



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103103473 A

(43) 申请公布日 2013. 05. 15

(21) 申请号 201310045723. 9

(22) 申请日 2013. 02. 05

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市咸宁西路 28 号

(72) 发明人 李长久 杨冠军 李成新

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任
公司 61200

代理人 汪人和

(51) Int. Cl.

C23C 4/12(2006. 01)

C23C 4/10(2006. 01)

权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法,将表面熔化的液固两相颗粒碰撞并沉积在基体表面,控制基体表面温度使液固两相颗粒中的液态部分凝固时形成具有高热稳定性的相结构,基体表面与液固两相颗粒中的固相颗粒之间形成有效结合;后续液固两相颗粒沉积到已经沉积的颗粒表面,逐渐累加形成具有孔隙结构的沉积层;将颗粒尺寸小于沉积层孔隙结构的填充粉末或该填充粉末的前驱体,通过固相或悬浮液的状态填充到沉积层的连通孔隙中,获得具有耐冲蚀、高温可磨耗的封严涂层。该方法制备出的封严涂层材料可选择范围广,孔隙在涂层中分布均匀,成本较低且方法简便。

1. 一种基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法,其特征在于,包括以下操作:

1) 将表面熔化的液固两相颗粒碰撞并沉积在基体表面,控制基体表面温度使液固两相颗粒中的液态部分凝固时形成具有高热稳定性的相结构,基体表面与液固两相颗粒中的固相颗粒之间形成有效结合;后续液固两相颗粒沉积到已经沉积的颗粒表面,逐渐累加形成具有孔隙结构的沉积层;

2) 将颗粒尺寸小于沉积层孔隙结构的填充粉末或该填充粉末的前驱体,通过固相或悬浮液的状态填充到沉积层的连通孔隙中,获得具有耐冲蚀、高温可磨耗的封严涂层。

2. 如权利要求1所述的基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法,其特征在于,所述的液固两相颗粒为空心颗粒和/或实心颗粒,其材料为高温结构稳定的氧化铝基或氧化锆基陶瓷。

3. 如权利要求1所述的基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法,其特征在于,所述的液固两相颗粒中的固相部分具有致密的局部组织结构。

4. 如权利要求1所述的基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法,其特征在于,所述的液固两相颗粒碰撞并沉积在基体表面时因碰撞沉积位置的微观随机性而不断变化沉积角度。

5. 如权利要求1所述的基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法,其特征在于,在液固两相颗粒沉积前,所述的基体表面温度超过液相凝固后可形成稳定结构的温度;颗粒结合区域的液相材料形成高温热稳定的相结构。

6. 如权利要求1所述的基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法,其特征在于,所形成的封严涂层是由液固两相颗粒相变后的扁平颗粒以机械嵌合及微区冶金结合的方式层叠堆积而成的多孔层状结构。

7. 如权利要求1所述的基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法,其特征在于,所述的颗粒为粒径为 $30 \sim 100 \mu\text{m}$ 的球形或近球形颗粒。

8. 如权利要求1所述的基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法,其特征在于,所述的火焰喷涂是以氧气进行送粉,可燃气体流量可调,喷涂距离可调,火焰为微氧化焰,压缩空气流量为 $1000 \sim 1500\text{L/h}$;

通过调节可燃气体的流量来调节封严涂层的孔隙率;通过调节喷涂的距离来调节封严涂层的表面形貌及孔隙率。

9. 如权利要求1所述的基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法,其特征在于,所述的填充粉末为与喷涂沉积的材料相同或不同的陶瓷材料;

所述的填充粉末为具有耐冲蚀性能的氧化铝基或氧化锆基陶瓷材料。

10. 如权利要求1所述的基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法,其特征在于,在基体沉积前,还在基体表面制备一层结合层 MCrAlY , 其中, M 为 Ni、Co 或两者的合金。

一种基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法

技术领域

[0001] 本发明属于封严涂层制备技术领域,涉及一种基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法。

