



(45)授权公告日 2017.05.17

权利要求书2页 说明书10页 附图11页

Figure 1 is a schematic diagram of a plasma chemical reaction system. The diagram shows a horizontal cross-section of a reactor. On the left, a '主气流' (Main gas flow) and '载气/液体原料' (Carrier gas/Liquid raw material) enter through a '喷嘴' (Nozzle). The central region is labeled '等离子体' (Plasma) and contains '等离子体反应物' (Plasma reaction material). A '大气夹带' (Atmospheric entrainment) zone is shown above the main reaction area. On the right, a '冷却夹带' (Cooling entrainment) zone is shown, leading to a '冷却物理' (Cooling physical) section. The final output is a '固体残渣' (Solid residue) layer. Various components are labeled with numbers: 102 (main gas inlet), 105 (carrier gas inlet), 106 (nozzle), 107 (plasma reaction material), 108 (plasma), 109 (plasma reaction material), 110 (solid residue), 111 (solid residue layer), 112 (solid residue layer), 113 (solid residue layer), 114 (solid residue layer), 115 (solid residue layer), 116 (solid residue layer), 117 (solid residue layer), 118 (solid residue layer), 119 (solid residue layer), 120 (solid residue layer), 121 (solid residue layer), 122 (solid residue layer), 123 (solid residue layer), 124 (solid residue layer), 125 (solid residue layer), 126 (solid residue layer), 127 (solid residue layer), 128 (solid residue layer), 129 (solid residue layer), 130 (solid residue layer), 131 (solid residue layer), 132 (solid residue layer), 133 (solid residue layer), 134 (solid residue layer), 135 (solid residue layer), 136 (solid residue layer), 137 (solid residue layer), 138 (solid residue layer), 139 (solid residue layer), 140 (solid residue layer), 141 (solid residue layer), 142 (solid residue layer), 143 (solid residue layer), 144 (solid residue layer), 145 (solid residue layer), 146 (solid residue layer), 147 (solid residue layer), 148 (solid residue layer), 149 (solid residue layer), 150 (solid residue layer), 151 (solid residue layer), 152 (solid residue layer), 153 (solid residue layer), 154 (solid residue layer), 155 (solid residue layer), 156 (solid residue layer), 157 (solid residue layer), 158 (solid residue layer), 159 (solid residue layer), 160 (solid residue layer), 161 (solid residue layer), 162 (solid residue layer), 163 (solid residue layer), 164 (solid residue layer), 165 (solid residue layer), 166 (solid residue layer), 167 (solid residue layer), 168 (solid residue layer), 169 (solid residue layer), 170 (solid residue layer), 171 (solid residue layer), 172 (solid residue layer), 173 (solid residue layer), 174 (solid residue layer), 175 (solid residue layer), 176 (solid residue layer), 177 (solid residue layer), 178 (solid residue layer), 179 (solid residue layer), 180 (solid residue layer), 181 (solid residue layer), 182 (solid residue layer), 183 (solid residue layer), 184 (solid residue layer), 185 (solid residue layer), 186 (solid residue layer), 187 (solid residue layer), 188 (solid residue layer), 189 (solid residue layer), 190 (solid residue layer), 191 (solid residue layer), 192 (solid residue layer), 193 (solid residue layer), 194 (solid residue layer), 195 (solid residue layer), 196 (solid residue layer), 197 (solid residue layer), 198 (solid residue layer), 199 (solid residue layer), 200 (solid residue layer).

1. 用于由液体悬浮液在基底上制造涂层用的热喷涂系统,其包含:
用于生成等离子体的热喷炬;
用于传送含亚微米粒子的液体悬浮液流的液体悬浮液传送子系统;和
用于将来自热喷炬的等离子体传送至液体悬浮液以产生等离子体流出物的喷嘴组装件,所述喷嘴组装件适合产生包围所述等离子体流出物的反应性气体护罩;
所述反应性气体护罩经构造使亚微米粒子保持夹带在等离子体流出物中,并防止气体进入和与等离子体流出物反应;
其中所述反应性气体护罩与等离子体流出物反应,以增强悬浮液微滴的碎裂并在等离子体流出物内制造亚微米粒子的蒸发物类。
2. 权利要求1的热喷涂系统,其中所述护罩从基底表面延伸至喷嘴组装件。
3. 权利要求1的热喷涂系统,其中所述护罩是分层流动的屏障。
4. 权利要求1的热喷涂系统,其中所述护罩的轴向距离小于从喷嘴到基底表面的距离。
5. 权利要求1的热喷涂系统,进一步包括在所述反应性气体护罩周围设置的惰性气体护罩。
6. 权利要求1的热喷涂系统,进一步包括第一反应性气体护罩和第二反应性气体护罩。
7. 权利要求1的热喷涂系统,进一步包括适合产生包围液体悬浮液流的火焰围护结构的喷射器。
8. 权利要求1的热喷涂系统,其中所述液体悬浮液传送子系统设置在喷嘴内部。
9. 权利要求1的热喷涂系统,其中所述液体悬浮液传送子系统设置在喷嘴内部以传送液体悬浮液的轴向流。
10. 权利要求1的热喷涂系统,其中所述液体悬浮液传送子系统设置在喷嘴外部。
11. 使用其中分散着亚微米粒子的液体悬浮液在基底上制造涂层的方法,所述方法包括步骤:
由热喷炬生成等离子体;
将其中分散着亚微米粒子的液体悬浮液流传送至等离子体或其附近以产生等离子体流出物流;
用反应性气体护罩包围等离子体流出物以使亚微米粒子保持夹带在等离子体流出物内,并防止环境气体夹带到等离子体流出物中;
使护罩气体与等离子体流出物反应以增强悬浮液微滴的碎裂,并在等离子体流出物内制造亚微米粒子的蒸发物类;和
将其中含有亚微米粒子的被包围的等离子体流出物导向基底以涂布基底。
12. 权利要求11的方法,进一步包括防止气体夹带到被包围的流出物中的步骤。
13. 权利要求11的方法,进一步包括穿过所述反应性护罩使液体悬浮液微滴碎裂的步骤。
14. 权利要求11的方法,进一步包括引入包围所述流出物的惰性气体护罩的步骤。
15. 权利要求11的方法,进一步包括引入包围所述流出物的第二反应性护罩气体的步骤。
16. 权利要求11的方法,进一步包括引入包围液体悬浮液的火焰围护结构的步骤。
17. 权利要求11的方法,进一步包括在喷嘴外部注入液体悬浮液。

-
18. 权利要求11的方法,进一步包括在喷嘴内部注入液体悬浮液。
 19. 根据权利要求11的方法制成的沉积在基底上的涂层。

用于悬浮等离子喷涂法的反应性气体护罩或火焰护套

发明领域

[0001] 本发明涉及悬浮等离子喷涂,更特别涉及使用反应性气体和/或火焰围护结构(flame envelope)包围悬浮等离子喷涂流出物和/或包围液体悬浮液的注入流,以促进和控制流出物与悬浮液相互作用的方法和系统。

[0002] 背景

[0003] 传统的等离子喷涂技术主要使用送粉器将粉状涂料送入等离子体喷枪的等离子体射流中。但是,这种技术通常局限于使用至少+350目(即大约45微米的中值粒度,其中50%的粒子小于该中值粒度,另外50%的粒子大于该中值粒度)或更大的粒子。随着粒度降至+325目以下,将粉状涂料直接引入等离子体射流中会变得越来越困难。细粒倾向于紧密堆积并附聚,提高了传统送粉系统中的堵塞可能性。

[0004] 除堵塞外,传统等离子喷涂技术还因其它原因而不适合使用细粒。由于细粒的低质量,与等离子体射流的极速结合时,细粒在径向注入过程中倾向于偏离等离子体射流的边界层而不穿透边界层。细涂料粒子的穿透所需的速度太大以致无法在不干扰流出物本身的情况下物理实现。将速度提高到这一程度存在实际限制。

[0005] 在热障涂层中希望使用更细的涂料粒子。更细的粒子通常导致更密的涂层和更细的微结构形貌,包括例如更小的薄层状细片(lamellar splats)和颗粒。更细的粒子还倾向于产生具有改进的微结构的涂布部件。由于相对于其小质量的大表面积,细粒也更容易熔融。

[0006] 悬浮等离子喷涂(SPS)已作为沉积更细粒子的手段出现。SPS是等离子喷涂技术中相对较新的进展,其利用涂料成分或微粒材料的亚微米级粒子的液体悬浮液而非干粉作为涂布介质。该液体充当亚微米级粒子的载体,否则该粒子倾向于附聚以限制或阻碍粉末流向喷枪。该液体还显示充当热活化溶液,其使固体沉淀或与悬浮粒子反应。主要由于利用悬浮在液体载体中的极小粒子,悬浮等离子喷涂法已表现出制造具有独特性质的独特涂层微结构的能力。液滴还提供额外的质量以提供被径向注入夹带所需的动量。

[0007] 尽管SPS与传统等离子喷涂技术相比有这些改进,但现有SPS系统和方法仍然承受各种缺点。例如,传统SPS通常产生具有不受控的微结构颗粒度和/或缺乏定向取向生长的涂层,这两者都导致差的涂层性质。在基底与沉积的涂料之间会发生不良化学反应,这使微结构问题进一步复杂化。

[0008] 此外,可能需要喷嘴位置与沉积点之间的较长相隔距离(stand-off distances)以充分涂布复杂的几何形状,如涡轮机叶片。但是,较长相隔距离可能导致涂料成分的过度驻留或停留时间,由此造成涂料成分在到达基底之前冷却和再凝固。降低相隔距离会导致加热不足,以致微粒不能吸收足够的热并充分熔融。在这两种情况中,最终结果是微粒未粘合到基底上,由此降低该材料的沉积效率。涂料成分的较细粒度提高表面积以致可以以比标准等离子体技术中常见的更快的速率快速加热和冷却。因此,较细微粒的提高了的表面积对优化正确的相隔距离带来史无前例的挑战。

