

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 924 315 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
10.03.2004 Patentblatt 2004/11

(51) Int Cl.7: **C23C 4/12**, B05B 7/16

(21) Anmeldenummer: **98123464.4**

(22) Anmeldetag: **11.12.1998**

(54) **Heissgaserzeugung beim thermischen Spritzen**

Production of hot gas for thermal spraying

Production de gaz chaud pour la pulvérisation thermique

(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB LI

(30) Priorität: **18.12.1997 DE 19756594**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
23.06.1999 Patentblatt 1999/25

(73) Patentinhaber: **Linde AG**
65189 Wiesbaden (DE)

(72) Erfinder:
• **Heinrich, Peter, Dipl.-Ing.**
82110 Germering (DE)

• **Meinass, Helmut, Dipl.-Ing.**
82538 Geretsried (DE)
• **Kreye, Heinrich, Prof. Dr.-Ing.**
22175 Hamburg (DE)

(74) Vertreter: **Obermüller, Bernhard et al**
Linde Aktiengesellschaft
Zentrale Patentabteilung
82049 Höllriegelskreuth (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A-95/07768 **WO-A-97/36692**
DE-A- 3 543 484 **GB-A- 1 326 116**
US-A- 5 459 811

EP 0 924 315 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß Anspruch 1 zum Beschichten von Substratwerkstoffen durch thermisches Spritzen, wobei das Gas oder Gasgemisch aus mindestens einem Gasdruckbehälter in einen Gaspufferbehälter und von diesem Gaspufferbehälter zu einer Vorrichtung zum Vermischen eines pulverförmigen Zusatzwerkstoffes mit dem Gas oder Gasgemisch geleitet wird, wobei das Gas oder Gasgemisch erhitzt wird und wobei der Zusatzwerkstoff mittels des Gases oder Gasgemisches auf die zu beschichtende Oberfläche des Substratwerkstoffes geleitet wird. Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung gemäß Anspruch 8 zum Beschichten von Substratwerkstoffen durch thermisches Spritzen, wobei die Vorrichtung mindestens einen Gasdruckbehälter, mindestens einen Gaspufferbehälter, eine Vorrichtung zum Vermischen eines pulverförmigen Zusatzwerkstoffes mit dem Gas oder Gasgemisch und eine Vorrichtung zum Erhitzen des Gases oder Gasgemisches, sowie Leitungen für das Gas oder Gasgemisch aus dem Gasdruckbehälter in den Gaspufferbehälter und von diesem Gaspufferbehälter zu der Vorrichtung zum Vermischen des pulverförmigen Zusatzwerkstoffes mit dem Gas oder Gasgemisch umfaßt.

[0002] Das thermische Spritzen zum Beschichten kennt als Verfahrensvarianten das autogene Flamm-spritzen oder das Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen, das Lichtbogenspritzen, das Plasmaspritzen, das Detonationsspritzen und das Laserspritzen.

[0003] Thermische Spritzverfahren werden in allgemeiner Form beispielsweise in

- *Übersicht und Einführung in das "Thermische Spritzen"*, Peter Heinrich, Linde-Berichte aus Technik und Wissenschaft, 52/1982, Seiten 29 bis 37, oder
- *Thermisches Spritzen - Fakten und Stand der Technik*, Peter Heinrich, Jahrbuch Oberflächentechnik 1992, Band 48, 1991, Seiten 304 bis 327, Metall-Verlag GmbH,

beschrieben.

[0004] Thermische Spritzverfahren zeichnen sich im wesentlichen dadurch aus, daß sie gleichmäßig aufgetragene Beschichtungen ermöglichen. Durch thermische Spritzverfahren aufgetragene Beschichtungen können durch Variation der Spritzmaterialien an unterschiedliche Anforderungen angepaßt werden. Die Spritzmaterialien können dabei in Form von Drähten, Stäben oder als Pulver verarbeitet werden. Beim thermischen Spritzen kann zusätzlich eine thermische Nachbehandlung vorgesehen sein.

