



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105063448 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 18

(21) 申请号 201510596611. 1

(22) 申请日 2015. 09. 18

(71) 申请人 济南大学

地址 250022 山东省济南市市中区南辛庄西路 336 号

(72) 发明人 滕新营 许敏 张金洋 徐淑敏  
葛行敬

(74) 专利代理机构 济南泉城专利商标事务所  
37218

代理人 李桂存

(51) Int. Cl.

*G22C 23/04*(2006. 01)

*G22C 23/06*(2006. 01)

*G22C 1/03*(2006. 01)

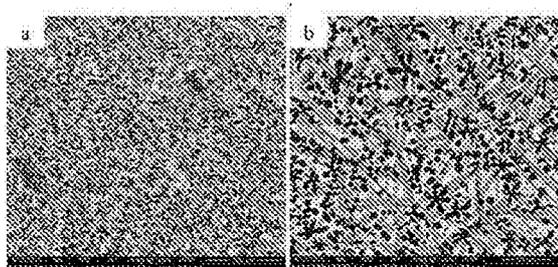
权利要求书2页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

一种准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金及其制备方法

(57) 摘要

本发明涉及一种准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金及其制备方法,由以下质量百分含量的成分组成:Zn 5. 51 ~ 13. 58%, Y 11. 30 ~ 13. 35%, 余量为 Mg。本发明在 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金的基础上,通过合理的工艺手段,在熔炼 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金过程中加入质量分数为 2% ~ 16% 的 Mg-Zn-Y 准晶中间合金,制得准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金。既保留了该 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金较好的高温抗蠕变高的优点,又改善了合金的强度和塑性,使制得的新型镁合金的综合性能有明显的提高。本发明制备得到的复合镁合金材料在轨道交通、汽车、电子以及通信等领域有广泛的应用前景。



1. 一种准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金,其特征在于,由以下质量百分含量的成分组成:Zn 5.51 ~ 13.58%,Y 11.30 ~ 13.35%,余量为 Mg。

2. 根据权利要求 1 所述的 Mg-Zn-Y 镁合金,其特征在于,微观形貌为:颗粒状二十面体准晶、二十面体准晶与镁基体组成的层片状共晶组织以及交错分布的细杆状或针状 LPSO 相;所述镁基体为  $\alpha$ -Mg;

所述准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金中,颗粒状二十面体准晶和 LPSO 相弥散分布于镁基体中,层片状共晶组织和细杆状或针状 LPSO 相叠层分布。

3. 根据权利要求 1 所述的 Mg-Zn-Y 镁合金,其特征在于:第二相积分数为 49.63~83.41%;晶粒平均粒径为 10.15 ~ 19.83  $\mu\text{m}$ ;所述第二相包括颗粒状二十面体准晶、二十面体准晶与镁基体组成的层片状共晶组织和 LPSO 结构相;所述晶粒为在第二相作用下镁基体  $\alpha$ -Mg 的晶粒。

4. 一种权利要求 1 准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金的制备方法,其特征在于:制备 Mg-Y 中间合金;再将 Mg-Y 中间合金、纯镁锭和纯锌锭熔炼,制得 Mg-Zn-Y 准晶中间合金;熔炼 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金,并在熔炼过程中加入 Mg-Zn-Y 准晶中间合金,浇注成形,制得准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金。

5. 根据权利要求 4 所述的制备方法,其特征在于:所述的 Mg-Y 中间合金,其组成按质量百分含量为:29.50 ~ 30.50%Y 和 69.50 ~ 70.50%Mg。

6. 根据权利要求 4 所述的制备方法,其特征在于:所述的 Mg-Zn-Y 准晶中间合金,由以下质量百分含量的成分组成:55.00 ~ 56.00% Zn、5.00% ~ 6.00%Y,余量为镁。

7. 根据权利要求 4 所述的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 制备 Mg-Y 中间合金:

以质量百分含量为 29.50 ~ 30.50%Y 和 69.50 ~ 70.50%Mg 为原料,加热熔化并升温至 805 ~ 845 $^{\circ}\text{C}$ ,搅拌均匀后浇注金属型,制得 Mg-Y 中间合金,熔炼过程中通入  $\text{SF}_6$ - $\text{CO}_2$ 混合气体保护,得 Mg-Y 中间合金;

2) 制备 Mg-Zn-Y 准晶中间合金:

按配比取纯锌锭、步骤 1)制备的 Mg-Y 中间合金和纯镁锭,在  $\text{SF}_6$ - $\text{CO}_2$ 混合气体保护下,将 Mg-Y 中间合金和纯镁锭放入预热到 225 ~ 325 $^{\circ}\text{C}$ 的容器中,然后升温至 720 ~ 750 $^{\circ}\text{C}$ ,待 Mg-Y 中间合金和纯镁锭完全熔化时,加入纯锌锭,搅拌均匀,除去熔液表面的废渣,继续搅拌 2 ~ 3min,静置 20 ~ 30min,然后在  $\text{SF}_6$ - $\text{CO}_2$ 混合气体保护下,室温静置 3 ~ 5min,浇注成形,制得 Mg-Zn-Y 准晶中间合金;

3) 制备准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金:

按配比取纯锌锭、步骤 1)制备的 Mg-Y 中间合金和纯镁锭,在  $\text{SF}_6$ - $\text{CO}_2$ 混合气体保护下,将 Mg-Y 中间合金和纯镁锭放入预热到 200 ~ 320 $^{\circ}\text{C}$ 的容器中,然后升温至 710 ~ 740 $^{\circ}\text{C}$ ,待 Mg-Y 中间合金和纯镁锭完全熔化时,加入纯锌锭,搅拌均匀,除去熔液表面的废渣,继续搅拌 2 ~ 3min,静置 10 ~ 20min,然后加入步骤 2)制备的并已预热到 250 ~ 300 $^{\circ}\text{C}$ 的 Mg-Zn-Y 准晶中间合金,待准晶中间合金完全熔化并且合金液升温至 730 $^{\circ}\text{C}$  ~ 750 $^{\circ}\text{C}$ 时,搅拌均匀,静置 20 ~ 25min,然后浇注成形,制得准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金。

8. 根据权利要求 7 所述的制备方法,其特征在于:所述的,步骤 2)中原料纯锌锭、Mg-Y 中间合金和纯镁锭的重量百分含量组成为:55.00 ~ 56.00% 纯锌锭、16.39 ~ 20.34%Mg-Y

中间合金、余量为纯镁锭；步骤 2) 制得 Mg-Zn-Y 准晶中间合金，各成分质量百分含量组成为：55.00 ~ 56.00%Zn、5.00 ~ 6.00%Y，余量为镁。

9. 根据权利要求 7 所述的制备方法，其特征在于：所述的，步骤 3) 中，纯锌锭、Mg-Y 中间合金和纯镁锭原料的重量百分含量组成为：4.50 ~ 5.50% 纯锌锭、40.98 ~ 45.76%Mg-Y 中间合金、余量为纯镁锭；步骤 3) 中，Mg-Zn-Y 准晶中间合金加入量为各原料总质量的 2.00 ~ 16.00%，所述各原料总质量为步骤 3) 中纯锌锭、Mg-Y 中间合金、纯镁锭和 Mg-Zn-Y 准晶中间合金的质量总和。

10. 根据权利要求 7 所述的制备方法，其特征在于：所述的，步骤 1)、2)和 3)中 SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub> 混合气体，SF<sub>6</sub>和 CO<sub>2</sub>体积比为 1:150。

## 一种准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金及其制备方法

### 技术领域

[0001]

本发明属于高性能镁合金技术领域,具体涉及一种准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金及其制备方法。

### 背景技术

[0002]

随着汽车和航空工业的飞速发展,对节能减排和轻量化提出了更高的要求,使得高强度轻质材料有了更大的发展。镁合金作为目前实际应用中最轻的金属结构材料,具有比强度和比模量高、吸振降噪性好、铸造性能好、易于回收等优点,在航空、航天、汽车、能源以及通信等领域有广泛的应用前景。其中,综合性能优良的低成本铸造镁合金多用于汽车、电子等民用领域,又以镁合金在汽车零部件中的应用为重点,汽车连杆、活塞、轮毂等零部件需要具有强韧性和塑性均佳的材料,且要求耐磨、耐高温。镁合金中长周期堆垛有序结构 LPSO (Long period stacking ordered) 是一种针状或层片状结构相,呈弥散状均匀分布在基体上,有效的细化晶粒、使组织更加均匀,进而增强镁合金的性能,不仅保持了镁合金质量轻、优良的减振降噪性能等优点还改善了镁合金强度低塑性差的缺点。其中,LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金以较好的高温抗蠕变性能、低成本而得到重视。然而,作为轻量化结构材料,其强度仍难以满足承载零件的力学性能要求。为了进一步提高 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金强度,引入第二相增强成为有效方法,其中准晶相增强镁基复合材料受到越来越多的关注。

[0003] 研究表明,二十面体准晶(I相)具有高硬度、良好的热力学稳定性、低摩擦系数、低界面能和耐蚀等特点以及与镁基体的良好的结合性,适合于作强韧性基体材料中的强化相。此外,准晶具有重熔性,使复合外加法这一经济又简便的制备手段得以运用。

### 发明内容

[0004]

本发明针对目前 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金强度不足的状况,提供了一种准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金材料,既保留了该 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金较好的高温抗蠕变高的优点,又改善了合金的强度和塑性,使制得的新型镁合金的综合性能有明显的提高,满足了镁合金作为高耐腐蚀性轻质化结构材料在工业生产中的应用要求。

[0005] 同时,本发明还提供了上述准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金材料制备方法。在 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金的基础上,通过复合外加法,外加质量分数为 2.00% ~ 16.00% 的 Mg-Zn-Y 准晶中间合金,制得准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金,方法简单易操作。

[0006] 本发明是通过以下方法实现的:

一种准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金,由以下质量百分含量的成分组成:Zn 5.51 ~ 13.58%, Y 11.30 ~ 13.35%,余量为 Mg。

[0007] 所述准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金微观形貌为：颗粒状二十面体准晶、二十面体准晶与镁基体组成的层片状共晶组织以及交错分布的细杆状或针状 LPSO 相；所述镁基体为  $\alpha$ -Mg；

所述准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金中，颗粒状二十面体准晶和 LPSO 相弥散分布于镁基体中，层片状共晶组织和细杆状或针状 LPSO 相叠层分布。

[0008] 所述准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金中，第二相积分数为 49.63~83.41%；晶粒平均粒径为 10.15 ~ 19.83  $\mu\text{m}$ ；所述第二相包括颗粒状二十面体准晶、二十面体准晶与镁基体组成的层片状共晶组织和 LPSO 结构相；所述晶粒为在第二相作用下镁基体  $\alpha$ -Mg 的晶粒。

