



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118600359 A

(43) 申请公布日 2024. 09. 06

(21) 申请号 202410290934.7

(22) 申请日 2024.03.14

(71) 申请人 苏州科技大学

地址 215009 江苏省苏州市吴中区长江路  
55号

(72) 发明人 秦艳芳

(74) 专利代理机构 北京中索知识产权代理有限公司 11640

专利代理师 郭浩鹏

(51) Int. Cl.

C23C 4/134 (2016.01)

C23C 4/02 (2006.01)

C23C 4/08 (2016.01)

C23C 4/10 (2016.01)

权利要求书1页 说明书6页 附图3页

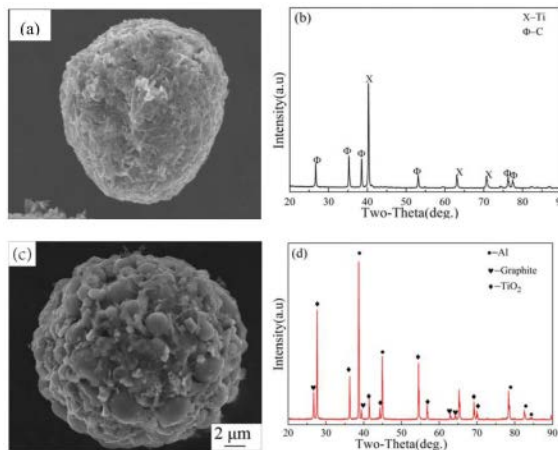
(54) 发明名称

一种纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开一种纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层及其制备方法,属于高能束表面处理及表面防护领域。所述方法以微米级石墨(或炭黑)粉、钛粉、TiO<sub>2</sub>粉及金属Al粉为原料,通过如下步骤:对基体试样表面除油喷砂处理;将喷雾造粒的Ti-C团聚粉和TiO<sub>2</sub>-Al-C团聚粉按一定比例机械混合,得到喷涂复合粉;采用等离子喷涂技术在已喷砂基体表面预喷60~100 μm的Ni/Al粘结层;将喷涂复合粉送入高温等离子焰流Ti、C间自蔓延反应,TiO<sub>2</sub>、Al及C间铝热反应及碳热还原反应,原位合成TiC及Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>产物且快速凝固结晶后得到结合良好、晶粒细小(亚微米甚至纳米级)、致密性高,厚度为300~450 μm的纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层。通过调节复合粉中Ti-C团聚粉和TiO<sub>2</sub>-Al-C团聚粉比例,尤其是团聚粉中Ti/C及TiO<sub>2</sub>/Al/C的比例,可基本实现喷涂过程反应产物的可控制备,实现复合涂层组织的调控,获得不同性能的复合涂层,扩宽TiC、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>及其复合材料或涂层

的应用范围。



1. 一种纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层及其制备方法,其特征为包括以下步骤:

步骤1、采用喷砂法对试样基体进行表面净化及粗糙化处理,所述基体材料为金属或非金属材料,所用砂粒为刚玉砂或碳化硅砂;

步骤2、以Ti粉和石墨(或炭黑)为原料,通过喷雾造粒制备38~74μm的Ti-C团聚粉,同理采用喷雾造粒制备40~74μm的TiO<sub>2</sub>-Al-C团聚粉,其中Ti粉粒度为10~48μm,石墨(或炭黑)粒度为1~5μm,Al粉粒度为5~10μm,TiO<sub>2</sub>粒度为10~30μm;

步骤3、通过机械搅拌将喷雾造粒Ti-C团聚粉及TiO<sub>2</sub>-Al-C团聚粉混合作为喷涂复合粉,其中TiO<sub>2</sub>-Al-C粉质量为Ti-C团聚粉质量的0~30%;

步骤4、采用等离子喷涂技术在喷砂基体表面预喷厚度为60~100μm的Ni/Al粘结层;

步骤5、采用送粉装置将上述机械混合复合粉送入高温等离子焰流,基于高温焰流引燃Ti、C间自蔓延反应,TiO<sub>2</sub>、Al及C间铝热反应及碳热还原反应,原位合成TiC及Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>产物并快速沉积到Ni/Al粘结层表面,凝固结晶后得到厚度为300~450μm的纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层;

其中喷涂参数设置为:工作电流400~600A,电弧电压50~75V,氩气流量20~50L/min,氢气流量5~15L/min,送粉速率2~5L/min,喷涂距离为80~120mm,氩气作为等离子气体和送粉气体,氢气作为燃烧气体。

2. 如权利要求1所述的一种纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层及其制备方法,其特征为所述的步骤1中基体为金属或非金属材料,其中金属材料为碳钢、合金钢、铝合金、钛合金等。

3. 如权利要求1所述的一种纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层及其制备方法,其特征为所述的步骤2中所用石墨粉质量为Ti粉质量的10~20%。

