



(11) **EP 4 271 937 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
18.12.2024 Patentblatt 2024/51

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F22B 1/00 (2006.01) F01K 25/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **22710557.4**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F22B 1/003; F01K 25/005

(22) Anmeldetag: **03.03.2022**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2022/055451

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2022/194564 (22.09.2022 Gazette 2022/38)

(54) **VERFAHREN ZUR ERZEUGUNG VON WASSERDAMPF MIT DEFINIERTEN DAMPFPARAMETERN**

METHOD FOR GENERATING STEAM WITH DEFINED STEAM PARAMETERS

PROCÉDÉ DE PRODUCTION DE VAPEUR AYANT DES PARAMÈTRES DE VAPEUR DÉFINIS

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

(30) Priorität: **18.03.2021 DE 102021202617**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
08.11.2023 Patentblatt 2023/45

(73) Patentinhaber: **Siemens Energy Global GmbH & Co. KG**
81739 München (DE)

(72) Erfinder:
• **BURGARD, Tobias Florian**
02826 Görlitz (DE)
• **CORNAK, Frank**
02699 Neschwitz (DE)

- **DÖHRING, Jörg**
02827 Görlitz (DE)
- **EPPENDORFER, Jörg**
02828 Görlitz (DE)
- **LEIDINGER, Bernd**
01159 Dresden (DE)
- **NICKE, Frank**
02625 Bautzen (DE)
- **ROLLE, Mario**
02829 Neißeau (DE)
- **SCHULZE, Andreas**
02827 Görlitz (DE)
- **STEPHAN, Ingo**
02829 Königshain (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 3 643 886 DE-A1- 102015 218 502
DE-A1- 102018 126 496 DE-U1- 202017 003 690
US-A1- 2015 082 799

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 4 271 937 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Wasserdampf mit definierten Dampfparametern gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 1.

[0002] Wasserdampf wird häufig in Prozessen sowie in der Wärmeversorgung verwendet, nachfolgend wird allgemein der Begriff Industrieprozesse verwendet. Ein typisches Anwendungsgebiet ist die Bereitstellung von Wärme, beispielsweise für Koch-, Eindampf- oder Destillationsprozesse, darüber hinaus können auch Trocknungsprozesse oder die Wärmebereitstellung bei endothermen Reaktionen in der Chemieindustrie mit Wasserdampf realisiert werden. Wasserdampf, welcher in industriellen Prozessen verwendet wird, wird dabei häufig auch als Prozessdampf bezeichnet.

[0003] Die Erzeugung von Wasserdampf für Industrieprozesse stellt einerseits hohe Anforderungen an das zur Erzeugung benötigte Equipment, andererseits beeinflusst die Erzeugung auch wesentlich den Energieverbrauch. Die klassische Wasserdampferzeugung mit Hilfe eines konventionellen Kessels (und ggf. einer Dampfturbine) ist in der Betriebsflexibilität (Lastgradienten, Anfahrzeit, ...) limitiert. Zudem bedingt der Einsatz eines Kessels hohe Investitionskosten. Der Kessel wird in der Regel mit fossilen Energieträgern befeuert, was sich negativ auf die Emissionen der Anlage und somit auch auf ökologische und betriebswirtschaftliche Aspekte auswirkt.

[0004] Das Dokument DE102015218502 A1 offenbart ein Dampfturbinenkraftwerk, welches eine Brennkammer 11 umfasst, in der Sauerstoff mit Wasserstoff verbrannt wird und wobei dem Sauerstoff kurz vor Zuleiten in die Brennkammer 11 Wasserdampf zugeführt wird. Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Nachteile aus dem Stand der Technik bei der Bereitstellung von Wasserdampf mit definierten Dampfparametern zu vermeiden und einen effektiveren Prozess zur Bereitstellung des Wasserdampfs aufzuzeigen.

[0005] Die Aufgabe wird gelöst durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs 1.

