(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108067596 A
(43)申请公布日 2018.05.25

(21)申请号 201710909037.X

(22)申请日 2017.09.29

(71)申请人 东北大学
地址 110169 辽宁省沈阳市浑南区创新路195号

(72)发明人 刘国怀 王昭东 徐莽 付天亮 李勇 李家栋 韩毅 王国栋

(74)专利代理机构 沈阳优普达知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 21234
代理人 张志伟

(51)Int.Cl.
B22D 11/06(2006.01)

权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法

(57)摘要

本发明属于材料冶金技术领域，具体涉及一种薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法。该方法通过真空感应炉熔炼获得TiAl合金熔液，熔体经溜槽通道流入由两个反向旋转的结晶辊和侧封板组成的熔池内，对熔炼室、溜槽通道和浇注水口进行持续气氛保护，控制熔池上表面合金熔体过热度为20～40℃，熔体与结晶辊辊面的接触弧长度100～250mm，熔体与结晶辊辊面的接触时间0.3～0.4s，使熔体经结晶辊凝固和轧制变形并导出，获得薄带铸轧TiAl合金薄板坯。板坯出轧辊后立即进行缓冷处理，保温温度为800～1050℃并随炉冷却至室温，获得具有均匀等轴晶组织的TiAl合金板坯。本发明通过控制铸轧工艺参数和板坯的缓冷过程，实现具有均匀细小等轴组织、无中心偏析的高质量TiAl合金板坯。

CN 108067596 A

1.一种薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法，其特征在于，该方法通过真空感应炉熔炼获得TiAl合金熔液，熔体经溜槽通道流入由两个反向旋转的结晶辊和侧封板组成的熔池内，对熔炼室、溜槽通道和浇注水口进行持续气氛保护，控制熔池上表面合金熔体过热度为20～40℃，熔体与结晶辊辊面的接触弧长度100～250mm，熔体与结晶辊辊面的接触时间0.3～0.4s，使熔体经结晶辊凝固和轧制变形并导出，获得薄带铸轧TiAl合金薄板坯；板坯出轧辊后立即进行缓冷处理，保温温度为800～1050℃并缓冷至室温，最终获得具有均匀等轴晶组织的TiAl合金板坯。

2.根据权利要求1所述的薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法，其特征在于，按照以下步骤进行：

步骤1，通过真空感应炉熔炼获得TiAl合金熔液；其中，TiAl合金中组成成分的原子百分比为：44～48%Al，其余为Ti和不可避免的杂质；

步骤2，薄带铸轧TiAl合金板坯制备：

采用铍铜轧辊的薄带铸轧机进行TiAl合金板坯制备，合金熔体经溜槽通道流入两个反向旋转的结晶辊和侧封板构成的熔池内部，同时对熔炼室、溜槽通道和浇注水口进行持续气氛保护，控制熔池上表面合金熔体过热度为20～40℃，熔体与结晶辊辊面的接触弧长度100～250mm，熔体与结晶辊辊面的接触时间0.3～0.4s，使熔体经结晶辊凝固和轧制变形并导出，形成TiAl合金板坯；

步骤3，薄带铸轧板坯出轧辊后立即进行缓冷处理，保温温度为800～1050℃，缓慢冷却至室温，获得沿厚度方向无明显中心偏析，具有均匀等轴晶组织的TiAl合金板坯。

3.根据权利要求2所述的薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法，其特征在于，所述的步骤1中，采用氧化钙坩埚在真空感应炉中进行熔炼，采用真空自耗电弧熔炼TiAl合金铸锭作为母材。

4.根据权利要求2所述的薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法，其特征在于：所述的步骤2中，所用保护气氛为氩气。

5.根据权利要求2所述的薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法，其特征在于，所述的步骤2中，熔体过热度通过熔炼过程中TiAl合金的熔液温度控制。

6.根据权利要求2所述的薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法，其特征在于：所述的步骤2中，结晶辊的直径为400～600mm，熔池内熔体与结晶辊辊面的接触弧长度通过对熔池内液面高度进行控制，使熔池内钛铝合金熔体与结晶辊辊面的接触弧长度为100～250mm。

