



(11) **EP 4 212 265 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
19.07.2023 Patentblatt 2023/29

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B22D 17/22 (2006.01) B22D 17/32 (2006.01)
B22D 30/00 (2006.01) B22D 46/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **22152063.8**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B22D 46/00; B22D 17/2218; B22D 17/32;
B22D 30/00

(22) Anmeldetag: **18.01.2022**

(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

- **Mokre, Alexander**
4020 Linz, (AT)
- **Jax, Gerald**
4020 Linz (AT)
- **Fernández Gutiérrez, Ricardo**
4310 Mauthausen (AT)

(71) Anmelder: **Nemak, S.A.B. de C.V.**
66017 García, Nuevo León (MX)

(74) Vertreter: **Cohausz & Florack**
Patent- & Rechtsanwälte
Partnerschaftsgesellschaft mbB
Bleichstraße 14
40211 Düsseldorf (DE)

(72) Erfinder:
• **Reiterer, Florian**
4210 Gallneukirchen (AT)

Bemerkungen:
Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

(54) **VERFAHREN ZUR STEUERUNG EINES GUSSVERFAHRENS, STEUERUNGSSYSTEM FÜR EIN GUSSVERFAHREN, VORRICHTUNG SOWIE COMPUTERPROGRAMM**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung, insbesondere zur Temperaturregelung, eines Gussverfahrens, insbesondere eines Kokillengussverfahrens, umfassend: Regelung von zumindest einer Eingangsvariablen indikativ für zumindest eine Eingangsgröße des Gussverfahrens, insbesondere in Abhängigkeit zumindest einer Ausgangsvariablen indikativ für zumindest eine Temperatur des Gussverfahrens, insbesondere für eine Temperatur einer Gussform, derart, dass eine Temperaturdifferenz der Temperatur des

Gussverfahrens zu einem voreingestellten Temperaturprofil minimiert wird, wobei die Regelung der zumindest einen Eingangsvariablen auf einer modellprädiktiven Regelung basiert. Die vorliegende Erfindung betrifft ebenfalls ein Steuerungssystem für ein Gussverfahren, insbesondere für ein Kokillengussverfahren, eine Vorrichtung umfassend zumindest einen Prozessor und zumindest einen Speicher sowie ein Computerprogramm umfassend Programmanweisungen.

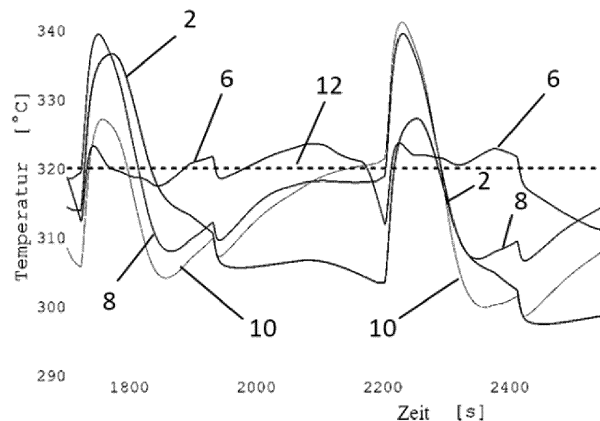


Fig. 3

EP 4 212 265 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung, insbesondere zur Temperaturregelung, eines Gussverfahrens, insbesondere eines Kokillengussverfahrens, umfassend: Regelung von zumindest einer Eingangsvariablen indikativ für zumindest eine Eingangsgröße des Gussverfahrens, vorzugsweise in Abhängigkeit zumindest einer Ausgangsvariablen indikativ für zumindest eine Temperatur des Gussverfahrens, insbesondere für eine Temperatur einer Gussform, weiter bevorzugt für eine Temperaturtrajektorie des Gussverfahrens oder der Gussform, derart, dass eine Temperaturdifferenz der Temperatur des Gussverfahrens zu einem voreingestellten Temperaturprofil minimiert wird.

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft ebenfalls ein Steuerungssystem für ein Gussverfahren, insbesondere für ein Kokillengussverfahren, umfassend zumindest ein Steuerungsmittel zur Regelung von zumindest einer Eingangsvariablen indikativ für zumindest eine Eingangsgröße des Gussverfahrens, insbesondere in Abhängigkeit zumindest einer Ausgangsvariablen indikativ für zumindest eine Temperatur des Gussverfahrens, insbesondere für eine Temperatur einer Gussform, weiter bevorzugt für eine Temperaturtrajektorie des Gussverfahrens oder der Gussform, derart, dass eine Temperaturdifferenz, insbesondere eine prognostizierte Temperaturdifferenz, der Temperatur des Gussverfahrens zu einem voreingestellten Temperaturprofil minimiert wird. Weiter betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung sowie ein Computerprogramm.

[0003] Aus dem Stand der Technik sind bereits Verfahren zur Temperaturregelung von Gussverfahren bekannt. Im Wesentlichen wird hierbei zwischen zwei herkömmlichen Steuerungsmöglichkeiten differenziert, nämlich einer sogenannten vorwärts gerichteten Regelung (feedforward control) und einer simplen rückgekoppelten Regelung (feedback control).

[0004] Bei der vorwärts gerichteten Regelung wird zumindest eine Eingangsvariable, die indikativ für zumindest eine Eingangsgröße des Gussverfahrens ist, vor den jeweiligen Gießzyklen von einem Prozessingenieur voreingestellt.

[0005] Beispielsweise ist die zumindest eine Eingangsvariable dann indikativ für zumindest eine Eingangsgröße, wenn diese einen Rückschluss auf die Eingangsgröße zulässt. Insbesondere kann es sich bei der zumindest einen Eingangsvariablen um Messwerte und/oder Daten indikativ für die zumindest eine Eingangsgröße handeln. Beispielsweise kann es sich bei der Eingangsvariablen um die Eingangsgröße selbst oder um Messwerte und/oder Daten handeln, die die Eingangsgröße repräsentieren oder aus denen sich die Eingangsgröße ableiten lässt. Beispielsweise kann es sich bei der zumindest einen Eingangsgröße um eine Temperatur eines Kühlmittels in Kelvin handeln, wobei es sich in einem solchen Fall bei der zumindest einen Eingangsvariablen ebenfalls um die Temperatur des Kühlmittels in Kelvin oder um andere Messwerte und/oder Daten handeln kann, die die Temperatur des Kühlmittels repräsentieren oder aus denen sich die Temperatur des Kühlmittels ableiten lässt. Vorheriges gilt vorzugsweise ebenfalls hinsichtlich der zumindest einen Ausgangsvariablen indikativ für zumindest eine Ausgangsgröße. Insofern wird mit der zumindest einen Eingangsgröße bzw. der zumindest einen Ausgangsgröße insbesondere die physikalische Gegebenheit, also beispielsweise die Temperatur des Kühlmittels in Kelvin, bezeichnet, wohingegen mit der zumindest einen Eingangsvariablen bzw. der zumindest einen Ausgangsvariablen auch Messwerte und/oder Daten bezeichnet werden können, welche Rückschlüsse auf die zumindest eine Eingangsvariable bzw. auf die zumindest eine Ausgangsvariable zulassen und/oder welche die zumindest eine Eingangsvariable bzw. die zumindest eine Ausgangsvariable repräsentieren.

[0006] Die üblicherweise eingestellten Eingangsvariablen sind beispielsweise indikativ für die Fließraten eines Kühlmittels oder die Kühlzeiten während eines Gusszyklus. Es hat sich in der Praxis allerdings gezeigt, dass eine derartige vorwärts gerichtete Regelung zu erheblichen Temperaturschwankungen zwischen einzelnen Gusszyklen führen kann, wodurch insbesondere Ungenauigkeiten in der Produktion der einzelnen Gussteile auftreten können.

