



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106350756 A

(43)申请公布日 2017.01.25

(21)申请号 201610931439.5

(22)申请日 2016.10.31

(71)申请人 中南大学

地址 410083 湖南省长沙市岳麓区麓山南路932号

(72)发明人 李慧中 黄琼 梁霄鹏 吕凤 张克龙

(74)专利代理机构 长沙市融智专利事务所 43114

代理人 颜勇

(51)Int.Cl.

G22F 1/06(2006.01)

G22C 23/06(2006.01)

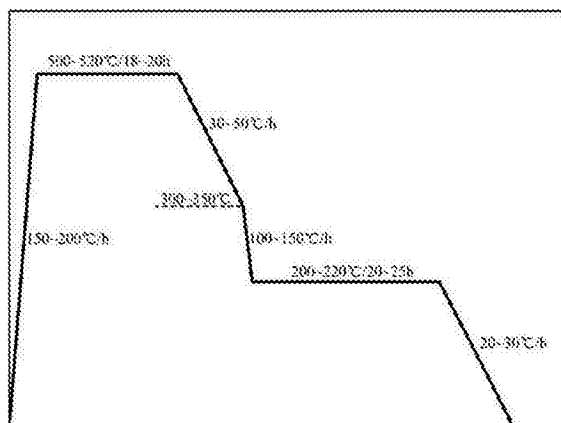
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法

(57)摘要

本发明一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法。所述均匀化热处理工艺为：将镁合金铸件置于炉中，升温至500~520℃后，并保温至少18h后，以30~50℃/h的降温速度降温至300~350℃，接着以100~150℃/h的降温速度降温至200~220℃，保温至少20h后以20~30℃/h的降温冷却至室温，得到成品。本发明可消除铸造件中的元素偏析，提高合金元素在基体中的均匀性，并保证重新析出的第二相在合金中均匀分布，提高合金的强度，而且可以充分释放零件中残余应力。本发明工艺简单、操作方便，适用于各种尺寸低压铸造稀土镁合金零件，为航空航天用稀土镁合金铸件的性能改善，提供了一种可行的方案，便于工业化生产。



1. 一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法,其特征在于包括下述步骤:

将Mg-Y-Nd稀土镁合金铸件置于加热炉中,升温至500~520℃,保温至少18h后,以30~50℃/h的降温速度缓慢降温至300~350℃,当温度降至300~350℃后再以100~160℃/h的降温速度快速降温至200~220℃,保温至少20h后以20~30℃/h的降温缓慢冷却至室温,出炉,得到成品。

2. 根据权利要求1所述的一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法;其特征在于:所述Mg-Y-Nd稀土镁合金铸件是通过低压砂型铸造而成。

3. 根据权利要求1所述的一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法;其特征在于:所述Mg-Y-Nd稀土镁合金铸件以质量百分比计包括下述组分:

Y 3.8~4.0%,

Nd 2.8~3.0%,

Zr 0.5~0.6%,其余为Mg及不可去除的杂质元素。

4. 根据权利要求3所述的一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法;其特征在于:所述Mg-Y-Nd稀土镁合金铸件以质量百分比计包括下述组分:

Y 3.85%、Nd 2.95%、Zr 0.5%、余量为Mg及不可去除的杂质元素;所述不可去除的杂质元素的总量 $\leq 0.5\%$ 。

5. 根据权利要求1所述的一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法;其特征在于:将Mg-Y-Nd稀土镁合金铸件置于加热炉中以150~200℃/h的升温速度升温至500~520℃。

6. 根据权利要求1所述的一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法;其特征在于:在500~520℃的保温时间为18~20小时。

7. 根据权利要求1所述的一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法;其特征在于:在200~220℃的保温时间为20~25小时。

8. 根据权利要求1所述的一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法;其特征在于:所得成品的强度较常规工艺处理所得样品的强度提高20%以上。

9. 根据权利要求1所述的一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法;其特征在于:所得成品的强度大于等于230MPa,屈服强度大于等于150MPa,伸长率大于等于18%。

10. 根据权利要求1-9任意一项所述的一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法;其特征在于:所述均匀化热处理方法适用于大尺寸稀土镁合金铸件和不均匀壁厚稀土镁合金铸件。