一种准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金制备方法如下：制备 Mg-Y 中间合金；再将 Mg-Y 中间合金、纯镁锭和纯锌锭熔炼，制得 Mg-Zn-Y 准晶中间合金；熔炼 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金，并在熔炼过程中加入 Mg-Zn-Y 准晶中间合金，浇注成形，制得准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金。

[0009] 所述的 Mg-Y 中间合金，其组成按质量百分含量为：29.50 ~ 30.50%Y 和 69.50 ~ 70.50%Mg。

[0010] 所述的 Mg-Zn-Y 准晶中间合金，由以下质量百分含量的成分组成：55.00 ~ 56.00% Zn、5.00% ~ 6.00%Y，余量为镁。

[0011] 本发明准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金制备方法，包括以下步骤：

1) 制备 Mg-Y 中间合金：

以质量百分含量为 29.50 ~ 30.50%Y 和 69.50 ~ 70.50%Mg 为原料，加热熔化并升温至 805 ~ 845 $^{\circ}\text{C}$ ，搅拌均匀后浇注金属型，制得 Mg-Y 中间合金，熔炼过程中通入  $\text{SF}_6$ - $\text{CO}_2$  混合气体保护，得 Mg-Y 中间合金；

2) 制备 Mg-Zn-Y 准晶中间合金：

按配比取纯锌锭、步骤 1) 制备的 Mg-Y 中间合金和纯镁锭，在  $\text{SF}_6$ - $\text{CO}_2$  混合气体保护下，将 Mg-Y 中间合金和纯镁锭放入预热到 225 ~ 325 $^{\circ}\text{C}$  的容器中，然后升温至 720 ~ 750 $^{\circ}\text{C}$ ，待 Mg-Y 中间合金和纯镁锭完全熔化时，加入纯锌锭，搅拌均匀，除去熔液表面的废渣，继续搅拌 2 ~ 3min，静置 20 ~ 30min，然后在  $\text{SF}_6$ - $\text{CO}_2$  混合气体保护下，室温静置 3 ~ 5min，浇注成形，制得 Mg-Zn-Y 准晶中间合金；

3) 制备准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金：

按配比取纯锌锭、步骤 1) 制备的 Mg-Y 中间合金和纯镁锭，在  $\text{SF}_6$ - $\text{CO}_2$  混合气体保护下，将 Mg-Y 中间合金和纯镁锭放入预热到 200 ~ 320 $^{\circ}\text{C}$  的容器中，然后升温至 710 ~ 740 $^{\circ}\text{C}$ ，待 Mg-Y 中间合金和纯镁锭完全熔化时，加入纯锌锭，搅拌均匀，除去熔液表面的废渣，继续搅拌 2 ~ 3min，静置 10 ~ 20min，然后加入步骤 2) 制备的并已预热到 250 ~ 300 $^{\circ}\text{C}$  的 Mg-Zn-Y 准晶中间合金，待准晶中间合金完全熔化并且合金液升温至 730 $^{\circ}\text{C}$  ~ 750 $^{\circ}\text{C}$  时，搅拌均匀，静置 20 ~ 25min，然后浇注成形，制得准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金。

[0012] 所述的，步骤 2) 中原料纯锌锭、Mg-Y 中间合金和纯镁锭的重量百分含量组成为：55.00 ~ 56.00% 纯锌锭、16.39 ~ 20.34%Mg-Y 中间合金、余量为纯镁锭。

[0013] 所述的，步骤 2) 制得 Mg-Zn-Y 准晶中间合金，各成分质量百分含量组成为：55.00 ~ 56.00%Zn、5.00 ~ 6.00%Y，余量为镁。

[0014] 所述的,步骤 3) 中,纯锌锭、Mg-Y 中间合金和纯镁锭原料的重量百分含量组成为:4.50 ~ 5.50% 纯锌锭、40.98 ~ 45.76%Mg-Y 中间合金、余量为纯镁锭。

[0015] 所述的,步骤 3) 中,Mg-Zn-Y 准晶中间合金加入量为各原料总质量的 2.00 ~ 16.00%,所述各原料总质量为步骤 3) 中纯锌锭、Mg-Y 中间合金、纯镁锭和 Mg-Zn-Y 准晶中间合金的质量总和。

[0016] 所述的,步骤 1)、2) 和 3) 中 SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub>混合气体, SF<sub>6</sub>和 CO<sub>2</sub>体积比为 1:150。

[0017] 本发明的特点及有益效果在于:

(1) 本发明中 LPSO 相的弹性模量和显微硬度均比纯镁的高很多,因此其对阻碍位错运动具有较大的潜力且 LPSO 结构并没有导致镁基体中原子间的金属键连接发生本质上的改变,对镁合金保持高塑性十分有利。含 LPSO 相镁合金在高温下通过 LPSO 相的扭折和有限的动态再结晶协同作用而具有较好的抗蠕变性能。

[0018] (2) 本发明通过优化制备工艺和组分配比,制备过程中对 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金复合添加准晶中间合金, Mg-Zn-Y 准晶中间合金中存在细小颗粒状二十面体准晶相和呈层片状的共晶组织,该准晶颗粒细小,并弥散分布于 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金,产生弥散强化和细晶强化作用,层片状的共晶组织产生共晶强化作用。此外,二十面体准晶相依靠对位错的钉扎以及与基体形成的牢固界面,可显著增强镁合金。

