



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103331435 A

(43) 申请公布日 2013. 10. 02

(21) 申请号 201310276680. 5

(22) 申请日 2013. 07. 03

(71) 申请人 上海大学

地址 200444 上海市宝山区上大路 99 号

(72) 发明人 钟云波 李甫 郑天祥 王怀

李明杰 黄靖文 雷作胜 任维丽

(74) 专利代理机构 上海上大专利事务所(普通合伙) 31205

代理人 何文欣

(51) Int. Cl.

B22D 27/02(2006. 01)

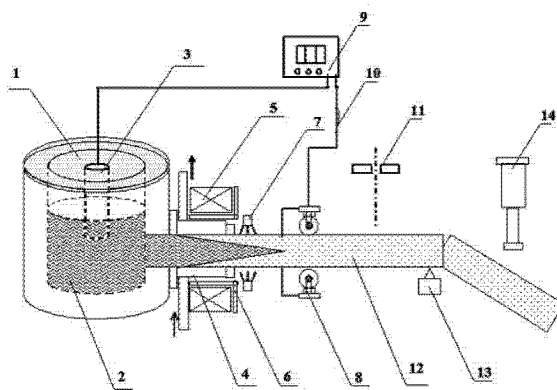
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

## (54) 发明名称

外加旋转磁场和电流复合控制金属凝固相组织的方法及其熔铸装置

## (57) 摘要

本发明公开了一种外加旋转磁场和电流复合控制金属凝固相组织的方法和专用熔铸装置,在金属凝固过程中,首先向金属熔体凝固界面前沿的金属熔体区域施加旋转磁场,同时通过外部电源对整个连铸坯的固液界面区域附近的金属熔体施加电流,在旋转磁场和电流的复合作用下,对金属熔体凝固界面附近的金属液进行电磁复合搅拌,使金属熔体中初生晶粒之间以及初生晶粒与金属熔体之间发生碰撞、摩擦和冲刷作用,造成大尺寸初生晶粒碎断,从而细化连铸坯凝固组织,应用于制备高品质的金属材料。



1. 一种外加旋转磁场和电流复合控制金属凝固相组织的方法,其特征在于:在金属凝固过程中,首先向金属熔体凝固界面前沿的金属熔体区域施加旋转磁场,同时通过外部电源对整个连铸坯的固液界面区域附近的金属熔体施加电流,所述电流为直流电流或交流电流,在旋转磁场和电流的复合作用下,使连铸坯的固液界面区域附近的金属熔体产生周期性振荡,对金属熔体凝固界面附近的金属液进行电磁复合搅拌,对金属熔体的初始凝固枝晶端部产生剪切,使金属熔体中初生晶粒之间以及初生晶粒与金属熔体之间发生碰撞、摩擦和冲刷作用,造成大尺寸初生晶粒碎断,形成新的晶核或形成尺寸更加细化的晶粒,从而细化连铸坯凝固组织。

2. 根据权利要求1所述的外加旋转磁场和电流复合控制金属凝固相组织的方法,其特征在于:将压力铸造工艺、金属型重力铸造工艺、考斯沃斯法铸造工艺、消失模铸造工艺或精确砂型重力铸造工艺引入金属熔体凝固过程,提高连铸坯的物理和化学性能。

3. 根据权利要求1或2所述的外加旋转磁场和电流复合控制金属凝固相组织的方法,其特征在于:外加旋转磁场的磁场强度为0.01-10000 mT,频率为0.1-1000Hz。

4. 根据权利要求1或2所述的外加旋转磁场和电流复合控制金属凝固相组织的方法,其特征在于:对金属熔体施加电流为直流电流、低频交流电流、工频交流电流、中频交流电流或者高频交流电流,电流的强度在0.1-20000A范围连续可调,交流电流频率为0.01-10000Hz,交流电流的波形为方形、正弦、三角形或者特定性状的波形。

5. 根据权利要求1或2所述的外加旋转磁场和电流复合控制金属凝固相组织的方法,其特征在于:所制备的连铸坯料是厚板坯、薄板坯、小方坯或圆坯。

6. 根据权利要求1或2所述的外加旋转磁场和电流复合控制金属凝固相组织的方法,其特征在于:适用于钢、铝或其合金、铜或其合金、镁或其合金、锌或其合金、镍或其合金、铬或其合金、或者锆或其合金,其中所述铝合金为易偏析、晶粒/枝晶粗大的铝合金,至少包括亚共晶铝硅合金、共晶铝硅合金、过共晶铝硅合金和7075铝合金。

