temperatur der Blechoberfläche die Grenztemperatur, so wird die Kühlleistung bspw. auf in Massenflussrichtung nachfolgende Kühlmittelabgabereinrichtungen in einem Verfahrensschritt 304 umverteilt oder reduziert.

[0082] Anschließend wird erneut eine Kühlmittelabgabe auf Basis der umverteilten oder reduzierten Kühlleistung ermittelt, gemäß Verfahrensschritt 301. Daraus ergibt sich eine neue Oberflächentemperatur, welche mit der Grenztemperatur

peratur verglichen wird. Unterschreitet diese weiterhin, so wird solange Kühlleistung umverteilt oder reduziert, bis die Grenztemperatur eingehalten wird.

[0083] Bei der Umverteilung oder Reduktion von Kühlleistung wird vorzugweise die Temperatur des Blechs mitgerechnet, und festgestellt, wie die Kühlleistung der nachfolgenden Kühlmittelabgabeeinrichtungen einzustellen ist, um bspw. einen gewünschten Wärmestrom abzuführen, die Grenztemperatur einzuhalten und um den gewünschten Endzustand zu erreichen.

[0084] Die Umverteilung der Kühlleistung auf nachfolgende Kühlmittelabgabeeinrichtungen bewirkt dabei einerseits die Einmaltung der Grenztemperatur, andererseits das Erreichen des Zielzustands des Blechs nach Durchlaufen der Kühlung.

[0085] Die Prüfung auf Einhaltung der Grenztemperatur kann jeweils sukzessiv, d.h. nach und nach für jede Kühlmittelabgabeeinrichtung gesondert erfolgen, oder für die gesamte Kühlstrecke in Summe berechnet werden.

[0086] In einem Verfahrensschritt 305 werden die gemäß obigem Verfahren ermittelten Kühlmittelabgaben in der Kühlstrecke eingestellt.

[0087] Vorzugweise wird dieses Verfahren online, d.h. während des Kühlens von Grobblech durchgeführt, so dass in Echtzeit der Kühlprozess optimiert ist und dementsprechend kein Ausschuss durch Unterschreiten der Grenztemperatur erzeugt wird.

[0088] Alternativ wird vorzugweise bereits vor Einlauf des Blechs in die Kühlstrecke eine Kühlmittelabgabe, insbesondere abzugebende Kühlmittelmenge pro Zeiteinheit, bereits derart ermittelt, dass die Grenztemperatur bereits hierbei berücksichtigt wird und diese nicht unterschritten wird. Dies ist weniger zeitintensiv, da keine Regelschleifen erforderlich sind. Die berechnete Kühlmittelabgabe wird dann beim Durchlauf des Blechs durch die Kühlstrecke zeitrichtig zugeschaltet.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kühlung eines Blechs (B) mittels einer Kühlstrecke (1),

- wobei die Kühlstrecke (1) eine Mehrzahl an Kühlmittelabgabeeinrichtungen (2) zur Kühlung einer Blechoberseite (O) und eine Mehrzahl an Kühlmittelabgabeeinrichtungen (2) zur Kühlung einer Blechunterseite (U) aufweist,
- wobei mittels der Kühlung ein vorgegebener Zielzustand des Blechs (B) an einem Referenzpunkt bei und/oder nach Austritt aus der Kühlstrecke (1) erreicht wird,
- wobei eine Kühlmittelabgabe für eine erste und eine zweite Kühlmittelabgabeeinrichtung (2) ermittelt wird,
- wobei die erste und die zweite Kühlmittelabgabeeinrichtung (2) relativ zum Blech (B) gegenüberliegend angeordnet sind,
- wobei die Ermittlung der Kühlmittelabgabe für die erste und zweite Kühlmittelabgabeeinrichtung (2) anhand eines vorgegebenen abzuführenden Wärmestroms von der der jeweiligen Kühlmittelabgabeeinrichtung (2) zugewandten Blechseite (O, U) erfolgt,
- wobei für den jeweils abzuführenden Wärmestrom eine Temperatur, insbesondere Oberflächentemperatur (T_o , T_u), der jeweiligen Blechseite (O, U) berücksichtigt wird,
- wobei die Ermittlung der Kühlmittelabgabe für die erste und zweite Kühlmittelabgabeeinrichtung (2) anhand der Gleichungen

$$0 = x \cdot j_{oben} - (1 - x) \cdot j_{unten}$$

und

$$j_{ges} = j_{oben} + j_{unten}$$

erfolgt, wobei x ein vorgegebbarer Faktor zwischen 0 und 1, j_{oben} ein von der Oberseite des Blechs abzuführender Wärmestrom, j_{unten} ein von der Unterseite des Blechs abzuführender Wärmestrom und j_{ges} ein abzuführender und vorzugebender Gesamtwärmestrom sind,