[0019] (3) 本发明所得准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金中二十面体准晶相、共晶组织与 LPSO 结构相共同作用,显著提高硬质相第二相体积分数,细化晶粒,使合金综合力学性能得到改善。

[0020] (4) 本发明制得的准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金,既保留了该 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金较好的高温抗蠕变高的优点,又改善了合金的强度,使制得的新型镁合金的综合性能有明显的提高。

## 附图说明

[0021] 图 1 为实施例 3 制备的准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金的微观组织图 a 及局部放大图图 b。

[0022] 图 2 为对比例制备的铸态 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金的微观组织图 a 及局部放大图图 b。

[0023] 图 3 为实施例 3 制备的准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金微观相貌的层片状共晶组织图 a 及局部放大图图 b。

## 具体实施方式

[0024] 下面通过实施例和对比例对本发明准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金及其制备方法的做进一步说明。

[0025] 实施例 1

一种准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金,由以下质量百分含量的成分组成:Zn 5.51%, Y 13.35%, 余量为 Mg。

[0026] 采取以下步骤制得:

1) 常规铸造方法制备 Mg-Y 中间合金:

以重量配比为 29.50%Y、70.50%Mg 为原料,放入坩埚中加热熔化并升温至 830℃,搅拌均匀后浇注金属型,制得 Mg-Y 中间合金,熔炼过程中通入 SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub>混合气体保护,得 Mg-Y 中间合金;

2) 制备 Mg-Zn-Y 准晶中间合金:

按配比称取纯锌锭、步骤 1) 制备的 Mg-Y 中间合金和纯镁锭原料,重量百分含量组成为:55.00% 纯锌锭、20.34%Mg-Y 中间合金、余量为纯镁锭,在 SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub>混合气体保护下,将 Mg-Y 中间合金和纯镁锭放入预热到 225℃的容器中,然后升温至 720℃,待 Mg-Y 中间合金和纯镁锭完全熔化时,加入纯锌锭,搅拌均匀,除去熔液表面的废渣,继续搅拌 2~3min,静置 20 min;在 SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub>混合气体保护下,室温静置 3~5min,浇注成形,制得 Mg-Zn-Y 准晶中间合金;制得 Mg-Zn-Y 准晶中间合金,各成分质量百分含量组成为:55.00%Zn、6.00%Y,余量为镁;

3) 制备准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金:

按配比称取纯锌锭、步骤 1) 制备的 Mg-Y 中间合金和纯镁锭原料,重量百分含量组成为:4.50% 纯锌锭、45.76%Mg-Y 中间合金、余量为纯镁锭,在 SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub>混合气体保护下,将 Mg-Y 中间合金和纯镁锭放入预热到 320℃的容器中,然后升温至 740℃,待 Mg-Y 中间合金和纯镁锭完全熔化时,加入纯锌锭,搅拌均匀,除去熔液表面的废渣,继续搅拌 2~3min,静置 15min 后加入步骤 2) 制得的已预热到 250℃的 Mg-Zn-Y 准晶中间合金,加入量为纯锌锭、Mg-Y 中间合金、纯镁锭和 Mg-Zn-Y 准晶中间合金总质量的 2.00%,待准晶中间合金完全熔化并且合金液升温至 750℃后,搅拌均匀,静置 25min 后浇注铁模具中凝固成形,制得准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金。

[0027] 实施例 1 制备得到的准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金,各组分重量百分含量为:5.51%Zn、13.35%Y,余量为镁;制备过程中,添加的 Mg-Zn-Y 准晶中间合金质量百分含量为原料总质量的 2.00%;制得的 Mg-Zn-Y 镁合金中第二相的体积分数为 49.63%。制得的 Mg-Zn-Y 镁合金平均晶粒直径为 10.15 μm;所述准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金微观形貌为:颗粒状二十面体准晶、二十面体准晶与镁基体组成的层片状共晶组织以及交错分布的细杆状或针状 LPSO 相;所述镁基体为 α-Mg;

所述准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金中,颗粒状二十面体准晶和 LPSO 相弥散分布于镁基体中,层片状共晶组织和细杆状或针状 LPSO 相叠层分布。

[0028] 所得合金微观形貌特征参数见表 1,合金性能见表 2。

[0029] 实施例 2

一种准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金,由以下质量百分含量的成分组成:Zn 7.02%, Y 13.00%, 余量为 Mg。

[0030] 采取以下步骤制得:

1) 常规铸造方法制备 Mg-Y 中间合金:

以重量配比为 30.00%Y、70.00%Mg 为原料,放入坩埚中加热熔化并升温至 805℃,搅拌均匀后浇注金属型,制得 Mg-Y 中间合金,熔炼过程中通入 SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub>混合气体保护,得 Mg-Y 中间合金;

2) 制备 Mg-Zn-Y 准晶中间合金:

按配比称取纯锌锭、步骤 1) 制备的 Mg-Y 中间合金和纯镁锭原料,重量百分含量组成

为:55.50%纯锌锭、18.33%Mg-Y中间合金、余量为纯镁锭,在SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub>混合气体保护下,将Mg-Y中间合金和纯镁锭放入预热到275℃的容器中,然后升温至740℃,待Mg-Y中间合金和纯镁锭完全熔化时,加入纯锌锭,搅拌均匀,除去熔液表面的废渣,继续搅拌2~3min,静置25min;在SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub>混合气体保护下,室温静置3~5min,浇注成形,制得Mg-Zn-Y准晶中间合金;制得Mg-Zn-Y准晶中间合金,各成分质量百分含量组成为:55.50%Zn、5.50%Y,余量为镁;