背景技术

[0002] 随着航天航空事业的不断发展进步,减少动静部件之间的间隙成为了设计和制造高性能发动机时获得大推力、高效率、并实现低油耗的重要手段之一。然而在叶片使用中,由于热变形及振动将造成零件整体位移、发动机转子的高速旋转将引起叶片伸长、零件加工过程需保留一定的公差和装配偏差等原因,叶片与机匣之间必须预留一定的间隙。因而,必须使用封严涂层这种简单且有效的方法来减小间隙。

[0003] 国外对可磨耗封严涂层的研究起步于 20 世纪 50 年代,在 60 年代末期得到实际应用。目前常用的可磨耗封严涂层,主要是由金属基复合材料构成。复合材料包括了金属相、自润滑非金属和许多孔隙。使用的主要材料有 NiAl、AlSi、NiCrAl、NiCrAlY 等。这种涂层的主要优点是与其基体结合强度高,但存在可磨耗性差、高温使用时容易发生熔化与叶片粘着、受热变形导致涂层失效等缺点。因此,为了改善这种涂层的性质,通常会往其中添加软相(可兼润滑相),如 h-BN、石墨、硅藻土、聚酯等。添加软相的主要优点是调节涂层硬度、改善涂层与叶片的润滑性、减少叶片的磨损、提高涂层的可磨耗性能、防止涂层与叶片粘着等。这种涂层,如 Ni-石墨、AlSi-聚酯、NiCrAl-氮化硼,它们具有一定的孔隙率,在耐热性和抗热震性方面优于前者,但是这种涂层也存在着结合强度和耐气流冲蚀性并不理想的缺点。

[0004] 现代航空发动机采用压气机使空气增加压力、升高温度,使燃料充分燃烧是提高发动机的功率和效率的主要方法之一。因此压气机的工作温度已经达到了 1000℃ 以上,由于以往的涂层大多使用温度都低于 850℃,显然无法达到发动机的使用要求,因此需要研究开发可耐受更高温度且具有优越耐冲蚀性能的封严涂层制备方法。

发明内容

[0005] 本发明解决的问题在于提供一种基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法,该方法制备出的封严涂层材料可选择范围广,孔隙在涂层中分布均匀,成本较低且方法简便。

[0006] 本发明是通过以下技术方案来实现:

[0007] 一种基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法,包括以下操作:

[0008] 1) 将表面熔化的液固两相颗粒碰撞并沉积在基体表面,控制基体表面温度使液固两相颗粒中的液态部分凝固时形成具有高热稳定性的相结构,基体表面与液固两相颗粒中的固相颗粒之间形成有效结合;后续液固两相颗粒沉积到已经沉积的颗粒表面,逐渐累加形成具有孔隙结构的沉积层;

[0009] 2) 将颗粒尺寸小于沉积层孔隙结构的填充粉末或该填充粉末的前驱体,通过固相

或悬浮液的状态填充到沉积层的连通孔隙中,获得具有耐冲蚀、高温可磨耗的封严涂层。

[0010] 所述的液固两相颗粒为空心颗粒和 / 或实心颗粒,其材料种类优选高温结构稳定的氧化铝基或氧化锆基陶瓷。

[0011] 所述的液固两相颗粒中的固相部分具有致密的局部组织结构。

[0012] 所述的液固两相颗粒碰撞并沉积在基体表面时因碰撞沉积位置的微观随机性而不断变化沉积角度。

[0013] 在液固两相颗粒沉积前,所述的基体表面温度超过液相凝固后可形成稳定结构的温度,颗粒结合区域的液相材料形成高温热稳定的相结构。

[0014] 所形成的封严涂层是由液固两相颗粒相变后的扁平颗粒以机械嵌合及微区冶金结合的方式层叠堆积而成的多孔层状结构。

[0015] 所述的颗粒为粒径为 $30 \sim 100 \mu\text{m}$ 的球形或近球形颗粒。

[0016] 所述的火焰喷涂是以氧气进行送粉,可燃气体流量可调,喷涂距离可调,火焰为微氧化焰,压缩空气流量为 $1000 \sim 1500\text{L/h}$;