[0005] In jüngerer Zeit wurde darüber hinaus ein weiteres thermisches Spritzverfahren entwickelt, welches auch als Kaltgasspritzen bezeichnet wird. Es handelt sich dabei um eine Art Weiterentwicklung des Hochge-

schwindigkeits-Flammspritzens. Dieses Verfahren ist beispielsweise in der europäischen Patentschrift EP 0 484 533 B1 beschrieben. Beim Kaltgasspritzen kommt ein Zusatzwerkstoff in Pulverform zum Einsatz. Die Pulverpartikel werden beim Kaltgasspritzen jedoch nicht im Gasstrahl geschmolzen. Vielmehr liegt die Temperatur des Gasstrahles unterhalb des Schmelzpunktes der Zusatzwerkstoffpulverpartikel (EP 0 484 533 B1). Im Kaltgasspritzverfahren wird also ein im Vergleich zu den herkömmlichen Spritzverfahren "kaltes" bzw. ein vergleichsweise kälteres Gas verwendet. Gleichwohl wird das Gas aber ebenso wie in den herkömmlichen Verfahren erwärmt, aber in der Regel lediglich auf Temperaturen unterhalb des Schmelzpunktes der Pulverpartikel des Zusatzwerkstoffes.

[0006] Das Gas oder Gasgemisch, mit dessen Hilfe der Zusatzwerkstoff auf die zu beschichtende Oberfläche des Substratwerkstoffes geleitet wird, wird üblicherweise in einem oder mehreren Gasdruckbehälter, beispielsweise einem oder mehreren Gastanks, unter hohem Druck gespeichert. Im Falle der Speicherung als tiefkalt verflüssigter Gase ist üblicherweise zunächst eine Hochdruckverdampfer vorhanden, in welchem das verflüssigte Gas in den gasförmigen Aggregatzustand überführt wird. Außerdem ist eine Druckerhöhung erforderlich.

[0007] Als Gase für das thermische Spritzen kommen beispielsweise Stickstoff, Helium, Argon, Neon, Krypton, Xenon, ein Wasserstoff enthaltendes Gas, ein kohlenstoffhaltiges Gas, insbesondere Kohlendioxid, Sauerstoff, ein Sauerstoff enthaltendes Gas, Luft oder Mischungen der vorgenannten Gase in Frage. Neben den aus der EP 0 484 533 B1 bekannten Gasen Luft und/oder Helium eignen sich auch für das den pulverförmigen Zusatzwerkstoff tragende Gas ein Stickstoff, Argon, Neon, Krypton, Xenon, Sauerstoff, ein Wasserstoff enthaltendes Gas, ein kohlenstoffhaltiges Gas, insbesondere Kohlendioxid, oder Mischungen der vorgenannten Gase und Mischungen dieser Gase mit Helium. Der Anteil des Helium am Gesamtgas kann bis zu 90 Vol.-% betragen. Bevorzugt wird ein Heliumanteil von 10 bis 50 Vol.-% im Gasgemisch eingehalten.

[0008] Es hat sich gezeigt, daß durch den Einsatz von unterschiedlichen Gasen zum Beschleunigen und Tragen des pulverförmigen Zusatzwerkstoffes die Flexibilität und Wirksamkeit des thermischen Spritzverfahrens wesentlich vergrößert werden kann. Die so hergestellten Schichten haften sehr gut auf den verschiedensten Substratwerkstoffen, beispielsweise auf Metall, Metalllegierungen, Keramik, Glas, Kunststoffe und Verbundwerkstoffe. Die Beschichtungen sind von hoher Güte, weisen eine außerordentlich geringe Porosität auf und besitzen extrem glatte Spritzoberflächen, so daß sich in der Regel eine Nacharbeitung erübrigt. Die erwähnten Gase besitzen eine ausreichende Dichte und Schallgeschwindigkeit, um die erforderlichen hohen Geschwindigkeiten der Pulverpartikel gewährleisten zu können. Das Gas kann dabei inerte und/oder reaktive Gase ent-