[0009] 再进一步,从喷枪的喷嘴中排出等离子气体流出物的湍流。等离子体流出物与大

气的湍流式相互作用造成流出物温度快速降低和快速的定向流向变化,这导致涂料微粒从导向基底的流径上逐出。因此,逐出的微粒造成降低的沉积效率。

[0010] 上述问题仅是利用SPS系统和方法沉积越来越细的涂布介质成分带来的新挑战类型的若干实例。鉴于持续不断的挑战,需要改进现有的悬浮等离子喷涂方法和系统。

[0011] 发明概述

[0012] 如下文更详细描述,本发明的实施方案致力于解决一些缺点并提供通过使用包围等离子体流出物流和其中所含的液体悬浮液(在此处和说明书全文中统称为“流出物”、“流出物流”、“等离子体”或“等离子体流出物”或“等离子体流出物流”)的反应性气体护罩控制上述相互作用的技术。本发明独特地将反应性气体护罩与使用经液体悬浮液传送的亚微米粒子的等离子喷涂法结合以改进现有悬浮等离子喷涂能力,并通过控制悬浮液注入和碎裂(fragmentation)以及流出物与悬浮液之间的相互作用而带来新的涂布微结构的可能性。

[0013] 本发明可包括各种组合的任何下列方面,还可包括下面在书面描述或附图中描述的任何其它方面。

[0014] 本发明可表征为由液体悬浮液在基底上制造涂层用的热喷涂系统,其包含:用于生成等离子体的热喷炬;用于传送含亚微米粒子的液体悬浮液流的液体悬浮液传送子系统;和用于将来自热喷炬的等离子体传送至液体悬浮液以产生等离子体流出物的喷嘴组装件,所述喷嘴组装件适合产生基本包围所述等离子体流出物的反应性气体护罩;所述反应性气体护罩经构造用于使亚微米粒子基本保持夹带在等离子体流出物中,并基本防止气体进入并与等离子体流出物反应;其中所述反应性气体护罩与等离子体流出物反应以增强悬浮液微滴的碎裂并在等离子体流出物内制造亚微米粒子的蒸发物类。

[0015] 本发明还可表征为使用其中分散着亚微米粒子的液体悬浮液在基底上制造涂层的方法,所述方法包括以下步骤:由热喷炬生成等离子体;将其中分散着亚微米粒子的液体悬浮液流传送至等离子体或其附近以产生等离子体流出物流;用反应性气体护罩包围等离子体流出物以使亚微米粒子保持夹带在等离子体流出物内,并基本防止环境气体夹带到等离子体流出物中;使护罩气体与等离子体流出物反应以增强悬浮液微滴的碎裂并在等离子体流出物内制造亚微米粒子的蒸发物类;和将其中含有亚微米粒子的被包围的等离子体流出物导向基底以涂布基底。

[0016] 附图简述

[0017] 从联系下列附图给出的下列更详细描述中更清楚看出本发明的上述和其它方面、特征和优点,其中:

[0018] 图1是使用液体悬浮液的轴向注入的现有技术悬浮等离子喷涂法的示意图;

[0019] 图2是使用液体悬浮液的内部径向注入的现有技术悬浮等离子喷涂法的示意图;

[0020] 图3是使用液体悬浮液的外部径向注入的现有技术悬浮等离子喷涂法的示意图;

[0021] 图4是根据本发明的一个实施方案使用液体悬浮液的轴向注入的悬浮等离子喷涂法的反应性气体护罩的示意图;

[0022] 图5是根据本发明的另一实施方案使用液体悬浮液的内部径向注入的悬浮等离子喷涂法的反应性气体护罩的示意图;

[0023] 图6是根据本发明的再一实施方案使用液体悬浮液的外部径向注入的悬浮等离子喷涂法的反应性气体护罩的示意图;

[0024] 图7显示使用包围悬浮等离子喷涂法的由内反应性气体层和外惰性气体屏障(shield)构成的双气体护罩的本发明的再一实施方案;

[0025] 图8显示使用包围悬浮等离子喷涂法的由第一反应性气体层和第二反应性气体层构成的双气体护罩的本发明的再一实施方案;

[0026] 图9是根据本发明的一个实施方案使用气体笼罩或气体包覆的液体悬浮液轴向注入的悬浮等离子喷涂法的示意图;

[0027] 图10是根据本发明的另一实施方案使用气体笼罩或气体包覆的液体悬浮液内部径向注入的悬浮等离子喷涂法的示意图;和

[0028] 图11是根据本发明的再一实施方案使用气体笼罩或气体包覆的液体悬浮液外部径向注入的悬浮等离子喷涂法的示意图。

[0029] 详述

[0030] 本发明涉及用于涂料沉积的新型SPS系统和方法。本发明的SPS系统和方法特别适用于沉积亚微米粒子。在本文中在各种实施方案中并参考本发明的各种方面和特征阐述本公开。

[0031] 通过下列详述更好地理解本发明的各种要素的关系和机能。该详述考虑了在本公开的范围内的在各种排列和组合下的要素、方面和实施方案。本公开因此被规定为包含这些具体要素、方面和实施方案或其中所选的要素、方面和实施方案的任何这样的组合和排列,由任何这样的组合和排列构成或基本由任何这样的组合和排列构成。

[0032] 本发明认识到现有SPS系统和方法的缺点。参照图1-3更好地认识这些缺点。图1-3分别显示使用液体悬浮液的轴向注入;液体悬浮液的内部径向注入和液体悬浮液的外部径向注入的现有技术悬浮等离子喷涂系统和方法100、200和300的几个示意图。在各现有技术系统中,发生许多物理和化学相互作用,其中许多不受控制。例如,图1和2显示由于流出物中的湍流而以不合意的无规方式在区域110和201发生的液体载体的碎裂(fragmentation)。在等离子体流出物和液体悬浮液接触后不久发生该碎裂。本文所用的术语“流出物”和“等离子体流出物”可互换使用并旨在表示等离子体气体、涂料成分或粒子和液体载体的任何组合,它们各自从喷枪喷嘴的出口流出。例如,在它们各自的喷枪的各喷嘴105、205和305的最接近的出口,流出物140、240和340很有可能由等离子体(即由于暴露在阴极与阳极之间生成的电弧下而电离的热的主火炬气)和含有涂料粒子的液体载体微滴(即液体悬浮液109、209和309)构成。但是,在基底108、208和308的附近,流出物140、240和340主要由涂料微粒和可能明显更冷的流出物140、240和340构成,因为到SPS涂布法100、200和300的这一阶段,基本所有液体载体已蒸发。

[0033] 图1和2还显示了分别在区域110和210从流出物140和240中逐出一部分碎裂的液体悬浮液109和209微滴。

[0034] 图1-3进一步显示在靠近喷枪喷嘴105、205和305的出口的区域中大气夹带122、222和322到等离子体流出物140、240和340中。大气气体,包括氧气的渗入导致夹带的大气与可燃液体载体(例如乙醇)的加速燃烧。此外,图1显示,如代表性区域105所示,有液体载体蒸发,引起许多亚微米固体粒子聚结并熔融。如果在流出物140、240和340内存在理想热条件,一定百分比的亚微米或极细粒子转化成蒸发物类,由此导致降低的沉积效率以及基底108、208和308的涂布不足。

[0035] 悬浮液109、209和309的这些碎裂微滴、熔融粒子和蒸发物类与源自大气夹带的燃烧副产物一起随流出物流140、240和340送往基底108、208和308,在此期间如在区域105、205和305处所示发生附加的悬浮液-粒子化学反应,包括不想要的反应,如粒子氧化。也在流出物140、240和340的运送过程中,继续从悬浮液109、209和309中逐出许多碎裂微滴和粒子,由此进一步降低沉积效率。

[0036] 图1-3进一步显示,随着流出物流140、240和340接近要涂布的基底108、208和308,流出物流140、240和340内的温度分布改变,造成较冷粒子的一些再凝固和夹带的蒸发物类的冷凝。在到达基底108、208和308时,在各种物理状态下的涂料碰撞基底并形成涂层106、206和306,包括涂料物理结合到基底上。可发生基底108、208和308与涂料之间的不利化学反应。

[0037] 现行悬浮等离子喷涂系统具有无法充分控制悬浮等离子喷涂法的三个关键阶段中的这些物理和化学相互作用的缺点,这三个关键阶段即:(i) 悬浮液注入和碎裂;(ii) 流出物和悬浮液相互作用;和(iii) 基底与流出物的相互作用和涂层堆积。

[0038] 如图4-11中论述,本发明的实施方案致力于解决图1-3中所示的许多上述缺点。本发明提供通过使用包围流出物流和/或液体悬浮液注入位置的反应性气体护罩(shroud)和/或护套(sheath)控制上述不利相互作用的技术。

[0039] 现在转向图4至6,显示了本发明的不同实施方案的示意图,即分别描绘悬浮等离子喷涂系统和方法400、500和600。SPS系统和方法400使用液体悬浮液409的轴向注入,其具有包围流出物440(即等离子体和液体悬浮液409)的延伸的反应性气体护罩401。可以使用任何合适的反应性气体制造反应性气体护罩401,例如氧气、氢气、二氧化碳;烃燃料和在一些情况中氮气,或它们的组合。通过使用反应性气体护罩401,可以更精确地控制流出物440和悬浮液409相互作用,从而由于在悬浮液409与反应性气体护罩401之间发生的化学反应而创造新的涂层微结构可能性。