[0017] 所述通过调节可燃气体的流量来调节封严涂层的孔隙率;所述通过调节喷涂的距离来调节封严涂层的表面形貌及孔隙率。

[0018] 所述的填充粉末为与喷涂沉积的材料相同或不同的陶瓷材料,优选具有优越耐冲蚀性能的氧化铝基或氧化锆基陶瓷材料。

[0019] 在基体进行沉积之前,先在基体表面制备一层结合层,优选 MCrAlY 高温合金材料,其中的 M 指 Ni 或 Co 或两者的合金,该 MCrAlY 高温合金材料种还可添加 Ta、Re 元素。

[0020] 与现有技术相比,本发明具有以下有益的技术效果:

[0021] 本发明提供的基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法,通过热喷涂的方法制备热喷涂涂层形成封严涂层。传统热喷涂所形成的热喷涂涂层是由扁平颗粒以机械嵌合及微区冶金结合的方式层叠堆积而成的多孔层状结构。这样的结构内应力水平较高。由于扁平粒子的厚度仅有微米量级,当颗粒冲蚀在涂层表面时,表层扁平粒子不仅以微切削方式进行冲蚀磨损,还承受颗粒纵向速度分量对扁平粒子的冲击作用,涂层内部的孔隙尤其是未结合界面区域将作为预制裂纹促使整个甚至几个扁平粒子的开裂和脱落,因而降低了涂层的耐冲蚀性能。

[0022] 本发明提供的基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法,以几十甚至一百微米数量级的球形或近球形颗粒堆积连接的结构,颗粒间的有限结合允许涂层具有可磨耗性;而直径为几十微米量级的较大尺寸颗粒,将具有显著的耐冲蚀特性,且其自身从颗粒结合处数层颗粒一起脱落的几率显著降低,因此具有优越的耐冲蚀特性;再次,通过工艺控制,使沉积的材料形成高温下稳定的相结构,由此消除亚稳相在高温服役时相变影响涂层寿命或性能甚至失效的问题。

附图说明

[0023] 图 1:本发明实施例 1 所涉及的原始粉末形貌照片,其中(a)为破碎的 Al_2O_3 粉末,(b)为经过等离子焰流球化处理后的 Al_2O_3 粉末。

[0024] 图 2:采用图 1 (b)的 Al_2O_3 粉末在乙炔流量为 300L/h 喷涂距离为 20mm 所制得的典型涂层形貌,(a)为表面形貌,(b)为多孔沉积层内浸渗粘结剂(胶)处理后的断面形貌。

[0025] 图3:采用图1(b)的 Al_2O_3 粉末在喷涂距离为40mm情况下制得的涂层整体断面组织,(a)乙炔流量为200L/h,(b)乙炔流量为300L/h,(c)乙炔流量为400L/h。

[0026] 图4:采用图1(b)的 Al_2O_3 粉末在乙炔流量400L/h火焰喷涂沉积的 Al_2O_3 涂层,(a)喷涂距离为20mm时的表面形貌,(b)喷涂距离为20mm时渗胶处理后的断面形貌;(c)喷涂距离为30mm时的表面形貌,(d)喷涂距离为30mm时渗胶处理后的断面形貌;(e)喷涂距离为40mm时的表面形貌,(f)喷涂距离为40mm时渗胶处理后的断面形貌;(g)喷涂距离为60mm时的表面形貌,(h)喷涂距离为60mm时渗胶处理后的断面形貌。