一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种铸造镁合金的热处理方法;特指一种低压砂型铸造Mg-Y-Nd稀土镁合金铸件的热处理工艺;属于镁合金热处理工艺技术领域。

背景技术

[0002] 镁合金作为最轻的结构材料,同时具有良好的阻尼性能、高的比强度和比刚度、优异的铸造和切削性能,现已逐渐地应用于航天、电子通讯、汽车制造等领域。稀土镁合金由于稀土元素的添加,可以有效地细化晶粒,并可通过固溶强化和析出强化来提高合金的力学性能。Mg-Y-Nd系列稀土镁合金的铸态组织存在 $Mg_{41}Nd_5$ 和 $Mg_{24}Y_5$ 相, $Mg_{41}Nd_5$ 绝大部分呈粗大的网状分布在晶界。在使用过程中,这些粗大的第二相位置,容易形成应力集中,并成为断裂失效的裂纹源,从而导致材料断裂;此外,铸造过程中容易形成枝晶偏析和区域偏析,这种偏析也会导致铸件中存在残余应力,尤其对于铸造成形的零件,由于各部位壁厚的不均,特别容易产生铸造残余应力,这些都会导致材料的力学性能降低。因此对铸造稀土镁合金而言,铸件需要通过均匀化热处理来消除这些铸造缺陷。

[0003] 常规的均匀化方法是把铸件直接放入加热炉中,加热至设定的温度,然后长时间保温,或者根据不同偏析相的熔点采用阶段加热和阶段保温的方式,最后水冷或空冷至室温,这样处理后可以减轻铸态合金中的枝晶偏析,使成分得到均匀化;在一定程度上可以消除一部分的铸造应力。这些均匀化热处理工艺可以保证偏析相消除,但是较高温度炉冷,无法避免在冷却过程中析出相的不均匀析出与不均匀分布,无法实现析出的均匀性,而空冷却无法避免冷却速度过快重新引入的残余应力,这种残余应力的引入会导致后期使用过程中由于应力的释放而导致的零件微小变形。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服现有技术之不足而提供一种工艺简单,技术合理,能够提高稀土镁合金铸件组织均匀性的热处理方法。所发明的热处理方法,既可以保证处理后的铸件的组织均匀性,又可以消除由铸造和常规热处理过程引入的残余应力,并且处理后的铸件具有较高的力学性能。

[0005] 本发明一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法,包括下述步骤:

[0006] 将Mg-Y-Nd稀土镁合金铸件置于加热炉中,升温至 $500\sim 520^{\circ}\text{C}$ 后,保温至少18h后,以 $30\sim 50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 、优选为 $30\sim 45^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的降温速度缓慢降温至 $300\sim 350^{\circ}\text{C}$,当温度降至 $300\sim 350^{\circ}\text{C}$ 后再以 $100\sim 160^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的降温速度快速降温至 $200\sim 220^{\circ}\text{C}$,保温至少20h后以 $20\sim 30^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的降温缓慢冷却至室温,出炉,得到成品。

[0007] 本发明一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法;所述Mg-Y-Nd稀土镁合金铸件是通过低压砂型铸造而成。

[0008] 本发明一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法;所述Mg-Y-Nd稀土镁合金铸件以质量百分比计包括下述组分:

[0009] Y 3.8~4.0%，

[0010] Nd 2.8~3.0%，

[0011] Zr 0.5~0.6%，其余为Mg及不可去除的杂质元素。所述不可去除的杂质元素的总量 $\leq 0.5\%$ 。

[0012] 作为优选方案，本发明一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法；所述Mg-Y-Nd稀土镁合金铸件以质量百分比计包括下述组分：

[0013] Y 3.85%、Nd 2.95%、Zr 0.5%、余量为Mg及不可去除的杂质元素；所述不可去除的杂质元素的总量 $\leq 0.5\%$ 。

[0014] 本发明一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法；将Mg-Y-Nd稀土镁合金铸件置于加热炉中以150~200℃/h的升温速度升温至500~520℃。

