



# 发明专利申请公开说明书

(12) 申请号 89107755X

[51] Int.Cl<sup>5</sup>

B05D 1/08

(43)公开日 1990年4月15日

(21)申请号 89.9.19

(30)优先权

(32)88.9.20 (33)US (31)231100

(71)申请人 萨尔泽血浆技术有限公司

地址 美国密歇根

(72)发明人 萨尼尔, J. J.

中国国际贸易促进委员会专利

代理部

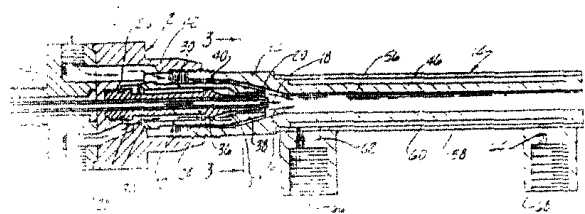
代理人 蔡闻才

说明书页数: 20 附图页数: 5

(54)发明名称 高速火焰喷射成形材料成型方法

(57)摘要

一种能够形成高能的原物料子流的超音速火焰喷射设备。它有一个产生火焰前沿和高速扩散放热反应的会聚喷口。燃料气体注入火焰前沿,细粒原料送入会聚喷口,由燃烧气体高速射流喷射出枪筒。枪筒外有双金属丝电弧装置,两个相对的金属丝端部由电弧熔融,而后由射出枪筒的超音速准直粒子流雾化,形成包含两种不相同原料的复合材料粒子流。本设备也提供喷射成形的材料,包括致密的金属基复合材料,它们可以成形为涂层或独立的近净形状物件。



# 权 利 要 求 书

---

1. 一种超音速火焰喷射设备，它包括：

一个座体，该座体限定一个洞孔，该洞孔有一个接受原料和不活泼载气的入口和一个出口；

上述座体还限定一个与上述洞孔出口沿轴向准直并相通的会聚喷口，该会聚喷口具有一个会聚锥形壁和一个喷口出口，会聚锥形壁面对上述洞孔出口并与其隔开，喷口出口位于该会聚锥形壁的顶点，大体上与上述洞孔沿轴向准直；

上述座体还限定一个环绕上述洞孔的环状燃料通道，该环状燃料通道有一个接受燃料的入口和一个邻近上述洞孔出口并与上述喷口相通的出口；

上述座体还限定一个环绕上述燃料通道的环状氧化剂气体通道，该环状氧化剂气体通道有一个接受氧化剂气体的入口和一个邻近上述洞孔和燃料出口并与上述喷口相通的出口；

上述喷口在混合之前从上述两个环状通道出口接受上述燃料和氧化剂气体，而上述锥形壁与上述两个环状通道出口相隔足够远，使得上述燃料和氧化剂气体能够在上述喷口中混合和燃烧，上述会聚喷口中的这种燃烧将气体燃烧产物加速到高速通过位于与上述洞孔沿轴向准直的上述锥形壁的顶点处的上述喷口出口；

以及一个筒体，它与上述洞孔沿轴向准直，并与上述喷口出口相通，该筒体有一个接受上述气体燃烧产物和上述原料的开孔，并有一个射出受热原料的出口。

2. 如权利要求 1 所述的超音速火焰喷射设备，其特征在于，上述环状氧化剂气体通道相对于上述环状燃料通道向着上述洞孔的轴线收敛，引导上述氧化剂气体进入并包封上述喷口中的火焰前沿，并将燃料注入上述火焰前沿，在上述喷口中产生一个连续的高速扩散反应，将上述气体燃烧产物加速到超音速。

3. 如权利要求 1 所述的超音速火焰喷射设备，其特征在于，上述洞孔出口的横截面积显著地小于上述环状的燃料和氧化剂气体通道出口的横截面积，使得上述原料和不活泼载气以比上述燃料和氧化剂气体更快的速度送入上述喷口。

4. 如权利要求 1 所述的超音速火焰喷射设备，其特征在于，上述设备包括将液体原料送入邻近上述筒体出口的上述受热粉末原料中的机构，上述粉末原料使上述大体上均匀分布于该粉末原料中的液体原料雾化并射出。

5. 如权利要求 4 所述的超音速火焰喷射设备，其特征在于，上述进料机构包括金属丝进料机构和电源机构，金属丝进料机构将至少两根原料金属丝的端部送入邻近上述筒体出口的上述粉末原料，电源机构在上述金属丝端部之间建立电弧，上述电弧熔化上述金属丝端部并形成上述液体原料。

6. 一种超音速火焰喷射设备，它包括：

一个座体部分，它具有一个包括出口的原料孔；

一个会聚喷口，与上述原料孔沿轴向准直并相通，它有一个面向上述原料孔出口并与其间隔的会聚锥形壁；

一个燃料气体通道，它有一个接受燃料气体的入口和一个环绕上述原料孔并与上述喷口相通的环状出口；

一个氧化剂气体通道，它有一个接受氧化剂气体的入口和一个环绕上述燃料气体出口并在其邻近与上述喷口相通的环状出口；

上述喷口在混合之前从上述两个环状通道出口接受上述燃料和氧化剂气体，而上述锥形壁与上述两个环状通道出口相隔足够远，使得上述燃料和氧化剂气体能够在上述喷口中混合和燃烧；

在上述喷口内点燃上述燃料和氧化剂气体的机构，它在上述喷口内产生一个包括火焰前沿的连续高速扩散反应，使气体燃烧产物加速通过一个位于与上述原料孔沿轴向准直的上述锥形壁的顶点处的出口；

以及一个筒体，它与上述原料孔沿轴向准直，并与上述喷口出口相通，该筒体有一个接受上述气体燃烧产物和受热的细粒原料的开口，并有一个射出受热细粒原料的出口。

7. 一种超音速热喷射设备，它包括：

一个超音速热喷枪，它包括一个接受原料的座体部分，加热该原料并使该受热的细粒原料加速的机构，以及一个具有入口和出口的管状筒体部分，该入口接受上述受热的加速细粒原料，该出口使上述受热的加速细粒原料和载气指向靶子；

以及液体进料机构，该机构将熔融金属原料送入邻近上述筒体部分出口的上述受热加速粉末原料中，上述加速细粒原料和载气雾化上述熔融金属原料，并使大体上均匀分布于上述受热细粒原料中的上述雾化熔融金属原料射在上述靶子上。

8. 如权利要求7所述的超音速热喷射设备，其特征在于，上述液体进料机构包括金属丝进料机构和电源机构，金属丝进料机构连续地将至少两根原料金属丝的端部送入邻近上述筒体部分出口的上述受

热加速细粒原料中，电源机构在上述金属丝端部之间建立电弧，熔化上述金属丝端部并形成上述熔融金属原料。

9. 如权利要求7所述的超音速热喷射设备，其特征在于，上述热喷枪包括一个具有接受粉末原料和不活泼载气的入口和出口的粉末孔，具有分别接受燃料和氧化剂的入口和邻近上述粉末孔出口而与上述喷口相通的分开的出口的环绕上述粉末孔的环状燃料和氧化剂通道，以及在上述喷口内点燃上述燃料和氧化剂气体的点燃机构，上述喷口在混合之前从上述两个环状通道出口接受上述燃料和氧化剂，而上述锥形壁与上述两个通道出口相隔足够远，使得上述燃料和氧化剂能够在上述喷口中燃烧。

10. 一种在超音速火焰喷射设备中产生将燃烧产物加速到超音速的连续高速扩散反应的方法，该火焰喷射设备包括一个排放到燃烧喷口中去的供应喷嘴而该燃烧喷口排放到排气喷嘴中去，该排气喷嘴的内径小于上述燃烧喷口的内径，而该燃烧喷口通过一个会聚开孔与上述排气喷嘴相通，上述方法包括下列步骤：