7.根据权利要求2所述的薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法，其特征在于：所述的步骤2中，TiAl合金熔体与结晶辊辊面的接触时间通过调节结晶辊的转速进行控制，结晶辊的转速为0.25～0.6m/s。

8.根据权利要求2所述的薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法，其特征在于：所述的步骤2中，将溜槽通道和铸轧水口进行气氛保护，并向中频真空感应炉内通入保护气氛，使熔炼炉内的压力为常压并存在保护气氛保护，打开插板阀联通熔炼坩埚、溜槽通道和铸轧水口后进行铸轧板材浇注。

9.根据权利要求2所述的薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法，其特征在于：所述的步骤3中，铸轧板坯在移出铸轧辊后快速放入预先加热的保温炉内随炉冷却，或者通过

保温石棉进行覆盖保温。

10.根据权利要求1或2所述的薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法，其特征在于：TiAl合金均匀组织板坯的厚度为2～5mm，宽度为100-200mm。

一种薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法

技术领域：

[0001] 本发明属于材料冶金技术领域，具体涉及一种薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法。

背景技术：

[0002] TiAl合金是一种新型的轻质耐高温结构材料，具有密度低、高温强度高、良好的抗氧化性和高温抗蠕变性能等优点，是航空航天用高温结构部件的理想材料。然而，TiAl合金室温塑性低，热加工困难，大尺寸板材难以制备，严重限制该合金的开发和应用。目前，TiAl合金板材主要通过包套热轧和等温轧制的方式进行制备，相关方法可以解决TiAl合金薄板在热变形过程中高温散热快、裂纹萌生及扩展等问题。但是，受限于包套热轧的结构稳定性以及热轧工艺的复杂性，导致板材成品率较低，工业尺寸板材较难获得。同时等温热轧设备价格昂贵，所制备板材容易存在粗大的层片组织，导致成形性能较差。

[0003] 除此之外，双辊薄带铸轧技术能够有效实现大规格TiAl合金薄板的制备。该技术是将液态金属直接注入由两个铸轧辊和侧封板构成的熔池内，并随铸轧辊的旋转"铸造及轧制"出半成品坯或成品材薄带板材的一种新工艺。其近终成形的特点可以实现难变形金属大尺寸板材的制备，同时该过程具有亚快速凝固的特点，可以显著细化铸态组织，有效改善力学性能。然而，在双辊铸轧制备TiAl合金板坯过程中，其冷却特点易导致晶粒对称生长，在板坯厚度方向出现柱状晶、等轴晶的不均匀分布，同时该过程中合金元素不断排向板材中心易导致中心偏析带。这种不均匀组织和偏析严重降低板材的力学性能和成形性能，需要对板坯进行后续热机械处理，工艺复杂且组织性能难以精确控制。同时，薄带铸轧的快速冷却以及不均匀组织特征容易导致板材存在较大的内应力，引起板材开裂和内部缺陷，严重恶化TiAl合金板材的制备及其表面质量。因此，如何通过薄带铸轧技术获得TiAl合金均匀组织并控制溶质偏析已成为高质量板坯制备的关键，目前尚无相关方法进行解决。

发明内容：

[0004] 针对双辊薄带铸轧TiAl合金板坯存在组织不均匀和中心偏析等问题，本发明提供一种薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法，通过控制铸轧工艺参数和板坯的缓冷过程，实现具有均匀细小等轴组织、无中心偏析的高质量TiAl合金板坯。

[0005] 本发明的技术方案如下：

[0006] 一种薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法，该方法通过真空感应炉熔炼获得TiAl合金熔液，熔体经溜槽通道流入由两个反向旋转的结晶辊和侧封板组成的熔池内，对熔炼室、溜槽通道和浇注水口进行持续气氛保护，控制熔池上表面合金熔体过热度为20～40℃，熔体与结晶辊辊面的接触弧长度100～250mm，熔体与结晶辊辊面的接触时间0.3～0.4s，使熔体经结晶辊凝固和轧制变形并导出，获得薄带铸轧TiAl合金薄板坯；板坯出轧辊后立即进行缓冷处理，保温温度为800～1050℃并缓冷至室温，最终获得具有均匀等轴晶组织的TiAl合金板坯。

