



(11)

EP 3 623 068 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
18.03.2020 Patentblatt 2020/12

(51) Int Cl.:
B21B 37/76 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **18193920.8**

(22) Anmeldetag: **12.09.2018**

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

(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)

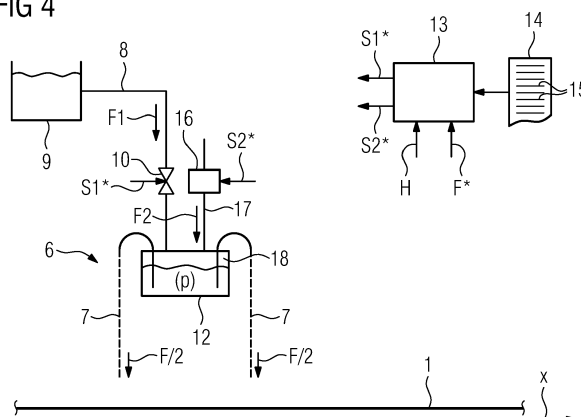
(71) Anmelder: **Primetals Technologies Germany GmbH**
91052 Erlangen (DE)

(54) **AUFBRINGEINRICHTUNGEN VON KÜHLSTRECKEN MIT ZWEITEM ANSCHLUSS**

(57) Eine Kühlstrecke (2) ist innerhalb einer Walzstraße angeordnet oder der Walzstraße vor- oder nachgeordnet. In ihr wird ein heißes Walzgut (1) aus Metall gekühlt. Eine Steuereinrichtung (13) der Kühlstrecke (2) ermittelt dynamisch Soll-Ansteuerzustände ($S1^*$) für in Versorgungsleitungen (8) angeordnete Regelventile (10) und steuert die Regelventile (10) entsprechend an. Aufbringeinrichtungen (6) der Kühlstrecke (2) werden über die Versorgungsleitungen (8) entsprechend der Ansteuerung Basisströme ($F1$) eines flüssigen, auf Wasser basierenden Kühlmittels (7) zugeführt. Die Versorgungsleitungen (8) führen die Basisströme ($F1$) Pufferbereichen (12) der Aufbringeinrichtungen (6) zu. Von dort ausgehend werden Kühlströme (F) des Kühlmittels (7) auf das heiße Walzgut (1) aufgebracht. Die Steuereinrichtung

(13) ermittelt zusätzlich dynamisch Soll-Ansteuerzustände ($S2^*$) für aktive Einrichtungen (16) und ansteuert die aktiven Einrichtungen (16) entsprechend an. Die aktiven Einrichtungen (16) führen den Pufferbereichen (12) entsprechend der Ansteuerung über weitere Versorgungsleitungen (17) Zusatzströme ($F2$) eines weiteren Mediums (18) zu. Die Kühlströme (F) hängen sowohl von den Basisströmen ($F1$) als auch von den Zusatzströmen ($F2$) ab. Die Zusatzströme ($F2$) sind je nach Ansteuerzustand ($S2^*$) der aktiven Einrichtungen (16) positiv oder negativ. Die Steuereinrichtung (13) stellt die Zusatzströme ($F2$) durch die entsprechende Ansteuerung der aktiven Einrichtungen (16) derart ein, dass die Kühlströme (F) Soll-Strömen (F^*) des Kühlmittels (7) jederzeit so weit wie möglich angenähert werden.

FIG 4



Beschreibung

Gebiet der Technik

5 **[0001]** Die vorliegende Erfindung geht aus von einem Betriebsverfahren für eine Kühlstrecke, die innerhalb einer Walzstraße angeordnet ist oder der Walzstraße vor- oder nachgeordnet ist und mittels derer ein heißes Walzgut aus Metall gekühlt wird,

- 10 - wobei eine Steuereinrichtung der Kühlstrecke dynamisch einen jeweiligen Soll-Ansteuerzustand für ein in einer jeweiligen Versorgungsleitung angeordnetes jeweiliges Regelventil ermittelt und das jeweilige Regelventil entsprechend ansteuert,
- wobei einer Anzahl von Aufbringeinrichtungen der Kühlstrecke über die jeweilige Versorgungsleitung entsprechend der Ansteuerung des jeweiligen Regelventils durch die Steuereinrichtung ein jeweiliger Basisstrom eines flüssigen, auf Wasser basierenden Kühlmittels zugeführt wird,
- 15 - wobei die jeweilige Versorgungsleitung den jeweiligen Basisstrom einem jeweiligen Pufferbereich der jeweiligen Aufbringeinrichtung zuführt, von dem ausgehend mittels der jeweiligen Aufbringeinrichtung ein jeweiliger Kühlstrom des Kühlmittels auf das heiße Walzgut aufgebracht wird.

20 **[0002]** Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einer Steuereinrichtung für eine Kühlstrecke, die innerhalb einer Walzstraße angeordnet ist oder der Walzstraße vor- oder nachgeordnet ist und mittels derer ein heißes Walzgut aus Metall gekühlt wird, wobei die Steuereinrichtung für eine Anzahl von Aufbringeinrichtungen der Kühlstrecke dynamisch einen jeweiligen Soll-Ansteuerzustand für ein in einer jeweiligen Versorgungsleitung angeordnetes jeweiliges Regelventil ermittelt und das jeweilige Regelventil entsprechend ansteuert, so dass einem jeweiligen Pufferbereich der jeweiligen Aufbringeinrichtung entsprechend der Ansteuerung des jeweiligen Regelventils durch die Steuereinrichtung
25 über die jeweilige Versorgungsleitung ein jeweiliger Basisstrom eines flüssigen, auf Wasser basierenden Kühlmittels zugeführt wird.

[0003] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einem Computerprogramm, das Maschinencode umfasst, der von einer softwareprogrammierbaren Steuereinrichtung für eine Kühlstrecke abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes durch die Steuereinrichtung bewirkt, dass die Steuereinrichtung entsprechend der soeben erläuterten Vorgehensweise den jeweiligen Soll-Ansteuerzustand für das jeweilige Regelventil ermittelt und das jeweilige
30 Regelventil entsprechend ansteuert.

[0004] Die vorliegende Erfindung geht weiterhin aus von einer Kühlstrecke,

- 35 - wobei die Kühlstrecke innerhalb einer Walzstraße angeordnet ist oder der Walzstraße vor- oder nachgeordnet ist,
- wobei mittels der Kühlstrecke ein heißes Walzgut aus Metall gekühlt wird,
- wobei die Kühlstrecke eine Anzahl von Aufbringeinrichtungen aufweist, die über eine jeweilige Versorgungsleitung mit einer Quelle für ein flüssiges, auf Wasser basierendes Kühlmittel verbunden sind,
- wobei in der jeweiligen Versorgungsleitung ein jeweiliges Regelventil angeordnet ist,
- 40 - wobei die Aufbringeinrichtungen einen jeweiligen Pufferbereich aufweisen, der mit der jeweiligen Versorgungsleitung verbunden ist, so dass die jeweilige Versorgungsleitung dem jeweiligen Pufferbereich der jeweiligen Aufbringeinrichtung einen jeweiligen Basisstrom des Kühlmittels zuführt und ausgehend von dem jeweiligen Pufferbereich mittels der jeweiligen Aufbringeinrichtung ein jeweiliger Kühlstrom des Kühlmittels auf das heiße Walzgut aufgebracht wird,
- wobei die Kühlstrecke eine Steuereinrichtung aufweist, welche das jeweilige Regelventil steuert.

45

Stand der Technik

[0005] Die oben genannten Gegenstände sind Fachleuten allgemein bekannt.

50 **[0006]** In der Kühlstrecke eines Walzwerks wird ein metallisches Walzgut nach dem Walzen abgekühlt. Das Walzgut kann beispielsweise aus Stahl oder Aluminium bestehen. Es kann sich nach Bedarf um ein flaches Walzgut (Band oder Grobblech), um ein stabförmiges Walzgut oder um ein Profil handeln. Üblich ist eine exakte Temperaturführung in der Kühlstrecke, um gewünschte Materialeigenschaften einzustellen und mit niedrigerer Streuung konstant zu halten. Insbesondere bei einer der Walzstraße nachgeordneten Kühlstrecke sind zu diesem Zweck entlang der Kühlstrecke mehrere Spritzbalken verbaut, mittels derer zur Kühlung des heißen Walzguts von oben und/oder von unten ein flüssiges Kühlmittel, meist Wasser, auf das Walzgut aufgebracht wird. Die durch den jeweiligen Spritzbalken fließende Wassermenge soll möglichst schnell und möglichst präzise einstellbar sein.

55 **[0007]** Zur Einstellung der den Spritzbalken zugeführten Wassermengen ist es beispielsweise bekannt, in den Versorgungsleitungen Schaltventile oder Regelventile anzuordnen. Schaltventile können nur rein binär angesteuert werden.

Sind also entweder vollständig geöffnet oder vollständig geschlossen. Regelventile können hingegen kontinuierlich verstellt werden, so dass auch die im jeweiligen Spritzbalken zugeführte Wassermenge kontinuierlich eingestellt werden kann.

[0008] Im Falle von Regelventilen können die Ventile als Regelklappen oder als Kugelventile ausgebildet sein. Regelklappen sind relativ einfach und kostengünstig. Sie können aber nur mit relativ geringen Druckdifferenzen von meist maximal 1 bar betrieben werden. Anderenfalls treten Kavitationen auf, welche die Regelklappe sehr schnell schädigen. Regelklappen sind daher insbesondere für eine Intensivkühlung nicht geeignet.

Aber auch in einer laminaren Kühlstrecke sind sie oftmals von Nachteil. Insbesondere zeigen sie häufig eine Schalthysterese. Die Schalthysterese bewirkt, dass bei gleicher Ansteuerung der eingestellte Klappenwinkel unterschiedlich groß ist, je nachdem, ob die Regelklappe ausgehend von einer weiter geöffneten oder von einer weiter geschlossenen Stellung auf die neu anzunehmende Stellung zu verstellt wird. Kugelventile weisen keine Klappe auf, sondern eine durchbohrte Kugel, die in einem Rohr gedreht wird. Je nach Drehstellung der Kugel wird dem Kühlmittel ein größerer oder ein kleinerer Querschnitt für den Durchfluss zur Verfügung gestellt. Kugelventile können mit höheren Druckdifferenzen bis ca. 3 bar betrieben werden. Eine Hysterese tritt bei ihnen nicht auf oder ist vernachlässigbar klein. Kugelventile sind jedoch teuer.

[0009] Bei einer anderen Lösung wird den Spritzbalken permanent das Kühlmittel zugeführt. Es ist jedoch eine ansteuerbare Umlenkplatte vorhanden. Je nach Stellung der Umlenkplatte wird das Kühlmittel entweder dem Walzgut zugeführt oder fließt seitlich ab, ohne zur Kühlung des Walzguts beizutragen. Bei dieser Anordnung sind schnelle Schaltvorgänge ohne Druckstöße möglich. Eine kontinuierliche Einstellung der Wassermenge ist jedoch nicht möglich. Weiterhin muss permanent der volle Kühlmittelstrom gefördert werden.

[0010] Alle Arten von Ventilen und auch die Umlenkplatten benötigen entsprechende Aktoren. Üblich sind pneumatisch angetriebene Stellmotoren. Für Regelventile wird zusätzlich eine Positionsregelung benötigt. Diese vergleicht kontinuierlich die Iststellung des jeweiligen Regelventils mit dessen Sollstellung und regelt die Iststellung nach, bis sich eine hinreichende Übereinstimmung mit der Sollstellung ergibt.

[0011] Allen Anordnungen ist weiterhin gemeinsam, dass eine externe Versorgung mit Kühlmittel vorhanden sein muss. Das Kühlmittel kann beispielsweise einem Hochtank entnommen werden oder über eine größere Rohrleitung von einer weiter entfernten Pumpenstation antransportiert werden. Auch Kombinationen dieser Vorgehensweisen sind möglich. Beispielsweise wird bei einer sogenannten Intensivkühlung das Wasser oftmals zunächst einem Hochtank entnommen. Sodann wird der Druck über Boosterpumpen in variablem Umfang erhöht und dadurch mit entsprechend variablem Druck der Intensivkühlung zur Verfügung gestellt. Die Intensivkühlung ist mit mehreren Spritzbalken versehen, denen - ausgehend von den Boosterpumpen - das Kühlmittel individuell über eine jeweilige Versorgungsleitung zugeführt wird. In den Versorgungsleitungen sind Kugelventile angeordnet, die zur Einstellung der dem jeweiligen Spritzbalken zugeführten Menge an Kühlmittel angesteuert werden.

[0012] Im Stand der Technik treten verschiedene Nachteile auf.

- Bei Schaltventilen gibt es Druckschläge beim Abschalten. Daher können Schaltventile nicht beliebig schnell abgeschaltet werden. Übliche Schaltzeiten liegen oberhalb von 1 Sekunde, manchmal bei bis zu 2 Sekunden.
- Mit Regelklappen und Kugelventilen werden ähnliche Regelzeiten erreicht. Weiterhin ist für jedes Regelventil eine Positionsregelung erforderlich. Die erreichbare Genauigkeit liegt bei ca. 1 % bis 2 %.
- Auch bei Regelventilen gibt es Druckschläge beim Abschalten. Daher können auch Regelventile nicht beliebig schnell geschlossen werden. Übliche Schaltzeiten liegen im Bereich von ca. 1 Sekunde.