### 3) 制备准晶相增强的LPSO结构Mg-Zn-Y镁合金:

按配比称取纯锌锭、步骤1)制备的Mg-Y中间合金和纯镁锭原料,重量百分含量组成为:5.00%纯锌锭、44.33%Mg-Y中间合金、余量为纯镁锭,在SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub>混合气体保护下,将Mg-Y中间合金和纯镁锭放入预热到280℃的容器中,然后升温至720℃,待Mg-Y中间合金和纯镁锭完全熔化时,加入纯锌锭,搅拌均匀,除去熔液表面的废渣,继续搅拌2~3min,静置12min后加入步骤2)制得的已预热到225℃的Mg-Zn-Y准晶中间合金,加入量为纯锌锭、Mg-Y中间合金、纯镁锭和Mg-Zn-Y准晶中间合金总质量的4.00%,待准晶中间合金完全熔化并且合金液升温至740℃后,搅拌均匀,静置21min后浇注铁模具中凝固成形,制得准晶相增强的LPSO结构Mg-Zn-Y镁合金。

[0031] 实施例2制备得到的准晶相增强的LPSO结构Mg-Zn-Y镁合金,各组分重量百分含量为:7.02%Zn、13.00%Y,余量为镁;制备过程中,添加的Mg-Zn-Y准晶中间合金质量百分含量为原料总质量的4.00%;制得的Mg-Zn-Y镁合金中第二相的体积分数为63.21%。制得的Mg-Zn-Y镁合金平均晶粒直径为14.71μm;所述准晶相增强的LPSO结构Mg-Zn-Y镁合金微观形貌为:颗粒状二十面体准晶、二十面体准晶与镁基体组成的层片状共晶组织以及交错分布的细杆状或针状LPSO相;所述镁基体为α-Mg;

所述准晶相增强的LPSO结构Mg-Zn-Y镁合金中,颗粒状二十面体准晶和LPSO相弥散分布于镁基体中,层片状共晶组织和细杆状或针状LPSO相叠层分布。

[0032] 所得合金微观形貌特征参数见表1,合金性能见表2。

### [0033] 实施例3

一种准晶相增强的LPSO结构Mg-Zn-Y镁合金,由以下质量百分含量的成分组成:Zn 8.96%, Y 12.11%, 余量为Mg。

[0034] 采取以下步骤制得:

#### 1) 常规铸造方法制备Mg-Y中间合金:

以重量配比为29.80%Y、70.20%Mg为原料,放入坩埚中加热熔化并升温至810℃,搅拌均匀后浇注金属型,制得Mg-Y中间合金,熔炼过程中通入SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub>混合气体保护,得Mg-Y中间合金;

#### 2) 制备Mg-Zn-Y准晶中间合金:

按配比称取纯锌锭、步骤1)制备的Mg-Y中间合金和纯镁锭原料,重量百分含量组成为:55.60%纯锌锭、17.79%Mg-Y中间合金、余量为纯镁锭,在SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub>混合气体保护下,将Mg-Y中间合金和纯镁锭放入预热到230℃的容器中,然后升温至745℃,待Mg-Y中间合金和纯镁锭完全熔化时,加入纯锌锭,搅拌均匀,除去熔液表面的废渣,继续搅拌2~3min,静置28min;在SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub>混合气体保护下,室温静置3~5min,浇注成形,制得Mg-Zn-Y准晶中间合金;制得Mg-Zn-Y准晶中间合金,各成分质量百分含量组成为:55.60%Zn、5.30%Y,余量为

镁；

3) 制备准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金：

按配比称取纯锌锭、步骤 1) 制备的 Mg-Y 中间合金和纯镁锭原料，重量百分含量组成为：4.90% 纯锌锭、42.62%Mg-Y 中间合金、余量为纯镁锭，在 SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub> 混合气体保护下，将 Mg-Y 中间合金和纯镁锭放入预热到 315℃ 的容器中，然后升温至 730℃，待 Mg-Y 中间合金和纯镁锭完全熔化时，加入纯锌锭，搅拌均匀，除去熔液表面的废渣，继续搅拌 2~3min，静置 18min 后加入步骤 2) 制得的已预热到 290℃ 的 Mg-Zn-Y 准晶中间合金，加入量为纯锌锭、Mg-Y 中间合金、纯镁锭和 Mg-Zn-Y 准晶中间合金总质量的 8.00%，待准晶中间合金完全熔化并且合金液升温至 745℃ 后，搅拌均匀，静置 25min 后浇注铁模具中凝固成形，制得准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金。

[0035] 实施例 3 制备得到的准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金，各组分重量百分含量为：8.96%Zn、12.11%Y，余量为镁；制备过程中，添加的 Mg-Zn-Y 准晶中间合金质量百分含量为原料总质量的 8.00%；制得的 Mg-Zn-Y 镁合金中第二相的体积分数为 83.41%。制得的 Mg-Zn-Y 镁合金平均晶粒直径为 10.15 μm；所述准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金微观形貌为：颗粒状二十面体准晶、二十面体准晶与镁基体组成的层片状共晶组织以及交错分布的细杆状或针状 LPSO 相；所述镁基体为 α-Mg；

所述准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金中，颗粒状二十面体准晶和 LPSO 相弥散分布于镁基体中，层片状共晶组织和细杆状或针状 LPSO 相叠层分布。