[0007] 所述的薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法，按照以下步骤进行：

[0008] 步骤1，通过真空感应炉熔炼获得TiAl合金熔液；其中，TiAl合金中组成成分的原子百分比为：44～48％Al，其余为Ti和不可避免的杂质；

[0009] 步骤2，薄带铸轧TiAl合金板坯制备：

[0010] 采用铍铜轧辊的薄带铸轧机进行TiAl合金板坯制备，合金熔体经溜槽通道流入两个反向旋转的结晶辊和侧封板构成的熔池内部，同时对熔炼室、溜槽通道和浇注水口进行持续气氛保护，控制熔池上表面合金熔体过热度为20～40℃，熔体与结晶辊辊面的接触弧长度100～250mm，熔体与结晶辊辊面的接触时间0.3～0.4s，使熔体经结晶辊凝固和轧制变形并导出，形成TiAl合金板坯；

[0011] 步骤3，薄带铸轧板坯出轧辊后立即进行缓冷处理，保温温度为800～1050℃，缓慢冷却至室温，获得沿厚度方向无明显中心偏析，具有均匀等轴晶组织的TiAl合金板坯。

[0012] 所述的步骤1中，采用氧化钙坩埚在真空感应炉中进行熔炼，采用真空自耗电弧熔炼TiAl合金铸锭作为母材。

[0013] 所述的步骤2中，所用保护气氛为氩气。

[0014] 所述的步骤2中，熔体过热度通过熔炼过程中TiAl合金的熔液温度控制。

[0015] 所述的步骤2中，结晶辊的直径为400～600mm，熔池内熔体与结晶辊辊面的接触弧长度通过对熔池内液面高度进行控制，使熔池内钛铝合金熔体与结晶辊辊面的接触弧长度为100～250mm。

[0016] 所述的步骤2中，TiAl合金熔体与结晶辊辊面的接触时间通过调节结晶辊的转速进行控制，结晶辊的转速为0.25～0.6m/s。

[0017] 所述的步骤2中，将溜槽通道和铸轧水口进行气氛保护，并向中频真空感应炉内通入保护气氛，使熔炼炉内的压力为常压并存在保护气氛保护，打开插板阀联通熔炼坩埚、溜槽通道和铸轧水口后进行铸轧板材浇注。

[0018] 所述的步骤3中，铸轧板坯在移出铸轧辊后快速放入预先加热的保温炉内随炉冷却，或者通过保温石棉进行覆盖保温。

[0019] 所述的薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法，TiAl合金均匀组织板坯的厚度为2～5mm，宽度为100-200mm。

[0020] 本发明优点及有益效果是：

[0021] 1、本发明通过对熔体过热度、轧制和冷却过程协同作用以及带坯缓冷过程的有效控制，改善薄带铸轧过程中的凝固和塑性变形条件，避免不均匀组织的形成并促进溶质扩散，为实现厚度方向上均匀细小的等轴晶组织以及溶质偏析控制提供有利条件。

[0022] 2、本发明生产工艺简单、稳定，可有效地用于双辊薄带连铸TiAl合金高质量板坯的制备。

附图说明

[0023] 图1是本发明进行TiAl合金板坯制备的双辊薄带铸轧原理示意图；其中：1：真空感应熔炼炉；2：氩气保护装置；3：溜槽通道；4：结晶辊；5：薄板坯。

[0024] 图2是本发明实例1中制备的TiAl合金薄板坯组织图：(a)边部；(b)心部。

[0025] 图3是本发明实例2中制备的TiAl合金薄板坯组织图：(a)边部；(b)心部。

具体实施方式

[0026] 如图1所示，本发明进行TiAl合金板坯制备的双辊薄带铸轧结构如下：真空感应熔炼炉1底部开口与溜槽通道3连通，溜槽通道3顶部与氩气保护装置2连通，溜槽通道3底部出口两侧设置结晶辊4，真空感应熔炼炉1中的TiAl合金熔液经溜槽通道3、结晶辊4后形成薄板坯5。