[0040] 图4显示通过使反应气体以预定流速流经包围内喷嘴(液体悬浮液409和主火炬气416可相对于彼此相继或共同流经内喷嘴)的外喷嘴而制造护罩401。护罩401围绕流出物402的流定位,由此形成包围流出物440的反应性气体保护套。图4显示护罩401从喷枪喷嘴405内不断延伸到基底表面408以产生包含在其中的流出物440的完整护套。

[0041] 液体悬浮液409离开喷嘴405的出口之前,随着主火炬气416从阴极412和阳极413之间流入生成电弧的区域,产生等离子体419。载气输送液体悬浮液409并显示为与液体悬浮液409一起流经喷嘴405的中心。在阴极412和阳极413之间生成电弧。主火炬气416经过电弧区并在喷嘴405内电离成气态离子和/或自由基的热等离子体419。等离子体419提供在流出物440流向基底表面408时蒸发液体载体并熔融液体悬浮液409的涂料成分415所需的热能源。等离子体419还提供能量源以提供足以使涂料成分或粒子415朝基底表面408加速的动量。

[0042] 在制成等离子体419后,液体悬浮液409(即其中含有涂料成分415的液体载体微滴)和等离子体419作为流出物440离开喷嘴405的出口。护罩气体401在喷嘴405的喉部会聚,此后离开喷嘴405。应该理解的是,术语“护罩”和“护罩气体”具有相同含义并在此处和说明书全文中互换使用。

[0043] 在一个优选实施方案中,反应性气体护罩401是含氧气体,例如氧气或氧气稀释的

气体混合物。含氧反应性气体护罩401可用于控制或提高反应性气体401与流出物440的混合程度和混合的空间位置,由此更精确控制流出物440的燃烧程度和燃烧位置和所得热能分布。增强的燃烧或其它热反应还可改进液体悬浮液409的微滴的碎裂以及悬浮液409内的亚微米涂料粒子415的蒸发。含氧反应性气体护罩401可以与燃料基液体载体一起使用以产生更完全的燃烧,与无护罩喷涂法或包围等离子喷涂流出物的传统惰性气体护罩相比,可以在更上游或更靠近等离子体源419的发生处引发或实现所述燃烧。图4的实施方案证实,燃烧过程朝等离子体源419向上游提前通过更有效利用等离子体流的热能而能使用较低功率的等离子体喷枪熔融和蒸发液体载体内的亚微米粒子415。

[0044] 反应性气体护罩401构造成相对于流出物440的流速以充足流速流动,从而形成在流出物440周围的连续围护。流出物440的特征在于将液体悬浮液409的轨迹或流径至少部分限定为从喷嘴405的出口到基底表面408,由此该流径部分或完全被反应性护罩401包围。如图4的实施方案中所示,反应性护罩401的长度从喷嘴405的出口延伸到基底表面408,以完全包围流出物440。护罩401的连续包围产生充当有效绝缘体的热围护,从而经过从喷嘴405的出口到基底表面408的更长流径距离保持流出物流440中的热。从喷枪405的出口到基底408的受控温度会使液体悬浮液409的液体载体蒸发。在液体载体蒸发后,现在通过通常包含在液体悬浮液409的微滴(它们现在自由漂浮并朝基底表面408行进)内的涂料成分415实现用于使液体载体蒸发的热。涂料成分415在流向基底表面408时部分或基本熔融而没有发生显著冷却。熔融的涂料成分415碰撞基底表面408以作为涂层403沉积。以此方式,该改进的热围护因此改进沉积效率。此外,流出物440内的热的保持改进温度分布的均匀性,这可以降低长距离(stand-off)加工敏感性。因此,与之前用传统SPS可实现的相比,如图4的实施方案中所示的本发明允许用独特的SPS系统和方法400以更远的相隔距离涂布复杂的几何形状,而不造成涂料成分415在碰撞基底表面408时的显著固化。

[0045] 尽管使用含氧气体和燃料基液体载体带来的增强的燃烧是本系统和方法的一个实施方案,但使用反应性护罩气体可以促进其它化学反应,所述反应性护罩气体将与液体介质中的各种元素或化合物反应导致自发发生或由于等离子体流出物的热能而发生的化学反应。可以设计和控制这样的化学反应以实现涂层化学组成、物理性质或微结构的改进,包括例如形成粒子的氧化物、碳化物或氮化物。

[0046] 有利地,在等离子体流出物440周围使用反应性气体护罩401以在流出物440中制造和/或保留更多热,为涂布过程提供更大的操作围护结构(operation envelope)。更大的操作围护结构意味着喷枪喷嘴405与基底408之间的更大工作距离以及亚微米粒子415的更好的热处理。换言之,亚微米粒子415沿其流径轨迹在规定的操作温度下保持更长停留时间,从而实现等离子体流出物440内的粒子的改进的熔融及其蒸发物类的增加。反应性气体护罩401的使用还有利于控制基底表面408附近的环境和温度。

[0047] 包围悬浮等离子喷涂流出物440的反应性气体护罩401的使用开启了开发用于此类含亚微米粒子的悬浮液409或溶液的新型液体载体的许多可能性。

[0048] 在本发明的各实施方案中,反应性气体护罩可以以受控方式构造。最可能的控制手段涉及调节或操控反应性气体护罩的流动特性,包括气体护罩的体积流速和/或速度以及反应性气体护罩中的反应性元素的浓度。此外,也可以控制该反应性气体护罩的湍流和分散特性。许多这些流动特性取决于用于形成反应性气体护罩的喷嘴的几何形状和构造以

及反应性护罩气体供应压力和温度。

[0049] 图4的实施方案显示护罩气体401构造成以分层流速状况流动。分层流动护罩401的受控和降低的速度能使液体悬浮液409的微滴穿过护罩401的碎裂现象与图1-3的传统SPS系统和方法100、200和300相比以更受控的方式发生。液体悬浮液409的碎裂微滴因此达到改进的粒度分布均匀性。因此,涂料成分415沉积在基底表面408上以形成具有更受控的粒度分布的涂层403。

[0050] 护罩401还对抗液体悬浮液409的微滴从流出物440中逐出的趋势。一般而言,在不存在护罩401的情况下,流出物440为可能足以将液体微滴打碎成更小微滴的湍流状况,并在如此过程中不合意地赋予至少一些微滴过大的动量以将它们从流出物流440中逐出。使用护罩401可促进液体悬浮液409的微滴和涂料成分415留在流出物440中。因此,涂料成分415的利用率提高。

[0051] 上述工艺益处的组合可使得沉积到基底表面408上的涂层403的微结构具有晶粒定向和足够小的粒度分布。利用该创新性的SPS系统和方法400,这些有利的微结构可能性可控制和可再现。

[0052] 根据本发明的另一实施方案,图5显示SPS系统和方法500,其中在喷枪喷嘴505内内部注入液体悬浮液509。液体悬浮液509的内部注入可以垂直于在喷嘴505内在阴极512与阳极513之间生成的等离子体 519的轴基本径向进行。应该理解的是,可以改变液体悬浮液509相对于等离子体519的注射角。

[0053] 图5显示主火炬气516经过电弧区并在喷嘴505内电离成气态离子的热等离子体状态519。将液体悬浮液509内部注入等离子体区域519。应该理解的是,悬浮液509的注入可以在阳极内在等离子体519下游进行,这代表火炬气516已从等离子体状态冷却成过热气体的区域。等离子体519的湍流在喷嘴505内以及在喷嘴505出口处使悬浮液509的液体载体微滴碎裂和/或雾化。

[0054] 如图5的实施方案中所示,反应性护罩501的长度以连续方式从喷嘴505的出口延伸到基底表面508。护罩501提供热保持以制造连续热围护以及防止悬浮液509的微滴从流出物540中逐出。图5的实施方案显示护罩的反应性气体501构造成以分层流速状况流动。分层流动护罩501的受控和降低的速度能使液体悬浮液509的微滴穿过护罩501的碎裂现象与图1-3的传统SPS系统和方法100、200和300相比以更受控的方式发生。液体悬浮液509的碎裂微滴因此达到改进的粒度分布均匀性。因此,涂料成分515沉积在基底表面508上以形成具有更受控的粒度分布的涂层503。应该理解的是,某些涂层应用可能不要求液体悬浮液509的微滴显著碎裂。因此,在本发明的另一实施方案中,护罩501可以构造成不使微滴碎裂,但仍实现上文已提到的利用护罩501的其它益处。

[0055] 根据本发明的原理设想了液体悬浮液的其它注入位置。例如,图6显示SPS系统和方法600,其中液体悬浮液609在喷枪喷嘴605外部注入。液体悬浮液609的外部注入可以垂直于等离子体流出物640的轴基本径向进行。应该理解的是,可以改变液体悬浮液609相对于等离子体流出物640的注射角。类似于图5,反应性护罩气体601构造成以分层流速状况流动,以实现液体悬浮液609的微滴的更均匀碎裂。

[0056] 本发明设想了反应性气体护罩的其它变体。例如,图7是本发明的另一实施方案的示意图,其使用由包围悬浮等离子喷涂法700的内反应性气体护罩层701和外惰性气体屏障

(shield) 702构成的双气体护罩。内反应性气体护罩层701优选如图7中所示分层流动。这种特定布置中的双护罩的使用可进一步改进流出物740的流动区域内的热保持、微滴的粒子碎裂和沿基底708的温度均匀性。双护罩还可改进涂料微粒715沿流径限定在流出物740内，由此基本降低或消除涂料微粒715从流出物740中逐出。因此，实现在基底708上的提高的沉积效率。

