(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102134637 B
(45)授权公告日 2012.10.31

(21)申请号 201110009744.6

(22)申请日 2011.01.18

(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 顾剑锋 陈睿恺 韩利战 潘健生

(74)专利代理机构 上海旭诚知识产权代理有限公司 31220
代理人 郑立

(51)Int.Cl.
C21D 11/00(2006.01)
C21D 1/18(2006.01)

(56)对比文件
EP 0719869 A1,1996.07.03, 说明书第3页10－59行.
戚正风主编.珠光体转变动力学.《金属热处理原理》.机械工业出版社,1987,(第一版),59-60.
宋传宝等.300MW汽轮机低压转子晶粒细化与均匀化的热处理工艺方法研究.《大型铸锻件》.1998,(第4期),34-37.

审查员 吴静

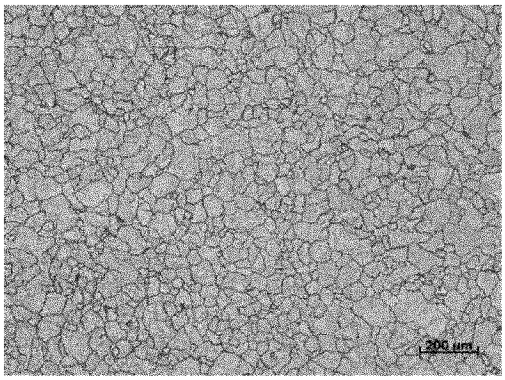
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54)发明名称

中高合金钢大型锻件的晶粒细化方法

(57)摘要

一种金属热处理技术领域的中高合金钢大型锻件的晶粒细化方法,通过将锻造后的锻件在奥氏体化后冷却至珠光体转变区鼻尖温度进行等温保温或波动保温,实现珠光体等温分解,然后冷却至室温并经过二次奥氏体化过程后,实现重结晶再次细化晶粒。本发明解决实际生产中传统的多次正火工艺对大型锻件晶粒细化效果不稳定、粗晶和混晶现象严重的问题。通过奥氏体的不完全等温平衡分解来切断和消除组织遗传,获得ASTM No.5级以上的原奥氏体平均晶粒度,改善大型锻件的组织状态,提高大型锻件的超声波探伤性能,同时大大缩短工时降低能耗节约成本。



CN 102134637 B

1. 一种中高合金钢大型锻件的晶粒细化方法，其特征在于，将锻造后的锻件在奥氏体化后冷却至珠光体转变区鼻尖温度进行等温保温或波动保温，实现珠光体等温分解，所述的等温保温或波动保温的时间以生成15%的网状珠光体所需要的时间为准，然后冷却至室温并经过二次奥氏体化过程后，实现重结晶再次细化晶粒。

2. 根据权利要求1所述的中高合金钢大型锻件的晶粒细化方法，其特征是，所述的奥氏体化是指：将锻造后的大型锻件加热至Ac_3温度以上30℃～70℃，并在整体到温后保温0.5～3小时，以材料奥氏体均匀化所需时间为准，其中：Ac_3温度指钢在连续加热升温过程中，由原始组织完全转变为奥氏体组织的温度，该温度通过相变膨胀仪测定或从相图确定。

3. 根据权利要求1所述的中高合金钢大型锻件的晶粒细化方法，其特征是，所述的珠光体转变鼻尖温度是指：钢在奥氏体化后的冷却过程中，发生珠光体转变且转变速度最快的温度，该温度从钢种的TTT曲线上得以确定。

4. 根据权利要求1所述的中高合金钢大型锻件的晶粒细化方法，其特征是，所述的波动保温的范围为：珠光体转变鼻尖温度±20℃。

5. 根据权利要求1所述的中高合金钢大型锻件的晶粒细化方法，其特征是，所述的二次奥氏体化是指：将大型锻件加热至Ac_3温度以上30℃～70℃，并保温0.5～3小时。