[0013] Aus der US 2012/0 298 224 A1 ist im Rahmen eines Walzwerks mit nachgeordneter Kühlstrecke der vorausschauende Betrieb einer Pumpe bekannt. Diese Pumpe speist jedoch nicht direkt Aufbringeinrichtungen, mittels derer das Kühlmedium auf das heiße Walzgut aufgebracht wird, sondern fördert das Kühlmedium nur in ein Reservoir, damit dieses stets in hinreichendem Umfang gefüllt ist. Die Aufbringung des Kühlmittels auf das Walzgut selbst ist nicht näher erläutert.

Zusammenfassung der Erfindung

[0014] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, Möglichkeiten zu schaffen, mittels derer auf einfache und zuverlässige Weise eine Kühlstrecke mit überlegenen Betriebseigenschaften realisiert wird.

[0015] Die Aufgabe wird durch ein Betriebsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Betriebsverfahrens sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 2 bis 7.

[0016] Erfindungsgemäß wird ein Betriebsverfahren der eingangs genannten Art dadurch ausgestaltet,

- dass die Steuereinrichtung zusätzlich dynamisch einen jeweiligen weiteren Soll-Ansteuerzustand für eine jeweilige aktive Einrichtung ermittelt und die jeweilige aktive Einrichtung entsprechend ansteuert,
- dass die jeweilige aktive Einrichtung dem jeweiligen Pufferbereich entsprechend der Ansteuerung der jeweiligen

aktiven Einrichtung durch die Steuereinrichtung über eine jeweilige weitere Versorgungsleitung einen jeweiligen Zusatzstrom eines weiteren Mediums zuführt,

- dass der jeweilige Kühlstrom sowohl von dem das jeweilige Regelventil durchströmenden jeweiligen Basisstrom als auch von dem über die jeweilige aktive Einrichtung strömenden jeweiligen Zusatzstrom abhängt,
- dass der jeweilige Zusatzstrom je nach dem jeweiligen weiteren Ansteuerzustand der jeweiligen aktiven Einrichtung positiv oder negativ ist und
- dass die Steuereinrichtung den jeweiligen Zusatzstrom durch die entsprechende Ansteuerung der jeweiligen aktiven Einrichtung derart einstellt, dass der jeweilige Kühlstrom einem mittels der jeweiligen Aufbringeinrichtung auf das heiße Walzgut aufzubringenden jeweiligen Soll-Strom jederzeit so weit wie möglich angenähert wird.

[0017] Die jeweilige aktive Einrichtung kann bei entsprechender Ausgestaltung mit einer erheblich höheren Dynamik betrieben werden als ein Regelventil. Es ist daher möglich, in den Versorgungsleitungen zu den Aufbringeinrichtungen - wie im Stand der Technik auch - Regelventile zu verwenden und diese entsprechend anzusteuern. Trotz der relativ großen Verzögerungszeiten beim Nachführen der Einstellung der Regelventile können aufgrund der höheren Dynamik der aktiven Einrichtungen aber dennoch die Kühlströme mit einer relativ kleinen Verzögerungszeit und damit mit hoher Dynamik eingestellt werden.

[0018] Damit kann - je nach Ansteuerzustand der jeweiligen aktiven Einrichtung - beispielsweise der Druck im Pufferbereich der jeweiligen Aufbringeinrichtung kurzzeitig erhöht oder abgesenkt werden. Bei einem erhöhten Druck strömt aus dem jeweiligen Pufferbereich kurzzeitig mehr Kühlmittel als jeweiliger Kühlstrom aus, als dem jeweiligen Pufferbereich als jeweiliger Basisstrom zugeführt wird. Bei einem abgesenkten Druck ist es umgekehrt. Im zeitlichen Mittel korrespondieren der Kühlstrom und der Basisstrom jedoch miteinander.

[0019] Im einfachsten Fall ist die jeweilige aktive Einrichtung als Paar von Luftventilen ausgebildet, von denen je eines mit einem Druckreservoir und der Umgebung verbunden ist. Diese prinzipiell mögliche Ausgestaltung ist jedoch nicht bevorzugt. Bevorzugt ist vielmehr, dass die jeweilige aktive Einrichtung eine das weitere Medium aktiv fördernde Einrichtung ist.

[0020] Das weitere Medium kann insbesondere Luft oder Wasser sein. Im Falle von Luft ist die das weitere Medium aktiv fördernde Einrichtung ein Gebläse, eine Luftpumpe oder eine Turbine. Im Falle von Wasser ist die das weitere Medium aktiv fördernde Einrichtung eine Pumpe.

[0021] Im Falle von Luft ist es möglich, diese direkt aus der Umgebung zu beziehen und - im Falle eines negativen Zusatzstroms - direkt an die Umgebung abzugeben. Alternativ kann das weitere Medium einer jeweiligen Speichereinrichtung entnommen werden. In diesem Fall kann das weitere Medium Luft oder Wasser sein.

[0022] Es ist möglich, dass das weitere Medium in der jeweiligen Speichereinrichtung nicht unter einem jeweiligen Druck steht. Dies ist insbesondere dann möglich, wenn das weitere Medium Wasser ist und sich im oberen Bereich der jeweiligen Speichereinrichtung ein Luftpolster befindet, das über eine Öffnung mit der Umgebung in Verbindung steht, so dass nach Bedarf Luft in die jeweilige Speichereinrichtung einströmen oder aus der jeweiligen Speichereinrichtung ausströmen kann. Alternativ ist es möglich, dass das weitere Medium in der jeweiligen Speichereinrichtung unter einem jeweiligen Druck steht. Dadurch kann insbesondere der Stellbereich, der von der aktiven Einrichtung bewältigt werden muss, klein gehalten werden.

[0023] Vorzugsweise wird der jeweilige Druck in der jeweiligen Speichereinrichtung über eine mit der jeweiligen Speichereinrichtung verbundene jeweilige Steuerleitung eingestellt. Dadurch ist es möglich, in jedem statischen Betriebszustand der jeweiligen Aufbringeinrichtung den Druck in der jeweiligen Speichereinrichtung derart einzustellen, dass die jeweilige aktive Einrichtung zur hochdynamischen Einstellung des jeweiligen Kühlstroms möglichst wenig Energie verbrauchen muss. Insbesondere ist es möglich, dass der jeweilige Druck in der jeweiligen Speichereinrichtung in Abhängigkeit von dem Soll-Strom oder einem in dem jeweiligen Pufferbereich herrschenden jeweiligen Druck nachgeführt wird. In diesem Fall ist es sogar möglich, jeden statischen Betriebszustand der jeweiligen Aufbringeinrichtung einzustellen, ohne dass die jeweilige aktive Einrichtung zur Einhaltung dieses Zustands Energie verbrauchen muss.

[0024] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Steuereinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 8 gelöst. Vorteilhaft Ausgestaltungen der Steuereinrichtung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 9 bis 11.

[0025] Erfindungsgemäß wird eine Steuereinrichtung der eingangs genannten Art dadurch ausgestaltet,

- dass die Steuereinrichtung zusätzlich dynamisch einen jeweiligen weiteren Soll-Ansteuerzustand für eine jeweilige aktive Einrichtung ermittelt und die jeweilige aktive Einrichtung entsprechend ansteuert, so dass die jeweilige aktive Einrichtung entsprechend der Ansteuerung der jeweiligen aktiven Einrichtung durch die Steuereinrichtung dem jeweiligen Pufferbereich über eine jeweilige weitere Versorgungsleitung einen jeweiligen Zusatzstrom eines weiteren Mediums zuführt,
- dass ein von dem jeweiligen Pufferbereich ausgehender und mittels der jeweiligen Aufbringeinrichtung auf das heiße Walzgut aufgebracht der jeweilige Kühlstrom des Kühlmittels sowohl von dem das jeweilige Regelventil durchströmenden jeweiligen Basisstrom als auch von dem über die jeweilige aktive Einrichtung strömenden jeweiligen

Zusatzstrom abhängt und

- dass die Steuereinrichtung den jeweiligen Zusatzstrom derart auf positive und negative Werte einstellt, dass der jeweilige Kühlstrom einem mittels der jeweiligen Aufbringeinrichtung auf das heiße Walzgut aufzubringenden jeweiligen Soll-Strom jederzeit so weit wie möglich angenähert wird.

[0026] Falls das weitere Medium einer jeweiligen Speichereinrichtung entnommen wird und in der jeweiligen Speichereinrichtung unter einem jeweiligen Druck steht, stellt die Steuereinrichtung vorzugsweise den jeweiligen Druck in der jeweiligen Speichereinrichtung über eine mit der jeweiligen Speichereinrichtung verbundene jeweilige Steuerleitung ein. Dadurch ist es möglich, in jedem statischen Betriebszustand der jeweiligen Aufbringeinrichtung den Energieverbrauch der jeweiligen aktiven Einrichtung zu reduzieren. Ganz besonders gilt dies, wenn die Steuereinrichtung den Druck in der jeweiligen Speichereinrichtung in Abhängigkeit von dem Soll-Strom oder einem in dem jeweiligen Pufferbereich herrschenden Druck nachführt. In diesem Fall kann der Energieverbrauch im Idealfall sogar auf 0 reduziert werden.

[0027] Vorzugsweise ist die Steuereinrichtung als softwareprogrammierbare Einrichtung ausgebildet, die mit einem Computerprogramm programmiert ist, das Maschinencode umfasst, der von der Steuereinrichtung abarbeitbar ist. In diesem Fall bewirkt die Abarbeitung des Maschinencodes durch die Steuereinrichtung die entsprechende Ermittlung des jeweiligen Soll-Ansteuerzustands für das jeweilige Regelventil und des jeweiligen weiteren Soll-Ansteuerzustands für die jeweilige aktive Einrichtung sowie die entsprechende Ansteuerung des jeweiligen Regelventils und der jeweiligen aktiven Einrichtung.

[0028] Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Computerprogramm mit den Merkmalen des Anspruchs 12 gelöst. Erfindungsgemäß bewirkt die Abarbeitung des Computerprogramms durch eine softwareprogrammierbare Steuereinrichtung der eingangs genannten Art, dass die Steuereinrichtung entsprechend der erfindungsgemäßen Vorgehensweise den jeweiligen Soll-Ansteuerzustand für das jeweilige Regelventil und den jeweiligen weiteren Soll-Ansteuerzustand für die jeweilige aktive Einrichtung ermittelt und das jeweilige Regelventil und die jeweilige aktive Einrichtung entsprechend ansteuert.

[0029] Die Aufgabe wird weiterhin durch eine Kühlstrecke mit den Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Kühlstrecke sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 14 bis 17.

[0030] Erfindungsgemäß wird eine Kühlstrecke der eingangs genannten Art dadurch ausgestaltet,

- dass dem jeweiligen Pufferbereich eine jeweilige aktive Einrichtung zugeordnet ist, mittels derer dem Pufferbereich über eine weitere Versorgungsleitung ein Zusatzstrom eines weiteren Mediums zuführbar ist, so dass der jeweilige Kühlstrom sowohl von dem das jeweilige Regelventil durchströmenden Basisstrom als auch von dem über die jeweilige aktive Einrichtung strömenden jeweiligen Zusatzstrom abhängt, und
- dass die Kühlstrecke eine Steuereinrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11 aufweist, welche nicht nur das jeweilige Regelventil, sondern zusätzlich auch die jeweilige aktive Einrichtung steuert.

[0031] Dadurch können die gleichen Vorteile wie für das Betriebsverfahren erreicht werden.

[0032] Die vorteilhaften Ausgestaltungen der Kühlstrecke und auch die dadurch bewirkten Vorteile sind bereits Gegenstand der korrespondierenden Ansprüche auf das Betriebsverfahren. Es wird daher auf die entsprechenden Ausführungen verwiesen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0033] 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 der Ausführungsbeispiele, die in Verbindung mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Hierbei zeigen in schematischer Darstellung:

- FIG 1 eine einer Walzstraße nachgeordnete Kühlstrecke,
- FIG 2 eine einer Walzstraße vorgeordnete Kühlstrecke
- FIG 3 eine innerhalb einer Walzstraße angeordnete Kühlstrecke,
- FIG 4 eine einzelne Aufbringeinrichtung,
- FIG 5 eine Modifikation der Aufbringeinrichtung von FIG 4 und
- FIG 6 eine weitere Aufbringeinrichtung.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0034] Gemäß FIG 1 soll ein heißes Walzgut 1 aus Metall in einer Kühlstrecke 2 gekühlt werden. Die Kühlstrecke 2

ist gemäß FIG 1 einer Walzstraße nachgeordnet. Dargestellt ist in FIG 1 nur ein Walzgerüst 3 der Walzstraße, nämlich das letzte Walzgerüst 3 der Walzstraße. In der Regel weist die Walzstraße jedoch mehrere Walzgerüste 3 auf, die von dem heißen Walzgut 1 sequenziell nacheinander durchlaufen werden. Im Falle der Ausgestaltung gemäß FIG 1 tritt das heiße Walzgut 1 unmittelbar nach dem Walzen im letzten Walzgerüst 3 der Walzstraße in die Kühlstrecke 2 ein. Ein zeitlicher Abstand zwischen dem Walzen im letzten Walzgerüst 3 der Walzstraße und dem Eintreten in die Kühlstrecke 2 liegt in der Regel im Bereich weniger Sekunden.