[0057] 在反应性气体护罩的另一设计变体中，图8显示了一种双反应性气体护罩，其由包围悬浮等离子喷涂法800的第一内反应性气体护罩层802和第二外反应性气体护罩层801构成。第一内反应性气体护罩层802优选如图8中所示分层流动。不同于图7，该双反应性气体护罩具有两种反应性护罩。分别独立地控制反应性气体护罩801和802（例如独立地控制流速）。用于反应性气体护罩801和802的气体可以相同或不同。独立控制的两种反应性护罩或屏障的存在有助于改进沿流出物840的流径的燃烧反应。除使用双反应性气体护罩系统和方法800带来的增强的燃烧外，双反应性护罩气体的使用还可促进其它化学反应，其中反应性气体护罩801和802各自优先与液体悬浮液809中的特定元素或化合物反应，导致自发发生或由于等离子体流出物840的热能而发生的化学反应。可以设计和控制这样的化学反应以实现沉积的涂层803的化学组成、物理性质或微结构的改进。

[0058] 如果使用采用反应性气体和惰性气体的双层护罩或混合护罩，惰性气体通常包括氩气、氮气和氦气或其组合。

[0059] 可以使用反应性气体护罩的其它变体。在一个实例中，可以构造两种或更多种反应性气体护罩，优选彼此独立，以包围流出物。在另一实例中，可以使用与惰性气体护罩结合的两种或更多种反应性气体护罩。惰性气体护罩可以布置在反应性气体护罩之间。或者，可以布置惰性气体护罩以包围所有反应性气体护罩。作为另一设计变体，惰性气体护罩或屏障还可位于各反应性气体护罩内。在另一实施方案中，也可以选择性构造反应性气体护罩以沿其到基底的流径仅包围流出物的一部分。

[0060] 工艺益处——上文已经提到其中一些，可以转化为沉积的涂层的更受控微结构。本发明认识到，决定涂层的微结构和性质的参数包括涂料成分或粒子的温度、尺寸和速度，和粒子在沉积过程中与周围环境反应或暴露在周围环境下的程度。在本发明中，该反应性气体护罩可以保持热并在涂料粒子碰撞基底表面时实现更均匀的温度和受控的温度分布。另外，层流反应性气体护罩有助于制造更均匀碎裂的涂料粒子。被笼罩的流出物因此产生改进的微结构。

[0061] 影响沉积的涂层的微结构和性质的另一些因素包括沉积速率、碰撞角度和基底性质，利用该护罩可以在更大程度上控制各因素。由于涂料成分或粒子被等离子体的气态流出物加热和加速，涂料粒子的温度和速度取决于该流出物流的物理和热特性以及等离子喷涂装置的出口与基底之间的相隔距离。通过利用该护罩控制流出物流的性质，可以更精确地控制涂料粒子的温度和速度以改进涂层粘合性和涂层微结构。

[0062] 可用于本发明的反应性气体护罩的一个具体类型是在注入点或注入点附近包围液体悬浮液的火焰围护结构(flame envelope)。现在转向图9至11，显示了火焰围护结构的构造的不同实施方案的示意图，即分别使用包围轴向注入的液体悬浮液的火焰围护结构；包围内部径向注入的液体悬浮液的火焰围护结构；和包围外部径向注入的液体悬浮液的火焰围护结构的悬浮等离子喷涂系统和方法的图示。此处和说明书全文中所用的术语“火焰

围护结构”是指通过燃料和氧化剂的燃烧形成的燃烧流，其沿注入的悬浮液流的轴延伸。

[0063] 图9显示使用包围轴向注入的液体悬浮液909的火焰围护结构910的悬浮等离子喷涂系统和方法900。火焰围护结构910从注入喷嘴905的远端或喷嘴面向上延伸到在阴极912和阳极913之间生成等离子体919的点。应该理解的是，火焰围护结构910可以延伸从喷嘴905中喷出的悬浮液流的整个长度(即从喷嘴面延伸到等离子体流出物中的进入点)。火焰围护结构910可以提供充足热能以使液体微滴在离开喷嘴905之前蒸发。因此，可作为流出物940引入干的亚微米涂料微粒915而没有附聚，也没有注射器中的堵塞。火焰围护结构910还可提供充足动能以改进悬浮液909的微滴的碎裂和涂料粒子915的粒度分布。

[0064] 图10显示另一悬浮等离子喷涂系统和方法1000，其使用包围径向注入的液体悬浮液1009的火焰围护结构1010。火焰围护结构1010沿液体悬浮液1009的注射器延伸并可以使液体微滴在引入流出物1040中之前蒸发。火焰围护结构1010还可赋予悬浮液1009的微滴充足动能，由此改进碎裂和涂料粒子1015的粒度分布。

[0065] 火焰围护结构还可以如图11中所示构造在喷嘴外部。图11显示悬浮等离子喷涂系统和方法1100，其使用包围径向注入的液体悬浮液1109的火焰围护结构1110。火焰围护结构1110沿液体悬浮液1109的注射器延伸并可以使液体微滴在引入等离子体流出物1119中之前蒸发。火焰围护结构1110还可赋予悬浮液1109的微滴充足动能，由此改进碎裂和涂料粒子1015的粒度分布。

[0066] 如图9-11的示例性实施方案中所示，火焰围护结构910、1010和1110发挥几种功能。例如，火焰围护结构910、1010和1110可充当液体悬浮液909、1009和1109的护罩，其防止环境气体夹带到注入的悬浮液流909、1009和1109中并由此抑制不想要的物理和化学反应，如悬浮液909、1009和1109内所含的亚微米粒子的氧化。防止环境气体夹带还抑制悬浮液注入速度的衰减并允许其中含有亚微米粒子的液体悬浮液909、1009和1109在基本保持注入速度的情况下渗入等离子体919、1019和1119中。

[0067] 此外，火焰围护结构910、1010和1110还充当反应性护罩或部分反应性护罩，其在适当控制时，可以在注入点处或注入点附近引发它们各自的液体悬浮液909、1009和1109内或在悬浮液909、1009和1109与护罩气体之间的所需反应。例如，如果液体载体是燃料，如乙醇，该火焰围护结构引发液体载体的燃烧反应，这提高接近进入等离子体流出物中时的注入事件的热能和动能。这种额外的热能和动能带来改进的微滴碎裂以及该悬浮液中的亚微米粒子在到达等离子体流出物之前的增强的熔融或蒸发。在液体载体不是燃料的应用中，该火焰围护结构提供使液体载体蒸发并使悬浮粒子在夹带到等离子体流出物中之前熔融、部分熔融或甚至蒸发的能源。

[0068] 一般而言，通过在将其导向等离子体流出物时用火焰围护结构包围液体悬浮液，根本改变整个悬浮等离子喷涂 (SPS) 系统的工艺特性。简言之，包围注入流的火焰围护结构或类似反应性护罩的使用将向SPS系统传送亚微米涂料粒子的控制(这通过从供应容器中悬浮实现)与亚微米涂料粒子夹带到等离子体中的控制(这可以为悬浮或非悬浮形式)有效分开。

[0069] 例如，使用所公开的包围悬浮液注入流的火焰围护结构能获得一种SPS系统，其采用传送悬浮液但类似于APS粉末注射那样(但在亚微米粒度下)将干亚微米粒子夹带或注入等离子体流出物中。或者，包围悬浮液注入流的火焰围护结构能获得一种SPS系统，其采用

递送悬浮液但将熔融的亚微米粒子夹带或注入等离子体流出物中、将亚微米粒子的蒸发物类注入等离子体流出物中。再进一步,所公开的包围悬浮液注入流的火焰围护结构能获得一种SPS系统,其采用传送液体悬浮液同时将高度碎裂的悬浮液微滴夹带或注入等离子体流出物中。最后,如果适当设计和控制,所公开的包围注入流的火焰围护结构或反应性护罩能够传送液体悬浮液,其中亚微米粒子原位反应以形成夹带到等离子体流出物中的所需陶瓷或金属陶瓷涂料。

[0070] 此外,上述传送、注入和夹带技术各自允许更精确控制注入或夹带到流出物中并随后碰撞基底的平均粒度和粒度分布,以提供所需涂层微结构。包围悬浮液注入流的火焰围护结构或反应性护罩的使用为SPS液体悬浮液的组成(包括液体载体的构成和粒子特性)提供新的选择或设计选项。

[0071] 最后,由于参照附图包围液体悬浮液注入流的火焰围护结构或反应性护套/护罩具有为SPS喷涂法提供额外热能和动能的潜力,本系统和方法允许在SPS过程中使用更低功率的等离子体喷枪,并更有效利用等离子体流中的热能。本公开的包围液体悬浮液注入流的火焰围护结构或反应性护套/护罩的使用还提供了进一步控制和增强整个SPS过程的机会,包括:传送或操作悬浮液;制造等离子体射流;将涂料注入或夹带到等离子体射流中;和涂料传送/碰撞到要涂布的基底上。

[0072] 通过利用本火焰围护结构或反应性护套/护罩和与其相关联的额外动能,优选控制涂料注入等离子体射流中,以致到达流出物内的优化位置,并降低在注入点与流出物流的相互作用。例如,在悬浮液注入点或其附近,可以使一部分流出物偏向以使干粉形式、部分熔融形式、熔融形式和/或蒸发形式的亚微米粒子以受控和均匀的方式进一步延伸到流出物流中。

[0073] 或者,如果火焰围护结构或护套/护罩作为SPS法的一部分仅用于防止环境气体夹带到注入的悬浮液中,并使液体悬浮液更深入渗透到等离子体流出物流中,该护套/护罩有可能促进悬浮液以受控方式和在受控位置进一步碎裂成微滴。通过使微滴碎裂,该火焰围护结构或反应性气体护罩有助于控制注入到等离子体流出物中的悬浮液的微滴尺寸和微滴尺寸分布。以此方式,在等离子体流出物中发生较少碎裂,且微滴尺寸和微滴尺寸分布通常不依赖于在等离子体流出物移向要涂布的基底时发生的空间和时间变化。换言之,更精确控制微滴尺寸和微滴尺寸分布,导致改进的等离子喷涂工艺控制和改进的涂层微结构。图9显示使用包围悬浮等离子喷涂法的燃烧火焰护罩的本发明的另一实施方案。