7. 利用权利要求1或2所述的外加旋转磁场和电流复合控制金属凝固相组织的方法的金属熔铸装置,主要包括保温炉(1)、水冷结晶器(4)、二次水冷喷嘴(7)、连铸坯切割机(11)、砧铁(13)和压断机(14),所述保温炉(1)内的金属熔体(2)通过水口流入连铸机的所述水冷结晶器(4)的入口,凝固的连铸坯(12)从所述水冷结晶器(4)的末端出口拉出,二次水冷喷嘴(7)对二冷段区域的连铸坯(12)进行喷水冷却,在随后的所述连铸坯切割机(11)的切割、所述砧铁(13)的支撑和所述压断机(14)的压断下,即可得到金属连铸坯料,其特征在于:将所述水冷结晶器(4)置于旋转磁场发生器(5)的旋转腔中,使连铸坯(12)的固液界面区域附近的金属熔体处于外部旋转磁场的作用之下,并在所述旋转磁场发生器(5)和所述水冷结晶器(4)之间设置磁场发生器水冷套(6),给所述磁场发生器水冷套(6)通入冷却水,同时还采用将电极(3)和辊轮电极(8)用电缆(10)分别与电源(9)连接,电源(9)能输出直流电流或交流电流,所述电极(3)的一端浸入所述保温炉(1)的金属熔体中,所述辊轮电极(8)设置在从所述水冷结晶器(4)末端拉出的连铸坯(12)的侧面,使所述辊轮电极(8)的电极端与所述连铸坯(12)表面之间通过接触实现电连接,从而使所述电极(3)、所述保温炉(1)内的金属熔体、所述水冷结晶器(4)内的金属熔体、所述二冷段区域的连铸坯(12)内的金属液芯、连铸坯(12)凝固末端区域的连铸坯金属液芯、初始凝固的连铸坯壳之间形成串联的电流通路,通过所述电源(9)对整个连铸坯(12)的凝固界面前沿的附近的金

属熔体(2)施加电流和旋转磁场的复合搅拌作用,使整个连铸坯(12)的凝固界面前沿的附近的金属熔体(2)产生周期性振荡,对金属熔体(2)的初始凝固枝晶端部产生剪切,使金属熔体(2)中初生晶粒之间以及初生晶粒与金属熔体(2)之间发生碰撞、摩擦和冲刷作用,造成大尺寸初生晶粒(15)碎断,形成新的晶核或形成尺寸更加细化的晶粒(18),从而细化连铸坯凝固组织。

8. 根据权利要求7所述的金属熔铸装置,其特征在于:所述连铸机是水平式、立式、立弯式、垂直-多点弯曲式、垂直-弧形、多半径弧形或旋转式连铸机。

9. 根据权利要求7所述的金属熔铸装置,其特征在于:所述旋转磁场发生器(5)的旋转腔内部口径为10mm-5000mm,所述旋转磁场发生器(5)由一个三相异步电动机的定子线圈产生,定子线圈的三相绕组方式是三角形接法或星型接法,使所述旋转磁场发生器(5)的线圈绕组中心线与所述水冷结晶器(4)的中心线重合设置。

10. 根据权利要求7所述的金属熔铸装置,其特征在于:所述电极(3)是石墨电极或由无磁性且不与金属熔体(2)发生反应的导电材料制造的电极。

## 外加旋转磁场和电流复合控制金属凝固相组织的方法及其熔铸装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种金属材料制备工艺和设备,特别是涉及一种通过施加电磁搅拌的金属材料制备工艺和专用设备,应用于金属材料凝固技术领域。

### 背景技术

[0002] 汽车是当今社会最主要的交通工具之一,也是我国的支柱产业之一。因此,研究开发高性能汽车材料成为我国发展汽车工业的重要课题。特别是关键零部件材料,如发动机缸套、活塞等,过去通常用铸铁、烧结钢等铁合金制造,使汽车自重增大,油耗量大,行驶阻力大,发动机效率低下,也带来了污染、噪音等环境问题。因此,汽车轻量化将成为未来汽车发展的方向,所采取的措施,除在汽车结构上下功夫外,就是采用轻质材料,特别是关键零部件。而高硅铝合金由于轻质,高强,高耐磨耐热性及低热膨胀性等特点,已经成为汽车材料中的新宠。