- wobei bei der Ermittlung der Kühlmittelabgabe berücksichtigt wird, dass während des Durchlaufens der Kühlstrecke (1) die Temperatur der Blechoberseite (O) und/oder die Temperatur der Blechunterseite (U) jeweils stets größer oder gleich einer vorgegebenen Grenztemperatur, insbesondere 350°C, ist,

- wobei ein Verhältnis von abzuführendem Wärmestrom von Blechoberseite (O) zu Blechunterseite (U) in Ab-

hängigkeit von einer, insbesondere bei Einlauf in die Kühlstrecke (1) vorliegenden, Planheit des Blechs (B) eingestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass bei einem planen, insbesondere plan in die Kühlstrecke (1) einlaufenden, Blech (B) das Verhältnis im Wesentlichen gleich eins ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass bei einem unplanen, insbesondere unplan in die Kühlstrecke (1) einlaufenden, Blech (B) das Verhältnis derart eingestellt wird, dass die Unplanheit des Blechs nach Durchlaufen der Kühlstrecke relativ zur Unplanheit des Blechs (B) vor Durchlaufen der Kühlstrecke (1) verringert ist.

4. Verfahren zur Kühlung eines Blechs (B) mittels einer Kühlstrecke (1),

- wobei die Kühlstrecke (1) eine Mehrzahl an Kühlmittelabgabeeinrichtungen (2) zur Kühlung einer Blechoberseite (O) und eine Mehrzahl an Kühlmittelabgabeeinrichtungen (2) zur Kühlung einer Blechunterseite (U) aufweist,

- wobei mittels der Kühlung ein vorgegebener Zielzustand des Blechs (B) an einem Referenzpunkt bei und/oder nach Austritt aus der Kühlstrecke (1) erreicht wird,

- wobei eine Kühlmittelabgabe für eine erste und eine zweite Kühlmittelabgabeeinrichtung (2) ermittelt wird,

- wobei die erste und die zweite Kühlmittelabgabeeinrichtung (2) relativ zum Blech (B) gegenüberliegend angeordnet sind,

- wobei die Ermittlung der Kühlmittelabgabe für die erste und zweite Kühlmittelabgabeeinrichtung (2) anhand eines vorgegebenen abzuführenden Wärmestroms von der der jeweiligen Kühlmittelabgabeeinrichtung (2) zugewandten Blechseite (O, U) erfolgt,

- wobei für den jeweils abzuführenden Wärmestrom eine Temperatur der jeweiligen Blechseite (O, U) berücksichtigt wird,

- wobei für wenigstens eine der Kühlmittelabgabeeinrichtungen (2) die Kühlmittelabgabe unabhängig von der Kühlmittelabgabe der relativ zum Blech gegenüberliegenden Kühlmittelabgabeeinrichtung ermittelt wird,

- wobei die Ermittlung derart erfolgt, dass ein Zahlenwert x mit $0 < x < 1$ ermittelt wird und das Blech (2) im Wesentlichen parallel zur Oberseite (O) oder Unterseite (U) virtuell in ein erstes oberes Blech und ein zweites unteres Blech geteilt wird,

- wobei x das Verhältnis der Dicke des unteren Blechs relativ zur Gesamtblechdicke bedeutet,

- wobei die virtuelle Aufteilung in Abhängigkeit von einer bei Einlauf in die Kühlstrecke (1) gemessenen Planheit des Blechs (B) vorgenommen wird,

- wobei die Kühlmittelabgabe jeweils separat für das erste und das zweite Blech ermittelt wird,

- wobei bei der jeweiligen Ermittlung ein Wärmeaustausch zwischen dem ersten Blech und dem zweiten Blech unberücksichtigt bleibt,

- wobei bei der Ermittlung der Kühlmittelabgabe berücksichtigt wird, dass während des Durchlaufens der Kühlstrecke (1) die Temperatur der Blechoberseite (O) und/oder die Temperatur der Blechunterseite (U) jeweils stets größer oder gleich einer vorgegebenen Grenztemperatur, insbesondere 350°C , ist.

