

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

C22C 45/08 (2006.01)

B01F 13/08 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510086377.4

[45] 授权公告日 2007 年 8 月 22 日

[11] 授权公告号 CN 1333100C

[22] 申请日 2005.9.9

[21] 申请号 200510086377.4

[73] 专利权人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区北京 100084 -
82 信箱

[72] 发明人 唐靖林 冯鹏发 曾大本

[56] 参考文献

CN 1594618A 2005.3.16

审查员 王怀东

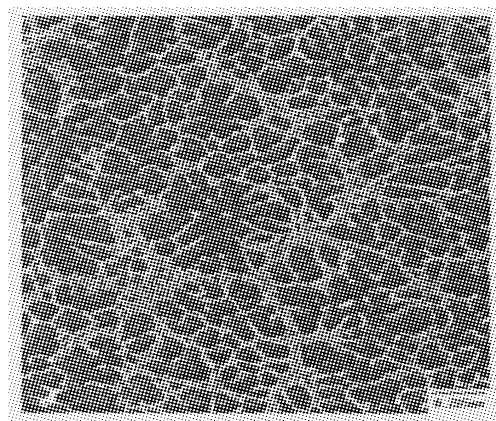
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 1 页

[54] 发明名称

一种制备半固态铝合金浆料的方法

[57] 摘要

一种制备半固态铝合金浆料的方法，涉及一种电磁搅拌法制备半固态合金浆料的方法，适合于铝合金等低熔点合金。制备低过热度熔体，将制备的低过热度熔体保温，坩埚预热；提前开启搅拌器；将保温低过热度熔体倒入搅拌坩埚，放入电磁搅拌器内采用双向电磁搅拌方法制备半固态浆料，在搅拌过程中对温度进行实时采集，当熔体温度降至液相线以下 5~10℃，停止搅拌，得到半固态合金浆料。本发明充分利用熔体运动惯性产生很大的速度差和惯性冲击，使搅拌效率大为提高，有助于半固态合金中固相的均匀分布；试验表明，在搅拌力不大的情况下，可快速获得分布均匀的细小球状初晶组织的半固态浆料，将成为流变成形用半固态合金浆料的在线制备的新技术。



1、一种制备半固态铝合金浆料的方法，其特征在于，该方法包括以下步骤：

(1) 制备低过热度熔体；

采用现有技术中的各种加热方法制备低过热度熔体；温度保持在液相线以上 30~35℃，制备得到化学成分均匀、恒定，少或无偏析的低过热度熔体；

(2) 将制备的低过热度熔体保温

将步骤(1)制备的低过热度熔体转移至低温电阻炉内，保温使熔体温度均匀；

(3) 双向电磁搅拌方法制备半固态浆料

将上述步骤(2)低温电阻炉内保温的低过热度熔体倒入搅拌坩埚，把坩埚放入电磁搅拌器内腔，采用双向电磁搅拌方法开始电磁搅拌制备半固态浆料；

主要包括以下四个步骤：

(3.1) 在低过热度熔体倒入搅拌坩埚前，搅拌坩埚预热至 350~400℃；

(3.2) 在把坩埚放入电磁搅拌器内腔之前 5~10s 开启搅拌器：

电磁搅拌频率：5~30Hz；

电磁搅拌功率：15kw；

搅拌方式采用正转、反转或交替运行；

搅拌换向时间为 0~10s；

(3.3) 将熔体处理后的低过热度熔体转入搅拌坩埚内，把坩埚放入电磁搅拌器内腔，并立即检测熔体温度；

(3.4) 按照设定搅拌方式进行电磁搅拌；

(4) 在搅拌过程中对温度进行实时采集，搅拌时间以最终搅拌温度设定，当搅拌过程中熔体温度降至液相线以下 5~10℃，即停止搅拌，得到半固态合金浆料。

2、根据权利要求 1 所述的一种制备半固态铝合金浆料的方法，其特征在于，通过电磁搅拌器调频来控制搅拌强度。

3、根据权利要求 1 所述的一种制备半固态铝合金浆料的方法，其特征在于，其电磁搅拌器内腔放置有保温棉。

一种制备半固态铝合金浆料的方法

技术领域

本发明涉及一种电磁搅拌法制备半固态合金浆料的方法，适合于铝合金等低熔点合金。

背景技术

半固态合金浆料是半固态成形必备的原料。半固态合金浆料的基本要求是其中的固相呈细小圆整的非枝晶，且尺寸一致，分布均匀。制备半固态铝合金浆料的技术和工艺有多种，但是能够实现在线快速制备的技术和工艺报道较少。