通过上述供应喷嘴将碳氢化合物燃料和氧气送入上述燃烧喷口；

点燃上述燃料，在上述燃烧喷口中产生邻近上述喷口排放物的火焰前沿；

通过上述燃料喷嘴直接向上述火焰前沿中连续送入碳氢化合物气体燃料，因此在上述会聚喷口中维持一个邻近上述供应喷嘴排放物的连续高速扩散反应，从而加速上述碳氢化合物燃料和氧化物气体的燃烧产物通过上述会聚开孔和上述排放喷嘴。

11. 一种在超音速火焰喷射设备中产生将细粒状原料加速到超音速的连续高速扩散反应的方法，该火焰喷射设备包括一个排放到燃

烧喷口中去的供应喷嘴而该燃烧喷口排放到排气喷嘴中去，该燃烧喷口通过一个会聚开孔与上述排气喷嘴相通，上述方法包括下列步骤：

将碳氢化合物燃料和氧化剂送入上述燃烧喷口；

通过在上述燃烧喷口中点燃上述碳氢化合物的办法在上述燃烧喷口中产生邻近上述喷口排放物的火焰前沿；

通过上述供应喷嘴直接向上述火焰前沿中继续送入碳氢化合物燃料；

通过上述供应喷嘴沿上述碳氢化合物燃料的径向外向上述喷口同时而分开地送入氧化剂气体，上述氧化剂气体包封上述火焰前沿并维持一个高速扩散反应；

将原料送入上述喷口和上述高速扩散反应中，以加速该细粒原料通过上述会聚开孔和上述排放喷嘴。

1 2。如权利要求 1 1所述的在超音速火焰喷射设备中产生连续高速扩散反应的方法，其中该方法包括将上述粉末原料沿轴向通过上述供应喷嘴送入穿过上述连续高速扩散反应和上述火焰前沿，上述火焰前沿加热上述粉末原料并加速该受热粉末原料通过上述排气喷嘴。

1 3。如权利要求 1 2所述的在超音速火焰喷射设备中产生连续高速扩散反应的方法，其中上述方法还包括在上述排气喷嘴出口的邻近处熔化一种金属原料，上述受热的粉末原料和气体雾化并加速大体上均匀地分布在上述粉末原料中的上述熔融金属原料。

1 4。一种在火焰喷枪中将细粒状原料加热和加速到超音速的方法，该火焰喷枪具有一个将上述原料通过供应喷嘴送入会聚燃烧喷口的原料孔，而上述会聚燃烧喷口具有一个与上述喷枪的排放筒体相通的轴向开孔，该方法包括：

通过上述供应喷嘴的燃料开孔将燃料送入上述会聚燃烧喷口中；

通过上述供应喷嘴中环绕上述燃料开孔的环状氧化剂开孔将氧化剂送入上述会聚燃烧喷口，点燃上述燃料和氧化剂，在上述喷口中产生一个包括火焰前沿和连续高速扩散反应的反应；

通过上述供应喷嘴将上述原料独立地送入上述会聚燃烧喷口进入上述反应；

在上述会聚喷口内的上述连续高速扩散反应和火焰前沿加热和加速上述原料与上述燃料和氧化剂的燃烧产物通过上述轴向开孔和上述排放筒体。

15。如权利要求14所述的将原料在火焰喷枪中加热和加速的方法，其中上述方法包括将上述悬浮在不活泼载气中的细粒状原料独立地送入通过沿轴向与上述轴向喷口开孔准直的上述供应喷嘴的轴向原料开孔，同时将上述燃料独立地送入通过环绕上述原料开孔的环状燃料通道，进入上述会聚燃烧喷口。

16。如权利要求14所述的将原料在火焰喷枪中加热和加速到超音速的方法，其中上述方法包括将熔融金属原料送入上述排放筒体出口邻近处的上述受热和加速的原料中，上述加速的细粒原料和气体雾化该熔融金属，并使大体上均匀地分布在上述细粒原料中的上述雾化的液体金属原料射向一个靶子。

17。如权利要求14所述的将原料在火焰喷枪中加热和加速到超音速的方法，其中上述方法还包括将至少两根原料金属丝的端部连续地送入上述加速的细粒原料并在上述两根金属丝的端部之间建立电弧，该电弧熔化上述金属丝端部并形成上述熔融金属原料。

18。一种用热喷射方法形成的金属基复合材料，它包括：

一种均匀地分散在金属基体中并由于热喷射而基本上充分致密的难熔物料。

19. 一种在靶子上形成至少具有两种组分的复合材料的方法，它包括下列步骤：

使上述复合材料的第一组分以夹带在载气中的细粒的形式流过一个加热室，而且将上述第一组分和载气同时加热并加速到至少接近超音速；

在上述加速和受热的细粒状第一组分和载气的路径中熔化上述复合材料的第二组分，形成上述复合材料的液体状第二组分，上述加速和受热的细粒状第一组分和载气雾化上述液体状第二组分，将上述雾化的液体状第二组分加速到上述接近超音速，并形成上述第一组分和第二组分及载气的流束，组分大体上均匀地分布在上述流束内；

使上述第一和第二组分的流束撞击该流束路径中的靶子，形成一种大体上均匀的复合材料。

20. 一种用权利要求19的方法形成的包括大体上均匀地分布在金属基体中的难熔物料的金属基复合材料。

21. 一种形成具有至少两种组分的金属基复合材料的方法，它包括下列步骤：

在一股指向靶子的气流中将作为上述金属基复合材料的第一组分的粉末难熔物料加热和加速到接近超音速；

熔化作为上述金属基复合材料的第二组分的金属并将该液体金属送入上述加热和加速的粉末难熔物流束，上述加速和加热的粉末难熔物料和气体雾化该液体金属，并在该流束中加速大体上均匀分布于上述粉末难熔物料中的上述雾化的液体金属。

收集形成大体上均匀的金属基复合材料的上述粉末金属基物料和雾化液体金属的流束。

2.2. 一种用权利要求 2.1 的方法形成的金属基复合材料。

高速火焰喷射设备和材料成形方法

本发明一般涉及火焰喷射设备和热喷射物料的方法。更具体地说，本发明涉及一种高速火焰喷枪，该喷枪利用连续的高速扩散反应以生产极致密的物料，如涂层和独立式的近净形状（near net shape）。本发明也提供用热喷射成形的高度致密的材料，它们具有优异的冶金和物理特性。

热喷射用于许多种工业，用以在金属衬底上产生保护涂层。最近，热喷射法已经成了注意的焦点，用以制造作为涂层和作为独立的近净构件的高技术复合材料。通过加热和加速一或多种物料的粒子以形成高能粒子流，热喷射提供一种方法，利用这种方法可使金属粉末之类物料迅速地沉积在靶子上。虽然许多参数决定喷射涂层或喷射物件的组成和显微结构，但粒子撞击靶子的速度是决定沉积物的密度和均匀度的重要因素。

一种被称为“等离子体喷射”的先有技术沉积技术利用高速气体等离子体将粉末物料或细粒物料喷射到衬底上。为了形成等离子体，一种气体在喷枪的喷嘴中流动通过电弧，使气体电离成等离子体流。等离子体流温度极高，常常超过10,000℃。被喷射的物料通常为约20至100微米的粒子，它们被等离子体夹带，可以达到超音速的速度。虽然等离子体喷射产生高密度涂层，但它是一种需要昂贵的设备和相当熟练的应用技术的复杂工艺。

也曾利用一种燃烧火焰来将金属粉末和其它物料喷射到衬底上。

一种燃料气体如乙烯和含氧气体的混合物流动通过喷嘴，然后在喷嘴顶部点燃。待喷射的物料计量进入加热物料的火焰并被推进到靶子表面。原料可以是金属棒，它可以沿轴向通入火焰前沿的中心，或者另一种办法是，金属棒可以沿切向送入火焰。同样，金属粉末可以利用载气沿轴向注入火焰前沿。许多燃烧火焰喷枪使用一个重力进料机构，粉末原料利用这个机构简单地滴入火焰前沿。但是，常规的燃烧火焰喷射一般为处于亚音速范围的低速操作，通常产生孔隙率很高的涂层。