[0027] 在具体实施过程中，本发明薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法，具体步骤如下：

[0028] 步骤1，通过真空感应炉熔炼获得TiAl合金熔液；其中，TiAl合金成分的原子百分比为：Al：44～48％，其余为Ti和不可避免的杂质。

[0029] 步骤1中，采用氧化钙坩埚在真空感应炉中进行熔炼，原始TiAl合金母材铸锭为经过真空自耗电弧熔炼三次获得，经线切割合适尺寸后装炉进行熔炼。

[0030] 步骤2，铸轧TiAl合金板坯制备：

[0031] 采用铍铜轧辊的薄带铸轧机进行TiAl合金板坯制备。合金熔体经溜槽通道流入两个反向旋转的结晶辊和侧封板构成的熔池内部，对熔炼室、溜槽通道和浇注水口持续进行气氛保护，控制熔池上表面合金熔体过热度、熔体与结晶辊辊面的接触弧长度、熔体与结晶辊辊面的接触时间三个工艺参数，使熔体经结晶辊凝固并导出，形成TiAl合金薄带坯，工艺参数控制如下：

[0032] 熔池上表面熔体过热度为20～40℃；

[0033] 熔池内熔体与结晶辊辊面的接触弧长度100～250mm；

[0034] 熔体与结晶辊辊面的接触时间0.3～0.4s；

[0035] 工艺参数控制说明如下：

[0036] (1)熔池上表面熔体过热度：熔池上表面熔体过热度通过调节冶炼炉中熔体的出炉温度控制。使熔池上表面熔体过热度达到20～40℃。熔体从冶炼炉中流出温度与上表面熔体过热度关系为：

[0037] $\Delta T = T - T_r - T_s$

[0038] 其中，ΔT为过热度，T为熔体流出温度，T_r为熔体流出至熔池过程中温降，T_s为合金凝固温度，单位均为℃。

[0039] (2)熔池内熔体与结晶辊辊面的接触弧长度

[0040] 铸轧结晶辊直径为500mm，熔池内熔体与结晶辊辊面的接触弧长度通过调整熔池高度进行控制，使得熔池内熔体与结晶辊辊面的接触弧长度为100～250mm。熔池高度与接触弧长度关系式为：

[0041] $$L = \sqrt{2r^2 - 2r\sqrt{r^2 - H^2}}$$

[0042] 其中，H为熔池高度，r为结晶辊半径，L为接触弧长度，单位均为m。

[0043] (3)熔池内熔体与结晶辊辊面的接触时间通过调节结晶辊的转速进行控制，使熔体与结晶辊辊面的接触时间03～04s。结晶辊转速与熔体和结晶辊辊面的接触时间的数据关系为：

[0044] $t = L/v$

[0045] 其中，t为接触时间，单位s；L为接触弧长度，单位m；v为结晶辊辊速，单位m/s。

[0046] 步骤2中，保护气氛为氩气。

[0047] 步骤2中，浇注过程如下：将溜槽通道和铸轧水口进行气氛保护，然后向中频真空感应炉内通入保护气氛，使熔炼炉内的压力为常压并存在保护气氛进行保护，打开插板阀联通熔炼坩埚、溜槽通道和铸轧水口后进行铸轧板材浇注。

[0048] 步骤2中，铸轧过程的熔体过热度通过熔炼过程中TiAl合金的熔体温度控制。熔体温度过高会发生熔体泄漏事故，无法形成板坯，同时快速凝固条件下容易在厚度方向上产生柱状晶组织以及中心偏析现象，熔体温度过低会发生流动不足和卡辊事故。

[0049] 步骤2中，熔池内液面高度直接影响熔体与结晶辊辊面的接触弧长度，进而影响板材内部组织以及板材表面质量。

[0050] 步骤2中，TiAl合金熔体与结晶辊辊面的接触时间可通过调节结晶辊的转速进行控制。结晶辊转速过快会使熔体与结晶辊辊面的接触时间过短造成熔体泄漏事故以及轧制力不足现象，转速过慢会使熔体与结晶辊辊面的接触时间过长而造成轧制力过大以及卡辊事故。

