



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105908040 B

(45)授权公告日 2017.12.05

(21)申请号 201610455873.0

(22)申请日 2016.06.22

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105908040 A

(43)申请公布日 2016.08.31

(73)专利权人 南昌航空大学
地址 330063 江西省南昌市丰和南大道696号

(72)发明人 尹健 卢春辉

(74)专利代理机构 南昌洪达专利事务所 36111
代理人 刘凌峰

(51)Int.Cl.
G22C 23/06(2006.01)
G22C 1/03(2006.01)
G22F 1/06(2006.01)

(56)对比文件

CN 104195396 A,2014.12.10,
JP 特开平8-134581 A,1996.05.28,
CN 101787472 A,2010.07.28,

审查员 周海峰

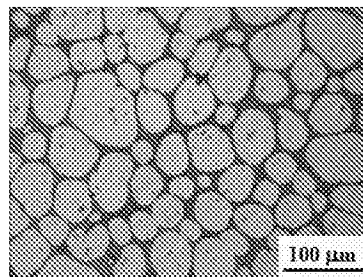
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种半固态成形用Mg-Gd-Zn-Ni-Zr稀土镁合金及其半固态坯料的制备方法

(57)摘要

本发明公开了一种半固态成形用Mg-Gd-Zn-Ni-Zr镁合金及其半固态坯料的制备方法。该合金成分组成(重量百分比)为:15~21%Gd,2.0~3.6%Zn,Ni:0~0.5%Ni,0.3~0.7%Zr,余量为Mg。该半固态坯料的制备方法是:以纯Mg、纯Gd、纯Zn、纯Ni以及Mg-30wt.%Zr中间合金为原料,先熔炼制备成母合金锭,再经过低温半固态等温热处理,之后水淬获得镁合金半固态坯料。本发明提供的半固态成形用的镁合金,属于Mg-RE系高强度镁合金,其半固态成形温度低,固相含量随温度变化的敏感性低、所得固相颗粒圆整度高;本发明提供的半固态坯料的制备方法,制备温度低、氧化和燃烧少、过程容易控制、适合采用半固态成形技术制备高强度、形状复杂的镁合金零件。



1. 一种半固态成形用Mg-Gd-Zn-Ni-Zr镁合金,其特征在于:其重量百分比成分组成为:15~21% Gd,2.0~3.6% Zn,0~0.5% Ni, 0.3~0.7% Zr ,余量为Mg。

2. 根据权利要求1所述半固态成形用Mg-Gd-Zn-Ni-Zr镁合金,其特征在于:合金由Mg相和共晶组织组成。

3. 一种半固态成形用Mg-Gd-Zn-Ni-Zr镁合金半固态坯料的制备方法,包括如下步骤:

第一步、配料:以纯Mg、纯Gd、纯Zn、纯Ni以及Mg-30wt.%Zr中间合金为原料,按照权利要求1所述镁合金配方配料;

第二步、熔化:将Mg熔化后温度升至750℃,加入纯Gd、纯Zn、纯Ni后,然后升温至780℃保温120 min,之后将金属液均匀搅拌;随后待温度降至750℃,加入Mg-30wt.%Zr中间合金,并保温 30min,最后均匀搅拌而获得成分均匀的金属液体;

第三步、凝固:将第二步得到的金属液体,在710℃保温10 min,之后以5~20℃/s 的冷却速度冷却,凝固后获得母合金锭;

第四步、等温热处理:将第三步获得的母合金锭置于热处理炉中,在高于共晶组织熔化温度而低于Mg相熔化温度的温度范围内任选一个温度进行等温热处理,保温 5~45min,之后水淬获得镁合金半固态坯料。

4. 根据权利要求3所述的半固态成形用Mg-Gd-Zn-Ni-Zr镁合金半固态坯料的制备方法,第四步中,等温热处理的最佳温度为高于共晶组织熔化温度20~30℃,最佳保温时间为20min。

一种半固态成形用Mg-Gd-Zn-Ni-Zr稀土镁合金及其半固态坯料的制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种镁合金及其制备方法,具体涉及一种半固态成形用的Mg-Gd-Zn-Zr镁合金及其半固态坯料的制备方法。