中高合金钢大型锻件的晶粒细化方法

技术领域

[0001] 本发明涉及的是一种金属热处理技术领域的方法，具体是一种中高合金钢大型锻件的晶粒细化方法。

背景技术

[0002] 大型锻件是核电、火电等电站装备和大型冶金、矿山和运输装备中的承力和传动结构部件，属于核心构件，更是装备得以可靠运行的基础。装备的大型化也使锻件大型化，特别是在提高效率、降低消耗、安全可靠的设计思想指导下，除大量使用高合金钢外，也将原来通过后续组装而成的组合部件集成于一体，使单体锻件的尺寸和重量急剧增大。在核电、火电、水电和燃气发电的主体装备中，数百吨的特大型锻件所占的重量比超过了 60％。核电、火电等先进的重大装备对大型锻件提出了“一体化”和“高性能化”的要求，使热加工的技术难度突增，造成制作过程中材料和能源的巨大浪费，而且远不能满足我国大型装备发展的迫切需求。

[0003] 为满足力学性能指标，大型锻件淬火后通常须得到马氏体或贝氏体组织，故通常按一定比例加入 Cr、Ni、Mo 等合金元素，在提高大型锻件强度、塑性和韧性的同时，增加奥氏体在过冷状态下的稳定性，使等温转变曲线强烈右移，从而大大提高淬透性。但是，当大型锻件发生马氏体或贝氏体转变时，新形成的 α 相与母相之间保持一定的晶体学取向关系，导致在随后再次慢速加热（≤ 300℃ /h）奥氏体化过程中发生组织遗传现象，造成晶粒粗大和不均匀，进而影响其冲击韧性、脆性转变温度 (FATT)、超声波可探性和导磁性。

[0004] 为了解决中高合金钢大型锻件的组织遗传带来的晶粒粗大和不均匀的问题，传统方法通常采用多次正火的锻后热处理工艺，其可能的机理包括：(1) 通过 α ←→ γ 之间多次的相互转变，增加 α 相 / γ 相在母相中均匀形核的位置，从而细化晶粒；(2) 通过将奥氏体化温度控制在切尔诺夫 B 点以上，利用奥氏体化重结晶效应细化晶粒；(3) 通过提高 Ac_1 附近的升温速率，增加奥氏体均匀形核率来细化晶粒。而在实际生产过程中，多次正火消除组织遗传细化晶粒这一方法的实际效果并不理想，其具体原因在于：(1) 伴随着发电设备大型化的发展趋势，大型锻件尺寸的增加造成其升温和降温速率的减缓，使每次正火的能源消耗和时间花费大幅增加；(2) 为保证晶粒细化效果，大型锻件尺寸的增加的必然导致正火次数的增加，这样整个多次正火工艺的时间和能源成本将大大增加；(3) 大型锻件各部分的锻比不一及成分不均，导致各部分的再结晶温度相差很大，在实际生产中难以保证整个大型锻件都发生再结晶细化晶粒；(4) 发生再结晶后必须严格控制保温时间，否则细化的晶粒极易再次长大，由于大型锻件各部分到温时间差异很大，实际生产中各部位的保温时间难以兼顾，从而导致细化效果不佳；(5) 提高加热速率来细化晶粒要求大型锻件加热速率大于 350℃ /h，对直径 800mm 以上的大型锻件，现有的工业加热设备无法满足条件。所以，从制造成本、生产周期、实际可操作性和具体实施效果的角度来讲，现有多次正火工艺须经历多次升温降温，能源浪费大，工艺过程复杂，工序时间长，操作控制难度高，实际效果不稳定，综合制造成本昂贵，有很大的空间可以改进。

