



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114525464 B

(45) 授权公告日 2024.01.26

(21) 申请号 202210111006.0

CN 112126887 A, 2020.12.25

(22) 申请日 2022.01.22

CN 113513429 A, 2021.10.19

(65) 同一申请的已公布的文献号

US 5019686 A, 1991.05.28

申请公布号 CN 114525464 A

审查员 冯冰

(43) 申请公布日 2022.05.24

(73) 专利权人 西北工业大学

地址 710072 陕西省西安市碑林区友谊西路127号

(72) 发明人 范玮 张三省 赵明皓 王可

(51) Int. Cl.

G23C 4/126 (2016.01)

(56) 对比文件

CN 104561879 A, 2015.04.29

CN 101181703 A, 2008.05.21

CN 101736277 A, 2010.06.16

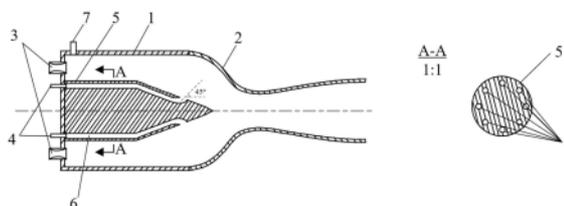
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于旋转爆震的喷涂装置

(57) 摘要

本发明提出了一种基于旋转爆震的喷涂装置,包括旋转爆震燃烧室、喷涂材料输送组件和喷管。该装置工作时,旋转爆震燃烧室产生高温高速的燃气,从喷管加速排出;燃烧室升温后,喷涂材料粉末经高压空气输送至喷涂材料输送组件,预热后汇入燃气,进一步加热和增速,最终喷涂粉末以熔化或半熔化状态从喷管排出,抵达待喷涂的基体表面。与目前热喷涂设备广泛使用的缓燃燃烧相比,旋转爆震具有更高的释热速率和燃气温度,并能获得更高的喷射速度,将其应用于热喷涂领域,可大幅提高喷涂质量。



1. 一种基于旋转爆震的喷涂设备,包括旋转爆震燃烧室、喷涂材料输送组件和喷管,其特征在于,利用旋转爆震燃烧室产生的燃气,对喷涂粉末进行加热和增速,最终使粉末以熔化或半熔化状态从喷管高速排出,抵达待喷涂的基体表面,形成具有一定厚度的涂层;

所述旋转爆震燃烧室是喷涂装置的主要部件,由燃烧室外环、燃烧室内柱、燃料/氧化剂进口和点火器组成,用于产生热喷涂所需的高温高速燃气;所述燃烧室外环整体呈圆桶形,其封闭端为燃烧室的头部,其余部分为旋转爆震反应区域的外边界;所述内柱位于燃烧室内部,为一带有尾椎的圆柱体,与燃烧室外环同心且安装在外环封闭端,内柱外表面为旋转爆震反应区域的内边界,与燃烧室外环共同构成环形的燃烧空间;燃烧室外环直径应为10~50cm,内柱外径应小于外环直径的80%,燃烧室外环长度为外环直径的1.1~1.5倍,内柱圆柱段长度不超过外环长度的80%,总长度不小于外环长度的1.2倍;所述燃料/氧化剂进口位于燃烧室外环的封闭端处,用于供给燃烧所需的燃料与氧化剂;燃料/氧化剂进口选用旋转爆震供给方案中掺混效果较好的喷孔环缝对撞式进气结构,其特征在于,氧化剂进气口剖面为带有喉部的环缝结构,氧化剂由此通道进入燃烧室;燃料则通过均布于环缝壁面上若干喷注孔供给;环缝与喷注孔的具体几何参数应满足以下条件:

$$D_f = \begin{cases} 0.8\text{mm} & 10 \leq D_1 < 20 \\ 1\text{mm} & 20 \leq D_1 \leq 50 \end{cases}$$

$$0.22 < \frac{n \cdot D_f}{\pi D_1} < 0.24$$

$$D_a = (0.93 \sim 1) D_1$$

$$0.025 < \frac{4D_a \sigma}{D_1^2} < 0.04$$

其中, $D_f$ 为燃料喷孔直径, $n$ 为燃料喷孔数, $D_1$ 为燃烧室外环直径, $D_a$ 为环缝中心圆直径, $\sigma$ 为环缝宽度;所述点火器设置于燃烧室外环靠近封闭端的外壁面上,用于点火起爆,点火器距燃烧室外环封闭端的距离为0.8~2cm,使用切向安装的预爆管进行点火,在喷涂设备尺寸受限的情况下,使用火花塞进行点火;

