(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 947 409 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
28.09.2016 Patentblatt 2016/39

(51) Int Cl.:
F27B 7/00 *(2006.01)* ***F27B 7/38*** *(2006.01)*
F27D 9/00 *(2006.01)* ***F27D 19/00*** *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **14168819.2**

(22) Anmeldetag: **19.05.2014**

(54) **Kühlsystem für Drehöfen**

Cooling system for rotary kilns

Système de refroidissement pour fours rotatifs

(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

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
25.11.2015 Patentblatt 2015/48

(73) Patentinhaber:
- **KIMA Echtzeitsysteme GmbH**
  52428 Jülich (DE)
- **Verein Deutscher Zementwerke e. V.**
  40476 Düsseldorf (DE)

(72) Erfinder:
- **Küllertz, Peter**
  41066 Mönchengladbach (DE)
- **Schneider, Martin**
  40489 Düsseldorf (DE)
- **Kalkert, Peter**
  52428 Jülich (DE)

(74) Vertreter: **Jostarndt Patentanwalts-AG**
Philipsstrasse 8
52068 Aachen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-01/25494
US-A- 4 973 245
US-A- 5 230 617

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

EP 2 947 409 B1

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Kühlsystem für Drehöfen, auf einen Drehofen mit einem solchen Kühlsystem sowie auf ein Verfahren zum Betreiben eines solchen Kühlsystems.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Drehöfen werden für kontinuierliche Prozesse in der Verfahrenstechnik verwendet. Ein Drehofen besteht in der Regel aus einem zum Teil viele Meter oder einige zehn Meter langen zylinderförmigen Drehrohr mit einem Ofenmantel in der Regel aus Metall. Hierbei ist der Ofenmantel leicht geneigt, um mit dem Umlauf des Ofenmantels einen Transport des Materials innen längs der Drehachse des Ofenmantels im Ofen von der höheren Einlaufseite zur niedrigeren Auslaufseite herbeizuführen. Das zu bearbeitenden Material kann unterschiedlich sein, beispielsweise Feststoffe, Gesteine, Schlämme oder Pulver. Die benötigte Prozesstemperatur kann in den Drehöfen direkt oder indirekt erzeugt werden. Bei Materialien, die eine hohe Prozesstemperatur benötigen, wird der Drehofen direkt, beispielsweise durch eine Lanze als Brenner an der Auslaufseite des Drehofens, die in etwa mittig im Drehrohr angeordnet ist, beheizt. Direkt beheizte Drehöfen werden beispielsweise für die Zementherstellung, für ein Kalkbrennen, das Schmelzen von keramischen Gläsern, Erschmelzen von Metallen, Eisenerzreduktion, Aktivkohleherstellung und andere Anwendungen verwendet. Die direkt beheizten Drehöfen werden dabei bei sehr heißen Temperaturen betrieben. Beispielsweise werden bei der Zementherstellung die Rohstoffe, umfassend Kalkstein und Ton, gemahlen und im Drehofen bei ca. 1450° C zu sogenanntem Klinker gebrannt und anschließend nach Verlassen des Drehofens abgekühlt und weiter verarbeitet.

[0003] Drehöfen, die diesen hohen Temperaturen ausgesetzt sind, haben einen Ofenmantel aus Edelstahl oder Hochtemperaturstahl, der Temperaturen bis zu 550° C beziehungsweise 950° C ausgesetzt werden kann. Da die Temperaturen im Bereich der direkten Heizung deutlich höher sind, ist der Ofenmantel aus Stahl an seiner Innenseite mit einer Hochtemperaturkeramik ausgekleidet. Die Dicke der Auskleidung bestimmt dabei die Temperatur, die der Stahlmantel während des Prozesses spürt. Damit der Ofenmantel sich nicht im Laufe des Betriebs aufgrund der Temperaturbelastung verzieht oder Schäden an der inneren Verkleidung nicht zu einem Verbiegen oder gar Schmelzen des Ofenmantels führen, wird der Ofenmantel gegenwärtig von außen mit Luftgebläsen, die über die gesamte Ofenmantellänge außen am Drehofen angeordnet sind, gekühlt.

[0004] Diese Kühlung ist aufwändig und nimmt einen großen Platz um den Ofen herum ein. Außerdem ist eine solche Gebläsekühlung sehr laut und verbraucht viel elektrische Energie, die teuer ist. Sollte aus Lärmschutzgründen die Lärmbelastung der Umgebung gesenkt werden müssen, müssten die Drehöfen in einer schalldämmenden Halle betrieben werden, was wegen der hohen Prozesstemperaturen nicht vorteilhaft und wegen der Gebäudekosten auch sehr kostenintensiv wäre. Außerdem kann eine solche Gebläsekühlung starke lokale Erwärmungen des Ofenmantels weder erkennen noch individuell kühlen.

[0005] Es wäre daher ein Kühlsystem für Drehöfen wünschenswert, das einfach und zuverlässig bei niedrigem Geräuschpegel betreibbar ist, eine lokale Kühlungssteuerung zulässt und den Energieaufwand verringert.

Zusammenfassung der Erfindung

[0006] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Kühlsystem für Drehöfen bereitzustellen, das einfach und zuverlässig bei niedrigem Geräuschpegel betreibbar ist, eine lokale Kühlungssteuerung ermöglicht und den Energieaufwand reduziert.

[0007] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Kühlsystem für Drehöfen zur Kühlung zumindest eines Abschnitts eines Ofenmantels, umfassend eine Anordnung von einem oder mehreren Kühlmodulen zur Aufbringung von Kühlflüssigkeit von außen auf den Ofenmantel in einem Auftreffbereich der Kühlflüssigkeit auf dem Ofenmantel, wobei die Kühlmodule für den zu kühlenden Abschnitt des Ofenmantels zumindest entlang der Drehachse des Ofenmantels beabstandet zum Ofenmantel angeordnet sind, jedes Kühlmodul ein ansteuerbares Schaltventil und eine Fächerdüse zur Abgabe eines gepulsten fächerförmigen Kühlflüssigkeitsstrahls umfasst und bei mehreren Kühlmodulen die benachbarten Kühlmodule in einem Abstand parallel zur Drehachse des Ofenmantels zueinander so angeordnet sind, dass die Auftreffbereiche den Ofenmantel entlang dessen Drehachse zumindest im zu kühlenden Abschnitt lückenlos kühlen und wobei jedes Kühlmodul mindestens einen mit einer Kühlsystemsteuerung verbundenen ersten Wärmesensor zur Messung einer ersten lokalen Temperatur des Ofenmantels in Drehrichtung des Ofenmantels gesehen vor dem Auftreffbereich der Kühlflüssigkeit und zur Übermittlung der ersten lokalen Temperatur an die Kühlsystemsteuerung umfasst, und die Kühlsystemsteuerung dazu ausgestaltet ist, das Schaltventil eines jeden Kühlmoduls entsprechend einer Differenz zwischen der jeweiligen ersten lokalen Temperatur und einer Solltemperatur so anzusteuern, dass mittels Einstellung der Pulslänge und/oder Pulsfrequenz des Kühlflüssigkeitsstrahls nach der Umdrehung des Ofenmantels die Stelle des Ofenmantels, an der eine Umdrehung zuvor die erste lokale Temperatur gemessen wurde, dann eine erste lokale Temperatur aufweist, die näher an der Solltemperatur liegt als bei der vorangegangenen Messung, sofern in der betreffenden Umdrehung Kühlflüssigkeit auf den jeweiligen Auftreffbereich aufgebracht wurde, wobei die Differenz zwischen den ersten lokalen Temperaturen

dieser beiden Messungen aber weniger als 30K, vorzugsweise weniger als 15K, beträgt.

[0008] Das Kühlsystem ist dabei ein System aus Kühlmodulen und einer Kühlsystemsteuerung, die mit den einzelnen Kühlmodulen über eine oder mehrere Datenleitungen, vorzugsweise einen Datenbus, verbunden ist, um die jeweiligen Schaltventile anzusteuern. Dabei sind die einzelnen Kühlmodule durch eine oder mehrere Medienleitungen mit einer Kühlflüssigkeitsversorgung des Kühlsystems verbunden. Die Medienleitungen können separat zu den einzelnen Kühlmodulen ausgeführt sein oder über eine zentrale Medienleitung die Kühlmodule parallel mit Kühlflüssigkeit versorgen. Zur Steuerung der Pulslängen und Pulsfrequenzen des Kühlflüssigkeitsstrahls sind die Schaltventile innerhalb der Kühlmodule vor der jeweiligen Fächerdüse in den jeweiligen Medienleitungen an geeigneter Position angeordnet. Die einzelnen Komponenten des Kühlsystems wie Daten- oder Medienleitung(en) sowie die ansteuerbaren Schaltventile können vom Fachmann für die jeweilige Anwendung geeignet gewählt werden, insbesondere auf die benötigte Durchflussmenge der Kühlflüssigkeit angepasst werden. Die Schaltventile können dabei durch die Kühlsystemsteuerung beispielsweise so betrieben werden, dass zwischen einem voll geöffnetem und einem vollständig geschlossenem Zustand hin- und her geschaltet wird, so dass die Durchflussmenge der Kühlflüssigkeit durch die Fächerdüse hindurch idealisiert ein Rechteckprofil aufweist. Im Gegensatz zu kontinuierlichen Flüssigkeitsstrahlen wird in dem erfindungsgemäßen Kühlsystem ein gepulster Strahl von Kühlflüssigkeit verwendet, wo sich Kühlflüssigkeitspulse mit Ruhephasen ohne Kühlflüssigkeit zwischen den Pulsen abwechseln. Dies ist vorteilhaft, um einerseits eine gute Kühlwirkung lokal zu erreichen, ohne dass die Abkühlung über dem Ofenmantel entlang eines Umfangs zu schnell vorgenommen werden kann. Eine zu schnelle Abkühlung beispielsweise aufgrund eines kontinuierlichen Strahls an Kühlflüssigkeit würde nicht tolerierbare Spannungen im Material des Ofenmantels hervorrufen und den Ofenmantel verziehen oder verbiegen, so dass der Drehofen funktionsuntüchtig wird. Aber auch Schichtspannungen, die zwar den Drehofen nicht verbiegen, aber zu einem Ablösen der Wärmeschutzmaterialien an der Innenseite des Ofenmantels führen, können für den Betrieb des Drehofens sehr negative Folgen haben, da das Ofenmantelmaterial an den Stellen, an denen es innen ungeschützt der Prozesstemperatur im Ofen ausgesetzt ist, sogar schmelzen kann. Letzteres führt auch zu einer Zerstörung des Drehofens. Solche Pulse an Kühlflüssigkeit haben eine Pulslänge pro Puls und eine Frequenz an Pulsen pro Zeiteinheit. Hierbei kann die durchschnittliche Durchflussmenge sowohl über die Pulslänge als auch über die Frequenz der Pulse (Pulsfrequenz) gesteuert werden. Innerhalb eines Pulses wird mit der Kühlflüssigkeit kontinuierlich gekühlt, während in der Zeit zwischen den jeweiligen Pulsen keine Kühlflüssigkeit auf dem Ofenmantel auftrifft. Erst die Kühlflüssigkeit des nächsten Pulses kühlt den Ofenmantel weiter herab. So kann über die Pulslänge einerseits die kurzzeitig verfügbare maximale Kühlleistung eingestellt werden, während über die Pulsfrequenz relativ zur Pulslänge die zeitlich gemittelte Kühlleistung eingestellt wird. Über Variation dieser Größen können unterschiedliche Stellen auf dem Ofenmantel unterschiedlich stark gekühlt werden, so dass die gewünschte Abkühlung an jeder Stelle des Ofenmantels, auf die innerhalb einer Ofenmantelumdrehung Kühlflüssigkeit aufgebracht wird, individuell und in Abhängigkeit von den lokalen Temperaturen und der vom Ofenmantelmaterial mechanisch kompensierbaren Spannungen aufgrund der Abkühlung eingestellt und kontrolliert werden. Als Kühlflüssigkeiten können dabei jegliche Flüssigkeiten verwendet werden, die mittels Auftreffen und Verdampfen auf einer heißen Oberfläche die Oberflächentemperatur verringern können und die hinreichend kleine Viskosität besitzen, damit diese durch eine Düse versprüht werden können. Ein Ausführungsbeispiel für geeignete Kühlflüssigkeiten ist dabei Wasser.

[0009] Die zur Steuerung verwendete Kühlsystemsteuerung kann einen oder mehrere geeignete Prozessoren zur Auswertung des Messdaten und zur Berechnung der benötigten Pulsfrequenzen und Pulslängen in Abhängigkeit von Ort und Zeit der Kühlmodule und der Ofenpositionen auf den jeweiligen Umfängen, ein oder mehrere Mikrokontroller zur Ansteuerung der Schaltventile und ein geeignetes Speichermedium zur zeit- und positionsabhängigen Speicherung der Temperaturdaten umfassen. Der Fachmann ist in der Lage, die entsprechend geeigneten Hardwarekomponenten für die Kühlsystemsteuerung auszuwählen. Die Solltemperatur wird dabei in der Kühlsystemsteuerung zur weiteren Steuerung hinterlegt und kann gegebenenfalls von dem Betreiber des Drehofens geändert werden. Die Solltemperatur stellt dabei eine gewünschte Temperatur des Ofenmantels dar, bei dem mechanische Veränderungen des Ofenmantels aufgrund der Materialerwärmung für die vorgesehene Betriebszeit ausgeschlossen oder sehr unwahrscheinlich sind.