在现有的制备半固态合金浆料技术中，按照制备原理主要分为利用外力、添加孕育剂、控制冷却速度、加热保温和低过热度铸造等若干类方法。利用外力的方法主要是采用各种搅拌和超声破振动等技术对熔体产生一个外力场，使合金熔体发生强烈的对流，达到细化晶粒、抑制枝晶生长、获得非枝晶组织的目的。这类方法的研究较多，包括各种机械搅拌法、电磁搅拌法和超声波振动法等，但是对于如何增强外力场的作用效果，以达到高效、快速制备半固态合金浆料等问题，尚是有待解决的问题。

添加孕育剂的方法主要是通过向合金熔体内添加粉末细化剂和（或）变质剂，改善熔体的形核条件和（或）控制晶粒生长方式，以达到细化晶粒的目的。这种方法的主要问题是难以得到理想的球晶结构，无法单独作为半固态浆料的制备方法；而且在生产现场难以满足制备材料的一致性要求。

控制冷却速度法是通过减缓熔体的冷却速度促进枝晶退化，以达到枝晶向等轴晶的转变，从而获得半固态浆料。这种方法得到的晶粒尺寸较大，成形件的性能难以体现半固态加工的优势，且生产效率较低；同样在生产现场难以满足制备材料的一致性要求。

晶粒细化及重新加热保温法是利用化学晶粒细化剂制备晶粒细小的合金锭料，然后锭料重新加热到固液两相区，依靠一段时间保温过程中的组织演化来获得半固态浆料。这种方法局限性较大，一则合适的晶粒细化剂极其有限，二则制备过程较长，效率较低。

低过热度铸造，也称（近）液相线铸造，是通过低过热度浇注和整体加压效应，使整个合金液同时进入过冷状态，实现同时形核和同时长大，但只能用于简单结构件的成形，且生产效率较低。

此外，半固态浆料的制备方法还有喷射沉积法、变形诱变激活法、紊流效应法和多种粉末冶金法（包括单、双气流雾化、高速旋转筒雾化、电-流体力学雾化等）等，但都受到制备效率和制备费用的限制，无法大规模生产应用。

发明内容

本发明旨在传统电磁搅拌法制备半固态合金浆料的基础上，开发出一种制备半固态合金的电磁搅拌新工艺，即双向电磁搅拌方法。

一种制备半固态铝合金浆料的方法，包括以下步骤：

(1) 制备低过热度熔体

所谓低过热度，是相对传统铸造过程的过热度而言，即熔体温度稍高于合金的液相线；对设备无特殊要求，可以采用现有技术中的各种加热方法制备低过热度熔体；温度保持在液相线以上 30~35℃，制备得到化学成分均匀、恒定，少（无）偏析的低过热度熔体；

(2) 将制备的低过热度熔体保温

将步骤（1）制备的低过热度熔体转移至低温电阻炉内，保温一段时间，使熔体温度均匀；

(3) 双向电磁搅拌方法制备半固态浆料

将上述步骤（2）低温电阻炉内保温的低过热度熔体倒入搅拌坩埚，把坩埚放入电磁搅拌器内腔，采用双向电磁搅拌方法开始电磁搅拌制备半固态浆料；所谓双向电磁搅拌，即通过转向机构，使熔体在搅拌腔内按照“正转-反转-正转”方式交替转动，

主要包括以下四个步骤：

(3.1) 在低过热度熔体倒入搅拌坩埚前，搅拌坩埚预热至 350~400℃；这样熔体进入搅拌坩埚后，坩埚壁处熔体的温度高于搅拌开始温度；

(3.2) 在把坩埚放入电磁搅拌器内腔之前 5~10s 开启搅拌器；

电磁搅拌频率：5~30Hz；

电磁搅拌功率：15kw；

搅拌方式可采用正转、反转或交替运行；

搅拌换向时间为 0~10s；

(3.3) 将熔体处理后的低过热度熔体（熔体温度高于液相线 30~35℃）转入搅拌坩埚内，把坩埚放入电磁搅拌器内腔，并立即检测熔体温度；

(3.4) 按照设定搅拌方式进行电磁搅拌；

此时主要工艺参数有：开始搅拌温度（液相线以上 30~35℃）、单向搅拌时间（5s）、正转-反转换向方式（采用无间歇换向）、搅拌频率（25~30Hz）、搅拌电压（设定搅拌频率下最大容许电压）；

(4) 在搅拌过程中对温度进行实时采集，搅拌时间以最终搅拌温度设定，当搅拌过程中熔体温度降至液相线以下 5~10℃，即停止搅拌，得到半固态合金浆料。

本发明电磁搅拌器通过调频来控制搅拌强度。

本发明还可在电磁搅拌器内腔放置保温棉，以保证电磁搅拌过程中坩埚壁部分熔体不至

于降温过快。

本发明充分利用熔体的运动惯性产生很大的速度差和惯性冲击，使搅拌效率大为提高，而且有助于半固态合金中固相的均匀分布；试验表明，在搅拌力不大的情况下，可快速获得分布均匀的细小球状初晶组织的半固态浆料，从而将成为流变成形用半固态合金浆料的在线制备的新技术。