[0006] Weitere Ausgestaltungen der Erfindung, die einzeln oder in Kombination miteinander einsetzbar sind, sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0007] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung von Wasserdampf mit definierten Dampfparametern zeichnet sich durch die folgenden Verfahrensschritte aus:

- Druck beaufschlagte, interne Verbrennung von Wasserstoff mit Sauerstoff und unter Zugabe von Wasser (unabhängig vom Aggregatzustand), in einem Dampferzeuger und Erzeugung von Frischdampf;
- Zuführen des im Dampferzeuger erzeugten Frischdampfs zu einer Dampfturbine;
- Expandieren des Frischdampfs entlang einer Expansionsstrecke in der Dampfturbine;

- Entnehmen von Zwischendampf entlang der Expansionsstrecke und/oder Entnehmen von Abdampf am Ende der Expansionsstrecke mit definierten Dampfparametern und

- 5 - Zuführen des entnommenen Zwischendampfs und/oder Abdampfs zu einem nachfolgenden Industrieprozess.

[0008] Im Gegensatz zur klassischen Dampferzeugung mit Hilfe eines konventionellen Kessels ergibt sich eine deutlich erhöhte Betriebsflexibilität (Lastgradienten, Anfahrzeit, ...). Insbesondere ergeben sich durch die interne Verbrennung von Wasserstoff mit Sauerstoff sehr kurze Anfahrzeiten. Durch die Zugabe von Wasser (unabhängig vom Aggregatzustand) kann bereits eine (Vor-)Konditionierung des Frischdampfs erfolgen. Das Zuführen und Entspannen des Frischdampfs in der Dampfturbine ermöglicht die Bereitstellung von Wasserdampf mit definierten und ggf. unterschiedlichen Dampfparametern. Hierzu kann Wasserdampf mit den entsprechenden Dampfparametern durch eine oder mehrere Zwischendampfentnahmen entlang der Expansionsstrecke innerhalb der Dampfturbine entnommen und dem jeweiligen Industrieprozess zugeführt werden. Alternativ oder zusätzlich zur Dampfturbinen als Regelorgan der Prozessdampfparameter können auch andere technische Vorrichtungen wie z.B. Drosseln (z.B. in Kombination mit Wassereinspeisung oder sonstiger Kühlung) eingesetzt werden.

[0009] Eine Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass der zur Verbrennung genutzte Wasserstoff und Sauerstoff mittels regenerativer Energie erzeugt wird. Hierdurch kann die Erzeugung des Prozessdampfs völlig emissionsfrei erfolgen.

[0010] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass wenigstens ein Teil des Frischdampfs vor dem Eintritt in die Dampfturbine entnommen und direkt einem Industrieprozess zugeführt wird. Durch die Zugabe von Wasser können die Dampfparameter des Frischdampfs, der bei der internen Verbrennung von Wasserstoff mit Sauerstoff entsteht, so beeinflusst werden, dass zumindest ein Teil des Frischdampfs direkt dem Industrieprozess zugeführt werden kann. Wird weiterer Wasserdampf mit niedrigeren Dampfparametern benötigt, kann dieser durch Expansion eines weiteren Teils des Frischdampfs in einer Dampfturbine bereitgestellt werden.

[0011] Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die von der Dampfturbine erzeugte mechanische Energie zum Antreiben von Maschinen und/oder zum Erzeugen elektrischer Energie mit Hilfe eines Generators genutzt wird. Durch die doppelte Nutzung des Dampfes, welche auch als Kraft-Wärme-Kopplung bezeichnet wird, können besonders hohe Gesamtwirkungsgrade erreicht werden, die die Wirtschaftlichkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens erhöhen.

[0012] Weitere Vorteile der Erfindung werden nachfolgend anhand einer Figur erläutert. Die Figur zeigt eine Anlage, die zur Durchführung des erfindungsgemäßen

Verfahrens geeignet ist. Die Figur zeigt nur die wesentlichen, zur Erläuterung des Verfahrens notwendigen Bauteile und stellt keine maßstabsgerechte Darstellung dar.

[0013] Die Anlage zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst im Wesentlichen einen Dampferzeuger 1 und eine dem Dampferzeuger nachgeschaltete Dampfturbine 2.