背景技术

[0002] 半固态金属成形技术具有高效、节能、近(净)成形生产、成形件性能高等许多优点,被誉为21世纪最具前景的金属材料加工技术,尤其是镁合金的半固态成形,可大大降低普通压铸方法生产镁合金零部件时的氧化、燃烧以及气孔和缩松等缺陷,为镁合金的大范围推广和应用打下基础。制备具有非枝晶组织的优质坯料是半固态成形的前提。镁合金半固态坯料的制备方法很多,比如机械搅拌法、电磁搅拌法、超声波振动法、应力诱发熔体激活法、近液相线浇注法以及半固态等温热处理法等。其中,半固态等温热处理法是将金属坯料在固液两相温度区间内进行等温热处理,使合金由枝晶组织转变为球状或非枝晶组织的方法,具有工艺和设备简单,易操作的优点。更重要的是,该方法无需单独制备半固态坯料,而在半固态成形前的二次加热过程中实现半固态组织的非枝晶化而形成半固态坯料,减少了工艺步骤,降低了半固态成形的工艺成本,是一种较为理想的镁合金半固态坯料制备方法。

[0003] 半固态等温热处理制备镁合金半固态坯料的方法已成功用于Mg-Al、Mg-Zn、Mg-RE系合金,其中Mg-RE系稀土镁合金属于高强度耐热镁合金。目前,镁合金等温热处理制备半固态坯料的温度都采用高于Mg相的熔化温度,使Mg相部分重熔为液相而形成半固态状态,从而获得半固态坯料,进而进行半固态成形。然而,由于Mg-RE系高强度稀土镁合金中Mg的熔点较高,这使得半固态等温热处理制备半固态坯料的温度和相应的半固态成形的温度较高,常常高于600℃(例如,高磊发表的“Microstructure evolution during reheating of extruded Mg-Gd-Y-Zr alloy into semisolid state”,《Transactions of Nonferrous Metals Society of China》2010年20卷1585-1590页;Guohua Wu发表的“Microstructure evolution of semi-solid Mg-10Gd-3Y-0.5Zr alloy during isothermal heat treatment”,《Journal of Magnesium and alloys》2013年1卷39-46页),导致镁合金氧化和燃烧的风险增加,进而降低镁合金成品的品质降低,增加半固态成形的能耗和生产成本。因此,开发新型半固态成形用的Mg-RE系镁合金,降低等温热处理制备镁合金半固态坯料的温度,进而降低半固态成形的温度,是目前需要解决的问题。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服现有研究的不足,提供一种半固态成形用Mg-Gd-Zn-Ni-Zr稀土镁合金及其半固态坯料制备方法,为稀土镁合金的半固态成形提供技术支持。

[0005] 本发明是通过以下技术方案实现的:

[0006] 本发明所涉及的半固态成形用镁合金,是一种Mg-Gd-Zn-Ni-Zr稀土镁合金,其成

分组成(按重量百分比)为:Gd:15~21%,Zn:2.0~3.6%,Ni:0~0.5%,Zr:0.3~0.7% ,其余为Mg。

[0007] 本发明所涉及的镁合金半固态坯料的制备方法,包括以下步骤:

[0008] 第一步、配料:以纯Mg、纯Gd、纯Zn、纯Ni以及Mg-30wt.%Zr中间合金为原料,按照上述镁合金配方配料。

[0009] 第二步、熔化:将Mg熔化后温度升至750℃,加入纯Gd、纯Zn、纯Ni后,然后升温至780℃保温120 min,之后将金属液均匀搅拌;随后待温度降至750℃,加入Mg-30wt.%Zr中间合金,并保温 30min,最后均匀搅拌而获得成分均匀的金属液体。

[0010] 第三步、凝固:将第二步得到的金属液体,在710℃保温10 min,之后以5~20℃/s的冷却速度冷却,凝固后获得母合金锭。

[0011] 第四步、等温热处理:将第三步获得的母合金锭置于热处理炉中,在低于Mg相熔化温度而高于共晶组织熔化温度的温度范围内任选一个温度为等温热处理温度,进行等温热处理,保温时间为 5~45min,之后水淬获得镁合金半固态坯料。