(1) 电磁搅拌的作用是使熔体产生强烈的对流，从而处于同一温度或极小温度梯度状态下，保证整个熔体同时进入过冷状态，实现同时形核。晶核在随后的长大过程中，受到相邻晶核长大阻力的影响，不可能（或极少）形成发达的枝晶，从而得到理想的球状晶粒结构。即电磁搅拌的作用是创造等轴晶形核的动力学条件，并不直接参与等轴晶的形核和长大。制备化学成分均匀、恒定、偏析小的低过热度熔体（即温度在液相线以上 $30\sim 35^{\circ}\text{C}$ ），可缩短合金冷却时间，即缩短电磁搅拌时间，提高半固态浆料的制备效率。

(2) 采用双向电磁搅拌方法制备半固态浆料过程中，(a) 在熔体送入双向电磁搅拌器之前启动电磁搅拌机构，一则可以促进合金熔体形核，从而缩短制浆时间，提高制浆效率，二则可以保证料筒的中央和内壁处的合金得到充分的搅拌，使得料筒内热流传递充分，保证料筒内各部分浆料组织均匀，抑制料筒内壁处因激冷而出现枝晶；(b) 在电磁搅拌器内腔放置保温棉，可保证电磁搅拌过程中不出现坩埚壁部分熔体降温过快为准；(c) 双向电磁搅拌机构通过转向机构使电磁搅拌方向瞬间转变，实现“正转-反转-正转”交替运行，利用熔体的运动惯性产生很大的速度差和惯性冲击，从而使搅拌效率大为提高。

本发明的主要优点如下：

(1) 浆料制备效率较传统的电磁搅拌技术大为提高。由于电磁搅拌力跟磁场转速与熔体流速之间的速度差密切相关，单向电磁搅拌的磁场转速与熔体流速同向，二者的速度差有限，而双向电磁搅拌时，利用熔体的运动惯性可以产生很大的速度差和惯性冲击，从而使搅拌效率大为提高，有助于实现半固态合金浆料的在线制备。

(2) 半固态合金浆料的组织较传统的电磁搅拌技术更为优异。由于电磁搅拌方向瞬间换向时，与熔体的运动惯性可以产生很大机械冲击，可以更加有效地抑制熔体中枝晶的生长，而且有助于使熔体中的固相颗粒分布更均匀，因此本方法得到的半固态合金晶粒更细小、均匀。

具体实施方式

实施例 A356 合金半固态浆料的制备

首先，采用电阻炉熔化 A356 合金锭，A356 合金熔体的温度为 $640^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，保温时间为 30 分钟，以保证熔体温度均匀；在熔体保温的同时，将搅拌坩埚预热至 400°C 。随后开启电磁搅拌器，开启约 10s 后，把经过低温保温的 A356 合金熔体倒入搅拌坩埚，把坩埚放入电磁

搅拌器内腔，开始电磁搅拌。电磁搅拌工艺参数如下：正-反无间歇双向搅拌、浇注温度 $T_0=640^{\circ}\text{C}$ 、搅拌频率 $f=30\text{Hz}$ 、输出电压 $U=220\text{V}$ 、单向搅拌时间 $\Delta\tau=5\text{s}$ 。搅拌过程对浆料温度进行实时采集，当温度降至 $607\sim 605^{\circ}\text{C}$ 时，即停止搅拌。试验记录，整个搅拌过大致需要 65s 左右。

采用这种方法制备的半固态浆料晶粒直径可达 $100\mu\text{m}$ 以下，形状因子可达到 0.70 以上，组织中无典型的柱状晶和树枝晶，晶粒内卷液现象极少（图 1）。图 1 是采用本发明制备的半固态铝合金浆料晶粒示意图，其组织和流变性能满足半固态加工要求。

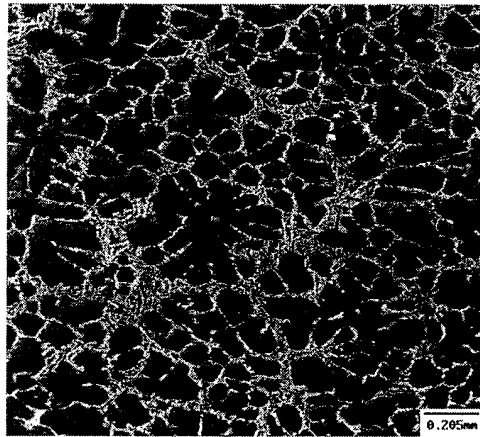


图 1