[0014] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt die Dampferzeugung durch innere Verbrennung und nicht wie sonst üblich, durch reine Wärmezufuhr (teils aus externer Verbrennung), wie beispielsweise bei der Verwendung eines konventionellen Kessels.

[0015] Die interne Verbrennung erfolgt dabei in einem als Clean Steam Generator, CSG, bezeichneten Dampferzeuger 1. Der CSG 1 wird durch eine Druck beaufschlagte, interne Verbrennung von Wasserstoff H_2 mit Sauerstoff O_2 und der Zugabe von Wasser H_2O (unabhängig vom Aggregatzustand) charakterisiert, wobei Frischdampf S_L mit definierten Dampfparametern (Druck, Temperatur...) sowie in einer definierten Menge und Reinheit entsteht.

[0016] Der Frischdampf S_L wird anschließend, der dem CSG nachgeschalteten Dampfturbine 2, zugeführt. Entlang einer Expansionsstrecke, welche sich von einem Dampfturbineneintritt 4 bis zu einem Dampfturbinenaustritt 5 erstreckt, wird der Frischdampf auf niedrigere Dampfparameter entspannt. Je nachdem welche Dampfparameter für den jeweiligen Industrieprozess gefordert sind, kann der Dampf entlang der Expansionsstrecke durch eine oder mehrere Zwischendampfentnahmen entnommen werden und als Prozessdampf S_{P2} , dem jeweiligen Industrieprozess zugeführt werden. Der restliche Teil des Dampfes wird vollständig entlang der Expansionsstrecke entspannt und verlässt die Dampfturbine am Dampfturbinenaustritt 5 als Abdampf S_W . Der Abdampf kann dann einem Kondensator zugeführt oder einem weiteren Industrieprozess als Prozessdampf S_{P3} zugeführt werden. Je nachdem, ob der Dampf am Ende der Expansionsstrecke als Abdampf dem Kondensator oder als Prozessdampf einem Industrieprozess zugeführt wird, ist die Dampfturbine 1 als (Entnahme-) Kondensationsturbine oder als (Entnahme-) Gegendruckturbine ausgebildet.

[0017] Erfordert ein Industrieprozess sehr hohe Dampfparameter, so kann ein Teil, oder der komplette Frischdampf, bereits vor der Dampfturbine abgeleitet und als Prozessdampf S_{P1} unmittelbar einem Industrieprozess zugeführt werden. Die Aufteilung des Wasserdampfes $S_{P1} - S_{P3}$ auf die unterschiedlichen Industrieprozesse kann sowohl zeitlich, als auch von der jeweiligen Dampfmenge variieren.

[0018] Die Dampfturbine treibt im Ausführungsbeispiel einen Generator 3 zur Erzeugung elektrischer Energie an, alternativ kann die Dampfturbine auch eine Arbeitsmaschine (Kompressor, Pumpe,...) antreiben.

[0019] Die Dampfturbine kann ein- oder mehrstufig ausgebildet sein und zudem aus einem oder mehreren

Gehäusen bestehen. Weiterhin ist es möglich, dass der Frischdampf auf mehrere Dampfturbinen aufgeteilt, entspannt und den unterschiedlichen Industrieprozessen zugeführt wird. Die verschiedenen Dampfturbinen und Gehäuse können mit gleicher oder unterschiedlicher Drehzahl betrieben werden und müssen nicht zwangsläufig mechanisch über eine Welle miteinander gekoppelt sein (mehrere Generatoren) und auch nicht zwangsläufig dem gleichen Zweck dienen (z.B. Hochdruckturbine als mechanischer Antrieb einer Antriebsmaschine, Niederdruckturbine als Antrieb eines Generators.)

[0020] Der zur Verbrennung genutzte Wasserstoff und Sauerstoff kann vorzugsweise mittels regenerativer Energie erzeugt und anschließend für die weitere Verwendung im CSG gespeichert werden. Durch die regenerative Erzeugung des Wasserstoffs und des Sauerstoffs kann das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung von Prozessdampf CO_2 -frei erfolgen.