halten. Mit den genannten Gasen ist die Herstellung von sehr dichten und besonders gleichmäßigen Beschichtungen möglich, welche sich außerdem durch ihre Härte und Festigkeit auszeichnen. Die Schichten weisen extrem geringe Oxidgehalte auf. Sie besitzen keine oder zumindest keine ausgeprägte Textur, d.h. es gibt keine Vorzugsorientierung der einzelnen Körner oder Kristalle. Das Substrat wird ferner nicht durch eine Flamme oder ein Plasma erwärmt, so daß keine oder nur extrem geringe Veränderungen am Grundkörper und auch kein Verzug von Werkstücken durch Wärmespannungen infolge des thermischen Spritzens auftreten.

[0009] Um sich für die Güte der gespritzten Schicht nachteilig auswirkende Druckschwankungen des Gases oder Gasgemisches zu verhindern, kann das Gas oder Gasgemisch gepuffert werden. Dabei ist denkbar, die Heißgaserzeugung direkt im Pufferbehälter vorzunehmen, d.h. das zur Pufferung gespeicherte Gas oder Gasgemisch im Pufferbehälter zu erhitzen. Dies erscheint vorteilhaft, da in diesem Fall mit Hilfe einer Steuereinheit leicht der gewünschte Druck und die gewünschte Temperatur für den das pulverförmigen Zusatzwerkstoff tragenden Gasstrahl eingestellt werden können.

[0010] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das eingangs genannte Verfahren und die Vorrichtung weiterzubilden, insbesondere die Effizienz und die Flexibilität zu vergrößern.

[0011] Die gestellte Aufgabe wird für das Verfahren dadurch gelöst, daß das Gas oder Gasgemisch nach Verlassen des Gaspufferbehälters erhitzt wird.

[0012] Die gestellte Aufgabe wird für die Vorrichtung dadurch gelöst, daß die Vorrichtung zum Erhitzen des Gases oder Gasgemisches in Strömungsrichtung nach dem Gaspufferbehälter angeordnet ist.

[0013] Der Vorteil der Erfindung liegt darin, daß einerseits nur das direkt benötigte Gas und nicht die gesamte gepufferte Gasmenge erhitzt wird und somit die Heißgaserzeugung effizienter, leichter einstellbar und kostengünstiger wird.

[0014] Dadurch, daß das Gas oder Gasgemisch unmittelbar vor der Vorrichtung zum Vermischen des pulverförmigen Zusatzwerkstoffes mit dem Gas oder Gasgemisch erhitzt wird, kann die energetische Effizienz weiter und zusätzlich die Flexibilität erhöht werden. Denn bei der Heißgaserzeugung im Pufferbehälter muß die Gasleitung zwischen Pufferbehälter und Vorrichtung zum Vermischen des pulverförmigen Zusatzwerkstoffes mit dem Gas oder Gasgemisch thermisch isoliert werden und/oder der Wärmeverlust in dieser Leitung beim Erhitzen des Gases oder Gasgemisches berücksichtigt werden. Insbesondere eine thermische Isolierung führt aber zu dicken relativ steifen und wenig oder gar nicht biegsamen Leitungen. Diese schränken die Flexibilität ein und reduzieren oder verhindern die Beweglichkeit der Vorrichtung zum Vermischen des pulverförmigen Zusatzwerkstoffes mit dem Gas oder Gasgemisch. Mit der Erfindung wird ermöglicht, daß die Vorrichtung zum

Vermischen des pulverförmigen Zusatzwerkstoffes mit dem Gas oder Gasgemisch, beispielsweise eine Spritzpistole, auch gegebenenfalls von Hand geführt werden kann.