[0035] Alternativ könnte die Kühlstrecke 2 entsprechend der Darstellung in FIG 2 der Walzstraße vorgeordnet sein. Dargestellt ist in FIG 2 ebenfalls nur ein einziges Walzgerüst 4 der Walzstraße, nämlich das erste Walzgerüst 4 der Walzstraße. Im Falle der Ausgestaltung gemäß FIG 2 wird das heiße Walzgut 1 unmittelbar nach dem Auslaufen aus der Kühlstrecke 2 im ersten Walzgerüst 4 der Walzstraße gewalzt. Ein zeitlicher Abstand zwischen dem Kühlen in der Kühlstrecke 2 und dem Walzen im ersten Walzgerüst 4 der Walzstraße liegt oftmals im Bereich weniger Minuten. Er kann aber auch nur wenige Sekunden betragen.

[0036] Alternativ könnte die Kühlstrecke 2 entsprechend der Darstellung in FIG 3 innerhalb der Walzstraße angeordnet sein. Dargestellt sind in FIG 3 zwei Walzgerüste 5 der Walzstraße. In diesem Fall erfolgt das Kühlen in der Kühlstrecke 2 zwischen dem Walzen in den beiden Walzgerüsten 5 der Walzstraße. Ein zeitlicher Abstand zwischen dem Kühlen in der Kühlstrecke 2 und dem Walzen in den beiden aufeinanderfolgenden Walzgerüsten 5 der Walzstraße liegt im Bereich weniger Sekunden. Gemäß der Darstellung in FIG 3 ist die Kühlstrecke 2 zwischen zwei aufeinander folgenden Walzgerüsten 5 der Walzstraße angeordnet. Sie könnte sich aber auch über einen größeren Bereich erstrecken, so dass die Kühlstrecke 2 durch mindestens ein in FIG 3 nicht dargestelltes weiteres Walzgerüst in eine entsprechende Anzahl von Abschnitten unterteilt wird.

[0037] Das Walzgut 1 besteht aus Metall. Beispielsweise kann das Walzgut 1 aus Stahl oder Aluminium bestehen. Auch andere Metalle sind möglich. Im Falle von Stahl liegt eine Temperatur des Walzguts 1 vor der Kühlstrecke 2 in der Regel zwischen 750 °C und 1.200 °C. In der Kühlstrecke 2 erfolgt eine Kühlung auf eine niedrigere Temperatur. Es ist im Einzelfall möglich, dass die niedrigere Temperatur nur geringfügig unterhalb der Temperatur vor der Kühlstrecke 2 liegt. Insbesondere in dem Fall, dass die Kühlstrecke 2 der Walzstraße nachgeordnet ist, wird das Walzgut 1 jedoch in der Regel auf eine deutlich niedrigere Temperatur gekühlt, beispielsweise auf eine Temperatur zwischen 200 °C und 700 °C.

[0038] Das heiße Walzgut 1 wird der Kühlstrecke 2 in einer horizontalen Transportrichtung x zugeführt. Beim Durchlaufen der Kühlstrecke 2 ändert das heiße Walzgut 1 seine Transportrichtung x nicht. Es wird also auch innerhalb der Kühlstrecke 2 horizontal transportiert. Nach dem Verlassen der Kühlstrecke 2 kann das Walzgut 1 seine Transportrichtung entweder beibehalten oder ändern. Falls das heiße Walzgut 1 ein Band ist, kann es beispielsweise schräg nach unten umgelenkt werden, um es einem Haspel zuzuführen. Weiterhin ist es möglich, dass das heiße Walzgut 1 seine Transportrichtung x umkehrt (reversiert), nochmals die Kühlstrecke 2 durchläuft und sodann nochmals gewalzt wird. Dies ist sowohl bei Grobblech als auch bei einer Vorbramme möglich.

[0039] Die Kühlstrecke 2 weist eine Anzahl von Aufbringeinrichtungen 6 auf. Mittels der Aufbringeinrichtungen 6 wird ein Kühlmittel 7 auf das Walzgut 1 aufgebracht. Entsprechend der Darstellung in den FIG 1 bis 3 wird das Kühlmittel 7 von oben auf das Walzgut 1 aufgebracht. Es könnte jedoch - und zwar sowohl alternativ als auch zusätzlich - ebenso auch eine Aufbringung von unten und/oder von der Seite erfolgen. Bei dem Kühlmittel 7 handelt es sich um Wasser. Gegebenenfalls können dem Wasser in geringem Umfang (maximal 1 Prozent bis 2 %) Zusätze beigefügt sein. In jedem Fall handelt es sich bei dem Kühlmittel 7 jedoch um ein flüssiges, auf Wasser basierendes Kühlmittel. Die Aufbringeinrichtungen 6 können beispielsweise als übliche Spritzbalken ausgebildet sein.

[0040] Minimal ist eine einzige Aufbringeinrichtung 6 vorhanden. In vielen Fällen sind jedoch mehrere Aufbringeinrichtungen 6 vorhanden. Beispielsweise können die Aufbringeinrichtungen 6 entsprechend der Darstellung in FIG 1 hintereinander angeordnet sein. In diesem Fall bringen die Aufbringeinrichtungen 6 ihren jeweiligen Anteil an dem Kühlmittel 7 sequenziell nacheinander auf das Walzgut 1 auf. Der Begriff "sequenziell nacheinander" bezieht sich in diesem Zusammenhang auf einen bestimmten Abschnitt des Walzguts 1, da dieser sequenziell nacheinander Bereiche durchläuft, in denen die einzelnen Aufbringeinrichtungen 6 ihren jeweiligen Anteil an dem Kühlmittel 7 jeweils auf den entsprechenden Abschnitt des Walzguts 1 aufbringen. Die Anzahl an Aufbringeinrichtungen 6 liegt oftmals im zweistelligen, manchmal sogar im oberen zweistelligen Bereich, in seltenen Fällen auch im dreistelligen Bereich. Eine sequenzielle Anordnung hintereinander ist in der Regel insbesondere dann realisiert, wenn die Kühlstrecke 2 der Walzstraße nachgeordnet ist. Sie kann aber auch bei anderen Fallgestaltungen gegeben sein.

[0041] Die Aufbringeinrichtungen 6 sind über eine jeweilige Versorgungsleitung 8 mit einem Reservoir 9 des Kühlmittels 7 (oder einer anderen Quelle für das Kühlmittel 7) verbunden. Das Reservoir 9 ist im vorliegenden Fall einheitlich für alle Aufbringeinrichtungen 6. Es könnten aber auch mehrere voneinander unabhängige Reservoirs 9 vorhanden sein. In jeder Versorgungsleitung 8 ist ein jeweiliges Regelventil 10 angeordnet. Die Regelventile 10 können prinzipiell an beliebigen Stellen innerhalb der Versorgungsleitungen 8 angeordnet sein. In der Praxis ist es jedoch von Vorteil, wenn die Regelventile 10 möglichst nahe an den Aufbringeinrichtungen 6 angeordnet sind. Soweit erforderlich, können den Regelventilen 10 eine oder mehrere Pumpen 11 vorgeordnet sein. Die Betriebsweise der Pumpe 11 bzw. der Pumpen

11 ist nicht Gegenstand der vorliegenden Erfindung.

[0042] Nachfolgend wird - stellvertretend für alle Aufbringeinrichtungen 6 - in Verbindung mit FIG 4 der Betrieb einer der Aufbringeinrichtungen 6 näher erläutert. Die anderen Aufbringeinrichtungen 6 werden auf prinzipiell gleiche Art und Weise betrieben. Für jede Aufbringeinrichtung 6 kann die jeweilige Betriebsweise jedoch individuell bestimmt werden.

[0043] Der Aufbringeinrichtung 6 wird über die Versorgungsleitung 8 und das Regelventil 10 aus dem Reservoir 9 ein Basisstrom F1 des Kühlmittels 7 zugeführt. Der Basisstrom F1 weist die Einheit m^3/s auf. Die Versorgungsleitung 8 ist mit einem Pufferbereich 12 der Aufbringeinrichtung 6 verbunden. Dadurch wird Basisstrom F1 zunächst dem Pufferbereich 12 der Aufbringeinrichtung 6 zugeführt. Beispielsweise kann die Aufbringeinrichtung 6 entsprechend der Darstellung in FIG 4 als Spritzbalken ausgebildet sein, der ein gewisses Speichervolumen aufweist, wobei das Speichervolumen in variablem Umfang mit dem Kühlmittel 7 und im übrigen mit Luft gefüllt ist. Ausgehend von dem Pufferbereich 12 wird mittels der Aufbringeinrichtung 6 ein Kühlstrom F auf das heiße Walzgut 1 aufgebracht. Ein Abstand der Aufbringeinrichtung 6 - beispielsweise von Spritzdüsen - vom Walzgut 1 liegt in der Regel zwischen 20 cm und 200 cm.

[0044] Die Kühlstrecke 2 wird von einer Steuereinrichtung 13 gesteuert. In der Regel ist die Steuereinrichtung 13 als softwareprogrammierbare Steuereinrichtung ausgebildet. In diesem Fall ist die Steuereinrichtung 13 mit einem Computerprogramm 14 programmiert. Das Computerprogramm 14 umfasst Maschinencode 15, der von der Steuereinrichtung 13 unmittelbar abarbeitbar ist. Die Abarbeitung des Maschinencodes 15 durch die Steuereinrichtung 13 bewirkt in diesem Fall, dass die Steuereinrichtung 13 ein Betriebsverfahren für die Kühlstrecke 2 ausführt, wie es nachstehend näher erläutert wird.

[0045] Die Steuereinrichtung 13 ermittelt dynamisch einen Soll-Ansteuerzustand $S1^*$ für das Regelventil 10. Sie steuert das Regelventil 10 entsprechend an. Durch das Ansteuern des Regelventils 10 entsprechend dem ermittelten Soll-Ansteuerzustand $S1^*$ stellt die Regeleinrichtung 13 den Basisstrom F1 ein, der über die Versorgungsleitung 8 und das Regelventil 10 der Aufbringeinrichtung 6 zugeführt wird.

[0046] Der Steuereinrichtung 13 der Kühlstrecke 2 ist ein Soll-Strom F^* bekannt, der mittels der Aufbringeinrichtung 6 auf das heiße Walzgut 1 aufgebracht werden soll. Der Soll-Strom F^* ist in der Regel zeitlich nicht konstant, sondern variabel, also eine Funktion der Zeit. Es ist möglich, dass die Steuereinrichtung 13 den Soll-Ansteuerzustand $S1^*$ für das Regelventil 10 in Abhängigkeit von dem Soll-Strom F^* des Kühlmittels 7 ermittelt. In diesem Fall kann die Steuereinrichtung 13 den Ansteuerzustand $S1^*$ beispielsweise derart ermitteln, dass in jedem Betriebszustand der das Regelventil 10 durchströmende Basisstrom F1 dem Soll-Strom F^* jederzeit so weit wie möglich angenähert wird. Dann entspricht der Betrieb des Regelventils 10 der Betriebsweise des Standes der Technik. Es sind aber auch andere Vorgehensweisen möglich. Hierauf wird später noch eingegangen werden.

[0047] Zusätzlich ist dem Pufferbereich 12 eine aktive Einrichtung 16 zugeordnet. Die aktive Einrichtung 16 ist über eine weitere Versorgungsleitung 17 mit dem Pufferbereich 12 verbunden. Der Begriff "aktive Einrichtung" bedeutet, dass die Steuereinrichtung 13 die aktive Einrichtung 16 entsprechend einem Soll-Ansteuerzustand $S2^*$ ansteuert und dass die aktive Einrichtung 16 entsprechend reagiert. Die Steuereinrichtung 13 ermittelt dynamisch auch den weiteren Soll-Ansteuerzustand $S2^*$ und steuert die aktive Einrichtung 16 entsprechend an. Der Soll-Ansteuerzustand $S2^*$ für die aktive Einrichtung 16 wird nachfolgend zur Unterscheidung von dem Soll-Ansteuerzustand $S1^*$ für das Regelventil 10 als weiterer Soll-Ansteuerzustand $S2^*$ bezeichnet. Entsprechend der Ansteuerung der aktiven Einrichtung 16 durch die Steuereinrichtung 13 führt die aktive Einrichtung 16 dem Pufferbereich 12 über die weitere Versorgungsleitung 17 dadurch einen Zusatzstrom F2 eines weiteren Mediums 18 zu. Der Zusatzstrom F2 weist - analog zum Basisstrom Basisstrom F1 - die Einheit m^3/s auf. Er kann positiv oder negativ sein. Es ist also alternativ möglich, das weitere Medium 18 dem Pufferbereich 12 zuzuführen oder es aus dem Pufferbereich 12 abzuziehen. Ob der Zusatzstrom F2 positiv oder negativ ist, ist vom weiteren Soll-Ansteuerzustand $S2^*$ abhängig. Unabhängig vom jeweils konkreten Wert des Zusatzstromes F2 und auch unabhängig von der Art des weiteren Mediums 18 hängt dadurch jedoch der Kühlstrom F nicht nur von dem das Regelventil 10 durchströmenden Basisstrom F1 ab, sondern zusätzlich auch von dem über die aktive Einrichtung 16 strömenden Zusatzstrom F2.