[0027] 图5:采用火焰喷涂YSZ粉末沉积的涂层情况,其中(a)为YSZ粉末,(b)为喷涂所得涂层的表面形貌,(c)为喷涂所得涂层的断面形貌。

具体实施方式

[0028] 本发明提供的基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法,以几十甚至一百微米数量级的球形或近球形颗粒堆积连接的结构,颗粒间的有限结合允许涂层具有可磨耗性;而较大尺寸颗粒,将具有显著的耐冲蚀特性。下面结合具体的实施例对本发明做进一步的详细说明,所述是对本发明的解释而不是限定。

[0029] 一种基于热喷涂制备耐冲蚀高温可磨耗封严涂层的方法,包括以下操作:

[0030] 1)将表面熔化的液固两相颗粒碰撞并沉积在基体表面,控制基体表面温度使液固两相颗粒中的液态部分凝固时形成具有高热稳定性的相结构,基体表面与液固两相颗粒中的固相颗粒之间形成有效结合;后续液固两相颗粒沉积到已经沉积的颗粒表面,逐渐累加形成具有孔隙结构的沉积层;

[0031] 2)将颗粒尺寸小于沉积层孔隙结构的填充粉末或该填充粉末的前驱体,通过固相或悬浮液的状态填充到沉积层的连通孔隙中,获得具有耐冲蚀、高温可磨耗的封严涂层。

[0032] 进一步,所述的液固两相颗粒为空心颗粒和/或实心颗粒。空心颗粒能够在涂层中形成大量闭孔隙,对于涂层的抗热震并缓解热应力,性能优于实心颗粒,液固两相颗粒的材料种类优选高温结构稳定的氧化铝基或氧化锆基陶瓷。

[0033] 所述的液固两相颗粒中的固相部分具有致密的局部组织结构,该结构组织可以起到抗冲蚀的作用。

[0034] 所述的液固两相颗粒碰撞并沉积在基体表面时因碰撞沉积位置的微观随机性而不断变化沉积角度,以减少颗粒的固态部分沉积时因遮蔽效应形成的尺寸大于粉末尺寸或其固相部分的大尺度连通孔隙,从而制得孔隙分布均匀的涂层,有利于叶片的保护,并且降低涂层大面积脱落的风险。

[0035] 在液固两相颗粒沉积前,所述的基体表面温度超过液相凝固后可形成稳定结构的温度,颗粒结合区域的液相材料形成高温热稳定的相结构。

[0036] 所形成的封严涂层是由液固两相颗粒相变后的扁平颗粒以机械嵌合及微区冶金结合的方式层叠堆积而成的多孔层状结构。

[0037] 所述的金属颗粒为粒径为30~100 μm 的球形或近球形颗粒。

[0038] 所述的火焰喷涂是以氧气进行送粉,可燃气体流量可调,喷涂距离可调,火焰为微氧化焰,压缩空气流量为1000~1500L/h。通过调节可燃气体的流量来调节封严涂层的孔隙率;通过调节喷涂的距离来调节封严涂层的表面形貌及孔隙率。

[0039] 所述的填充粉末为与喷涂沉积的材料相同或不同的陶瓷材料,优选具有优越耐冲蚀性能的氧化铝基或氧化锆基陶瓷材料;通过填充尺寸较小颗粒来减少通孔的存在,从而提高涂层的气密性,进一步有效提高发动机效率。

[0040] 在基体进行沉积之前,先在基体表面制备一层结合层,优选 MCrAlY 高温合金材料,其中的 M 指 Ni 或 Co 或两者的合金,该 MCrAlY 高温合金材料种还可添加 Ta、Re 元素。

[0041] 下面给出具体的实施例。

[0042] 实施例 1:

[0043] 以火焰喷涂 Al_2O_3 粉末为例,部分粉末中空,粉末粒径 $40\sim 50\mu m$,如图 1 所示。火焰枪通过机械手操作,走枪速度是 $30mm/s$ 。喷涂采用氧气进行送粉,乙炔流量为 $300L/h$,喷涂距离为 $20mm$,火焰为微氧化焰,压缩空气流量为 $1500L/h$ 。将 $\phi 20$ 的 Al_2O_3 基体片(将喷涂粉末压制后烧结而成)预热至 $1200^\circ C$ 的条件下进行喷涂,用红外测温仪(RAYRPM30L3U, Raytek, USA)监测基体前面温度。所得表面和断面形貌如图 2 所示,形成了 $\alpha-Al_2O_3$ 这种稳定的相结构。