在另一种喷射技术中，在两个可以消耗的金属丝电极之间产生一个电弧区。当电极熔化时，通过将电极连续地送入电弧区来维持电弧。电极头部的熔融金属通过吹送压缩气体来雾化。而后用气嘴将雾化金属推进到衬底上，形成沉积物。常规的电弧热喷射涂层通常是致密的，比较好地避免了氧化物，但是该工艺限于导电的能制成丝或棒形状的原料，这在某些用途中是不合用的。

最近，一种改型的燃烧火焰喷射已经生产了高密度的物件，这种物件的冶金和物理性能优于用常规的火焰喷射技术生产的物件。这些装置通常被称为“超音速”火焰喷枪，一般包括一个内燃室，其中燃烧燃料气体如丙烯或氢和含氧气体的混合物。膨胀的高温燃烧气体受迫通过喷嘴，在喷嘴中燃气获得超音速。而后将原料如金属粉末送入高速火焰喷嘴，以产生高温高速的粒子流。被夹带粒子的速度产生密度高于其它亚音速燃烧火焰方法的涂层。这些装置的例子于 Browning 的美国专利 4, 342, 551 号、4, 643, 611 号和 4, 370, 538 号与 Oeschale 等人的美国专利 4 711 627 号。

Smith 等人的美国专利 2, 861, 900 号记载了另一种火焰喷射设备。其中, 一种流体可燃混合物在一个筒体或喷嘴元件中点燃, 该元件由一个从入口到出口都不缩小的有限空间组成。原料如金属粉末被沿轴向引入不缩小的筒体中, 金属粉末穿过筒体被推向靶子。注入器喷嘴的轴向洞孔被用来传送燃料气体和原料。因此, 原料在燃烧前被夹带入燃料气体。在燃烧期间, 粒子轨道获得径向分量, 它们可以使靠近筒体壁的受热原料粒子撞击和积聚在壁面上。此外, 由于粒子注入地点和燃烧区之间的长距离, 这种粒子运动的作用得到增强。这种径向速度同时减小粒子的平均速度。如将会更充分地说明的, 本发明克服了这些限制, 并由于提供一种超音速火焰喷射设备而具有许多别的优点, 设备中产生一种稳态的连续高速扩散反应, 这种反应产生轴向准直的粒子流, 而且这种设备能够独立地调节粒子注入速率和燃料气体流动速率。

先有技术热喷射方法已被用来同时喷射两种或多种不同的材料, 从而形成复合材料。已经通过热喷射工艺外的其它技术制成了陶瓷-陶瓷复合材料和被称作“金属陶瓷”或“金属基复合材料”的涂层和独立的近净形状物件。也可以通过利用一个喷枪制成第一种粒子流而后将其与从另一喷枪来的粒子流相组合以形成靶子表面上的组合喷射的办法来制造材料。

Gazzard 等人的美国专利 3, 947, 607 号中公开了以这种方式制造保护涂层的方法, 简要地说明了使用电弧枪和独立的氧-燃烧气体金属化枪来制造组合喷射沉积物的方法。但是, 使用双喷射枪制造的涂层并不具有优异的性能。此外, 使用两个独立的喷枪来制造复合材料涂层既困难又笨重。因此希望提供一种单一的喷枪, 它可

以用于制造复合材料如金属基复合材料，而且它兼有超音速火焰喷射和电弧喷射的优点而不存在它们的缺点。本发明通过提供一种超音速火焰喷射系统来达到这些目标，在该系统中，第一物料的高能粒子流雾化熔融的第二物料从而形成复合材料粒子流。

本发明的超音速火焰喷射设备、系统和方法特别地（但并非唯一地）适合于形成本发明的改进的涂层和制品，包括金属基复合材料和近净形状。改进的火焰喷射设备结构简单，可以在低的气体消耗速率下操作，相对说来是不需要维护的。生成的高性能、良好结合的涂层基本上是充分致密的，具有锻制材料的某些特性，组分基本上是均匀的。因此，本发明的设备、方法和材料组分具有超过已知先有技术的显著优点。

本发明的用来制造复合材料包括金属基复合材料的超音速火焰喷射设备，包括一种超音速热喷枪，它接受的原料最好是粉末原料或细粒原料，喷枪原料加热，并将细粒形状的受热原料加速到超音速。所公开的超音速热喷枪实施例包括一个具有入口和出口的管状筒体部分，该入口接受受热和加速的细粒原料，该出口使受热和加速的原料以超音速指向一个靶子。下面说明的本发明的热喷枪的最佳实施例，将燃料和氧化剂的气体燃烧产物加速到音速的几倍。利用对出射粒子流中产生的外部“菱形激波”进行计数的办法测量各种进料速率时的出射气体速度表明，用本发明的火焰喷射枪可以获得极高的速度。其次，用这个方法比较本发明的超音速火焰喷射设备和其它“超音速”火焰喷射表明，本发明的火焰喷枪可以获得比先有技术装置更高的速度。基于公认的计算方法，出射细粒物料的速度应当是超音速的。如下所述，在任何情况下，利用本发明的改进的超音速火焰喷射设备所

生成的涂层具有优异的性能。此处使用的“超音速”，是一类通常等于或大于声音速度的任何速度。

在成形复合材料（包括金属基复合材料）的过程中，超音速火焰喷射设备在一种实施例中还包括一个用于在受热和加速的粉末原料从筒体部分的出口射出时将原料（最好是熔融金属原料）送入该粉末原料的液体进料机构。于是加速的细粒原料雾化液体原料，并使大体上均匀分布在受热细粒原料中的雾化液体原料射向靶子。热喷射时生成的涂层或复合材料基本上是充分致密的，复合材料的组成基本上是均匀的。在最佳实施例中，设备包括一台双丝电弧热喷射装置，该装置包括用于将两条金属丝的端部连续地送入筒体部分出口附近的受热加速细粒原料中的机构和一个电源机构，该电源机构在两条金属丝的端部之间建立电弧，熔化金属丝端部，并形成液体金属原料。

在超音速热喷射设备用于形成金属基复合材料时，粉末或细粒原料可以是难熔物料，包括难熔氧化物、难熔碳化物、难熔硼化物、难熔硅化物、难熔氮化物和它们的复合物及碳晶须。所公开的实施例中的液体原料，可以是液态的或熔融状态的任何金属或其它物料，也可以是以丝状或棒状使用而可以利用双丝电弧系统熔融的任何金属或其它物料。因此，本发明的超音速热喷射设备和方法可以用来形成各种充分致密而基本上均匀的金属基复合材料，其中的许多种不能用其它已知的热喷射方法形成。

超音速火焰喷射设备的优选实施例包括一个具有原料孔和出口的座体部分，原料孔接受原料，出口与一个会聚喷口相通，会聚喷口最好与原料孔轴向准直。座体部分包括一个具有入口和出口的燃料通道，入口接受流体燃料，出口（最好为环状出口）环绕原料孔并与喷

口相通。喷枪的座体部分也包括一个具有入口和出口的氧化剂通道，入口接受氧化剂（最好是一种气体，如氧），出口与喷口相通。在优选实施例中，氧化剂出口是环状的，并环绕燃料出口。因此，喷口在混合燃料和原料之前从环状通道出口接受燃料和氧化剂，燃料最好是气体如丙烯。喷口包括一个锥形壁，距离燃料和氧化剂通道出口一个足够的间隔，使燃料和氧化剂在喷口内混合和部分燃烧。如下面将要更充分地说明的，而后可以点燃燃料和氧化剂，在喷口内产生火焰前沿，极迅速地加热到来的反应燃料，提供驱动力以加速原料和气态燃烧产物通过锥形壁顶点处的出口。锥形壁的顶点最好与原料孔轴向准直。

如现在说明的，本发明的火焰喷射设备和方法的优选实施例使用一个位于会聚喷口内的放热反应，该反应将气态燃烧产物加热到极高的速度。燃料和氧化剂气体被送入会聚喷口（最好穿过分开的同轴准直的环状空间送入）并点燃，在会聚喷口内产生火焰前沿，使穿过会聚喷口出口和喷枪筒形部分的气态燃烧产物受热、膨胀和加速。