[0074] 应该认识到,图7和图8中描绘的双气体护罩的使用以及图9中描绘的包围流出物的燃烧火焰护罩的使用同等适用于采用内部径向注入构造、外部径向注入构造和轴向注入构造的悬浮等离子喷涂系统。

[0075] 如上所述,用作反应性气体护罩的典型反应性气体包括氧气、氢气、二氧化碳;烃燃料和氮气或其组合。

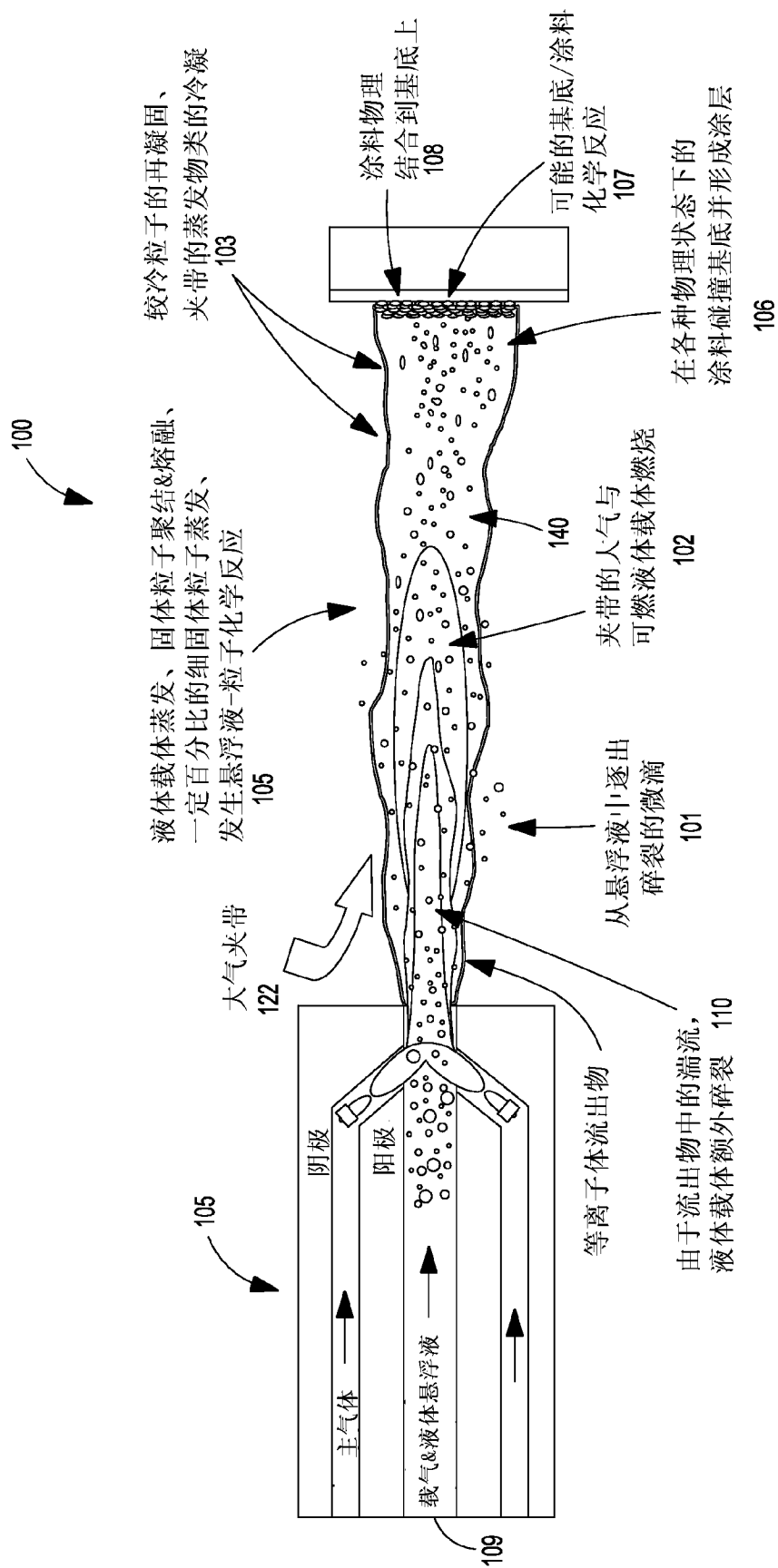
[0076] 应注意,本发明能够在亚微米范围内的广泛的一系列微细粒度沉积,这在之前通过涂布技术(包括传统等离子喷涂)无法实现。例如,在一个实施方案中,本发明的SPS系统和方法可以沉积低于100纳米的涂料微粒。在另一实施方案中,本发明可以沉积10微米或更低的涂料微粒,而不会引起在传统喷涂系统和方法中常遇到的微细粒子的不合意附聚。

[0077] 有利地,本文所述的SPS系统可以使用合适的市售喷枪和喷嘴组装件制备,因此能

够实现并简化整个制造过程。等离子体生成方面可以使用标准技术或设备进行。

[0078] 任何合适的液体悬浮液传送子系统可用于将其中分散着亚微米粒子的液体悬浮液流传送到等离子体中。液体悬浮液源是液体悬浮液分配器。该源通常包括储器、输送管道(例如管道、阀等)和注射件(例如喷嘴、雾化器等)。此外,液体悬浮液传送子系统可含有该方法的测量反馈(例如流速、密度、温度)和控制方法,例如可以互相协作或互相独立工作的泵和致动器。该系统还可含有如本领域中已知的附加冲洗或清洗系统、混合和搅拌系统、加热或冷却系统。

[0079] 从上文中应该认识到,本发明因此提供悬浮等离子喷涂的反应性气体护罩和/或液体悬浮液的火焰护罩系统和方法。尽管已借助具体实施方案和与其相关的方法描述了本文中公开的发明,但本领域技术人员可以在不背离如权利要求中阐述的发明范围或不牺牲其所有特征和优点的情况下对其做出许多修改和变动。