5. Verfahren nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet, dass für das erste Blech und das zweite Blech jeweils ein individueller zeitlicher Verlauf einer einen energetischen Zustand des Blechs (B) beschreibenden Größe ermittelt wird, anhand dessen ein abzuführender Wärmestrom für die jeweilige Blechoberseite (O) und die Blechunterseite (U) ermittelt wird.

6. Steuer- und/oder Regeleinrichtung (10) für eine Kühlstrecke (1), mit einem maschinenlesbaren Programmcode (12), welcher Steuerbefehle umfasst, welche die Steuer- und/oder Regeleinrichtung (10) bei deren Ausführung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche veranlassen.

7. Maschinenlesbarer Programmcode (12) für eine Steuer- und/oder Regeleinrichtung (10) für eine Kühlstrecke (1), wobei der Programmcode Steuerbefehle aufweist, welche die Steuer- und/oder Regeleinrichtung (10) zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5 veranlassen.

8. Speichermedium (11) mit einem darauf gespeicherten maschinenlesbaren Programmcode gemäß Anspruch 7.

9. Kühlstrecke (1) zur Kühlung von Blech (B), wobei die Kühlstrecke (1) eine Mehrzahl an Kühlmittelabgabeeinrich-

tungen (2) zur Kühlung einer Blechoberseite (O) und eine Mehrzahl an Kühlmittelabgabeeinrichtungen (2) zur Kühlung einer Blechunterseite (U) aufweist, mit einer Steuer- und/oder Regeleinrichtung (10) nach Anspruch 6, wobei die Kühlmittelabgabeeinrichtungen (2) mit der Steuer- und/oder Regeleinrichtung (10) wirkverbunden sind und mit dieser steuerbar und/oder regelbar sind.

Claims

1. Method for cooling sheet metal (B) by means of a cooling section (1),

- wherein the cooling section (1) has a plurality of coolant dispensing devices (2) for cooling an upper side (O) of the sheet metal and a plurality of coolant dispensing devices (2) for cooling a lower side (U) of the sheet metal,
- wherein by means of the cooling a predetermined target state of the sheet metal (B) is reached at a reference point at and/or after exit from the cooling section (1),
- wherein coolant dispensing is determined for a first and a second coolant dispensing device (2),
- wherein the first and the second coolant dispensing device (2) are arranged opposite one another relative to the sheet metal (B),
- wherein the coolant dispensing is determined for the first and second coolant dispensing device (2) with reference to a predetermined flow of heat to be dissipated from the side (O, U) of the sheet metal facing towards the respective coolant dispensing device (2),
- wherein a temperature, especially surface temperature (T_o , T_u), of the respective side (O, U) of the sheet metal is taken into account for the flow of heat to be dissipated in each case,
- wherein the coolant dispensing for the first and second coolant dispensing device (2) is determined on the basis of the equations

$$0 = x \cdot j_{upper} - (1 - x) \cdot j_{lower}$$

and

$$j_{tot} = j_{upper} + j_{lower}$$

wherein x is a predeterminable factor between 0 and 1, j_{upper} is a flow of heat to be dissipated from the upper side of the sheet metal, j_{lower} is a flow of heat to be dissipated from the lower side of the sheet metal and j_{tot} is a total flow of heat to be dissipated and predetermined,

- wherein, during the determination of the coolant dispensing, account is taken of the fact that, during its passage through the cooling section (1), the temperature of the upper side (O) of the sheet metal and/or the temperature of the lower side (U) of the sheet metal is in each case always greater than or equal to a predetermined limit temperature, especially 350°C,
- wherein a ratio of the flow of heat to be dissipated from the upper side (O) of the sheet metal to the lower side (U) of the sheet metal is set in dependence on a flatness of the sheet metal (B), especially on entry into the cooling section (1).

2. Method according to Claim 1,

characterized in that, for flat sheet metal (B), especially sheet metal (B) that is flat on entry into the cooling section (1), the ratio is essentially equal to one.

3. Method according to Claim 1,

characterized in that, for a non-flat sheet metal (B), especially sheet metal (B) that is not flat on entry into the cooling section (1), the ratio is set such that the non-flatness of the sheet metal after its passage through the cooling section is reduced relative to the non-flatness of the sheet metal (B) before its passage through the cooling section (1).