所述喷涂材料输送组件由喷涂粉末进口和粉末通道组成,用于引导喷涂粉末汇入旋转爆震燃烧室产生的燃气中,使用的喷涂粉末种类与常规超声速火焰喷涂相同;喷涂粉末进口位于燃烧室外环封闭端处,一端与外界的送粉设备相连接,通过高压空气将喷涂粉末送入,另一端与粉末通道相连接;粉末通道位于燃烧室内柱内部,喷涂粉末进入通道后,旋转爆震产生的热量会经燃烧室内柱壁面传导,对通道内喷涂粉末进行预热,之后粉末将从通道末端汇入燃气,进一步加热和增速;为使喷涂粉末与燃气充分掺混,粉末通道出口方向与内柱轴线呈45°夹角;工作时,通过开启或关闭外界送粉设备来控制喷涂粉末供给的开始与停止,开始供给喷涂粉末的时间滞后于点火起爆时间200~300ms;

所述燃烧室内柱为整体式或拆分式,整体式内柱的粉末流道由1~12个圆形截面流道组成,通过3D打印或对实心内柱进行钻孔加工得到;拆分式内柱包括内柱外环与内柱内核两部分,外环内径大于内核外径,二者之间的空间构成粉末流道;圆形粉末通道的直径或圆环形粉末通道的宽度应大于4mm,距内柱外壁面的径向距离为4~8mm;

所述喷管起到加速燃烧室燃气的作用,喷管与内柱构成的流道为收缩-扩张形,长度在

0.8~1.5倍燃烧室外环直径的范围内,喷管长度的调整会影响燃气流速与喷涂装置长度,进而改变喷涂粉末的出口速度与加热程度。

## 一种基于旋转爆震的喷涂装置

### 技术领域

[0001] 本发明为一种基于旋转爆震的喷涂装置,涉及爆震燃烧和热喷涂技术领域。

### 背景技术

[0002] 热喷涂技术是一种利用热源将喷涂材料加热至熔化或半熔化状态,并将其以一定的速度喷射沉积到经过预处理的基体表面,进而形成涂层,赋予基体表面特殊功能的技术。

[0003] 热喷涂中使用的热源种类包括燃气火焰、电弧、等离子弧和激光等,其中,燃气火焰喷涂应用时间最早且范围最广。一般而言,燃气火焰喷涂使用乙炔、丙烷、甲基乙炔—丙二烯、氢气或天然气等一种或多种燃料与助燃气体混合燃烧作为热源,喷涂材料则以丝状、棒状或粉末状材料为主。喷涂材料经过加热,发生熔化,并依靠燃气加速喷射到基体上,进而形成具有一定厚度的涂层。燃气火焰喷涂的质量取决于喷涂材料的熔化程度和喷射速度,二者分别受燃气对喷涂材料的作用时间和燃气的流速影响。其中,以提高喷涂材料的喷射速度为目的,上世纪80年代,美国Browning公司首创了超声速火焰喷涂技术。该技术的核心设备为喷枪,一般由燃烧室、Laval喷管和等截面长喷管组成。工作时,该设备能够产生超声速燃气,可对喷涂粉末进行充分加热和增速,粉末的最高喷射速度大约为500m/s。超声速火焰喷涂技术不仅具有喷涂粉末速度高的优势,还能使粉末受热均匀,形成的涂层质量较高,是目前最常用的热喷涂工艺。