[0012] 所述等温热处理温度的最佳值为高于共晶组织熔化温度20~30℃;所述保温时间最佳值为20min。保温时间依等温热处理温度而定,温度越高,保温时间越短。

[0013] 本发明提供的半固态成形用的镁合金,属于Mg-RE系高强度镁合金,其半固态成形温度低,固相含量随温度变化的敏感性低、所得固相颗粒圆整度高;本发明提供的半固态坯料的制备方法,制备温度低、氧化和燃烧少、过程容易控制、适合采用半固态成形技术制备高强度、形状复杂的镁合金零件。

附图说明

[0014] 图1是实施例1的半固态合金坯料组织形貌;

[0015] 图2是实施例2的半固态合金坯料组织形貌;

[0016] 图3是实施例3的半固态合金坯料组织形貌;

[0017] 图4是实施例4的半固态合金坯料组织形貌;

[0018] 图5是实施例5的半固态合金坯料组织形貌;

[0019] 图6是实施例6的半固态合金坯料组织形貌;

[0020] 图7是实施例7的半固态合金坯料组织形貌;

[0021] 图8是实施例8的半固态合金坯料组织形貌;

[0022] 图9是实施例9的半固态合金坯料组织形貌。

具体实施方式

[0023] 下面结合附图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。

[0024] 实施例1:Mg-15Gd-2Zn-0.5Ni-0.3Zr 合金,其中Gd:15%,Zn:2.0%,Ni: 0.5%,Zr: 0.3% (重量百分比),其余为Mg。

[0025] 该合金的半固态坯料的制备方法包括如下步骤:

[0026] 第一步、配料:以纯Mg、纯Gd、纯Zn、纯Ni以及Mg-30wt.%Zr中间合金为原料,按照Mg-15Gd-2Zn-0.5Ni-0.3Zr 合金配方配料。

[0027] 第二步、熔化:将Mg熔化后温度升至750℃,加入纯Gd、纯Zn、纯Ni后,然后升温至780℃保温120 min,之后将金属液均匀搅拌;随后待温度降至750℃,加入Mg-30wt.%Zr中间合金,并保温 30min,最后均匀搅拌而获得成分均匀的金属液体。

[0028] 第三步、凝固:将第二步得到的金属液体,在710℃保温10 min,之后以20℃/s 的冷却速度冷却,凝固后获得母合金锭。

[0029] 第四步、等温热处理:热分析结果表明,第三步所得母合金锭的共晶组织熔化温度为512℃,而Mg相熔化温度的温度为591℃;在高于共晶组织熔化温度而低于Mg相熔化温度的温度区间,选择532℃为等温热处理温度,进行等温热处理,保温时间为 20min,之后水淬获得镁合金半固态坯料。

[0030] 图1为Mg-15Gd-2Zn-0.5Ni-0.3Zr 合金半固态坯料的微观显微组织,其中白色为Mg相固相颗粒,圆整度为0.83,体积分数为70%,而黑色为共晶组织。图1表明所制备的Mg-15Gd-2Zn-0.5Ni-0.3Zr 合金半固态坯料有着优良的半固态组织。

[0031] 实施例2:Mg-15Gd-2.8Zn-0.3Ni-0.5Zr 合金,其中Gd:15%,Zn:2.8%,Ni: 0.3%,Zr:0.5% (重量百分比),其余为Mg。

[0032] 该合金的半固态坯料的制备方法包括如下步骤:

[0033] 第一步、配料:以纯Mg、纯Gd、纯Zn、纯Ni以及Mg-30wt.%Zr中间合金为原料,按照Mg-15Gd-2.8Zn-0.3Ni-0.5Zr合金配方配料。

[0034] 第二步、熔化:将Mg熔化后温度升至750℃,加入纯Gd、纯Zn、纯Ni后,然后升温至780℃保温120 min,之后将金属液均匀搅拌;随后待温度降至750℃,加入Mg-30wt.%Zr中间合金,并保温 30min,最后均匀搅拌而获得成分均匀的金属液体。