[0010] Zur Erzielung einer Kühlwirkung durch Verdampfung muss die Kühlflüssigkeit möglichst reproduzierbar auf den Ofenmantel auftreffen. Den bei einem eingestellten Abstand zwischen Fächerdüse und Ofenmantel benötigten Leitungsdruck, damit der Kühlflüssigkeitsstrahl ohne Störung von äußeren Einflüssen wie beispielsweise Wind auf den vorgesehenen Auftreffbereich auftreffen kann, wird durch den Fachmann geeignet gewählt. Die Fächerdüse kann beispielsweise in einem Abstand von 1 m bis 1,5m zum Ofenmantel angeordnet werden. Bei Leitungsdrücken in den Kühlflüssigkeitsleitungen von 3 bar - 6 bar trifft der Kühlflüssigkeitsstrahl gut justierbar auf den Ofenmantel. In einer Ausführungsform sind die Fächerdüsen im Wesentlichen senkrecht zum Auftreffbereich auf dem Ofenmantel ausgerichtet. In anderen Ausführungsformen können auch andere Ausrichtungs- und damit Kühlflüssigkeitsstrahlwinkel gewählt werden. Fächerdüsen bezeichnen hierbei Düsen, die zu-

mindest in einer Ebene einen Strahl mit einem von der Düse abhängigen Öffnungswinkel aufweiten.

[0011] Der zu kühlende Abschnitt auf dem Ofenmantel kann in einer Ausführungsform nur den Bereich um die Feuerlanze herum betreffen, in anderen Ausführungsformen kann aber auch der Ofenmantel auf seiner gesamten Länge entlang der Drehachse des Drehofens gekühlt werden. Der Ofenmantel bezeichnet hierbei die äußere Hülle des sich drehenden Ofens und ist in der Regel aus temperaturbeständigem Stahl, Edelstahl oder Hochtemperaturstahl gefertigt. Der Drehofen wird durch das Kühlsystem zwar nur lokal im Auftreffbereich gekühlt, allerdings führt die kontinuierliche Drehung des Drehofens und damit des Ofenmantels dazu, dass alle Punkte auf dem Umfang des Ofenmantels, die während einer Drehung den Auftreffbereich der Kühlflüssigkeit eines jeden Kühlmoduls durchlaufen, gekühlt werden. Typische Umdrehungszeiten sind 0,5 min - 1,0 min pro Umdrehung. Da die Umdrehungsgeschwindigkeit bei Drehöfen konstant gehalten wird, ist die jeweilige Position einer Stelle auf dem Ofenmantel aus der Umdrehungsgeschwindigkeit und der jeweiligen Zeit (beispielsweise Messzeit der ersten Temperatur, Aufbringungszeit der Kühlflüssigkeit etc.) eindeutig gegeben und somit als Grundlage für die positionsabhängige Kühlsystemsteuerung verwendbar.

[0012] In einer weiteren Ausführungsform kann die aktuelle Umdrehungsgeschwindigkeit des Drehofens von einem Mikrocontroller beispielsweise mittels Marken auf dem Ofenmantel oder mit Hilfe von Drehgebern als Sensor für den Drehwinkel des Ofenmantels, die der Fachmann geeignet auswählt, am Drehofen gemessen werden und die jeweilige Position einer zu kühlenden Stelle daraus berechnet werden. Die Marken oder Signale des oder der Drehgeber können beispielsweise von einer Drehofensteuerung erkannt und die daraus berechnete Ofenmantelposition an die Kühlmittelsteuerung übermittelt werden. In einer alternativen Ausführungsform werden die Marken auf dem Ofenmantel oder die Signale der Drehgeber von entsprechenden optischen oder elektronischen Mitteln des Kühlsystems, beispielsweise angeordnet an einem oder mehreren Kühlmodulen oder ausgeführt als eine von den Kühlmodulen separate Drehwinkelerkennungseinheit angeschlossen an die Kühlsystemsteuerung erkannt und die daraus resultierende Ofenmantelposition an die Kühlsystemsteuerung über die Datenleitungen übermittelt.

[0013] Die für die Messungen der ersten (und/oder zweiten Temperatur) verwendeten Wärmesensoren können jede dafür geeignete Sensoren sein. Beispielsweise werden im erfindungsgemäßen Kühlsystem Infrarotsensoren verwendet. Der durch Verdampfung der Kühlflüssigkeit auf dem Ofenmantel entstehende Dampf beeinflusst die Temperaturmessung nur geringfügig, da durch die Wahl der Pulsfrequenz des Kühlflüssigkeitsstrahls die zeitliche Entwicklung des Dampfes gesteuert werden kann.

[0014] Im Gegensatz zu derzeit verwendeten Luftkühlsystemen ist das erfindungsgemäße Kühlsystem durch Verwendung einer Kühlflüssigkeit sehr geräuscharm zu betreiben, da die Aufbringung von Kühlflüssigkeit auf dem Ofenmantel nahezu geräuschlos vorgenommen werden kann und die Verdampfungsgeräusche im Vergleich zu den übrigen Betriebsgeräuschen des Drehofens vernachlässigbar sind. Außerdem erreicht man beispielsweise mit Wasser als Kühlflüssigkeit eine Kühlleistung von 1 MW abgeführter Leistung mit lediglich einer Wassermenge unter 1,8 m^3 pro Stunde. Für eine größere Kühlleistung müsste die Menge an Kühlflüssigkeit pro Zeiteinheit entsprechend erhöht werden, was bei der geringen benötigten Menge ohne Schwierigkeiten möglich wäre. Für die gleiche Kühlleistung müsste man bei einer Luftkühlung pro Stunde mehr als 30.000 m^3 Luft umwälzen. Somit ist das erfindungsgemäße Kühlsystem ressourcen- und energieschonend betreibbar. Durch die leichte und präzise Dosierbarkeit der Menge der aufgebrachten Kühlflüssigkeit mit entsprechend an die gemessenen Temperaturen angepassten Mengenprofilen als Funktion der Zeit können die durch die Abkühlung entstehenden Spannungen im Ofenmantel unterhalb kritischer Werte für die mechanische Stabilität des Ofenmantels gehalten werden. Beispielsweise würde eine Abkühlung eines Ofenmantels aus Stahl um 100K gegenüber seiner Umgebung zu einer Schrumpfung von 1 mm pro Meter Umfang führen. Bei Umfängen von 15 Metern oder mehr könnte dies zu einer Durchmesserschrumpfung von 6 mm führen. Dies wäre aus mechanischen Gründen unbedingt zu vermeiden. Bei einer Temperaturdifferenz von unterhalb 30K wäre die Schrumpfung des Umfangs dagegen kleiner als 0,3 mm pro Meter Umfang. Hier kommt zusätzlich, dass die Abkühlung im erfindungsgemäßen Kühlsystem nicht gleichzeitig über den gesamten Umfang stattfindet, sondern entlang des Umfangs über eine Umdrehung, also über 0,5 min - 1,0 min verteilt ist, was die Schichtspannungen weiter zu reduzieren hilft.

[0015] Durch das erfindungsgemäße Kühlsystem lassen sich Drehöfen einfach und zuverlässig kühlen, wobei das Kühlsystem bei niedrigem Geräuschpegel betreibbar ist, eine lokale Kühlungssteuerung ermöglicht und den Energieaufwand reduziert.

[0016] In einer Ausführungsform ist die Kühlsystemsteuerung so mit den Schaltventilen verschiedener Kühlmodule verbunden und ausgestaltet, dass sie die Schaltventile verschiedener Kühlmodule unabhängig voneinander zur Einstellung individueller Pulslänge und/oder Pulsfrequenz für jedes Kühlmodul ansteuert. Dadurch kann nicht nur in einem Auftreffbereich für ein Kühlmodul die Kühlung für den jeweiligen Umfang des Ofenmantels positionsabhängig gesteuert werden, sondern die Kühlleistung verschiedener Kühlmodule je nach Ort der jeweiligen unterschiedlichen Auftreffbereiche an die Drehofengegebenheiten und Notwendigkeiten angepasst werden. Im Bereich der Feuerlanze werden beispielsweise andere Kühlleistungen benötigt als in der Nähe der Einlassöffnung für das im Ofen zu prozessierende Rohmaterial, das dort eine wesentlich niedrigere Temperatur aufweist. Somit lässt sich dasselbe erfindungsgemäße

Kühlsystem individuell für verschiedene Drehöfen und Betriebsphasen verwenden beziehungsweise auf geänderte Betriebsparameter des Ofens anpassen.

[0017] In einer Ausführungsform ist die Kühlsystemsteuerung so ausgestaltet, dass sie die erste Temperatur entlang einer Ofenmanteldrehung durch den Auftreffbereich für einen Umfang des Ofenmantels positionsabhängig aufzeichnet und sie die Pulslänge und/oder Pulsfrequenz für das jeweilige Kühlmodul zumindest aufgrund der positionsabhängigen aufgezeichneten ersten Temperaturen so anpasst, dass die heißeste Position auf dem Umfang des Ofenmantels durch eine stärkere Kühlung durch das betreffende Kühlmodul in dem die heißeste Position umgebenden Umgebungsbereich zusätzlich gekühlt wird. Somit kann das erfindungsgemäße Kühlsystem nicht nur auf die gemessenen Temperaturen auf dem Ofenmantel nachfolgend reagieren, sondern bereits in Vorausschau in Abhängigkeit der Ofenmantelposition mittels der über den Umfang aufgezeichneten ersten Temperaturen mit einer verstärkten Umgebungskühlung auf besonders zu kühlende Stellen ergänzend reagieren.

[0018] In einer Ausführungsform unterbricht die Kühlsystemsteuerung nach Erreichen der Solltemperatur für ein Kühlmodul die Kühlung durch dieses Kühlmodul solange, bis die erste lokale Temperatur mindestens um einen einstellbaren Wert, vorzugsweise 30K, über der Solltemperatur liegt. Befindet sich der Ofenmantel auf oder nahe an der Solltemperatur, so kann aus wirtschaftlichen Gründen für ein gewisses Zeitintervall auf Kühlung verzichtet werden, um Ressourcen zu schonen.

[0019] In einer Ausführungsform sind die Fächerdüsen so ausgestaltet, dass sie einen fächerförmigen Kühlflüssigkeitsstrahl erzeugen, der einen ersten Öffnungswinkel von mindestens 40° entlang der Drehachse des Drehofens besitzt. Dadurch kann ein Kühlmodul einen größeren Bereich des Ofenmantels mit Kühlflüssigkeit besprühen, so dass die Anzahl der Kühlmodule für eine vollständige Kühlung des zu kühlenden Abschnitts begrenzt wird und das Kühlsystem dadurch mit einer geringeren Anzahl an Komponenten für eine vorgegebene Größe des zu kühlenden Bereichs auskommt. Gleichzeitig wird auch die Menge an Kühlflüssigkeit auf einen breiteren Auftreffbereich verteilt, so dass die Menge an Kühlflüssigkeit pro Flächeneinheit auf dem Ofenmantel leichter steuerbar ist und somit eine nicht gewollte zu starke Abkühlung eines kleinen Bereichs auf dem Ofenmantel verhindert wird. Die Auffächerung des Kühlflüssigkeitsstrahls kann dabei über die Wahl und Einstellung der Fächerdüse so gestaltet werden, dass benachbarte Auftreffbereiche leicht überlappen, da in den äußeren Bereichen der Auftreffbereiche in der Regel weniger Flüssigkeitsmenge pro Fläche aufgebracht wird als in dem zentralen Bereich des Auftreffbereichs einer jeden Fächerdüse. Somit können sich benachbarte Fächerdüsen in den äußeren Bereichen der Auftreffflächen beim Aufbringen der Kühlflüssigkeit ergänzen. Selbst wenn die Auftreffbereiche nicht überlappen, so überlappen dennoch die Bereiche benachbarter Kühlmodule, in denen eine Kühlwirkung auf dem Ofenmantel erreicht wird, da sich diese mittels Wärmeleitung über den reinen Auftreffbereich hinaus erstreckt. Ein solcher in der Ebene der Längsrichtung des Drehofens aufgefächerte Kühlflüssigkeitsstrahl kann in der Richtung senkrecht dazu (senkrecht zur Drehachse des Drehofens) beispielsweise einen zweiten Öffnungswinkel kleiner als 10° besitzen.

[0020] In einer weiteren Ausführungsform besitzen eine, mehrere oder alle Fächerdüsen zudem einen zweiten Öffnungswinkel in Drehrichtung des Ofenmantels (senkrecht zur Rotationsachse des Ofenmantels), der mindestens 30°, vorzugsweise mindestens 60°, beträgt. Dadurch können in Drehrichtung auf einem Umfang liegende benachbarte Bereiche durch denselben Auftreffbereich örtlich überlappend gekühlt werden, was einerseits die Kühlleistung über einen größeren Bereich verteilt und andererseits eine Vorkühlung nachfolgenden Bereiche, die erst danach den Auftreffbereich durchqueren, erreicht werden. Durch die überlappende Kühlung wird die örtliche Kühlleistung über eine längere Aufbringzeit verteilt und damit die lokalen Spannungen im Ofenmantel verringert. In einer bevorzugten Ausführungsform ist dabei die Kühlsystemsteuerung dazu vorgesehen, die Pulslänge des Kühlflüssigkeitsstrahls bei gleicher Pulsfrequenz beim Durchlauf der Stellen des Ofenmantels mit geringen Differenzen zur Solltemperatur durch den Auftreffbereich kurz einzustellen und beim Durchlauf der Stellen des Ofenmantels mit größeren Differenzen zur Solltemperatur durch den Auftreffbereich länger einzustellen.