4. 如权利要求1所述的一种纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层及其制备方法,其特征为所述的步骤3中机械搅拌所用参数为:搅拌时间5~15min,搅拌速度20~40r/min。

5. 如权利要求1所述的一种纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层及其制备方法,其特征为所述的步骤3中喷雾造粒的TiO<sub>2</sub>-Al-C团聚粉中三者间比例为3:3:2或3:3:4。

6. 如权利要求1所述的一种纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层及其制备方法,其特征为所述的步骤4中所喷Ni-Al粘结层为90wt.%Ni-Al合金粉,粒度为40~70μm。

7. 如权利要求1所述的一种纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层及其制备方法,其特征为所述的步骤5中喷涂角度为90°,氩气压力为0.6~0.8MPa,氢气压力为0.6~0.8MPa。

## 一种纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于高能束表面处理领域,尤其涉及一种纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 随着工业领域技术的不断发展,零部件工作环境也变得更加恶劣,使得基体材料在摩擦磨损、腐蚀、高温等环境下不能满足使用要求。通过表面涂层技术可显著提高或赋予基体材料更好的耐磨、防腐、抗高温等性能。

[0003] 碳化钛(TiC)作为典型的过渡族金属碳化物,具有高硬度(28GPa以上)、高熔点(3140℃)、高弹性模量、稳定化学性质及良好的耐磨性、高温强度及耐烧蚀性等优良特性,作为涂层在保护部件免受磨损及腐蚀等方面具有显著优势。通过物理气相沉积和化学气相沉积制备的TiC薄膜(8~15μm)已成功应用于各种耐磨部件(如刀具、模具及机械零部件等),但其受沉积效率低和成本高的限制。厚涂层在高载荷、高速度和长服役时间等极端环境具有更好耐磨保护作用和综合性能。在众多涂层制备方法中,等离子喷涂技术因工艺简单、灵活方便、沉积效率高、可实现大面积厚涂层制备(超300μm,甚至达1mm)、可喷涂材料广且不影响基体组织等优点被大量应用和寄予厚望。

[0004] 通过直接等离子喷涂高熔点TiC粉制备TiC涂层时,易出现熔化不充分和易被氧化的问题,制备的TiC涂层致密度低、脆性大。另外,TiC作为共价键为主的陶瓷材料,固有脆性大。为此,单一TiC涂层极少应用。与单一TiC涂层相比,通过第二相(金属或陶瓷)制备TiC复合涂层,不仅可发挥TiC陶瓷的高强度和高硬度,同时改善其断裂韧性和致密度。但直接外加第二相制备TiC复合涂层时,涂层相界面易污染,降低致密度和结合强度,特别是外加纳米第二相时,不仅制备成本高,而且晶粒在高温下易长大和团聚,变形裂纹源。

[0005] 基于以上情况,本发明利用等离子喷涂技术,以廉价微米级石墨(或炭黑)、钛粉、TiO<sub>2</sub>及金属Al粉为原料,利用高温等离子焰流引燃原料间自蔓延反应、铝热反应及碳热还原反应,原位合成TiC及Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>产物,同时产物在高速焰流拖拽作用下,撞击基体表面后快速凝固结晶得到纳米晶,制备出综合力学性能优异(如断裂韧性好、致密度高、结合强度高),厚度超300μm的纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层。鉴于此,特提出本发明。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的在于针对单一TiC涂层脆性大、致密度不足,外加第二相污染涂层界面、恶化涂层性能等问题,提供一种纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层的制备方法。该方法通过喷雾造粒分别获得团聚的Ti-C粉和TiO<sub>2</sub>-Al-C粉,通过机械搅拌将两种不同比例团聚粉混合后,作为喷涂复合粉进行喷涂。本发明利用高温等离子焰流引燃铝热及碳热还原反应,原位合成TiC及Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>产物且快速凝固结晶后得到结合良好、晶粒细小、致密性高的纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层,充分发挥TiC及Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的优良特性,使复合涂层用于高速、高载荷条件下的磨损。

[0007] 为达到上述目的,本发明的技术方案是这样实现的:

- [0008] 一种纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层及其制备方法,包括以下步骤:
- [0009] 步骤1、对基体试样表面除油喷砂处理,所述基体材料为金属或陶瓷;
- [0010] 步骤2、以微米级Ti粉、石墨(或炭黑)为原料,通过高速离心雾化、干燥及收集得到Ti-C团聚粉,过筛后得到粒度38~74 $\mu$ m的Ti-C团聚粉,同理以微米级石墨(或炭黑)、TiO<sub>2</sub>及金属Al粉为原料,喷雾造粒制备40~74 $\mu$ m的TiO<sub>2</sub>-Al-C团聚粉;
- [0011] 步骤3、通过不同比例TiO<sub>2</sub>-Al-C团聚粉与Ti-C团聚粉机械搅拌混合,作为喷涂复合粉;
- [0012] 步骤4、在喷砂后基体表面等离子喷涂预喷Ni/Al自溶性合金粉,制备厚度为60~100 $\mu$ m的Ni/Al粘结层;
- [0013] 步骤5、利用送粉装置将上述喷涂复合粉送入等离子焰流,基于高温焰流Ti、C间自蔓延反应,TiO<sub>2</sub>、Al及C间铝热反应及碳热还原反应,原位合成TiC及Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>产物并快速沉积到Ni/Al粘结层表面,凝固结晶后得到厚度为300~450 $\mu$ m的纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层;
- [0014] 所述的步骤1中金属基体为碳钢、合金钢、铝合金、钛合金等。
- [0015] 所述的步骤1中基体粗糙化处理采用刚玉砂或碳化硅砂。
- [0016] 所述的步骤2中所用Ti粉粒度为10~48 $\mu$ m,石墨(或炭黑)粒度为1~5 $\mu$ m,Al粉粒度为5~10 $\mu$ m,TiO<sub>2</sub>粒度为10~30 $\mu$ m。
- [0017] 所述的步骤2中喷雾造粒过程中所用石墨(或炭黑)质量为Ti粉质量的10~20%。
- [0018] 所述的步骤2中喷雾造粒干燥、收集后,选用100~300目圆孔网筛过筛。
- [0019] 所述的步骤3中机械搅拌TiO<sub>2</sub>-Al-C团聚粉质量为Ti-C团聚粉质量的0~30%。
- [0020] 所述的步骤4中所喷自溶性合金粉为90wt.%Ni-Al合金粉,粒度为40~70 $\mu$ m。
- [0021] 所述的步骤5中喷涂所用角度为90°,喷涂功率为25~40kW,喷涂距离为80~120mm。
- [0022] 所述的步骤5中所用等离子气及送粉气均为氩气,流量分别为20~50L/min和2~5L/min,压力为0.6~0.8MPa。
- [0023] 所述的步骤5中氢气作为燃烧气体,流量为5~15L/min,压力为0.6~0.8MPa。
- [0024] 本发明通过上述过程制备的纳米TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层,充分利用了TiC及Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的高强度、高硬度及高温稳定性,且原位合成的TiC、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>在高速等离子焰流拖拽作用下,高速撞击基体表面后快速凝固结晶形成晶粒细小、界面洁净、致密度高、综合性能优异的超厚TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层。
- [0025] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:
- [0026] (1) 本发明通过喷雾造粒将粒度小、流动性差的Ti粉、石墨(炭黑)、TiO<sub>2</sub>粉及金属Al粉团聚成球形度高、流动性好,过筛后可直接用于等离子喷涂的Ti-C团聚粉及TiO<sub>2</sub>-Al-C团聚粉,避免了涂层制备技术对原材料形状、尺寸及种类的限制,扩大粉末应用领域;
- [0027] (2) 本发明中以价格低廉的石墨(炭黑)、钛粉、TiO<sub>2</sub>粉及金属Al粉为原料,通过高温焰流引燃Ti、C间反应,TiO<sub>2</sub>、Al及C间铝热反应及碳热还原反应,原位合成TiC及Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>产物。产物撞击粘结层后快速凝固结晶得到晶粒细小(亚微米甚至纳米级)、界面结晶、分布均匀、致密度高的TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>复合涂层,可解决外加陶瓷相制备复合涂层的界面污染、分散性差、结合强度低等问题并极大程度降低制备成本,缩短碳化物材料制备周期;
- [0028] (3) 原位反应形成的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与TiC同步沉积在粘结层表面,快速凝固过程中两者相互

约束,从而获得细小的 $Al_2O_3$ 颗粒弥散分布在TiC颗粒周围,有效填补了等离子喷涂涂层的层片间隙及孔洞,使得涂层致密度、结合强度大幅提升,获得综合性能优异的复合涂层;

[0029] (4) 由于 $Al_2O_3$ 具有优异的高温稳定性及抗氧化性能,作为增强相分布在TiC周围时,不仅可提高涂层的耐热性,同时作为硬质相可缓解摩擦磨损过程中的应力集中,减少裂纹萌生,提高涂层的耐磨性能;

[0030] (5) 本发明通过过程制备的复合涂层以TiC及 $Al_2O_3$ 为主相,少量 $TiO_x$ 及残余Al相,工艺简单,制备周期短,成本低,获得耐磨、耐热的涂层。与等离子喷涂制备单一TiC涂层相比,该方法制备的TiC- $Al_2O_3$ 复合涂层孔隙率由11.9%下降到7.5%;与单一TiC涂层相比,在相同摩擦实验条件下涂层的磨损率由 $6 \times 10^{-3} mm^3$ 下降到 $2.7 \times 10^{-3} mm^3$ ,摩擦系数由0.54下降到0.43,即磨损率和摩擦系数分别下降了55%及20%左右,耐磨性显著提高;