[0007] Bei der simplen rückgekoppelten Regelung wird beispielsweise die Fließrate eines Kühlmittels in Abhängigkeit von zumindest einem in der Gussform angeordneten Messmittel, insbesondere Thermoelement, geregelt. Falls beispielsweise die von dem zumindest einen Thermoelement gemessene Temperatur eine voreingestellte Temperaturgrenze übersteigt, wird ein Kühlmittelfluss aktiviert. Der Kühlmittelfluss wird solange aktiviert, bis die von dem zumindest einen Thermoelement gemessene Temperatur eine weitere voreingestellte Temperaturgrenze unterschreitet. Eine derart beschriebene Regelstrategie kann auch als Bang-Bang-Regelung bezeichnet werden und ist in vielen kommerziellen Kokillengussanlagen möglich. Hierbei werden zwar Informationen des jeweiligen Gussverfahrens, insbesondere die von einem Thermoelement gemessene Temperatur verwendet, allerdings ist die Reaktionszeit einer solchen Regelung langsam, da nur auf bereits stattgefundenen Temperaturschwankungen reagiert werden kann. Es hat sich gezeigt, dass bei einer solchen Regelung signifikante Temperaturspitzen auftreten können, insbesondere kurz nachdem die Gussform mit der Gussformfüllung bzw. der Schmelze gefüllt wird.

[0008] Insofern liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Regelung, insbesondere zur Temperaturregelung, eines Gussverfahrens, insbesondere eines Kokillengussverfahrens, anzugeben, welches eine verbesserte Einregelung der gemessenen Temperaturen in einem gewünschten Bereich ermöglicht. Ebenfalls soll ein Steuerungssystem für ein Gussverfahren, eine Vorrichtung und ein Computerprogramm umfassend Programmangeweisungen angegeben werden, welche eine verbesserte Temperaturregelung eines Gussverfahrens ermöglichen.

[0009] Die vorgenannte Aufgabe wird gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung bei einem vorgenannten Verfahren

dadurch gelöst, dass die Regelung der zumindest einen Eingangsvariablen auf einer modellprädiktiven Regelung basiert. Hierdurch wird eine verbesserte Temperaturregelung des Gussverfahrens ermöglicht, da mittels der modellprädiktiven Regelung zukünftige Temperaturen des Gussverfahrens, insbesondere zukünftige Temperaturtrajektorien, berechnet werden können und die zumindest eine Eingangsvariable, die beispielweise indikativ für eine Fließrate eines Kühlmittels ist, in Abhängigkeit der berechneten Temperaturtrajektorien geregelt werden kann. Hierdurch kann die zumindest eine Eingangsvariable proaktiv angepasst werden, wodurch Temperaturfluktuationen innerhalb eines Gusszyklus und auch zwischen Gusszyklen reduziert werden können.

[0010] Vorliegend kann eine modellprädiktive Regelung insbesondere auf einem sogenannten MPC-Modell basieren. Bei der modellprädiktiven Regelung wird vorliegend ein voreingestelltes Temperaturprofil angestrebt, bei welchem es sich um ein Zieltemperaturprofil handelt. Bei dem voreingestellten Temperaturprofil kann es sich beispielsweise auch nur um eine angestrebte konstante Temperatur handeln. Ziel der Regelung ist es, die gemessene und/oder prognostizierte Temperatur des Gussverfahrens, insbesondere die Temperatur der Gussform, während oder zwischen Gusszyklen möglichst nah an das angestrebte Temperaturprofil zu führen. Hierzu kann, beispielsweise in diskreten Zeitintervallen, nicht nur der aktuelle Zustand des Verfahrens, beispielsweise durch Erfassen der zumindest einen Ausgangsvariablen, überwacht, sondern ebenfalls der Zustand des Verfahrens für ein bestimmtes zukünftiges Zeitintervall geschätzt und geregelt werden. Der modellprädiktiven Regelung liegt demnach ein Optimierungsproblem zugrunde, nämlich durch Regelung der zumindest einen Eingangsvariablen die Ausgangsvariable hinsichtlich des voreingestellten Temperaturprofils zu optimieren.

[0011] Beispielsweise kann das Optimierungsproblem eine Kostenfunktion beinhalten, wobei die Kostenfunktion minimiert werden soll. Dabei kann die Gussformfüllung als gemessene Störgröße und die zumindest eine Eingangsvariable berücksichtigt werden. Insbesondere werden zumindest zwei Eingangsvariablen berücksichtigt, welche vorzugsweise indikativ für die Flussrate eines Kühlmittels und die Heizrate einer Heizquelle sind.

[0012] Eine exemplarische Kostenfunktion, die mittels der modellprädiktiven Regelung optimiert werden kann, kann beispielsweise auf folgender Formel basieren:

$$V_K \triangleq \sum_{i=1}^{n_{PH}} \left\| \hat{y}_{k+i|k} - r_{k+i} \right\|_{Q_i}^2 + \sum_{i=0}^{n_{CH}-1} \left\| \Delta \hat{u}_{k+i|k} \right\|_{R_i}^2 + \sum_{i=0}^{n_{CH}-1} \left\| \hat{u}_{k+i|k} \right\|_{S_i}^2.$$

[0013] Dabei bestraft der erste Summenterm

$$\sum_{i=1}^{n_{PH}} \left\| \hat{y}_{k+i|k} - r_{k+i} \right\|_{Q_i}^2$$

beispielsweise die Temperaturdifferenz zwischen der Ausgangsvariablen indikativ für eine prognostizierte Temperatur bzw. indikativ für eine prognostizierte Temperaturtrajektorie und einem voreingestellten Temperaturprofil. $\hat{y}_{k+i|k}$ kann hierbei beispielsweise der prognostizierten Temperatur bzw. der prognostizierten Temperaturtrajektorie entsprechen. Beispielsweise wird $\hat{y}_{k+i|k}$ mittels der nachfolgend beschriebenen Transferfunktion $G(s)$ sowie den Eingangsvariablen $\hat{u}_{k+i|k}$ berechnet. Des Weiteren ist es bevorzugt, dass der Term r_{k+i} zu dem voreingestellten Temperaturprofil korrespondiert.

[0014] Der zweite Summenterm

$$\sum_{i=0}^{n_{CH}-1} \left\| \Delta \hat{u}_{k+i|k} \right\|_{R_i}^2$$

bestraft beispielsweise Änderungen der Eingangsvariablen. Dies kann insbesondere Änderungen in der Flussrate eines Kühlmittels oder der Heizrate einer Heizquelle betreffen. $\Delta \hat{u}_{k+i|k}$ kann hierbei beispielsweise die Änderung zumindest einer Eingangsvariable zwischen dem Zeitpunkt $k+1$ und dem vorherigen Zeitpunkt angeben.

[0015] Der dritte Summenterm

$$\sum_{i=0}^{n_{CH}-1} \left\| \hat{u}_{k+i|k} \right\|_{S_i}^2$$

bestraft beispielsweise die Eingangsvariablen direkt. Dieser sorgt demnach insbesondere dafür, dass die absolute

Menge an Kühlmittelfluss oder die absolute Heizrate einer Heizquelle minimiert wird.

[0016] Die Freiheitsgrade der modellprädiktiven Steuerung bzw. des Optimierungsproblems werden dabei durch die Variablen n_{PH} , n_{CH} sowie die Gewichtungsmatrizen Q, R und S bestimmt.

[0017] Beispielsweise gibt die Variable n_{PH} an, für wie viele Zeitintervalle die Berechnung durchgeführt werden soll. Ein Zeitintervall kann beispielsweise in einem Bereich zwischen 0,5 s und 10 s liegen.