[0021] In einer Ausführungsform sind der Abstand zwischen den benachbarten Kühlmodulen und ein Druck der Kühlflüssigkeit für die Kühlmodule so eingestellt, dass sich die Auftreffbereiche der Kühlflüssigkeiten auf dem Ofenmantel für benachbarte Kühlmodule berühren, vorzugsweise ohne sich dabei zu überlappen. Hierdurch wird sichergestellt, dass der zu kühlende Bereich bei geringstmöglicher Anzahl an Kühlmodulen vollständig gekühlt werden kann.

[0022] In einer Ausführungsform umfasst das Kühlmodul des Weiteren einen zweiten Wärmesensor zur Messung einer zweiten lokalen Temperatur des Ofenmantels in Drehrichtung des Ofenmantels hinter dem Auftreffbereich, der zur Übermittlung der zweiten lokalen Temperatur an die Kühlsystemsteuerung vorgesehen und dafür mit ihr verbunden ist, wobei die Kühlsystemsteuerung dazu vorgesehen ist, das Schaltventil eines jeden Kühlmoduls so anzusteuern, dass die Differenz zwischen erster und zweiter lokaler Temperatur während einer Umdrehung kleiner 10K, vorzugsweise kleiner 5K, beträgt. Der zweite Wärmesensor liefert einen Messwert für die lokale Ofenmanteltemperatur direkt nach dem Durchlauf dieses Punktes durch den Auftreffbereich der Kühlflüssigkeit. So erhält die Kühlsystemsteuerung einen direkten Wert für die Kühlwirkung. Das Abwarten einer vollständigen Umdrehung liefert dagegen nur den Wert nach typischerweise 30s - 60s (Zeit einer Ofenmanteldre-

hung), wodurch die Vergleich zwischen der ersten Temperatur bei der Umdrehung n und der ersten Temperatur eine Umdrehung später (Umdrehung n+1) durch die dazwischenliegende Erwärmung des Ofenmantel an nicht gekühlten Stellen den Wert ebenfalls beeinflusst wird. Mit der gemessenen zweiten Temperatur als ergänzender Messwert lässt sich die Ofenmantelkühlung noch präziser auf die Gegebenheiten zur Vermeidung von nachteiligen Abkühleffekten anpassen.

[0023] In einer weiteren Ausführungsform ist der erste Wärmesensoren im jeweiligen Kühlmodul an einer ersten Position angeordnet ist, wobei eine gedachte Verbindungslinie zwischen erster Position und Düsenmittelpunkt senkrecht zur Drehachse des Ofenmantels verläuft. Im Falle des Vorhandenseins eines zweiten Wärmesensors als zusätzlicher Wärmesensor im Kühlmodul ist dieser zweite Wärmesensor an einer zweiten Positionen ungleich der ersten Position angeordnet, wobei eine gedachte Verbindungslinie zwischen erster und zweiter Position senkrecht zur Drehachse des Ofenmantels verläuft und erste und zweite Positionen zumindest den gleichen Abstand zum Ofenmantel haben. Damit werden die Messwerte mit den ersten und zweiten Wärmesensoren unter gleichen räumlichen Bedingungen genommen beziehungsweise der erste Wärmesensor ist auf den Mittelpunkt des Auftreffbereichs gerichtet. Dieser Mittelpunkt ist der Punkt, an dem die größte Menge an Kühlflüssigkeit während eines Pulses auf den Auftreffbereich aufgebracht wird und der somit die größte Überwachung erfordert. Die erste und/oder zweite Position der Wärmesensoren können beispielsweise so gewählt werden, dass die auf dem Ofenmantel verdampfende Kühlflüssigkeit nicht oder nur unwesentlich durch den Bereich zwischen den Wärmesensoren und dem Ofenmantel zieht. Damit wird die Temperaturmessung von der Dampfentwicklung der verdampfenden Flüssigkeit nicht mehr beeinflusst.

[0024] In einer Ausführungsform wird die Pulslänge und/oder Pulsfrequenz des Kühlflüssigkeitsstrahls so eingestellt, dass die zweite Temperatur für die Stelle des Ofenmantels, an der bereits die erste Temperatur während der gleichen Umdrehung detektiert wurde, eine um mindestens 2K kleinere Differenz zur Solltemperatur ausweist als die erste Temperatur. Damit wird sichergestellt, dass neben der Vermeidung von Spannungen im Ofenmantel dennoch eine hinreichende Kühlung des Ofenmantels erreicht wird.

[0025] In einer Ausführungsform ist die Kühlsystemsteuerung dazu ausgestaltet, ein Warnsignal auszusenden, sobald zumindest die Differenz zwischen Solltemperatur und erster Temperatur über einer Schwellentemperatur liegt, vorzugsweise wird das Warnsignal elektronisch zu einer Drehofensteuerung übermittelt. Somit kann bei einer nicht genügenden Kühlung des Drehofens dieser durch andere Prozesseinstellungen über die Drehofensteuerung geschützt werden. Sofern das Warnsignal automatisch und elektronisch übermittelt wird, kann die Drehofensteuerung gleichsam automatisch und ohne Zeitverzögerung reagieren. Die Schwellentemperatur kann ebenfalls in der Kühlsystemsteuerung hinterlegt und geändert werden. Sie ist von der jeweiligen Anwendung und vom Drehofen abhängig.

[0026] Die Erfindung bezieht sich auch auf einen Drehofen mit einem erfindungsgemäßen Kühlsystem. Drehöfen sind beispielsweise direkt beheizte Drehöfen zum Kalkbrennen, zum Schmelzen von keramischen Gläsern, zum Erschmelzen von Metallen, zur Eisenerzreduktion, zur Aktivkohleherstellung und für andere Anwendungen. In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Drehofen ein Zementdrehofen.

[0027] Die Erfindung betrifft des Weiteren ein Verfahren zum Betreiben eines erfindungsgemäßen Kühlsystems für Drehöfen zur Kühlung zumindest eines Abschnitts eines Ofenmantels umfassend eine Anordnung von einem oder mehreren Kühlmodulen, die für den zu kühlenden Abschnitt des Ofenmantels zumindest entlang der Drehachse des Ofenmantels beabstandet zum Ofenmantel angeordnet sind, jedes Kühlmodul ein ansteuerbares Schaltventil und eine Fächerdüse zur Abgabe eines gepulsten fächerförmigen Kühlflüssigkeitsstrahls und mindestens einen ersten Wärmesensor zur Messung einer ersten Temperatur umfasst, umfassend die Schritte

- Messen der ersten lokalen Temperatur des Ofenmantel in Drehrichtung des Ofenmantels gesehen vor dem Auftreffbereich der Kühlflüssigkeit;
- Übermittlung der ersten lokalen Temperaturen durch den ersten Wärmesensor an eine mit ihnen verbundene Kühlsystemsteuerung;
- Einstellung der Pulslänge und/oder Pulsfrequenz des Kühlflüssigkeitsstrahls mittels Ansteuerung des Schaltventils eines jeden Kühlmoduls durch die Kühlsystemsteuerung entsprechend einer Differenz zwischen der ersten Temperatur und einer Solltemperatur, so dass nach einer Umdrehung des Ofenmantels die Stelle des Ofenmantels, an der eine Umdrehung zuvor die erste lokale Temperatur gemessen wurde, dann eine erste lokale Temperatur aufweist, die näher an der Solltemperatur liegt als bei der vorangegangenen Messung, sofern in der betreffenden Umdrehung Kühlflüssigkeit auf den jeweiligen Auftreffbereich aufgebracht wurde, wobei die Differenz zwischen den ersten lokalen Temperaturen dieser beiden Messungen aber weniger als 30K, vorzugsweise weniger als 15K, beträgt; und
- Aufbringung der Kühlflüssigkeit von außen auf den Ofenmantel in einem Auftreffbereich der Kühlflüssigkeit auf dem Ofenmantel, wobei bei mehreren Kühlmodulen die benachbarten Kühlmodule in einem Abstand parallel zur Drehachse des Drehofens zueinander so angeordnet sind, dass die Auftreffbereiche den Ofenmantel entlang der Drehachse zumindest im zu kühlenden Abschnitt lückenlos kühlen.

[0028] In einer Ausführungsform des Verfahrens steu-

ert dabei die Kühlsystemsteuerung die Schaltventile verschiedener Kühlmodule unabhängig voneinander zur Einstellung individueller Pulslänge und/oder Pulsfrequenz für jedes Kühlmodul an.

[0029] In einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens zeichnet die Kühlsystemsteuerung die ersten Temperaturen entlang einer Ofenmanteldrehung durch den Auftreffbereich des Kühlflüssigkeitsstrahls des jeweiligen Kühlmoduls für einen Umfang des Ofenmantels positionsabhängig auf und passt Pulslänge und/oder Pulsfrequenz für das jeweilige Kühlmodul aufgrund der positionsabhängigen aufgezeichneten Temperaturen so an, dass die heißeste Position auf dem Umfang des Ofenmantels durch eine stärkere Kühlung durch das betreffende Kühlmodul in dem die heißeste Position (PH) umgebenden Umgebungsbereich zusätzlich gekühlt wird.

Kurze Beschreibung der Abbildungen

[0030] Diese und andere Aspekte der Erfindung werden im Detail in den Abbildungen wie folgt gezeigt:

Fig.1: schematische Darstellung eines üblichen Drehofens (a) in seitlicher Ansicht und (b) im Schnitt senkrecht zur Drehachse;

Fig.2: ein Drehofen mit einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Kühlsystems in Draufsicht von oben;

Fig.3: Drehofen mit einer weitern Ausführungsform des erfindungsgemäßen Kühlsystems im Schnitt senkrecht zur Drehachse des Drehofens;

Fig.4: eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Betreiben des erfindungsgemäßen Kühlsystems.

Detaillierte Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0031] Fig.1 zeigt eine schematische Darstellung eines üblichen Drehofens 1 (a) in seitlicher Ansicht und (b) im Schnitt senkrecht zur Drehachse R. Drehöfen 1 werden für kontinuierliche Prozesse in der Verfahrenstechnik verwendet. Der hier gezeigte Drehofen 1 umfasst ein viele zehn Meter langes zylinderförmiges Drehrohr mit einem Ofenmantel 2 aus Metall, das um seine Längsachse als Drehachse R in einer Drehrichtung DR gedreht wird. Hierbei ist der Ofenmantel 2 leicht geneigt, beispielsweise um 5°, um mit dem Umlauf des Ofenmantels 2 einen Transport des Materials innen längs der Drehachse R des Ofenmantels 2 im Drehofen 1 von der höheren Einlassöffnung (Einlaufseite) 2E zur niedrigeren Auslassöffnung (Auslaufseite) 2A herbeizuführen. Das zu bearbeitenden Material 61, das auf der Einlassöffnung 2E in den Drehofen 1 hineingegeben wird, kann unterschiedlich sein, beispielsweise Feststoffe, Gesteine, Schlämme oder Pulver. Die benötigte Prozesstemperatur kann in den Drehöfen 1 direkt oder indirekt erzeugt werden. Bei Materialien, die eine hohe Prozesstemperatur benötigen, wird der Drehofen 1 wie hier gezeigt direkt, beispielsweise durch eine Feuerlanze 51 erzeugt durch einen Brenner 5 an der Auslassöffnung 2A des Drehofens 1, die in etwa mittig im Drehrohr angeordnet ist, beheizt. Direkt beheizte Drehöfen 1 werden beispielsweise für die Zementherstellung, für ein Kalkbrennen, das Schmelzen von keramischen Gläsern, Erschmelzen von Metallen, Eisenerzreduktion, Aktivkohleherstellung und andere Anwendungen verwendet. Die direkt beheizten Drehöfen 1 werden dabei bei sehr heißen Temperaturen betrieben. Beispielsweise werden bei der Zementherstellung die Rohstoffe umfassend Kalkstein und Ton gemahlen und im Drehofen 1 bei ca. 1450°C zu sogenanntem Klinker als aus der Auslassöffnung 2A heraustretendes Material 62 gebrannt und anschließend nach Verlassen des Drehofens 1 abgekühlt und weiter verarbeitet.

[0032] Drehöfen 1, die diesen hohen Temperaturen ausgesetzt sind, haben einen Ofenmantel 2 aus Edelstahl oder Hochtemperaturstahl, der Temperaturen bis zu 550° C beziehungsweise 950° C ausgesetzt werden kann. Da die Temperaturen im Bereich der direkten Heizung deutlich höher sind, ist der Ofenmantel 2 aus Stahl an seiner Innenseite mit einer Hochtemperaturkeramik 7 ausgekleidet. Die Dicke der Auskleidung 7 bestimmt dabei die Temperatur, die der Stahlmantel 2 während des Prozesses spürt. Damit der Ofenmantel 2 sich nicht im Laufe des Betriebs aufgrund der Temperaturbelastung verzieht oder Schäden an der inneren Verkleidung nicht zu einem Verbiegen oder gar Schmelzen des Ofenmantels 2 führen, wird der Ofenmantel von außen gekühlt (hier nicht explizit gezeigt). Die Hochtemperaturkeramik 7 ist in der Regel aus Keramikkacheln 71 gebildet, die in Kontakt zueinander nebeneinander angeordnet werden.