[0048] Die vorliegende Erfindung beruht auf dem Prinzip, dass die Steuereinrichtung 13 durch die entsprechende Ansteuerung der aktiven Einrichtung 16 den Zusatzstrom F2 derart einstellt, dass der Kühlstrom F dem Soll-Strom F^* jederzeit so weit wie möglich angenähert wird.

[0049] Um den weiteren Soll-Ansteuerzustand $S2^*$ ermitteln zu können, müssen der Steuereinrichtung 13 verschiedene Werte bekannt sein. Zum einen ist dies der Soll-Strom F^* . Der Soll-Strom F^* kann der Steuereinrichtung 13 beispielsweise vorgegeben werden oder von der Steuereinrichtung 13 anhand anderer Daten - beispielsweise der Temperatur oder der Enthalpie eines bestimmten Abschnitts des Walzguts 1 in Verbindung mit einem gewünschten zeitlichen Verlauf der Temperatur oder der Enthalpie - ermittelt werden. Wenn, wie im Falle der Ausgestaltung gemäß FIG 4 der Fall, das weitere Medium 18 Luft ist, müssen der Steuereinrichtung 13 ein Nennstrom F_0 und ein zugehöriger Nenndruck p_0 bekannt sein. Der Nennstrom F_0 ist die Menge an Kühlmittel 7, die pro Zeiteinheit aus dem Pufferbereich 12 auf das heiße Walzgut 1 aufgebracht wird, wenn im Pufferbereich 12 der Nenndruck p_0 herrscht. Die Werte F_0 , p_0

können beispielsweise durch eine einmalige Messung vorab ermittelt werden.

[0050] Wenn in einem derartigen Fall beispielsweise eine schnelle Erhöhung des Soll-Stroms F^* erfolgt, so kann anhand der Beziehung

$$p = \frac{F^{*2}}{F_0^2} \cdot p_0 \quad (1)$$

der zugehörige erforderliche Druck p ermittelt werden, der im Pufferbereich 12 herrschen muss. Der Nennstrom F_0 ist die Menge an Kühlmittel 7, die pro Zeiteinheit aus dem Pufferbereich 12 auf das heiße Walzgut 1 aufgebracht wird, wenn im Pufferbereich 12 der Nenndruck p_0 herrscht. Die Steuereinrichtung 13 steuert die aktive Einrichtung 16 somit derart an, dass sie im Pufferbereich 12 den Druck p hervorruft.

[0051] Die aktive Einrichtung 16 ist vorzugsweise eine das weitere Medium 18 aktiv fördernde Einrichtung, beispielsweise eine Turbine. Die Turbine wird in diesem Fall von einem elektrischen Antrieb angetrieben. Beispielsweise kann der Antrieb umrichter gesteuert sein. Derartige Steuerungen sind Fachleuten allgemein bekannt und müssen daher nicht näher erläutert werden. Ein elektrischer Antrieb kann typischerweise mit einer Zeitkonstante von 0,1 s von 0 auf Maximaldrehzahl beschleunigt und umgekehrt auch mit einer Zeitkonstante von 0,1 Sekunden von der Maximaldrehzahl auf 0 verzögert werden.

[0052] Die aktive Einrichtung 16 kann somit mit hoher Dynamik angesteuert werden. Ein Durchfahren des vollen Stellbereichs (beispielsweise von 0 bis Maximaldrehzahl) kann typischerweise in einem Zeitfenster von weniger als 0,2 s erfolgen. Oftmals werden sogar nur 0,1 s oder weniger benötigt. Damit kann mit dieser kurzen Zeitkonstante der Kühlstrom F angepasst werden, obwohl das Regelventil 10 nur eine relativ geringe Dynamik aufweist, beispielsweise eine Zeitkonstante von 1,5 s. Während dieses Zeitraums weicht somit zwar der Basisstrom F_1 von dem gewünschten Soll-Strom F^* ab. Beim Kühlstrom F macht sich diese Zeitverzögerung jedoch nicht bemerkbar, weil mittels der Turbine nach Bedarf in hochdynamischer Art und Weise der Druck p im Pufferbereich 12 eingestellt werden kann.

[0053] Der Zusatzstrom F_2 kann positiv oder negativ sein. Ist er positiv, pumpt die Turbine Luft in den Pufferbereich 12 hinein, so dass der Druck p im Pufferbereich 12 erhöht wird. Ist er negativ, saugt die Turbine Luft aus dem Pufferbereich 12 ab, so dass der Druck p im Pufferbereich 12 verringert wird. Der Kühlstrom F hängt jedoch nicht direkt vom Basisstrom F_1 ab, sondern vom Druck p im Pufferbereich 12. Es muss lediglich gewährleistet sein, dass sich im Pufferbereich 12 überhaupt Kühlmittel 7 befindet, das auf das heiße Walzgut 1 aufgebracht werden kann.

[0054] Der Basisstrom F_1 muss nicht direkt dem Soll-Strom F^* folgen. Er muss lediglich derart eingestellt werden, dass der Pufferbereich 12 weder leer wird noch überläuft. Hierfür ist es, wie bereits erwähnt, möglich, den Soll-Ansteuerzustand $S1^*$ so wie im Stand der Technik auch in Abhängigkeit von dem Soll-Strom F^* zu ermitteln. Alternativ ist es möglich, beispielsweise einen Füllstand des Speicherbereichs 12 zu ermitteln und auf einen bestimmten Sollwert zu regeln. Der Sollwert kann nach Bedarf konstant sein oder variieren. Der Füllstand kann in diesem Fall beispielsweise direkt oder indirekt gemessen werden. Eine indirekte Messung ist beispielsweise über Druckmessdosen möglich, mittels derer das Gewicht der Aufbringeinrichtung 6 erfasst wird. Der Füllstand kann auch modellgestützt anhand des Basisstroms F_1 und des Kühlstroms F ermittelt werden. Die Differenz von Basisstrom F_1 und Kühlstrom F entspricht zu jedem Zeitpunkt der Änderung des Füllstands. Durch zeitliche Integration dieser Differenz kann somit, ausgehend von einem bekannten anfänglichen Füllstand, jederzeit der momentane Füllstand ermittelt werden. Der Basisstrom F_1 kann beispielsweise gemessen werden, der Kühlstrom F anhand des ohne weiteres messbaren Druckes p ermittelt werden.

[0055] Zur Ermittlung des Soll-Ansteuerzustands $S2^*$ für die aktive Einrichtung 16 kann die Steuereinrichtung 13 beispielsweise wie folgt vorgehen:

Der Pufferbereich 12 habe ein Gesamtvolumen V . Der Pufferbereich 12 sei teilweise mit dem Kühlmittel 7 gefüllt, im übrigen mit Luft. Mit V_1 wird nachfolgend das vom Kühlmittel 7 eingenommene Volumen bezeichnet, mit V_2 das Luftvolumen. Es gilt selbstverständlich die Beziehung

$$V = V_1 + V_2 \quad (2)$$

[0056] Im Luftvolumen V_2 herrsche der Druck p . Derselbe Druck p herrscht auch im Kühlmittel 7. Über das Regelventil 10 und die Versorgungsleitung 8 fließt der Basisstrom F_1 in den Pufferbereich 12. Der Basisstrom F_1 kann anhand der Beziehung

$$F1 = FR \cdot \sqrt{\frac{p1 - p}{p0}} \cdot f(x) \quad (3)$$

ermittelt werden. FR ist ein Referenzstrom des Kühlmittels 7, der bei vollständig geöffnetem Regelventil 10 fließt, wenn die Druckdifferenz zwischen der Eingangsseite des Regelventils 10 und dem Pufferbereich 12 gleich dem Nenndruck p0 ist. Der Wert FR kann beispielsweise durch eine einmalige Messung vorab ermittelt werden. p1 ist der Druck eingangsseitig des Regelventils 10. f(x) ist die relative Durchflussmenge des Regelventils 10 in Abhängigkeit von der Ventilstellung x des Regelventils 10. Sie liegt für x = 0 (Regelventil 10 vollständig geschlossen) bei 0 und für x = 1 (Regelventil 10 vollständig geöffnet) bei 1. Zwischen x = 0 und x = 1 ist sie monoton - oftmals streng monoton - steigend. Die Kennlinie f als solche kann vorab bekannt sein. In der Regel wird sie vom Hersteller des Regelventils 10 einmalig vorab erfasst und kann danach dem Datenblatt des Regelventils 10 entnommen werden.

[0057] Für die Änderung des von dem Kühlmittel 7 eingenommenen Volumens V1 gilt

$$\dot{V}1 = F1 - F \quad (4)$$

[0058] Für die im Luftvolumen V2 enthaltene Luftmenge M gilt

$$M = p \cdot V2 \quad (5)$$

[0059] Hierbei wird angenommen, dass die Temperatur der Luft konstant ist. Falls die Temperatur variabel ist, gestaltet sich die Rechnung zwar etwas komplexer, bleibt aber prinzipiell ähnlich.

[0060] Durch den Zusatzstrom F2 wird im Pufferbereich 12 eine Änderung der Luftmenge M und damit des Luftvolumens V2 und/oder des Druckes p bewirkt. Es gilt somit

$$\dot{M} = \dot{p} \cdot V2 + p \cdot \dot{V}2 = \frac{\dot{p}}{p} \cdot M - p \cdot (F1 - F) \quad (6)$$

[0061] Durch Einsetzen von Gleichung (1) und Gleichung (3) kann somit als resultierende Gleichung für die zeitliche Änderung der Luftmenge M folgende Beziehung ermittelt werden:

$$\dot{M} = \frac{\dot{p}}{p} \cdot M + p \cdot \left(\sqrt{\frac{p}{p0}} \cdot F0 - \sqrt{\frac{p1 - p}{p0}} \cdot FR \cdot f(x) \right) \quad (7)$$

[0062] Der Steuereinrichtung 13 ist weiterhin die Kennlinie K der Turbine bekannt. Die Kennlinie K setzt die Drehzahl n der Turbine, die Druckdifferenz δp eingangsseitig und ausgangsseitig der Turbine und die pro Zeiteinheit geförderte Luftmenge, also die zeitliche Ableitung der Luftmenge M, miteinander in Bezug. Bei Vorgabe von zwei der drei Größen Drehzahl n der Turbine - Druckdifferenz δp - zeitliche Ableitung der Luftmenge M ist die jeweils dritte Größe anhand der Kennlinie K bestimmt. Die Kennlinie K kann beispielsweise durch Messung oder anhand eines Datenblatts des Herstellers der Turbine ermittelt werden. Es kann also eine Funktion angegeben werden, mittels derer bei gegebener Druckdifferenz δp und gegebener zeitlicher Ableitung der Luftmenge M die zugehörige Drehzahl n der Turbine ermittelt werden kann. Die erforderliche Druckdifferenz δp ergibt sich direkt durch den gewünschten Soll-Strom F*. Mit der zeitlichen Ableitung der Luftmenge M ist auch der Zusatzstrom F2 bestimmt.

[0063] Somit ist im Ergebnis die Drehzahl n der Turbine durch folgende Beziehung bestimmt:

$$n = K \left(p, \frac{\dot{p}}{p} \cdot M + p \cdot \left(\sqrt{\frac{p}{p0}} \cdot F0 - \sqrt{\frac{p1 - p}{p0}} \cdot FR \cdot f(x) \right) \right) \quad (8)$$

[0064] Diese Gleichung ist ausschließlich vom Druck p im Pufferbereich 12, der Stellung x des Regelventils 10, der

momentanen Luftmenge M und der zeitlichen Ableitung des Druckes p im Pufferbereich 12 abhängig. Die übrigen Größen sind lediglich konstante Parameter. Die Luftmenge M ist eine Zustandsgröße, die leicht mittels eines Beobachters ermittelt werden kann. Dazu muss lediglich die Gleichung (7) mit einem geeigneten Anfangswert gelöst werden.

[0065] Beobachter sind im Stand der Technik hinreichend bekannt. Rein beispielhaft wird auf das Fachbuch "Systemtheorie - eine Einführung" von R. Unbehauen, Band 1, Springer Verlag Berlin, Heidelberg verwiesen. Die anderen variablen Größen sind leicht messbar bzw. - im Falle der zeitlichen Ableitung des Druckes p - anhand des gemessenen Druckes p ohne weiteres ableitbar.

[0066] Der Druck p im Pufferbereich 12 und damit im Ergebnis der Kühlstrom F können daher so schnell eingestellt werden, wie die Drehzahl n der Turbine eingestellt werden kann. Die Einstellung der Drehzahl der Turbine ist jedoch mit einer Genauigkeit von 1 % und besser mit einer Zeit konstante von 0, 2 s und besser möglich.

[0067] Es muss lediglich noch beachtet werden, dass das Volumen V_1 des Kühlmittels 7 im Pufferbereich 12 innerhalb der zulässigen Grenzen bleibt. Dies ist jedoch ohne weiteres realisierbar. Es muss lediglich die Stellung x des Regelventils 10 ständig entsprechend nachgeführt werden, so dass das Volumen V_1 gegen einen vorgegebenen Sollwert strebt. Entsprechende Regler sind allgemein bekannt. Der Regler kann - beispielsweise - als P-Regler, als PI-Regler oder als Zustandsregler ausgebildet sein, alle jeweils mit oder ohne Vorsteuerung. Auch eine Implementierung als Zweipunktregler ist möglich.