[0044] 实施例 2:

[0045] 以火焰喷涂 Al_2O_3 粉末为例,部分粉末中空,粉末粒径 $40\sim 50\mu m$,如图 1 所示。火焰枪通过机械手操作,走枪速度是 $30mm/s$ 。喷涂采用氧气进行送粉,乙炔流量分别为 $200L/h$ 、 $300L/h$ 、 $400L/h$,喷涂距离为 $40mm$,火焰为微氧化焰,压缩空气流量为 $1500L/h$ 。断面形貌如图 3 所示。从图可以发现,随着乙炔流量的增高,涂层的开孔逐渐减少,符合要求的闭孔增加,并随着流量的增高,闭孔的大小减小。由此可知,可通过调节乙炔流量,获得所需孔隙率要求的具有良好使用性能的封严涂层。

[0046] 实施例 3:

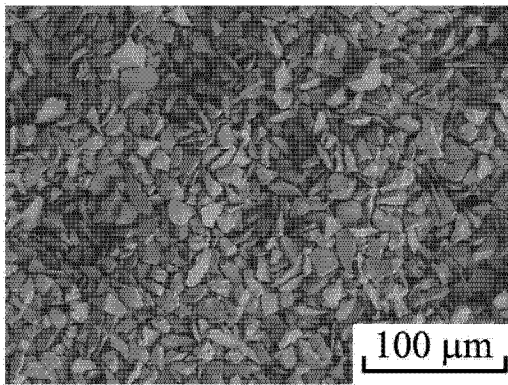
[0047] 以火焰喷涂 Al_2O_3 粉末为例,部分粉末中空,粉末粒径 $40\sim 50\mu m$,如图 1 所示。火焰枪通过机械手操作,走枪速度是 $30mm/s$ 。喷涂采用氧气进行送粉,乙炔流量为 $400L/h$,喷涂距离分别为 $20mm$ 、 $30mm$ 、 $40mm$ 、 $60mm$,火焰为微氧化焰,压缩空气流量为 $1500L/h$ 。所得表面形貌和断面形貌如图 4 所示。图 4(g)与图 4(h)所示涂层粒子完全熔化,涂层孔隙率低,过于致密,不符合封严涂层实际要求。由图可知,可通过喷涂距离的调控,获得具有不同表面形貌及内部孔隙率封严涂层。若进一步在本工艺中将沉积表面温度控制为 $1000^\circ C$ 以上,则颗粒结合处的氧化铝不是高温准稳相 $\gamma-Al_2O_3$,而是形成高温稳定的 $\alpha-Al_2O_3$,因避免了高温服役过程中相变带来的应力应变以及结合部位破坏等问题,可大大提高封严涂层的稳定性和寿命。

[0048] 实施例 4:

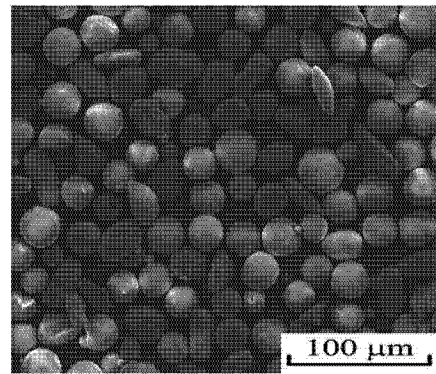
[0049] 以火焰喷涂 YSZ 粉末为例,粉末为中空,粉末粒径 $70\sim 100\mu m$,如图 5(a)所示。火焰枪通过机械手操作,走枪速度是 $30mm/s$ 。喷涂采用氧气进行送粉,乙炔流量为 $360L/h$,喷涂距离分别为 $40mm$,火焰为微氧化焰,压缩空气流量为 $1500L/h$ 。所得表面形貌和断面形貌如图 5(b)与图 5(c)所示。通过表面层熔化后液相与已沉积的空芯粒子形成了牢固的连接。涂层孔隙率除通过喷涂工艺调控外,可通过空芯粉末的空芯部分的体积在粉末中所占比例进一步调节,获得具有不同孔隙率的封严涂层。

