



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106756759 B

(45)授权公告日 2019.07.12

(21)申请号 201611102517.7

(56)对比文件

(22)申请日 2016.12.05

CN 102812148 A, 2012.12.05,

(65)同一申请的已公布的文献号

US 2960421, 1960.11.15,

申请公布号 CN 106756759 A

审查员 肖峰

(43)申请公布日 2017.05.31

(73)专利权人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72)发明人 王博 顾剑锋 李文政 徐骏

(74)专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

代理人 赵志远

(51)Int.Cl.

C23C 8/26(2006.01)

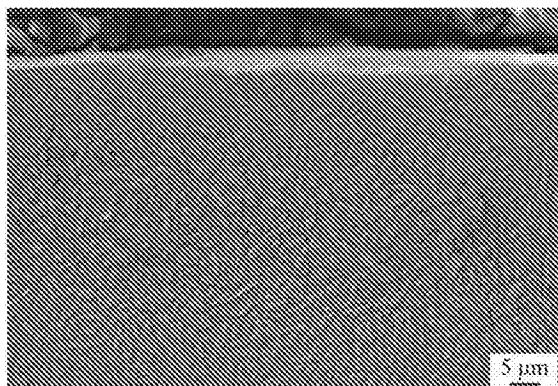
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种铁基合金表面高强韧渗氮层及其制备方法

(57)摘要

B 本发明涉及一种铁基合金表面高强韧渗氮层及其制备方法,制备时,将铁基合金样品的表面进行打磨、抛光后,装入气体渗氮炉,通入气态氮源,进行气体渗氮处理,将氮势控制在化合物层形成的氮势临界值以下,待气体渗氮处理结束后,进行炉冷或油冷,即制得无化合物层的渗氮层;对制得的无化合物层的渗氮层进行表面喷丸强化处理,即制得铁基合金表面高强韧渗氮层。与现有技术相比,本发明方法制得的渗氮层的硬度可与常规气体渗氮化合物层硬度相当(甚至更高),且韧性明显优于化合物层,同时,本发明方法可有效克服常规气体渗氮零件在重载、剪切应力工况下服役时的脆性剥落缺陷,拓宽气体渗氮工艺的应用范围。



1. 一种铁基合金表面高强韧渗氮层的制备方法, 其特征在于, 该方法具体包括以下步骤:

步骤(1): 将铁基合金样品的表面进行打磨、抛光后, 装入气体渗氮炉, 通入气态氮源, 进行气体渗氮处理, 将氮势控制在化合物层形成的氮势临界值以下, 待气体渗氮处理结束后, 进行炉冷或油冷, 即制得无化合物层的渗氮层;

步骤(2): 对步骤(1)制得的无化合物层的渗氮层进行表面喷丸强化处理, 即制得所述的铁基合金表面高强韧渗氮层;

步骤(1)所述的气体渗氮处理的条件为: 控制温度为500~580℃, 渗氮处理的时间为5~20h;

步骤(1)所述的氮势控制为0.15~0.22。

2. 根据权利要求1所述的一种铁基合金表面高强韧渗氮层的制备方法, 其特征在于, 步骤(1)所述的气态氮源为氨气。

3. 根据权利要求1所述的一种铁基合金表面高强韧渗氮层的制备方法, 其特征在于, 步骤(2)所述的表面喷丸强化处理的条件为: 弹丸直径为0.6~3mm, 喷丸强度为0.10~0.40A mm, 覆盖率为100~300%。