[0021] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung von Wasserdampf bietet sowohl hinsichtlich der Brennstoffausnutzung als auch der Betriebsflexibilität (Der CSG kann höhere Lastgradienten fahren als ein konventioneller Kessel) deutliche Vorteile gegenüber dem herkömmlichen Verfahren.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Wasserdampf mit definierten Dampfparametern umfassend die folgenden Verfahrensschritte:
 - Druck beaufschlagte, interne Verbrennung von Wasserstoff mit Sauerstoff unter Zugabe von Wasser, in einem Dampferzeuger (1) und Erzeugung von Frischdampf;
 - Zuführen des im Dampferzeuger (1) erzeugten Frischdampfes zu einer Dampfturbine (2);
 - Expandieren des Frischdampfes entlang einer Expansionsstrecke in der Dampfturbine (2);
 - Entnehmen von Zwischendampf entlang der Expansionsstrecke und/oder Entnehmen von Abdampf am Ende der Expansionsstrecke mit definierten Dampfparametern und
 - Zuführen des entnommenen Zwischendampfes und/oder Abdampfes zu einem nachfolgenden Industrieprozess.
2. Verfahren zur Erzeugung von Wasserdampf mit definierten Dampfparametern nach Anspruch 1, wobei der zur Verbrennung genutzte Wasserstoff und Sauerstoff mittels regenerativer Energie erzeugt wird.
3. Verfahren zur Erzeugung von Wasserdampf mit definierten Dampfparametern nach Anspruch 1 oder 2, wobei wenigstens ein Teil des Frischdampfes vor dem Ein-

tritt in die Dampfturbine (2) entnommen und einem Industrieprozess zugeführt wird.

4. Verfahren zur Erzeugung von Wasserdampf mit definierten Dampfparametern nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die von der Dampfturbine (1) erzeugte mechanische Energie zum Antreiben von Maschinen oder zum Erzeugen elektrischen Stroms mit Hilfe eines Generators (3) genutzt wird.

Claims

1. Process for generating steam with defined steam parameters comprising the following process steps:
 - pressurized, internal combustion of hydrogen with oxygen with addition of water in a steam generator (1) and generation of makeup steam;
 - supplying the makeup steam generated in the steam generator (1) to a steam turbine (2);
 - expanding the makeup steam along an expansion path in the steam turbine (2);
 - withdrawing intermediate steam along the expansion path and/or withdrawing waste steam at the end of the expansion path with defined steam parameters and
 - supplying the withdrawn intermediate steam and/or waste steam to a subsequent industrial process.
2. Process for generating steam with defined steam parameters according to Claim 1, wherein the hydrogen and oxygen utilized for combustion are generated using renewable energy.
3. Process for generating steam with defined steam parameters according to Claim 1 or 2, wherein at least a portion of the makeup steam is withdrawn before entry into the steam turbine (2) and supplied to an industrial process.
4. Process for generating steam with defined steam parameters according to any of the preceding claims, wherein the mechanical energy generated by the steam turbine (1) is utilized to drive machines or to generate electrical current by means of a generator (3).