[0005] 经过对现有技术的检索发现，采用多次正火的锻后热处理工艺是解决中高合金钢大型锻件组织遗传带来的晶粒粗大和不均匀问题的常用方法，正火次数随着锻件尺寸和重量的增加而增加，正火温度随钢种的化学成分不同而不同。第一重机厂用三次正火处理的30Cr2Ni4MoV 钢 300MW 低压整体转子晶粒度可达 4 ～ 7 级，日本室兰厂采用两次正火，晶粒度可达 4 ～ 5 级（《大型锻件材料及热处理》P392）。

[0006] 但是该现有技术的实际效果并不理想，其具体原因在于：(1) 多次正火的正火温度和正火次数的选取受锻件尺寸大小及其材料成分的影响较大，必须对各个工艺参数进行排列组合的基础上进行大量试验才能筛选出正火温度和正火次数之间的最佳匹配，从而获得较好的细化效果；(2) 伴随着发电设备大型化的发展趋势，大型锻件尺寸的增加造成其升温和降温速率的减缓，使每次正火的能源消耗和时间花费大幅增加；(3) 为保证晶粒细化效果，大型锻件尺寸的增加的必然导致正火次数的增加，这样整个多次正火工艺的时间和能源成本将大大增加；(4) 大型锻件各部分的锻比不一及成分不均，导致各部分所需的正火参数相差很大，在实际生产中难以保证整个大型锻件都获得很好的细化效果；(5) 多次正火必须严格控制保温时间，否则细化的晶粒容易再次长大，由于大型锻件各部分到温时间差异很大，实际生产中各部位的保温时间难以兼顾，从而导致细化效果不佳。

[0007] 文献（宋传宝，金嘉瑜，刘志颖，郭培亮 . 300MW 汽轮机低压转子晶粒细化与均匀化的热处理工艺方法研究 [J]. 大型铸锻件，1998，(04)）中，以采用 30Cr2Ni4MoV 钢生产的 300MW 低压整体转子为例，试验验证了多次正火细化晶粒工艺的实际效果，文中提出了增加前处理的改进工艺，但之后仍需要进行两次正火，才能得到与原来三次正火相同的细化晶粒效果。

发明内容

[0008] 本发明针对现有技术存在的上述不足，提供一种中高合金钢大型锻件的晶粒细化方法，解决实际生产中传统的多次正火工艺对大型锻件晶粒细化效果不稳定、粗晶和混晶现象严重的问题。通过奥氏体的不完全等温平衡分解来切断和消除组织遗传，获得 ASTM No.5 级以上的原奥氏体平均晶粒度，改善大型锻件的组织状态，提高大型锻件的超声波探伤性能，同时大大缩短工时降低能耗节约成本。

[0009] 本发明是通过以下技术方案实现的，本发明将锻造后的锻件在奥氏体化后冷却至珠光体转变区鼻尖温度进行等温保温或波动保温，实现珠光体等温分解，然后冷却至室温并经过二次奥氏体化过程后，实现重结晶再次细化晶粒。

[0010] 所述的奥氏体化是指：将锻造后的大型锻件加热至 Ac_3 温度以上 30℃～ 70℃，并在整体到温后保温 0.5 ～ 3 小时，以材料奥氏体均匀化所需时间为准，其中：Ac_3 温度指钢在连续加热升温过程中，由原始组织完全转变为奥氏体组织的温度，主要由该钢种的化学成分决定，其范围可通过相变膨胀仪测定或从相图确定。

[0011] 所述的珠光体转变鼻尖温度是指：钢在奥氏体化后的冷却过程中，发生珠光体转变，且转变速度最快的温度，主要由该钢种的化学成分决定，可从该钢种的 TTT 曲线上确定。

[0012] 所述的等温保温或波动保温的时间为：以生成 15％的网状珠光体所需要的时间为准，不同钢种所需时间不同，主要由钢种的化学成分决定。

[0013] 所述的波动保温的范围为：珠光体转变鼻尖温度 ±20℃。

[0014] 所述的珠光体等温分解：根据中高合金钢的 TTT 曲线，在珠光体转变区鼻尖温度附近进行等温足够时间，以生成少量沿晶界分布的网状珠光体组织，体积分数达 15％以上；