[0031] (6) 等离子喷涂过程中,Ti-C团聚粉及 $TiO_2$ -Al-C团聚粉作为独立反应单元,经送粉装置送入高温焰流引燃Ti、C间反应, $TiO_2$ 、Al及C间铝热反应及碳热还原反应后,均产生大量热量叠加等离子焰流可相互促进自蔓延反应的进行,利于获得反应充分、致密性高和结合良好的复合涂层;

[0032] (7) 本发明所提供的等离子喷涂TiC- $Al_2O_3$ 复合涂层具有高硬高强、耐磨耐热及防腐的优异性能,适合应用于磨损、腐蚀等工况环境的工件表面,例如机械加工的刀具和钻头,汽车及航天航空制造的注塑模具等。

## 附图说明

[0033] 图1是喷雾造粒Ti-C团聚粉、 $TiO_2$ -Al-C团聚粉SEM及团聚粉的XRD图谱;

[0034] 图2是等离子喷涂TiC涂层及TiC- $Al_2O_3$ 复合涂层的XRD图谱;

[0035] 图3是等离子喷涂TiC- $Al_2O_3$ 复合涂层的表面及断口SEM图;

[0036] 图4是等离子喷涂TiC涂层及TiC- $Al_2O_3$ 复合涂层显微硬度及断裂韧性图;

[0037] 图5是等离子喷涂TiC涂层及TiC- $Al_2O_3$ 复合涂层摩擦系数及磨损率图;

## 具体实施方式

[0038] 下面结合附图实施例对本发明作进一步详细描述,需要指出的是,以下所述实施例旨在便于对本发明的理解,而对其不起任何限定作用。

[0039] 本实施例中,Ti粉粒度为 $10 \sim 48 \mu m$ ,石墨(或炭黑)粒度为 $1 \sim 5 \mu m$ ,Al粉粒度为 $5 \sim 10 \mu m$ , $TiO_2$ 粒度为 $10 \sim 30 \mu m$ ,喷雾造粒Ti-C团聚粉粒度为 $38 \sim 74 \mu m$ ,石墨(或炭黑)质量为Ti粉质量的 $10 \sim 20\%$ ,喷雾造粒 $TiO_2$ -Al-C团聚粉粒度为 $40 \sim 74 \mu m$ , $TiO_2$ 、Al及C间比例为 $3:2:3$ 或 $3:4:3$ ;将不同比例的两种团聚粉机械搅拌混合作为喷涂复合粉,采用等离子喷涂沉积后涂层的主相为TiC和 $Al_2O_3$ ,包含少量 $TiO_x$ 及残余Al相。

[0040] 实施例1:

[0041] 本实施例中,Ti粉粒度为 $18 \mu m$ ,石墨粉粒度为 $3 \mu m$ ,Al粉粒度为 $5 \mu m$ 及 $TiO_2$ 粉粒度为 $10 \mu m$ ,喷雾造粒得到两种团聚粉,按一定比例机械混合通过等离子喷涂工艺制备TiC- $Al_2O_3$ 复合涂层,涂层主相为TiC和 $Al_2O_3$ 。细小弥散的 $Al_2O_3$ 分布在TiC涂层层片间隙、孔洞或裂纹等区域,极大程度降低涂层的孔隙率,获得致密复合涂层,同时抑制TiC晶粒长大得到晶粒细小(亚微米甚至纳米级)复合涂层。

[0042] 该涂层的制备方法如下:

[0043] (1) 把除油后45#钢基体试样放入TPS-1型气压式喷砂机中,进行喷砂处理得到粗糙度为Ra为2.5~13.0/ $\mu\text{m}$ 的基体表面;超声振荡去除砂砾干燥获得表面洁净且粗糙的45#钢基体试样,以增加基体与涂层间结合力。

[0044] (2) 电子天平称取200g钛粉、40g石墨粉,喷雾造粒得到粒度为38~74 $\mu\text{m}$ 的Ti-C团聚粉,其中石墨粉质量为Ti粉质量的20%;同理称取90g的 $\text{TiO}_2$ 粉、90g的Al粉及60g石墨粉,喷雾造粒后得到粒度为40~74 $\mu\text{m}$ 的 $\text{TiO}_2$ -Al-C团聚粉,将10g的 $\text{TiO}_2$ -Al-C团聚粉与100g的Ti-C团聚粉机械混合作为喷涂复合粉。

[0045] (3) 喷涂涂层之前,在粗化45#钢基体表面预喷涂60~100 $\mu\text{m}$ 厚的Ni-Al粘结层,其中90wt.%Ni-Al粉末粒度为40~70 $\mu\text{m}$ 。Ni-Al粘结层可缓解涂层与基体间膨胀系数差异引起的热应力,提高复合涂层与基体间结合强度。