[0018] Die Variable n_{CH} gibt beispielsweise an, für wie viele Zeitintervalle die zumindest eine Eingangsvariable geändert werden kann.

[0019] Vorzugweise können die Variablen n_{PH} und n_{CH} hinsichtlich des zugrunde liegenden Optimierungsproblems angepasst werden. Beispielsweise ist es bevorzugt, dass die Variable n_{PH} zumindest die Dauer eines Gusszyklus angibt, welcher beispielsweise zwischen 1 min und 10 min dauern kann.

[0020] Die Gewichtungsmatrizen Q, R und S geben insbesondere an, wie stark die einzelnen Summenterme in der Gesamtbewertung gewichtet werden. Beispielsweise können die Gewichtungsmatrizen Q, R und S Einheitsmatrizen mit den Konstanten q, r, und s auf der Diagonalen sein. Eine derartige Ausbildung hat sich bei der Verwendung der modellprädiktiven Regelung zur Reduktion der Komplexität unter Erzielung zufriedenstellender Ergebnisse als vorteilhaft erwiesen.

[0021] Vorzugweise wird eine Ausgangsvariable erfasst. Bei der erfassten Ausgangsvariablen indikativ für zumindest eine Temperatur des Gussverfahrens, insbesondere für eine Temperatur einer Gussform, kann es sich beispielsweise um den Messwert eines in der Gussform angeordneten Thermoelements handeln. Beispielsweise kann das Thermoelement zumindest teilweise innerhalb der Gussform angeordnet sein und so in zuverlässiger Weise die Temperatur innerhalb der Gussform messen. Hinsichtlich einer erhöhten Messgenauigkeit ist es bevorzugt, dass mehrere Thermoelemente zumindest teilweise innerhalb der Gussform angeordnet sind.

[0022] Vorzugweise wird zumindest eine Eingangsvariable indikativ für zumindest eine Eingangsgröße des Gussverfahrens basierend auf der modellprädiktiven Regelung geregelt. Insbesondere ist die zumindest einen Eingangsvariablen indikativ für eine Fließrate eines Kühlmittels, wobei das Kühlmittel beispielsweise durch in der Gussform angeordnete Kanäle fließt und hierdurch die Gussform kühlt. Dies ermöglicht eine zuverlässige Einstellung der Temperatur der Gussform.

[0023] Des Weiteren hat es sich in der Praxis insbesondere als vorteilhaft erwiesen, wenn mittels der modellprädiktiven Regelung eine weitere Eingangsvariable geregelt wird, wobei die weitere Eingangsvariable vorzugsweise indikativ für zumindest eine Heizrate eines in der Gussform angeordneten Heizelements oder einer Heizquelle ist. Hierdurch kann eine schnelle Anpassung der Temperatur der Gussform an ein voreingestelltes Temperaturprofil im Rahmen der modellprädiktiven Regelung ermöglicht werden.

[0024] Eine bevorzugte Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die modellprädiktive Regelung ein Modell, insbesondere ein dynamisches Modell, umfasst, dass das Modell basierend auf einem Datensatz identifiziert und/oder angepasst wird, wobei der Datensatz Daten indikativ für die zumindest eine Eingangsvariable und die zumindest eine Ausgangsvariable aufweist, und dass mittels des Modells basierend auf dem Datensatz eine Korrelation zwischen der zumindest einen Eingangsvariablen und der zumindest einen Ausgangsvariablen bestimmt wird. Vorzugweise umfasst der Datensatz mehrere Eingangsvariablen, insbesondere zumindest zwei unterschiedliche Eingangsvariablen. Optional können mittels des dynamischen Modells auch Korrelationen und/oder Wechselwirkungen der Eingangsvariablen untereinander bestimmt werden. Durch eine Berechnung der Korrelation und/oder der Wechselwirkungen der Eingangsvariablen und/oder der Korrelation zu der Ausgangsvariablen, kann in zuverlässiger Weise eine Auswirkung einer Änderung einer der Variablen auf eine andere der Variablen berechnet werden.

[0025] Beispielsweise kann vorgenanntes Modell auf einem Grey-Box-Modell basieren. Alternativ kann das vorgenannte Modell auch rein datenbasiert sein oder auf aus dem Stand der Technik bekannten Prinzipien beruhen, die anschließend durch Daten parametrisiert werden.

[0026] Ein Grey-Box-Modell kann beispielsweise durch folgende Formel dargestellt werden:

$$Y_{out}(s) = \sum_{k=1}^n G_i(s) U_{in,i}(s).$$

[0027] Bei Y_{out} handelt es sich vorzugsweise um die Ausgangsvariable, die indikativ für zumindest eine Temperatur des Gussverfahrens ist. Als $U_{in,i}$ werden vorzugsweise die verschiedenen Eingangsvariablen bezeichnet, wobei insgesamt n verschiedene Eingangsvariable vorliegen können. Beispielsweise können die verschiedenen Eingangsvariablen im Laplacebereich vorliegen. Bei der Funktion $G_i(s)$ handelt es sich vorzugsweise um eine Transferfunktion, welche sich insbesondere durch folgende Formel für die einzelnen Eingangsvariablen darstellen lässt:

$$G_i(s) = \frac{K_i}{(1+T_i)^2}$$

[0028] Als K_i wird vorzugsweise ein Verstärkungsfaktor der jeweiligen Eingangsvariablen angegeben, wobei es sich bei T_i insbesondere um eine Zeitkonstante handeln kann.

[0029] Es hat sich gezeigt, dass durch das illustrierte Grey-Box-Modell ein vorteilhaftes Modell zur Berechnung der Korrelation zwischen der zumindest einen Eingangsvariablen und der zumindest einen Ausgangsvariablen angegeben werden kann.

[0030] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass der Datensatz historische Daten, insbesondere Daten von bereits durchgeführten Gießversuchen und/oder Daten aus einer Serienproduktion, umfasst, wobei der Datensatz vorzugsweise um während der Durchführung des Gussverfahrens erfasste Daten erweitert wird, und/oder dass das Modell mittels Schätzwerten parametrisiert wird, wobei das Modell vorzugsweise während der Durchführung des Gussverfahrens durch erfasste Daten validiert und/oder erweitert wird. Dies ermöglicht die Zugrundelegung eines Datensatzes, welcher es erlaubt, die Korrelation zwischen der zumindest einen Eingangsvariablen, der zumindest einen Ausgangsvariablen und beispielsweise auch Störgrößen zu berücksichtigen.

[0031] Die historischen Daten können insbesondere Daten von bereits durchgeführten Gießversuchen sein. Insbesondere können Daten des gleichen Gussverfahrens und der gleichen Gussvorrichtung verwendet werden, wodurch die modellprädiktive Regelung weiter verbessert werden kann. Es ist bevorzugt, dass der zugrunde gelegte Datensatz nach Durchführung der Gusszyklen um die vergangenen Messwerte erweitert wird. Hierdurch kann insbesondere ein repräsentativer Datensatz zur Verfügung gestellt werden.

[0032] Die Schätzwerte für einzelne Parameter des Modells können beispielsweise auf den Erfahrungswerten eines Prozessingenieurs beruhen. Alternativ können die Schätzwerte beispielsweise mittels einer herkömmlichen Simulationsumgebung ermittelt werden. Vorzugsweise werden die Schätzwerte nach Durchführung von Gusszyklen validiert bzw. angepasst, so dass sichergestellt werden kann, dass das angepasste Modell die gemessenen Daten hinreichend genau beschreibt.