[0033] Fig.2 zeigt einen Drehofen 1 mit einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Kühlsystems 3 in Draufsicht von oben. Das Kühlsystem 3 für Drehöfen 1 zur Kühlung zumindest eines Abschnitts 21 eines Ofenmantels 2 umfasst in dieser Ausführungsform als Beispiel eine Anordnung von drei Kühlmodulen 31, 31', 31" zur Aufbringung von Kühlflüssigkeit 4 von außen auf den Ofenmantel 2 in einem Auftreffbereich 41 der Kühlflüssigkeit 4 auf dem Ofenmantel 2, wobei die Kühlmodule 31 im zu kühlenden Abschnitt 21 des Ofenmantels 2 zumindest entlang der Drehachse R des Ofenmantels 2 angeordnet sind. Der graue Pfeil deutet dabei an, dass neben den hier gezeigten Kühlmodulen 31, 31', 31" in anderen Ausführungsformen weitere Kühlmodule auch über die gesamte Länge des Drehofens 1 beziehungsweise des Ofenmantels 2 angeordnet sein können. Jedes Kühlmodul 31, 31', 31" umfasst ein ansteuerbares Schaltventil 311 und eine Fächerdüse 312, über die ein gepulster fächerförmiger Kühlflüssigkeitsstrahl 4 auf den Ofenmantel gesprüht wird. Benachbarte Kühlmodule 31, 31 ', 31 " besitzen dazu einen in Abhängigkeit von der

Aufweitung des Kühlflüssigkeitsstrahls durch die Fächerdüse 312 geeignet gewählten Abstand A1 parallel zur Drehachse R des Ofenmantels 2 zueinander, so, dass die Auftreffbereiche 41 den Ofenmantel 2 entlang dessen Drehachse R, zumindest im zu kühlenden Abschnitt 21, lückenlos kühlen. Dazu umfasst jedes Kühlmodul 31 mindestens einen mit einer Kühlsystemsteuerung 32 über Datenleitungen 33 verbundenen ersten Wärmesensor 313 (siehe Fig.3) zur Messung einer ersten lokalen Temperatur T1 des Ofenmantels 2 in Drehrichtung DR des Ofenmantels 2 gesehen vor dem Auftreffbereich 41 der Kühlflüssigkeit 4 und zur Übermittlung U1 der ersten lokalen Temperatur T1 über die Datenleitungen 33 an die Kühlsystemsteuerung 32. Die Kühlsystemsteuerung 32 ist dazu ausgestaltet, das Schaltventil 311 eines jeden Kühlmoduls 31 über die Datenleitung 33 entsprechend einer Differenz DT1 zwischen der jeweiligen ersten lokalen Temperatur T1 und einer Solltemperatur ST so anzusteuern, dass mittels Einstellung E der Pulslänge und/oder Pulsfrequenz des Kühlflüssigkeitsstrahls 4 nach einer Umdrehung n+1 des Ofenmantels 2 die Stelle S1 des Ofenmantels 2, an der eine Umdrehung zuvor (Umdrehung n) die erste lokale Temperatur T1 gemessen wurde, dann eine erste lokale Temperatur T1' aufweist, die näher an der Solltemperatur ST liegt als bei der vorangegangenen Messung, wobei die Differenz DT1-U zwischen den ersten lokalen Temperaturen T1, T1' dieser beiden Messungen aber weniger als 30K, vorzugsweise weniger als 15K, beträgt. Für die hier nicht explizit gezeigten Merkmale wird auf Figur 3 und 4 verwiesen. Die Fächerdüsen 312 sind dabei so ausgestaltet, dass sie einen fächerförmigen Kühlflüssigkeitsstrahl 4 erzeugen, der einen ersten Öffnungswinkel W1 von mindestens 40° entlang der Drehachse R des Drehofens 2 besitzt. Die Kühlsystemsteuerung 32 ist in dieser Ausführungsform so mit den Schaltventilen 311 verschiedener Kühlmodule 31, 31', 31" verbunden und ausgestaltet, dass sie 32 die Schaltventile 311 verschiedener Kühlmodule 31, 31', 31" unabhängig voneinander zur Einstellung individueller Pulslänge und/oder Pulsfrequenz für jedes Kühlmodul 31, 31', 31" ansteuert. Dabei ist der Abstand A1 zwischen den benachbarten Kühlmodulen 31, 31', 31" so gewählt und ein Druck der Kühlflüssigkeit 4 für die Kühlmodule 31, 31', 31" so eingestellt, dass sich die Auftreffbereiche 41 der Kühlflüssigkeiten 4 auf dem Ofenmantel 2 für benachbarte Kühlmodule 31, 31', 31" berühren, vorzugsweise ohne sich dabei zu überlappen. Der Abstand der Fächerdüse zum Ofenmantel 2 kann je nach Temperatur des Ofenmantels 2, des verwendeten Leitungsdrucks für die Kühlflüssigkeit und der ersten und/oder zweiten Öffnungswinkel geeignet eingestellt werden. Typische Leitungsdrücke für die Kühlflüssigkeit betragen beispielsweise 3 bar - 6 bar.

[0034] In dieser Ausführungsform ist das Kühlsystem 3 und die Kühlsystemsteuerung 32 dazu ausgestaltet, ein Warnsignal SW auszusenden, sobald zumindest die Differenz DT1 zwischen Solltemperatur ST und erster Temperatur T1 über einer Schwellentemperatur liegt. Dazu ist die Kühlsystemsteuerung 32 über eine gestrichelt dargestellte Datenleitung elektronisch mit der Drehofensteuerung 11 verbunden, um dieser das Warnsignal SW automatisch übermitteln zu können.

[0035] Fig.3 zeigt einen Drehofen 1 mit einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Kühlsystems 3 im Schnitt senkrecht zur Drehachse des Drehofens 1. Hierbei ist die Figurenbeschreibung im Wesentlichen auf die in Fig. 2 nicht gezeigten Komponenten des erfindungsgemäßen Kühlsystems 3 ausgerichtet. Für die hier erwähnten Komponenten, die nicht in Figur 3 dargestellt sind, wird auf Fig.2 verwiesen. Neben dem an Position P1 angeordneten ersten Wärmesensor 313 zur Messung der ersten lokalen Temperatur T1 an der Stelle S1 auf dem Ofenmantel 2, bevor die Stelle S1 den Auftreffbereich der Kühlflüssigkeit auf dem Ofenmantel 2 durch Drehung des Ofenmantels 2 in Drehrichtung DR erreicht, umfasst das Kühlmodul 31 des Weiteren einen zweiten Wärmesensor 314 zur Messung einer zweiten lokalen Temperatur T2 des Ofenmantels 2 in Drehrichtung DR des Ofenmantels 2 hinter dem Auftreffbereich 41, angedeutet durch die gestrichelte geschwungene Klammer. Beide Wärmesensoren 313, 314 sind zur Übermittlung U1, U2 der ersten und zweiten lokalen Temperaturen T1, T2, wie in Fig.2 gezeigt, mit der Kühlsystemsteuerung 32 verbunden, wobei die Kühlsystemsteuerung 32 dazu vorgesehen ist, das Schaltventil 311 eines jeden Kühlmoduls, hier das gezeigte Kühlmodul 31, so anzusteuern, dass die Differenz DT2 zwischen erster und zweiter lokaler Temperatur T1, T2 während einer Umdrehung kleiner 10K, vorzugsweise kleiner 5K, beträgt. Die Kühlsystemsteuerung stellt dabei allerdings die Pulslänge und/oder Pulsfrequenz des Kühlflüssigkeitsstrahls 4 so ein, dass die zweite Temperatur T2 für die Stelle ST des Ofenmantels 2, an der bereits die erste Temperatur T1 während der gleichen Umdrehung detektiert wurde, eine um mindestens 0,5 K kleinere Differenz zur Solltemperatur ST ausweist als die erste Temperatur T1.Der erste Wärmesensor 313 ist dabei an einer ersten Position P1 angeordnet, wobei eine gedachte Verbindungslinie zwischen erster Position P1 und Düsenmittelpunkt D1 senkrecht zur Drehachse R des Ofenmantels 2 verläuft. Der zweite Wärmesensor 314 ist an einer von der ersten Position entfernten zweiten Positionen hinter dem Auftreffbereich der Kühlflüssigkeit auf dem Ofenmantel 2 in Drehrichtung des Ofenmantels 2 gesehen angeordnet, wobei eine gedachte Verbindungslinie zwischen erster und zweiter Position P1, P2 senkrecht zur Drehachse R des Ofenmantels 2 verläuft und erste und zweite Positionen P1, P2 zumindest den gleichen Abstand A2 zum Ofenmantel haben. P1 und P2 können des Weiteren so gewählt werden, dass die Temperaturmessungen nicht durch die verdampfende Kühlflüssigkeit 4 beeinflusst werden, beispielsweise über Form und Länge der Befestigungsmittel 315 der Wärmesensoren 313, 314 an dem Kühlmodul 32.

[0036] Die hier gezeigte Fächerdüse 312 ermöglicht für den Kühlflüssigkeitsstrahl 4 zusätzlich zum ersten Öff-

nungswinkel einen zweiten Öffnungswinkel W2 in Drehrichtung R des Ofenmantels 2, der mindestens 30°, vorzugsweise mindestens 60°, beträgt. Vorzugsweise ist dabei die Kühlsystemsteuerung 32 dazu vorgesehen, die Pulslänge des Kühlflüssigkeitsstrahls 4 bei gleicher Pulsfrequenz beim Durchlauf der Stellen des Ofenmantels 2 mit geringen Differenzen DT1 zur Solltemperatur ST durch den Auftreffbereich 41 kurz einzustellen und beim Durchlauf der Stellen des Ofenmantels 2 mit größeren Differenzen DT1 zur Solltemperatur ST durch den Auftreffbereich 41 länger einzustellen.

[0037] In dieser Ausführungsform ist beispielhaft für mögliche auftretende Problemfälle die Wärmeisolationsschicht 7, hergestellt aus keramischen Kacheln 71, auf der Innenseite des Ofenmantels 2 gezeigt, wobei an der Stelle 72 eine solche Keramikkachel 71 fehlt, so dass diese Stelle 72 der Temperatur im Inneren des Drehofens ohne Schutz ausgesetzt ist. Somit wird sich der Ofenmantel 2 außen an der Stelle PH deutlich mehr erhitzen als an den Stellen, wo auf der Innenseite weiterhin schützende Keramikkacheln 71 vorhanden sind. Um dennoch diese heiße Stelle PH ausreichend kühlen zu können, ist in dieser Ausführungsform die Kühlsystemsteuerung 32 so ausgestaltet, dass sie die erste Temperatur T1 entlang einer Ofenmanteldrehung 2Un+1 durch den Auftreffbereich 41 für einen Umfang des Ofenmantels 2 positionsabhängig aufzeichnet und sie Pulslänge und/oder Pulsfrequenz für das jeweilige Kühlmodul 31 zumindest aufgrund der positionsabhängigen aufgezeichneten ersten Temperaturen T1 so anpasst, dass die heißeste Position PH auf dem Umfang des Ofenmantels 2 durch eine stärkere Kühlung durch das Kühlmodul 31 in dem die heißeste Position PH umgebenden Umgebungsbereich PH-U zusätzlich gekühlt wird. Der Umgebungsbereich PH-U ist hier durch den Gestrichelten Pfeil entlang der Drehrichtung angedeutet. Natürlich erstreckt sich der Umgebungsbereich PH-U auch in die Richtung entlang der Drehachse, was hier nicht gezeigt ist.