[0035] 第三步、凝固:将第二步得到的金属液体,在710℃保温10 min,之后以10℃/s 的冷却速度冷却,凝固后获得母合金锭。

[0036] 第四步、等温热处理:热分析结果表明,第三步所得母合金锭的共晶组织熔化温度为508℃,而Mg相熔化温度的温度为586℃;在高于共晶组织熔化温度而低于Mg相熔化温度的温度区间,选择533℃为等温热处理温度,进行等温热处理,保温时间为 20min,之后水淬获得镁合金半固态坯料。

[0037] 图2为Mg-15Gd-2.8Zn-0.3Ni-0.5Zr合金半固态坯料的微观显微组织,其中白色为Mg相固相颗粒,圆整度为0.84,体积分数为65%,而黑色为共晶组织。图1表明所制备的Mg-15Gd-2.8Zn-0.3Ni-0.5Zr 合金半固态坯料有着优良的半固态组织。

[0038] 实施例3:Mg-15Gd-3.6Zn-0.7Zr 合金,其中Gd:15%,Zn:3.6%, Zr:0.7% (重量百分比),其余为Mg。

[0039] 该合金的半固态坯料的制备方法包括如下步骤:

[0040] 第一步、配料:以纯Mg、纯Gd、纯Zn以及Mg-30wt.%Zr中间合金为原料,按照Mg-15Gd-3.6Zn-0.7Zr 合金配方配料。

[0041] 第二步、熔化:将Mg熔化后温度升至750℃,加入纯Gd、纯Zn后,然后升温至780℃保温120 min,之后将金属液均匀搅拌;随后待温度降至750℃,加入Mg-30wt.%Zr中间合金,并保温 30min,最后均匀搅拌而获得成分均匀的金属液体。

[0042] 第三步、凝固:将第二步得到的金属液体,在710℃保温10 min,之后以5℃/s 的冷却速度冷却,凝固后获得母合金锭。

[0043] 第四步、等温热处理:热分析结果表明,第三步所得母合金锭的共晶组织熔化温度为502℃,而Mg相熔化温度的温度为583℃;在高于共晶组织熔化温度而低于Mg相熔化温度的温度区间,选择532℃为等温热处理温度,进行等温热处理,保温时间为 20min,之后水淬获得镁合金半固态坯料。

[0044] 图3为Mg-15Gd-3.6Zn-0.7Zr合金半固态坯料的微观显微组织,其中白色为Mg相固相颗粒,圆整度为0.83,体积分数为60%,而黑色为共晶组织。图3表明所制备的Mg-15Gd-3.6Zn-0.7Zr 合金半固态坯料有着优良的半固态组织。

[0045] 实施例4:Mg-18Gd-2Zn-0.5Ni-0.3Zr 合金,其中Gd:18%,Zn:2.0%,Ni: 0.5%,Zr: 0.3% (重量百分比),其余为Mg。

[0046] 该合金的半固态坯料的制备方法包括如下步骤:

[0047] 第一步、配料:以纯Mg、纯Gd、纯Zn、纯Ni以及Mg-30wt.%Zr中间合金为原料,按照Mg-18Gd-2Zn-0.5Ni-0.3Zr 合金配方配料。

[0048] 第二步、熔化:将Mg熔化后温度升至750℃,加入纯Gd、纯Zn、纯Ni后,然后升温至780℃保温120 min,之后将金属液均匀搅拌;随后待温度降至750℃,加入Mg-30wt.%Zr中间合金,并保温 30min,最后均匀搅拌而获得成分均匀的金属液体。

[0049] 第三步、凝固:将第二步得到的金属液体,在710℃保温10 min,之后以20℃/s 的冷却速度冷却,凝固后获得母合金锭。

[0050] 第四步、等温热处理:热分析结果表明,第三步所得母合金锭的共晶组织熔化温度为503℃,而Mg相熔化温度的温度为586℃;在高于共晶组织熔化温度而低于Mg相熔化温度的温度区间,选择523℃为等温热处理温度,进行等温热处理,保温时间为 20min,之后水淬获得镁合金半固态坯料。