[0015] Die Heißgaserzeugung kann mittels einer elektrischen Widerstandsheizung erfolgen. Diese bringt den Vorteil einer gut handhabbaren und wenig aufwendigen Heizung. Das Gas oder Gasgemisch kann aber auch mittels eines Flambrenners oder mittels eines Plasmabrenners erhitzt werden. Diese Möglichkeiten sind in der Regel energetisch besonders günstig. Darüber hinaus kann auch eine induktive Erwärmung (Induktionsheizung) zur Erhitzung des Gases oder Gasgemisches vorgesehen sein.

[0016] Der Gasstrahl kann auf eine Temperatur im Bereich zwischen 30 und 1000 °C, vorzugsweise zwischen 100 und 800 °C erwärmt werden, wobei alle bekannten pulverförmigen Spritzmaterialien eingesetzt werden können, beispielsweise Spritzpulver aus Metallen, Metallegierungen, Hartstoffen, Keramiken und/oder Kunststoffen.

[0017] Im Zusammenhang mit der Erfindung kann insbesondere ein Gasstrahl mit einem Druck von 5 bis 50 bar eingesetzt werden. Vor allem das Arbeiten mit höheren Gasdrücken bringt zusätzliche Vorteile, da die Energieübertragung in Form von kinetischer Energie erhöht wird. Es eignen sich insbesondere Gasdrücke im Bereich von 21 bis 50 bar. Hervorragende Spritzergebnisse wurden beispielsweise mit Gasdrücken von etwa 35 bar erzielt. Die Hochdruckgasversorgung kann beispielsweise durch das in der eigenen deutschen Patentanmeldung DE 197 16 414.5 beschriebene Verfahren bzw. die dort beschriebene Gasversorgungsanlage sichergestellt werden.

[0018] Die Pulverpartikel können vorteilhafterweise auf eine Geschwindigkeit von 300 bis 1600 m/s beschleunigt werden. Es eignen sich dabei insbesondere Geschwindigkeiten der Pulverpartikel zwischen 1000 und 1600 m/s, besonders bevorzugt zwischen 1250 und 1600 m/s, da in diesem Fall die Energieübertragung in Form von kinetischer Energie besonders hoch ausfällt.

[0019] Die im erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzten Pulver besitzen bevorzugt Partikelgrößen von 1 bis 100 µm.

[0020] Die Erfindung bietet auch die Möglichkeit, in Verbindung mit einer Automatisierung und mit computergesteuerter Bewegung des Substrats oder der Vorrichtung zum Vermischen des pulverförmigen Zusatzwerkstoffes mit dem Gas oder Gasgemisch bzw. der Spritzpistole das thermische Spritzverfahren besonders rasch und kostengünstig durchzuführen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Beschichten von Substratwerkstoffen durch thermisches Spritzen, wobei das Gas oder Gasgemisch aus mindestens einem Gas-