[0015] 本发明一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法；在500~520℃的保温时间为18~20小时。在本发明中，在在500~520℃的保温18~20小时，使铸态合金中的合金元素充分溶入Mg基体中，实现扩散溶解均匀化，同时消除部分铸造残余应力。

[0016] 本发明一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法；以30~50℃/h的降温速度缓慢降温至300~350℃，进一步促进合金元素的均匀扩散与铸造应力的消除，避免常规热处理中快速冷却引入的淬火应力或者随炉冷却导致的析出相粗化。

[0017] 本发明一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法；在200~220℃的保温时间为20~25小时。

[0018] 本发明一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法；以30~50℃/h的降温速度缓慢降温至300~350℃，不进行保温，直接以100~150℃/h的降温速度快速降温至200~220℃，保温20~25h；适当快速降温过程可避免在高温阶段强化相的快速析出与长大，在预设温度长时间保温，保证了强化相的均匀析出。

[0019] 本发明一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法；200~220℃，保温20~25h后，以20~30℃/h的降温缓慢冷却至室温，出炉。缓慢的降温冷却可避免直接空冷引入的残余应力，同时也避免了析出相的长大，起到进一步强化合金的作用。

[0020] 本发明一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法；所得成品的强度较常规工艺处理所得样品的强度提高20%以上。所述常规工艺处理是指按常规工艺参数，把铸件直接放入加热炉中，加热至设定的温度，然后长时间保温，或者根据不同偏析相的熔点采用阶段加热和阶段保温的方式，最后水冷或空冷至室温。

[0021] 本发明一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法；所得成品的强度大于等于230MPa，屈服强度大于等于150MPa，伸长率大于等于18%。

[0022] 本发明一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法；在工业化应用时，需将Mg-Y-Nd稀土镁合金铸件进行表面进行清理，去除表面的杂质、粘沙以及氧化物等，并用铬酸清洗。

[0023] 本发明一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法；特比适用于大尺寸稀土镁合金铸件和不均匀壁厚稀土镁合金铸件。

[0024] 本发明一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法；热处理各步骤的顺序不可调换。

[0025] 本发明一种稀土镁合金铸件的均匀化热处理方法；经过处理后的零件强度较常规工艺处理后提高20%以上，其抗拉强度大于230MPa，屈服强度大于150MPa、优选为大于等于

190MPa、进一步优选为大于等于195MPa,伸长率大于18%。

[0026] 原理和优势:

[0027] 根据Mg-Nd和M-Y相图可知,在高温下,Nd和Y原子能够很好的固溶到Mg基体中,根据原子扩散原理,温度越高原子扩散越快,但是对于镁合金而言,其均匀化温度则不能超过第二相的熔点,否则会发生过烧,所以在选择加热温度时需选择在固溶度线温度以上,第二相熔化温度以下的范围内,尽可能的选择高的温度。但是镁合金均匀化热处理的过程毕竟是一个固相扩散的过程,原子扩散的速度远低于液相扩散和气相扩散,则需要采用长时间的扩散以保证其均匀性。另一方面,铸造稀土镁合金由于稀土原子与镁原子的原子半径差别较大,凝固时容易产生较大的残余应力,残余应力的存在对材料的使用性能具有不良的影响,因此铸件一般需要在较高的温度下退火来实现去应力,本发明中第一步较高的加热温度和较长的保温时间,既实现了合金元素的充分扩散,又实现了去应力退火的目的。

[0028] 冷却过程中,一般的均匀化工艺采用空冷和炉冷的方式,这两种冷却方式均会导致第二相的不均匀析出,且析出相尺寸很大,这对于变形镁合金而言,可以通过后期的变形和热处理来细化,但是对于铸造镁合金而言,不经过后期的变形,均匀化过程中析出的粗大相则会对性能产生明显的不利影响。本发明降温的第一阶段,保证降温终了温度保持在固溶度线以上,而且缓慢的降温过程可以保证第二相不析出,仍然处于合金元素扩散的过程,进一步提高了元素的均匀性。第二阶段的降温采用较快的降温速度,其原理是基于所述合金淬火敏感性不强的基础上,该阶段降温实现类似于淬火的效果,但是相比于常规的空冷淬火或水冷淬火,冷却速度较慢,不会引入淬火应力,第二阶段降温后保温较长时间,可实现第二相的均匀析出,实现提高合金强度的效果。由于所述合金的过时效效应不明显,因此第二阶段保温处理后进行第三阶段的缓慢降温,既可以让强化相继续析出,又可以避免因较快的冷却速度引入的残余应力。