[0046] (4) 利用送粉装置将机械混合后喷涂复合粉送入等离子焰流,基于高温焰流引燃引燃Ti、C间自蔓延反应, $\text{TiO}_2$ 、Al及C间铝热反应及碳热还原反应,原位合成TiC及 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 产物并快速同步沉积到Ni/Al粘结层表面,凝固结晶后得到厚度为300~450 $\mu\text{m}$ 的纳米TiC- $\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层,具体表现为:将基体固定在喷涂工作台上,调节工作电流550A,电弧电压65V,送粉速率为3.5L/min,调整喷涂距离为100mm,喷涂角度为90°,氩气流量45L/min,氩气压力0.7MPa,氢气流量6L/min,压力0.6MPa。

[0047] 图1是上述喷雾干燥Ti-C团聚粉 $\text{TiO}_2$ -Al-C团聚粉SEM及团聚粉的XRD图谱。可以看出喷雾造粒后团聚粉球形度高、流动性高,粒度满足等离子喷涂要求,机械混合后直接喷涂。

[0048] 图2是上述制得的TiC涂层及TiC- $\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层XRD图谱。由图可见,该方法制备的涂层主相为TiC和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,包含少量 $\text{TiO}_x$ 及残余Al相。

[0049] 图3是上述制得的TiC- $\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层表面及断口SEM图。由图可见,涂层具有典型层状结构,凝固结晶后涂层晶粒细小(亚微米甚至纳米级),细小的 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 弥散分布在层间孔洞、裂纹及间隙处,极大程度降低涂层孔隙率,获得结构致密复合涂层。

[0050] 对上述制得的TiC涂层及TiC- $\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层进行显微硬度及显微压痕测试试验,所加载荷为100g,加载15s。通过测定压痕尺寸及裂纹尺寸,得到显微硬度,利用裂纹扩展形成评估涂层断裂韧性,结果如图4所示。与单一TiC涂层相比,虽然该方法制备的复合涂层显微硬度略低于TiC涂层(仅下降3.4%),但该复合涂层的断裂韧性提高29%。

[0051] 对上述制得的TiC涂层及TiC- $\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层进行摩擦磨损试验。采用销盘式滑动摩擦方式,上摩擦副为直径为15mm,莫氏硬度为9.2的碳化硅陶瓷球,下摩擦副为TiC涂层或TiC- $\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层的实验块,载荷为40N,摩擦时间为30min内,摩擦系数及磨损率如图5所示。由图可见,与单一TiC涂层相比,在相同摩擦实验条件下,该方法制备的复合涂层磨损率由 $6 \times 10^{-3} \text{mm}^3$ 下降到 $2.7 \times 10^{-3} \text{mm}^3$ ,摩擦系数由0.54下降到0.43,即磨损率和摩擦系数分别下降了55%及20%左右,耐磨性显著提高。

[0052] 实施例2:

[0053] 本实施例中,Ti粉粒度为18 $\mu\text{m}$ ,石墨粉粒度为3 $\mu\text{m}$ ,电子天平称量200g钛粉和40g石墨粉,喷雾造粒得到粒度为38~74 $\mu\text{m}$ 的Ti-C团聚粉,其中石墨粉质量为Ti粉质量的20%;同理称取粒度为3 $\mu\text{m}$ 的石墨粉90g,粒度为5 $\mu\text{m}$ 的Al粉60g及粒度为10 $\mu\text{m}$ 的 $\text{TiO}_2$ 粉90g,喷雾造粒

得到粒度为40~74 $\mu\text{m}$ 的 $\text{TiO}_2\text{-Al-C}$ 团聚粉,随后将100g的Ti-C团聚粉与20g的 $\text{TiO}_2\text{-Al-C}$ 团聚粉机械搅拌混合,作为喷涂复合粉。通过等离子喷涂沉积后得到主相为TiC和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的复合涂层

[0054] 涂层的制备方法如下:

[0055] 利用送粉装置将包含喷涂复合粉送入等离子焰流,喷涂到粘结层表面得到TiC- $\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层,其中 $\text{TiO}_2\text{-Al-C}$ 团聚粉质量为Ti-C团聚粉质量的10%,其他步骤与实例1相同。

[0056] 上述制得的TiC- $\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层XRD图谱类似图2所示,主相为TiC和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,包含少量 $\text{TiO}_x$ 及残余Al相,且余相衍射峰高度有所增加。

[0057] 上述制得的TiC- $\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层的表面及断口SEM图类似图3所示,涂层仍具有典型层状结构, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 弥散分布在TiC层片间隙、孔洞、裂纹等区域,但涂层孔隙率有所增加。

[0058] 对上述制得TiC- $\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层进行如实施例1中显微硬度测定及显微压痕测试。测试的显微硬度及断裂韧性类似图4,从中可以看出,涂层显微硬度显著降低(下降16%),断裂韧性提高。

[0059] 对上述制得TiC- $\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层进行如实施例1中摩擦磨损测试。测试的摩擦系数及磨损率类似图5,以实例1的摩擦系数(0.4~0.45)相比,该涂层的摩擦系数提升为0.5~0.55,磨损率有所提高。