在优选实施例中，燃料在邻近喷口的轴线处送入火焰前沿，火焰在受限制的喷口内燃烧，使原料加速通过火焰前沿并进入喷枪的筒体部分。包封的氧气与火焰前沿中的剩余燃料反应，维持火焰前沿。在最佳实施例中，通过分开的通道送入喷口的燃料和氧化剂比例产生一种富燃料的条件，进一步增加了由上述反应产生的能量。

在本发明的火焰喷射设备的最佳实施例中，环状氧化剂气体通道相对于燃料通道向着原料孔轴线收敛，引导氧化剂气体进入并包封喷口中的火焰前沿，如上所述与火焰前沿中的剩余燃料相反应。其次，原料孔的横截面积最好显著地小于环状的燃料和氧化剂气体通道出口

的横截面积，使得细粒状粉末状原料以比燃料和氧化剂气体更快的速度送入会聚喷口。最后，筒体的内径最好数倍于粉末孔的内径，使得当受热的原料细粒通过筒体部分射出时减小细粒或粉末沾污筒体内表面的可能性。

因此，根据本发明的最佳实施例，本发明提供了一种火焰喷射设备，它在热喷射操作中利用连续的高速扩散反应给原料粒子供应热能和动能。在一种优选实施例中，火焰喷射设备包括一个中心设置的洞孔，原料通过该洞孔送入由会聚喷口限定的连续高速扩散区，该会聚喷口与原料孔的出口同轴准直并相通。会聚喷口具有一个会聚锥形壁，它邻近原料孔出口并与其隔开。原料孔由轴向准直的原料管限定界限，原料管受圆壁构件的环绕，圆壁构件限定两个同心环形空间的界限。内环形空间用作燃料气体的通道，外环形空间提供氧化剂气体的通道。环状燃料气体通道和环状氧化剂气体通道的两个出口与会聚喷口轴向准直并相通。有一个筒体附着在原料孔上并与其准直。筒体附着在火焰喷射设备的会聚喷口的会聚端部。在一种实施例中，筒体周围环绕着热交换套。

在操作中，如本发明的方法中所提供的，一种氧化剂气体（最好是氧或富氧空气）流动通过筒体部分的环状氧气通道，而一种燃料气体（最好是高温燃料气体如丙烯或丙烷）同时流动通过环状燃料气体通道。在环形空间的出口处，燃料气体锥体受到会聚喷口中氧化剂气体的包封。在燃料气体锥体和氧化剂气体包封体的界面处一部分燃料气体混合而形成燃烧混合物。该混合物用筒体端部处的常规点燃机构如火焰点燃器点燃。当燃料气体和氧化物气体继续流动时，一个火焰前沿建立在燃料气体和氧化剂气体包封体的界面处。在会聚喷口中建

立起温度梯度，火焰前沿区的温度显著地高于燃料气体的点燃温度。当燃料气体进入这个富燃料高温区的时候，在会聚喷口中产生连续的高速扩散反应，这种反应使原料受到加速。在这种连续的高速扩散反应期间，原料沿轴向送入会聚喷口的低压区而后通过火焰前沿，这结合在一起将气体加速到超音速穿过会聚喷口。原料粒子为热的高压燃烧气体所夹带并被连续高速扩散反应的热传递和动量传递所加速而穿过会聚喷口和穿过筒体。当粒子运动穿过会聚喷口时，由于喷射流进入筒体，粒子轨道和气流沿轴向准直。极高速的原料粒子而后穿过喷口从喷口出口射出，成为高度准直的粒子流。

另一方面，本发明的热喷射设备包括用于向准直粒子流供应熔融金属以形成复合材料粒子流的机构。在一种实施例中，准直粒子流雾化双丝电弧系统的熔融金属，后者间隔地位于从喷枪筒体出口射出的气体的轴向中心线上。

本发明还包括用本发明的设备和方法制造的高密度复合材料涂层和独立的整体或近净形状物件。在一种实施例中，粉末原料利用不活泼载气穿过原料孔。从筒体射出的高速准直粒子流雾化双丝电弧中的熔融金属，以形成作为涂层和作为独立的近净形状物件的高密度金属基复合材料制品，它们具有优异的冶金和物理特性，其中若干种不能用任何其它已知的热喷射方法来形成。

本发明的这些和其它许多特点和优点将联系优选实施例的详细说明并参考附图来较充分地说明。

图 1 是本发明一种实施例中火焰喷枪的纵向截面。

图 2 是本发明的燃料喷嘴的侧面立视图。

图 3 是图 1 沿 3 - 3 线的截面。

图 4 是具有本发明的电弧装置的超声热喷枪的平面图。

图 5 是包括双丝电弧的实施例中本发明的方法和设备的图解表示。

图 6 是表明喷枪会聚喷口中火焰前沿的形成和从筒体出口出射并从双线电弧雾化熔融金属的准直粒子流的生成的图解表示。

图 7 是燃料气体、氧化剂气体和原料进入超声热喷射设备的流动状况的图解例示。

现在参考图 1，图示的火焰喷射设备 10 通常具有燃烧器座罩 12 和筒体 14，在本实施例中筒体 14 被表示成与燃烧器座罩 12 形成整体。燃烧器座罩 12 的锥形壁 16 限定会聚喷口 18 的界限，在操作火焰喷射设备 10 期间，会聚喷口 18 内进行连续的高速扩散反应。原料供应孔 20 由原料供应管 22 限定，后者被紧密地接入原料座罩 24 内。如将会更详细地说明的，原料供应管 22 在连续使用后可能磨损，特别是在原料包含夹带于载气中的金属或陶瓷粉末的场合。因此原料供应管 22 最好是可以脱开地啮合在座罩 24 中，使得它可以方便地替换。虽然许多材料都适合于制造本发明的许多不同的部件，但原料供应管 22 最好是用坚硬的耐磨损的材料如钢制造的。

燃料座罩 24 具有外螺纹端部 26，该端部容放在燃烧器座罩 12 的内螺纹部分内。可以设置凸缘 28，以有助于使原料座罩 24 安置就位。原料座罩 24 和原料供应管 22 被这样设置在燃料供应喷嘴 30 内，使得它们限定一个环形燃料通道 32。燃料喷嘴 30 的端部 34 成锥形，压紧装配在燃烧器座罩 12 中。

原料座罩 24 包括一个接合燃料喷嘴 30 的第二凸缘或法兰部分 36。凸缘 36 设有与原料孔 20 轴向准直的纵向孔道。因此在操作

期间燃料沿箭头方向流过环状燃料通道 3 2 时不会被凸缘 3 6 明显阻挡。也就是，凸缘 3 6 的外表面具有孔道，因此它对燃料喷嘴 3 2 可以起定位架的作用，但仍然允许并不明显地受限制的燃料流通过环状燃料通道 3 2。同样，燃料喷嘴 3 0 的端部 3 8 具有一系列大体平行的纵向孔道 3 9，如图 2 和图 3 所示。而且，这种孔道结构使燃料喷嘴 3 0 的端部部分 3 8 能够啮合锥形壁 1 6 而同时允许氧化剂流过环状氧化剂通道 4 0 进入会聚喷口 1 8。

虽然只要忠实地遵循本发明的原理那么火焰喷射设备 1 0 就可以有各种各样的构型，但是在本实施例中环状氧化剂通道 4 0 是由燃烧器座罩 1 2 的区段 4 2 和 4 4 限定的环状通道。可以注意到，区段 4 4 也有锥形壁 1 6。如上所述，座罩区段 4 4 如图所示是与筒体 1 4 形成整体的，虽然如果需要的话燃烧器座罩 1 2 和筒体 1 4 可以是分开制造的。为了使区段 4 4 牢固地连接到区段 4 2 上，区段 4 2 攻成内螺纹，以便容纳区段 4 4 的外螺纹部分。在某些应用中也可以要求燃烧器座罩 1 2 制成单独一体的结构。