[0029] 本发明基于所述合金中第二相的溶解和析出热力学原理,同时实现扩散的均匀性和析出的均匀性,将常规热处理中均匀化—固溶—时效的热处理工艺简化为一次热处理过程,无需对现有热处理设备进行任何改造的基础上简化了工艺路线,提高了合金的力学性能。本发明为低压砂型铸造稀土镁合金铸件的热处理提供了一条简单高效的有效途径。

附图说明

[0030] 图1为铸态稀土镁合金的金相组织。

[0031] 图2为对比例采用常规工艺处理后的稀土镁合金金相组织。

[0032] 图3为实施例1工艺处理后稀土镁合金金相组织。

[0033] 图4为实施例2工艺处理后稀土镁合金金相组织。

[0034] 图5为实施例3工艺处理后稀土镁合金金相组织。

[0035] 图6为对比例采用常规工艺处理后的稀土镁合金透射电镜组织。

[0036] 图7为实施例2工艺处理后稀土镁合金透射电镜组织。

[0037] 图8本发明热处理工艺路线示意图。

[0038] 从图1可以看出,铸态稀土镁合金中,粗大的枝晶呈连续网状分布在三角晶界处,在使用过程中,这些共晶相位置容易产生应力集中,从而导致材料断裂失效。

[0039] 对比图1,图2~5经均匀化处理后,合金晶界处的枝晶偏析得到有效消除,组织成

分均匀,晶粒明显细化,出现清晰的晶界。对比常规均匀化处理的合金(图2),经本发明处理后的合金晶界处残留的第二相更少,说明晶界处合金元素的扩散更均匀。对比图6和图7发现,常规工艺处理的合金在冷却过程中析出了粗大的第二相,而本发明处理的合金中析出的第二相更加细小、弥散分布,说明本发明处理的合金中强化相的析出更加均匀。

[0040] 从图8可以看出本发明热处理的工艺路线。

具体实施方式:

[0041] 对比例1

[0042] 本对比例将低压砂型铸造得到的成分(wt.%)为:Y 3.9%、Nd 3.0%、Zr 0.55%、其它元素总量 $\leq 0.5\%$ 、余量为Mg的Mg-Y-Nd合金铸件,表面进行打磨清理,去除表面的杂质、粘沙以及氧化物等,并用铬酸清洗。将清洗后的铸件置于电炉中随炉升温至 $520 \pm 5^\circ\text{C}$,升温时间为2小时,到温后保温24小时随炉冷却至室温,所得零件的性能参数见表1(其抗拉强度为200MPa,屈服强度为120MPa,伸长率为12%)。

[0043] 对比例2

[0044] 成分和清洗工艺完全和实施例1一致,采用201610076414.1所记载的技术:

[0045] 将清洗后的铸件置于电阻中以 $200^\circ\text{C}/\text{h}$ 的加热速度随炉加热至 450°C 并保温15~16小时,然后以 $50^\circ\text{C}/\text{h}$ 的加热速度随炉升温至 $545 \pm 5^\circ\text{C}$ 保温2~3小时后出炉,风冷,将风冷后的零件置于电阻中以 $150^\circ\text{C}/\text{h}$ 的加热速度随炉升温至 300°C 保温5小时后空冷,然后铸件以 $150^\circ\text{C}/\text{h}$ 的加热速度随炉升温至 200°C 保温20小时后空冷,然后以 $150^\circ\text{C}/\text{h}$ 的加热速度随炉升温至 150°C 保温30小时后空冷,经过处理后的零件的性能参数见表1(其抗拉强度为223MPa,屈服强度为134MPa,伸长率为13.5%)。

[0046] 对比例3

[0047] 成分和清洗工艺完全和实施例1一致,不同之处在于:

[0048] 将清洗后的铸件置于电炉中以 $160 \pm 10^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速度升温至 $510 + 10^\circ\text{C}$,保温18小时,然后以 $35 \pm 5^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速度降温至 $210 \pm 10^\circ\text{C}$,保温20h,随后以 $25 \pm 5^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速度随炉冷却至室温。所得零件的性能参数见表1(其抗拉强度为214MPa,屈服强度为126MPa,伸长率为12.5%)。

[0049] 对比例4

[0050] 成分和清洗工艺完全和实施例1一致,不同之处在于:

[0051] 将清洗后的铸件置于电炉中以 $160 \pm 10^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速度升温至 $510 + 10^\circ\text{C}$,保温18小时,然后以 $110 \pm 10^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速度快速降温至 $210 \pm 10^\circ\text{C}$,保温20h,随后以 $25 \pm 5^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速度随炉冷却至室温。所得零件的性能参数见表1(其抗拉强度为218MPa,屈服强度为132MPa,伸长率为12.8%)。

[0052] 实施例1

[0053] 将低压砂型铸造得到的成分(wt.%)为:Y 3.85%、Nd 2.95%、Zr 0.5%、其它元素总量 $\leq 0.5\%$ 、余量为Mg的Mg-Y-Nd合金铸件,表面进行打磨清理,去除表面的杂质、粘沙以及氧化物等,并用铬酸清洗。将清洗后的铸件置于电炉中以 $160 \pm 10^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速度升温至 $510 + 10^\circ\text{C}$,保温18小时,然后以 $35 \pm 5^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速度降温至 $310 \pm 10^\circ\text{C}$ 后,再以 $110 \pm 10^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速度快速降温至 $210 \pm 10^\circ\text{C}$,保温20h,随后以 $25 \pm 5^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速度随炉冷却至室温。所得零件

的性能参数见表1(其抗拉强度为232MPa,屈服强度为195MPa,伸长率为19%。)

[0054] 实施例2

[0055] 将低压砂型铸造得到的成分(wt.%)为:Y 3.85%、Nd 2.95%、Zr 0.5%、其它元素总量 \leq 0.5%、余量为Mg的Mg-Y-Nd合金铸件,表面进行打磨清理,去除表面的杂质、粘沙以及氧化物等,并用铬酸清洗。将清洗后的铸件置于电炉中以 $175\pm 5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度升温至 $510\pm 10^{\circ}\text{C}$,保温19小时,然后以 $45\pm 5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度降温至 $330\pm 10^{\circ}\text{C}$ 后,再以 $130\pm 10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度快速降温至 $210\pm 10^{\circ}\text{C}$,保温23h,随后以 $25\pm 5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度随炉冷却至室温。所得零件的性能参数见表1(其抗拉强度为238MPa,屈服强度为197MPa,伸长率为18.5%)。

[0056] 实施例3

[0057] 将低压砂型铸造得到的成分(wt.%)为:Y 3.85%、Nd 2.95%、Zr 0.5%、其它元素总量 \leq 0.5%、余量为Mg的Mg-Y-Nd合金铸件,表面进行打磨清理,去除表面的杂质、粘沙以及氧化物等,并用铬酸清洗。将清洗后的铸件置于电炉中以 $195\pm 5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度升温至 $510\pm 10^{\circ}\text{C}$,保温20小时,然后以 $40\pm 5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度降温至 $340\pm 10^{\circ}\text{C}$ 后,再以 $140\pm 10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度快速降温至 $210\pm 10^{\circ}\text{C}$,保温25h,随后以 $25\pm 5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度随炉冷却至室温。所得零件的性能参数见表1(其抗拉强度为235MPa,屈服强度为195MPa,伸长率为18.8%)。

[0058] 实施例4

[0059] 将低压砂型铸造得到的成分(wt.%)为:Y 3.85%、Nd 2.95%、Zr 0.5%、其它元素总量 \leq 0.5%、余量为Mg的Mg-Y-Nd合金铸件,表面进行打磨清理,去除表面的杂质、粘沙以及氧化物等,并用铬酸清洗。将清洗后的铸件置于电炉中以 $200\pm 5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度升温至 $515\pm 5^{\circ}\text{C}$,保温18小时,然后以 $45\pm 5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度降温至 $310\pm 10^{\circ}\text{C}$ 后,再以 $150\pm 10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度快速降温至 $205\pm 5^{\circ}\text{C}$,保温20h,随后以 $25\pm 5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度随炉冷却至室温。所得零件的性能参数见表1(其抗拉强度为243MPa,屈服强度为205MPa,伸长率为18.2%)。