[0015] 所述的二次奥氏体化是指：将大型锻件加热至 Ac_3 温度以上 30℃～ 70℃，并保温 0.5 ～ 3 小时。

[0016] 本发明的主要特征在于根据珠光体转变切断组织遗传这一特征，把中高合金钢大型锻件加热至 Ac_3+(10 ～ 30)℃奥氏体化后冷至珠光体转变鼻尖温度点附近，进行一定时间的保温或上下波动保温，形成少量呈网状分布的珠光体组织，将粗大的锻后奥氏体晶粒进行分割，从而使组织遗传被限制在较小的空间范围内，当中高合金钢大型锻件再次加热奥氏体化时，大大降低组织遗传效应，从而消除混晶和粗晶现象。

[0017] 由于大型锻件尺寸较大，为保证淬透性，通常会加入提高淬透性的元素，如 Ni、Mn、Cr 等，这使珠光体转变的孕育期延长和转变速率减慢，因此要得到百分之百的珠光体组织来彻底切断和消除组织遗传是相当困难的。实验结果表明，只需要一定量的珠光体组织分散在基体中，就能很好地起到抑制组织遗传、细化晶粒的作用。

[0018] 在冷至珠光体转变鼻尖点附近的过程中，由于大型锻件体积较大，各部分不可能同时到温，应保证各部分温度都在 B_s 点以上。

[0019] 本发明的有益效果：

[0020] 现有技术通常采用多次正火工艺，由于大型锻件加热缓慢，各部分温差悬殊，通过正火细化晶粒的条件难以满足，组织遗传仍然存在，粗晶混晶现象严重。随着各种重大装备锻件的大型化发展，多次正火的热循环次数必须相应增加，时间和能源消耗还将进一步加剧。本发明根据珠光体转变的晶体学特征，在鼻尖温度附近等温或上下波动保温，形成少量网状分布的珠光体组织，从而大大降低组织遗传，再加热至 Ac_3+(30 ～ 70)℃奥氏体化，随后冷至室温，最终可以获得均匀的组织与细小的晶粒。这种工艺与现有技术相比，具有更加较强的理论基础，操作流程简单易行，工艺参数可控性强，细化效果显著，同时又能够大大减少能源和时间成本的消耗。

附图说明

[0021] 图 1 实施例 1、2、3、4 所用试验材料的原始晶粒尺寸。

[0022] 图 2 实施例 1 所得网状分布的珠光体组织。

[0023] 图 3 实施例 1 所得的原奥氏体晶粒尺寸。

[0024] 图 4 实施例 2 所得网状分布的珠光体组织。

[0025] 图 5 实施例 3 所得的原奥氏体晶粒尺寸。

[0026] 图 6 实施例 4 所得网状分布的珠光体组织。

[0027] 图 7 实施例 4 所得的原奥氏体晶粒尺寸。

[0028] 图 8 实施例 5 所得网状分布的珠光体组织。

[0029] 图 9 实施例 5 所得的原奥氏体晶粒尺寸。

具体实施方式

[0030] 下面对本发明的实施例作详细说明，本实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施，给出了详细的实施方式和具体的操作过程，但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0031] 实施例 1

[0032] 试验采用低压转子大型锻件常用的 30Cr2Ni4MoV 钢，其原始晶粒度约为 ASTM No.1.0 级，见图 1 所示，其化学成分如表 1 所示，将试验材料加工成 15mm×15mm×15mm 试样。首先，以 30℃ /h 的升温速率将试样由室温加热至 840℃，保温 3h ；然后以 50℃ /h 的速率将试样冷却至珠光体转变鼻尖温度 600℃，保温 120h，生成一定量呈网状分布的珠光体组织（如图 2 所示），从而消除组织遗传，然后冷至室温 ；接着，将试样以 30℃ /h 的升温速率加热至 870℃，保温 3h，使奥氏体化均匀，通过奥氏体化重结晶细化晶粒，随后冷至室温，晶粒尺寸见图 3 所示。试验结果表明，本方法使低压转子大型锻件用钢 30Cr2Ni4MoV 获得了比较细小的晶粒，为调质工艺奠定了良好的基础。此外，本方法的热处理细化工艺在箱式电阻炉中进行，试验前加热炉经国家二级标准热电偶校验，炉温精度在 ±2℃以内。