为了引入环状燃料通道 3 2，设置了燃料供应通道 4 8，它延伸通过燃烧器座罩 1 2 的端部部分 5 0，与环状燃料通道 3 2 流动连通。这个连续的通道用作将燃料传送到会聚喷口 1 8 中的火焰前沿的孔道。同样，环状氧化剂通道 4 0 与氧化剂入口通道 5 2 流动连通。端部部分 5 0 包括连接部 5 4，它可以利用螺纹连接原料供应管。在火焰喷射设备 1 0 操作期间，粉末原料通过连接部 5 4 引入原料孔 2 0。虽然图中所示的原料供应管 2 2 是由通过燃烧器座罩 1 2 包括通过端部部分 5 0 的连续结构组成的，但可以希望简单地省去跨越端部部分 5 0 的那部分原料供应管 2 2。在这另一种结构中，紧密地接

入原料供应管 22 的原料座罩 24 的洞孔直径可以在端部部分 50 减小，以匹配原料孔 20 的直径。

原料孔 20 的横截面积应当显著地小于环状燃料通道孔 32 和环状氧化剂通道孔 40 的横截面积，使得粉末原料可以以充分的速度送入会聚喷口 18，以穿透火焰前沿。最好是原料供应孔 20 的面积小于环状燃料通道 32 或环状氧化剂通道 40 的横截面积约 15%，最好是小约 10%。同样，粉末原料孔 20 的直径对喷射通道 56 的内径之比最好是约 1 : 5。因此，横截面积之比最好是约 1 : 25。

筒体 14 为管状直孔喷管，它包括空心圆筒区段 46，区段 46 限定喷射通道 56。如将要更详细地说明的，高速粒子作为准直的流束被穿过通道 56 推进。为了防止筒体壁 46 过热，也为了产生此处称为“热箍缩”的效应，即维持和增强粒子流准直程度的现象，设置了热交换套 58，它限定一个环形的热交换室 60。热交换室 60 被限制在筒体 14 上，使得热量不会从会聚喷口 18 除去。在火焰喷射设备 10 操作期间，一种热交换介质如水通过孔道 62 和 64 流经热交换室 60。两根软管（未图示）连接到连接器 66 和 68 的端部，以通过热交换室 60 循环热交换介质。

至此完成了一种最佳实施例中火焰喷射设备 10 的结构说明。可以进行许多变化。火焰喷射设备 10 的操作将在下面结合本发明喷射方法的说明一起陈述。也可以理解，除了形成涂层和近净形状外，火焰喷射设备 10 也可以适用于其它用途。例如，由于本发明所述达到的极高速度，可以期望将火焰喷射设备 10 用于喷砂操作或类似作业，而任何此类的用途预定为落入本发明的范围以内。

在本发明的另一个实施例中，体现火焰喷射设备 10 的特点的火

焰喷射系统 10'，用相同的参考编号描述相同的部件，它还包括一个熔融金属供应机构，用于将第二种物料引入从筒体出口射出的准直粒子流中。

现在参考图 4，图中示出了火焰喷射系统 10'，系统中具有用于将熔融金属供应到邻近筒体 14 的出口的准直粒子流中去的机构。通过以此种方式提供一种具有熔融金属供应机构的火焰喷射设备，可以喷射形成高密度的金属基复合材料。如图 4 所示，在本发明的一个实施例中，熔融金属供应机构包括一个双丝电弧装置 70。电弧装置 70 包括装有金属丝导座 74 和 76 的托架 72。金属丝导座 74 和 76 被设置来以预定速率向着电弧区 82 引导金属丝 78 和 80。在大多数应用中金属丝 78 和 80 所包含的角度最好小于约 30 度。在金属丝电极的端部之间点燃起预定强度的电弧并持续地燃弧。如熟悉本技术的人将会理解，金属丝 76 和 78 是由在电弧区 82 中熔融的可消耗的金属制成的。

喷枪 11 的基本构造与有关火焰喷射设备 10 所详细说明的基本构造相同。托架 72 可以以任何方便的位置固定在喷枪 11 上并可以拆卸。在图 4 中，托架 72 被图示成固定在筒体 14 上。为此可以利用合适的夹子或卡钉（未图示）。当金属丝 78 和 80 熔融并作为雾化的熔融金属消耗时，它们被连续地送向电弧区 82 中的交叉点。虽然电弧区 82 离筒体 14 端部的距离不是严格的并可以在喷射操作期间调整，以调节喷射操作期间形成的涂层或物件的各种特征，金属丝 78 和 80 的端部最好安置在距离筒体 14 的端部约 4 至 10 厘米。电弧和熔融金属丝端部应当直接位于从筒体 14 发射的准直粒子流内部，换句话说，应当沿着筒体 14 的纵向轴。

现在参考图 5，图示的火焰喷射系统 10' 具有双丝电弧装置 70，如上所述，从该装置送出来自金属丝传送系统 86 的金属丝卷盘 84 和 84' 的金属丝 78 和 80。金属丝传送控制装置 88 控制金属丝传送装置 86。在常规的双丝电弧喷射方式中装有电源 90，利用该电源给金属丝 78 和 80 供电，以便在电弧区 82 内形成电弧。图中示出了主控制器 92，用它调节各种不同的气流速率。主控制器 92 也可以设置用于控制冷却筒体 14 的热交换介质的流速的机构。有一排气瓶，其中包括一个不活泼载气源 93 如氮，它被用于喷射原料为粉末的那些用途中。或者是，可以按照需要使用氧化剂气体作为载气，例如当喷射高温难熔氧化物需要更高的熔融温度的时候。因此，原料粉末从粉末进料器 96 计量进入管线 94，粉末进料器 96 可以是常规设计的。燃料源 98 如燃料气体通过导管 100 将燃料送入喷枪 11，导管 100 与燃料通道 32 流动连通。同样，氧化剂源 102 如富氧气体通过气体供应管线 104 流入氧化剂通道 40。热交换介质通过管子 106 和 108 流动穿过热交换室 60，管子 106 和 108 固定在喷枪 11 的连接部 66 和 68 上。

本发明可以使用多种燃料和氧化剂源。液体或细粒的燃料或氧化剂都可适用。例如，可以预料，液体柴油可用作燃料。本发明使用的最佳的燃料和氧化剂为气体。燃料的选择决定于许多因素，包括可利用性、经济性，而最重要的是决定于一种特定的燃料按照沉积速率所具有的对喷射操作的影响和对喷射沉积物的冶金和物理特性的影响。对于氧化剂，大多数含氧气体都是适用的。大体上纯的氧用于此处是最好的。在本发明中获得喷射物料的高速推力用的合适燃料气体为碳氢化合物气体，最好是高纯丙烷或丙烯，它们产生高能氧化反应。氢

在某些应用中也可能是适用的。最佳燃料气体的混合物也可能是合乎需要的。应当注意到，本发明特别适用于可以通过适当选择燃料和控制气体压力来控制火焰温度和喷射物料的粒子温度以及粒子在会聚喷口 18 中的居留或滞留时间。

通过控制燃料组成和气体压力，可以获得范围广泛的粒子速度。最好的燃料气体压力范围为约 20 至约 100 psig (磅/平方英寸)，最好为约 40 至 70 psig。氧化剂气体压力通常的范围为约 20 至约 100 psig 计示压强 (磅/吋<sup>2</sup>)，对大多数应用最好为约 40 至约 80 psig。当处于这些范围内操作时，从筒体 14 射出的燃烧产物的速度将是超音速的，如超过 12 个的“菱形激波”所明显证实的，显著地大于相同操作条件下常规火焰喷枪的速度。可以理解，燃料气体的性质及其质量流量密切地决定速度。

现在说明火焰喷射设备 10 和火焰喷射系统 10' 的操作及本发明提供的方法。参考图 6，图中用略图示出了火焰喷射系统 10'，其中粉末原料 110 通过原料孔 20 注入。在该实施例中，粉末原料 110 在不活泼载气中带入。与此同时，一种燃料如丙烷以合适的压力流过环状燃料通道 32。燃料气体在燃料出口 33 处进入会聚喷口 18。一种氧化剂如氧，同时流过环状氧化剂通道 40。而且，最佳的燃料和氧化剂是气体，虽然其它燃料和氧化剂如液体之类，也可以采用。当氧化剂气体从出口 41 射出时，它形成包围燃料气体锥体的氧化剂气体包封。在图 6 中可以注意到，环状氧化剂通道 40 的几何形状相对于环状燃料通道 32 稍许会聚。换句话说，燃料喷嘴 38 的端部最好成截头锥体形状。这种构型使得氧化剂气体能够会聚进入燃料气体流。会聚角度最好为约 20 至约 40 度，最最好为约 30 度，