[0033] Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung berücksichtigt die modellprädiktive Regelung die zumindest eine Eingangsvariable und/oder die eine Ausgangsvariable sowie deren Korrelation zueinander basierend auf dem Modell. Hierdurch können mittels der modellprädikativen Regelung in zuverlässiger Weise verschiedene mögliche Temperaturtrajektorien berechnet werden und die zumindest eine Eingangsvariable derart geregelt werden, dass eine, insbesondere prognostizierte, Temperaturdifferenz der Temperatur des Gussverfahrens zu einem voreingestellten Temperaturprofil minimiert wird. Des Weiteren ist es bevorzugt, dass bei mehreren Eingangsvariablen die modellprädiktive Regelung auch die Korrelation der mehreren Eingangsvariablen untereinander basierend auf dem vorgenannten Modell berücksichtigt.

[0034] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die modellprädiktive Regelung ferner eine Füllung der Gussform als gemessene Störgröße (measured disturbance) und die Korrelation der Störgröße zu der zumindest einen Eingangsvariablen und/oder der zumindest einen Ausgangsvariablen basierend auf dem dynamischen Modell berücksichtigt. Dies ermöglicht eine zuverlässige modellprädiktive Regelung der zumindest einen Eingangsvariablen und/oder der zumindest einen Ausgangsgröße, da auch das Verhalten der Gussformfüllung bzw. Abweichungen der Gussformfüllung als gemessene Störgröße in die modellprädiktive Regelung mit einbezogen werden können. Bei der Gussformfüllung als Störgröße kann es sich insbesondere um den Zeitpunkt der Gussformfüllung, die Zusammensetzung der Gussformfüllung, die Menge der Gussformfüllung und/oder die Temperatur der Gussformfüllung handeln.

[0035] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ist die zumindest eine Eingangsgröße eine Flussrate eines Kühlmittels, eine Temperatur eines Kühlmittels, eine Dauer eines Gusszyklus, eine Menge einer Gussformfüllung, eine Zusammensetzung einer Gussformfüllung, eine Temperatur einer Gussformfüllung, ein Zeitpunkt einer Gussformfüllung, eine Temperatur einer Heizquelle und/oder eine Heizrate einer Heizquelle bzw. einer Heizeinrichtung. Hierdurch kann eine Eingangsvariable indikativ für eine der vorgenannten Eingangsgrößen derart geregelt werden, dass eine Temperaturdifferenz der Temperatur des Gussverfahrens zu einem voreingestellten Temperaturprofil minimiert wird. Es ist bevorzugt, dass eine Eingangsvariable jeweils indikativ für eine Eingangsgröße ist. Vorzugsweise können auch mehrere der vorgenannten Eingangsgrößen mehrfach auftreten, beispielsweise falls mehrere Kühlkreisläufe für Kühlmittel während des Gussverfahrens vorhanden sind.

[0036] Besonders bevorzugt ist die zumindest eine Eingangsvariable indikativ für die Flussrate eines Kühlmittels. Hierdurch kann die Flussrate eines Kühlmittels basierend auf der modellprädiktiven Regelung derart geregelt werden, dass die vorgenannte Temperaturdifferenz minimiert wird.

[0037] Vorzugsweise werden zumindest zwei Eingangsvariablen indikativ für zwei Eingangsgrößen des Gussverfahrens geregelt. In der Praxis hat es sich hinsichtlich einer Genauigkeit der Regelung als bevorzugt erwiesen, falls zwei Eingangsvariablen verwendet werden, wobei eine Eingangsvariable indikativ für die Flussrate des Kühlmittels und eine Eingangsvariable indikativ für die Heizrate einer Heizquelle ist. Dies ermöglicht sowohl eine Anpassung sowohl der Flussrate des Kühlmittels als auch der Heizrate der Heizquelle basierend auf der modellprädiktiven Regelung.

[0038] Bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung umfasst die modellprädiktive Regelung einen Kalman-Filter und der Zustand des Gussverfahrens, insbesondere der Systemzustand sowie der Zustand

der zumindest einen Ausgangsvariablen, wird mittels des Kalman-Filters, insbesondere in definierten Zeitintervallen, berechnet. Hierdurch kann der Zustand des Gussverfahrens zuverlässig berechnet werden. Insbesondere wird der Zustand des Gussverfahrens basierend auf einer Erfassung der zumindest einen Eingangsvariablen und der zumindest einen Ausgangsvariablen berechnet. Mittels des aktuellen Zustands des Gussverfahrens können im Rahmen der modellprädiktiven Regelung die verschiedenen zukünftigen Temperaturtrajektorien berechnet werden, auf deren Basis die zumindest eine Eingangsvariable geregelt werden kann.

[0039] Eine bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die modellprädiktive Regelung mittels des von dem Kalman-Filter-Modells berechneten Zustands verschiedene Trajektorien der zumindest einen Ausgangsvariablen prognostiziert, und dass mittels der modellprädiktiven Regelung die zumindest eine Eingangsvariable derart geregelt wird, dass sich eine prognostizierte Trajektorie der Ausgangsvariablen einstellt, die indikativ für eine minimale Temperaturdifferenz der Temperatur des Gussverfahrens zu dem voreingestellten Temperaturprofil ist. Dies ermöglicht eine vorteilhafte Temperatursteuerung des Gussverfahrens, so dass der Gießprozess optimiert und die Menge an Gussfehlern zuverlässig reduziert werden kann. Vorzugsweise wird vorgenannte Berechnung jeweils nach Ablauf eines der definierten Zeitintervalle durchgeführt. Dementsprechend wird die zumindest eine Eingangsvariable zu jedem definierten Zeitpunkt in Abhängigkeit des zuvor beschriebenen Optimierungsproblems basierend auf dem mittels des Kalman-Filter-Modells prognostizierten Zustands geändert, um die tatsächliche Temperatur der Gussform an das voreingestellte Temperaturprofil anzupassen.

[0040] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ist ferner dadurch gekennzeichnet, dass die modellprädiktive Regelung Beschränkungen des Gussverfahrens, insbesondere Beschränkungen der zumindest einen Eingangsvariablen und/oder der zumindest einen Ausgangsvariablen, berücksichtigt. Hierdurch können in vorteilhafter Weise technische Beschränkungen des Gussverfahrens bei der modellprädiktiven Regelung berücksichtigt werden. Beispielsweise handelt es sich bei derartigen Beschränkungen um eine maximale Flussrate des Kühlmittels, um eine maximale Heizrate der Heizquelle und/oder um eine maximale Änderungsrate des Kühlmittelflusses.

[0041] Bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung wird die zumindest eine Ausgangsvariable indikativ für zumindest eine Temperatur des Gussverfahrens mittels mindestens eines Thermoelements, insbesondere mittels mindestens eines zumindest teilweise innerhalb einer Gussform angeordneten Thermoelements, erfasst. Dies ermöglicht eine zuverlässige Erfassung der zumindest einen Ausgangsvariablen.

[0042] Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die vorgenannte Aufgabe bei einem Steuerungssystem für ein Gussverfahren dadurch gelöst, dass das Steuerungsmittel die zumindest eine Eingangsvariable basierend auf einer modellprädiktiven Regelung regelt. Die im Zusammenhang mit dem vorgenannten Verfahren beschriebenen Ausführungsformen und Vorteile gelten gleichermaßen für das erfindungsgemäße Steuerungssystem.

[0043] Ein Steuerungssystem kann beispielsweise eine Vorrichtung zum Auswerten von Daten, Steuern von weiteren Vorrichtungen und/oder Ausgeben von Signalen sein. Das Steuerungssystem kann beispielsweise Bestandteil einer Gussvorrichtung, einer Gießvorrichtung und/oder eine Gießanlage sein.