[0060] 实施例3:

[0061] 本实施例中,Ti粉粒度为48 $\mu\text{m}$ ,石墨粉粒度为5 $\mu\text{m}$ ,电子天平称取200g钛粉和40g石墨粉,喷雾造粒得到粒度为38~74 $\mu\text{m}$ 的Ti-C团聚粉,其中石墨粉质量为Ti粉质量的10%,同理称取粒度为5 $\mu\text{m}$ 的石墨粉90g,粒度为10 $\mu\text{m}$ 的Al粉60g及粒度为30 $\mu\text{m}$ 的 $\text{TiO}_2$ 粉90g,喷雾造粒得到粒度为40~74 $\mu\text{m}$ 的 $\text{TiO}_2\text{-Al-C}$ 团聚粉,随后将100g的Ti-C团聚粉与20g的 $\text{TiO}_2\text{-Al-C}$ 团聚粉机械搅拌混合,作为喷涂复合粉。通过等离子喷涂沉积后得到主相为TiC和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的复合涂层

[0062] 涂层的制备方法如下:

[0063] 利用送粉装置将搅拌混合的喷涂复合粉送入等离子焰流,喷涂到粘结层表面得到TiC- $\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层,其中喷涂复合粉中 $\text{TiO}_2\text{-Al-C}$ 团聚粉质量占Ti-C团聚粉质量的20%,Ti粉粒度为48 $\mu\text{m}$ ,石墨粉粒度为5 $\mu\text{m}$ ,Al粉粒度为10 $\mu\text{m}$ , $\text{TiO}_2$ 粉粒度为30 $\mu\text{m}$ ,其他步骤与实例1相同。

[0064] 上述制得的TiC- $\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层的XRD图谱类似图2所示,主相TiC和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,但 $\text{TiO}_x$ 的衍射峰的数量和高度明显增加。

[0065] 上述制得的TiC- $\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层的表面及断口SEM图类似图3所示,涂层仍具有典型层状结构, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 弥散分布在TiC层片间隙、孔洞、裂纹等区域,但涂层孔隙率大幅增加(达15%以上)。

[0066] 对上述制得的TiC- $\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层进行如实施例1中显微硬度及显微压痕测试。测试的显微硬度及断裂韧性类似图4,从中可看出涂层硬度下降24%以上,断裂韧性提高32%。

[0067] 对上述制得的TiC- $\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层进行如实施例1中摩擦磨损测试。测试的摩擦系数和磨损率类似图5,从中看出涂层摩擦系数略降低,但磨损率大幅增加。

[0068] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,并不以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