[0068] Bei der Ausgestaltung gemäß FIG 4 entnimmt die aktive Einrichtung 16 die Luft schlichtweg aus der Umgebung bzw. gibt sie an die Umgebung ab. Alternativ ist es entsprechend der Darstellung in FIG 5 möglich, dass die aktive Einrichtung 16 die Luft aus einer Speichereinrichtung 19 entnimmt und in die Speichereinrichtung 19 abgibt. Im übrigen stimmt die Ausgestaltung von FIG 5 mit der Ausgestaltung von FIG 4 überein. Die Ausgestaltung von FIG 5 weist gegenüber der Ausgestaltung von FIG 4 den Vorteil auf, dass die Luft in der Speichereinrichtung 19 unter einem Druck p' stehen kann. Der Druck p' wird vorzugsweise derart gewählt, dass er zwischen 0 und einem Maximaldruck liegt, wobei der Maximaldruck derjenige Druck ist, bei welchem die Aufbringeinrichtung 6 maximal betrieben.

[0069] Sofern die Speichereinrichtung 19 groß genug dimensioniert ist, ist es möglich, dass der Druck p' näherungsweise konstant ist. In diesem Fall sollte der Druck p' in etwa bei der Hälfte des Maximaldrucks liegen. Ist die Speichereinrichtung 19 kleiner dimensioniert, verringert sich der Druck p' in der Speichereinrichtung 19 entsprechend der entnommenen Luftmenge und erhöht sich wieder entsprechend der zugeführten Luftmenge. Dies kann durchaus von Vorteil sein, da ein Druckanstieg in der Speichereinrichtung 19 einer zu starken Verringerung des Luftvolumens V_2 im Pufferbereich 12 entgegenwirkt und umgekehrt.

[0070] Alternativ ist es entsprechend der Darstellung in FIG 5 möglich, dass die Steuereinrichtung 13 den Druck p' über eine Steuerleitung 20, die mit der Speichereinrichtung 19 verbunden ist, einstellt. Die Steuereinrichtung 13 kann in diesem Fall insbesondere den Druck p' in Abhängigkeit von dem Soll-Strom F^* oder dem Druck p nachführen. Beispielsweise kann die Steuereinrichtung 13 Ventile 21, 22 mit entsprechenden Steuersignalen S_3^* , S_4^* ansteuern, so dass - je nach Ansteuerung der Ventile 21, 22 - der Speichereinrichtung 19 nach Bedarf Druckluft zugeführt wird oder Luft aus der Speichereinrichtung 19 in die Umgebung abgelassen wird.

[0071] Aufgrund des Druckes p' ändert sich die Ansteuerung der Turbine, da es beim vorderen Argument der Kennlinie K auf die Druckdifferenz δp ankommt. Im übrigen bleibt die Herleitung der erforderlichen Drehzahl n der Turbine unverändert. Es ist also lediglich erforderlich, die Drehzahl n der Turbine anhand folgender Beziehung zu ermitteln:

$$n = K \left(p - p', \frac{\dot{p}}{p} \cdot M + p \cdot \left(\sqrt{\frac{p}{p_0}} \cdot F_0 - \sqrt{\frac{p_1 - p}{p_0}} \cdot F_R \cdot f(x) \right) \right) \quad (9)$$

[0072] Die Ausgestaltung von FIG 5 bietet gegenüber der Ausgestaltung von FIG 4 verschiedene Vorteile. Zum einen wird die Turbine immer in einer sauberen Luftumgebung betrieben. Zum anderen kann der Energieverbrauch der Turbine reduziert werden, indem man den Druck p' nach Bedarf einstellt. Dies kann insbesondere dann sinnvoll sein, wenn der Kühlstrom F und damit der erforderliche Druck p im Pufferbereich 12 für längere Zeit konstant bleibt oder zumindest im Wesentlichen konstant bleibt.

[0073] Sowohl bei der Ausgestaltung gemäß FIG 4 als auch bei der Ausgestaltung gemäß FIG 5 muss das Kühlmittel 7 der Aufbringeinrichtung 6 relativ weit unten entnommen werden, da sich - selbstverständlich - das Luftvolumen V_2 im oberen Bereich und das Volumen V_1 an Kühlmittel 7 im unteren Bereich des Pufferbereichs 12 befindet. Dies ist jedoch ohne weiteres möglich.

[0074] Die Ausgestaltung der FIG 4 und 5 ist insbesondere bei einer Laminarkühlstrecke sinnvoll. Prinzipiell ist sie aber auch bei einer Intensivkühlung realisierbar.

[0075] Die Ausgestaltung von FIG 6 korrespondiert über weite Strecken mit der von FIG 5. Auch bei der Ausgestaltung von FIG 6 ist die aktive Einrichtung 16 vorzugsweise eine das weitere Medium 18 aktiv fördernde Einrichtung. Bei der Ausgestaltung von FIG 6 ist das weitere Medium 18 jedoch nicht Luft, sondern Wasser (bzw. allgemein das Kühlmittel

7) . Die aktive Einrichtung 16 ist daher eine Pumpe. Die Pumpe wird - analog zur Turbine der FIG 4 und 5 - von einem elektrischen Antrieb angetrieben. Beispielsweise kann der Antrieb umrichter gesteuert sein. Ein elektrischer Antrieb kann typischerweise mit einer Zeitkonstante von 0,1 s von 0 auf Maximaldrehzahl beschleunigt und umgekehrt auch mit einer Zeitkonstante von 0,1 Sekunden von der Maximaldrehzahl auf 0 verzögert werden. Dadurch kann mittels der Pumpe - je nach Drehzahl und Drehrichtung - nach Bedarf in hochdynamischer Art und Weise zusätzlich zu dem über die Versorgungsleitung 8 zugeführten Basisstrom F1 dem Pufferbereich 12 zusätzliches Wasser zugeführt werden oder ein Teil des über die Versorgungsleitung 8 zugeführten Basisstromes F1 dem Pufferbereich 12 entnommen werden. Der Kühlstrom F ergibt sich in diesem Fall direkt als Summe von Basisstrom F1 und Zusatzstrom F2, wobei letzterer je nach Ansteuerung der Pumpe positiv oder negativ sein kann.

[0076] Vorzugsweise steht auch bei der Ausgestaltung gemäß FIG 6 das weitere Medium in der Speichereinrichtung 19 unter Druck p'. Weiterhin stellt vorzugsweise auch bei der Ausgestaltung gemäß FIG 6 die Steuereinrichtung 13 den Druck p' über eine mit der Speichereinrichtung 19 verbundene Steuerleitung 20 ein. Über die Steuerleitung 20 wird der Speichereinrichtung 19 vorzugsweise Druckluft zugeführt oder Luft aus der Speichereinrichtung 19 abgelassen. Die Steuereinrichtung 13 kann den Druck p' ebenso wie bei der Ausgestaltung gemäß FIG 5 in Abhängigkeit von dem Druck p nachführen.

[0077] Den Soll-Ansteuerzustand S2* für die Pumpe kann die Steuereinrichtung 13 beispielsweise wie folgt ermitteln: Wie zuvor kann gemäß Gleichung (1) der Druck p ermittelt werden, der erforderlich ist, damit der Kühlstrom F gleich dem Soll-Strom F* ist. Der Basisstrom F1 gehorcht ebenfalls weiterhin Gleichung (3). Da im Falle der Ausgestaltung gemäß FIG 6 der Pufferbereich 12 jedoch stets vollständig mit Kühlmittel 7 bzw. Wasser (= weiteres Medium 18) gefüllt ist, gilt jederzeit, dass die Summe von Basisstrom F1 und Zusatzstrom F2 gleich dem Kühlstrom F ist. Um den Kühlstrom F auf den Soll-Strom F* einzustellen, muss daher jederzeit die Beziehung

$$F2 = F^* - F1 \quad (10)$$

eingehalten werden.

[0078] Analog zu den obigen Ausführungen zur Kennlinie K der Turbine existiert eine ähnliche Kennlinie K für die Pumpe. Es wird lediglich die zeitliche Änderung der Luftmenge durch den geförderten Volumenstrom ersetzt, also den Zusatzstrom F2. Mit dem bekannten Druck p im Pufferbereich 12, dem Druck p' im Speicherbereich 19 und dem erforderlichen Zusatzstrom F2 kann daher sofort gemäß der Beziehung

$$n = K \left(p - p', \sqrt{\frac{p}{p0}} \cdot F0 - \sqrt{\frac{p1 - p}{p0}} \cdot FR \cdot f(x) \right) \quad (11)$$

die erforderliche Drehzahl n der Pumpe ermittelt werden.

[0079] Analog zu den Ausgestaltungen der FIG 4 und 5 muss darauf geachtet werden, dass der Basisstrom F1 im zeitlichen Mittel mit dem Kühlstrom F korrespondiert. Die Vorgehensweise kann analog zu den Ausgestaltungen der FIG 4 und 5 realisiert sein.

[0080] Die Ausgestaltung von FIG 6 ist insbesondere bei einer Intensivkühlung sinnvoll. Prinzipiell ist sie aber auch bei einer Laminarkühlstrecke realisierbar.

[0081] Sowohl bei den Ausgestaltungen der FIG 4 und 5 als auch bei der Ausgestaltung von FIG 6 ist es sinnvoll, die Stellung x des Regelventils 10 tatsächlich zu messen. Dies ist ohne weiteres möglich. Auch ist es sinnvoll und einfach realisierbar, den Druck p im Pufferbereich 12 zu messen. Für den Druck p' in der Speichereinrichtung 19 ist eine Messung möglich, aber nicht erforderlich. Bei den Ausgestaltungen der FIG 4 und 5 ist es weiterhin sinnvoll, auch die Menge an Kühlmittel 7 im Pufferbereich 12 zu messen. Außer den bereits erwähnten Möglichkeiten kann man auch direkt den Füllstand messen, beispielsweise mit einem Schwimmer, einem Ultraschallgeber oder einem kapazitiven Sensor. Auf analoge Weise kann im Falle der Ausgestaltung von FIG 6 die Wassermenge im Speicherbereich 19 gemessen werden. Die geförderten Ströme - also der Basisstrom F1, der Zusatzstrom F2 und der Kühlstrom F - werden in der Regel nicht gemessen, auch wenn dies natürlich prinzipiell möglich ist.

[0082] Sowohl bei den Ausgestaltungen der FIG 4 und 5 als auch bei der Ausgestaltung von FIG 6 ist es möglich, dass der Soll-Strom F* der Steuereinrichtung 13 direkt und unmittelbar vorgegeben wird. Vorzugsweise ist der Steuereinrichtung 11 jedoch der thermodynamische Energiezustand H des Walzguts 1 unmittelbar vor Erreichen der Aufbringeinrichtung 6 bekannt. Bei dem thermodynamischen Energiezustand H kann es sich insbesondere um die Enthalpie oder die Temperatur eines jeweiligen Abschnitts des Walzguts 1 handeln. In diesem Fall ermittelt die Steuereinrichtung 13 zunächst in Abhängigkeit von dem thermodynamischen Energiezustand H den Soll-Strom F* und sodann anhand

des Soll-Stroms F^* zumindest den zugehörigen Soll-Ansteuerzustand $S2^*$, gegebenenfalls auch den zugehörigen Soll-Ansteuerzustand $S1^*$. Insbesondere ist es möglich, dass der Steuereinrichtung 13 ein örtlicher oder zeitlicher Soll-Verlauf des thermodynamischen Energiezustands H vorgegeben wird, der nach Möglichkeit eingehalten werden soll. Die Steuereinrichtung 13 kann daher ermitteln, welcher thermodynamische Energiezustand H unmittelbar hinter der Aufbringeinrichtung 6 vorliegen soll. Durch Vergleich mit dem tatsächlichen thermodynamischen Energiezustand H unmittelbar vor der Aufbringeinrichtung 6 kann die Steuereinrichtung 13 daher ermitteln, welche Menge an Kühlmittel 7 auf den entsprechenden Abschnitt des Walzguts 1 aufgebracht werden muss, damit der tatsächliche thermodynamische Energiezustand H unmittelbar hinter der Aufbringeinrichtung 6 dem gewünschten Sollzustand möglichst gut entspricht. Die erforderliche Menge an Kühlmittel 7 definiert dann in Verbindung mit der Zeit, welche der entsprechende Abschnitt des Walzguts 1 zum Durchlaufen der Aufbringeinrichtung 6 benötigt, den Soll-Strom F^* .

[0083] Der thermodynamische Energiezustand H des entsprechenden Abschnitts des Walzguts 1 variiert von Aufbringeinrichtung 6 zu Aufbringeinrichtung 6. Insbesondere wird er durch jede der Aufbringeinrichtungen 6 geändert. Für die Aufbringeinrichtung 6, welche ihren Anteil an Kühlmittel 7 zuerst auf das Walzgut 1 aufbringt, kann der thermodynamische Energiezustand H der Steuereinrichtung 13 als solcher vorgegeben sein. Beispielsweise kann entsprechend der Darstellung in FIG 1 eingangsseitig der Kühlstrecke 2 ein Temperaturmessplatz 23 angeordnet sein, mittels dessen für die einzelnen Abschnitte des Walzguts 1 jeweils die Temperatur bzw. allgemein der Energiezustand H erfasst wird. Der erfasste Energiezustand H wird dann dem jeweiligen Abschnitt zugeordnet.