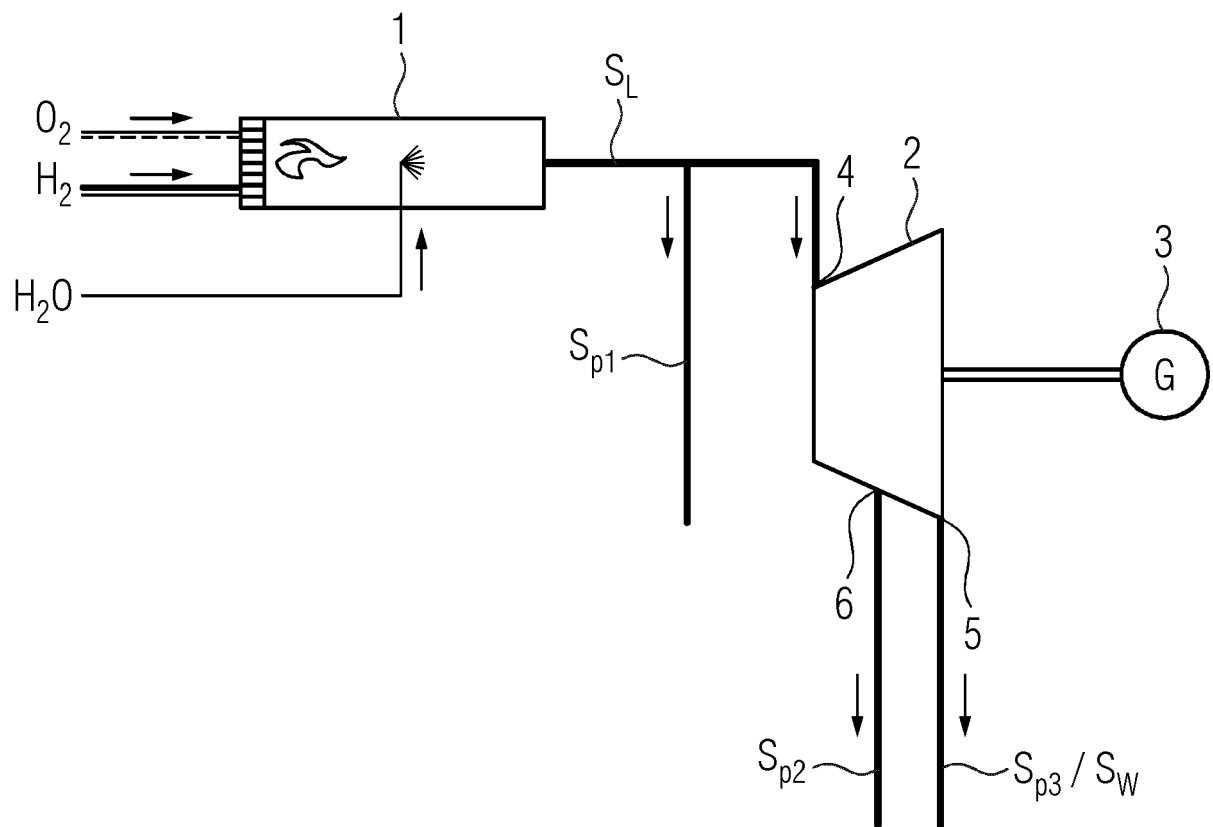
Revendications

1. Procédé de production de vapeur d'eau ayant des paramètres de vapeur définis, comprenant les sta-

des dans lesquels :

- on effectue une combustion interne, sous pression, d'hydrogène avec de l'oxygène en ajoutant de l'eau, dans un générateur (1) de vapeur et on produit de la vapeur vive ;
- on envoie la vapeur vive produite dans le générateur (1) de vapeur à une turbine (2) à vapeur ;
- on détend la vapeur vive le long d'un tronçon de détente dans la turbine (2) à vapeur ;
- on prélève de la vapeur intermédiaire le long du tronçon de détente et/ou on prélève de la vapeur d'échappement au bout du tronçon de détente ayant des paramètres de vapeur définis ; et
- on envoie la vapeur intermédiaire et/ou de la vapeur d'échappement prélevées à un processus industriel venant ensuite.

2. Procédé de production de vapeur d'eau ayant des paramètres de vapeur définis suivant la revendication 1, dans lequel l'hydrogène et l'oxygène utilisés pour la combustion sont produits au moyen d'énergie régénérative.
3. Procédé de production de vapeur d'eau ayant des paramètres de vapeur définis suivant la revendication 1 ou 2, dans lequel au moins une partie de la vapeur vive est prélevée avant l'entrée dans la turbine (2) à vapeur et est envoyée à un processus industriel.
4. Procédé de production de vapeur d'eau ayant des paramètres de vapeur définis suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel l'énergie mécanique produite par la turbine (1) à vapeur est utilisée pour entraîner des machines ou pour produire du courant électrique à l'aide d'une génératrice (3).



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102015218502 A1 [0004]