[0044] Das Steuerungssystem kann Hardware- und/oder Software-Komponenten umfassen. Das Steuerungssystem kann beispielsweise mindestens einen Speicher mit Programmanweisungen eines Computerprogramms und mindestens einen Prozessor ausgebildet zum Ausführen von Programmanweisungen aus dem mindestens einen Speicher umfassen. Dementsprechend sollen insbesondere auch Steuereinrichtungen als offenbart verstanden werden, die zumindest einen Prozessor und zumindest einen Speicher mit Programmanweisungen umfassen, wobei der zumindest eine Speicher und die Programmanweisungen eingerichtet sind, gemeinsam mit dem zumindest einen Prozessor die mindestens eine Eingangsvariable zu steuern. Das Steuern der mindestens einen Eingangsvariablen erfolgt zum Beispiel über eine Steuerverbindung.

[0045] Vorzugsweise ist das Steuerungssystem zur Durchführung eines zuvor beschriebenen Verfahrens ausgestaltet.

[0046] Gemäß einem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird die vorgenannte Aufgabe durch eine Vorrichtung umfassend zumindest einen Prozessor und zumindest einen Speicher, der Programmcode beinhaltet, dadurch gelöst, dass der Speicher und der Programmcode eingerichtet sind, mit dem zumindest einen Prozessor eine Vorrichtung dazu zu veranlassen, zumindest das vorgenannte Verfahren auszuführen und/oder zu steuern. Dabei können entweder alle Schritte des Verfahrens gesteuert werden, oder alle Schritte des Verfahrens ausgeführt werden, oder ein oder mehrere Schritte gesteuert und ein oder mehrere Schritte ausgeführt werden.

[0047] In einer beispielhaften Ausgestaltung umfasst das System gemäß dem dritten beispielhaften Aspekt der vorliegenden Erfindung zumindest ein Steuerungssystem gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung sowie eine Gießanlage geeignet zur Durchführung eines Verfahrens gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung.

[0048] Die vorgenannte Aufgabe wird ebenfalls gemäß einem vierten Aspekt der vorliegenden Erfindung durch ein Computerprogramm dadurch gelöst, dass das Computerprogramm Programmanweisungen umfasst, die einen Prozessor zur Ausführung und/oder Steuerung des vorgenannten Verfahrens veranlassen, wenn das Computerprogramm auf dem Prozessor läuft. Unter einem Prozessor sollen in dieser Spezifikation unter anderem Kontrolleinheiten, Mikroprozessoren, Mikrokontrolleinheiten wie Mikrocontroller, digitale Signalprozessoren (DSP), Anwendungsspezifische Integrierte Schaltungen (ASICs) oder Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) verstanden werden. Dabei können entweder

alle Schritte des Verfahrens gesteuert werden, oder alle Schritte des Verfahrens ausgeführt werden, oder ein oder mehrere Schritte gesteuert und ein oder mehrere Schritte ausgeführt werden. Das Computerprogramm kann beispielsweise über ein Netzwerk wie das Internet, ein Telefon- oder Mobilfunknetz und/oder ein lokales Netzwerk verteilbar sein. Das Computerprogramm kann zumindest teilweise Software und/oder Firmware eines Prozessors sein. Es kann gleichermaßen zumindest teilweise als Hardware implementiert sein. Das Computerprogramm kann beispielsweise auf einem computerlesbaren Speichermedium gespeichert sein, z.B. einem magnetischen, elektrischen, elektro-magnetischen, optischen und/oder andersartigen Speichermedium. Das Speichermedium kann beispielsweise Teil des Prozessors sein, beispielsweise ein (nicht-flüchtiger oder flüchtiger) Programmspeicher des Prozessors oder ein Teil davon. Das Speichermedium ist beispielsweise gegenständlich, also greifbar, und/oder nicht-transitorisch.

[0049] Die oben beschriebenen, zunächst grundsätzlich für sich alleine stehenden Ausführungsformen und beispielhaften Ausgestaltungen aller Aspekte der vorliegenden Erfindung sollen auch in allen Kombinationen miteinander offenbart verstanden werden.

[0050] Weitere vorteilhafte beispielhafte Ausführungsformen der Aspekte der Erfindung sind der folgenden detaillierten Beschreibung einiger beispielhafter Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, insbesondere in Verbindung mit den Figuren zu entnehmen. Die der Anmeldung beiliegenden Figuren sollen jedoch nur dem Zwecke der Verdeutlichung, nicht aber zur Bestimmung des Schutzbereiches der Erfindung dienen. Die beiliegenden Zeichnungen spiegeln lediglich das allgemeine Konzept der vorliegenden Erfindung beispielhaft wieder. Insbesondere sollen Merkmale, die in den Figuren enthalten sind, keineswegs als notwendiger Bestandteil der vorliegenden Erfindung verstanden werden.

[0051] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen mit Bezug auf die Zeichnung erläutert. In der Zeichnung zeigen

Fig. 1 eine exemplarische Gegenüberstellung von gemessenen und mittels eines Modells berechneten Temperaturdaten;

Fig. 2 eine exemplarische Darstellung verschiedener Temperaturverläufe basierend auf unterschiedlichen Regelungen zur Temperatursteuerung eines Gussverfahrens; und

Fig. 3 eine weitere exemplarische Darstellung verschiedener Temperaturverläufe basierend auf unterschiedlichen Regelungen zur Temperatursteuerung eines Gussverfahrens.

[0052] Fig. 1 zeigt eine exemplarische Gegenüberstellung eines Temperaturverlaufs 2 einer realitätsnahen Simulation und eines mittels eines Modells berechneten Temperaturverlaufs 4. Dabei weicht der mittels des Modells, insbesondere mittels des dynamischen Modells, berechnete Temperaturverlauf 4 nur geringfügig von dem Temperaturverlauf 2 der realitätsnahen Simulation ab, so dass die grundlegenden Systemdynamiken des Gussverfahrens durch das dynamische Model zuverlässig wiedergegeben werden können.

[0053] Zur Erstellung des dynamischen Modells wurden vorliegend Daten eines im Gussverfahren hergestellten Fahrzeug-Hilfsrahmenbauteils aus einer Aluminium Legierung verwendet.

[0054] Durch eine realitätsnahe Simulation wurde zunächst ein Datensatz erstellt, mittels welchem die Systemdynamiken der vorliegenden Daten identifiziert wurden. Bei einer solchen realitätsnahen Simulation handelt es sich vorzugsweise um eine Simulation für Gussprozesse. Vorliegend wurde eine Simulation aus dem Hause Magmasoft verwendet.

[0055] Mittels der realitätsnahen Simulation wurden verschiedene Eingangsvariablen indikativ für verschiedene Eingangsgrößen verändert, damit ein umfangreicher Datensatz vorliegt. Zur Bestimmung einer Ausgangsvariablen indikativ für eine Temperatur in der Gussform wurde vorliegend eine festgelegte Position eines Thermoelements in der Gussform gewählt. In dem vorliegenden Fall wurden folgende verschiedene Eingangsgrößen sowie die Eingangsvariablen indikativ für diese Eingangsgrößen in der Simulation berücksichtigt:

- die Flussrate des Kühlmittels in zwei Kühlkreisläufen nahe der spezifischen Position des Thermoelements; sowie
- die Heizrate einer Heizquelle bzw. eines Heizelements nahe der spezifischen Position des Thermoelements.

[0056] Ebenfalls wurde die Füllung der Gussform mit einer Schmelze bzw. die Gussformfüllung als gemessene Störgröße (measured disturbance) berücksichtigt.

[0057] Die Gussformfüllung wurde als Dirac-Impuls modelliert, wobei der jeweilige Dirac-Impuls ausgelöst wird, sobald die Gussformfüllung in der Simulation in die Gussform fließt. Im Rahmen der modellprädiktiven Regelung kann die Gussformfüllung auch als gemessene Störgröße (measured disturbance) bezeichnet werden.