[0036] 所得合金微观形貌特征参数见表 1，合金性能见表 2。

[0037] 实施例 4

一种准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金，由以下质量百分含量的成分组成：Zn 11.38%，Y 12.12%，余量为 Mg。

[0038] 采取以下步骤制得：

1) 常规铸造方法制备 Mg-Y 中间合金：

以重量配比为 30.40%Y、69.60%Mg 为原料，放入坩埚中加热熔化并升温至 840℃，搅拌均匀后浇注金属型，制得 Mg-Y 中间合金，熔炼过程中通入 SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub> 混合气体保护，得 Mg-Y 中间合金；

2) 制备 Mg-Zn-Y 准晶中间合金：

按配比称取纯锌锭、步骤 1) 制备的 Mg-Y 中间合金和纯镁锭原料，重量百分含量组成为：56.00% 纯锌锭、18.75%Mg-Y 中间合金、余量为纯镁锭，在 SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub> 混合气体保护下，将 Mg-Y 中间合金和纯镁锭放入预热到 310℃ 的容器中，然后升温至 730℃，待 Mg-Y 中间合金和纯镁锭完全熔化时，加入纯锌锭，搅拌均匀，除去熔液表面的废渣，继续搅拌 2~3min，静置 27 min；在 SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub> 混合气体保护下，室温静置 3~5min，浇注成形，制得 Mg-Zn-Y 准晶中间合金；制得 Mg-Zn-Y 准晶中间合金，各成分质量百分含量组成为：56.00%Zn、5.70%Y，余量为镁；

3) 制备准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金：

按配比称取纯锌锭、步骤 1) 制备的 Mg-Y 中间合金和纯镁锭原料，重量百分含量组成为：5.30% 纯锌锭、42.76%Mg-Y 中间合金、余量为纯镁锭，在 SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub> 混合气体保护下，将 Mg-Y 中间合金和纯镁锭放入预热到 210℃ 的容器中，然后升温至 715℃，待 Mg-Y 中间合金

和纯镁锭完全熔化时,加入纯锌锭,搅拌均匀,除去熔液表面的废渣,继续搅拌 2 ~ 3min,静置 10min 后加入步骤 2)制得的已预热到 270℃的 Mg-Zn-Y 准晶中间合金,加入量为纯锌锭、Mg-Y 中间合金、纯镁锭和 Mg-Zn-Y 准晶中间合金总质量的 12.00%,待准晶中间合金完全熔化并且合金液升温至 746℃后,搅拌均匀,静置 23min 后浇注铁模具中凝固成形,制得准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金。

[0039] 实施例 4 制备得到的准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金,各组分重量百分含量为:11.38%Zn、12.12%Y,余量为镁;制备过程中,添加的 Mg-Zn-Y 准晶中间合金质量百分含量为原料总质量的 12.00%;制得的 Mg-Zn-Y 镁合金中第二相的体积分数为 77.35%。制得的 Mg-Zn-Y 镁合金平均晶粒直径为 12.32  $\mu\text{m}$ ;所述准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金微观形貌为:颗粒状二十面体准晶、二十面体准晶与镁基体组成的层片状共晶组织以及交错分布的细杆状或针状 LPSO 相;所述镁基体为  $\alpha$ -Mg;

所述准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金中,颗粒状二十面体准晶和 LPSO 相弥散分布于镁基体中,层片状共晶组织和细杆状或针状 LPSO 相叠层分布。

[0040] 所得合金微观形貌特征参数见表 1,合金性能见表 2。

[0041] 实施例 5

一种准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金,由以下质量百分含量的成分组成:Zn 13.58%,Y 11.30%,余量为 Mg。

[0042] 采取以下步骤制得:

1) 常规铸造方法制备 Mg-Y 中间合金:

以重量配比为 30.50%Y、69.50%Mg 为原料,放入坩埚中加热熔化并升温至 845℃,搅拌均匀后浇注金属型,制得 Mg-Y 中间合金,熔炼过程中通入 SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub>混合气体保护,得 Mg-Y 中间合金;

2) 制备 Mg-Zn-Y 准晶中间合金:

按配比称取纯锌锭、步骤 1) 制备的 Mg-Y 中间合金和纯镁锭原料,重量百分含量组成为:56.00% 纯锌锭、16.39%Mg-Y 中间合金、余量为纯镁锭,在 SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub>混合气体保护下,将 Mg-Y 中间合金和纯镁锭放入预热到 325℃的容器中,然后升温至 750℃,待 Mg-Y 中间合金和纯镁锭完全熔化时,加入纯锌锭,搅拌均匀,除去熔液表面的废渣,继续搅拌 2 ~ 3min,静置 30 min;在 SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub>混合气体保护下,室温静置 3 ~ 5min,浇注成形,制得 Mg-Zn-Y 准晶中间合金;制得 Mg-Zn-Y 准晶中间合金,各成分质量百分含量组成为:56.00%Zn、5.00%Y,余量为镁;

3) 制备准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金:

按配比称取纯锌锭、步骤 1) 制备的 Mg-Y 中间合金和纯镁锭原料,重量百分含量组成为:5.50% 纯锌锭、40.98%Mg-Y 中间合金、余量为纯镁锭,在 SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub>混合气体保护下,将 Mg-Y 中间合金和纯镁锭放入预热到 200℃的容器中,然后升温至 710℃,待 Mg-Y 中间合金和纯镁锭完全熔化时,加入纯锌锭,搅拌均匀,除去熔液表面的废渣,继续搅拌 2 ~ 3min,静置 20min 后加入步骤 2)制得的已预热到 300℃的 Mg-Zn-Y 准晶中间合金,加入量为纯锌锭、Mg-Y 中间合金、纯镁锭和 Mg-Zn-Y 准晶中间合金总质量的 16.00%,待准晶中间合金完全熔化并且合金液升温至 730℃后,搅拌均匀,静置 20min 后浇注铁模具中凝固成形,制得准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金。