[0004] 尽管超声速火焰喷涂技术已十分成熟,但其燃烧形式为传统的缓燃燃烧,喷射速度和燃气温度仍存在一定的提升空间。自然界中另外一种燃烧方式——爆震燃烧,在提高燃气温度和燃烧室压力方面具有显著的优势。对于充分发展的爆震波,其波后的流动必定是声速或超声速,燃气流动速度远高于缓燃燃烧。此外,爆震燃烧具有自增压效果,与缓燃燃烧相比,释热速率更高、可获得的喷射速度更快。目前,爆震燃烧的形式包括脉冲爆震、旋转爆震和斜爆震,与脉冲爆震和斜爆震相比,旋转爆震的燃烧室结构简单、不需要超音速来流条件,对反应物供给的要求较少,且仅点火一次便可实现爆震波的连续传播。一般而言,旋转爆震燃烧室多为环形或空桶形结构,推进剂从燃烧室的一端进入,点火后会在燃烧室中产生一个或多个沿周向旋转传播的爆震波,燃烧产物从另一端高速排出。如能将旋转爆震应用于热喷涂领域,可大幅提高燃气温度和喷射速度,进而获得更优的喷涂效果。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于将旋转爆震应用于热喷涂领域,利用爆震燃烧释热速率快和燃气流速高的特点,提高喷涂设备对喷涂材料的加热与增速能力,进而提高涂层质量。

[0006] 为达到上述目的,本发明采用的技术方案为:

[0007] 一种基于旋转爆震的喷涂装置,具体为一种使用旋转爆震燃烧室的喷枪,包括旋转爆震燃烧室、喷涂材料输送组件和喷管。

[0008] 所述旋转爆震燃烧室是喷涂装置的主要部件,由燃烧室外环、燃烧室内柱、燃料/氧化剂进口和点火器组成,用于产生热喷涂所需的高温高速燃气。

[0009] 所述燃烧室外环整体呈圆桶形,其封闭端为燃烧室的头部,其余部分为旋转爆震反应区域的外边界;所述内柱位于燃烧室内部,为一带有尾椎的圆柱体,与燃烧室外环同心且安装在外环封闭端,内柱外表面为旋转爆震反应区域的内边界,与燃烧室外环共同构成环形的燃烧空间。燃烧室外环直径应为10~50cm,内柱外径应小于外环直径的80%,燃烧室外环长度为外环直径的1.1~1.5倍,内柱圆柱段长度不超过外环长度的80%,总长度不小于外环长度的1.2倍,可根据具体喷涂需求来确定尺寸。所述燃料/氧化剂进口位于燃烧室外环的封闭端处,用于供给燃烧所需的燃料与氧化剂。燃料/氧化剂进口选用旋转爆震供给方案中掺混效果较好的喷孔环缝对撞式进气结构,其特征在于,氧化剂进气口剖面为带有喉部的环缝结构,氧化剂由此通道进入燃烧室;燃料则通过均布于环缝壁面上若干喷注孔供给。环缝与喷注孔的具体几何参数应满足以下条件:

$$[0010] \quad D_f = \begin{cases} 0.8\text{mm} & 10 \leq D_1 < 20 \\ 1\text{mm} & 20 \leq D_1 \leq 50 \end{cases}$$

$$[0011] \quad 0.22 < \frac{n \cdot D_f}{\pi D_1} < 0.24$$

$$[0012] \quad D_a = (0.93 \sim 1) D_1$$

$$[0013] \quad 0.025 < \frac{4D_a \sigma}{D_1^2} < 0.04$$

[0014] 其中, $D_f$ 为燃料喷孔直径, $n$ 为燃料喷孔数, $D_1$ 为燃烧室外环直径, $D_a$ 为环缝中心圆直径, $\sigma$ 为环缝宽度。所述点火器设置于燃烧室外环靠近封闭端的外壁面上,用于点火起爆,点火器距燃烧室外环封闭端的距离为0.8~2cm,使用切向安装的预爆管进行点火,在喷涂设备尺寸受限的情况下,使用火花塞进行点火。

[0015] 所述喷涂材料输送组件由喷涂粉末进口和粉末通道组成,用于引导喷涂粉末汇入旋转爆震燃烧室产生的燃气中。所述喷涂粉末进口位于燃烧室外环封闭端处,一端与外部的送粉设备相连接,通过高压空气将喷涂粉末送入,另一端与粉末通道相连接;所述粉末通道位于燃烧室内柱内部,喷涂粉末进入通道后,旋转爆震产生的热量会经燃烧室内柱壁面传导,对通道内喷涂粉末进行预热,之后粉末将从通道出口汇入燃气,进一步加热和增速;为使喷涂粉末与燃气充分掺混,粉末通道出口方向与内柱轴线呈45°夹角;喷涂装置使用的喷涂粉末种类与常规超声速火焰喷涂相同,其粉末粒度与材料的熔点及导热性有关,常规金属及合金粉末粒度在45~125 $\mu\text{m}$ 范围内,以钨为代表的耐高温涂层粉末粒度可低至15~30 $\mu\text{m}$ ;工作时,通过开启或关闭外界送粉设备来控制喷涂粉末供给的开始与停止,开始供给喷涂粉末的时间应滞后于点火起爆时间200~300ms,以确保燃烧室的温度已升高。