[0058] Nachfolgend wurde das folgende Prozessmodell an die im Rahmen der Simulation ermittelten Daten angepasst:

$$Y_{out}(s) = \sum_{k=1}^n G_i(s) U_{in,i}(s);$$

[0059] Bei Y_{out} handelt es sich um die Ausgangsvariable, die indikativ für zumindest eine Temperatur des Gussverfahrens ist. Als $U_{in, i}$ werden die Eingangsvariablen indikativ für die zuvor genannten Eingangsgrößen bezeichnet. Bei der Funktion $G_i(s)$ handelt es sich um eine Übertragungsfunktion, welche sich durch folgende Formel für die einzelnen Eingangsvariablen darstellen lässt:

$$G_i(s) = \frac{K_i}{(1+T_i)^2}$$

[0060] Als K_i wird ein Verstärkungsfaktor der jeweiligen Eingangsvariablen angegeben, wobei es sich bei T_i um eine Zeitkonstante handelt.

[0061] Wie in Fig. 1 dargestellt, weicht der prognostizierte Temperaturverlauf des identifizierten dynamischen Modells nur geringfügig von dem Temperaturverlauf der realitätsnahen Simulation ab, so dass das dynamische Modell die im Rahmen des Gussverfahrens auftretenden Temperaturverläufe zuverlässig prognostiziert.

[0062] In Fig. 2 ist eine exemplarische Darstellung verschiedener Temperaturverläufe basierend auf unterschiedlichen Regelungen zur Temperatursteuerung eines Gussverfahrens dargestellt. Dabei wurden der Temperaturverlauf einer realitätsnahen Simulation 2, der Temperaturverlauf der modellprädiktiven Regelung 6, der Temperaturverlauf einer PID-Regelung 8 und der Temperaturverlauf einer Bang-Bang-Regelung 10 einander gegenübergestellt. Als voreingestelltes Temperaturprofil 12 wurde eine konstante Temperaturtrajektorie von 320°C ausgewählt.

[0063] Der modellprädiktiven Regelung 6 wurde ein Vorhersagehorizont von $n_{PH} = 1000$ für ein Zeitintervall von $\Delta T = 1$ s zugrunde gelegt. Demnach fließen 1000 Zeitintervalle mit jeweils 1 s in die Berechnung ein. Der Kontrollhorizont n_{CH} wurde mit 100 ebenfalls für ein Zeitintervall von $\Delta T = 1$ s festgelegt, so die Eingangsvariablen für 100 Zeitintervalle geändert werden können.

[0064] Als Gewichtungsmatrizen Q, R und S wurden Einheitsmatrizen mit den Konstanten q, r und s auf der Diagonalen gewählt, wobei $q = 1.000.000$; $r = 1$; und $s = 0$.

[0065] Als Eingangsvariable indikativ für eine Eingangsgröße wurde bei den in Fig. 2 dargestellten Regelungen eine Eingangsvariable indikativ für eine Fließrate eines Kühlmittels geregelt. Es ist ersichtlich, dass die modellprädiktive Regelung 6 einen Temperaturverlauf ermöglicht, welcher im Durchschnitt näher an dem voreingestellten Temperaturprofil 12 liegt als die anderen Regelungsarten 8 und 10. Da allerdings die Temperatur von der Fließrate des Kühlmittels im Wesentlichen nur in eine Richtung bewegt werden kann, nämlich eine Temperatursenkung verursacht werden kann, treten bei dem in Fig. 2 dargestellten Model technische Beschränkungen auf, die einer weiter verbesserten Regelung im Wege stehen.

[0066] In Fig. 3 ist eine weitere exemplarische Darstellung verschiedener Temperaturverläufe basierend auf unterschiedlichen Regelungen zur Temperatursteuerung eines Gussverfahrens dargestellt. Im Unterschied zu den in Fig. 2 dargestellten Regelungen basieren die in Fig. 3 dargestellten Regelungen auf zwei Eingangsvariablen, nämlich einer Eingangsvariablen indikativ für eine Fließrate eines Kühlmittels und zusätzlich einer weiteren Eingangsvariablen indikativ für eine Heizrate einer Heizquelle. Insofern können die beiden vorgenannten Eingangsvariablen von den jeweiligen Regelungen derart geregelt werden, dass die jeweiligen Temperaturverläufe eine möglichst geringe Differenz zu dem voreingestellten Temperaturprofil 12 aufweisen. Wie aus Fig. 3 und ebenfalls aus einem Vergleich der Fig. 2 und 3 hervorgeht, kann insbesondere bei der modellprädiktiven Regelung 6 eine Temperaturverlauf erzielt werden, welcher sehr nah an dem voreingestellten Temperaturprofil liegt. Bei den anderen Regelungsarten 8 und 10 konnte im Vergleich dazu durch die Regelung einer weiteren Eingangsvariablen nur eine geringe Verbesserung erzielt werden.

[0067] Die in dieser Spezifikation beschriebenen beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sollen auch in allen Kombinationen miteinander offenbart verstanden werden. Insbesondere soll auch die Beschreibung eines von einer Ausführungsform umfassten Merkmals - sofern nicht explizit gegenteilig erklärt vorliegend nicht so verstanden werden, dass das Merkmal für die Funktion des Ausführungsbeispiels unerlässlich oder wesentlich ist.

[0068] In den Ansprüchen verwendete Begriffe wie "umfassen", "aufweisen", "beinhalten", "enthalten" und dergleichen schließen weitere Elemente oder Schritte nicht aus. Unter die Formulierung "zumindest teilweise" fallen sowohl der Fall "teilweise" als auch der Fall "vollständig". Die Formulierung "und/oder" soll dahingehend verstanden werden, dass sowohl die Alternative als auch die Kombination offenbart sein soll, also "A und/oder B" bedeutet "(A) oder (B) oder (A und B)". Eine Mehrzahl von Einheiten, Personen oder dergleichen bedeutet im Zusammenhang dieser Spezifikation mehrere Einheiten, Personen oder dergleichen. Die Verwendung des unbestimmten Artikels schließt eine Mehrzahl nicht aus. Eine einzelne Einrichtung oder ein einzelnes Mittel kann die Funktionen mehrerer in den Patentansprüchen genannten Einheiten bzw. Einrichtungen ausführen. In den Ansprüchen angegebene Bezugszeichen sind nicht als Beschränkungen der eingesetzten Mittel und Schritte anzusehen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung, insbesondere zur Temperaturregelung, eines Gussverfahrens, insbesondere eines Kokillengussverfahrens, umfassend:

- Regelung von zumindest einer Eingangsvariablen indikativ für zumindest eine Eingangsgröße des Gussverfahrens in Abhängigkeit zumindest einer Ausgangsvariablen indikativ für zumindest eine Temperatur des Gussverfahrens, insbesondere für eine Temperatur einer Gussform, derart, dass eine Temperaturdifferenz der Temperatur des Gussverfahrens zu einem voreingestellten Temperaturprofil minimiert wird,