已经发现这样的角度给出通过会聚喷口 1 8 的极稳定的气流。当燃料气体——氧化物气体混合物开始从筒体 1 4 的端部流出时，混合物用任何方便的机构如火花点燃器在筒体端部点燃。在筒体 1 4 或会聚喷口 1 8 内部的点燃器可以适用于某些用途。

如图 6 和 7 所示，本发明中实现了连续的高速扩散反应。火焰前沿 1 1 2 建立在氧气包封体和燃料气体锥体的界面处。重要的是，火焰前沿 1 1 2 被限制在会聚喷口 1 8 中。火焰前沿 1 1 2 在会聚喷口 1 8 中形成一个高温区。当燃料气体继续从出口 3 3 射出进入会聚喷口 1 8 时，它形成火焰前沿 1 1 2，并产生燃料气体的连续高速扩散反应。由火焰前沿 1 1 2 产生的高温区的温度明显超过燃料气体的点燃温度。当燃料气体进入这个高温区时，燃料气体迅速点燃，与氧化剂气体反应并迅速产生膨胀的燃烧气体。包封的氧而后与火焰前沿中的剩余燃料反应，维持火焰前沿和持续的高速扩散反应。这种持续的高速扩散反应现象继续进行，只要燃料气体和氧化剂气体的流动不受阻挡。

会聚喷口 1 8 中的持续的高速扩散反应产生一个通常用 1 1 4 表示的低压区。在持续的高速扩散反应期间，诸如金属粉末、陶瓷物料或棒之类的原料通过原料供应孔 2 0 注入会聚喷口 1 8 中的正在进行的持续的高速扩散反应。位于原料供应孔 2 0 出口处的会聚喷口 1 8 中的低压区使粉末原料能以极高的速度将粉末原料注入到会聚喷口 1 8 中去。

本发明具有的许多优点之一是它能够调节将原料粒子注入火焰前沿中的速度。与许多先有技术的装置不一样，本装置能够独立地调节粒子注入速率、燃料气体流动速率和氧化剂气体流动速率。这在本发

明公开的实施例中是可能的，因为在这个系统中的任何一点上无论是燃料气体还是氧化剂气体都没有被用来载带原料。原料粒子是通过独立的惰性载气流注入火焰前沿的。由于能够独立地调节气流速率，通过将载气压力维持在比燃料气体压力更高的数值，可以显著地减小会聚喷口 18 中的紊流，这提高了粒子速度。载气压力的优选范围为约 40 至约 70 p s i g，更好的范围为约 50 至约 60 p s i g，而最好始终大于燃料气体的压力。同样，虽然出口 33 和 41 的相对尺寸可以广泛地变化，如上所述，原料供应管 22 的内径最好显著地小于环状燃料通道 32 或环状氧化剂通道 40 的截面。因此，可以理解，附图中表示的原料供应孔 20 的直径稍许有点夸大。同样最好是原料供应孔 20 对筒体 14 的喷射通道 56 的横截面积之比为约 1 比 2.5，以减小喷射期间粒子接触并附着在筒体 14 内表面上的可能性。通过将载气压力维持在约 50 p s i g 以上而燃料气体压力为约 45 至约 65 p s i g 及氧化剂气体压力为约 70 至 90 p s i g，可以防止一种在较低的载气压力时产生的称为“逆火”的现象。逆火起因于可能附着于锥形壁 16 上的粒子的径向运动，据信在载气压力较低时由于紊流增大而产生。因此，维持高数值的载气压力使紊流减小。

当原料粒子运动进入会聚喷口时，粒子的热能和动能由于持续的放热高速扩散反应而显著增加。具有能量的原料粒子穿过会聚喷口 18，形成沿大体上直的线穿过筒体 14 的通道 56 推进的准直的高能粒子流。本发明相对于现有技术喷枪的另一个显著的优点是减小了喷射粒子的紊流径向运动。由于向会聚喷口 18 中提供非紊流的气流，由于维持限制在会聚喷口 18 中的持续高速扩散反应，获得了轴

向的大体上非紊流的燃烧气体和原料粒子的气流。并且，当粒子流穿过筒体 1 4 时，粒子流的扩展由于热交换套 5 8 从筒体壁 4 6 除去热量而减小。通过以这种方式冷却筒体 1 4，产生热箍缩，它进一步减小具有能量的粒子向着筒体 1 4 的侧壁的任何径向运动。

利用本发明可以喷射各种各样粉末物料，包括金属，金属合金，金属氧化物如氧化铝、氧化钛、氧化锆、氧化铬等等及其复合物，难熔化合物如碳化钨、碳化铬、碳化钛、碳化钽、碳化硅、碳化钼及其复合物，难熔硼化物如硼化铬、硼化锆等等及其复合物，在某些应用中也可以使用硅化物和氧化物。这些物料的各种各样复合物也可以适用。这些复合物采取的形式可以是粉末混合物、烧结化合物或熔融物料。虽然最好是粉末原料，但如果需要可以通过原料供应孔 2 0 传送棒状或类似形式的原料。在原料为粉末的场合，粒子尺寸的范围最好为约 5 微米至约 1 0 0 微米，虽然在这个范围以外的直径在某些应用中也可以适用。最好的粒子平均直径为约 1 5 至 7 0 微米。

本发明还包括根据本发明的方法形成的涂层和近净形状。在这些物料为高密度金属基体物料的场合，它们并没有用任何其它已知的热喷射操作方法形成过。如熟悉本技术的人将会知道的，通过在型芯或类似物件上喷射沉积物或通过喷射填充模型腔体可以形成独立式的近净形状。

重新参考图 6，在另一个实施例中，火焰喷射系统 1 0' 被用于一个形成复合材料的方法中，在该方法中，第一原料通过原料供应孔 2 0 提供，而第二原料物料在会聚喷口 1 8 的下游加入。最好是，这一点是通过将第二原料物料加入到从筒体 1 4 射出的准直粒子流中去而达到的。更具体地说，一种粉末原料物料或类似物以上述方式注入

火焰前沿 1 1 2 中。当准直的粒子流从筒体 1 4 中射出时，它通过电弧区 8 2。在这种通过期间，金属丝 7 8 和 8 0 受到电激发，从而在金属丝 7 8 和 8 0 的端部之间产生一种自持的电弧。利用电源 9 0 维持足以熔化金属丝 7 8 和 8 0 的端部的电压。电压最好为约 1 5 至约 3 0 伏。当金属丝端部上形成熔融金属时，从喷枪 1 1 射出的粒子流使熔融金属雾化。为了维持电弧和向喷射流连续供应熔融金属，利用金属丝传送控制装置 8 8 以预定的速率推进金属丝 7 8 和 8 0。因为熔融金属是雾化的，形成一种包含两种细粒形状的原料物料的化合或复合的粒子流 1 1 5。虽然由于金属丝 7 8 和 8 0 的存在而产生一些紊流，但复合粒子流 1 1 5 保持良好的准直性。复合粒子流而后指向靶子 1 1 6，在那里形成沉积物 1 1 8。

在又一个实施例中，本发明以喷射涂层或近净形状的形式提供高密度复合物料如金属基复合材料或金属陶瓷。更具体地说，通过利用火焰喷射系统 1 0 形成包括两种不相似物料如难熔氧化物和金属的复合喷射流的能力，可以制成新的高密度结构。如图 6 所示，图中以粉末形式提供了一种难熔氧化物如氧化铝，粒子直径为约 5 至约 2 0 微米。如上所述粉末用不活泼载气注入原料供应孔 2 0。应当注意到，在本实施例中，在金属基复合材料的生产过程中氧化物粉末在其通过喷枪 1 1 期间并不熔融。这一点可以通过控制火焰前沿的热量、增大氧化物的粒子尺寸、控制粒子居留时间和调节其它喷射参数来达到。在使用火焰喷射设备 1 0 而没有电弧装置的场合，粒子温度通常将保持高于粒子软化温度。难熔氧化物粒子流从筒体 1 4 的端部射出并向电弧区 8 2 运动。从筒体 1 4 的端部到电弧区 8 2 的距离最好为约 4 c m 到约 1 0 c m。金属丝 7 8 和 8 0 由金属制成，它们可以是