4. Method for cooling sheet metal (B) by means of a cooling section (1),

- wherein the cooling section (1) has a plurality of coolant dispensing devices (2) for cooling an upper side (O) of the sheet metal and a plurality of coolant dispensing devices (2) for cooling a lower side (U) of the sheet metal,
- wherein by means of the cooling a predetermined target state of the sheet metal (B) is reached at a reference

point at and/or after exit from the cooling section (1),

- wherein coolant dispensing is determined for a first and a second coolant dispensing device (2),
- wherein the first and the second coolant dispensing device (2) are arranged opposite one another relative to the sheet metal (B),

- wherein the coolant dispensing is determined for the first and second coolant dispensing device (2) with reference to a predetermined flow of heat to be dissipated from the side (O, U) of the sheet metal facing towards the respective coolant dispensing device (2),

- wherein a temperature of the respective side (O, U) of the sheet metal is taken into account for the flow of heat to be dissipated in each case,

- wherein, for at least one of the coolant dispensing devices (2), the coolant dispensing is determined independently of the coolant dispensing of the coolant dispensing device lying opposite it relative to the sheet metal,

- wherein the determination is undertaken such that a numerical value x with $0 < x < 1$ is determined and the sheet metal (2) is divided virtually into a first, upper sheet metal and a second, lower sheet metal essentially parallel to the upper side (O) or lower side (U),

- wherein x is the ratio of the thickness of the lower sheet metal in relation to the total sheet metal thickness,

- wherein the virtual division is undertaken in dependence on a flatness of the sheet (B) measured on entry into the cooling section (1),

- wherein the coolant dispensing is determined in each case separately for the first and the second sheet metal,

- wherein for the respective determination an exchange of heat between the first sheet metal and the second sheet metal is ignored,

- wherein, during the determination of the coolant dispensing, account is taken of the fact that, during its passage through the cooling section (1), the temperature of the upper side (O) of the sheet metal and/or the temperature of the lower side (U) of the sheet metal is in each case always greater than or equal to a predetermined limit temperature, especially 350°C.

5. Method according to Claim 4,

characterized in that an individual timing curve of a variable describing an energetic state of the sheet metal (B) is determined for the first sheet metal and the second sheet metal respectively, on the basis of which a flow of heat to be dissipated for the respective upper side (O) of the sheet metal and the lower side (U) of the sheet metal is determined.

6. Control and/or regulation device (10) for a cooling section (1), with a machine-readable program code (12), which includes control commands which, when they are executed, cause the control and/or regulation device (10) to carry out the method according to one of the preceding claims.

7. Machine-readable program code (12) for a control and/or regulation device (10) for a cooling section (1), wherein the program code includes control commands which cause the control and/or regulation device (10) to carry out the method according to one of Claims 1 to 5.

8. Storage medium (11) with a machine-readable program code according to Claim 7 stored thereon.

9. Cooling section (1) for cooling sheet metal (B), wherein the cooling section (1) has a plurality of coolant dispensing devices (2) for cooling an upper side (O) of the sheet metal and a plurality of coolant dispensing devices (2) for cooling a lower side (U) of the sheet metal, with a control and/or regulation device (10) according to Claim 6, wherein the coolant dispensing devices (2) are actively connected to the control and/or regulation device (10) and are able to be controlled and/or regulated by the latter.

Revendications

1. Procédé pour le refroidissement d'une tôle (B) au moyen d'une branche de refroidissement (1),

- dans lequel la branche de refroidissement (1) comprend une pluralité de dispositifs de distribution de réfrigérant (2) pour le refroidissement d'une face supérieure de tôle (O) et une pluralité de dispositifs de distribution de réfrigérant (2) pour le refroidissement d'une face inférieure de tôle (U),

- dans lequel, au moyen du refroidissement, un état cible prédéfini de la tôle (B) est atteint en un point de référence lors de et/ou après la sortie de la branche de refroidissement (1),

- dans lequel une distribution de réfrigérant est déterminée pour un premier et un deuxième dispositif de distri-

bution de réfrigérant (2),

- dans lequel le premier et le deuxième dispositif de distribution de réfrigérant (2) sont disposés à l'opposé par rapport à la tôle (B),