[0069] 本发明未尽事宜为公知技术。



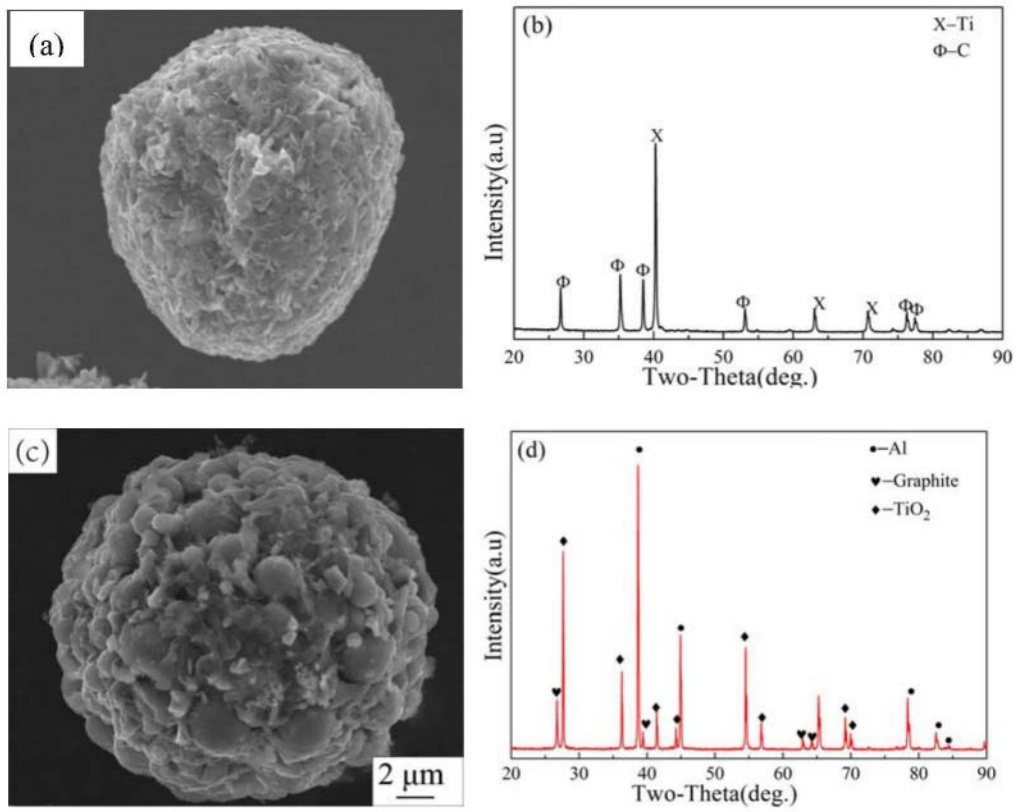


图1

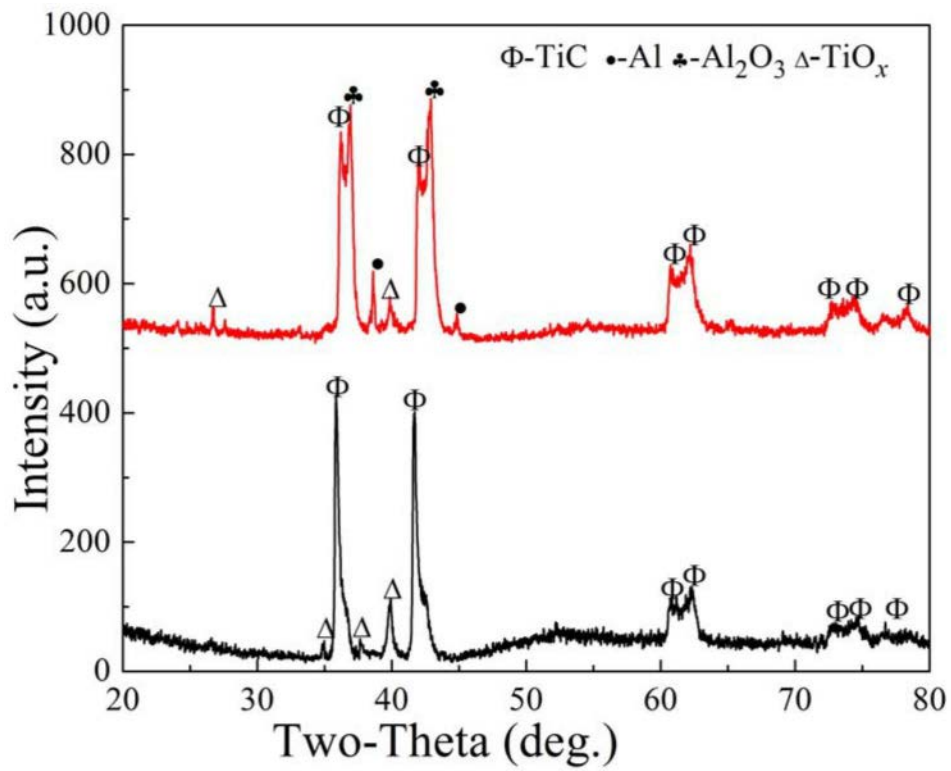


图2