[0033] 表 1 化学成分（质量分数，％）

[0034]

C	Mn	Cr	Mo	V	Ni	Cu	Si	Al	P	S	Fe
0.25	0.30	1.75	0.42	0.10	3.70	≤0.10	≤0.07	≤0.01	≤0.006	≤0.005	Bal

[0035] 实施例 2

[0036] 试验采用低压转子大型锻件常用的 30Cr2Ni4MoV 钢，其原始晶粒度约为 ASTM No.1.0 级，见图 1 所示，其化学成分如表 1 所示，将试验材料加工成 15mm×15mm×15mm 试样。首先，以 30℃ /h 的升温速率将试样由室温加热至 840℃，保温 3h ；然后以 50℃ /h 的速率将试样冷却至珠光体转变鼻尖温度 600℃，保温 240h，生成一定量呈网状分布的珠光体组织（如图 4 所示），从而消除组织遗传，然后冷至室温 ；接着，将试样以 30℃ /h 的升温速率加热至 870℃，保温 3h，使奥氏体化均匀，通过奥氏体化重结晶细化晶粒，随后冷至室温，晶粒尺寸见图 5 所示。试验结果表明，本方法使低压转子大型锻件用钢 30Cr2Ni4MoV 获得了比较细小的晶粒，为调质工艺奠定了良好的基础。此外，本方法的热处理细化工艺在箱式电阻炉中进行，试验前加热炉经国家二级标准热电偶校验，炉温精度在 ±2℃以内。

[0037] 实施例 3

[0038] 试验采用低压转子大型锻件常用的 30Cr2Ni4MoV 钢，其原始晶粒度约为 ASTM No.1.0 级，见图 1 所示，其化学成分如表 1 所示，将试验材料加工成 15mm×15mm×15mm 试样。首先，以 30℃ /h 的升温速率将试样由室温加热至 840℃，保温 3h ；然后以 50℃ /h 的速率将试样冷却至珠光体转变鼻尖温度 600℃，保温 360h，生成一定量呈网状分布的珠光体组织（如图 6 所示），从而消除组织遗传，然后冷至室温 ；接着，将试样以 30℃ /h 的升温速率加热至 870℃，保温 3h，使奥氏体化均匀，通过奥氏体化重结晶细化晶粒，随后冷至室温，晶粒尺寸见图 7 所示。试验结果表明，本方法使低压转子大型锻件用钢 30Cr2Ni4MoV 获得了比较细小的晶粒，为调质工艺奠定了良好的基础。此外，本方法的热处理细化工艺在箱式电阻炉中进行，试验前加热炉经国家二级标准热电偶校验，炉温精度在 ±2℃以内。

[0039] 实施例 4

[0040] 试验采用低压转子大型锻件常用的30Cr2Ni4MoV钢，其原始晶粒度约为ASTM No.1.0级，见图1所示，其化学成分如表1所示，将试验材料加工成15mm×15mm×15mm试样。首先，以30℃/h的升温速率将试样由室温加热至840℃，保温3h；然后以50℃/h的速率将试样冷却至珠光体转变鼻尖温度600℃，保温100h，生成一定量呈网状分布的珠光体组织（如图8所示），从而消除组织遗传，然后冷至室温；接着，将试样以30℃/h的升温速率加热至870℃，保温3h，使奥氏体化均匀，通过奥氏体化重结晶细化晶粒，随后冷至室温，晶粒尺寸见图9所示。试验结果表明，本方法使低压转子大型锻件用钢30Cr2Ni4MoV获得了比较细小的晶粒，为调质工艺奠定了良好的基础。此外，本方法的热处理细化工艺在箱式电阻炉中进行，试验前加热炉经国家二级标准热电偶校验，炉温精度在±2℃以内。