- dans lequel la détermination de la distribution de réfrigérant pour le premier et le deuxième dispositif de distribution de réfrigérant (2) s'effectue à l'aide d'un flux de chaleur prédéfini à dissiper de la face de tôle (O, U) orientée vers le dispositif de distribution de réfrigérant (2) respectif,

- dans lequel, pour le flux de chaleur à dissiper respectivement, une température, en particulier température de surface (T_o , T_u), de la face de tôle (O, U) respective est prise en considération,

- dans lequel la détermination de la distribution de réfrigérant pour le premier et le deuxième dispositif de distribution de réfrigérant (2) s'effectue à l'aide des équations

$$0 = x \cdot j_{oben} - (1 - x) \cdot j_{unten}$$

et

$$j_{ges} = j_{oben} + j_{unten},$$

dans lesquelles x est un facteur pouvant être prédéfini compris entre 0 et 1, j_{oben} est un flux de chaleur à dissiper de la face supérieure de la tôle, j_{unten} est un flux de chaleur à dissiper de la face inférieure de la tôle et j_{ges} est un flux de chaleur total à dissiper et à prédéfinir,

- dans lequel, lors de la détermination de la distribution de réfrigérant, il est pris en considération le fait que, pendant la traversée de la branche de refroidissement (1), la température de la face supérieure de tôle (O) et/ou la température de la face inférieure de tôle (U) sont respectivement toujours supérieures ou égales à une température limite prédéfinie, en particulier 350 °C,

- dans lequel un rapport du flux de chaleur à dissiper de la face supérieure de tôle (O) à la face inférieure de tôle (U) est ajusté en fonction d'une planéité, en particulier existant lors de l'arrivée dans la branche de refroidissement (1), de la tôle (B).

2. Procédé selon la revendication 1,

caractérisé en ce que, dans le cas d'une tôle (B) plane, en particulier arrivant de manière plane dans la branche de refroidissement (1), le rapport est essentiellement égal à un.

3. Procédé selon la revendication 1,

caractérisé en ce que, dans le cas d'une tôle (B) non plane, en particulier arrivant de manière non plane dans la branche de refroidissement (1), le rapport est ajusté de telle sorte que la non-planéité de la tôle après la traversée de la branche de refroidissement soit réduite par rapport à la non-planéité de la tôle (B) avant la traversée de la branche de refroidissement (1).

4. Procédé pour le refroidissement d'une tôle (B) au moyen d'une branche de refroidissement (1),

- dans lequel la branche de refroidissement (1) comprend une pluralité de dispositifs de distribution de réfrigérant (2) pour le refroidissement d'une face supérieure de tôle (O) et une pluralité de dispositifs de distribution de réfrigérant (2) pour le refroidissement d'une face inférieure de tôle (U),

- dans lequel, au moyen du refroidissement, un état cible prédéfini de la tôle (B) est atteint en un point de référence lors de et/ou après la sortie de la branche de refroidissement (1),

- dans lequel une distribution de réfrigérant est déterminée pour un premier et un deuxième dispositif de distribution de réfrigérant (2),

- dans lequel le premier et le deuxième dispositif de distribution de réfrigérant (2) sont disposés à l'opposé par rapport à la tôle (B),

- dans lequel la détermination de la distribution de réfrigérant pour le premier et le deuxième dispositif de distribution de réfrigérant (2) s'effectue à l'aide d'un flux de chaleur prédéfini à dissiper de la face de tôle (O, U) orientée vers le dispositif de distribution de réfrigérant (2) respectif,

- dans lequel, pour le flux de chaleur à dissiper respectivement, une température de la face de tôle (O, U) respective est prise en considération,

- dans lequel, pour au moins l'un des dispositifs de distribution de réfrigérant (2), la distribution de réfrigérant est déterminée indépendamment de la distribution de réfrigérant du dispositif de distribution de réfrigérant

opposé par rapport à la tôle,

- dans lequel la détermination s'effectue de telle sorte qu'une valeur numérique x soit déterminée avec $0 < x < 1$ et la tôle (2) soit partagée de manière essentiellement parallèle à la face supérieure (O) ou la face inférieure (U) virtuellement en une première tôle supérieure et une deuxième tôle inférieure,

- dans lequel x désigne le rapport de l'épaisseur de la tôle inférieure par rapport à l'épaisseur de tôle totale,