dadurch gekennzeichnet,

- **dass** die Regelung der zumindest einen Eingangsvariablen auf einer modellprädiktiven Regelung basiert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** die modellprädiktive Regelung ein Modell, insbesondere ein dynamisches Modell, umfasst,
- **dass** das Modell basierend auf einem Datensatz identifiziert und/oder angepasst wird, wobei der Datensatz Daten indikativ für die zumindest eine Eingangsvariable und die zumindest eine Ausgangsvariable aufweist, und
- **dass** mittels des Modells basierend auf dem Datensatz eine Korrelation zwischen der zumindest einen Eingangsvariablen und der zumindest einen Ausgangsvariablen bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** der Datensatz historische Daten, insbesondere Daten von bereits durchgeführten Gießversuchen und/oder Daten aus einer Serienproduktion, umfasst, wobei der Datensatz vorzugsweise um während der Durchführung des Gussverfahrens erfasste Daten erweitert wird, und/oder
- **dass** das Modell mittels Schätzwerten parametrisiert wird, wobei das Modell vorzugsweise während der Durchführung des Gussverfahrens durch erfasste Daten validiert und/oder erweitert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** die modellprädiktive Regelung die zumindest eine Eingangsvariable und die eine Ausgangsvariable sowie deren Korrelation zueinander basierend auf dem Modell berücksichtigt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** die modellprädiktive Regelung ferner eine Füllung der Gussform als gemessene Störgröße und die Korrelation der Störgröße zu der zumindest einen Eingangsvariablen und/oder der zumindest einen Ausgangsvariablen basierend auf dem dynamischen Modell berücksichtigt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** die zumindest eine Eingangsgröße eine Flussrate eines Kühlmittels, eine Temperatur eines Kühlmittels, eine Dauer eines Gusszyklus, eine Menge einer Gussformfüllung, eine Zusammensetzung einer Gussformfüllung, eine Temperatur einer Gussformfüllung, ein Zeitpunkt einer Gussformfüllung, eine Temperatur einer Heizquelle und/oder eine Heizrate einer Heizquelle ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** die modellprädiktive Regelung einen Kalman-Filter umfasst, und
- **dass** der Zustand des Gussverfahrens, insbesondere der Systemzustand sowie der Zustand der zumindest

einen Ausgangsvariablen, mittels des Kalman-Filter-Modells, insbesondere in definierten Zeitintervallen, berechnet wird.

5 8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,

- 10
- **dass** die modellprädiktive Regelung mittels des von dem Kalman-Filter-Modell berechneten Zustands verschiedene Trajektorien der zumindest einen Ausgangsvariablen prognostiziert, und
 - **dass** mittels der modellprädiktiven Regelung die zumindest eine Eingangsvariable derart geregelt wird, dass sich eine prognostizierte Trajektorie der Ausgangsvariablen einstellt, die indikativ für eine minimale Temperaturdifferenz der Temperatur des Gussverfahrens zu dem voreingestellten Temperaturprofil ist.

15 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,

- 20
- **dass** die modelprädikative Regelung Beschränkungen des Gussverfahrens, insbesondere Beschränkungen der zumindest einen Eingangsvariablen und/oder der zumindest einen Ausgangsvariablen, berücksichtigt.

25 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,

- 30
- **dass** die zumindest eine Ausgangsvariable indikativ für zumindest eine mittels eines Thermoelements, insbesondere mittels eines in zumindest teilweise innerhalb einer Gussform angeordneten Thermoelements, erfasste Temperatur des Gussverfahrens ist.

35 11. Steuerungssystem für ein Gussverfahren, insbesondere für ein Kokillengussverfahren, umfassend:

- 40
- zumindest ein Steuerungsmittel zur Regelung von zumindest einer Eingangsvariablen indikativ für zumindest eine Eingangsgröße des Gussverfahrens, in Abhängigkeit zumindest einer Ausgangsvariablen indikativ für zumindest eine Temperatur des Gussverfahrens, insbesondere für eine Temperatur einer Gussform, derart, dass eine Temperaturdifferenz der Temperatur des Gussverfahrens zu einem voreingestellten Temperaturprofil minimiert wird,

45 **dadurch gekennzeichnet,**

- 50
- **dass** das Steuerungsmittel die zumindest eine Eingangsvariable basierend auf einer modellprädiktiven Regelung regelt.

55 12. Steuerungssystem nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** das Steuerungssystem zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10 ausgestaltet ist.

60 13. Vorrichtung umfassend zumindest einen Prozessor und zumindest einen Speicher, der Programmcode beinhaltet, wobei der Speicher und der Programmcode eingerichtet sind, mit dem zumindest einen Prozessor eine Vorrichtung dazu zu veranlassen, zumindest das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 auszuführen und/oder zu steuern.

65 14. Computerprogramm umfassend Programmanweisungen, die einen Prozessor zur Ausführung und/oder Steuerung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10 veranlassen, wenn das Computerprogramm auf dem Prozessor läuft.

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

70 1. Verfahren zur Temperaturregelung, eines Gussverfahrens, insbesondere eines Kokillengussverfahrens, umfassend:

- Regelung von zumindest einer Eingangsvariablen indikativ für zumindest eine Eingangsgröße des Gussver-

fahrens in Abhängigkeit zumindest einer erfassten Ausgangsvariablen indikativ für zumindest eine Temperatur einer Gussform derart, dass eine Temperaturdifferenz der Temperatur des Gussverfahrens zu einem vorgegebenen Temperaturprofil minimiert wird,

dadurch gekennzeichnet,

- **dass** die Regelung der zumindest einen Eingangsvariablen auf einer modellprädiktiven Regelung basiert.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** die modellprädiktive Regelung ein Modell, insbesondere ein dynamisches Modell, umfasst,
- **dass** das Modell basierend auf einem Datensatz identifiziert und/oder angepasst wird, wobei der Datensatz Daten indikativ für die zumindest eine Eingangsvariable und die zumindest eine Ausgangsvariable aufweist, und
- **dass** mittels des Modells basierend auf dem Datensatz eine Korrelation zwischen der zumindest einen Eingangsvariablen und der zumindest einen Ausgangsvariablen bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** der Datensatz historische Daten, insbesondere Daten von bereits durchgeführten Gießversuchen und/oder Daten aus einer Serienproduktion, umfasst, wobei der Datensatz vorzugsweise um während der Durchführung des Gussverfahrens erfasste Daten erweitert wird, und/oder
- **dass** das Modell mittels Schätzwerten parametrisiert wird, wobei das Modell vorzugsweise während der Durchführung des Gussverfahrens durch erfasste Daten validiert und/oder erweitert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** die modellprädiktive Regelung die zumindest eine Eingangsvariable und die eine Ausgangsvariable sowie deren Korrelation zueinander basierend auf dem Modell berücksichtigt.

5. Verfahren nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** die modellprädiktive Regelung ferner eine Füllung der Gussform als gemessene Störgröße und die Korrelation der Störgröße zu der zumindest einen Eingangsvariablen und/oder der zumindest einen Ausgangsvariablen basierend auf dem dynamischen Modell berücksichtigt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** die zumindest eine Eingangsgröße eine Flussrate eines Kühlmittels, eine Temperatur eines Kühlmittels, eine Dauer eines Gusszyklus, eine Menge einer Gussformfüllung, eine Zusammensetzung einer Gussformfüllung, eine Temperatur einer Gussformfüllung, ein Zeitpunkt einer Gussformfüllung, eine Temperatur einer Heizquelle und/oder eine Heizrate einer Heizquelle ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** die modellprädiktive Regelung einen Kalman-Filter umfasst, und
- **dass** der Zustand des Gussverfahrens, insbesondere der Systemzustand sowie der Zustand der zumindest einen Ausgangsvariablen, mittels des Kalman-Filter-Modells, insbesondere in definierten Zeitintervallen, berechnet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** die modellprädiktive Regelung mittels des von dem Kalman-Filter-Modell berechneten Zustands verschiedene Trajektorien der zumindest einen Ausgangsvariablen prognostiziert, und

- **dass** mittels der modellprädiktiven Regelung die zumindest eine Eingangsvariable derart geregelt wird, dass sich eine prognostizierte Trajektorie der Ausgangsvariablen einstellt, die indikativ für eine minimale Temperaturdifferenz der Temperatur des Gussverfahrens zu dem voreingestellten Temperaturprofil ist.