[0051] 步骤3，缓冷处理：

[0052] 薄带铸轧TiAl合金板坯出轧辊后直接进行缓冷处理，保温温度为800～1050℃，然后缓慢冷却至室温。

[0053] 步骤3中，铸轧板坯在移出铸轧辊后，快速放入预先加热的保温炉内并随炉冷却，或者通过保温石棉进行覆盖保温，防止板材出现裂纹缺陷，实现均匀组织控制并促进溶质扩散。

[0054] 下面，通过实施例对本发明进一步详细阐述。

[0055] 实施例1

[0056] 本实施例中，薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法为：通过真空感应炉熔炼获得TiAl合金熔液，其中合金成分为Ti-44Al(原子百分比)。向熔炼室内通入氩气使其为常压，并对熔炼室、溜槽通道及铸轧水口进行持续氩气保护。合金熔体经溜槽通道流入两个反向旋转的结晶辊和侧封板构成的熔池内部，控制熔池上表面合金熔体过热度、熔体与结晶辊辊面的接触弧长度、熔体与结晶辊辊面的接触时间三个工艺参数，使熔体经结晶辊凝固和轧制变形并导出，工艺参数控制如下：

[0057] 熔池上表面熔体过热度为30℃；

[0058] 熔池内熔体与结晶辊辊面的接触弧长度100mm；

[0059] 熔体与结晶辊辊面的接触时间0.4s；

[0060] 铸轧板坯出轧辊后，直接放入加热炉中，加热温度为800℃，然后随炉缓慢冷却至室温。

[0061] 本发明制备的双辊薄带连铸生产TiAl合金板坯厚度为3mm，宽度为200mm。

[0062] 本发明实例中制备的TiAl合金薄板坯组织见图2：(a)边部组织；(b)心部组织。从图2可以看出，本发明制备的TiAl合金薄板坯凝固组织为细小、均匀的等轴晶组织，且无明显中心偏析。

[0063] 实施例2

[0064] 本实施例中，薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法为：通过真空感应炉熔

炼获得TiAl合金熔液，其中合金成分为Ti-46Al(原子百分比)。向熔炼室内通入氩气使其为常压，并对熔炼室、溜槽通道及铸轧水口进行持续氩气保护。合金熔体经溜槽通道流入两个反向旋转的结晶辊和侧封板构成的熔池内部，控制熔池上表面合金熔体过热度、熔体与结晶辊辊面的接触弧长度、熔体与结晶辊辊面的接触时间三个工艺参数，使熔体经结晶辊凝固和轧制变形并导出，工艺参数控制如下：

[0065] 熔池上表面熔体过热度为25℃；

[0066] 熔池内熔体与结晶辊辊面的接触弧长度120mm；

[0067] 熔体与结晶辊辊面的接触时间0.3s；

[0068] 铸轧板坯出轧辊后，直接放入加热炉中，加热温度为1050℃，然后随炉缓慢冷却至室温。

[0069] 本发明制备的双辊薄带连铸生产TiAl合金板坯厚度为2.5mm，宽度为200mm。

[0070] 本发明实例中制备的TiAl合金薄板坯组织见图3：(a)边部组织；(b)心部组织。从图3可以看出，本发明制备的TiAl合金薄板坯凝固组织为细小、均匀的全片层等轴晶组织，晶粒尺寸为30～60μm。

[0071] 实施例3

[0072] 本实施例中，薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法为：通过真空感应炉熔炼获得TiAl合金熔液，其中合金成分为Ti-48Al(原子百分比)。向熔炼室内通入氩气使其为常压，并对熔炼室、溜槽通道及铸轧水口进行持续氩气保护。合金熔体经溜槽通道流入两个反向旋转的结晶辊和侧封板构成的熔池内部，控制熔池上表面合金熔体过热度、熔体与结晶辊辊面的接触弧长度、熔体与结晶辊辊面的接触时间三个工艺参数，使熔体经结晶辊凝固和轧制变形并导出，工艺参数控制如下：