[0003] 对高硅铝合金而言,由于 Al-16 ~ 23%Si 的硅特有的脆性,如果初晶硅尺寸粗大,则用于发动机缸套或活塞时,初晶硅颗粒容易碎裂和脱落,同时缸体材料或活塞的韧性也将降低,因此如何控制高硅铝合金中的初晶硅尺寸,成为制约该种合金在汽车工业中应用的核心问题。

[0004] 目前对初晶硅形态的控制主要有喷射成型、变质剂处理、半固态搅拌、快速凝固、电脉冲处理等技术。采用喷射成型技术,可以制备出硅含量达 50% 的高硅铝合金,且初晶硅颗粒尺寸可以细化到 5-10um,但喷射成型技术的成本非常高,成型困难,同时其致密性也不高,因此采用喷射成型制备的高硅铝合金产品尚不具市场竞争力;添加变质剂的方法研究较多,目前在工业上也得到较为广泛的应用,但变质剂只能细化 Si 含量小于 30% 的 Al-Si 合金,且细化尺寸受到限制,一般只能将初晶硅颗粒的尺寸细化到 30-50um,而高硅铝合金初晶硅尺寸最佳的尺寸为 5-20um;半固态搅拌法由于难以使整个铸锭达到均匀的搅拌,从而使得铸锭在各区域的细化效果区别较大,且存在偏析;快速凝固的方法同样可以得到晶粒十分细小的初晶硅组织,但其最大的问题在于冷却速度的提高必须以牺牲试样尺寸为代价,同时工业应用成本较高;电脉冲处理在 Al-Si 合金的应用依然处于起步阶段,电脉冲对初晶硅作用机制的统一理论体系还未建立起来。由此可见,过共晶铝硅合金铸件中的初晶硅组织和共晶硅组织的尺寸和形貌的控制,目前仍然缺少有效的手段,高性能的高硅铝合金的制备工艺成为亟待解决的关键问题。

### 发明内容

[0005] 为了解决现有技术问题,本发明的目的在于克服已有技术存在的缺陷,提供一种外加旋转磁场和电流复合控制金属凝固相组织的方法及其熔铸装置,在金属凝固过程中施加旋转磁场和外加电流的复合作用,达到晶粒细化、均匀成分的目标,制备高品质的金属材料。

[0006] 为达到上述发明创造目的,本发明的构思如下:

通过旋转磁场和外加电流的复合作用来完成对该类金属凝固过程的控制。首先,在金属凝固过程中施加旋转磁场,旋转磁场在金属液中产生感应电流,在外加磁场的共同作用下,在金属熔体中产生一磁力即电磁力,推动金属熔体运动,从而达到对金属熔体搅拌的目的;电磁搅拌一方面通过驱动金属液流动,从而对初晶和共晶的枝晶端部产生剪切,造成枝晶碎断,形成新的晶核,细化晶粒;同时,强力流动可以大大加速液心的传热而使过热度迅速消失,使固液界面前沿温度梯度减缓,两相区成分过冷增加,甚至达到内生形核的条件,从而增加形核率,达到细化晶粒的目的。此外,在过金属熔体中引入旋转磁场的同时,施加直流电流,旋转磁场和直流电流的复合作用可以在金属熔体中产生周期性振荡,旋转磁场的正半周,其与直流电流的作用力与旋转磁场同向,则可以促进金属熔体的流动,而在旋转磁场的负半周,其与直流电流的作用力与旋转磁场运动方向反向,则该电磁力将驱动熔体呈反方向的运动,甚至形成与原有金属熔体旋转方向相反的剪切流,这种周期性的振荡或者剪切流可以使金属熔体中初生晶粒之间以及初生晶粒与金属熔体之间发生碰撞、摩擦和冲刷作用,尺寸较大或较长的晶粒被打碎成尺寸较小的晶粒,并均匀分布在金属基体中,且晶粒形貌更加圆整光滑。也可以施加交流电流和旋转磁场共同作用,但交流电流的频率和旋转磁场的频率相匹配。因此,通过旋转磁场和外加电流的复合作用,就可以显著细化过金属凝固中的初晶和共晶尺寸,改善初晶和共晶的形貌,进而显著提升铸坯金属材料的韧性和其他力学性能。