[0051] 图4为Mg-18Gd-2Zn-0.5Ni-0.3Zr 合金半固态坯料的微观显微组织,其中白色为Mg相固相颗粒,圆整度为0.83,体积分数为70%,而黑色为共晶组织。图4表明所制备的Mg-18Gd-2Zn-0.5Ni-0.3Zr 合金半固态坯料有着优良的半固态组织。

[0052] 实施例5:Mg-18Gd-2.8Zn-0.3Ni-0.5Zr 合金,其中Gd:18%,Zn:2.8%,Ni: 0.3%,Zr:0.5% (重量百分比),其余为Mg。

[0053] 该合金的半固态坯料的制备方法包括如下步骤:

[0054] 第一步、配料:以纯Mg、纯Gd、纯Zn、纯Ni以及Mg-30wt.%Zr中间合金为原料,按照Mg-18Gd-2.8Zn-0.3Ni-0.5Zr合金配方配料。

[0055] 第二步、熔化:将Mg熔化后温度升至750℃,加入纯Gd、纯Zn、纯Ni后,然后升温至780℃保温120 min,之后将金属液均匀搅拌;随后待温度降至750℃,加入Mg-30wt.%Zr中间合金,并保温 30min,最后均匀搅拌而获得成分均匀的金属液体。

[0056] 第三步、凝固:将第二步得到的金属液体,在710℃保温10 min,之后以10℃/s 的冷却速度冷却,凝固后获得母合金锭。

[0057] 第四步、等温热处理:热分析结果表明,第三步所得母合金锭的共晶组织熔化温度为499℃,而Mg相熔化温度的温度为581℃;在高于共晶组织熔化温度而低于Mg相熔化温度的温度区间,选择524℃为等温热处理温度,进行等温热处理,保温时间为 20min,之后水淬获得镁合金半固态坯料。

[0058] 图5为Mg-18Gd-2.8Zn-0.3Ni-0.5Zr合金半固态坯料的微观显微组织,其中白色为

Mg相固相颗粒,圆整度为0.84,体积分数为65%,而黑色为共晶组织。图5表明所制备的Mg-18Gd-2.8Zn-0.3Ni-0.5Zr 合金半固态坯料有着优良的半固态组织。

[0059] 实施例6:Mg-18Gd-3.6Zn-0.7Zr 合金,其中Gd:18%,Zn:3.6%, Zr:0.7% (重量百分比),其余为Mg。

[0060] 该合金的半固态坯料的制备方法包括如下步骤:

[0061] 第一步、配料:以纯Mg、纯Gd、纯Zn以及Mg-30wt.%Zr中间合金为原料,按照Mg-18Gd-3.6Zn-0.7Zr 合金配方配料。

[0062] 第二步、熔化:将Mg熔化后温度升至750℃,加入纯Gd、纯Zn后,然后升温至780℃保温120 min,之后将金属液均匀搅拌;随后待温度降至750℃,加入Mg-30wt.%Zr中间合金,并保温 30min,最后均匀搅拌而获得成分均匀的金属液体。

[0063] 第三步、凝固:将第二步得到的金属液体,在710℃保温10 min,之后以5℃/s 的冷却速度冷却,凝固后获得母合金锭。

[0064] 第四步、等温热处理:热分析结果表明,第三步所得母合金锭的共晶组织熔化温度为493℃,而Mg相熔化温度的温度为578℃;在高于共晶组织熔化温度而低于Mg相熔化温度的温度区间,选择523℃为等温热处理温度,进行等温热处理,保温时间为 20min,之后水淬获得镁合金半固态坯料。

[0065] 图6为Mg-18Gd-3.6Zn-0.7Zr合金半固态坯料的微观显微组织,其中白色为Mg相固相颗粒,圆整度为0.83,体积分数为60%,而黑色为共晶组织。图6表明所制备的Mg-18Gd-3.6Zn-0.7Zr 合金半固态坯料有着优良的半固态组织。