[0073] 熔池上表面熔体过热度为30℃；

[0074] 熔池内熔体与结晶辊辊面的接触弧长度180mm；

[0075] 熔体与结晶辊辊面的接触时间0.4s；

[0076] 铸轧板坯出轧辊后，直接放入石棉中进行覆盖保温，冷却至室温。本发明制备的双辊薄带连铸生产TiAl合金全片层等轴晶薄带厚度为2mm，宽度为100mm。

[0077] 实施例结果表明，本发明薄带铸轧制备TiAl合金均匀组织板坯的方法，获得沿厚度方向具有均匀、细小等轴晶组织分布，同时降低中心偏析，减少表面裂纹和内部缺陷，实现高质量TiAl合金板坯的制备。

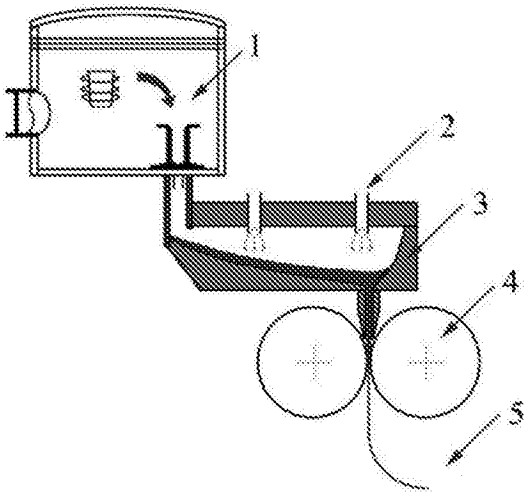


图1

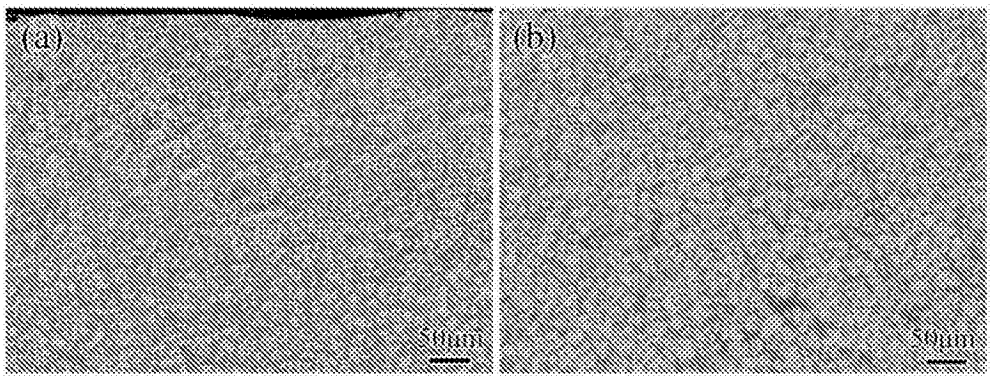


图2

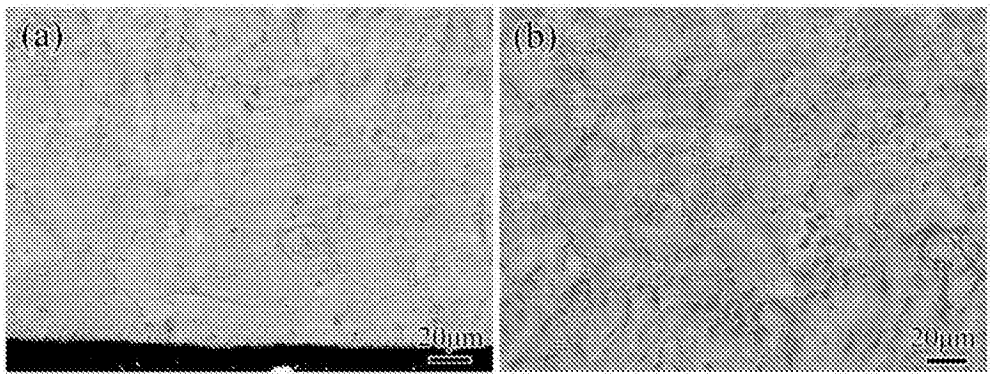


图3