[0007] 根据以上发明构思,本发明采用下述技术方案:

一种外加旋转磁场和电流复合控制金属凝固相组织的方法,在金属凝固过程中,首先向金属熔体凝固界面前沿的金属熔体区域施加旋转磁场,同时通过外部电源对整个连铸坯的固液界面区域附近的金属熔体施加电流,电流为直流电流或交流电流,在旋转磁场和电流的复合作用下,使连铸坯的固液界面区域附近的金属熔体产生周期性振荡,对金属熔体凝固界面附近的金属液进行电磁复合搅拌,对金属熔体的初始凝固枝晶端部产生剪切,使金属熔体中初生晶粒之间以及初生晶粒与金属熔体之间发生碰撞、摩擦和冲刷作用,造成大尺寸初生晶粒碎断,形成新的晶核或形成尺寸更加细化的晶粒,从而细化连铸坯凝固组织。

[0008] 作为本发明优选的技术方案,再将压力铸造工艺、金属型重力铸造工艺、考斯沃斯法铸造工艺、消失模铸造工艺或精确砂型重力铸造工艺引入金属熔体凝固过程,提高连铸坯的物理和化学性能。

[0009] 在上述技术方案中,外加旋转磁场的磁场强度优选为 0.01-10000 mT,频率为 0.1-1000Hz。

[0010] 在上述技术方案中,对金属熔体施加电流优选为直流电流、低频交流电流、工频交流电流、中频交流电流或者高频交流电流,电流的强度优选在 0.1-20000A 范围连续可调,交流电流频率优选为 0.01-10000Hz,交流电流的波形优选为方形、正弦、三角形或者特定性状的波形。

[0011] 在上述技术方案中,所制备的连铸坯料优选为厚板坯、薄板坯、小方坯或圆坯。

[0012] 在上述技术方案中,本发明外加旋转磁场和电流复合控制金属凝固相组织的方法尤其适用于钢、铝或其合金、铜或其合金、镁或其合金、锌或其合金、镍或其合金、铬或其合

金、或者锆或其合金，其中铝合金为易偏析、晶粒 / 枝晶粗大的铝合金，至少包括亚共晶铝硅合金、共晶铝硅合金、过共晶铝硅合金和 7075 铝合金。

[0013] 还提供一种利用本发明外加旋转磁场和电流复合控制金属凝固相组织的方法的金属熔铸装置，主要包括保温炉、水冷结晶器、二次水冷喷嘴、连铸坯切割机、砧铁和压断机，保温炉内的金属熔体通过水口流入连铸机的水冷结晶器的入口，凝固的连铸坯从水冷结晶器的末端出口拉出，二次水冷喷嘴对二冷段区域的连铸坯进行喷水冷却，在随后的连铸坯切割机的切割、砧铁的支撑和压断机的压断下，即可得到金属连铸坯料，将水冷结晶器置于旋转磁场发生器的旋转腔中，使连铸坯的固液界面区域附近的金属熔体处于外部旋转磁场的作用之下，并在旋转磁场发生器和水冷结晶器之间设置磁场发生器水冷套，给磁场发生器水冷套通入冷却水，同时还采用将电极和辊轮电极用电缆分别与电源连接，电源能输出直流电流或交流电流，电极的一端浸入保温炉的金属熔体中，辊轮电极设置在从水冷结晶器末端拉出的连铸坯的侧面，使辊轮电极的电极端与连铸坯表面之间通过接触实现电连接，从而使电极、保温炉内的金属熔体、水冷结晶器内的金属熔体、二冷段区域的连铸坯内的金属液芯、连铸坯凝固末端区域的连铸坯金属液芯、初始凝固的连铸坯壳之间形成串联的电流通路，通过电源对整个连铸坯的凝固界面前沿的附近的金属熔体施加电流和旋转磁场的复合搅拌作用，使整个连铸坯的凝固界面前沿的附近的金属熔体产生周期性振荡，对金属熔体的初始凝固枝晶端部产生剪切，使金属熔体中初生晶粒之间以及初生晶粒与金属熔体之间发生碰撞、摩擦和冲刷作用，造成大尺寸初生晶粒碎断，形成新的晶核或形成尺寸更加细化的晶粒，从而细化连铸坯凝固组织。