[0043] 实施例 5 制备得到的准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金, 各组分重量百分含量为: 13.58%Zn、11.30%Y, 余量为镁; 制备过程中, 添加的 Mg-Zn-Y 准晶中间合金质量百分含量为原料总质量的 16.00%; 制得的 Mg-Zn-Y 镁合金中第二相的体积分数为 49.63%。制得的 Mg-Zn-Y 镁合金平均晶粒直径为 19.83  $\mu\text{m}$ ; 所述准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金微观形貌为: 颗粒状二十面体准晶、二十面体准晶与镁基体组成的层片状共晶组织以及交错分布的细杆状或针状 LPSO 相; 所述镁基体为  $\alpha$ -Mg;

所述准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金中, 颗粒状二十面体准晶和 LPSO 相弥散分布于镁基体中, 层片状共晶组织和细杆状或针状 LPSO 相叠层分布。

[0044] 所得合金微观形貌特征参数见表 1, 合金性能见表 2。

[0045] 对比例

一种准晶相增强的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金, 由以下质量百分含量的成分组成: Zn 5.51%, Y 13.35%, 余量为 Mg。

[0046] 采取以下步骤制得:

1) 常规铸造方法制备 Mg-Y 中间合金:

以重量配比为 30.00%Y、70.00%Mg 为原料, 放入坩埚中加热熔化并升温至 840 $^{\circ}\text{C}$ , 搅拌均匀后浇注金属型, 制得 Mg-Y 中间合金, 熔炼过程中通入  $\text{SF}_6$ - $\text{CO}_2$  混合气体保护, 得 Mg-Y 中间合金;

2) 制备 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金:

按配比称取纯锌锭、步骤 1) 制备的 Mg-Y 中间合金和纯镁锭原料, 重量百分含量组成为: 5.00% 纯锌锭、43.33%Mg-Y 中间合金、余量为纯镁锭, 在  $\text{SF}_6$ - $\text{CO}_2$  混合气体保护下, 将 Mg-Y 中间合金和纯镁锭放入预热到 220 $^{\circ}\text{C}$  的容器中, 然后升温至 735 $^{\circ}\text{C}$ , 待 Mg-Y 中间合金和纯镁锭完全熔化时, 加入纯锌锭, 搅拌均匀, 除去熔液表面的废渣, 继续搅拌 2~3min, 静置 25min 后浇注铁模具中凝固成形, 制得 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金。

[0047] 对比例制备得到的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金, 各组分重量百分含量为: 5.00%Zn、13.00%Y, 余量为镁, 名义成分为, 按原子百分比计:  $\text{Mg}_{94}\text{Zn}_2\text{Y}_4$ ; 制得的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金中第二相的体积分数为 38.50%。制得的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金平均晶粒直径为 26.13  $\mu\text{m}$ ;

所述第二相为 LPSO 结构相;

所述晶粒为在第二相作用下镁基体  $\alpha$ -Mg 的晶粒;

所述 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金微观形貌为: 片层状或细杆状 LPSO 相分布在镁基体晶界, 细针状 LPSO 相分布在镁基体晶内; 所述镁基体为  $\alpha$ -Mg;

所得合金微观形貌特征参数见表 1, 合金性能见表 2。

[0048] 选取与实施例合金组元相近的 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金作为对比例, LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金各组元重量配比为: 5.00%Zn、13.00%Y, 余量为镁。对比例和各实施例的微观形貌表征参数如表 1 所示; 对比例和各实施例的力学性能对比结果如表 2 所示。

[0049] 结果表明, 本发明合金中第二相体积分数明显多于 LPSO 结构 Mg-Zn-Y 镁合金, 其晶粒得到显著细化, 综合力学性能明显提升: 抗拉强度最高提高 58MPa, 提高了 29.3%, 屈服强度最高提高 23MPa, 提高了 28.8%, 延伸率最高提升至 7.4%。

[0050] 表 1 本发明实施例和对比例的微观形貌表征

序号	合金号	第二相体积分数 (%)	平均晶粒直径 ( $\mu\text{m}$ )
1	实施例 1	57.14	15.32
2	实施例 2	63.21	14.71
3	实施例 3	83.41	10.15
4	实施例 4	77.35	12.32
5	实施例 5	49.63	19.83
6	对比例	38.50	26.13

表 2 本发明实施例和对比例的室温力学性能

序号	合金号	抗拉强度 $\Delta\text{MPa}$	屈服强度 $\Delta\text{MPa}$	延伸率 %
1	实施例 1	210	87	5.4
2	实施例 2	236	93	6.1
3	实施例 3	253	103	7.4
4	实施例 4	241	96	7.3
5	实施例 5	207	90	5.9
6	对比例	195	80	4.7