现有技术

图 1

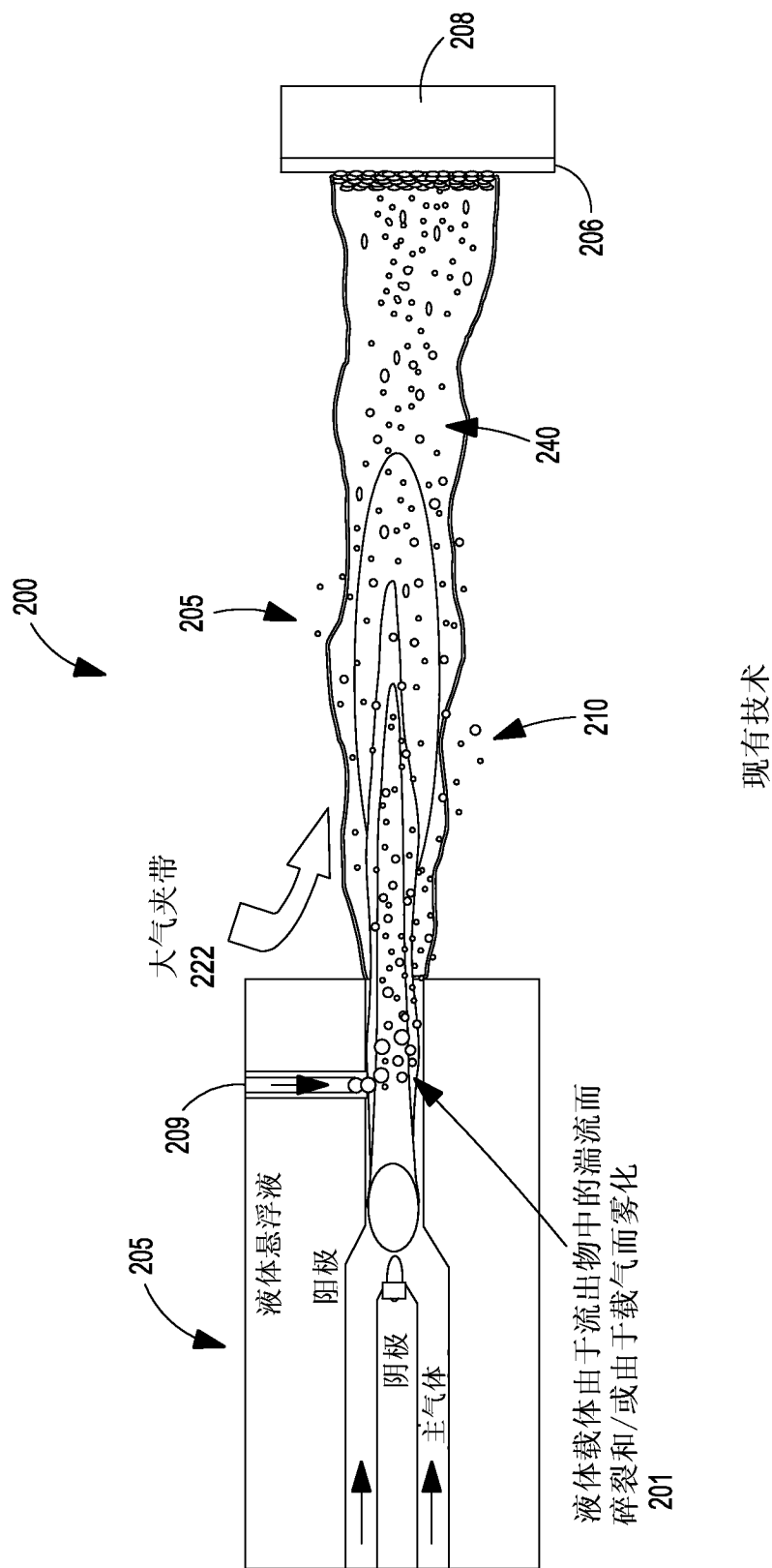


图 2

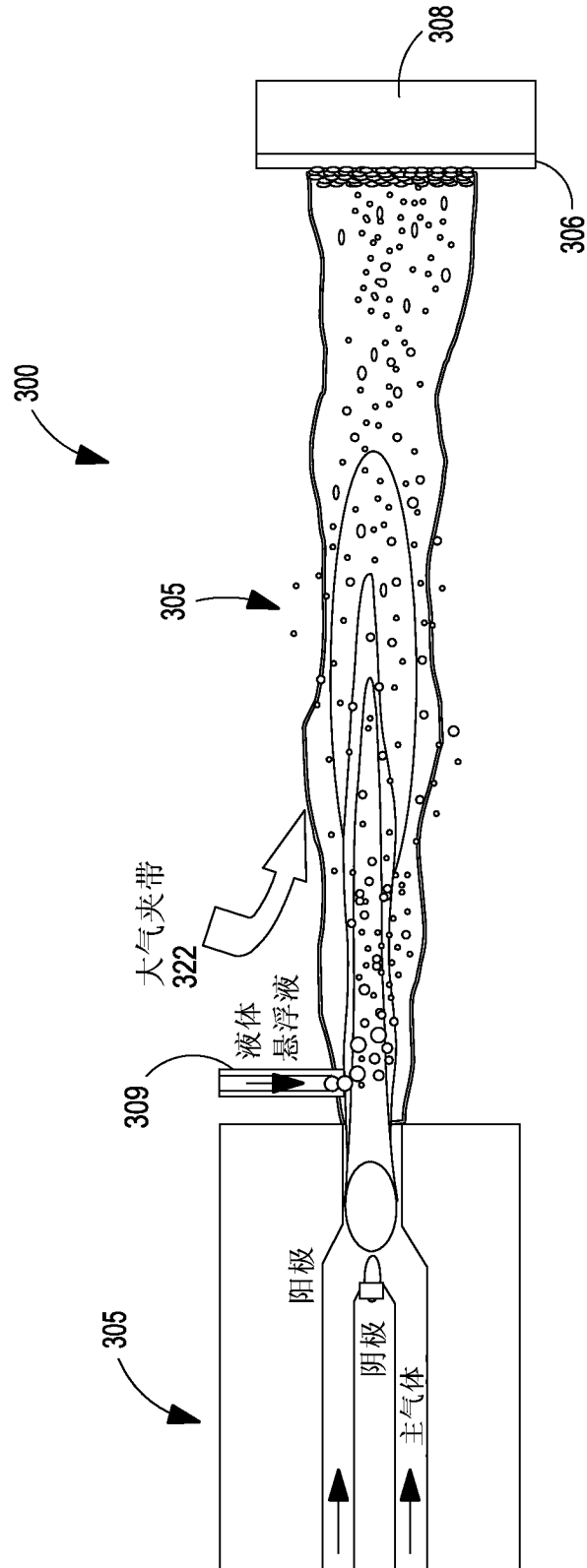


图 3

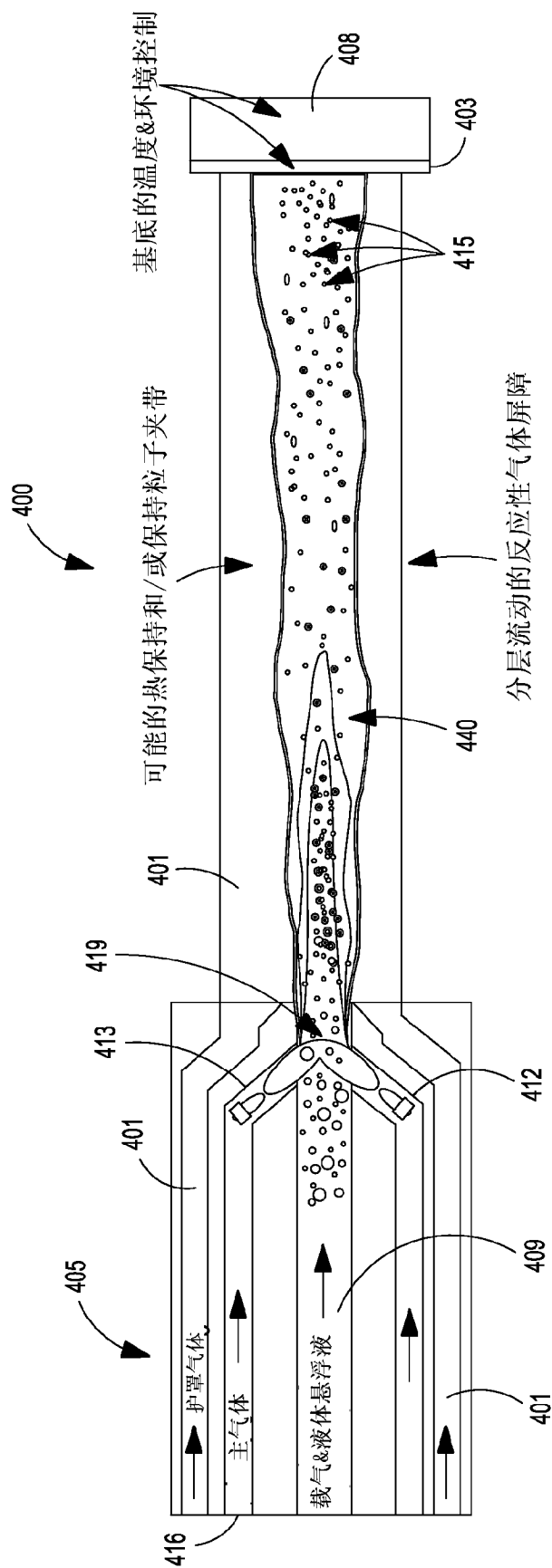


图 4