[0014] 在上述技术方案中，连铸机优选为水平式、立式、立弯式、垂直 - 多点弯曲式、垂直 - 弧形、多半径弧形或旋转式连铸机。

[0015] 在上述技术方案中，旋转磁场发生器的旋转腔内部口径优选为 10mm-5000mm，旋转磁场发生器最好由一个三相异步电动机的定子线圈产生，定子线圈的三相绕组方式优选为三角形接法或星型接法，使旋转磁场发生器的线圈绕组中心线最好与水冷结晶器的中心线重合设置。

[0016] 在上述技术方案中，电极优选为石墨电极或由无磁性且不与金属熔体发生反应的导电材料制造的电极。

[0017] 本发明与现有技术相比较，具有如下显而易见的突出实质性特点和显著优点：

1. 本发明在凝固过程中施加旋转磁场，可以对金属熔体进行电磁搅拌，电磁搅拌通过驱动金属液流动，从而对初晶和共晶的枝晶端部产生剪切，造成枝晶碎断，形成新的晶核，晶核数目的增加使得初晶和共晶得到细化；

2. 本发明电磁搅拌在金属熔体中产生强力的流动，可以大大加速液心的传热而使过热度迅速消失，固液界面前沿温度梯度减缓，两相区成分过冷增加，甚至达到内生形核的条件，从而增加形核率，达到细化晶粒的目的；

3. 本发明在凝固过程中旋转磁场和电流的复合作用，可以在过金属熔体中产生周期性振荡，旋转磁场的正半周，其与直流电流的作用力与旋转磁场同向，则可以促进合金熔体的流动，而在旋转磁场的负半周，其与直流电流的作用力与旋转磁场运动方向反向，则该电磁力将驱动熔体呈反方向的运动，甚至形成与原有金属熔体旋转方向相反的剪切流；

4. 本发明在凝固过程中旋转磁场和电流的复合作用所产生的周期性振荡或者剪切

流,可以使金属熔体中初生晶粒之间以及初生晶粒与金属熔体之间发生碰撞、摩擦和冲刷作用,尺寸较大或较长的晶粒被打碎成尺寸较小的晶粒,并均匀分布在金属基体中,使得初晶和共晶尺寸更加细小,形貌更加圆整光滑;

5. 本发明在外加旋转磁场和电流的复合作用下,在细化初晶和共晶的同时,还作用于基体金属熔体,影响合金元素晶相的共生过程,细化基体的凝固组织,使得合金性能进一步的提高;

6. 本发明采用三相异步电动机的定子线圈作为旋转磁场的发生装置,所需设备少,安装形式灵活多样,启动方式简单,噪声低,效率高,标准化、系列化和通用化程度大大提高;

7. 本发明采用水平连铸设备时,结构简单、重量轻、高度低,占地面积小,对厂房和排水道没有特殊要求,投资少;

8. 本发明采用水平连铸过程中,保温炉与结晶器密封连接,避免了金属液浇注时的二次氧化,铸坯清洁度高、质量好,铸锭的结晶组织均匀、致密度高、表面质量好,连续浇铸、连续锯切、定尺出锭,生产效率高。

### 附图说明

[0018] 图1为本发明实施例一金属熔铸装置的结构示意图。

[0019] 图2为本发明实施例一的旋转磁场及其复合电流对金属熔体作用的示意图。

[0020] 图3为旋转磁场及其电流的复合作用下本发明实施例一凝固工艺中大尺寸晶粒细化过程。

### 具体实施方式

[0021] 本发明的优选实施例详述如下:

实施例一:

在本实施例中,采用Al-20wt%Si合金,作为旋转磁场复合外加电流细化过共晶铝硅合金相组织的方法及装置的实施例用合金,Al-20wt%Si合金采用工业纯铝和结晶硅进行熔配,合金总容量为2kg。