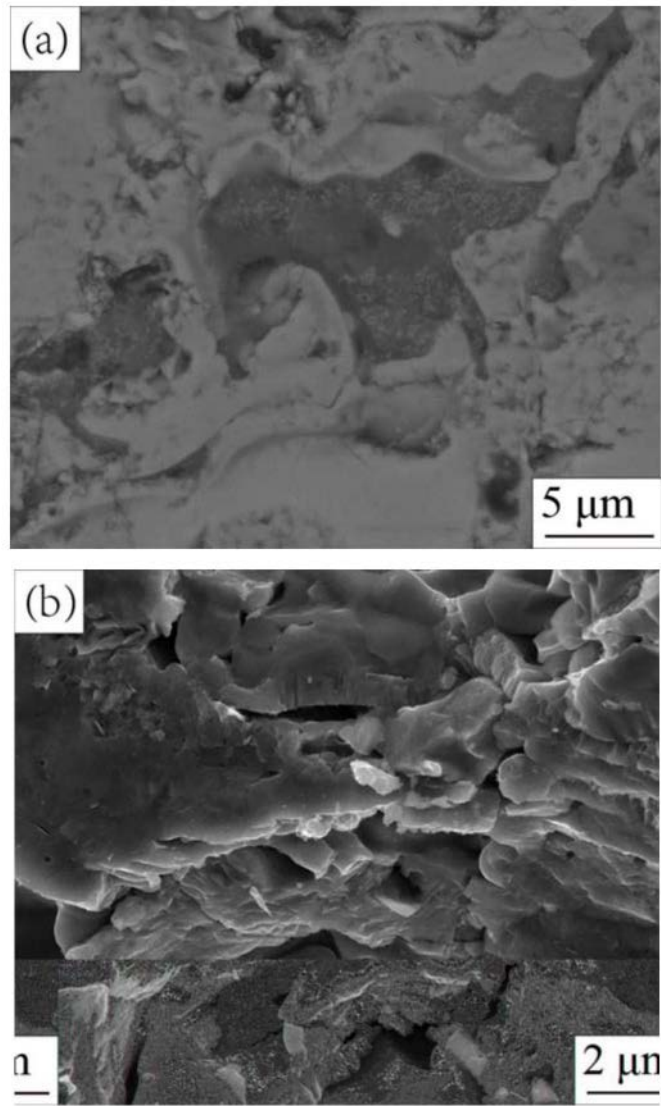


图3

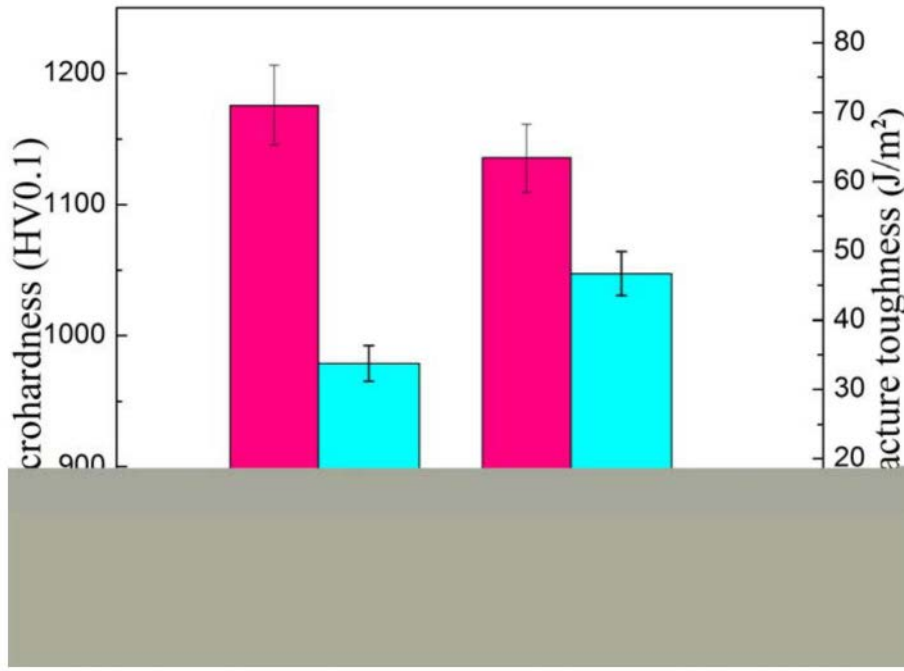


图4

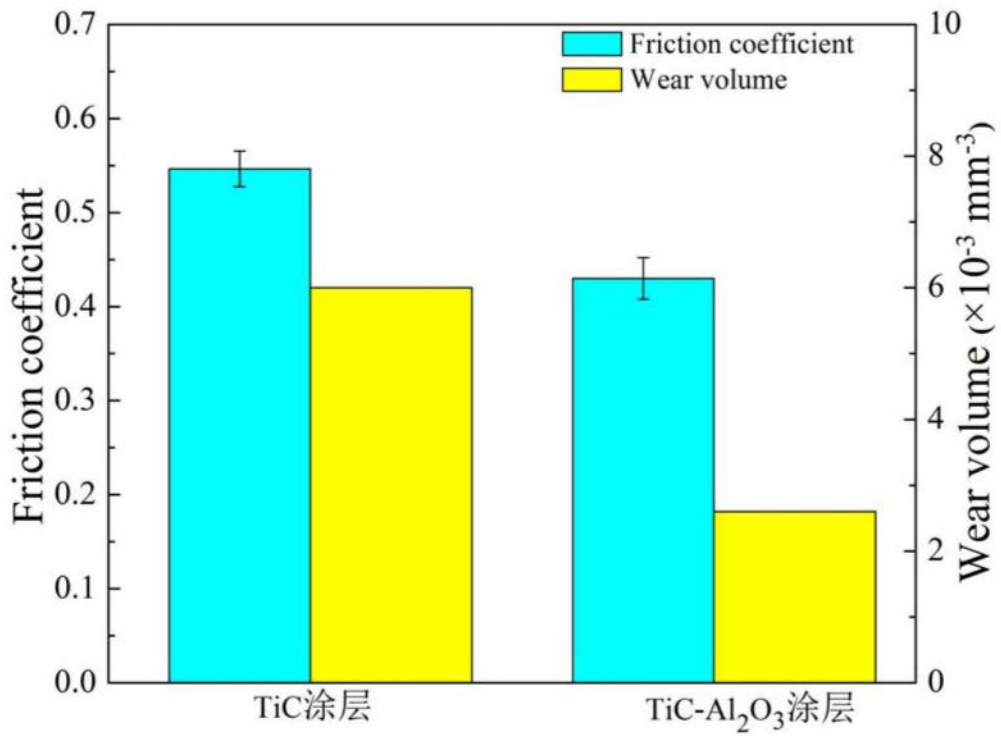


图5