[0050] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明,不能认定本发明的具体实施方式仅限于此,对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说,在不脱

离本发明构思的前提下,还可以做出若干简单的推演或替换,都应当视为属于本发明由所提交的权利要求书确定专利保护范围。

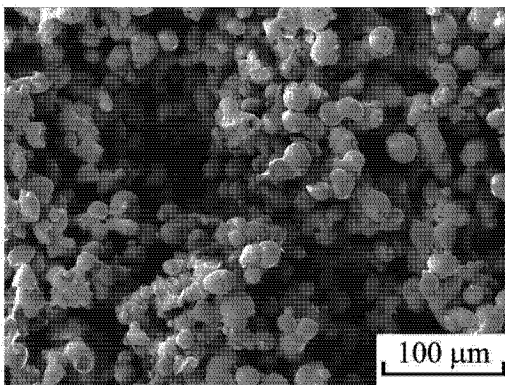


(a)

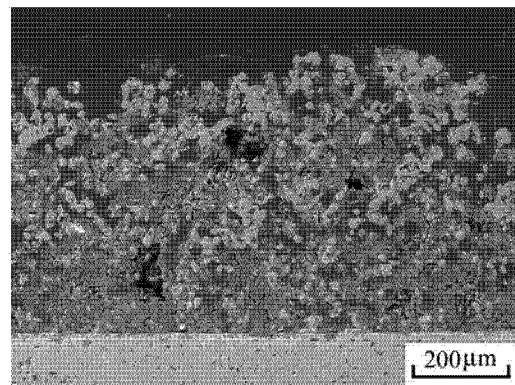


(b)

图 1

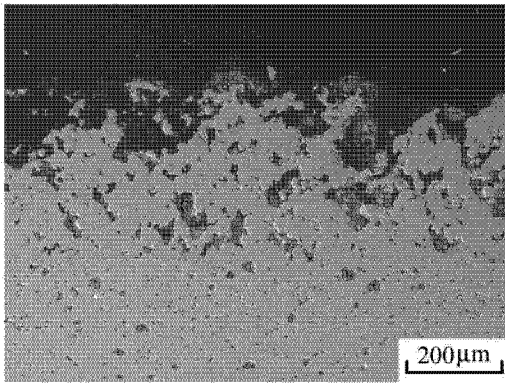


(a)

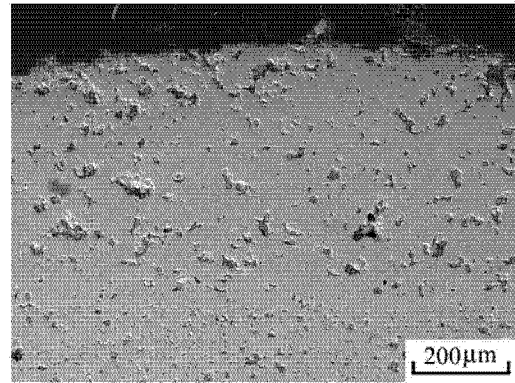


(b)