[0016] 所述燃烧室内柱为整体式或拆分式。整体式内柱的粉末通道由1~12个圆形截面流道组成,通过3D打印或对实心内柱进行钻孔加工得到;拆分式内柱包括内柱外环与内柱内核两部分,外环内径大于内核外径,二者之间的空间构成粉末流道;圆形粉末通道的直径或圆环形粉末通道的宽度应大于4mm,距内柱外壁面的径向距离为4~8mm。

[0017] 所述喷管起到加速燃烧室燃气的作用,喷管与内柱构成的流道为收缩-扩张形,长度在0.8~1.5倍燃烧室外环直径的范围内,喷管长度的调整会影响燃气流速与喷涂装置长度,进而改变喷涂粉末的出口速度与加热程度。

[0018] 有益效果:

[0019] 采用本发明提供的一种基于旋转爆震的喷涂装置,通过使用旋转爆震替代常规热喷涂设备中的缓燃燃烧方式,可以在燃烧室尺寸变化不大的情况下,提高燃气的速度与温度,增强燃气对喷涂粉末的作用能力,使粉末的喷射速度更高,达到熔化所需的加热时间更短或相同加热时间下的熔化效果更好,进而获得更优的喷涂质量,可用于热喷涂领域。

#### 附图说明

[0020] 图1为本发明喷涂装置结构简图及旋转爆震燃烧室内柱剖面图(实施例1,整体式内柱,圆形粉末通道)。

[0021] 图2为本发明喷涂装置结构简图及旋转爆震燃烧室内柱剖面图(实施例2,分体式内柱,环形粉末通道)。

[0022] 图3为本发明喷涂装置结构简图及旋转爆震燃烧室内柱剖面图(实施例3,整体式内柱,中心圆形粉末通道)。

[0023] 图4为本发明喷涂装置结构简图(实施例4,无内柱,喷管粉末进口)。

[0024] 其中,1为燃烧室外环,2为喷管,3为燃料/氧化剂进口,4为喷涂粉末进口,5为燃烧室内柱,5-1为燃烧室内柱外环,5-2为燃烧室内柱内核,6为粉末通道,7为点火器。

#### 具体实施方式

[0025] 下面结合附图及具体实施过程对本发明作进一步说明。

[0026] 以图1为例,旋转爆震喷涂装置由旋转爆震燃烧室、喷涂材料输送组件和喷管组成,旋转爆震燃烧室部件包括燃烧室外环1、燃烧室内柱5、燃料/氧化剂进口3和点火器7,燃烧室外环1与燃烧室内柱5用于构成环形的燃烧区域;燃料/氧化剂进口3用于提供燃烧所需的反应物;点火器7用于点火,进而形成爆震波;喷涂材料输送组件由喷涂粉末进口4和粉末通道6组成,用于将喷涂粉末导向下游的高温高速燃气区域,同时旋转爆震产生的热量会经燃烧室内柱壁面传导,对通道内喷涂粉末进行预热;喷管2用于加速燃气。

[0027] 喷涂装置工作时,燃料与氧化剂从燃料/氧化剂进口3进入燃烧室。待燃烧室内充满反应物后,通过点火器7点火形成旋转爆震波,并在燃烧室外环1和燃烧室内柱5间的环形区域中沿周向旋转传播。燃烧产物膨胀向下游运动,经喷管2后速度进一步提高。喷涂所需的喷涂粉末从喷涂粉末进口4经空气吹送进入粉末通道6,燃气热量经燃烧室内柱壁面传导,对通道内喷涂粉末进行预热,随后粉末从内柱尾部汇入燃烧室燃气,受到进一步的加热和增速,并最终喷向预设的喷涂面。