5 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** die modelprädikative Regelung Beschränkungen des Gussverfahrens, insbesondere Beschränkungen der zumindest einen Eingangsvariablen und/oder der zumindest einen Ausgangsvariablen, berücksichtigt.

10

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,

- **dass** die zumindest eine Ausgangsvariable indikativ für zumindest eine mittels eines Thermoelements, insbesondere mittels eines in zumindest teilweise innerhalb einer Gussform angeordneten Thermoelements, erfasste Temperatur des Gussverfahrens ist.

15

11. Steuerungssystem für ein Gussverfahren, insbesondere für ein Kokillengussverfahren, umfassend:

20

- zumindest ein Steuerungsmittel zur Regelung von zumindest einer Eingangsvariablen indikativ für zumindest eine Eingangsgröße des Gussverfahrens, in Abhängigkeit zumindest einer Ausgangsvariablen indikativ für zumindest eine Temperatur einer Gussform derart, dass eine Temperaturdifferenz der Temperatur des Gussverfahrens zu einem voreingestellten Temperaturprofil minimiert wird,

dadurch gekennzeichnet,

25

- **dass** das Steuerungsmittel die zumindest eine Eingangsvariable basierend auf einer modellprädiktiven Regelung regelt.

12. Steuerungssystem nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet,

30

- **dass** das Steuerungssystem zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10 ausgestaltet ist.

13. Vorrichtung umfassend zumindest einen Prozessor und zumindest einen Speicher, der Programmcode beinhaltet, wobei der Speicher und der Programmcode eingerichtet sind, mit dem zumindest einen Prozessor eine Vorrichtung dazu zu veranlassen, zumindest das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 auszuführen und/oder zu steuern.

35

14. Computerprogramm umfassend Programmanweisungen, die einen Prozessor zur Ausführung und/oder Steuerung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10 veranlassen, wenn das Computerprogramm auf dem Prozessor läuft.

40

45

50

55



Fig. 1

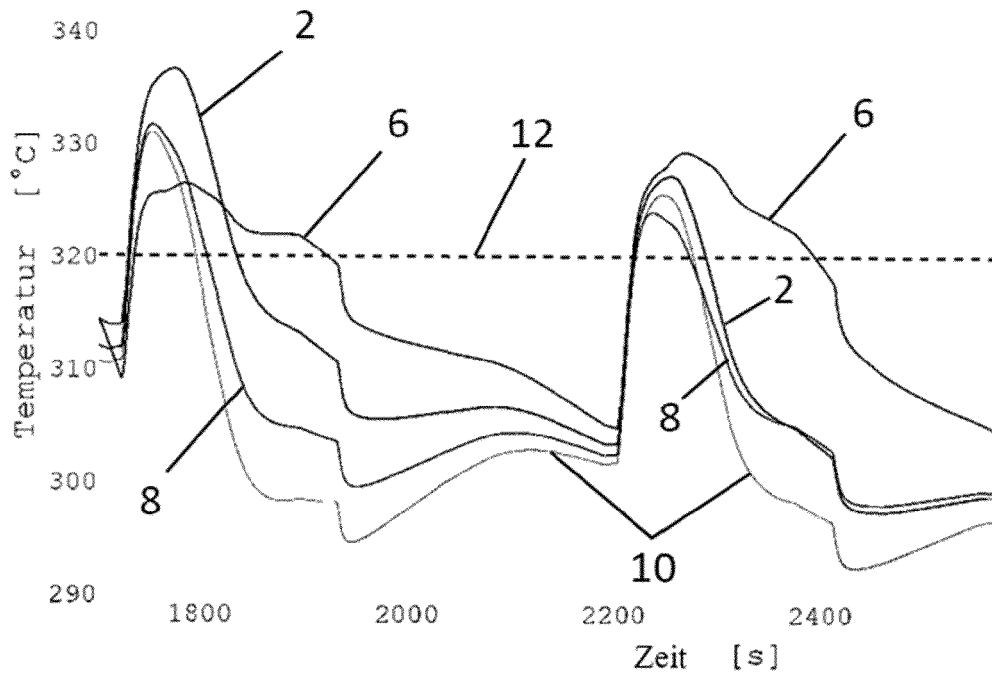


Fig. 2

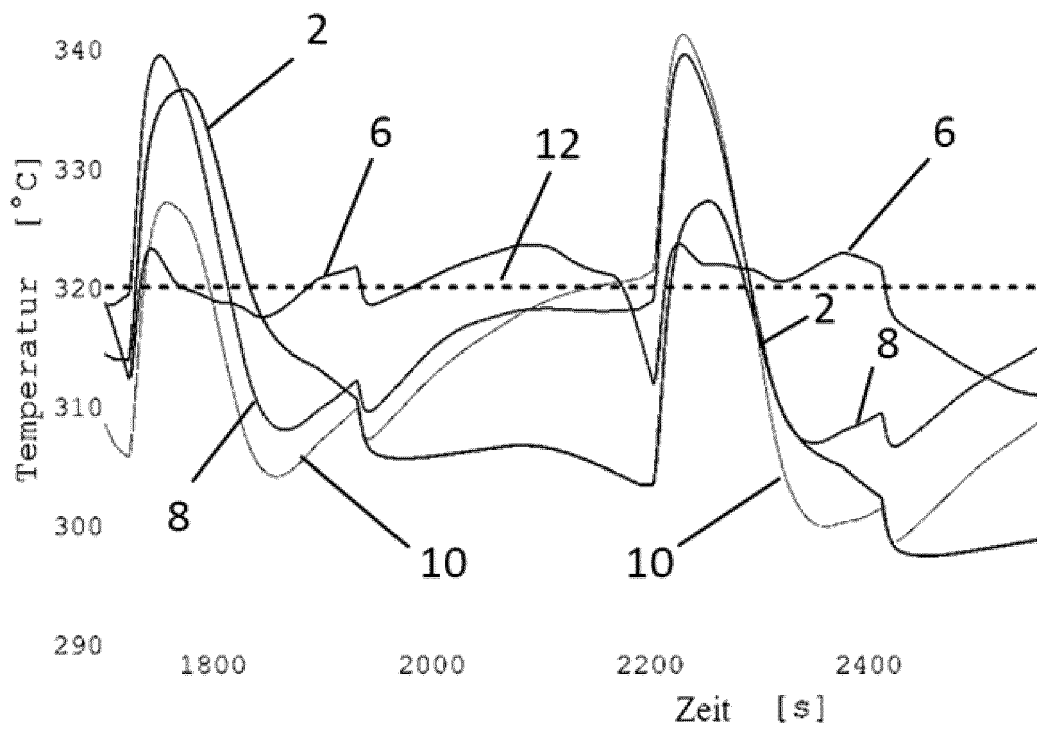


Fig. 3



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 22 15 2063

5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	JP 2019 048322 A (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORP) 28. März 2019 (2019-03-28)	1-4, 6-14	INV. B22D17/22 B22D17/32 B22D30/00 B22D46/00
A	* Absätze [0001], [0009], [0010] - [0013], [0018], [0048], [0067], [0082], [0098], [0136] * -----	5	
X	DE 10 2007 017690 A1 (SIEMPELKAMP GIESSEREI GMBH [DE]) 16. Oktober 2008 (2008-10-16) * Absätze [0001], [0007], [0008], [0013], [0018] * -----	1-14	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTER SACHGEBIETE (IPC) B22D G05B
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 8. Juli 2022	Prüfer Grave, Christian
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 : nichtschriftliche 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	

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 22 15 2063

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

08-07-2022

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2019048322 A	28-03-2019	JP 6881170 B2 JP 2019048322 A	02-06-2021 28-03-2019
DE 102007017690 A1	16-10-2008	KEINE	

EPO FORM P0461

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