- dans lequel la division virtuelle est entreprise en fonction d'une planéité de la tôle (B) mesurée lors de l'arrivée dans la branche de refroidissement (1),

- dans lequel la distribution de réfrigérant est déterminée respectivement de manière séparée pour la première et la deuxième tôle,

- dans lequel, lors de la détermination respective, un échange de chaleur entre la première tôle et la deuxième tôle n'est pas pris en considération,

- dans lequel, lors de la détermination de la distribution de réfrigérant, il est pris en considération le fait que, pendant la traversée de la branche de refroidissement (1), la température de la face supérieure de tôle (O) et/ou la température de la face inférieure de tôle (U) sont respectivement toujours supérieures ou égales à une température limite prédéfinie, en particulier 350 °C.

5. Procédé selon la revendication 4,

caractérisé en ce que, pour la première tôle et la deuxième tôle, il est déterminé respectivement une variation individuelle dans le temps d'une grandeur décrivant un état énergétique de la tôle (B), à l'aide de laquelle il est déterminé un flux de chaleur à dissiper pour la face supérieure de tôle (O) respective et la face inférieure de tôle (U).

6. Dispositif de commande et/ou de régulation (10) pour une branche de refroidissement (1), avec un code de programme lisible par machine (12), lequel comporte des instructions de commande qui, lors de leur exécution, amènent le dispositif de commande et/ou de régulation (10) à la mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications précédentes.

7. Code de programme lisible par machine (12) pour un dispositif de commande et/ou de régulation (10) pour une branche de refroidissement (1), le code de programme comprenant des instructions de commande qui amènent le dispositif de commande et/ou de régulation (10) à la mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 5.

8. Support de stockage (11) sur lequel est stocké un code de programme lisible par machine selon la revendication 7.

9. Branche de refroidissement (1) pour le refroidissement d'une tôle (B), la branche de refroidissement (1) comprenant une pluralité de dispositifs de distribution de réfrigérant (2) pour le refroidissement d'une face supérieure de tôle (O) et une pluralité de dispositifs de distribution de réfrigérant (2) pour le refroidissement d'une face inférieure de tôle (U), avec un dispositif de commande et/ou de régulation (10) selon la revendication 6, dans laquelle les dispositifs de distribution de réfrigérant (2) sont en liaison fonctionnelle avec le dispositif de commande et/ou de régulation (10) et sont commandables et/ou réglables avec celui-ci.