- druckbehälter in einen Gaspufferbehälter und von diesem Gaspufferbehälter zu einer Vorrichtung zum Vermischen eines pulverförmigen Zusatzwerkstoffes mit dem Gas oder Gasgemisch geleitet wird, wobei das Gas oder Gasgemisch erhitzt wird und wobei der Zusatzwerkstoff mittels des Gases oder Gasgemisches auf die zu beschichtende Oberfläche des Substratwerkstoffes geleitet wird, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Gas oder Gasgemisch erst nach Verlassen des Gaspufferbehälters erhitzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Gas oder Gasgemisch unmittelbar vor der Vorrichtung zum Vermischen des pulverförmigen Zusatzwerkstoffes mit dem Gas oder Gasgemisch erhitzt wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Gas oder Gasgemisch mittels einer elektrischen Widerstandsheizung erhitzt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Gas oder Gasgemisch mittels eines Flammbrenners oder mittels eines Plasmabrenners erhitzt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Gas oder Gasgemisch mittels induktiver Erwärmung erhitzt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Gas oder Gasgemisch auf eine Temperatur für das thermische Spritzen im Bereich zwischen 30 und 1000 °C, vorzugsweise zwischen 100 und 800 °C erhitzt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** als Gaspufferbehälter ein Gasflaschenbündel eingesetzt wird.
8. Vorrichtung zum Beschichten von Substratwerkstoffen durch thermisches Spritzen, wobei die Vorrichtung mindestens einen Gasdruckbehälter, mindestens einen Gaspufferbehälter, eine Vorrichtung zum Vermischen eines pulverförmigen Zusatzwerkstoffes mit dem Gas oder Gasgemisch und eine Vorrichtung zum Erhitzen des Gases oder Gasgemisches, sowie Leitungen für das Gas oder Gasgemisch aus dem Gasdruckbehälter in den Gaspufferbehälter und von diesem Gaspufferbehälter zu der Vorrichtung zum Vermischen des pulverförmigen Zusatzwerkstoffes mit dem Gas oder Gasgemisch umfaßt, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Vorrichtung zum Erhitzen des Gases oder Gasgemisches in Strömungsrichtung erst nach dem Gaspufferbehälter angeordnet ist.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Vorrichtung zum Erhitzen des Gases oder Gasgemisches unmittelbar vor der Vorrichtung zum Vermischen des pulverförmigen Zusatzwerkstoffes mit dem Gas oder Gasgemisch angeordnet ist.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Vorrichtung zum Erhitzen des Gases oder Gasgemisches eine elektrische Widerstandsheizung umfaßt.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Vorrichtung zum Erhitzen des Gases oder Gasgemisches einen Flammbrenner oder Plasmabrenner umfaßt.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Vorrichtung zum Erhitzen des Gases oder Gasgemisches Mittel zum induktiven Erwärmen umfaßt.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Gaspufferbehälter aus einem Gasflaschenbündel besteht.

Claims

1. Process for coating substrate materials by thermal spraying, in which the gas or gas mixture is passed from at least one pressurized gas vessel into a buffer gas vessel and from this buffer gas vessel to a device for mixing a pulverulent additive with the gas or gas mixture, in which the gas or gas mixture is heated and in which the additive is passed by means of the gas or gas mixture onto that surface of the substrate material which is to be coated, **characterized in that** the gas or gas mixture is only heated after it has left the buffer gas vessel.
2. Process according to Claim 1, **characterized in that** the gas or gas mixture is heated immediately upstream of the device for mixing the pulverulent additive with the gas or gas mixture.
3. Process according to one of Claims 1 or 2, **characterized in that** the gas or gas mixture is heated by means of an electrical resistance heater.
4. Process according to one of Claims 1 or 2, **characterized in that** the gas or gas mixture is heated by means of a flame torch or by means of a plasma torch.
5. Process according to one of Claims 1 or 2, **characterized in that** the gas or gas mixture is heated by means of inductive heating.

6. Process according to one of Claims 1 to 5, **characterized in that** the gas or gas mixture is heated to a thermal spraying temperature in the range between 30 and 1000°C, preferably between 100 and 800°C.

5

7. Process according to one of Claims 1 to 6, **characterized in that** a bundle of gas cylinders is used as the buffer gas vessel.

10

8. Device for coating substrate materials by thermal spraying, which device comprises at least one pressurized gas vessel, at least one buffer gas vessel, a device for mixing a pulverulent additive with the gas or gas mixture and a device for heating the gas or gas mixture, as well as lines for passing the gas or gas mixture from the pressurized gas vessel into the buffer gas vessel and from this buffer gas vessel to the device for mixing the pulverulent additive with the gas or gas mixture, **characterized in that** the device for heating the gas or gas mixture is only arranged downstream of the buffer gas vessel, as seen in the direction of flow.