[0066] 实施例7:Mg-21Gd-2Zn-0.5Ni-0.3Zr 合金,其中Gd:21%,Zn:2.0%,Ni: 0.5%,Zr: 0.3% (重量百分比),其余为Mg。

[0067] 该合金的半固态坯料的制备方法包括如下步骤:

[0068] 第一步、配料:以纯Mg、纯Gd、纯Zn、纯Ni以及Mg-30wt.%Zr中间合金为原料,按照Mg-21Gd-2Zn-0.5Ni-0.3Zr 合金配方配料。

[0069] 第二步、熔化:将Mg熔化后温度升至750℃,加入纯Gd、纯Zn、纯Ni后,然后升温至780℃保温120 min,之后将金属液均匀搅拌;随后待温度降至750℃,加入Mg-30wt.%Zr中间合金,并保温 30min,最后均匀搅拌而获得成分均匀的金属液体。

[0070] 第三步、凝固:将第二步得到的金属液体,在710℃保温10 min,之后以20℃/s 的冷却速度冷却,凝固后获得母合金锭。

[0071] 第四步、等温热处理:热分析结果表明,第三步所得母合金锭的共晶组织熔化温度为498℃,而Mg相熔化温度的温度为579℃;在高于共晶组织熔化温度而低于Mg相熔化温度的温度区间,选择518℃为等温热处理温度,进行等温热处理,保温时间为 20min,之后水淬获得镁合金半固态坯料。

[0072] 图7为Mg-21Gd-2Zn-0.5Ni-0.3Zr 合金半固态坯料的微观显微组织,其中白色为Mg相固相颗粒,圆整度为0.83,体积分数为70%,而黑色为共晶组织。图7表明所制备的Mg-21Gd-2Zn-0.5Ni-0.3Zr 合金半固态坯料有着优良的半固态组织。

[0073] 实施例8:Mg-21Gd-2.8Zn-0.3Ni-0.5Zr 合金,其中Gd:21%,Zn:2.8%,Ni: 0.3%,Zr:0.5% (重量百分比),其余为Mg。

[0074] 该合金的半固态坯料的制备方法包括如下步骤:

[0075] 第一步、配料：以纯Mg、纯Gd、纯Zn、纯Ni以及Mg-30wt.%Zr中间合金为原料，按照Mg-21Gd-2.8Zn-0.3Ni-0.5Zr合金配方配料。

[0076] 第二步、熔化：将Mg熔化后温度升至750℃，加入纯Gd、纯Zn、纯Ni后，然后升温至780℃保温120 min，之后将金属液均匀搅拌；随后待温度降至750℃，加入Mg-30wt.%Zr中间合金，并保温 30min，最后均匀搅拌而获得成分均匀的金属液体。

[0077] 第三步、凝固：将第二步得到的金属液体，在710℃保温10 min，之后以10℃/s 的冷却速度冷却，凝固后获得母合金锭。

[0078] 第四步、等温热处理：热分析结果表明，第三步所得母合金锭的共晶组织熔化温度为496℃，而Mg相熔化温度的温度为577℃；在高于共晶组织熔化温度而低于Mg相熔化温度的温度区间，选择521℃为等温热处理温度，进行等温热处理，保温时间为 20min，之后水淬获得镁合金半固态坯料。

[0079] 图8为Mg-21Gd-2.8Zn-0.3Ni-0.5Zr合金半固态坯料的微观显微组织，其中白色为Mg相固相颗粒，圆整度为0.84，体积分数为65%，而黑色为共晶组织。图8表明所制备的Mg-18Gd-2.8Zn-0.3Ni-0.5Zr 合金半固态坯料有着优良的半固态组织。

[0080] 实施例9：Mg-21Gd-3.6Zn-0.7Zr 合金，其中Gd:21%，Zn:3.6%， Zr:0.7%（重量百分比），其余为Mg。

[0081] 该合金的半固态坯料的制备方法包括如下步骤：

[0082] 第一步、配料：以纯Mg、纯Gd、纯Zn以及Mg-30wt.%Zr中间合金为原料，按照Mg-21Gd-3.6Zn-0.7Zr 合金配方配料。

[0083] 第二步、熔化：将Mg熔化后温度升至750℃，加入纯Gd、纯Zn后，然后升温至780℃保温120 min，之后将金属液均匀搅拌；随后待温度降至750℃，加入Mg-30wt.%Zr中间合金，并保温 30min，最后均匀搅拌而获得成分均匀的金属液体。