[0084] Für jeden Abschnitt wird während seines Durchlaufs durch die Kühlstrecke 2 eine Wegverfolgung implementiert. Für jede weitere Aufbringeinrichtung 6, die ihren Anteil an Kühlmittel 7 später aufbringt, muss jedoch der entsprechende thermodynamische Energiezustand H des Walzguts 1 (bzw. des entsprechenden Abschnitts des Walzguts 1) fortgeschrieben werden. Hierbei berücksichtigt die Steuereinrichtung 13 insbesondere den thermodynamischen Energiezustand H unmittelbar vor der unmittelbar vorhergehenden Aufbringeinrichtung 6 und die Menge an Kühlmittel 7, welche die unmittelbar vorhergehende Aufbringeinrichtung 6 auf das Walzgut 1 aufbringt. Bezüglich der Menge an Kühlmittel 7 kann die Steuereinrichtung 13 alternativ den Soll-Strom F^* oder den Kühlstrom F der unmittelbar vorhergehenden Aufbringeinrichtung 6 berücksichtigen. Sie ermittelt also sequenziell nacheinander für die Aufbringeinrichtungen 6 jeweils den thermodynamischen Energiezustand H des Walzguts 1. Soweit erforderlich, kann die Steuereinrichtung 13 in diesem Zusammenhang eine Wärmeleitungsgleichung und eine Phasenumwandlungsgleichung ansetzen und iterativ lösen.

[0085] In vielen Fällen ist das Walzgut 1 ein flaches Walzgut, beispielsweise ein Band oder ein Grobblech. In diesem Fall ist es möglich, dass das flüssige Kühlmittel 7 mittels jeder einzelnen Aufbringeinrichtung 6 von beiden Seiten auf das Walzgut 1 aufgebracht wird. Diese Vorgehensweise wird oftmals bei einer Kühlstrecke 2 ergriffen, die der Walzstraße vorgeordnet oder in der Walzstraße angeordnet ist. Sie kann aber auch ergriffen werden, wenn die Kühlstrecke 2 der Walzstraße nachgeordnet ist. Insbesondere wenn die Kühlstrecke 2 der Walzstraße nachgeordnet ist, wird das flüssige Kühlmittel 7 jedoch in der Regel mittels jeder einzelnen Aufbringeinrichtung 6 nur von einer Seite auf das Walzgut 1 aufgebracht, insbesondere von oben oder von unten. Selbstverständlich ist es auch in diesem Fall möglich, auf beide Seiten des flachen Walzguts 1 Kühlmittel 7 aufzubringen. In diesem Fall erfolgt dies jedoch durch voneinander verschiedene Aufbringeinrichtungen 6.

[0086] Im Extremfall ist es möglich, dass die Aufbringeinrichtungen 6 jeweils nur eine einzige Spritzdüse aufweisen. In der Regel weisen die Aufbringeinrichtungen 6 jedoch jeweils mehrere Spritzdüsen auf. Die Spritzdüsen können in Transportrichtung x des Walzguts 1 gesehen hintereinander angeordnet sein. Die Spritzdüsen können beispielsweise innerhalb eines einzelnen Spritzbalkens hintereinander angeordnet sein. Es können auch mehrere in Transportrichtung x hintereinander angeordnete Spritzbalken zu einer (1) Aufbringeinrichtung 6 zusammengefasst sein. Dies gilt unabhängig davon, ob der jeweilige Spritzbalken als solcher mehrere hintereinander angeordnete Spritzdüsen aufweist oder nicht.

[0087] Die Aufbringeinrichtungen 6 können weiterhin alternativ oder zusätzlich zu einer Anordnung von Spritzdüsen hintereinander mehrere Spritzdüsen aufweisen, die quer zur Transportrichtung x des Walzguts 1 gesehen nebeneinander angeordnet sind. Eine derartige Ausgestaltung kann insbesondere bei einem flachen Walzgut 1 sinnvoll sein, also bei einem Band oder einem Grobblech. Die Aufbringeinrichtungen 6 können sich in diesem Fall über die volle Breite des Walzguts 1 erstrecken. Alternativ ist es möglich, dass die Aufbringeinrichtungen 6 sich nur über einen Teil der Breite erstrecken. In diesem Fall sind also nebeneinander mehrere Aufbringeinrichtungen 6 angeordnet, die über jeweils eine eigene Versorgungsleitung 8 und eine eigenes Regelventil 10 mit Kühlmittel 7 versorgt werden.

[0088] Die gesamten, obenstehend in Verbindung mit einer der Aufbringeinrichtungen 6 und deren zugehörigen Komponenten erläuterten Vorgehensweisen können in völlig analoger Art und Weise auch für die anderen Aufbringeinrichtungen 6 ausgeführt werden. Die genannte Vorgehensweise wird weiterhin, wie bereits erwähnt, jeweils für einen Abschnitt des Walzguts 1 durchgeführt.

[0089] Die vorliegende Erfindung weist viele Vorteile auf. Insbesondere ist eine hochdynamische Einstellung der Kühlströme F möglich. Als Totzeit der Aufbringeinrichtungen 6 treten lediglich noch die in der Regel sehr kleinen Zeiten auf, die das Kühlmittel 7 benötigt, um - gerechnet ab dem Austreten aus der jeweiligen Aufbringeinrichtung 6 - auf das Walzgut 1 aufzutreffen. Ein Abschalten des Kühlstroms F ist im Bereich von wenigen Zehntelsekunden (oftmals unter

0,2 s, manchmal sogar unter 0,1 s) möglich. Gleiches gilt bei einem Hochfahren des Kühlstroms F. Die Antriebe für die aktiven Einrichtungen 16 können sehr genau gesteuert werden. Eine übliche Genauigkeit der Drehzahl n liegt im Bereich von 0, 1 %. Mit der gleichen oder einer ähnlichen Genauigkeit lässt sich auch der Kühlstrom F für die jeweilige Aufbringeinrichtung 6 einstellen. Unter Berücksichtigung des Ansprechverhaltens der Antriebe 12 dürfte aller Wahrscheinlichkeit nach ein Nachführen des Kühlstroms F mit 1 % Genauigkeit in weniger als 0, 5 s erreicht werden können, möglicherweise sogar in 0,2 s bis 0,3 s. Der Verschleiß an Turbinen, Pumpen und Antrieben ist gering. Typische Standzeiten für Pumpenlager liegen beispielsweise bei 100.000 Stunden und mehr. Ähnliche Werte gelten für die Lager von Turbinen. Weiterhin werden Druckschläge vermieden, da zwar der jeweilige Kühlstrom F sehr schnell reduziert wird, nicht aber der jeweilige Basisstrom F1. Deshalb können bei einer Laminarkühlstrecke kostengünstige Regelklappen eingesetzt werden. Insbesondere bei einer Vorbandkühlung ist es weiterhin sogar möglich, die sogenannten Schienenstellen im Vorband gezielt anders zu kühlen als das übrige Vorband. Dies ist im Stand der Technik mangels entsprechender Dynamik nicht möglich. Aber auch bei normalen Kühlstrecken ergeben sich geringere Verzögerungszeiten und damit eine genauere Temperaturführung des Walzguts 1.

[0090] Wird eine Laminarkühlstrecke mit erfindungsgemäßen Aufbringeinrichtungen 6 versehen, so ist bei der "Luftversion" (FIG 4 und 5) typischerweise eine Turbine mit einer Leistung von jeweils etwa 2 kW erforderlich. Bei einer Intensivkühlung oder einer Vorbandkühlung wird vorzugsweise die "Wasserversion" (FIG 6) eingesetzt. Die benötigte Leistung für die Pumpe liegt typischerweise bei etwa 25 kW.

[0091] Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Varianten können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

[0092]

1	Walzgut
2	Kühlstrecke
3 bis 5	Walzgerüste
6	Aufbringeinrichtungen
7	Kühlmittel
8, 17	Versorgungsleitungen
9	Reservoir
10	Regelventile
11	Pumpe
12	Pufferbereich
13	Steuereinrichtung
14	Computerprogramm
15	Maschinencode
16	aktive Einrichtung
18	weiteres Medium
19	Speichereinrichtung
20	Steuerleitung
21, 22	Ventile
23	Temperaturmessplatz
F	Kühlstrom
F1	Basisstrom
F2	Zusatzstrom
F*	Soll-Strom
p, p'	Drücke
S1*, S2*	Soll-Ansteuerzustände
S3*, S4*	Steuersignale
x	Transportrichtung

Patentansprüche

1. Betriebsverfahren für eine Kühlstrecke (2), die innerhalb einer Walzstraße angeordnet ist oder der Walzstraße vor-

oder nachgeordnet ist und mittels derer ein heißes Walzgut (1) aus Metall gekühlt wird,

- wobei eine Steuereinrichtung (13) der Kühlstrecke (2) dynamisch einen jeweiligen Soll-Ansteuerzustand (S1*) für ein in einer jeweiligen Versorgungsleitung (8) angeordnetes jeweiliges Regelventil (10) ermittelt und das jeweilige Regelventil (10) entsprechend ansteuert,
- wobei einer Anzahl von Aufbringeinrichtungen (6) der Kühlstrecke (2) über die jeweilige Versorgungsleitung (8) entsprechend der Ansteuerung des jeweiligen Regelventils (10) durch die Steuereinrichtung (13) ein jeweiliger Basisstrom (F1) eines flüssigen, auf Wasser basierenden Kühlmittels (7) zugeführt wird,
- wobei die jeweilige Versorgungsleitung (8) den jeweiligen Basisstrom (F1) einem jeweiligen Pufferbereich (12) der jeweiligen Aufbringeinrichtung (6) zuführt, von dem ausgehend mittels der jeweiligen Aufbringeinrichtung (6) ein jeweiliger Kühlstrom (F) des Kühlmittels (7) auf das heiße Walzgut (1) aufgebracht wird,

dadurch gekennzeichnet,

- **dass** die Steuereinrichtung (13) zusätzlich dynamisch einen jeweiligen weiteren Soll-Ansteuerzustand (S2*) für eine jeweilige aktive Einrichtung (16) ermittelt und die jeweilige aktive Einrichtung (16) entsprechend ansteuert,
- **dass** die jeweilige aktive Einrichtung (16) dem jeweiligen Pufferbereich (12) entsprechend der Ansteuerung der jeweiligen aktiven Einrichtung (16) durch die Steuereinrichtung (13) über eine jeweilige weitere Versorgungsleitung (17) einen jeweiligen Zusatzstrom (F2) eines weiteren Mediums (18) zuführt,
- **dass** der jeweilige Kühlstrom (F) sowohl von dem das jeweilige Regelventil (10) durchströmenden jeweiligen Basisstrom (F1) als auch von dem über die jeweilige aktive Einrichtung (16) strömenden jeweiligen Zusatzstrom (F2) abhängt,
- **dass** der jeweilige Zusatzstrom (F2) je nach dem jeweiligen weiteren Ansteuerzustand (S2*) der jeweiligen aktiven Einrichtung (16) positiv oder negativ ist und
- **dass** die Steuereinrichtung (13) den jeweiligen Zusatzstrom (F2) durch die entsprechende Ansteuerung der jeweiligen aktiven Einrichtung (16) derart einstellt, dass der jeweilige Kühlstrom (F) einem mittels der jeweiligen Aufbringeinrichtung (6) auf das heiße Walzgut (1) aufzubringenden jeweiligen Soll-Strom (F*) des Kühlmittels (7) jederzeit so weit wie möglich angenähert wird.

2. Betriebsverfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass die jeweilige aktive Einrichtung (16) eine das weitere Medium (18) aktiv fördernde Einrichtung ist.

3. Betriebsverfahren nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet,

dass das weitere Medium (18) Luft oder Wasser ist.

4. Betriebsverfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3,

dadurch gekennzeichnet,

dass das weitere Medium (18) einer jeweiligen Speichereinrichtung (19) entnommen wird.

5. Betriebsverfahren nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet,

dass das weitere Medium (18) in der jeweiligen Speichereinrichtung (19) unter einem jeweiligen Druck (p') steht.

6. Betriebsverfahren nach Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet,

dass der jeweilige Druck (p') in der jeweiligen Speichereinrichtung (19) über eine mit der jeweiligen Speichereinrichtung (19) verbundene jeweilige Steuerleitung (20) eingestellt wird.

7. Betriebsverfahren nach Anspruch 5 oder 6,

dadurch gekennzeichnet,

dass der jeweilige Druck (p') in der jeweiligen Speichereinrichtung (19) in Abhängigkeit von dem Soll-Strom (F*) oder einem in dem jeweiligen Pufferbereich (12) herrschenden jeweiligen Druck (p) nachgeführt wird.