[0028] 实施例1:

[0029] 参见图1,燃烧室内柱5为整体式,粉末流道6包括8个圆形通道;喷管2类型为拉伐尔喷管,可加速燃气,并延长燃气对粉末的作用时间,有利于提高粉末速度与温度。

[0030] 实施例2:

[0031] 参见图2,燃烧室内柱分为外环5-1和内核5-2两部分,二者之间为粉末通道6,此设计可在相同内柱尺寸下获得更大的流道横截面积;喷管2为拉伐尔喷管,相较实例1缩短了装置轴向长度,使燃气对粉末的作用时间减少,可实现对粉末速度与温度的调节。

[0032] 实施例3:

[0033] 参见图3,粉末通道6位于燃烧室内柱5中心,为圆形直通道,相较于实例1、2中带有偏转角的粉末通道,可避免喷涂粉末在粉末通道内碰撞、减速和聚积,但削弱了燃气热量对喷涂粉末的预热作用;内柱5的直径有所减小,即增大了旋转爆震燃烧室的宽度,可拓宽旋转爆震的稳定工作范围。

[0034] 实施例4:

[0035] 参见图4,取消了燃烧室内柱及粉末通道,旋转爆震燃烧室变为空桶形,根据实验研究,在其它条件不变的情况下,空桶形燃烧室中的燃料与氧化剂混合效果优于环形燃烧室,可以获得更宽的稳定工作范围;喷涂粉末入口4位于喷管2喉部之后的位置,涂层粉末由此汇入燃气中,此改动简化了喷涂材料输送方式,提高了喷涂粉末供给的稳定性与可靠性。

[0036] 以上结合附图与具体实施过程对本发明的具体实施方式作了详细描述,但是本发明并不限于上述实施方式,在本领域的技术人员不脱离基本发明原理的前提下,可以对上述方法做出各种调整与优化。