[0038] Fig.4 zeigt eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Betreiben des erfindungsgemäßen Kühlsystems 3, wobei zunächst die erste lokale Temperatur T1 des Ofenmantel 2 in Drehrichtung DR des Ofenmantels 2 gesehen vor dem Auftreffbereich 41 der Kühlflüssigkeit 4 gemessen M1 wird. Anschließend wird die erste lokale Temperaturen T1 durch den ersten Wärmesensor 313 an die mit ihm verbundene Kühlsystemsteuerung 32 übermittelt U1 und dort gespeichert. In der Kühlsystemsteuerung 32 ist die Solltemperatur 32 hinterlegt. Anhand der gemessenen ersten lokalen Temperatur T1 wird die Differenz DT1 zwischen erster Temperatur T1 und der Solltemperatur ST berechnet. Sofern bereits die ersten lokalen Temperaturen für alle Punkte auf einem Umlauf des Ofenmantels für mindestens eine Drehung des Ofenmantels 2 vorliegen, wird auch die Differenz DT1-U der erstem Temperaturen T1, T1'zwischen der aktuellen Messung M1 und der vorangegangenen Messung bei der vorangegangenen Umdrehung für dieselben Stellen S1 auf dem Ofenmantel 2 berechnet. Sofern das Kühlmodul 31 einen zweiten Wärmesensor 314 umfasst, wird auch die Differenz DT2 zwischen der ersten Temperatur T1 und der durch den zweiten Wärmesensor 314 gemessenen M2 und an die Kühlsystemsteuerung 32 übermittelten U2 zweiten Temperatur T2 berechnet. Aufgrund der berechneten Differenzen DT1, DT2 und/oder DT1-U stellt die Kühlsystemsteuerung 32 die Pulslänge und/oder Pulsfrequenz des Kühlflüssigkeitsstrahls 4 mittels Ansteuerung des Schaltventils 311 eines jeden Kühlmoduls 31, 31', 31" entsprechend einer Differenz DT1 ein E, so dass nach einer Umdrehung 2Un+1 des Ofenmantels 2 die Stelle S1 des Ofenmantels 2, an der eine Umdrehung 2Un zuvor die erste lokale Temperatur T1 gemessen wurde, dann eine erste lokale Temperatur T1' aufweist, die näher an der Solltemperatur ST liegt als bei der vorangegangenen Messung, wobei die Differenz DT1-U zwischen den ersten lokalen Temperaturen T1, T1' dieser beiden Messungen aber weniger als 30K, vorzugsweise weniger als 15K, beträgt. Je nach Ausführungsform der Kühlsystemsteuerung 32 und der vorhandenen Komponenten wie der zweite Wärmesensor 314 wird auch die Differenzen DT2 und ein Mindestwert für die Ofenmantelkühlung zur Steuerung der Kühlprozesses mit berücksichtigt. Nachdem das Schaltventil 311 entsprechend der Auswertung der Temperaturmessungen angesteuert wurde, wird über Schaltventil 311 und Fächerdüse 312 die Kühlflüssigkeit 4 von außen auf den Ofenmantel 2 in einem Auftreffbereich 41 der Kühlflüssigkeit 4 auf dem Ofenmantel 2 aufgebracht A, wobei benachbarte Kühlmodule 31, 31', 31" in einem Abstand A1 parallel zur Drehachse R des Drehofens 2 zueinander so angeordnet sind, dass die Auftreffbereiche 41 den Ofenmantel 2 entlang der Drehachse R zumindest im zu kühlenden Abschnitt 21 lückenlos kühlen. Die Kühlsystemsteuerung 32 steuert dabei in dieser Ausführungsform die Schaltventile 311 verschiedener Kühlmodule 31, 31', 31" unabhängig voneinander zur Einstellung E individueller Pulslängen und/oder Pulsfrequenzen für jedes Kühlmodul 31, 31', 31" an.

[0039] In dieser Ausführungsform zeichnet die Kühlsystemsteuerung 32 die ersten Temperaturen T1 entlang einer Ofenmanteldrehung durch den Auftreffbereich 41 des Kühlflüssigkeitsstrahls 4 des jeweiligen Kühlmoduls 31, 31', 31" für einen Umfang des Ofenmantels 2 positionsabhängig auf, wodurch die Kühlsystemsteuerung 32 aus den Daten die heißeste Position PH auf dem Ofenmantel identifiziert (gegebenenfalls mehrere heiße Positionen PH auf dem Ofenmantel) und passt Pulslänge und/oder Pulsfrequenz für das jeweilige Kühlmodul 31, 31', 31", dessen Auftreffbereich 41 von der heißesten Stelle PH oder den heißen Stellen PH durchlaufen wird, aufgrund dieser positionsabhängig aufgezeichneten Temperaturen T1 so an, dass die heißeste Position PH auf dem Umfang des Ofenmantels 2 durch eine stärkere Kühlung durch das betreffende Kühlmodul 31, 31', 31" in dem die heißeste Position PH umgebenden Umgebungsbereich PH-U zusätzlich gekühlt wird.

[0040] In einer weiteren Ausführungsform unterbricht zusätzlich die Kühlsystemsteuerung 32 nach Erreichen der Solltemperatur ST für ein Kühlmodul 31, 31', 31" die Kühlung durch dieses Kühlmodul 31, 31', 31" solange, bis die erste lokale Temperatur T1 mindestens um einen einstellbaren Wert (Einschaltschwelle), vorzugsweise 30 K, über der Solltemperatur ST liegt. Beispielsweise liegt die Solltemperatur bei einem Zementdrehofen bei 210° C, die Einschaltschwelle zur erneuten Kühlung würde dann bei 240° C liegen.

[0041] Die hier gezeigten Ausführungsformen stellen nur Beispiele für die vorliegende Erfindung dar und dürfen daher nicht einschränkend verstanden werden. Alternative durch den Fachmann in Erwägung gezogene Ausführungsformen sind gleichermaßen vom Schutzbereich der vorliegenden Erfindung umfasst.

Liste der Bezugszeichen

[0042]

1	Drehofen
11	Drehofensteuerung
2	Ofenmantel
2E	Einlassöffnung für das zu bearbeitende Material
2A	Auslassöffnung für das bearbeitete Material
2Un	Ofenmantels nach n Umdrehungen (vor einer Umdrehung)
2Un+1	Ofenmantel nach n+1 Umdrehungen (eine weitere Umdrehung)
21	zu kühlender Abschnitt des Ofenmantels
3	erfindungsgemäßes Kühlsystem
31, 31',31"	Kühlmodul
311	Schaltventil im Kühlmodul
312	Fächerdüse im Kühlmodul
313	erster Wärmesensor
314	zweiter Wärmesensor
315	Befestigungsmittel für Wärmesensor(en) am Kühlmodul
32	Kühlsystemsteuerung
33	Datenleitungen im Kühlsystem
34	Kühlflüssigkeitsleitungen im Kühlsystem
4	Kühlflüssigkeit, Kühlflüssigkeitsstrahl
41	Auftreffbereich der Kühlflüssigkeit auf den Ofenmantel
5	Brenner des Drehofens
51	Feuerlanze
61	vom Drehofen zu bearbeitendes Material
62	das vom Drehofen bearbeitete Material
7	wärmeisolierende Schicht auf der Innenseite des Ofenmantels
71	Keramikkacheln
72	in der wärmeisolierenden Schicht fehlende Keramikkachel
A	Aufbringung von Kühlflüssigkeit von außen auf den Ofenmantel
A1	Abstand benachbarter Kühlmodule zueinander parallel zur Drehachse R
A2	Abstand zwischen dem Ofenmantel und der ersten und/oder zweiten Position des ersten und/oder zweiten Wärmesensors
D1	Düsenmittelpunkt
DR	Drehrichtung des Ofenmantels
DT1	Differenz zwischen erster Temperatur und der Solltemperatur
DT2	Differenz zwischen erster und zweiter Temperatur während des gleichen Umlaufs des Ofenmantels
DT1-U	Differenz zwischen zwei ersten Temperaturen der gleichen Stellen auf dem Ofenmantel nach einer Umdrehung des Ofenmantels
E	Einstellen von Pulsfrequenz und Pulslänge des Kühlflüssigkeitsstrahls
M1	Messen der ersten lokalen Temperatur
M2	Messen der zweiten lokalen Temperatur
P1	Position, an der der erste Wärmesensor angeordnet ist
P2	Position, an der der zweite Wärmesensor angeordnet ist
PH	heißeste Position auf dem Umfang des Ofenmantels für einen Auftreffbereich
PH-U	Umgebung der heißesten Position
R	Drehachse des Ofenmantels
S1	Stelle auf dem Ofenmantels, an der die erste lokale Temperatur gemessen wird
ST	Solltemperatur des Ofenmantels
SW	Warnsignal ausgesendet durch das Kühlsystem
T1, T1'	erste Temperatur
T2	zweite Temperatur
U1	Übermitteln der ersten Temperatur an die Kühlsystemsteuerung
U2	Übermitteln der zweiten Temperatur an die Kühlsystemsteuerung
W1	erster Öffnungswinkel des Kühlflüssigkeitsstrahls
W2	zweiter Öffnungswinkel des Kühlflüssigkeitsstrahls

Patentansprüche

1. Ein Kühlsystem (3) für Drehöfen (1) zur Kühlung zumindest eines Abschnitts (21) eines Ofenmantels (2), umfassend eine Anordnung von einem oder mehreren Kühlmodulen (31, 31', 31") zur Aufbringung (A) von Kühlflüssigkeit (4) von außen auf den Ofenmantel (2) in einem Auftreffbereich (41) der Kühlflüssigkeit (4) auf dem Ofenmantel (2), wobei die Kühlmodule (31, 31', 31") für den zu kühlenden Abschnitt (21) des Ofenmantels (2) zumindest entlang der Drehachse (R) des Ofenmantels (2) beabstandet zum Ofenmantel (2) angeordnet sind, jedes

Kühlmodul (31) ein ansteuerbares Schaltventil (311) und eine Fächerdüse (312) zur Abgabe eines gepulsten fächerförmigen Kühlflüssigkeitsstrahls (4) umfasst und bei mehreren Kühlmodulen (31, 31', 31") die benachbarten Kühlmodule (31, 31', 31") in einem Abstand (A1) parallel zur Drehachse (R) des Ofenmantels (2) zueinander so angeordnet sind, dass die Auftreffbereiche (41) den Ofenmantel (2) entlang dessen Drehachse (R) zumindest im zu kühlenden Abschnitt (21) lückenlos kühlen und wobei jedes Kühlmodul (31, 31', 31") mindestens einen mit einer Kühlsystemsteuerung (32) verbundenen ersten Wärmesensor (313) zur Messung einer ersten lokalen Temperatur (T1) des Ofenmantels (2) in Drehrichtung (DR) des Ofenmantels (2) gesehen vor dem Auftreffbereich (41) der Kühlflüssigkeit (4) und zur Übermittlung (U1) der ersten lokalen Temperatur (T1) an die Kühlsystemsteuerung (32) umfasst, und die Kühlsystemsteuerung (32) dazu ausgestaltet ist, das Schaltventil (311) eines jeden Kühlmoduls (31, 31', 31") entsprechend einer Differenz (DT1) zwischen der jeweiligen ersten lokalen Temperatur (T1) und einer Solltemperatur (ST) so anzusteuern, dass mittels Einstellung (E) der Pulslänge und/oder Pulsfrequenz des Kühlflüssigkeitsstrahls (4) nach einer Umdrehung (2Un+1) des Ofenmantels (2) die Stelle (S1) des Ofenmantels (2), an der eine Umdrehung (2Un) zuvor die erste lokale Temperatur (T1) gemessen wurde, dann eine erste lokale Temperatur (T1') aufweist, die näher an der Solltemperatur (ST) liegt als bei der vorangegangenen Messung, sofern in der betreffenden Umdrehung Kühlflüssigkeit auf den jeweiligen Auftreffbereich aufgebracht wurde, wobei die Differenz (DT1-U) zwischen den ersten lokalen Temperaturen (T1, T1') dieser beiden Messungen aber weniger als 30K, vorzugsweise weniger als 15K, beträgt.

2. Das Kühlsystem (3) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Kühlsystemsteuerung (32) so mit den Schaltventilen (311) verschiedener Kühlmodule (31, 31', 31") verbunden und ausgestaltet ist, dass sie (32) die Schaltventile (311) verschiedener Kühlmodule (31, 31', 31") unabhängig voneinander zur Einstellung individueller Pulslänge und/oder Pulsfrequenz für jedes Kühlmodul (31, 31', 31") ansteuert.

3. Das Kühlsystem (3) nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Kühlsystemsteuerung (32) so ausgestaltet ist, dass sie die erste Temperatur (T1) entlang einer Ofenmanteldrehung (2Un+1) durch den Auftreffbereich (41) für einen Umfang des Ofenmantels (2) positionsabhängig aufzeichnet und sie die Pulslänge und/oder Pulsfrequenz für das jeweilige Kühlmodul (31, 31', 31") zumindest aufgrund der positionsabhängigen aufgezeichneten ersten Temperaturen (T1) so anpasst, dass die heißeste Position (PH) auf dem Umfang des Ofenmantels (2) durch eine stärkere Kühlung durch das betreffende Kühlmodul (31, 31', 31") in dem die heißeste Position (PH) umgebenden Umgebungsbereich (PH-U) zusätzlich gekühlt wird.

4. Das Kühlsystem (3) nach einem der Anspruche 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Kühlsystemsteuerung (32) nach Erreichen der Solltemperatur (ST) für ein Kühlmodul (31, 31', 31") die Kühlung durch dieses Kühlmodul (31, 31', 31") solange unterbricht, bis die erste lokale Temperatur (T1) mindestens um einen einstellbaren Wert, vorzugsweise 30 K, über der Solltemperatur (ST) liegt.

5. Das Kühlsystem (3) nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Fächerdüsen (312) so ausgestaltet sind, dass sie einen fächerförmigen Kühlflüssigkeitsstrahl (4) erzeugen, der einen ersten Öffnungswinkel (W1) von mindestens 40° entlang der Drehachse (R) des Drehofens (2) besitzt.

6. Das Kühlsystem nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Fächerdüsen (312) zudem einen zweiten Öffnungswinkel (W2) in Drehrichtung (R) des Ofenmantels (2) besitzen, der mindestens 30°, vorzugsweise mindestens 60°, beträgt, vorzugsweise ist dabei die Kühlsystemsteuerung (32) dazu vorgesehen, die Pulslänge des Kühlflüssigkeitsstrahls (4) bei gleicher Pulsfrequenz beim Durchlauf der Stellen des Ofenmantels (2) mit geringen Differenzen (DT1) zur Solltemperatur (ST) durch den Auftreffbereich (41) kurz einzustellen und beim Durchlauf der Stellen des Ofenmantels (2) mit größeren Differenzen (DT1) zur Solltemperatur (ST) durch den Auftreffbereich (41) länger einzustellen.

7. Das Kühlsystem (3) nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Abstand (A1) zwischen den benachbarten Kühlmodulen (31, 31', 31") und ein Druck der Kühlflüssigkeit (4) für die Kühlmodule (31, 31', 31") so eingestellt sind, dass sich die Auftreffbereiche (41) der Kühlflüssigkeiten (4) auf dem Ofenmantel (2) für benachbarte Kühlmodule (31, 31', 31") berühren, vorzugsweise ohne sich dabei zu überlappen.

