(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 102825245 B
(45)授权公告日 2015.07.08

(21)申请号 201110160188.2
(22)申请日 2011.06.14
(73)专利权人 鞍钢股份有限公司
地址 114021 辽宁省鞍山市铁西区鞍钢厂区内
(72)发明人 郭庆涛 廖相巍 李德刚 贾吉祥 李广帮
(51)Int.Cl.
B22D 27/02(2006.01)
B22D 11/115(2006.01)
B22D 11/049(2006.01)

(56)对比文件
JP S5842780 B2,1983.09.21,
CN 86100380 A,1987.09.02,
JP H06315740 A,1994.11.15,
CA 2730616 A1,2010.01.21,
CN 201143553 Y,2008.11.05,

审查员 高永

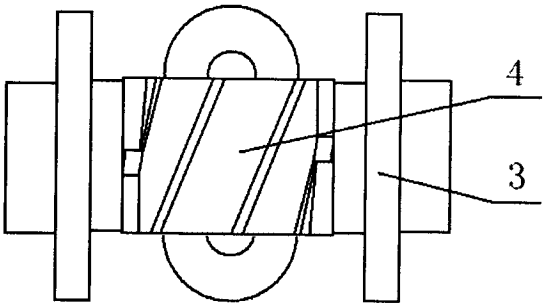
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

螺旋电磁搅拌装置

(57)摘要

本发明公开了一种简单、高效的螺旋电磁搅拌装置，实现金属熔体充分搅拌。螺旋电磁搅拌装置包括电磁感应系统、供电系统、冷却系统和箱体(5)，电磁感应系统由磁轭组和套在磁轭组上的线圈(3)组成，其特征在于：磁轭组由磁轭背(12)和与磁轭背(12)连接的若干个磁轭端面(4)组成，磁轭端面(4)沿所在平面相对于磁轭背(12)倾斜设置。本发明可应用于金属连铸、半固态铸造和定向凝固过程中。



CN 102825245 B

1. 一种螺旋电磁搅拌装置，包括电磁感应系统、供电系统、冷却系统和箱体 (5)，电磁感应系统由磁扼组和套在磁扼组上的线圈 (3) 组成，其特征在于：磁扼组由磁扼背 (12) 和与磁扼背 (12) 连接的若干个磁扼端面 (4) 组成，磁扼端面 (4) 沿所在平面相对于磁扼背 (12) 倾斜设置，所述磁扼端面 (4) 倾斜角度相对于垂直方向为－ 70° ～ 70° 。

2. 根据权利要求 1 所述螺旋电磁搅拌装置，其特征在于所述每个磁扼端面 (4) 间缝隙为 1 ～ 1000mm。

螺旋电磁搅拌装置

技术领域

[0001] 本发明属于电磁铸造和材料电磁加工成型领域，尤其涉及金属连铸、半固态铸造和定向凝固过程用螺旋磁场电磁搅拌装置。

背景技术

[0002] 随着科学技术的飞速发展，各行各业对材料的性能提出了更高的要求，这就促使人们不断开发新材料以及传统材料的新型工艺研究。电磁场是自然界中重要的物理场之一，具有许多热电技术无法比拟的优点，最显著的特点是其可传递热能和动能给金属熔体，且熔体和磁场发生器之间不接触，因而对金属熔体没有污染。电磁搅拌是无污染控制流体流动、改善铸锭组织的一种有效方法。旋转磁场 (RMF) 在改善熔体周向温度分布，细化铸坯凝固组织方面起到非常关键的作用，目前已经被深入研究和广泛应用于连铸、半固态铸造及定向凝固等过程中。但其对促进熔体径向和轴向的传热传质方面不如行波磁场。行波磁场在控制和调节熔体在垂直方向的流动，促进熔体径向对流和降低径向温度梯度等方面有着无可替代的优势。从目前的应用及发展看，单一的旋转磁场或行波磁场的应用已经不能满足人们对产品质量越来越高的要求。因而，将两种搅拌磁场的优势互补，实现螺旋搅动已经是大家追求的目标。螺旋电磁搅动对于控制熔体流动，减少夹杂物含量，细化晶粒，缓解溶质偏析等方面将起到重要作用。