8. Steuereinrichtung für eine Kühlstrecke (2), die innerhalb einer Walzstraße angeordnet ist oder der Walzstraße vor- oder nachgeordnet ist und mittels derer ein heißes Walzgut (1) aus Metall gekühlt wird, wobei die Steuereinrichtung

für eine Anzahl von Aufbringeinrichtungen (6) der Kühlstrecke (2) dynamisch einen jeweiligen Soll-Ansteuerzustand (S1*) für ein in einer jeweiligen Versorgungsleitung (8) angeordnetes jeweiliges Regelventil (10) ermittelt und das jeweilige Regelventil (10) entsprechend ansteuert, so dass einem jeweiligen Pufferbereich (12) der jeweiligen Aufbringeinrichtung (6) entsprechend der Ansteuerung des jeweiligen Regelventils (10) durch die Steuereinrichtung (13) über die jeweilige Versorgungsleitung (8) ein jeweiliger Basisstrom (F1) eines flüssigen, auf Wasser basierenden Kühlmittels (7) zugeführt wird,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** die Steuereinrichtung zusätzlich dynamisch einen jeweiligen weiteren Soll-Ansteuerzustand (S2*) für eine jeweilige aktive Einrichtung (16) ermittelt und die jeweilige aktive Einrichtung (16) entsprechend ansteuert, so dass die jeweilige aktive Einrichtung (16) entsprechend der Ansteuerung der jeweiligen aktiven Einrichtung (16) durch die Steuereinrichtung (13) dem jeweiligen Pufferbereich (12) über eine jeweilige weitere Versorgungsleitung (17) einen jeweiligen Zusatzstrom (F2) eines weiteren Mediums (18) zuführt,
- **dass** ein von dem jeweiligen Pufferbereich (12) ausgehender und mittels der jeweiligen Aufbringeinrichtung (6) auf das heiße Walzgut (1) aufgebracht der jeweilige Kühlstrom (F) des Kühlmittels (7) sowohl von dem das jeweilige Regelventil (10) durchströmenden jeweiligen Basisstrom (F1) als auch von dem über die jeweilige aktive Einrichtung (16) strömenden jeweiligen Zusatzstrom (F2) abhängt und
- **dass** die Steuereinrichtung den jeweiligen Zusatzstrom (F2) derart auf positive und negative Werte einstellt, dass der jeweilige Kühlstrom (F) einem mittels der jeweiligen Aufbringeinrichtung (6) auf das heiße Walzgut (1) aufzubringenden jeweiligen Soll-Strom (F*) jederzeit so weit wie möglich angenähert wird.

9. Steuereinrichtung nach Anspruch 8,

dadurch gekennzeichnet,

dass das weitere Medium (18) einer jeweiligen Speichereinrichtung (19) entnommen wird, dass das weitere Medium (18) in der jeweiligen Speichereinrichtung (19) unter einem jeweiligen Druck (p') steht und dass die Steuereinrichtung den jeweiligen Druck (p') in der jeweiligen Speichereinrichtung (19) über eine mit der jeweiligen Speichereinrichtung (19) verbundene jeweilige Steuerleitung (20) einstellt.

10. Steuereinrichtung nach Anspruch 9,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Steuereinrichtung den Druck (p') in der jeweiligen Speichereinrichtung (19) in Abhängigkeit von dem Soll-Strom (F*) oder einem in dem jeweiligen Pufferbereich (12) herrschenden Druck (p) nachführt.

11. Steuereinrichtung nach Anspruch 8, 9 oder 10,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Steuereinrichtung als softwareprogrammierbare Einrichtung ausgebildet ist, die mit einem Computerprogramm (14) programmiert ist, das Maschinencode (15) umfasst, der von der Steuereinrichtung abarbeitbar ist, und dass die Abarbeitung des Maschinencodes (15) durch die Steuereinrichtung die entsprechende Ermittlung des jeweiligen Soll-Ansteuerzustands (S1*) für das jeweilige Regelventil (10) und des jeweiligen weiteren Soll-Ansteuerzustands (S2*) für die jeweilige aktive Einrichtung (16) sowie die entsprechende Ansteuerung des jeweiligen Regelventils (10) und der jeweiligen aktiven Einrichtung (16) bewirkt.

12. Computerprogramm, das Maschinencode (15) umfasst, der von einer softwareprogrammierbaren Steuereinrichtung (13) für eine Kühlstrecke abarbeitbar ist, wobei die Abarbeitung des Maschinencodes (15) durch die Steuereinrichtung (13) bewirkt, dass die Steuereinrichtung (13) entsprechend Anspruch 8 den jeweiligen Soll-Ansteuerzustand (S1*) für das jeweilige Regelventil (10) und den jeweiligen weiteren Soll-Ansteuerzustand (S2*) für die jeweilige aktive Einrichtung (16) ermittelt und das jeweilige Regelventil (10) und die jeweilige aktive Einrichtung (16) entsprechend ansteuert.

13. Kühlstrecke,

- wobei die Kühlstrecke innerhalb einer Walzstraße angeordnet ist oder der Walzstraße vor- oder nachgeordnet ist,
- wobei mittels der Kühlstrecke ein heißes Walzgut (1) aus Metall gekühlt wird,
- wobei die Kühlstrecke eine Anzahl von Aufbringeinrichtungen (6) aufweist, die über eine jeweilige Versorgungsleitung (8) mit einer Quelle (9) für ein flüssiges, auf Wasser basierendes Kühlmittel (7) verbunden sind,
- wobei in der jeweiligen Versorgungsleitung (8) ein jeweiliges Regelventil (10) angeordnet ist,
- wobei die Aufbringeinrichtungen (6) einen jeweiligen Pufferbereich (12) aufweisen, der mit der jeweiligen

Versorgungsleitung (8) verbunden ist, so dass die jeweilige Versorgungsleitung (8) dem jeweiligen Pufferbereich (12) der jeweiligen Aufbringeinrichtung (6) einen jeweiligen Basisstrom (F1) des Kühlmittels (7) zuführt und ausgehend von dem jeweiligen Pufferbereich (12) mittels der jeweiligen Aufbringeinrichtung (6) ein jeweiliger Kühlstrom (F) des Kühlmittels (7) auf das heiße Walzgut (1) aufgebracht wird,

- wobei die Kühlstrecke eine Steuereinrichtung (13) aufweist, welche das jeweilige Regelventil (10) steuert,

dadurch gekennzeichnet,

- **dass** dem jeweiligen Pufferbereich (12) eine jeweilige aktive Einrichtung (16) zugeordnet ist, mittels derer dem Pufferbereich (12) über eine weitere Versorgungsleitung (17) ein Zusatzstrom (F2) eines weiteren Mediums (18) zuführbar ist, so dass der jeweilige Kühlstrom (F) sowohl von dem das jeweilige Regelventil (10) durchströmenden Basisstrom (F1) als auch von dem über die jeweilige aktive Einrichtung (16) strömenden jeweiligen Zusatzstrom (F2) abhängt, und

- **dass** die Kühlstrecke eine Steuereinrichtung (13) nach einem der Ansprüche 8 bis 11 aufweist, welche nicht nur das jeweilige Regelventil, sondern zusätzlich auch die jeweilige aktive Einrichtung (16) steuert.

14. Kühlstrecke nach Anspruch 13,

dadurch gekennzeichnet,

dass die jeweilige aktive Einrichtung (16) eine das weitere Medium aktiv fördernde Einrichtung ist.

15. Kühlstrecke nach Anspruch 14,

dadurch gekennzeichnet,

dass das weitere Medium (18) Luft oder Wasser ist.

16. Kühlstrecke nach Anspruch 13, 14 oder 15,

dadurch gekennzeichnet,

dass das weitere Medium (18) einer jeweiligen Speichereinrichtung (19) entnommen wird.

17. Kühlstrecke nach Anspruch 16,

dadurch gekennzeichnet,

dass das weitere Medium (18) in der jeweiligen Speichereinrichtung (19) unter einem jeweiligen Druck (p') steht.