[0041] 本方法的优点在于：(1) 工艺参数简单，不需要进行复杂的试验筛选工艺参数来得到正火温度与次数各种组合与晶粒度的关系，只需获得锻件材料的珠光体转变动力学曲线以及Ac_3温度，即可实施工艺；(2) 针对重型装备锻件大型化的发展趋势，随着锻件尺寸的增加，不需要改变工艺流程，只需要进行两次奥氏体化，可以大大节约时间和能耗；(3) 锻件各个部分的工艺参数一致，可得到整体均匀细化晶粒效果；(4) 对保温时间、加热速度等参数不敏感，以现有的工业设备可以确保实施；(5) 由于中高合金钢的珠光体转变动力学的特点，其完全转变为珠光体通常需要很长时间，本方法不要求大型锻件的在热处理过程中完全转变为珠光体，也可以节省大量时间；(6) 文献中的多次正火工艺针对直径2000mm以下的大型锻件，本方法亦可适用于截面尺寸和重量更大的大型锻件。

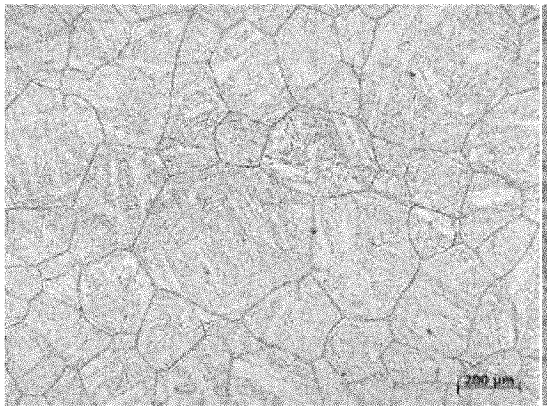