[0003] 有人曾提出了旋转磁场加行波磁场的复合搅拌方式，这种搅拌可归纳为旋转和行波磁场内外叠加、旋转磁场上下堆叠及行波磁场周向并列三种方式。该方法的优点是可以在熔体中同时产生周向和径向的搅拌，综合为螺旋搅拌。通过此种搅拌方法，不仅可以均衡周向的温度和溶质分布，同时在径向产生的环流也会减小熔体中间和边部的温度差，减小偏析，促近等轴晶的形成，进而可以减少热裂和宏观偏析，提高产品的质量。这些研究思路体现在申请号 CN87104014A、CN86104510 的中国发明专利申请案中，以及申请号 CN87204232 和公告号 CN201476606U 的中国实用新型专利申请案中。这些专利中相关的设备可以归结为内外叠放式、上下堆叠式和周向并列式三种结构。但这三种结构的组合搅拌都是多组绕组，在实际应用都有不便之处。首先是当将两套装置内外叠放在一起或者多套装置上下堆叠或周向并列时，整个设备的尺寸和重量增加了，相应的设备的结构变得复杂，制造成本也增加了。其次，对于内外叠放的螺旋磁场发生器，由于距离的原因，外层装置对熔体的搅拌效果会明显降低，同时内层装置对熔体的屏蔽效应以及两套电磁感应装置的相互影响也不能忽略。第三，对于多套装置堆叠或并列组合的螺旋磁场发生器，电磁力的大小和电磁转换效率的高低与磁轭的结构、线圈的布置均有很大关系。将多个旋转磁场发生器上下堆叠在一起，根据电磁流体力学原理，会在金属熔体中产生垂直方向的行波力，但受到垂直截面上的磁轭排列数目和磁轭背部连续性的影响，该力的大小将远远小于周向的旋转力，因而螺旋搅拌效果会受限。同样，用行波磁场周向并列形成的螺旋搅拌，在周向的旋转力会远低于周向行波力，这都不利于产生有效的螺旋搅拌。

发明内容

[0004] 为了克服上述现有技术的缺点，本发明所要解决的技术问题是提供一种简单、高效的螺旋电磁搅拌装置，实现金属熔体充分搅拌。

[0005] 本发明为了实现上述目的，本发明的技术方案是：该螺旋电磁搅拌装置包括电磁感应系统、供电系统、冷却系统和箱体，电磁感应系统由磁轭组和套在磁轭组上的线圈组成，其特征在于：磁轭组由磁轭背和与磁轭背连接的若干个磁轭端面组成，磁轭端面沿所在平面相对于磁轭背倾斜设置。

[0006] 磁轭端面倾斜角度相对于垂直方向可选 -70° ～ 70° 。

[0007] 每个磁轭端面间缝隙可在 1 ～ 1000mm。

[0008] 利用螺旋电磁场 (SMF) 对金属熔体进行搅拌，可以提高铸坯等轴晶率 10％～ 20％以上，降低甚至消除铸坯中部缩孔、缩松，减少偏析。因通过仅改变磁轭的结构，就可以实现螺旋搅拌，且新型的 SMF 搅拌发生器所占用的空间和接线方式与传统的 RMF 搅拌器没有差别，设备生产成本与传统旋转磁场搅拌器的成本相当，远低于复合式螺旋磁场搅拌器，所以适合取代传统的旋转磁场和行波磁场搅拌器。

附图说明

[0009] 图 1 为传统旋转磁场电磁感应系统示意图；

[0010] 图 2 为本发明螺旋电磁搅拌装置电磁感应系统示意图；

[0011] 图 3 为实施例 1 螺旋电磁搅拌装置正视图；

[0012] 图 4 为实施例 1 螺旋电磁搅拌装置俯视图；

[0013] 图 5 为实施例 2 螺旋电磁搅拌装置正视图；

[0014] 图 6 为实施例 2 螺旋电磁搅拌装置俯视图；

[0015] 图 7 为本发明螺旋电磁搅拌装置电磁力扭转原理示意图；

[0016] 图 8 为不同条件时铝合金的凝固微观组织；

[0017] 其中，1：搅拌器箱盖；2：上垫块；3：线圈；4：磁轭端面；5：箱体；6：下垫块；7：螺栓；8：吊环；9：电源接口；10：出水口；11：进水口；12：磁轭背