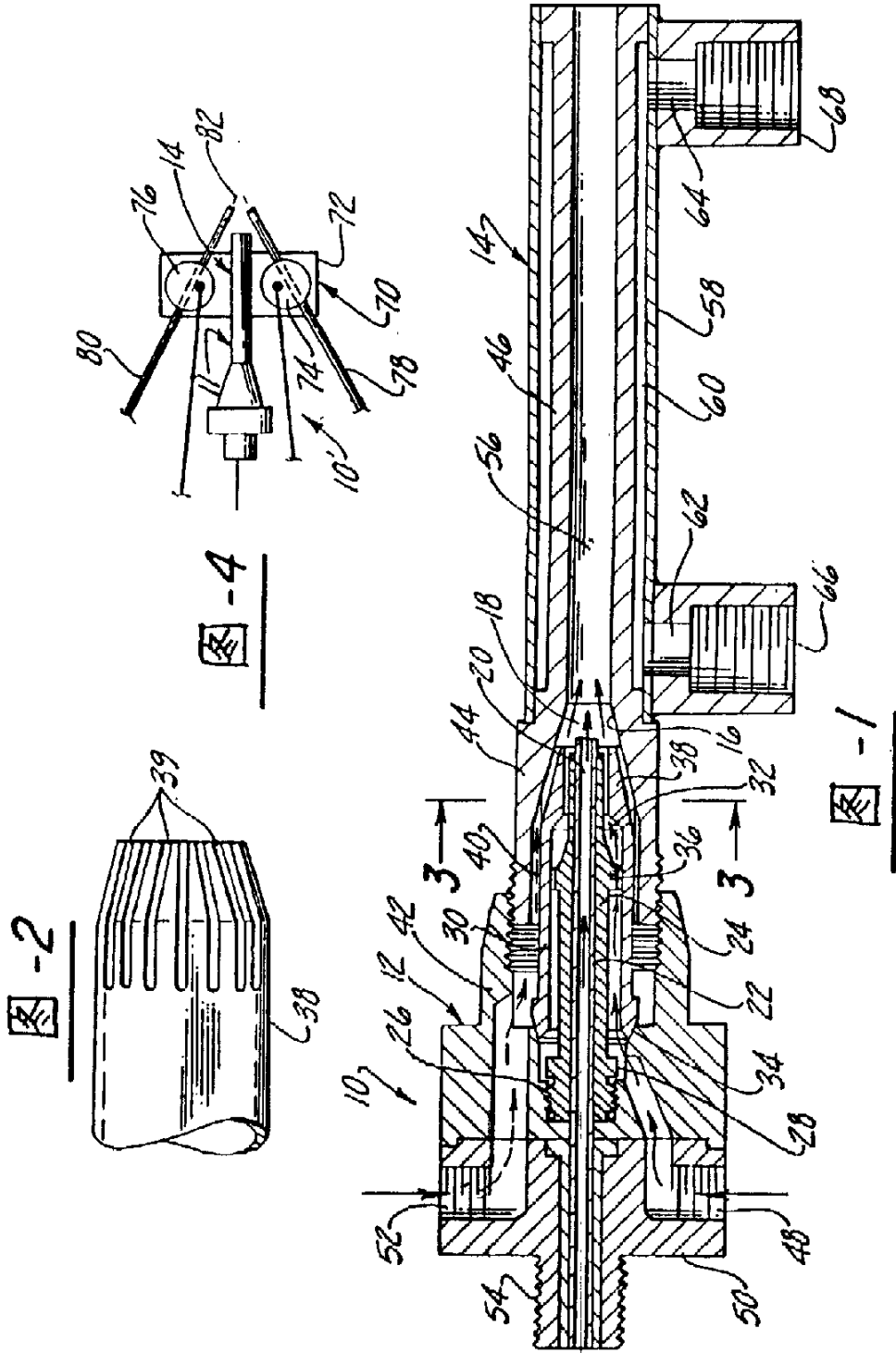
合金。制造金属基复合材料用的合适金属包括钛、铝、钢与镍基合金和铜基合金。任何金属只要能拉制成丝材都可使用。其它供应熔融金属的机构如通过管子等也可以实行。粉芯金属丝也可适用。物料的流动速率通过调节粉末原料的注入速率或粉末原料计量进入载气的速率来控制。这种方式产生的最终的金属基复合材料具有的难熔氧化物含量按体积算为约15%至约50%，具有的金属含量按体积算为约85%至约50%。当熔融金属被雾化时，形成复合材料粒子流

115。粒子流115包括难熔氧化物和熔融金属的高速加热粒子与熔融金属和难熔氧化物的团块。如近净形状的制造过程中那样，靶子116可以由待喷涂一层金属基复合材料的金属衬底组成，也可以由型芯或型腔组成。可以理解，本发明的方法不限于制造近净形状，而且可以用于制成整体形状，复合材料粉末和各种独立形状。

按照本发明形成的沉积物118基本上是充分致密的。此处使用的用语“基本上是充分致密的”定义为材料所含的孔隙按体积计算小于约1%的材料状态。换句话说，本发明的充分致密的火焰喷射沉积物更接近于基本上充分致密，使得沉积物中孔隙的总体积小于沉积物体积的约1%。本发明提供许多种高度均匀的基本上充分致密的金属基复合材料。这些金属基复合材料具有特别好的冶金和物理性能，还没有用任何其它已知的热喷射工艺进行过商品生产。这些复合材料中的许多种具有比锻制材料更改善的特性。它们的硬度特别高，特别耐磨，表面粗糙度很低。在最佳的实施例中，本发明的金属基复合材料具有的难熔物料含量按复合材料的体积算为约5%至约60%。优选的难熔物料包括难熔氧化物、难熔碳化物、难熔硼化物、难熔氮化物和难熔硅化物。特别优选的为氧化铝、二硼化钛和碳化硅。难熔组分

均匀地分散在金属基体中。可以利用任何金属。在上述双丝电弧法中引入熔融金属的场合，那些金属必须能够被拉制成金属丝形状。金属组成金属基复合材料体积的约40%至约95%，最好为约50%至85%。优选金属包括铝、钛和低碳钢。按照本发明制成的特别优选的金属基复合材料包括按体积计算为25%氧化铝和75%铝或铝合金的基本上充分致密的复合材料。此处志样优选的为含25%体积的碳化硅和含75%体积的铝或铝合金的复合材料。难熔物料在火焰喷射操作中以粉末形式供给。本发明的金属基复合材料可以成形为涂层或近净形状，它们可以接受热处理，并可以用常规的金属加工技术如热轧等等来成形。这些高技术材料可以用于制造许多器件，如航空航天部件。

虽然此处图示和说明本发明的一种特定的实施例，当然可以理解，本发明并不受这些的限制，因为可以利用本发明的公开形成许多改型，特别是对于熟悉本技术的人来说更是如此。例如，利用粉末而不利用电弧装置来操作火焰喷射系统10'也可能是适用的。也可以理解，在制造金属基复合材料的过程中，除了在最佳实施例中提出的以外，也可以利用其它各种技术来加速难熔组分，比如利用等离子体喷射枪。因此本发明的附属的权利要求包括任何一种落入本发明实质范围内的此类改型。