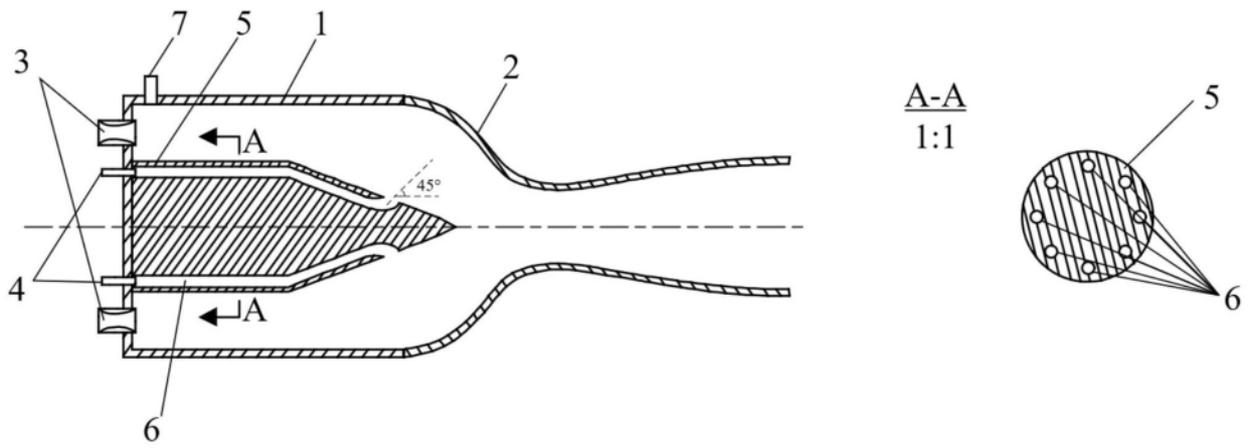


图1

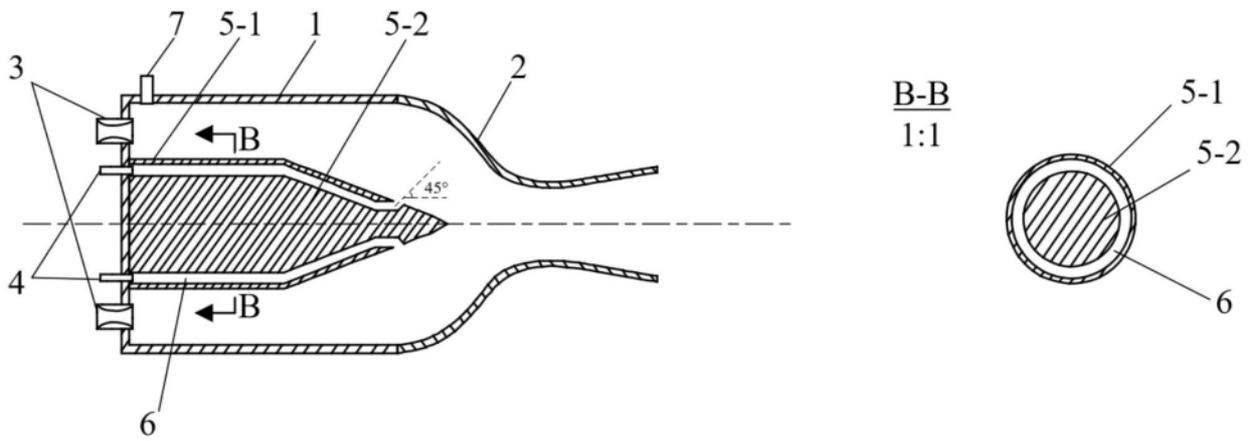


图2

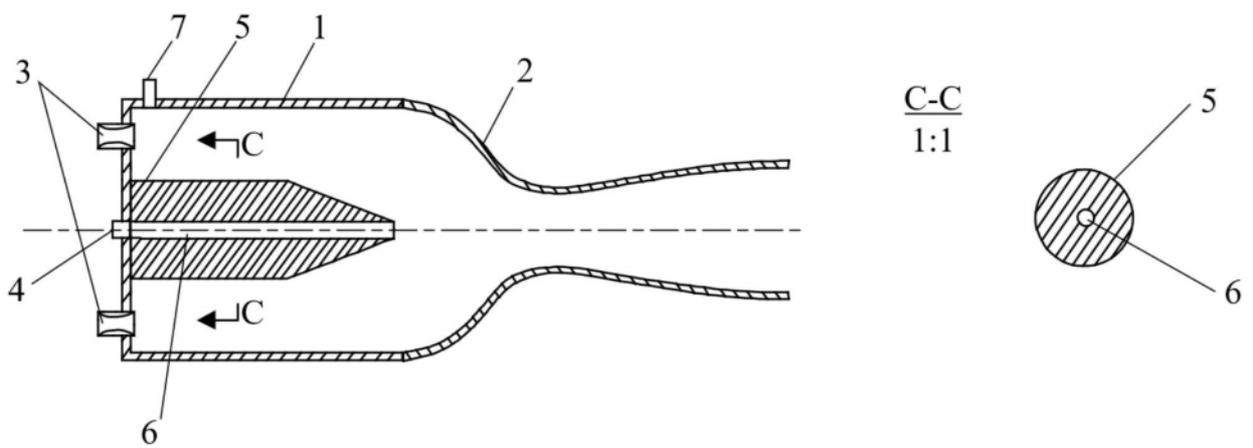


图3

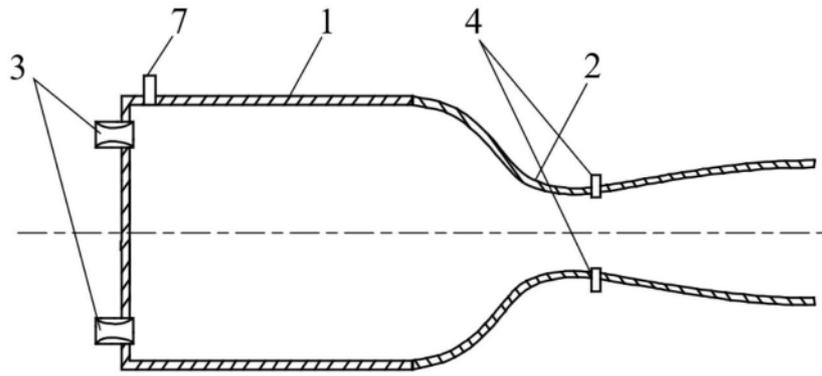


图4