具体实施方式

[0018] 下面结合具体实施方式对本发明进一步说明：

[0019] 如图 1、2 所示：该螺旋电磁搅拌装置包括电磁感应系统、供电系统、冷却系统和箱体，电磁感应系统由磁轭组和套在磁轭组上的线圈 3 组成，磁轭组由磁轭背 12 和与磁轭背 12 连接的若干个磁轭端面 4 组成，磁轭端面 4 沿所在平面相对于磁轭背 12 有一定角度的倾斜。

[0020] 磁轭组一般选用导磁性好、矫顽力低、磁损耗低的取向硅钢，同时也可以根据适用的场合，选取其它材料，如纯铁、电工纯铁、铁素体不锈钢、非晶合金材料、铁基纳米晶带材料、金属磁粉和各种铁基非晶带材料等。

[0021] 磁轭组的高度范围在 10 ～ 5000mm，可根据搅拌的对象及设备空间调整。

[0022] 线圈 3 可以用铜导线、中空铜管或其它高导电率材质的线材、管材缠绕而成。它的主要特征在于线圈 3 可以以克兰姆绕组、重叠绕组和集中绕组等布置方式缠绕在磁轭之间

的空隙。

[0023] 实施例 1 :如图 3 和 4 所示,适用于铸坯为圆坯或方坯的螺旋电磁搅拌装置。

[0024] 1、电磁感应系统

[0025] 由一组线圈绕组 3 和硅钢材质的磁轭组组成。线圈 3 由中空铜导线绕制成,内可以通冷却水冷却。线圈经绝缘处理后套在磁轭上,磁轭由下垫块 6 和上垫块 2 支撑固定在箱体 5 内。线圈 3 所通电流的大小是影响搅拌效果的重要因素,根据需要电流应在 0 ～额定电流范围内可调。倾斜的磁轭端面 4 是本发明的关键,每个磁轭端面 4 相对于磁轭背 12 倾斜设置,相对于垂直方向倾斜 30°,磁轭组的高度为 80mm,每个磁轭端面 4 间缝隙为 15mm,共有 6 个磁轭端面 4,相应的磁轭背 12 首尾连接组成正六边形。

[0026] 2、供电系统

[0027] 供电系统由三相电源柜及变频控制柜组成。线圈通过电源接口 9 用星形或角形接法连接三相电源,每相绕组间相位相差 120°。电源频率的选取与熔体的物性和尺寸有关,一般在 1 ～ 100Hz。进行电磁搅拌时,通过交换三相电源中的任意两相的位置可以实现水平方向的顺时针或逆时针搅拌以及改变垂直方向电磁力的方向(向上或向下)。

[0028] 3、冷却系统

[0029] 每个线圈的两端分别用绝缘胶管首尾相连,再与进水口 11 和出水口 10 相连,进出水口分别连接水泵和蓄水池,形成冷却回路。水泵的功率以保证搅拌设备正常运行为宜。

[0030] 4、箱体

[0031] 箱体 5 与搅拌器箱盖 1 选用不导磁的不锈钢,用螺栓 7 固定,用来保护磁场发生器。箱体侧面由吊环 8,便于设备的搬运与装卸。搅拌器的内径为 160mm。适合搅拌的金属熔体的直径或对角线长度在 150mm 内的均可。为盛放六边形的电磁感应系统,箱体 5 可以设计成正六边形或者圆形。

[0032] 本螺旋磁场搅拌器可以应用在连铸、半固态铸造及定向凝固过程中,适用于钢铁、铝、镁和铜等金属及其合金凝固过程的电磁搅拌。在模铸过程中,可将熔体放在搅拌器内,利用搅拌器产生的电磁力对熔体进行螺旋搅拌。该装置也可以放置在连铸结晶器内、外,对结晶器内的金属熔体进行搅拌,若对二冷区或者凝固末端的连铸坯液芯进行螺旋电磁搅拌,可以提高铸坯的等轴晶率,细化组织,缓解成份偏析和内应力,降低缩松缩孔形成几率。