4. 采用权利要求1至3任一项所述的方法制备而成的铁基合金表面高强韧渗氮层。

5. 根据权利要求4所述的铁基合金表面高强韧渗氮层, 其特征在于, 所述的渗氮层为经表面塑性变形处理的无化合物层的气体渗氮层。

6. 根据权利要求4所述的铁基合金表面高强韧渗氮层, 其特征在于, 所述的表面塑性变形处理为表面喷丸强化处理。

7. 根据权利要求4所述的铁基合金表面高强韧渗氮层, 其特征在于, 所述的无化合物层的气体渗氮层为无连续氮化物形成的表面渗氮层。

## 一种铁基合金表面高强韧渗氮层及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于金属材料的表面改性技术领域,涉及一种铁基合金表面高强韧渗氮层及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 气体渗氮是工业生产中应用最为广泛的表面改性技术之一,它可以有效提高钢铁材料表面的硬度、耐磨性及耐腐蚀性能等。通常情况下,采用气体渗氮工艺可于零件表面获得由最外化合物层( $\epsilon$ -Fe<sub>2-3</sub>N+ $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N型氮化物)和次表层氮扩散区组成的复合渗氮改性层。然而,化合物层通常因内应力高导致韧性较差,尤其是在重载磨损、高剪切应力及热/力冲击工况下易发生破碎、剥落,表现出极短的服役寿命。为此,应用于上述特殊场合的气体渗氮零件在使用前,通常将其表面化合物层去除,以韧性和承载能力更优良的次表层扩散区(无化合物渗氮层)直接服役。尽管该方法确实可提高渗氮表层韧性,并降低脆性剥落风险,但这种无化合物渗氮表层(即氮扩散层)的硬度(强度)和常规轻载耐磨性又显著低于化合物层。

[0003] 显然,常规气体渗氮工艺无法同时提高零件表层的强度(硬度)和韧性,即气体渗氮所得化合物表层的硬度高,但韧性差,而无化合物渗氮表层(扩散表层)尽管韧性优良,但硬度低。目前,传统的气体渗氮强化机制中存在硬度与韧性的倒置关系,气体渗氮工艺的进一步发展和大规模应用仍存在一定的局限性。

[0004] 申请号为201310668391.X的中国发明专利公开了一种金属材料高强韧化表面改性方法。该方法是将金属材料表面进行打磨、抛光、清洗和干燥预处理后,将预处理的材料表面进行激光喷丸处理,而后将激光喷丸处理的表面进行磁场渗氮,将渗氮后的表面进行磁场淬火,在将磁场淬火后的表面再进行低能激光喷丸处理,最后将低能激光喷丸处理的表面再次进行磁场淬火,获得平整的高强韧表面。与上述专利相比,本发明的目的在于综合改善渗氮层的强韧性,但在技术手段及实施方面则有明显差异。不同于上述对比专利,本发明方法重点关注可控气体渗氮和喷丸强化处理工艺的自身优点并将其合理结合,即首先控制渗氮强化层的脆性,而后提高强度,在中间工艺并不引入表层脆性,实现最终的表面强韧化,工艺操作简单且可控性强。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的就是为了克服上述现有技术存在的缺陷而提供一种可综合改善渗氮层的强度及韧性,能有效提高渗氮零件服役寿命的铁基合金表面高强韧渗氮层及其制备方法。

[0006] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0007] 一种铁基合金表面高强韧渗氮层的制备方法,该方法具体包括以下步骤:

[0008] 步骤(1):将铁基合金样品的表面进行打磨、抛光后,装入气体渗氮炉,通入气态氮源,进行气体渗氮处理,将氮势控制在化合物层形成的氮势临界值以下,待气体渗氮处理结

束后,进行炉冷或油冷,即制得无化合物层的渗氮层;

[0009] 步骤(2):对步骤(1)制得的无化合物层的渗氮层进行表面喷丸强化处理,即制得所述的铁基合金表面高强韧渗氮层。

[0010] 步骤(1)所述的气体渗氮处理的条件为:控制温度为500~580℃,渗氮处理的时间为5~20h。

[0011] 步骤(1)所述的氮势控制为0.15~0.22。

[0012] 步骤(1)所述的气态氮源为氨气。

[0013] 步骤(1)所述的气体渗氮处理过程中,可以通过调节氨气分解率及流量,获得稳定的氮势并将其控制在化合物层形成的氮势临界值以下。

[0014] 步骤(2)所述的表面喷丸强化处理的条件为:弹丸直径为0.6~3mm,喷丸强度为0.10~0.40A,覆盖率为100~300%。

[0015] 采用上述方法制备而成的铁基合金表面高强韧渗氮层,该渗氮层为经表面塑性变形处理的无化合物层的气体渗氮层。

[0016] 所述的表面塑性变形处理为表面喷丸强化处理。

[0017] 所述的无化合物层的气体渗氮层为无连续氮化物形成的表面渗氮层。

[0018] 实际上,目前气体渗氮与喷丸处理相结合的工艺主要集中在预喷丸后气体渗氮复合工艺,其主要是依靠喷丸处理为工件表面引入位错,提供氮原子的扩散通道,起到加速渗氮的目的。鉴于常规气体渗氮化合物层的高脆性,一般气体渗氮后无法进行进一步的变形处理,因此本发明提出选取可控气体渗氮为初始工艺,意在控制其渗氮层的脆性,也为后续的表面喷丸形变处理提供必要条件。