15

20

9. Device according to Claim 8, **characterized in that** the device for heating the gas or gas mixture is arranged immediately upstream of the device for mixing the pulverulent additive with the gas or gas mixture.

25

30

10. Device according to one of Claims 8 or 9, **characterized in that** the device for heating the gas or gas mixture comprises an electrical resistance heater.

11. Device according to one of Claims 8 or 9, **characterized in that** the device for heating the gas or gas mixture comprises a flame torch or plasma torch.

35

12. Device according to one of Claims 8 or 9, **characterized in that** the device for heating the gas or gas mixture comprises inductive heating means.

40

13. Device according to one of Claims 8 to 12, **characterized in that** the buffer gas vessel comprises a bundle of gas cylinders.

45

Revendications

1. Procédé de revêtement de matériaux substrat par pulvérisation thermique, le gaz ou le mélange gazeux étant acheminé à partir d'au moins un récipient pressurisé à gaz dans un récipient tampon à gaz et de ce récipient tampon à gaz vers un dispositif en vue du mélange d'un matériau d'addition pulvérulent avec le gaz ou le mélange gazeux, le gaz ou le mélange gazeux étant chauffé et le matériau d'addition étant acheminé à l'aide du gaz ou du mélange

50

55

gazeux sur la surface à revêtir du matériau substrat, **caractérisé en ce que** le gaz ou le mélange gazeux n'est chauffé qu'après avoir quitté le récipient tampon à gaz.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le gaz ou le mélange gazeux est chauffé immédiatement avant le dispositif en vue du mélange du matériau d'addition pulvérulent avec le gaz ou le mélange gazeux.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le gaz ou le mélange gazeux est chauffé à l'aide d'un chauffage à résistance électrique.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le gaz ou le mélange gazeux est chauffé à l'aide d'un brûleur à flammes ou à l'aide d'un brûleur à plasma.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le gaz ou le mélange gazeux est chauffé par échauffement inductif.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le gaz ou le mélange gazeux est chauffé à une température pour la pulvérisation thermique dans le domaine comprise entre 30 et 1000°C, de préférence, comprise entre 100 et 800°C.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** l'on utilise, en tant que récipient tampon à gaz, un faisceau de bouteilles à gaz.

8. Dispositif en vue du revêtement de matériaux substrat par pulvérisation thermique, le dispositif comprenant au moins un récipient pressurisé à gaz, au moins un récipient tampon à gaz, un dispositif en vue du mélange d'un matériau d'addition pulvérulent avec le gaz ou le mélange gazeux et un dispositif en vue du chauffage du gaz ou du mélange gazeux, ainsi que des conduits pour le gaz ou le mélange gazeux provenant du récipient pressurisé à gaz dans le récipient tampon à gaz et de celui-ci au dispositif en vue du mélange du matériau d'addition pulvérulent avec le gaz ou le mélange gazeux, **caractérisé en ce que** le dispositif est disposé, en vue du chauffage du gaz ou du mélange gazeux en direction de l'écoulement, seulement après le récipient tampon à gaz.

9. Dispositif selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le dispositif en vue du chauffage du gaz ou du mélange gazeux est disposé immédiatement avant le dispositif en vue du mélange du matériau

d'addition pulvérulent avec le gaz ou le mélange gazeux.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 ou 9, **caractérisé en ce que** le dispositif en vue du chauffage du gaz ou du mélange gazeux comprend un chauffage à résistance électrique. 5
11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 ou 9, **caractérisé en ce que** le dispositif en vue du chauffage du gaz ou du mélange gazeux comprend un brûleur à flammes ou un brûleur à plasma. 10
12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 or 9, **caractérisé en ce que** le dispositif en vue du chauffage du gaz ou du mélange gazeux comprend un échauffement inductif. 15
13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 à 12, **caractérisé en ce que** le récipient tampon à gaz se compose d'un faisceau de bouteilles à gaz. 20

25

30

35

40

45

50

55