[0022] 在本实施例中,参见图1~图3,金属熔铸装置,主要包括保温炉1、水冷结晶器4、二次水冷喷嘴7、连铸坯切割机11、砧铁13和压断机14,保温炉1内的金属熔体2通过水口流入水平连铸机的水冷结晶器4的入口,凝固的连铸坯12从水冷结晶器4的末端出口拉出,二次水冷喷嘴7对二冷段区域的连铸坯12进行喷水冷却,在随后的连铸坯切割机11的切割、砧铁13的支撑和压断机14的压断下,即可得到金属连铸坯料,将水冷结晶器4置于旋转磁场发生器5的旋转腔中,使连铸坯12的固液界面区域附近的金属熔体处于外部旋转磁场的作用之下,并在旋转磁场发生器5和水冷结晶器4之间设置磁场发生器水冷套6,给磁场发生器水冷套6通入冷却水,旋转磁场发生器5由一个三相异步电动机的定子线圈产生,定子线圈的三相绕组方式是三角形接法,使旋转磁场发生器5的线圈绕组中心线与水冷结晶器4的中心线重合设置,使外加磁场的磁感应强度为500mT,频率为30Hz,同时还采用将电极3和辊轮电极8用电缆10分别与电源9连接,电极3是石墨电极,电源9输出电流强度为150A的直流电流,电极3的一端浸入保温炉1的金属熔体中,辊轮电极8设置在从水冷结晶器4末端拉出的连铸坯12的侧面,使辊轮电极8的电极端与连铸坯12表面之

间通过接触实现电连接,从而使电极 3、保温炉 1 内的金属熔体、水冷结晶器 4 内的金属熔体、二冷段区域的连铸坯 12 内的金属液芯、连铸坯 12 凝固末端区域的连铸坯金属液芯、初始凝固的连铸坯壳之间形成串联的电流通路,通过电源 9 对整个连铸坯 12 的凝固界面前沿的附近的金属熔体 2 施加电流和旋转磁场的复合搅拌作用,使整个连铸坯 12 的凝固界面前沿的附近的金属熔体 2 产生周期性振荡,对金属熔体 2 的初始凝固枝晶端部产生剪切,使金属熔体 2 中初生晶粒之间以及初生晶粒与金属熔体 2 之间发生碰撞、摩擦和冲刷作用,造成大尺寸初生晶粒 15 碎断,形成新的晶核或形成尺寸更加细化的晶粒 18,从而细化连铸坯凝固组织。

[0023] 本实施例通过旋转磁场复合外加电流反应装置来实现。参见图 1,将连铸机的水冷结晶器 4 置于旋转磁场发生器 5 的旋转腔中,在保温炉 1 中插入石墨制作的电极 3。将容量为 2kg 的结晶硅和工业纯铝按质量比为 4:1 的比例在感应炉中进行熔配,熔配温度为 750℃,待其完全熔化后,一并浇入到连铸机的保温炉 1 中进行连铸。开启旋转磁场发生器 5,使磁感应强度为 500mT,频率为 30Hz,同时打开电源 9 向金属熔体中输入直流电流,使得直流电流强度为 150A,确保旋转磁场和直流电流复合作用于连铸金属熔体 2。在旋转磁场的作用下会对连铸合金熔体产生均匀的搅拌,于此同时,由于直流电流流经连铸合金熔体时与旋转磁场相互作用,使得连铸合金熔体在搅拌的同时受到周期性的振荡和剪切,参见附图 2。参见附图 3,在旋转磁场和直流电流的复合作用下,连铸合金熔体中大尺寸的板片状初晶硅相逐渐发生弯曲,形成弯曲状的初晶硅相 16,在周期性的振荡和剪切流作用下,弯曲的初晶硅相 16 被打碎成细小的初晶硅相 17,从而造成大尺寸初生晶粒 15 碎断,随后在不断的碰撞、摩擦和冲刷下形成边角圆整光滑的细小初晶硅相,细小初晶硅相成为更加细化的晶粒 18,即可得到初晶硅相和共晶硅相尺寸细小、形貌圆整光滑,且均匀分布在整个基体中的过共晶 Al-20wt%Si 合金连铸坯料。