[0019] 本发明方法可综合改善渗氮层的强度和韧性,尤其克服重载磨损条件下常规气体渗氮表层的脆性剥落现象,优化渗氮表层热疲劳裂纹的萌生与扩展行为,提高渗氮零件的服役寿命,扩大气体渗氮工艺的应用范围。

[0020] 与现有技术相比,本发明具有以下特点:

[0021] 1)整个气体渗氮过程中,采用可控气体渗氮工艺抑制渗氮表层化合物的出现,不仅控制了渗氮表层脆性,也为下一阶段的表面变形处理提供了先决条件,该阶段可获得具备一定厚度的韧性渗氮层;

[0022] 2)采用表面喷丸强化处理可在不损失硬化层整体厚度的前提下,于渗氮件表层引入位错及残余压应力等,进而能有效补偿第一阶段所得渗氮层硬度不足的缺陷;

[0023] 3)本发明方法打破了单一气体渗氮强化导致的“硬度-韧性”倒置关系,尤其能有效克服常规气体渗氮表层的重载磨损剥落现象,优化热疲劳过程裂纹的萌生与扩展行为,同时为关键零部件表面高强韧改性层的制备提供技术依据,拓宽气体渗氮工艺的应用范围;

[0024] 4)采用本发明方法所得渗氮表层的硬度可与常规气体渗氮化合物层硬度相当(甚至更高),且韧性明显优于化合物层。

## 附图说明

[0025] 图1为实施例1制备样品的横截面组织形貌SEM图;

[0026] 图2为实施例2中常规气体渗氮化合物层经喷丸处理后的横截面组织形貌SEM图;

- [0027] 图3为实施例2中本发明方法制备的样品表层的重载磨损形貌SEM图；  
[0028] 图4为实施例2中常规气体渗氮化合物表层的重载磨损形貌SEM图。

## 具体实施方式

[0029] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。

[0030] 实施例1：

[0031] H 13钢经调质处理后加工成 $80 \times 30 \times 10\text{mm}$ 薄板样品,经打磨、抛光、清洗后悬挂于自制的气体渗氮炉中,升温至 $550^{\circ}\text{C}$ ,在 $\text{NH}_3$ 为介质,氮势为0.20水平下气体渗氮处理10h,后在炉内 $\text{N}_2$ 保护条件下快速冷却。而后选取0.8mm直径的弹丸,在0.15A/mm强度和200%覆盖率参数下对渗氮处理后的样品进行表面喷丸强化。

[0032] 本发明工艺所得表面形变渗氮层组织平整,无明显的裂纹出现(见图1)。

[0033] 实施例2：

[0034] 将38CrMoAl钢加工成 $70 \times 30 \times 12\text{mm}$ 的板状样品置于自制的气体渗氮炉中,在 $\text{NH}_3$ 为介质, $530^{\circ}\text{C}$ 温度,0.22和2.0氮势水平下气体渗氮处理20h,而后在 $\text{N}_2$ 保护条件下快速冷却。而后选取3mm直径的弹丸,在0.40A/mm强度和300%覆盖率参数下对上述两种渗氮工艺处理后的样品进行表面喷丸强化,发现常规气体渗氮层(氮势2.0)层经喷丸处理后出现明显的纵向裂纹,部分已沿化合物层贯穿开裂(见图2)。

[0035] 采用销-盘式摩擦磨损试验机,对两组样品在300g载荷下磨损30min,其表面磨损形貌差异较大。本实施例所得表面形变渗氮层较2.0氮势水平下制备的常规气体渗氮层具备更为优异的强度和韧性搭配,在法向载荷较高的磨损工况下并未观察到明显的磨粒磨损特征(见图3),而在常规气体渗氮化合物层的磨损形貌中发现明显的脆性剥落现象(见图4),其磨损性能较本发明制备样品明显较差,这跟化合物层内应力高、脆性大,在高载荷条件下易破碎密切相关。