8. Das Kühlsystem (3) nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Kühlmodul (31, 31', 31") des Weiteren ei-

nen zweiten Wärmesensor (314) zur Messung einer zweiten lokalen Temperatur (T2) des Ofenmantels (2) in Drehrichtung (DR) des Ofenmantels (2) hinter dem Auftreffbereich (41) umfasst, der zur Übermittlung (U2) der zweiten lokalen Temperatur (T2) an die Kühlsystemsteuerung (32) vorgesehen und dafür mit ihr (32) verbunden ist, wobei die Kühlsystemsteuerung (32) dazu vorgesehen ist, das Schaltventil (311) eines jeden Kühlmoduls (31, 31', 31") so anzusteuern, dass die Differenz (DT2) zwischen erster und zweiter lokaler Temperatur (T1, T2) während einer Umdrehung kleiner 10K, vorzugsweise kleiner 5K, beträgt.

9. Das Kühlsystem (3) nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der erste Wärmesensoren (313) im jeweiligen Kühlmodul (31, 31', 31") an einer ersten Position (P1) angeordnet ist, wobei eine gedachte Verbindungslinie zwischen erster Position (P1) und Düsenmittelpunkt (D1) senkrecht zur Drehachse (R) des Ofenmantels (2) verläuft und im Falle des Vorhandenseins eines zweiten Wärmesensors (314) als zusätzlicher Wärmesensor im Kühlmodul (31, 31', 31") dieser zweite Wärmesensor (314) an einer zweiten Positionen (P2) ungleich der ersten Position (P1) angeordnet ist, wobei eine gedachte Verbindungslinie zwischen erster und zweiter Position (P1, P2) senkrecht zur Drehachse (R) des Ofenmantels (2) verläuft und erste und zweite Positionen (P1, P2) zumindest den gleichen Abstand (A2) zum Ofenmantel haben.

10. Das Kühlsystem (3) nach einem der Ansprüche 8 oder 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Pulslänge und/oder Pulsfrequenz des Kühlflüssigkeitsstrahls (4) so eingestellt wird, dass die zweite Temperatur (T2) für die Stelle (ST) des Ofenmantels (2), an der bereits die erste Temperatur (T1) während der gleichen Umdrehung detektiert wurde, eine um mindestens 0,5 K kleinere Differenz zur Solltemperatur (ST) ausweist als die erste Temperatur (T1).

11. Das Kühlsystem (3) nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Kühlsystemsteuerung (32) dazu ausgestaltet ist, ein Warnsignal (SW) auszusenden, sobald zumindest die Differenz (DT1) zwischen Solltemperatur (ST) und erster Temperatur (T1) über einer Schwellentemperatur liegt, vorzugsweise wird das Warnsignal (SW) elektronisch zu einer Drehofensteuerung (11) übermittelt.

12. Drehofen (1), vorzugsweise Zementdrehofen, mit einem Kühlsystem (3) nach Anspruch 1.

13. Verfahren zum Betreiben eines Kühlsystems (3) für Drehöfen (1) nach Anspruch 1 zur Kühlung zumindest eines Abschnitts (21) eines Ofenmantels (2), umfassend eine Anordnung von einem oder mehreren Kühlmodulen (31, 31', 31"), die für den zu kühlenden Abschnitt (21) des Ofenmantels (2) beabstandet zum Ofenmantel (2) zumindest entlang der Drehachse (R) des Ofenmantels (2) angeordnet sind, jedes Kühlmodul (31, 31', 31") ein ansteuerbares Schaltventil (311) und eine Fächerdüse (312) zur Abgabe eines gepulsten fächerförmigen Kühlflüssigkeitsstrahls (4) und mindestens einen ersten Wärmesensor (313) zur Messung einer ersten Temperatur (T1) umfasst, umfassend die Schritte

- Messen (M1) der ersten lokalen Temperatur (T1) des Ofenmantel (2) in Drehrichtung (DR) des Ofenmantels (2) gesehen vor dem Auftreffbereich (41) der Kühlflüssigkeit (4);
- Übermittlung (U1) der ersten lokalen Temperaturen (T1) durch den ersten Wärmesensor (313) an eine mit ihnen verbundene Kühlsystemsteuerung (32);
- Einstellung (E) der Pulslänge und/oder Pulsfrequenz des Kühlflüssigkeitsstrahls (4) mittels Ansteuerung des Schaltventil (311) eines jeden Kühlmoduls (31, 31', 31") durch die Kühlsystemsteuerung (32) entsprechend einer Differenz (DT1) zwischen der ersten Temperatur (T1) und einer Solltemperatur (ST), so dass nach einer Umdrehung (2Un+1) des Ofenmantels (2) die Stelle (S1) des Ofenmantels (2), an der eine Umdrehung (2Un) zuvor die erste lokale Temperatur (T1) gemessen wurde, dann eine erste lokale Temperatur (T1') aufweist, die näher an der Solltemperatur (ST) liegt als bei der vorangegangenen Messung, sofern in der betreffenden Umdrehung Kühlflüssigkeit auf den jeweiligen Auftreffbereich aufgebracht wurde, wobei die Differenz (DT1-U) zwischen den ersten lokalen Temperaturen (T1, T1') dieser beiden Messungen aber weniger als 30K, vorzugsweise weniger als 15K, beträgt; und
- Aufbringung (A) der Kühlflüssigkeit (4) von außen auf den Ofenmantel (2) in einem Auftreffbereich (41) der Kühlflüssigkeit (4) auf dem Ofenmantel (2), wobei bei mehreren Kühlmodulen die benachbarten Kühlmodule (31, 31', 31") in einem Abstand (A1) parallel zur Drehachse (R) des Drehofens (2) zueinander so angeordnet sind, dass die Auftreffbereiche (41) den Ofenmantel (2) entlang der Drehachse (R) zumindest im zu kühlenden Abschnitt (21) lückenlos kühlen.

14. Das Verfahren nach Anspruch 13, wobei die Kühl-

systemsteuerung (32) die Schaltventile (311) verschiedener Kühlmodule (31, 31', 31") unabhängig voneinander zur Einstellung (E) individueller Pulslänge und/oder Pulsfrequenz für jedes Kühlmodul (31, 31', 31") ansteuert.

15. Das Verfahren nach Anspruch 14, wobei die Kühlsystemsteuerung (32) die ersten Temperaturen (T1) entlang einer Ofenmanteldrehung durch den Auftreffbereich (41) des Kühlflüssigkeitsstrahls (4) des jeweiligen Kühlmoduls (31, 31', 31") für einen Umfang des Ofenmantels (2) positionsabhängig aufzeichnet und Pulslänge und/oder Pulsfrequenz für das jeweilige Kühlmodul (31, 31', 31") aufgrund der positionsabhängigen aufgezeichneten Temperaturen (T1) so anpasst, dass die heißeste Position (PH) auf dem Umfang des Ofenmantels (2) durch eine stärkere Kühlung durch das betreffende Kühlmodul (31, 31', 31") in dem die heißeste Position (PH) umgebenden Umgebungsbereich (PH-U) zusätzlich gekühlt wird.

Claims

1. A cooling system (3) for rotary kilns (1) for cooling at least one section (21) of a kiln shell (2), comprising an arrangement of one or more cooling modules (31, 31', 31") for applying (A) cooling fluid (4) from the outside onto the kiln shell (2) in an impact area (41) of the cooling fluid (4) on the kiln shell (2), whereby the cooling modules (31, 31', 31") for the section (21) of the kiln shell (2) that is to be cooled are arranged at a distance from the kiln shell (2), at least along the axis of rotation (R) of the kiln shell (2), each cooling module (31) having an actuatable on-off valve (311) and a fan nozzle (312) that emits a pulsed fan-shaped cooling fluid jet (4) and, if there are several cooling modules (31, 31', 31"), the adjacent cooling modules (31, 31', 31") are arranged at a distance (A1) relative to each other and parallel to the axis of rotation (R) of the kiln shell (2) in such a way that the impact areas (41) contiguously cool the kiln shell (2) along its axis of rotation (R), at least in the section (21) that is to be cooled, and whereby each cooling module (31, 31', 31") comprises at least a first heat sensor (313) which is connected to a cooling system control unit (32) and which serves to measure a first local temperature (T1) of the kiln shell (2) at a place that is in front of the impact area (41) of the cooling fluid (4) as seen in the direction of rotation (DR) of the kiln shell (2) and which it serves to transmit (U1) the first local temperature (T1) to the cooling system control unit (32), and the cooling system control unit (32) is configured to actuate the on-off valve (311) of each of the cooling modules (31, 31', 31") in accordance with a difference (DT1) between the appertaining first local temperature (T1) and a setpoint temperature (ST) in such a way that - by setting (E) the pulse length and/or pulse frequency of the cooling fluid jet (4) after one rotation (2Un+1) of the kiln shell (2) - the place (S1) of the kiln shell (2) where the first local temperature (T1) was previously measured one rotation (2Un) then has a first local temperature (T1') that is closer to the setpoint temperature (ST) than at the time of the preceding measurement, insofar as cooling fluid was applied onto the appertaining impact area during that particular rotation, whereby, however, the difference (DT1-U) between the first local temperatures (T1, T1') of these two measurements is less than 30K, preferably less than 15K.

2. The cooling system (3) according to claim 1, **characterized in that** the cooling system control unit (32) is connected to and equipped with the on-off valves (311) of various cooling modules (31, 31', 31") in such a way that they (32) actuate the on-off valves (311) of various cooling modules (31, 31', 31") independently of each other in order to set the individual pulse length and/or pulse frequency for each cooling module (31, 31', 31").

3. The cooling system (3) according to claim 2, **characterized in that** the cooling system control unit (32) is configured in such a way that it records the first local temperature (T1) along one rotation (2Un+1) of the kiln shell through the impact area (41) for a circumference of the kiln shell (2) in a position-dependent manner, and said cooling system control unit (32) adapts the pulse length and/or pulse frequency for the appertaining cooling module (31, 31', 31") at least on the basis of the position-dependently recorded first temperatures (T1) in such a way that the hottest position (PH) on the circumference of the kiln shell (2) is additionally cooled by a stronger cooling by the appertaining cooling module (31, 31', 31") in the neighboring area (PH-U) surrounding the hottest position (PH).

4. The cooling system (3) according to one of claims 2 or 3, **characterized in that,** after the setpoint temperature (ST) for a cooling module (31, 31', 31 ") has been reached, the cooling system control unit (32) interrupts the cooling by this cooling module (31, 31', 31") until the first local temperature (T1) is above the setpoint temperature (ST) by at least a selectable value, preferably 30K.

5. The cooling system (3) according to one of the preceding claims, **characterized in that** the fan nozzles (312) are configured in such a way

that they generate a fan-shaped cooling fluid jet (4) that is at a first opening angle (W1) of at least 40° along the axis of rotation (R) of the kiln shell (2).

6. The cooling system according to claim 5,
characterized in that
the fan nozzles (312) also have a second opening angle (W2) in the direction of rotation (DR) of the kiln shell (2) that is at least 30°, preferably at least 60°, and in this context, the cooling system control unit (32) is preferably provided to establish a short setting for the pulse length of the cooling fluid jet (4) - at the same pulse frequency - when the places of the kiln shell (2) with small differences (DT1) from the setpoint temperature (ST) are passing through the impact area (41), and to establish a longer setting when the places of the kiln shell (2) with larger differences (DT1) from the setpoint temperature (ST) are passing through the impact area (41).

7. The cooling system (3) according to one of the preceding claims,
characterized in that
the distance (A1) between the adjacent cooling modules (31, 31', 31") and the pressure of the cooling fluid (4) for the cooling modules (31, 31', 31") are set in such a way that the impact areas (41) of the cooling fluids (4) on the kiln shell (2) for adjacent cooling modules (31, 31', 31") touch each other, preferably without overlapping over each other.

8. The cooling system (3) according to one of the preceding claims,
characterized in that
the cooling module (31, 31', 31") also comprises a second heat sensor (314) in order to measure a second local temperature (T2) of the kiln shell (2) in the direction of rotation (DR) of the kiln shell (2) behind the impact area (41) and said heat sensor (314)is provided in order to transmit (U2) the second local temperature (T2) to the cooling system control unit (32), for which purpose it is connected thereto (32), whereby the cooling system control unit (32) is configured to actuate the on-off valve (311) of each cooling module (31, 31', 31") in such a way that the difference (DT2) between the first and second local temperatures (T1, T2) during one rotation is less than 10K, preferably less than 5K.

9. The cooling system (3) according to one of the preceding claims,
characterized in that
the first heat sensor (313) in the appertaining cooling module (31, 31', 31") is arranged at a first position (P1), whereby an imaginary connecting line runs between the first position (P1) and the nozzle mid-point (D1) perpendicular to the axis of rotation (R) of the kiln shell (2) and, if there is a second heat sensor (314) as an additional heat sensor in the cooling module (31, 31', 31"), this second heat sensor (314) is arranged at a second position (P2) that is not the same as the first position (P1), whereby an imaginary connecting line runs between the first and second positions (P1, P2) perpendicular to the axis of rotation (R) of the kiln shell (2), and the first and second positions (P1, P2) are at least at the same distance (A2) from the kiln shell.