[0024] 在本实施例中,采用工业纯铝和结晶硅作为原料,按照比例称量后在感应炉中进行熔配,待其完全熔化后,一并浇入到连铸机的保温炉 1 内进行连铸,连铸机的水冷结晶器 4 事先置于旋转磁场中,事先在保温炉 1 中插入石墨电极,并在出水冷结晶器 4 末端的连铸坯侧面设置辊轮电极 8,形成为旋转磁场复合外加电流反应装置。在旋转磁场和直流电流的复合作用下,连铸合金熔体受到均匀的搅拌、周期性的振荡和剪切,并在随后切割机 11 的切割和压断机 14 的压断下制得连铸坯料。本发明通过旋转磁场和外加电流的复合作用来完成对过共晶铝硅合金凝固过程的控制。首先,在过共晶铝硅合金凝固过程中施加旋转磁场,旋转磁场在合金液中产生感应电流,在外加磁场的共同作用下,在合金熔体中产生一体积力即电磁力,推动熔体运动,从而达到对合金熔体搅拌的目的;电磁搅拌一方面通过驱动合金液流动,从而对初晶硅相和共晶硅相枝晶端部产生剪切,造成枝晶碎断,形成新的晶核,细化晶粒;同时,强力流动可以大大加速液心的传热而使过热度迅速消失,使固液界面前沿温度梯度减缓,两相区成分过冷增加,甚至达到内生形核的条件,从而增加形核率,达到细化晶粒的目的。此外,在过共晶铝硅合金熔体中引入旋转磁场的同时,施加一个直流电流,旋转磁场和直流电流的复合作用可以在过共晶铝硅合金熔体中产生周期性振荡,旋转磁场的正半周,其与直流电流的作用力与旋转磁场同向,则可以促进合金熔体的流动,而在旋转磁场的负半周,其与直流电流的作用力与旋转磁场运动方向反向,则该电磁力将驱动熔体呈反方向的运动,甚至形成与原有合金熔体旋转方向相反的剪切流,这种周期性的



振荡或者剪切流可以使合金熔体中硅相之间以及硅相与熔体之间发生碰撞、摩擦和冲刷作用,尺寸较大或较长的硅相粒子被打碎成尺寸较小的硅相粒子均匀分布在整个基体中,且硅相形貌更加圆整光滑。因此,通过旋转磁场和外加电流的复合作用,就可以显著细化过共晶铝硅合金凝固中的初晶硅和共晶硅尺寸,改善初晶硅和共晶硅的形貌,进而显著提升合金的韧性和力学性能。

**[0025] 实施例二:**

本实施例与实施例一基本相同,特别之处在于:

在本实施例中,将压力铸造工艺即设备引入金属熔体凝固过程中和金属熔铸装置中,进一步提高连铸坯力学性能和其他物理和化学性能,制备高品质合金铸造坯料。还能用于对性能优异的高硅铝合金发动机缸体缸套材料、铜铬锆合金高铁电车线材料等各类高性能合金材料的制备。

**[0026]** 上面结合附图对本发明实施例进行了说明,但本发明不限于上述实施例,还可以根据本发明的发明创造的目的做出多种变化,凡依据本发明技术方案的精神实质和原理下做的改变、修饰、替代、组合、简化,均应为等效的置换方式,只要符合本发明的发明目的,只要不背离本发明外加旋转磁场和电流复合控制金属凝固相组织的方法及其熔铸装置的技术原理和发明构思,都属于本发明的保护范围。