[0036] 实施例3：

[0037] 本实施例铁基合金表面高强韧渗氮层的制备方法,具体包括以下步骤:

[0038] 步骤(1):将铁基合金样品的表面进行打磨、抛光后,装入气体渗氮炉,通入气态氮源,进行气体渗氮处理,将氮势控制在化合物层形成的氮势临界值以下,待气体渗氮处理结束后,进行炉冷或油冷,即制得无化合物层的渗氮层;

[0039] 步骤(2):对步骤(1)制得的无化合物层的渗氮层进行表面喷丸强化处理,即制得所述的铁基合金表面高强韧渗氮层。

[0040] 其中,步骤(1)中气体渗氮处理的条件为:控制温度为 $500^{\circ}\text{C}$ ,渗氮处理的时间为20h。氮势控制为0.15。气态氮源为氨气。气体渗氮处理过程中,可以调节氨气分解率(85%以上)及流量,获得稳定的氮势并将其控制在化合物层形成的氮势临界值以下

[0041] 步骤(2)中,表面喷丸强化处理的条件为:弹丸直径为0.6mm,喷丸强度为0.10A/mm,覆盖率为100%。

[0042] 本实施例制得的铁基合金表面高强韧渗氮层,该渗氮层为经表面塑性变形处理的无化合物层的气体渗氮层。表面塑性变形处理为表面喷丸强化处理。无化合物层的气体渗氮层为无连续氮化物形成的表面渗氮层。

[0043] 实施例4:

[0044] 本实施例铁基合金表面高强韧渗氮层的制备方法,具体包括以下步骤:

[0045] 步骤(1):将铁基合金样品的表面进行打磨、抛光后,装入气体渗氮炉,通入气态氮源,进行气体渗氮处理,将氮势控制在化合物层形成的氮势临界值以下,待气体渗氮处理结束后,进行炉冷或油冷,即制得无化合物层的渗氮层;

[0046] 步骤(2):对步骤(1)制得的无化合物层的渗氮层进行表面喷丸强化处理,即制得所述的铁基合金表面高强韧渗氮层。

[0047] 其中,步骤(1)中气体渗氮处理的条件为:控制温度为580℃,渗氮处理的时间为5h。氮势控制为0.22。气态氮源为氨气。气体渗氮处理过程中,可以调节氨气分解率(85%以上)及流量,获得稳定的氮势并将其控制在化合物层形成的氮势临界值以下

[0048] 步骤(2)中,表面喷丸强化处理的条件为:弹丸直径为3mm,喷丸强度为0.40Amm,覆盖率为300%。

[0049] 本实施例制得的铁基合金表面高强韧渗氮层,该渗氮层为经表面塑性变形处理的无化合物层的气体渗氮层。表面塑性变形处理为表面喷丸强化处理。无化合物层的气体渗氮层为无连续氮化物形成的表面渗氮层。

[0050] 实施例5:

[0051] 本实施例铁基合金表面高强韧渗氮层的制备方法,具体包括以下步骤:

[0052] 步骤(1):将铁基合金样品的表面进行打磨、抛光后,装入气体渗氮炉,通入气态氮源,进行气体渗氮处理,将氮势控制在化合物层形成的氮势临界值以下,待气体渗氮处理结束后,进行炉冷或油冷,即制得无化合物层的渗氮层;

[0053] 步骤(2):对步骤(1)制得的无化合物层的渗氮层进行表面喷丸强化处理,即制得所述的铁基合金表面高强韧渗氮层。

[0054] 其中,步骤(1)中气体渗氮处理的条件为:控制温度为550℃,渗氮处理的时间为10h。氮势控制为0.20。气态氮源为氨气。气体渗氮处理过程中,可以调节氨气分解率(85%以上)及流量,获得稳定的氮势并将其控制在化合物层形成的氮势临界值以下

[0055] 步骤(2)中,表面喷丸强化处理的条件为:弹丸直径为2mm,喷丸强度为0.30Amm,覆盖率为200%。

[0056] 本实施例制得的铁基合金表面高强韧渗氮层,该渗氮层为经表面塑性变形处理的无化合物层的气体渗氮层。表面塑性变形处理为表面喷丸强化处理。无化合物层的气体渗氮层为无连续氮化物形成的表面渗氮层。