[0084] 第三步、凝固：将第二步得到的金属液体，在710℃保温10 min，之后以5℃/s 的冷却速度冷却，凝固后获得母合金锭。

[0085] 第四步、等温热处理：热分析结果表明，第三步所得母合金锭的共晶组织熔化温度为488℃，而Mg相熔化温度的温度为571℃；在高于共晶组织熔化温度而低于Mg相熔化温度的温度区间，选择518℃为等温热处理温度，进行等温热处理，保温时间为 20min，之后水淬获得镁合金半固态坯料。

[0086] 图9为Mg-21Gd-3.6Zn-0.7Zr合金半固态坯料的微观显微组织，其中白色为Mg相固相颗粒，圆整度为0.83，体积分数为60%，而黑色为共晶组织。图9表明所制备的Mg-21Gd-3.6Zn-0.7Zr 合金半固态坯料有着优良的半固态组织。

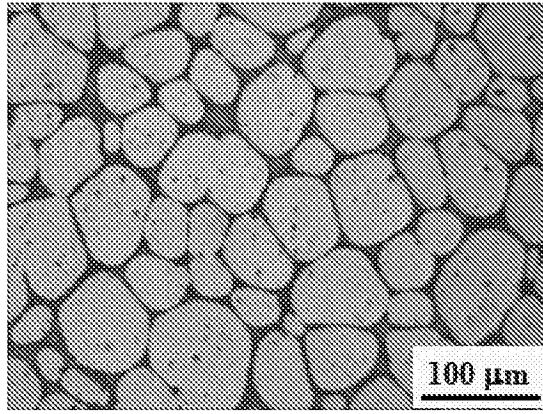