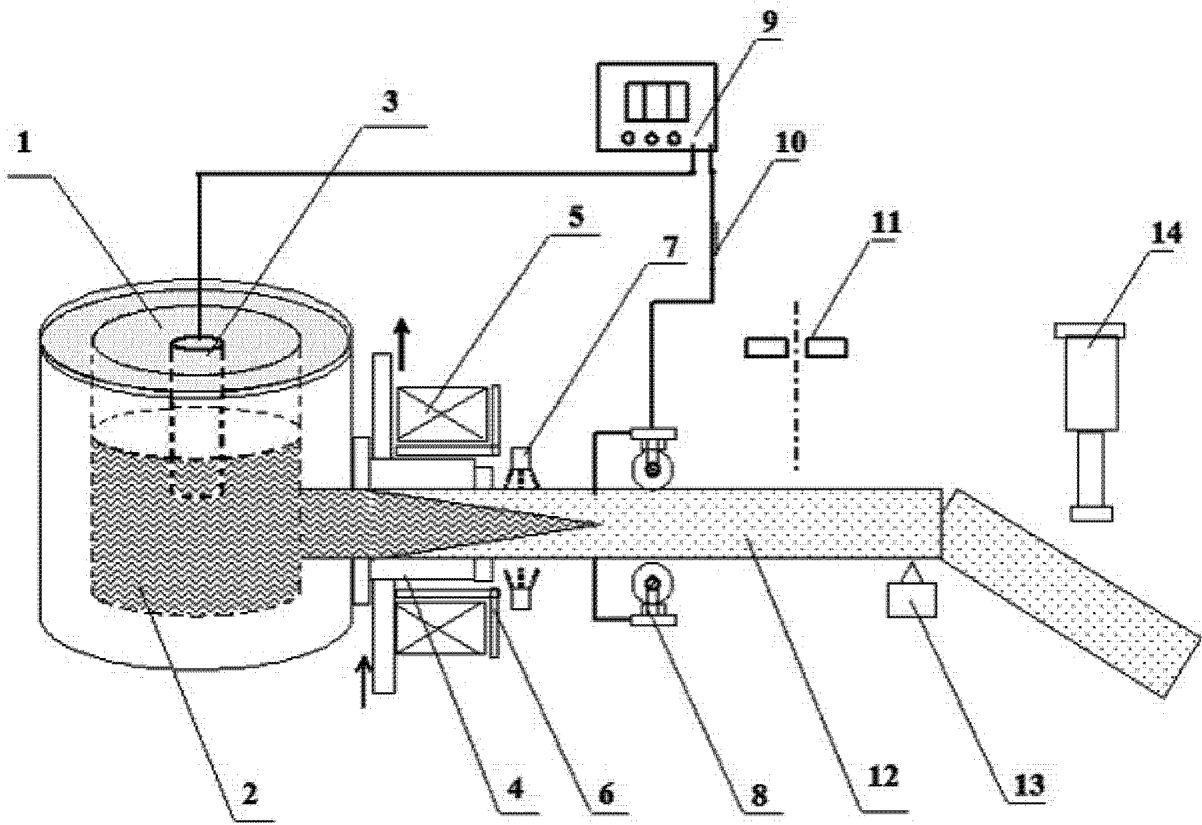


图 1

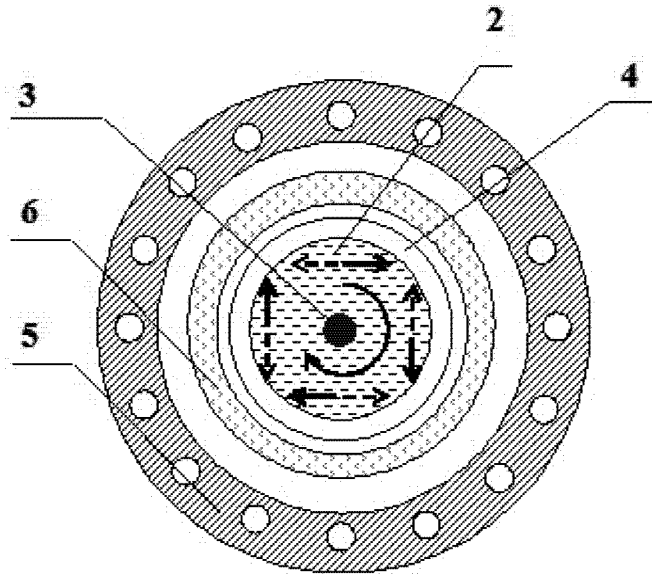


图 2

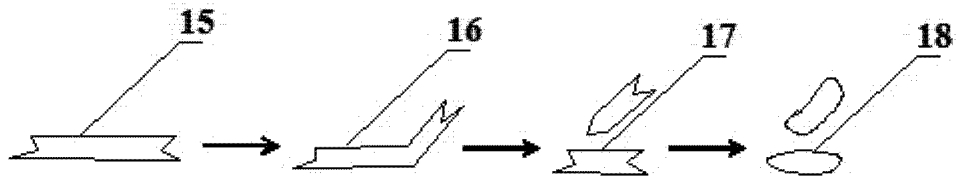


图 3