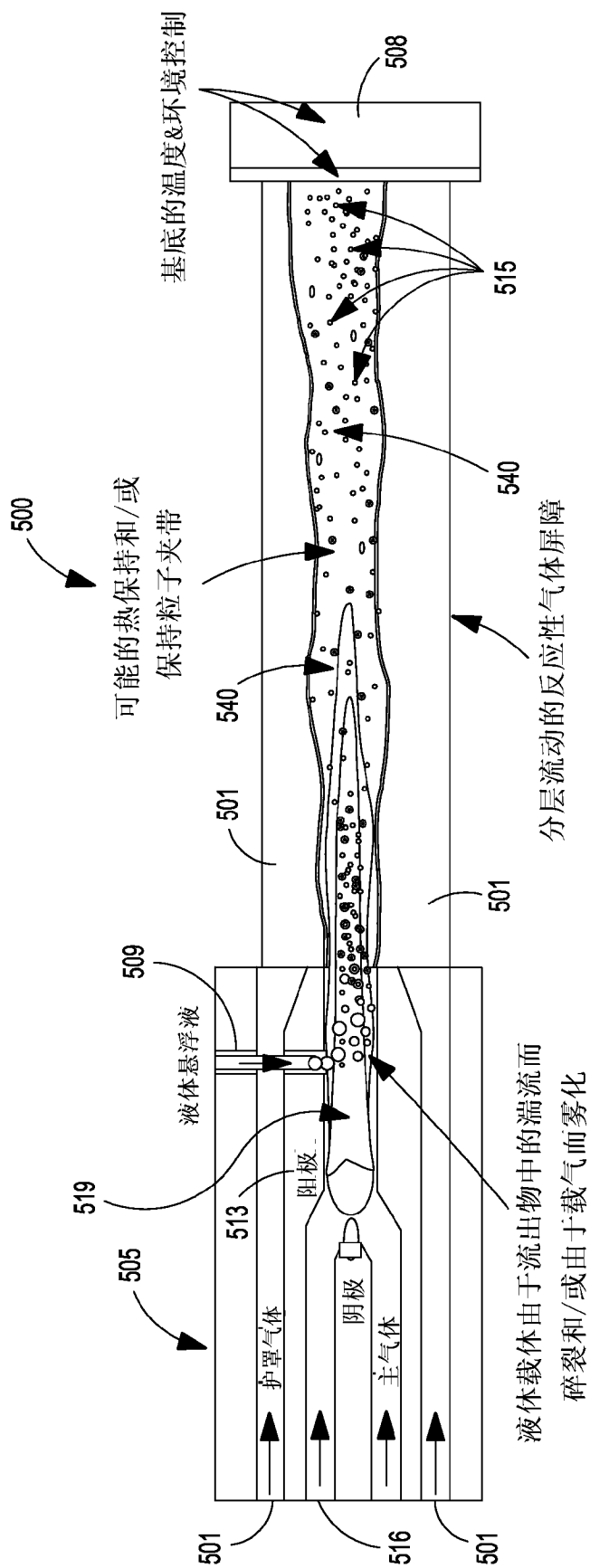


图 5

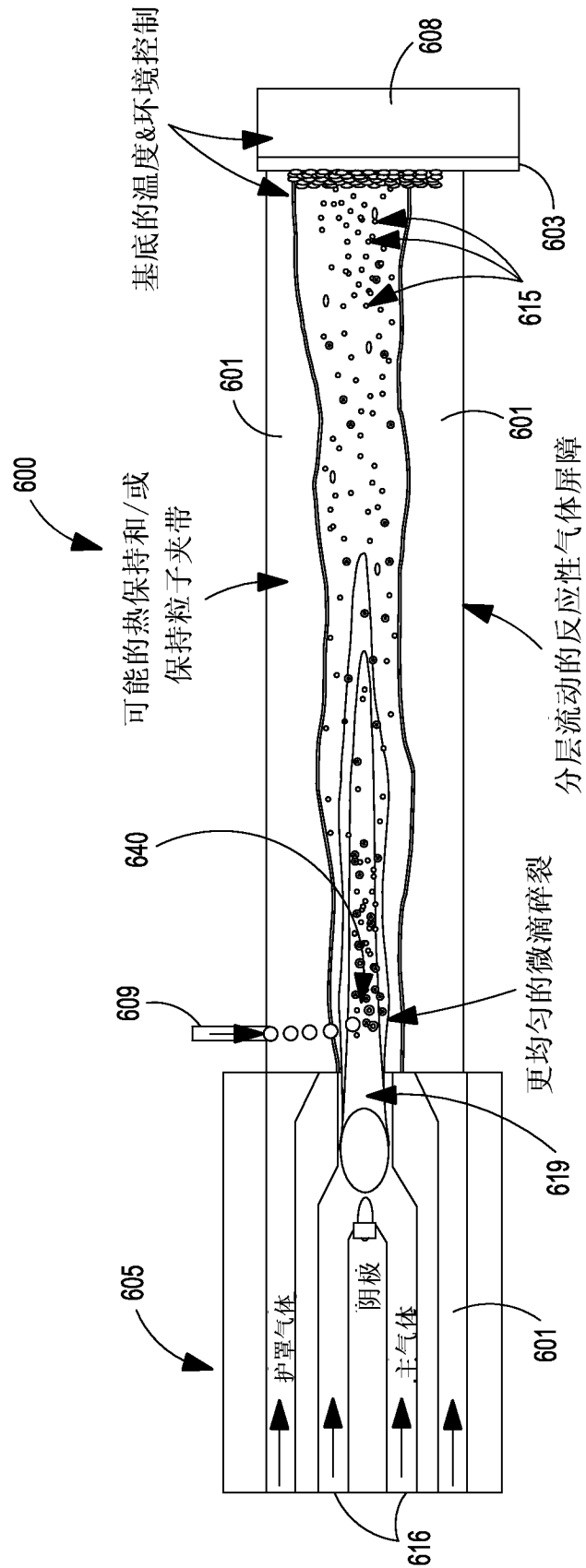


图 6

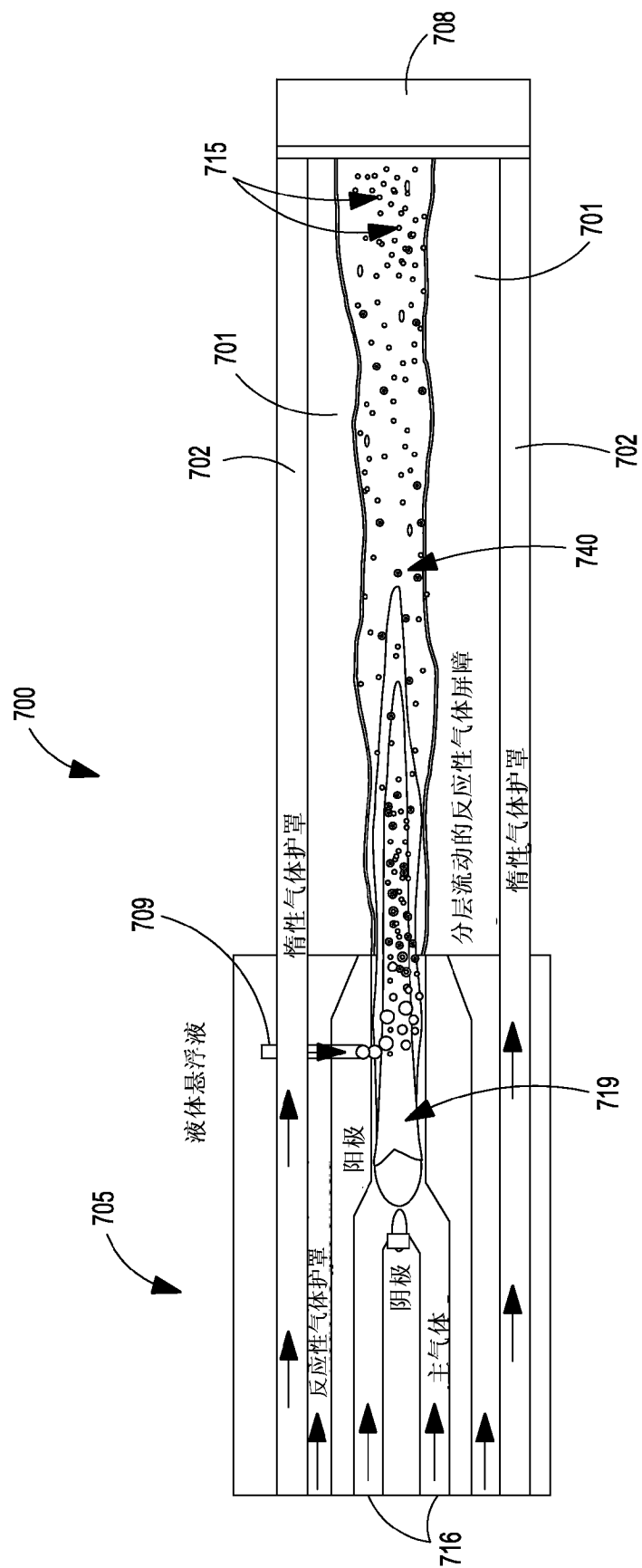


图 7

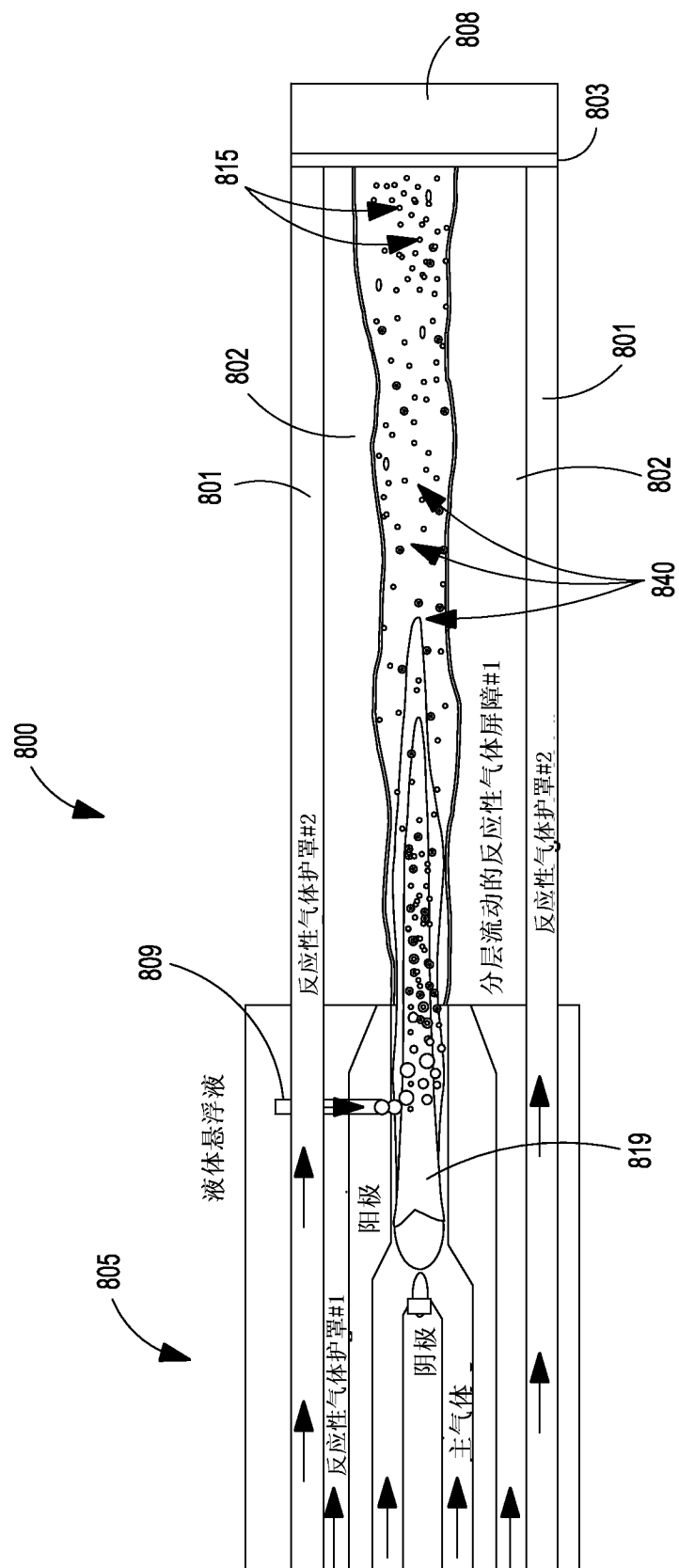