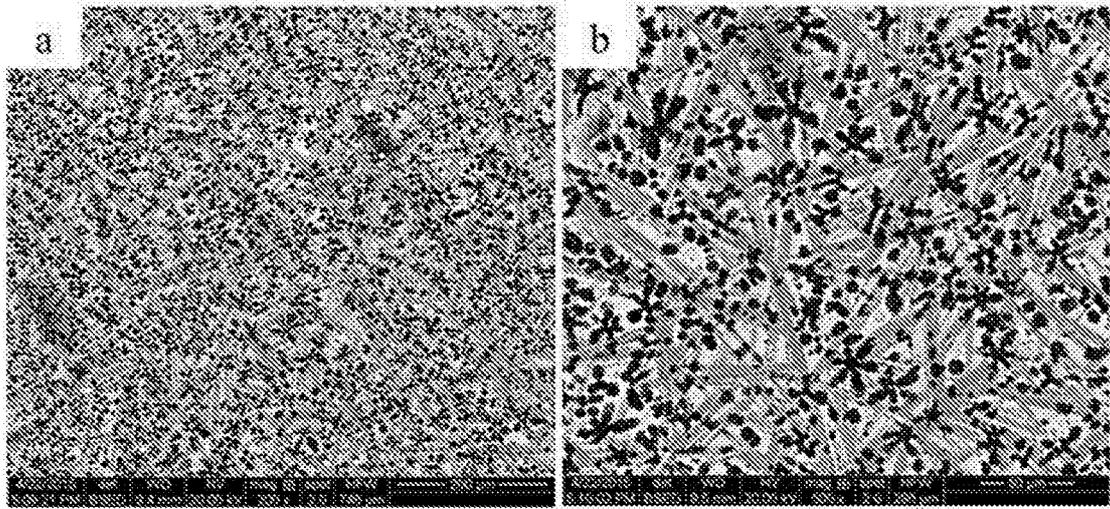


图 1

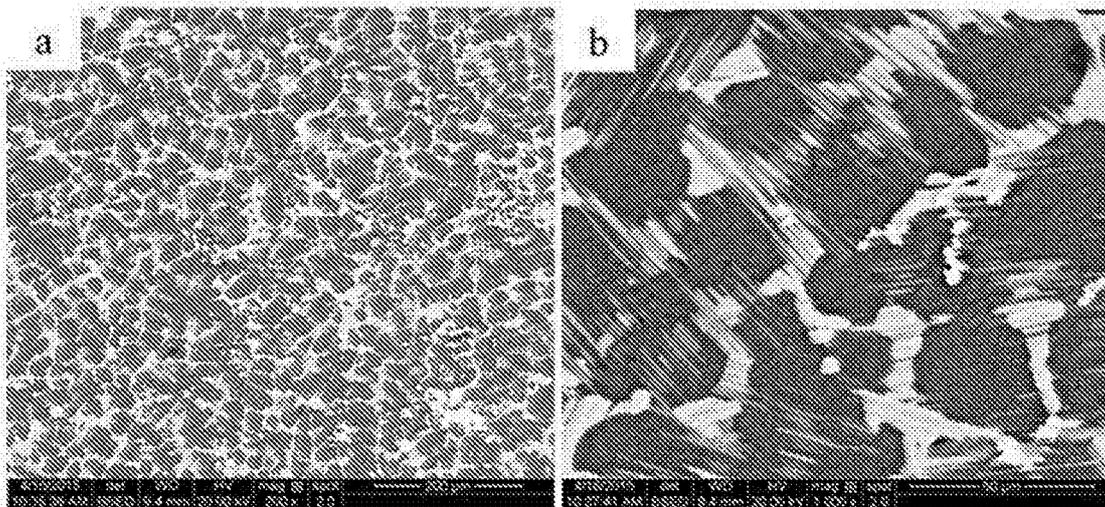


图 2

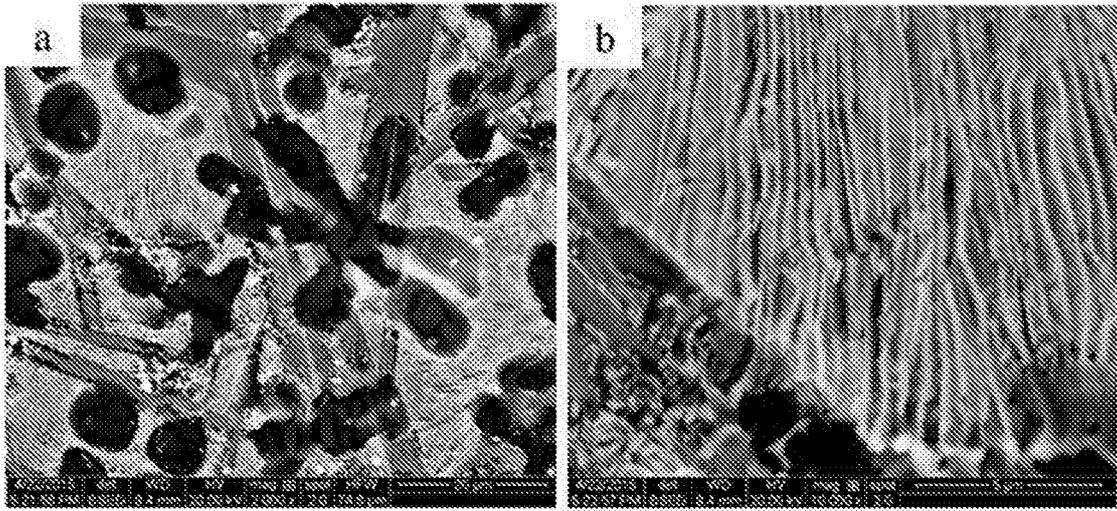


图 3