[0033] 实施例 2 :如图 5 和 6 所示,适用于铸坯为板坯的螺旋电磁搅拌装置。

[0034] 1、电磁感应系统

[0035] 由一组具有高的饱和磁感应强度、高导磁率的磁轭组和缠绕在磁轭组上的线圈 3 组成。如图 5 和图 6 所示,磁轭组由磁轭背 12 和若干个磁轭端面 4 组成,排成直线。磁轭端面 4 相对于磁轭背 12 倾斜设置,相对于垂直方向之间的夹角为 25°,磁轭组高 200mm,磁轭端面 4 间缝隙为 20mm。共有 7 个磁轭端面 4 沿直线排列,也可以由更多个磁轭端面 4 组成类似行波磁场搅拌器的线性形状,以用于板坯和狭长区域的螺旋搅拌。磁轭组依靠绝缘材质的上垫块 2 和下垫块 6 固定在箱体 5 内。线圈 3 可以通入两相或三相交流电,线圈所通电流的大小是影响搅拌效果的重要因素,根据需要电流应在 0 ～额定电流范围内可调。

[0036] 2、供电系统

[0037] 供电系统包括两相或三相电源柜及变频控制柜。线圈通过电源接口 9 由导线连接电源。电源频率的选取与熔体的物性和尺寸有关,一般在 0.1 ～ 100Hz。为适合复杂的工作

环境，导线的绝缘层应耐高温，抗氧化。进行电磁搅拌时，通过交换电源中的任意两相的位置可以改变电磁力两个分力的方向，水平方向分力可以实现左右的改变，垂直方向的分力可以实现上下的改变。

[0038] 3、冷却系统

[0039] 其要将电磁搅拌设备自身产生的热量及环境传给设备的热量带走，以保证设备具有高的电－磁转换效率。电磁搅拌系统经绝缘处理后放置到箱体 5 内，箱体 5 上的进水口 11 和出水口 10 分别通过水管连接水泵和蓄水池，形成冷却回路。

[0040] 4、箱体

[0041] 箱体 5 由具有一定强度和刚度的金属和非金属材料薄板制成，比较常用的有奥氏体不锈钢薄板、高强度有机材料、工程塑料和复合材料等，这些材料可以用来保护内部设备，同时也利于导磁。根据搅拌器电磁感应系统的结构，箱体 5 设计为直线型。

[0042] 由于具有狭长的线性结构，因而该装置可以放置在连铸生产线上对板坯进行螺旋搅拌。对板坯搅拌时，根据实际情况可以采用一对一组（在板坯的两侧或者上下排列）或者两对一组进行组合式搅拌。该装置也可以放置在连铸结晶器内、外，对结晶器内的金属熔体进行搅拌，若对二冷区或者凝固末端的连铸坯液芯进行螺旋电磁搅拌，同样可以提高等轴晶率，细化组织，缓解成份偏析和内应力，降低缩松缩孔形成几率。

[0043] 本发明螺旋电磁搅拌装置其原理如图 7 所示：交变电流产生的磁场会从一个磁轭端面 4“走”向另一个磁轭端面 4，其路径垂直于磁轭端面 4 间的空隙。由移动磁场与感生电流相互作用产生的电磁力则与磁场移动的方向一致。当磁轭端面 4 被旋转 θ 角度以后，移动磁场被扭曲并且电磁力矢量也发生变化。根据矢量法则，改变后的 F 可以被分解为水平方向的 F_R 和垂直方向的 F_T。

[0044] 对 Al-12Si-2.3Ni-3.3Cu（质量百分比）合金进行了不同方式的电磁搅拌，并与未经搅拌的铸锭的微观组织进行了比较。实验所用搅拌器参数、合金的物性参数以及浇注条件见表 1。

[0045] 表 1. 搅拌器参数、合金的物性参数以及浇注条件。

[0046]

磁轭高度	150 mm
磁轭间缝隙宽度	10 mm
SMF 搅拌器磁轭倾角	30°

[0047]

搅拌器内径	200mm
电源频率	50 Hz
线圈电流	10A
熔体的高度	100mm
不锈钢坩埚高度	150mm
坩埚直径	120mm
坩埚温度	300℃

[0048] 实验的具体过程如下。用井式电阻炉将配置好的合金熔化，并在 600℃保温 10 分钟，然后将铝熔体倒入铁勺中准备浇注。实验共分三种情况：a) 当铁勺中熔体温度降至 570℃时，将其直接浇入预热的坩埚中冷却凝固；b) 当铁勺中熔体温度降至 570℃时，将其浇入放置在传统 RMF 搅拌器内的预热的坩埚中，此时保证铝熔体的中心与搅拌器的中心处