图 8

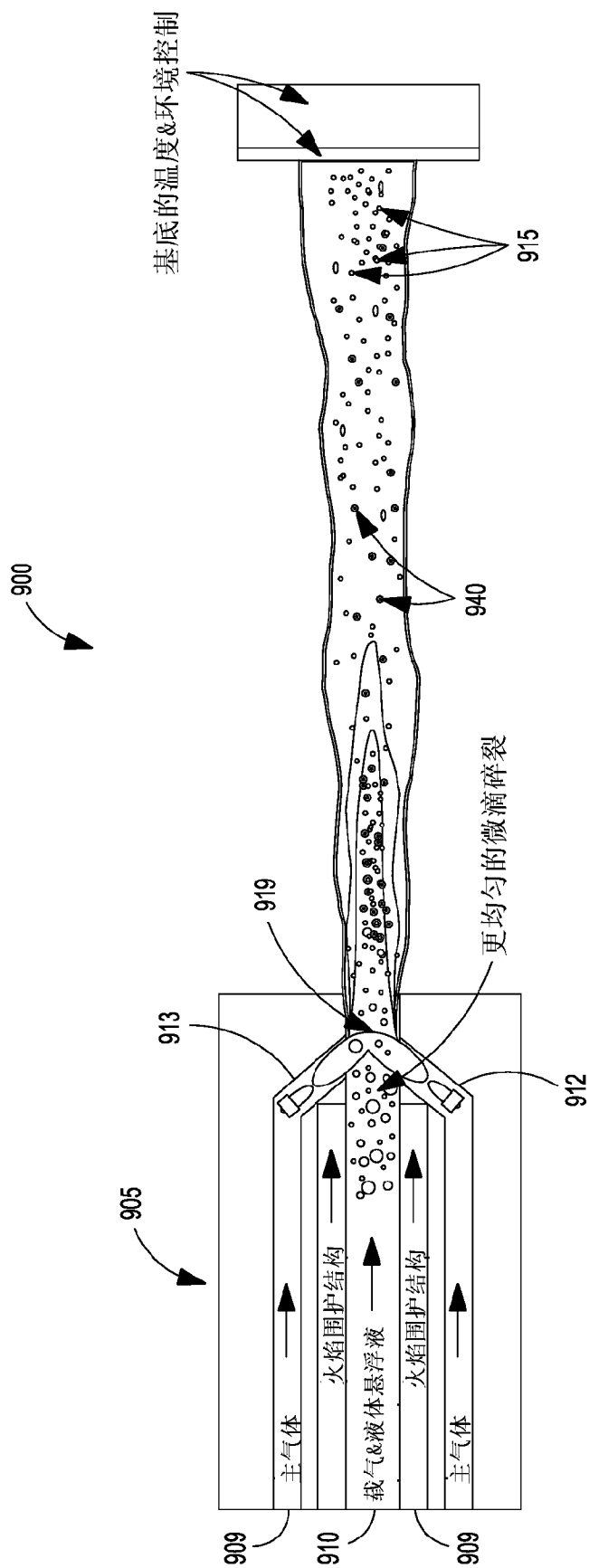


图 9

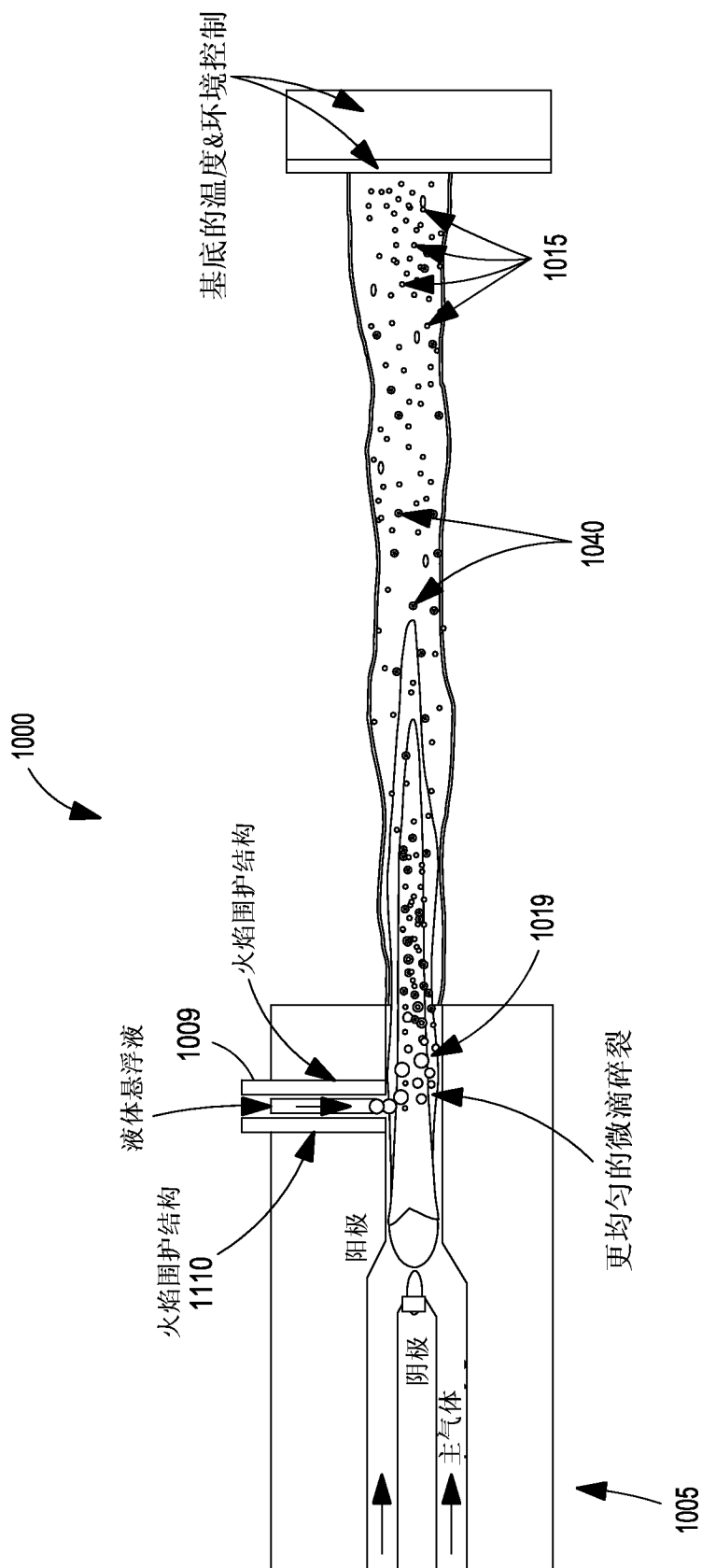


图 10

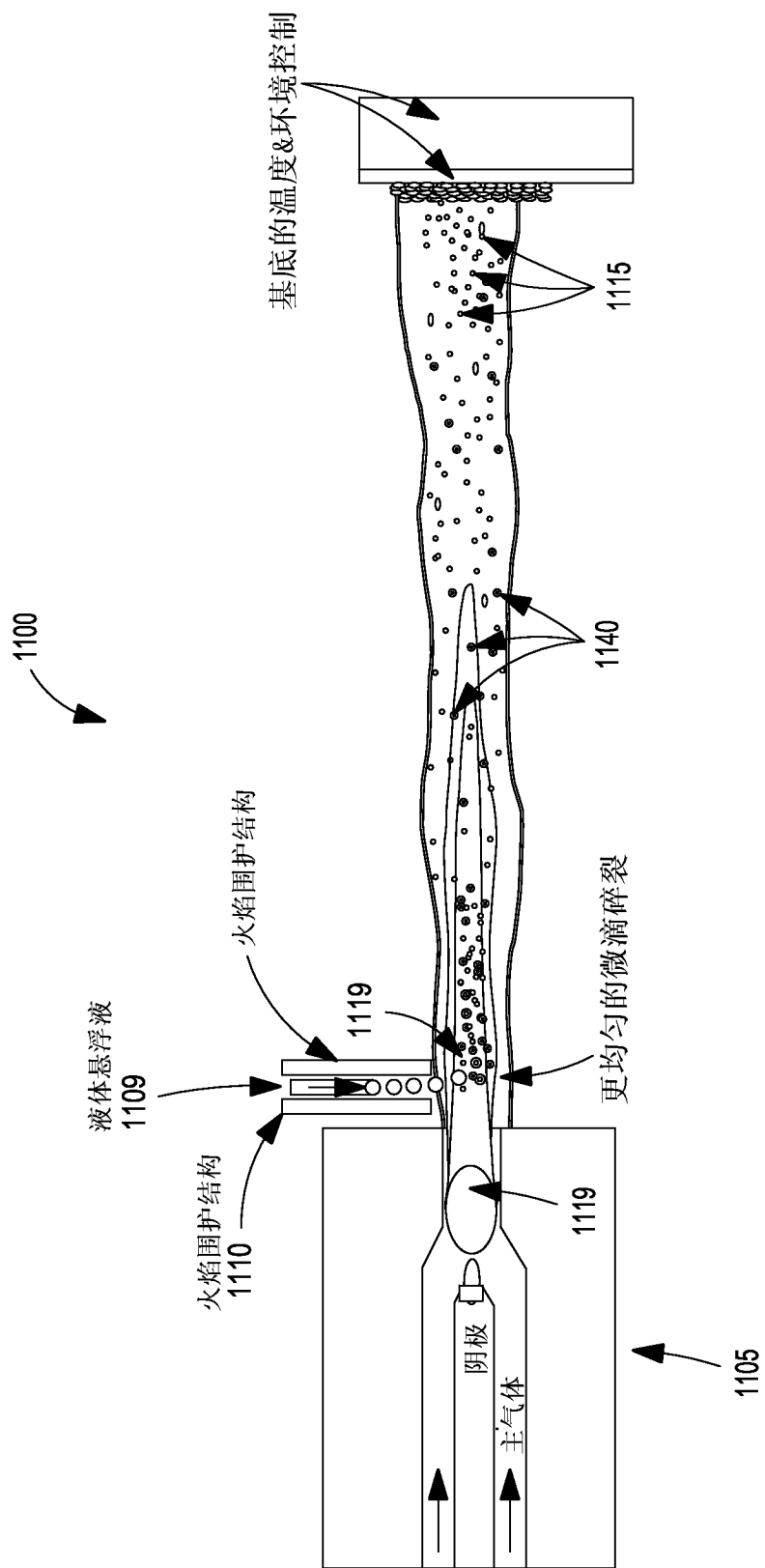


图 11