FIG 1

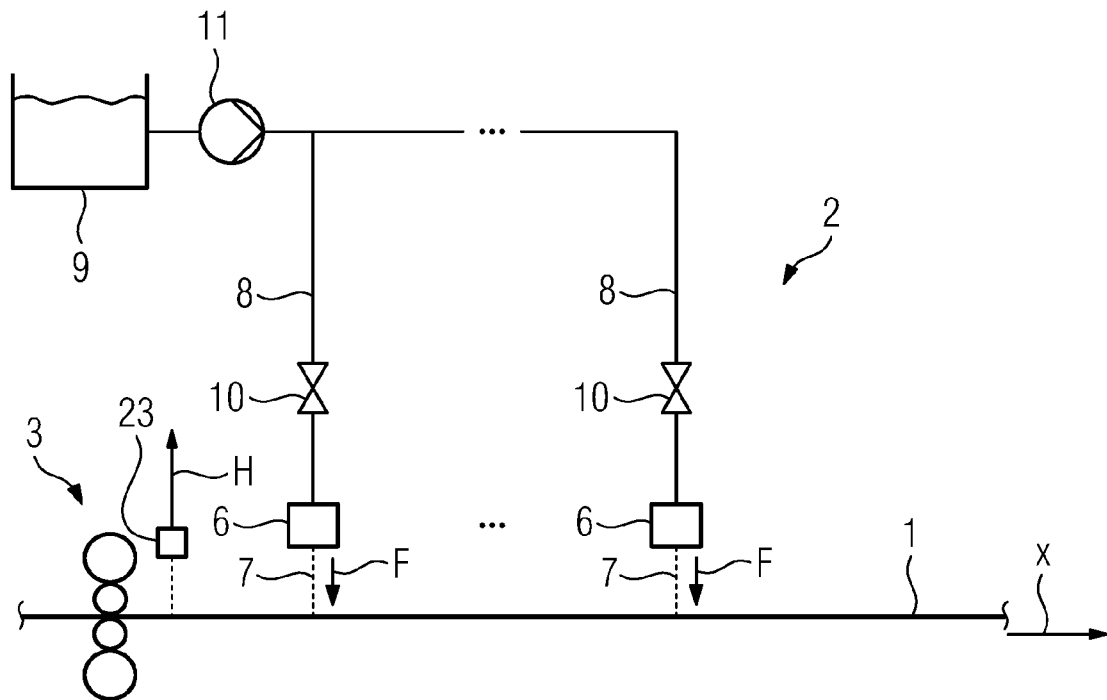


FIG 2

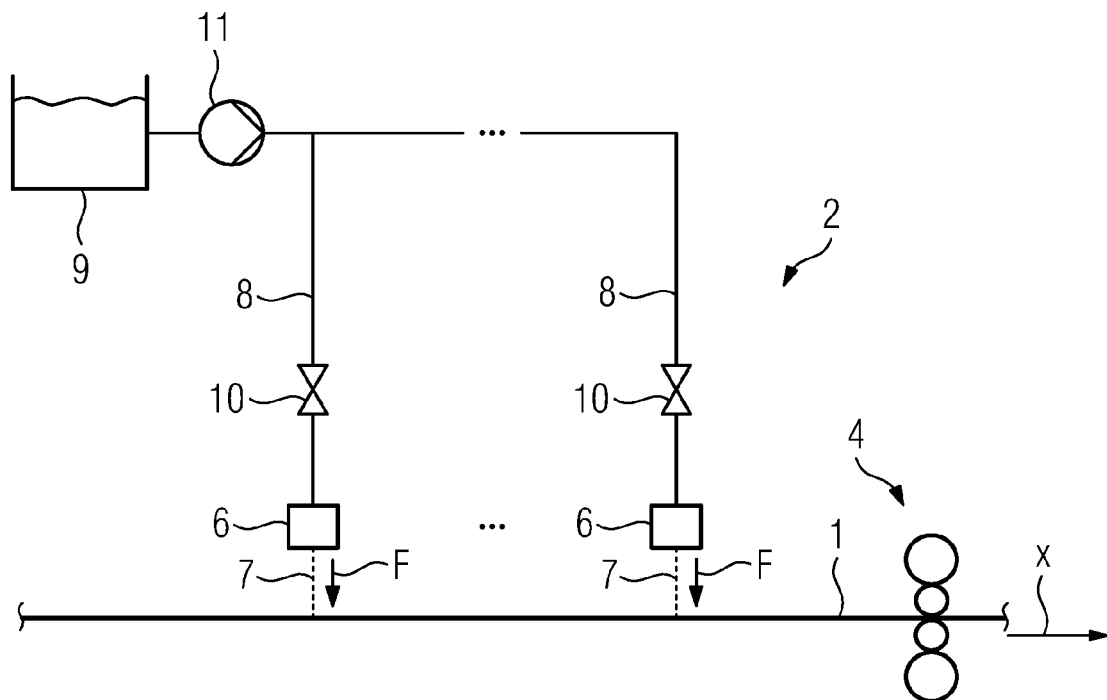


FIG 3

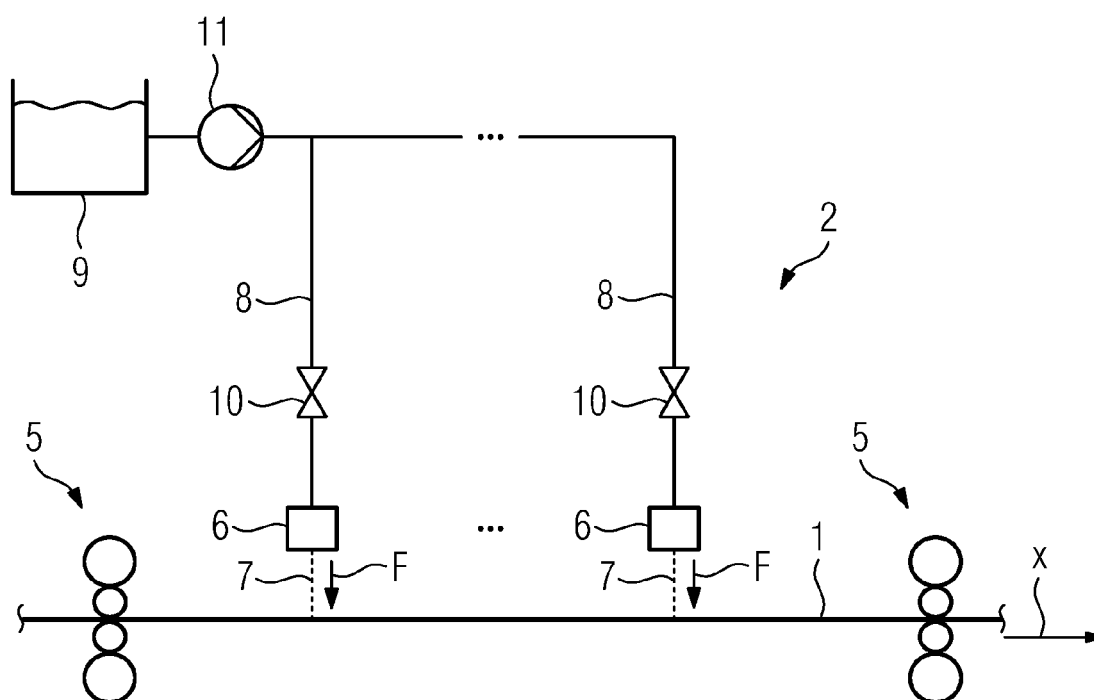


FIG 4

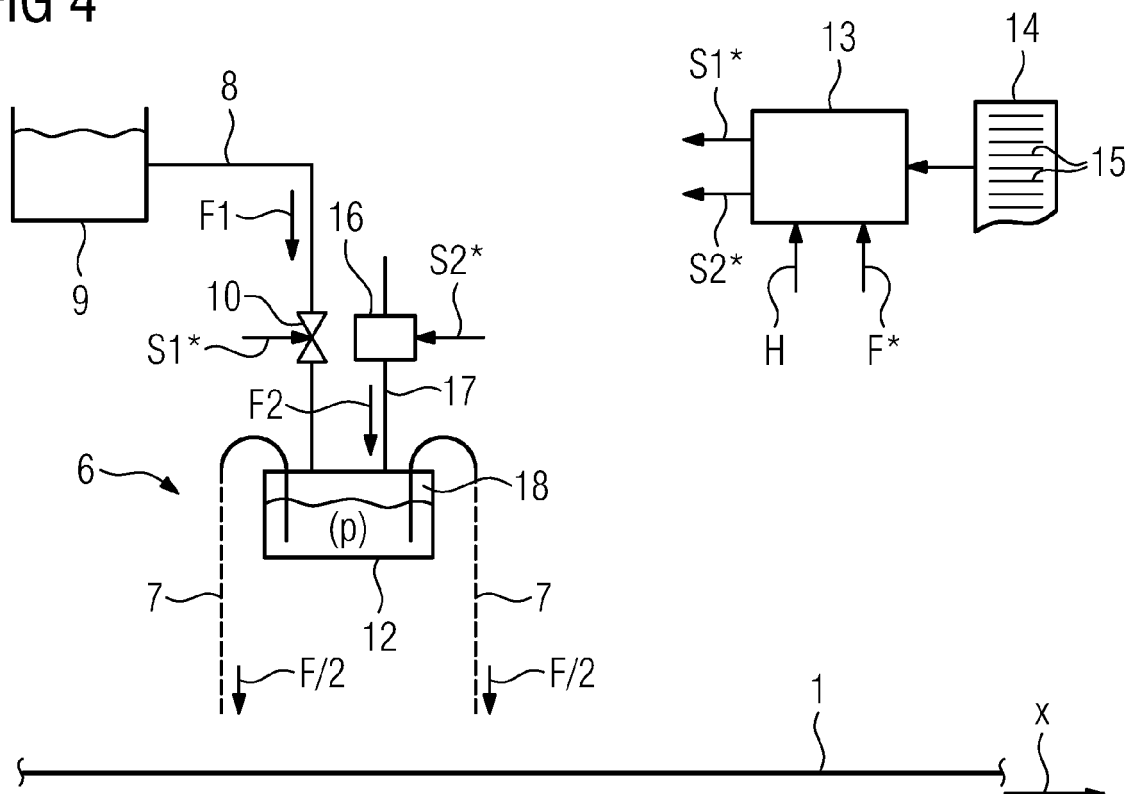


FIG 5

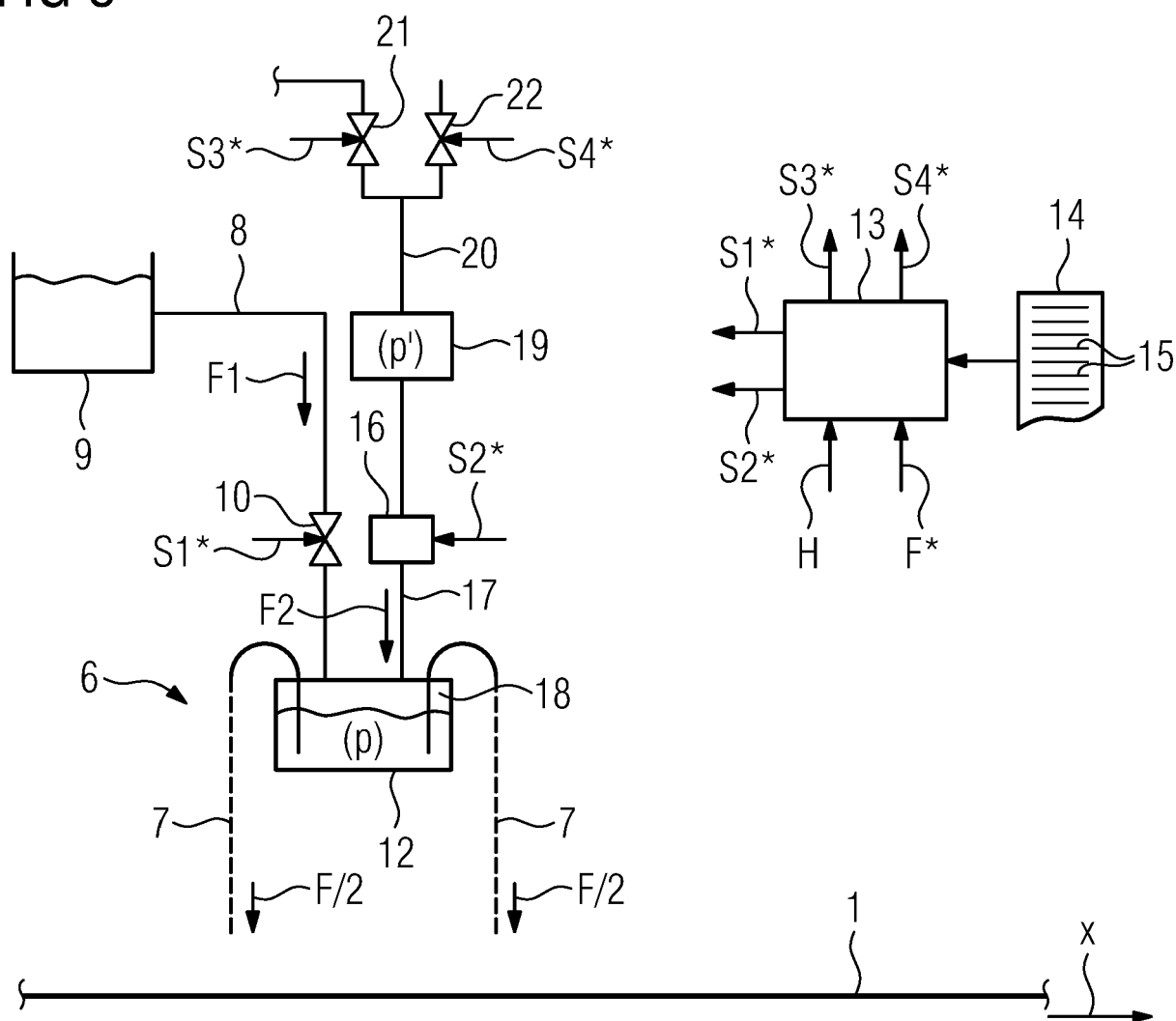
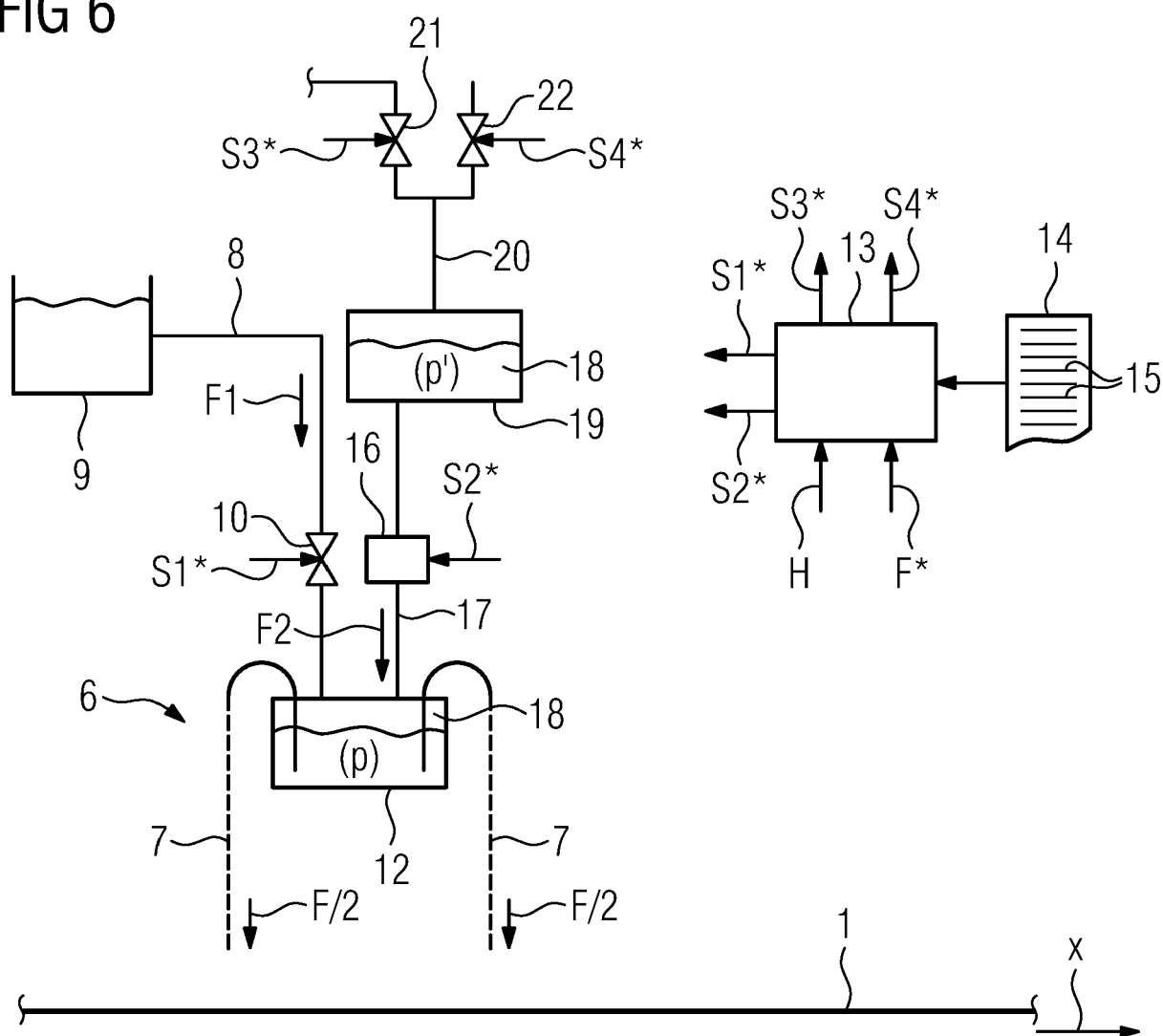


FIG 6





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
 EP 18 19 3920

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	EP 2 767 352 A1 (SIEMENS VAI METALS TECH GMBH [AT]) 20. August 2014 (2014-08-20) * Ansprüche 1-11; Abbildungen 1-2 *	1-17	INV. B21B37/76
A,D	US 2012/298224 A1 (IMANARI HIROYUKI [JP] ET AL) 29. November 2012 (2012-11-29) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-2 *	1-17	
A	JP H02 229610 A (SUMITOMO METAL IND) 12. September 1990 (1990-09-12) * Zusammenfassung; Abbildung 1 *	1-17	
A	JP S60 49803 A (SUMITOMO METAL IND) 19. März 1985 (1985-03-19) * Zusammenfassung; Abbildung 1 *	1-17	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B21B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 13. Februar 2019	Prüfer Forciniti, Marco
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

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

- US 20120298224 A1 [0013]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **R. UNBEHAUEN.** Systemtheorie - eine Einführung.
Springer Verlag, vol. 1 [0065]