10. The cooling system (3) according to one of claims 8 or 9,
characterized in that
the pulse length and/or pulse frequency of the cooling fluid jet (4) is set in such a way that the second temperature (T2) for the place (S1) of the kiln shell (2) where the first temperature (T1) had already been detected during the same rotation displays a difference from the setpoint temperature (ST) that is smaller by at least 0.5K than was the case with the first temperature (T1).

11. The cooling system (3) according to one of the preceding claims,
characterized in that
the cooling system control unit (32) is configured to emit a warning signal (SW) as soon as at least the difference (DT1) between the setpoint temperature (ST) and the first temperature (T1) is above a threshold value; preferably the warning signal (SW) is transmitted electronically to a rotary kiln control unit (11).

12. A rotary kiln, preferably a rotary cement kiln, having a cooling system (3) according to claim 1.

13. A method for operating a cooling system (3) for rotary kilns (1) according to claim 1 for cooling at least one section (21) of a kiln shell (2), comprising an arrangement of one or more cooling modules (31, 31', 31") that, for the section (21) of the kiln shell (2) that is to be cooled, are arranged at a distance from the kiln shell (2), at least along the axis of rotation (R) of the kiln shell (2), each cooling module (31, 31', 31") having an actuatable on-off valve (311) and a fan nozzle (312) that emits a pulsed fan-shaped cooling fluid jet (4), and also comprising at least a first heat sensor (313) which serves to measure a first temperature (T1), comprising the following steps:

- measuring (M1) the first local temperature (T1) of the kiln shell (2) at a place that is in front of the impact area (41) of the cooling fluid (4) as seen in the direction of rotation (DR) of the kiln shell (2);
- transmitting (U1) the first local temperature (T1) by means of the first heat sensor (313) to a cooling system control unit (32) that is con-

nected thereto;

• setting (E) the pulse length and/or pulse frequency of the cooling fluid jet (4) by means of the cooling system control unit (32) through the actuation of on-off valve (311) of each of the cooling modules (31, 31', 31 ") in accordance with a difference (DT1) between the first temperature (T1) and a setpoint temperature (ST) so that, after one rotation (2Un+1) of the kiln shell (2), the place (S1) of the kiln shell (2) where the first local temperature (T1) was previously measured one rotation (2Un) then has a first local temperature (T1') that is closer to the setpoint temperature (ST) than at the time of the preceding measurement, insofar as cooling fluid was applied onto the appertaining impact area during that particular rotation, whereby, however, the difference (DT1-U) between the first local temperatures (T1, T1') of these two measurements is less than 30K, preferably less than 15K; and

• applying (A) the cooling fluid (4) from the outside onto the kiln shell (2) in an impact area (41) of the cooling fluid (4) on the kiln shell (2), whereby, if there are several cooling modules, the adjacent cooling modules (31, 31', 31") are arranged at a distance (A1) relative to each other and parallel to the axis of rotation (R) of the kiln shell (2) in such a way that the impact areas (41) contiguously cool the kiln shell (2) along the axis of rotation (R), at least in the section (21) that is to be cooled.

14. The method according to claim 13, whereby the cooling system control unit (32) actuates the on-off valves (311) of various cooling modules (31, 31', 31") independently of each other in order to set (E) the individual pulse length and/or pulse frequency for each cooling module (31, 31', 31 ").

15. The method according to claim 14, whereby the cooling system control unit (32) records the first temperatures (T1) along one rotation of the kiln shell through the impact area (41) of the cooling fluid jet (4) of the appertaining cooling module (31, 31', 31 ") for a circumference of the kiln shell (2) in a position-dependent manner, and said cooling system control unit (32) adapts the pulse length and/or pulse frequency for the appertaining cooling module (31, 31', 31 ") on the basis of the position-dependently recorded temperatures (T1) in such a way that the hottest position (PH) on the circumference of the kiln shell (2) is additionally cooled by a stronger cooling by the appertaining cooling module (31, 31', 31") in the neighboring area (PH-U) surrounding the hottest position (PH).

Revendications

1. Système de refroidissement (3) pour fours rotatifs (1) destiné à refroidir au moins une partie (21) d'une carcasse de four (2), comprenant un ensemble d'un ou de plusieurs modules de refroidissement (31, 31', 31") destinés à appliquer (A) du liquide de refroidissement (4) de l'extérieur sur la carcasse de four (2) dans une zone d'impact (41) du liquide de refroidissement (4) sur la carcasse de four (2), les modules de refroidissement (31, 31', 31") pour la partie (21) de la carcasse de four (2) à refroidir étant agencés au moins le long de l'axe de rotation (R) de la carcasse de four (2) avec une distance par rapport à la carcasse de four (2), chaque module de refroidissement (31) comprenant un distributeur commandable (311) et une buse en éventail (312) pour la distribution d'un jet de liquide de refroidissement (4) en éventail pulsé et les modules de refroidissement voisins (31, 31', 31") étant, dans le cas de plusieurs modules de refroidissement (31, 31', 31"), agencés avec une distance (A 1) entre eux et parallèlement à l'axe de rotation (R) de la carcasse de four (2) de telle sorte que les zones d'impact (41) peuvent refroidir intégralement la carcasse de four (2) le long de son axe de rotation (R) au moins dans la partie (21) à refroidir et chaque module de refroidissement (31, 31', 31 ") comprenant au moins un premier capteur thermique (313) relié à une commande du système de refroidissement (32) pour mesurer une première température locale (T1) de la carcasse de four (2) devant la zone d'impact (41) du liquide de refroidissement (4) pour un observateur qui regarde dans le sens de rotation (DR) de la carcasse de four (2) et pour transmettre (U1) la première température locale (T1) à la commande du système de refroidissement (32), et la commande du système de refroidissement (32) étant conçue pour commander le distributeur (311) de chaque module de refroidissement (31, 31', 31") selon une différence (DT1) entre la première température locale respective (T1) et une température de consigne (ST) de telle sorte que, par réglage (E) de la longueur d'impulsion et/ou de la fréquence d'impulsion du jet de liquide de refroidissement (4) après une rotation (2Un+1) de la carcasse de four (2), l'endroit (S1) de la carcasse de four (2) auquel la première température locale (T1) a été mesurée une rotation (2Un) avant présente alors une première température locale (T1') qui est plus proche de la température de consigne (ST) que lors de la mesure précédente, dans la mesure où du liquide de refroidissement a été appliqué sur la zone d'impact respective lors de la rotation concernée, la différence (DT1-U) entre les premières températures locales (T1, T1') de ces deux mesures étant toutefois inférieure à 30K, et de préférence inférieure à 15K.

2. Système de refroidissement (3) selon la revendica-

tion 1, **caractérisé en ce que** la commande du système de refroidissement (32) est reliée de telle sorte aux distributeurs (311) de différents modules de refroidissement (31, 31', 31 ") et est conçue de telle sorte qu'elle (32) commande les distributeurs (311) de différents modules de refroidissement (31, 31', 31") indépendamment les uns des autres pour régler une longueur d'impulsion et/ou une fréquence d'impulsion individuelles pour chaque module de refroidissement (31, 31', 31 ").

3. Système de refroidissement (3) selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** la commande du système de refroidissement (32) est conçue de telle sorte qu'elle enregistre, en fonction de la position, la première température (T1) le long d'une rotation de la carcasse de four (2Un+1) par la zone d'impact (41) pour un pourtour de la carcasse de four (2) et qu'elle adapte la longueur d'impulsion et/ou la fréquence d'impulsion pour le module de refroidissement respectif (31, 31', 31 ") au moins sur la base des premières températures (T1) enregistrées en fonction de la position de telle sorte que la position la plus chaude (PH) sur le pourtour de la carcasse de four (2) est refroidie additionnellement par un refroidissement plus fort par le module de refroidissement concerné (31, 31', 31") dans la zone environnante (PH-U) entourant la position la plus chaude (PH).

4. Système de refroidissement (3) selon l'une des revendications 2 ou 3, **caractérisé en ce que** la commande du système de refroidissement (32), après l'obtention de la température de consigne (ST) pour un module de refroidissement (31, 31', 31"), interrompt le refroidissement par ce module de refroidissement (31, 31', 31") jusqu'à ce que la première température locale (T1) dépasse la température de consigne (ST) d'au moins une valeur réglable, de préférence 30 K.

5. Système de refroidissement (3) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les buses en éventail (312) sont conçues de telle sorte qu'elles produisent un jet de liquide de refroidissement (4) en éventail qui présente un premier angle d'ouverture (W1) d'au moins 40° le long de l'axe de rotation (R) du four rotatif (2).

6. Système de refroidissement selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** les buses en éventail (312) présentent en outre un deuxième angle d'ouverture (W2) dans le sens de rotation (R) de la carcasse de four (2), lequel est d'au moins 30°, et de préférence d'au moins 60°, la commande du système de refroidissement (32) étant préférentiellement prévue pour régler sur une courte longueur la longueur d'impulsion du jet de liquide de refroidissement (4) pour une même fréquence d'impulsion au passage, par la zone d'impact (41), des endroits de la carcasse de four (2) présentant de faibles différences (DT1) par rapport à la température de consigne (ST) et sur une longueur plus longue au passage, par la zone d'impact (41), des endroits de la carcasse de four (2) présentant de plus grandes différences (DT1) par rapport à la température de consigne (ST).

7. Système de refroidissement (3) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la distance (A1) entre les modules de refroidissement voisins (31, 31', 31") et une pression du liquide de refroidissement (4) pour les modules de refroidissement (31, 31', 31") sont réglées de telle sorte que les zones d'impact (41) des liquides de refroidissement (4) sur la carcasse de four (2) pour des modules de refroidissement voisins (31, 31', 31 ") se touchent, de préférence sans se chevaucher.

8. Système de refroidissement (3) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le module de refroidissement (31, 31', 31 ") comprend en outre un deuxième capteur thermique (314) pour mesurer une deuxième température locale (T2) de la carcasse de four (2) derrière la zone d'impact (41) pour un observateur qui regarde dans le sens de rotation (DR) de la carcasse de four (2), lequel est prévu pour transmettre (U2) la deuxième température locale (T2) à la commande du système de refroidissement (32) et y (32) est relié à cet effet, la commande du système de refroidissement (32) étant prévue pour commander le distributeur (311) de chaque module de refroidissement (31, 31', 31") de telle sorte que la différence (DT2) entre la première et la deuxième température locale (T1, T2) pendant une rotation est inférieure à 10 K, et de préférence inférieure à 5 K.

9. Système de refroidissement (3) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le premier capteur thermique (313) est situé à une première position (P1) dans le module de refroidissement respectif (31, 31', 31 "), une ligne de liaison imaginaire entre la première position (P1) et le centre de la buse (01) étant perpendiculaire à l'axe de rotation (R) de la carcasse de four (2) et, en présence d'un deuxième capteur thermique (314) en tant que capteur thermique supplémentaire dans le module de refroidissement (31, 31', 31"), ce deuxième capteur thermique (314) étant situé à une deuxième position (P2) différente de la première position (P1), une ligne de liaison imaginaire entre la première et la deuxième position (P1, P2) étant perpendiculaire à l'axe de rotation (R) de la carcasse de four (2) et la première et la deuxième position (P1, P2) ayant au moins la même distance (A2) par rapport à la carcasse de four.

10. Système de refroidissement (3) selon l'une des revendications 8 ou 9, **caractérisé en ce que** la longueur d'impulsion et/ou la fréquence d'impulsion du jet de liquide de refroidissement (4) est réglée de telle sorte que la deuxième température (T2) pour l'endroit (ST) de la carcasse de four (2) auquel a déjà été détectée la première température (T1) pendant la même rotation présente, en comparaison avec la première température (T1), une différence inférieure d'au moins 0,5 K par rapport à la température de consigne (ST).

11. Système de refroidissement (3) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la commande du système de refroidissement (32) est conçue pour émettre un signal d'avertissement (SW) dès qu'au moins la différence (DT1) entre la température de consigne (ST) et la première température (T1) dépasse une température seuil, le signal d'avertissement (SW) étant préférentiellement transmis électroniquement à une commande du four rotatif (11).

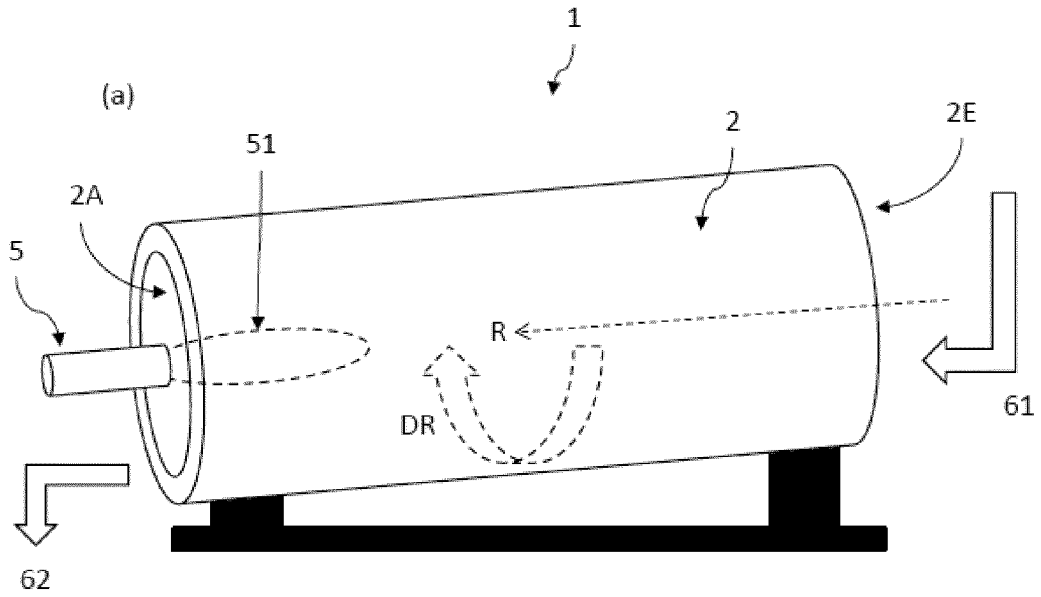
12. Four rotatif (1), de préférence four rotatif à ciment, comportant un système de refroidissement (3) selon la revendication 1.