图 1

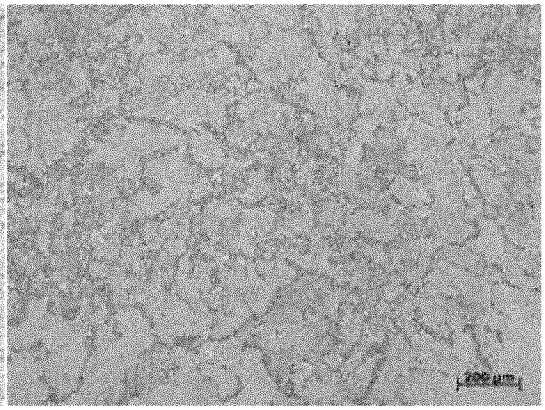


图 2

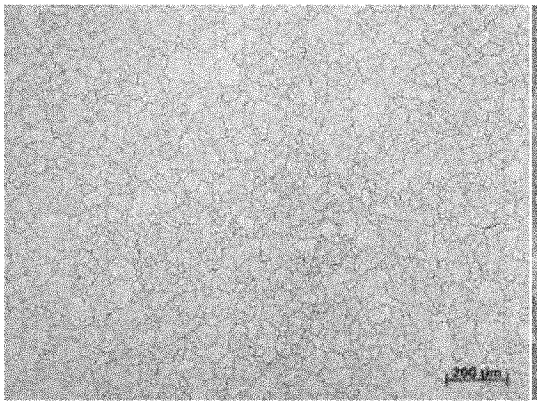


图 3

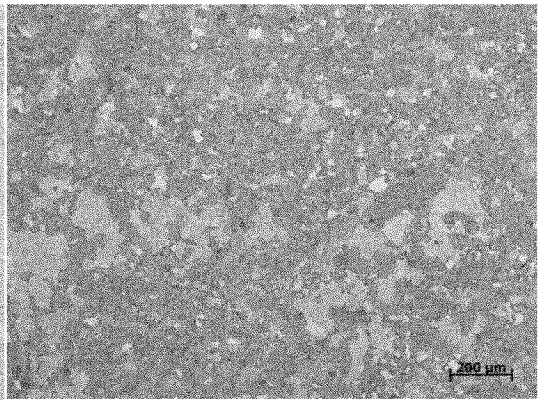


图 4

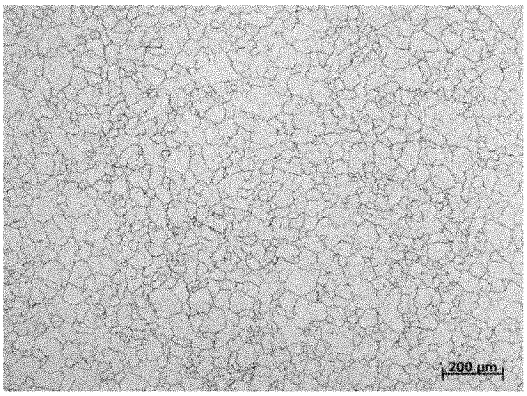


图 5

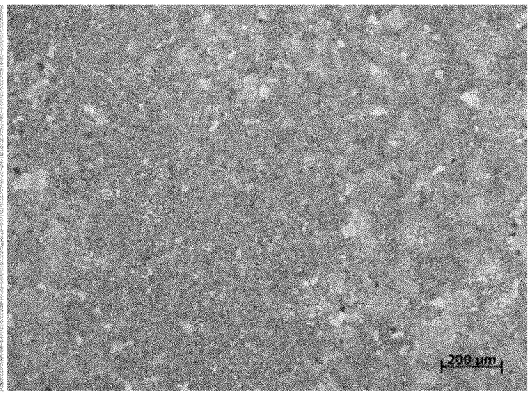


图 6

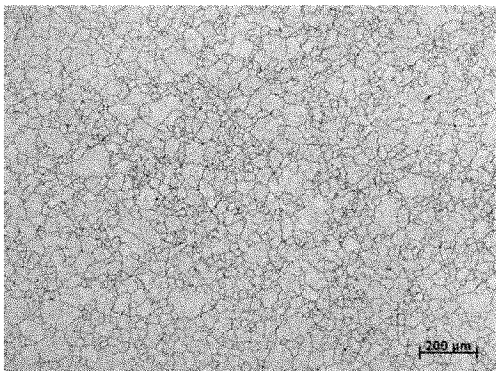


图 7

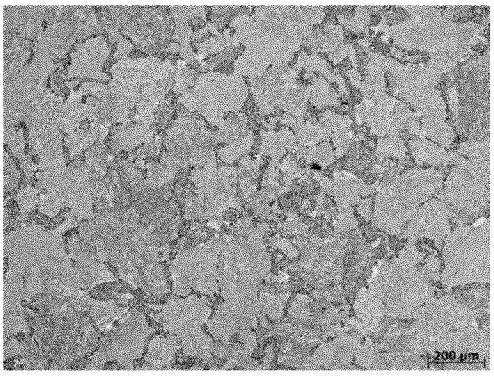


图 8

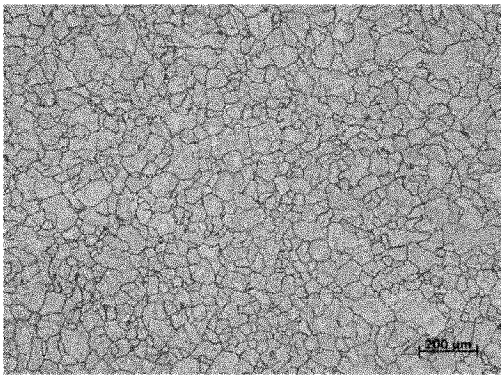


图 9