图 1

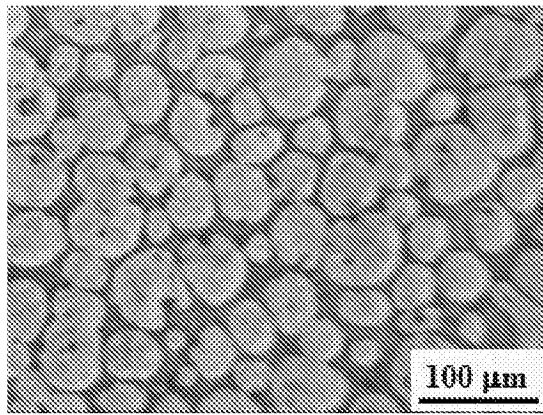


图 2

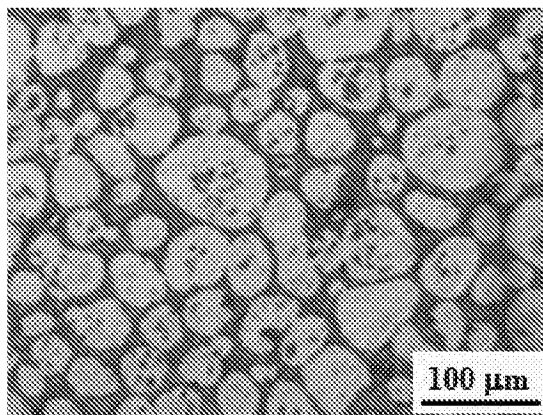


图 3

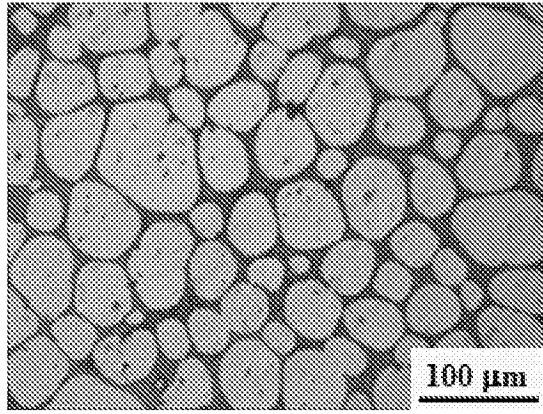


图 4

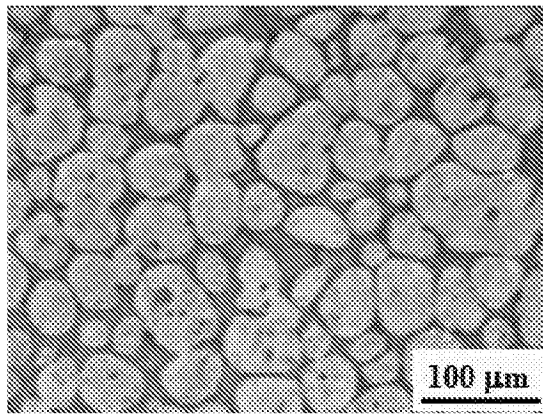


图 5

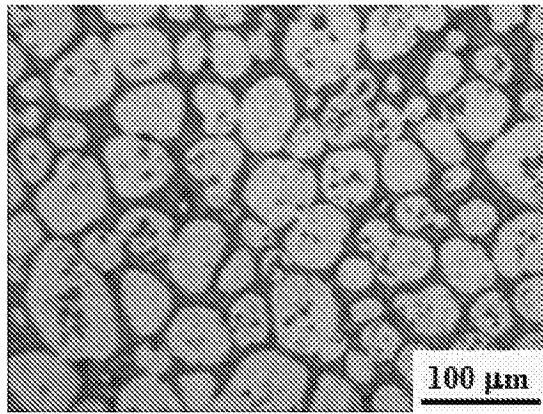


图 6

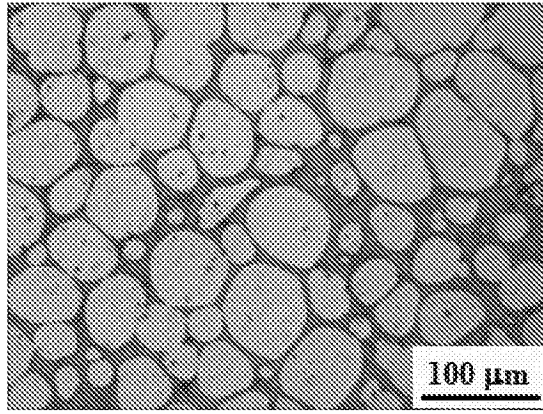


图 7

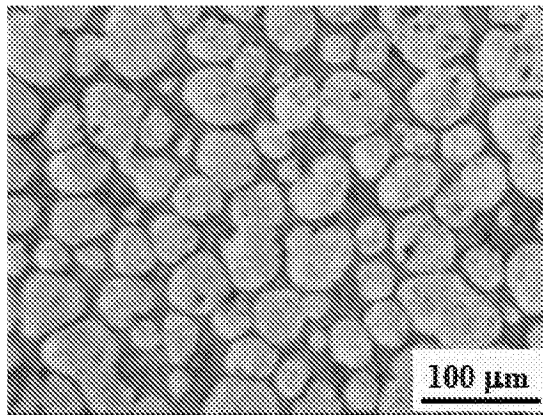


图 8

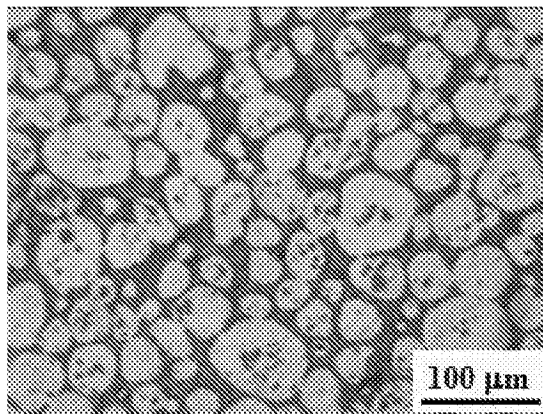


图 9