于同一位置。在浇注开始的同时打开搅拌器电源进行电磁搅拌，工作电流为 10A ；c) 当铁勺中熔体温度降至 570℃时，将其浇入放置在 SMF 搅拌器内的预热的坩埚中，此时保证铝熔体的中心与搅拌器的中心处于同一位置。在浇注开始的同时打开搅拌器电源进行螺旋电磁搅拌，工作电流为 10A。当熔体完全凝固后停止电磁搅拌。将凝固后的试样从其中截面锯开，取试样中截面的中间和边部组织进行分析。

[0049] 实验结果：

[0050] 图 8 为三种不同凝固条件时的试样的边部和中部微观组织图。图 8(a) 和 (d) 分别是没有电磁搅拌时试样的边部和中部凝固组织。从图 8(a) 中可以看出，试样边部 α 枝晶粗大，图 8(d) 显示在试样的中部出现大量气孔。图 8(b) 和 (e) 分别是施加 RMF 搅拌时试样的边部和中部凝固组织。使用 RMF 搅拌时，边部的微观组织明显细化，粗大枝晶消失，取代的是细小的球形 α 初晶，但试样的中心还有少量气孔。图 8(c) 和 (f) 是采用 SMF 搅拌时样品的边部和中部微观组织图。从图中可以看出，铸锭的内外组织均一，α 初晶以球形为主，近乎均匀的分布在试样中，同时样品的中部已经没有气孔。