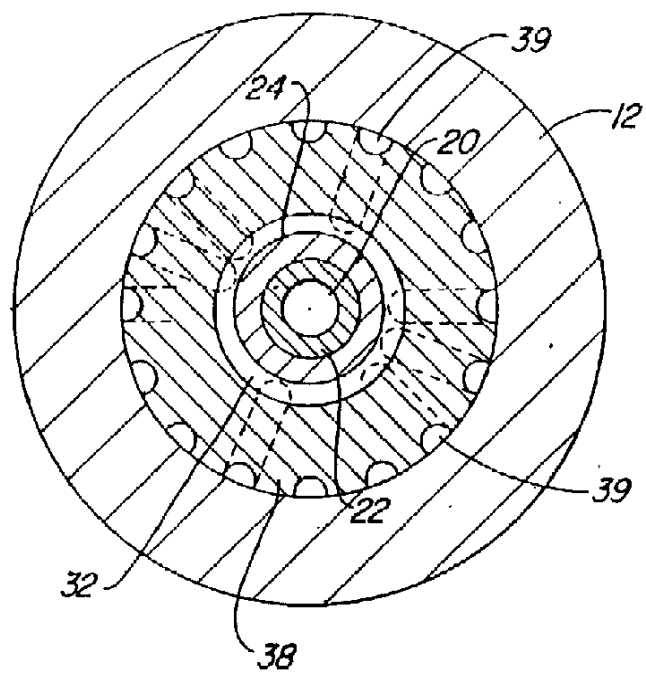


图 - 3

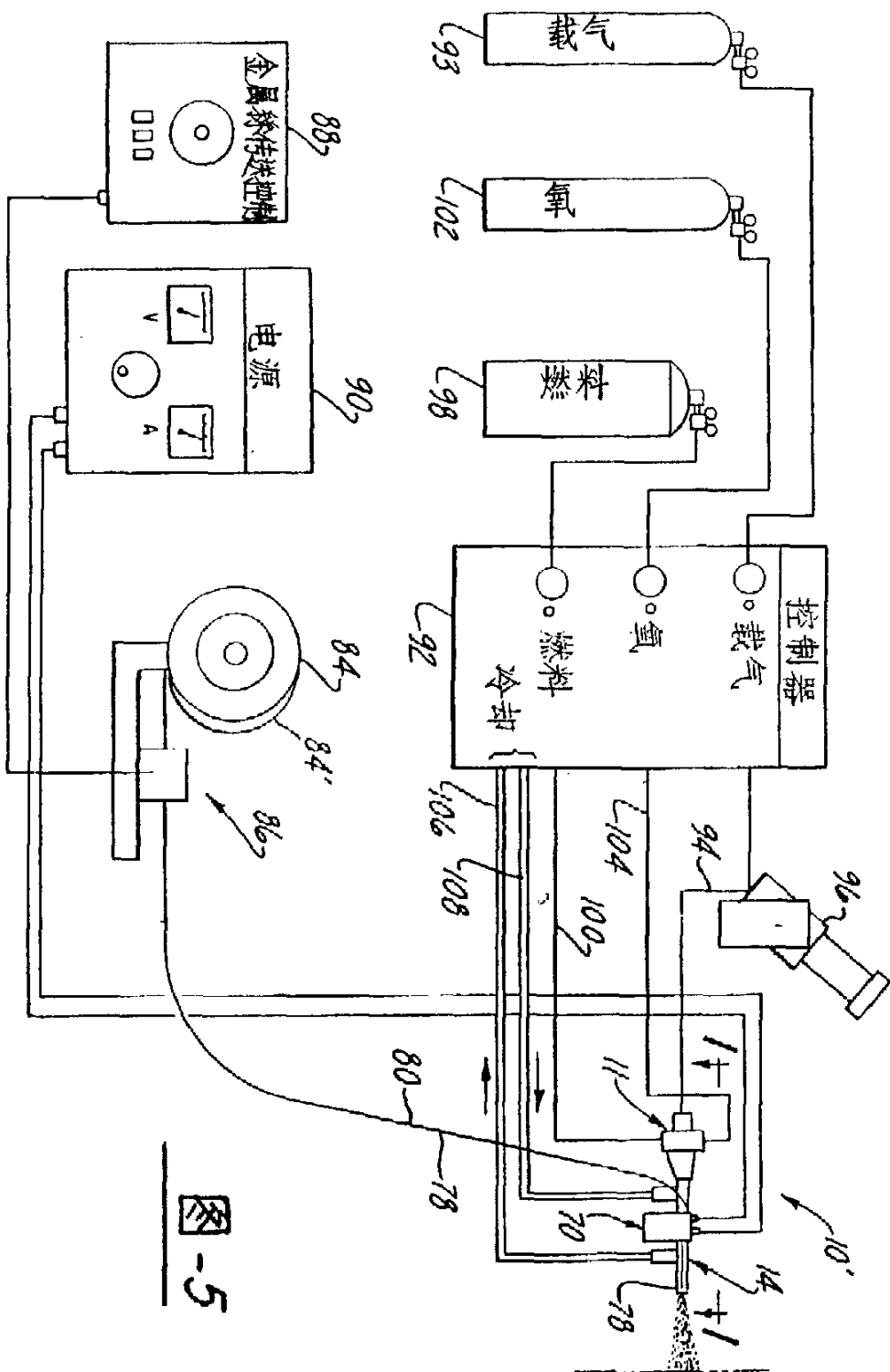
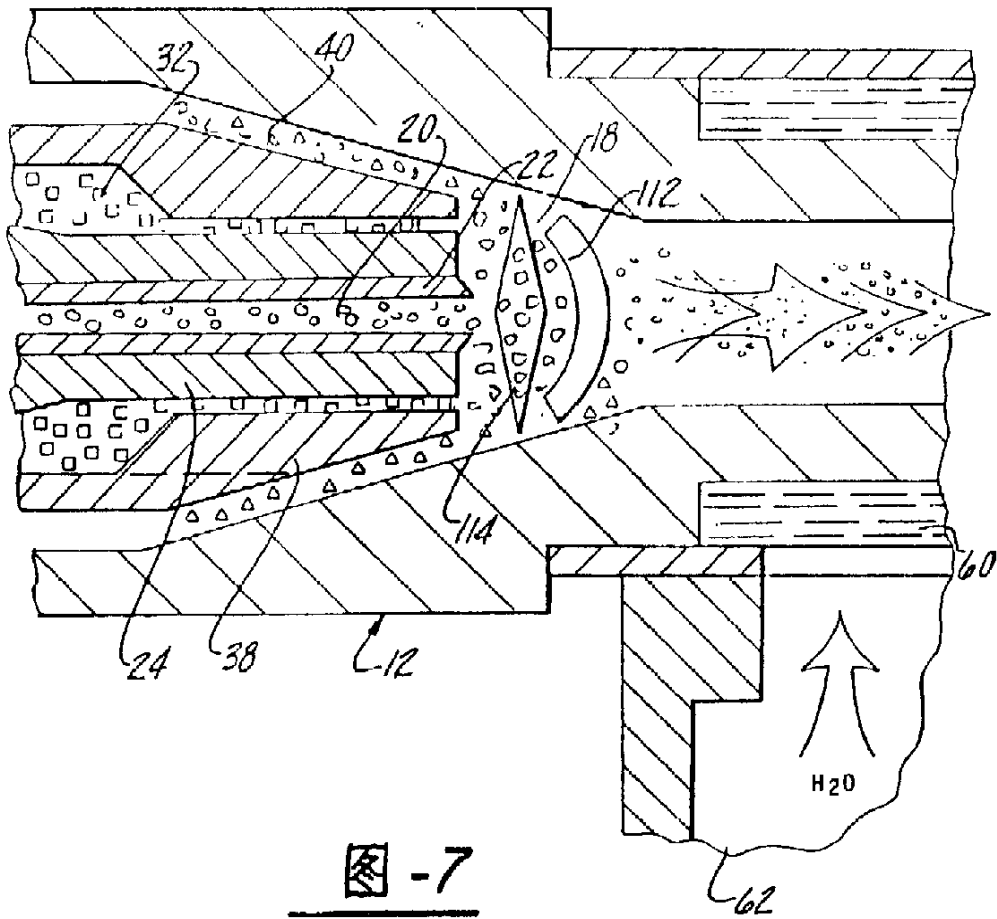


图-5





**图-7**