13. Procédé d'exploitation d'un système de refroidissement (3) pour fours rotatifs (1) selon la revendication 1 pour refroidir au moins une partie (21) d'une carcasse de four (2), comprenant un ensemble d'un ou de plusieurs modules de refroidissement (31, 31', 31") qui, pour la partie à refroidir (21) de la carcasse de four (2), sont agencés au moins le long de l'axe de rotation (R) de la carcasse de four (2) avec une distance par rapport à la carcasse de four (2), chaque module de refroidissement (31, 31', 31") comprenant un distributeur commandable (311) et une buse en éventail (312) pour la distribution d'un jet de liquide de refroidissement (4) en éventail pulsé et au moins un premier capteur thermique (313) pour mesurer une première température (T1), comprenant les étapes suivantes :

- mesure (M1) de la première température locale (T1) de la carcasse de four (2) devant la zone d'impact (41) du liquide de refroidissement (4) pour un observateur qui regarde dans le sens de rotation (DR) de la carcasse de four (2) ;
- transmission (U1) de la première température locale (T1) par le premier capteur thermique (313) à une commande du système de refroidissement (32) qui y est reliée ;
- réglage (E) de la longueur d'impulsion et/ou de la fréquence d'impulsion du jet de liquide de refroidissement (4) par commande du distributeur (311) de chaque module de refroidissement (31, 31', 31") par la commande du système de refroidissement (32) selon une différence (DT1) entre la première température (T1) et une température de consigne (ST), de sorte qu'après une rotation (2Un+1) de la carcasse de four (2) l'endroit (S1) de la carcasse de four (2) auquel la première température locale (T1) a été mesurée une rotation (2Un) avant présente alors une première température locale (T1') qui est plus proche de la température de consigne (ST) que lors de la mesure précédente, dans la mesure où du liquide de refroidissement a été appliqué sur la zone d'impact respective lors de la rotation concernée, la différence (DT1-U) entre les premières températures locales (T1, T1') de ces deux mesures étant toutefois inférieure à 30K, et de préférence inférieure à 15K ; et
- application (A) du liquide de refroidissement (4) de l'extérieur sur la carcasse de four (2) dans une zone d'impact (41) du liquide de refroidissement (4) sur la carcasse de four (2), les modules de refroidissement voisins (31, 31', 31") étant, dans le cas de plusieurs modules de refroidissement, agencés avec une distance (A1) entre eux et parallèlement à l'axe de rotation (R) du four rotatif (2) de telle sorte que les zones d'impact (41) peuvent refroidir intégralement la carcasse de four (2) le long de son axe de rotation (R) au moins dans la partie (21) à refroidir.

14. Procédé selon la revendication 13, la commande du système de refroidissement (32) commandant les distributeurs (311) de différents modules de refroidissement (31, 31', 31") indépendamment les uns des autres pour régler (E) une longueur d'impulsion et/ou une fréquence d'impulsion individuelles pour chaque module de refroidissement (31, 31', 31").

15. Procédé selon la revendication 14, la commande du système de refroidissement (32) enregistrant, en fonction de la position, les premières températures (T1) le long d'une rotation de la carcasse de four par la zone d'impact (41) du jet de liquide de refroidissement (4) de chaque module de refroidissement (31, 31', 31") pour un pourtour de la carcasse de four (2) et adaptant la longueur d'impulsion et/ou la fréquence d'impulsion pour le module de refroidissement respectif (31, 31', 31") au moins sur la base des températures (T1) enregistrées en fonction de la position de telle sorte que la position la plus chaude (PH) sur le pourtour de la carcasse de four (2) est refroidie additionnellement par un refroidissement plus fort par le module de refroidissement concerné (31, 31', 31") dans la zone environnante (PH-U) entourant la position la plus chaude (PH).



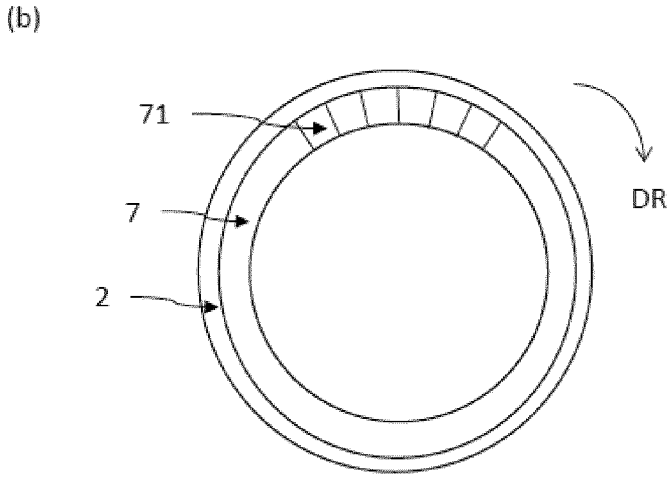


FIG.1

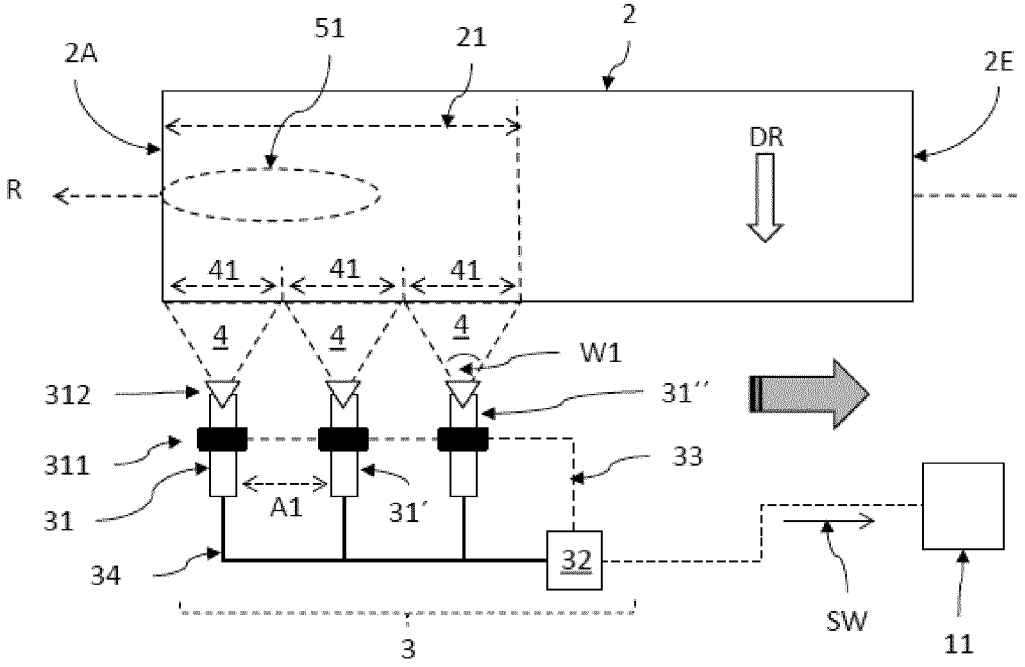

2A
51
21
2
2E
R
DR
41
41
41
4
4
4
W1
312
31''
311
33
31
A1
31'
34
32
SW
11
3

FIG.2

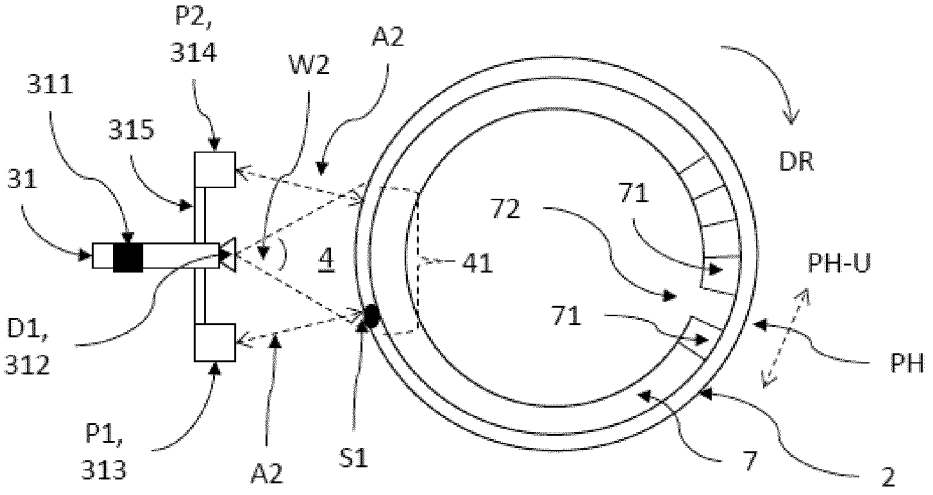

P2,
314
W2
A2
311
315
DR
31
72
71
4
41
PH-U
71
D1,
312
PH
P1,
313
A2
S1
7
2

FIG.3

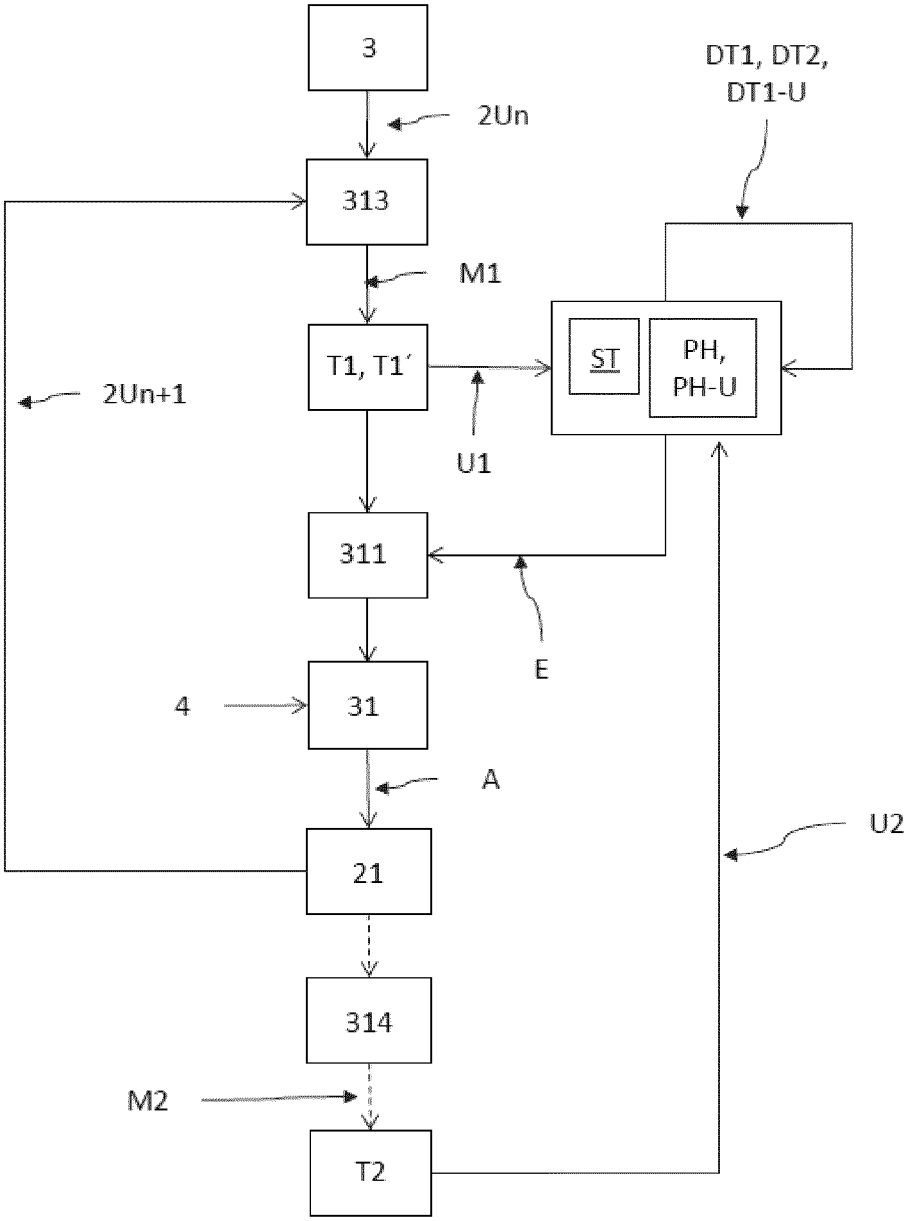

3
2Un
313
M1
T1, T1´
2Un+1
U1
DT1, DT2,
DT1-U
ST
PH,
PH-U
311
E
4
31
A
21
U2
314
M2
T2

FIG.4