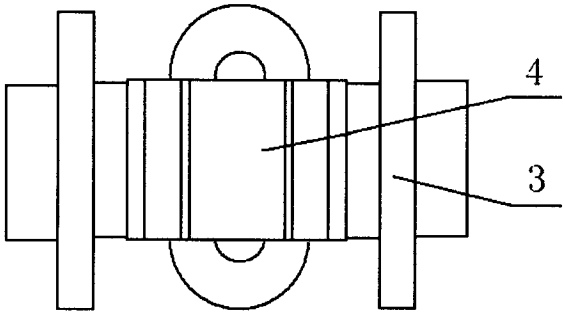


图 1

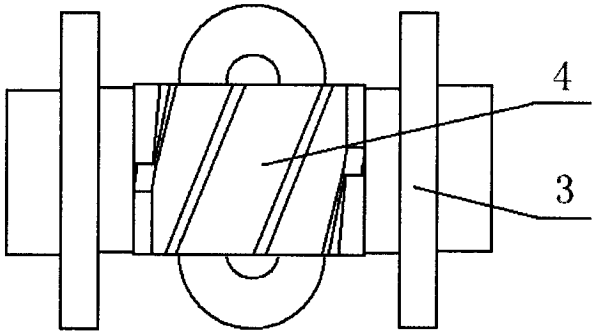


图 2

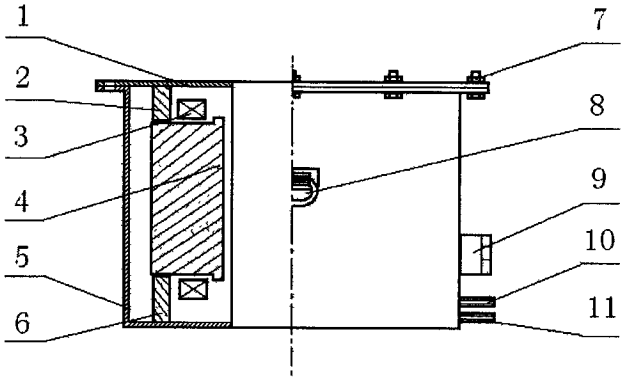


图 3

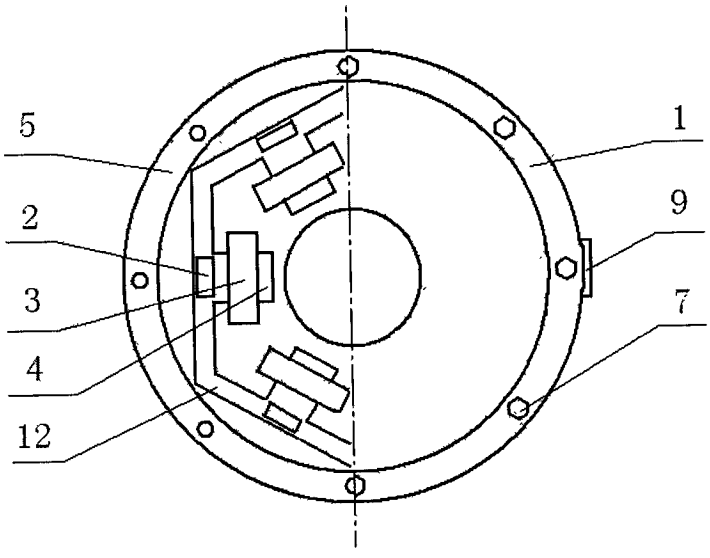


图 4

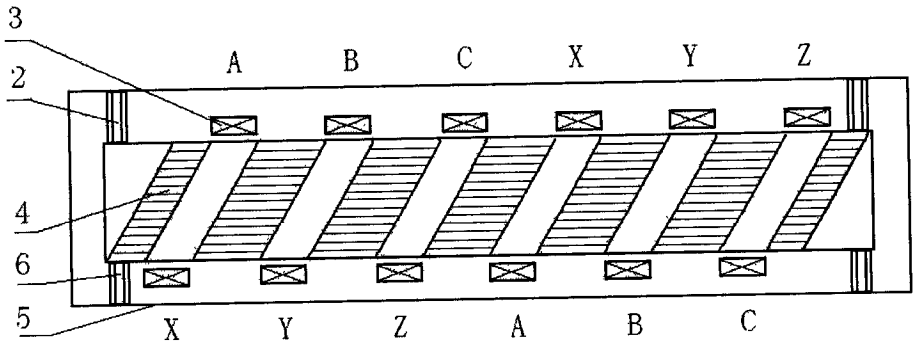


图 5

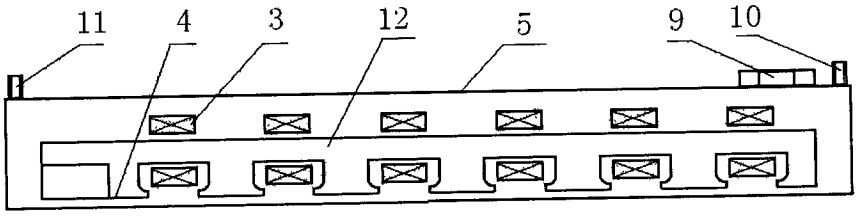


图 6

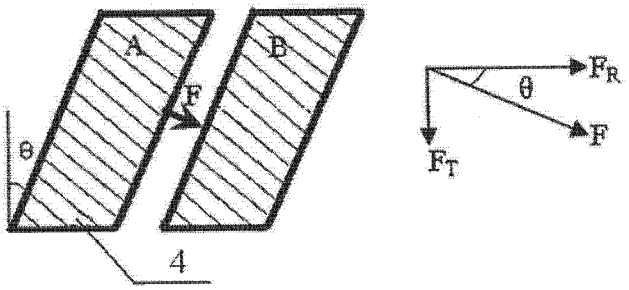


图 7

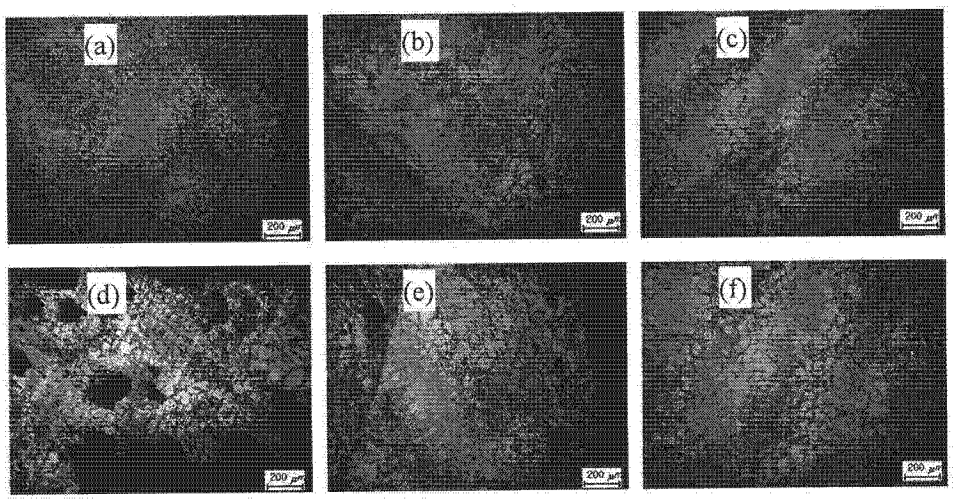


图 8