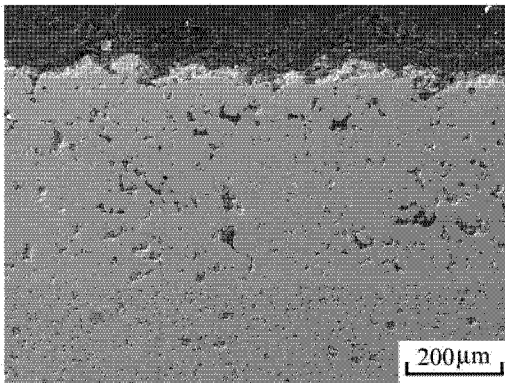
图 2



(a)



(b)



(c)

图 3

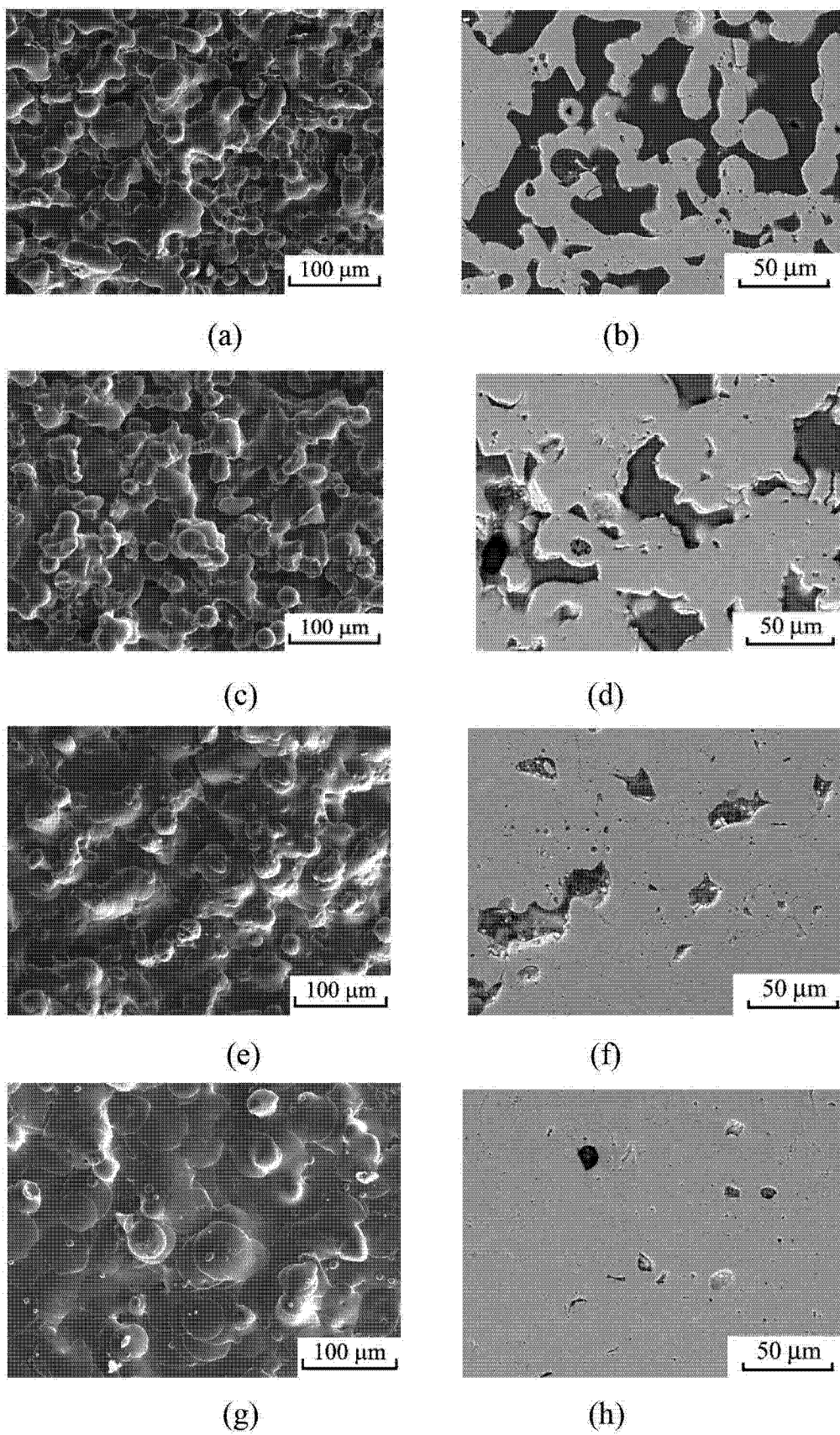


图 4

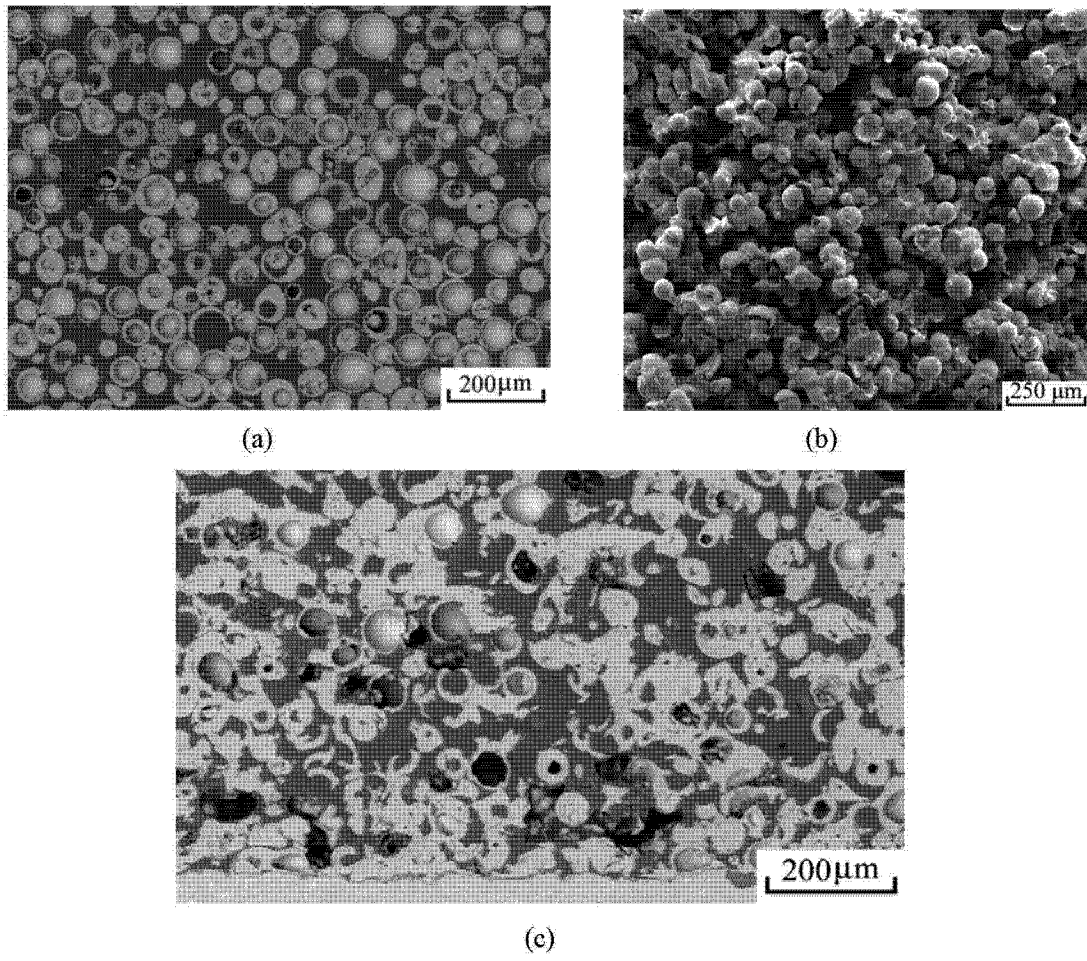


图 5