FIG 1

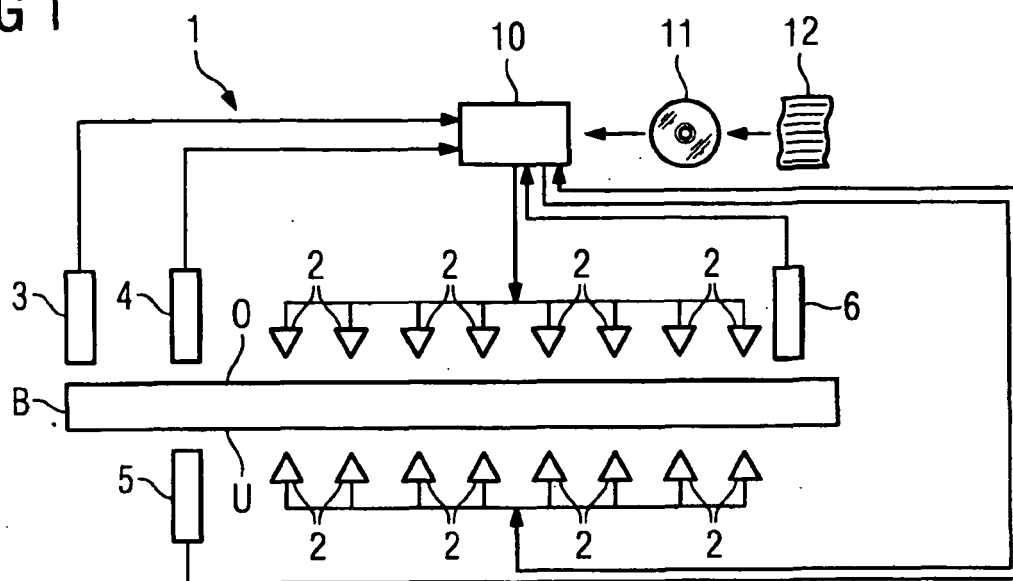


FIG 2

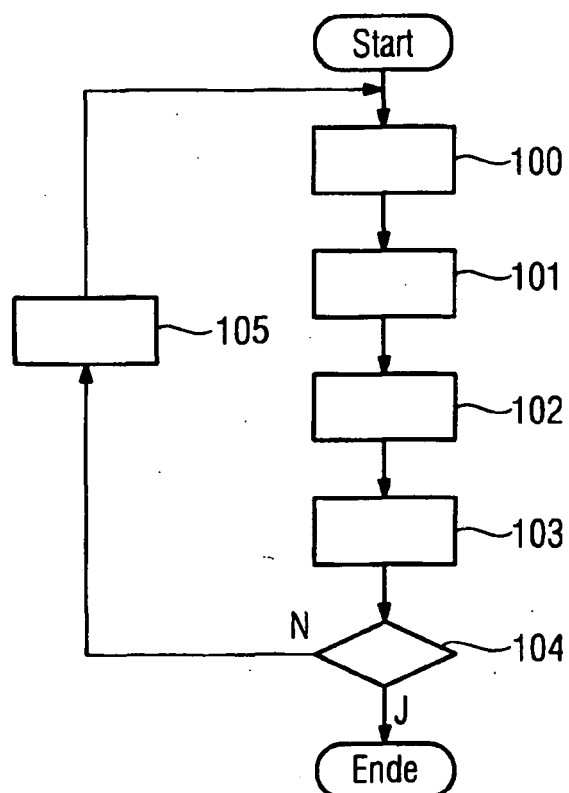


FIG 3

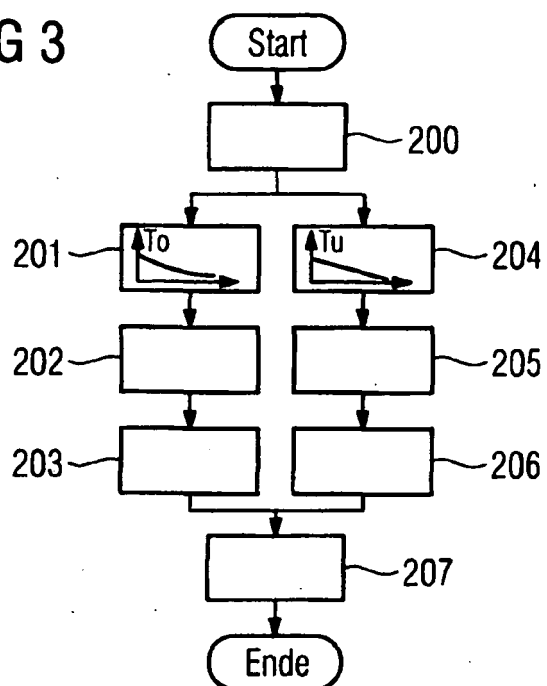
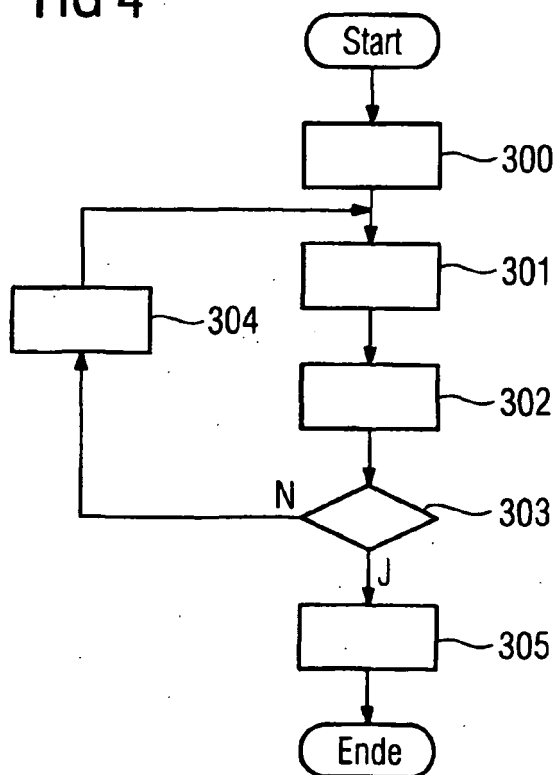


FIG 4



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

- EP 2070608 A1 [0006] [0010]