[0057] 上述的对实施例的描述是为便于该技术领域的普通技术人员能理解和使用发明。熟悉本领域技术的人员显然可以容易地对这些实施例做出各种修改,并把在此说明的一般原理应用到其他实施例中而不必经过创造性的劳动。因此,本发明不限于上述实施例,本领域技术人员根据本发明的揭示,不脱离本发明范畴所做出的改进和修改都应该在本发明的保护范围之内。

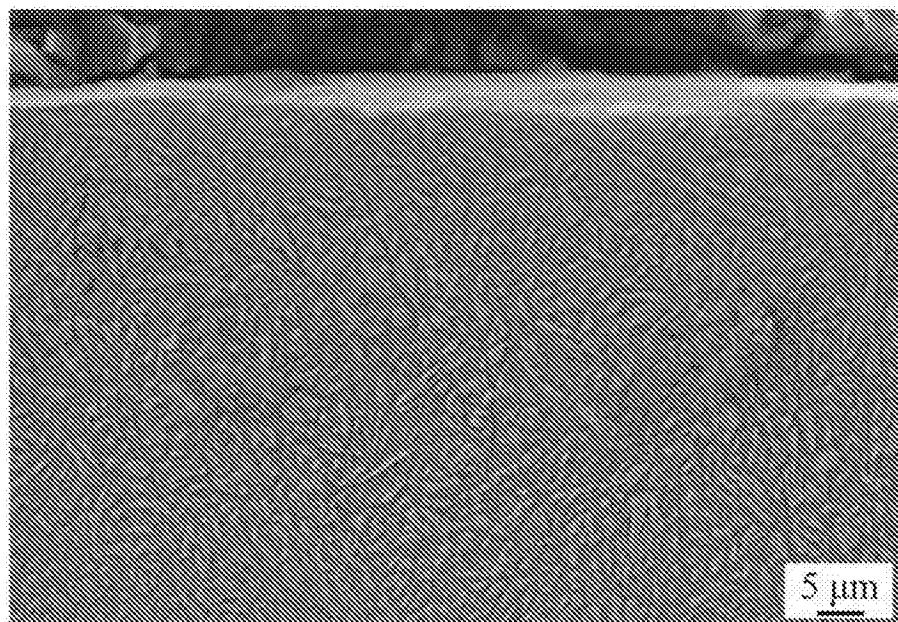


图1

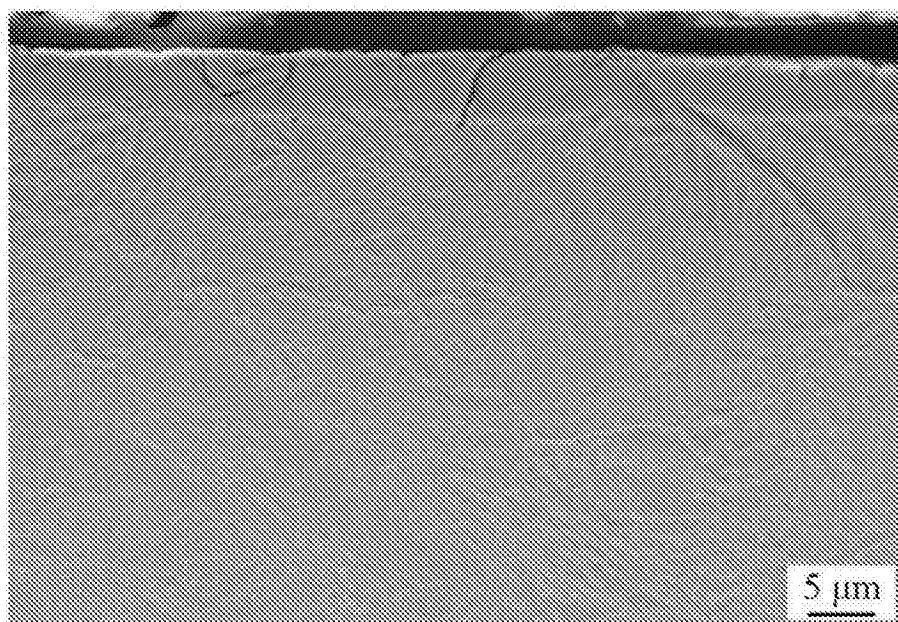


图2

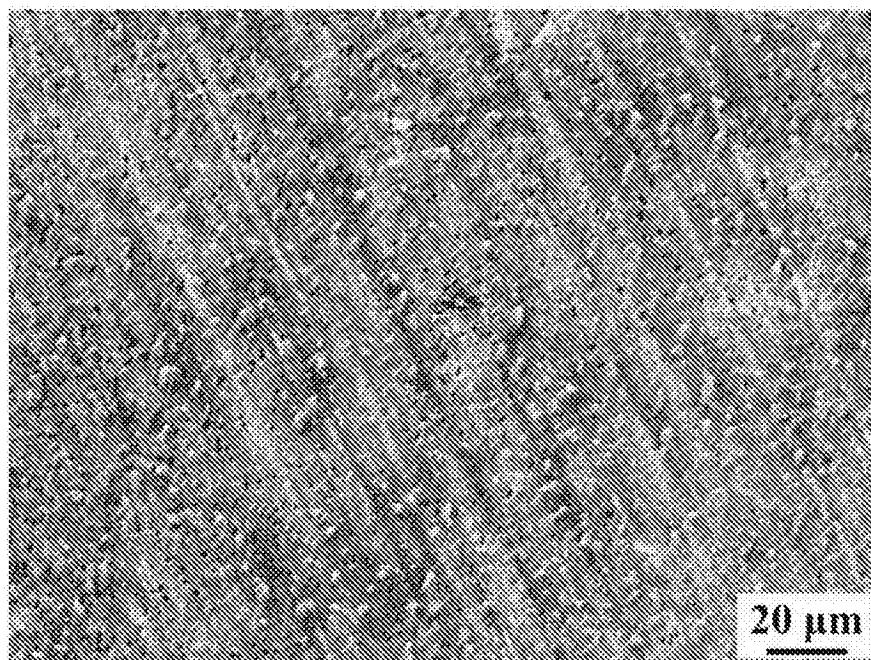


图3

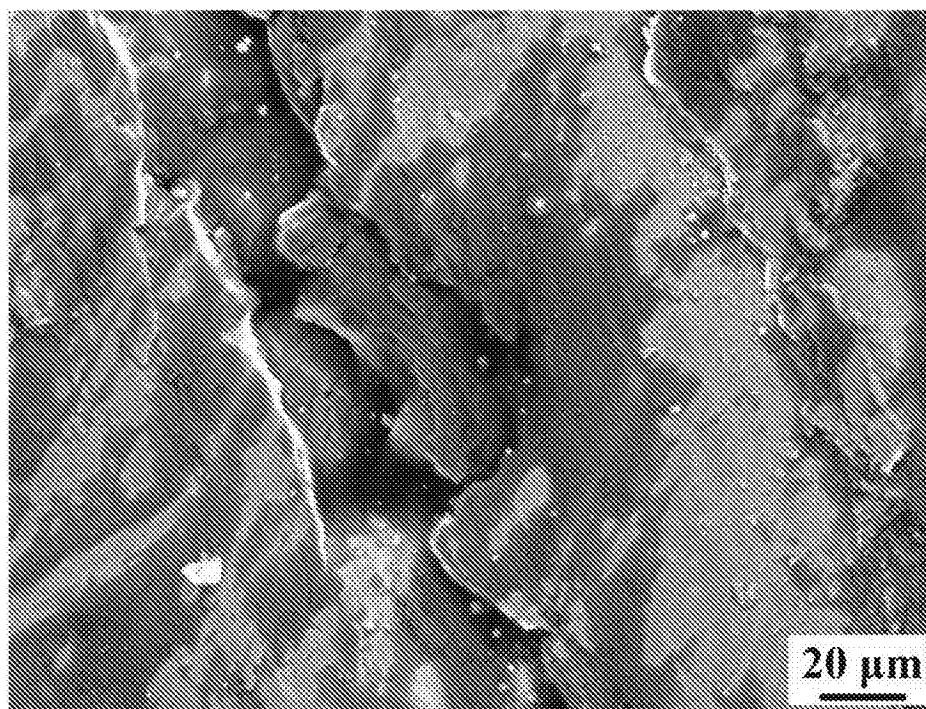


图4