[0060] 表1

[0061]

实施例	抗拉强度 (MPa)	屈服强度 (MPa)	伸长率 (%)
对比例 1	200	120	12
对比例 2	223	134	13.5
对比例 3	214	126	12.5
对比例 4	218	132	12.8
实施例 1	232	195	19

[0062]

实施例 2	238	197	18.5
实施例 3	235	195	18.8
实施例 4	243	205	18.2

[0063] 通过实施例1和对比例2可以看出,本发明(尤其是伸长率这一方面)取得了意想不到的效果。通过实施例和对比例可以看出,本发明通过各参数的协同作用,尤其是“以30~50℃/h、优选为30-45℃/h的降温速度缓慢降温至300~350℃,当温度降至300~350℃后再以100~160℃/h的降温速度快速降温至200~220℃,保温至少20h后”这一工艺与其他工艺以及参数的协同作用,其所达到的效果大大超出了预计。

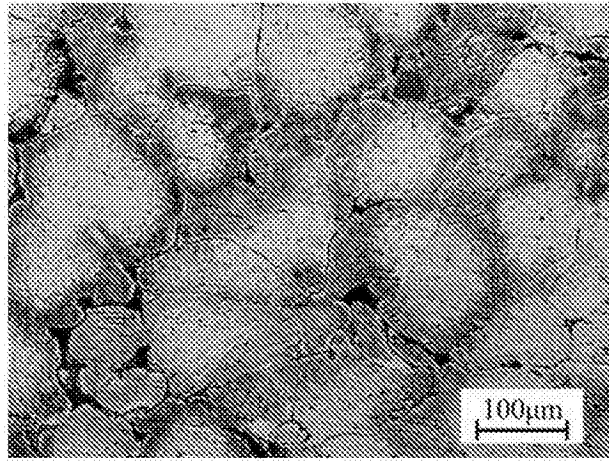


图1

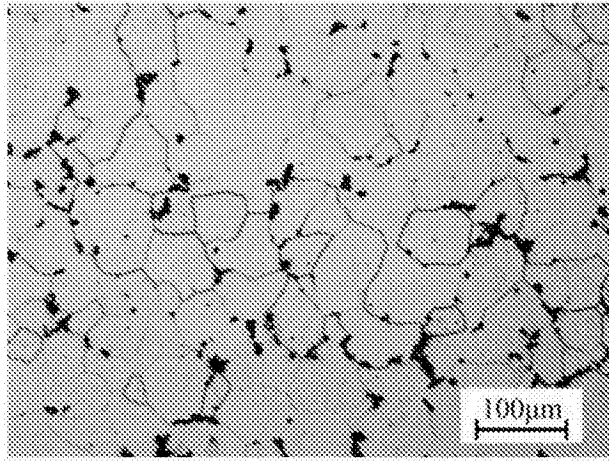


图2

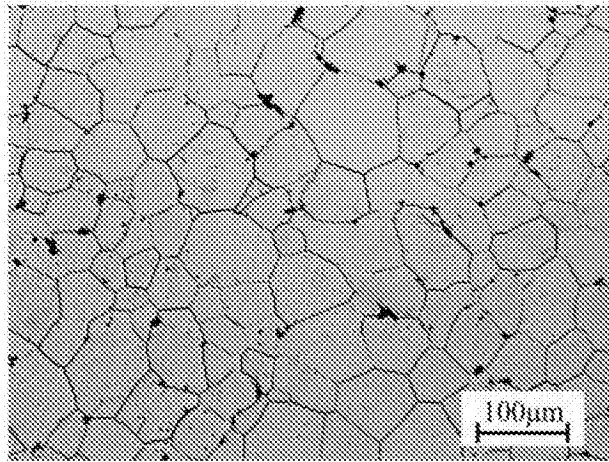


图3

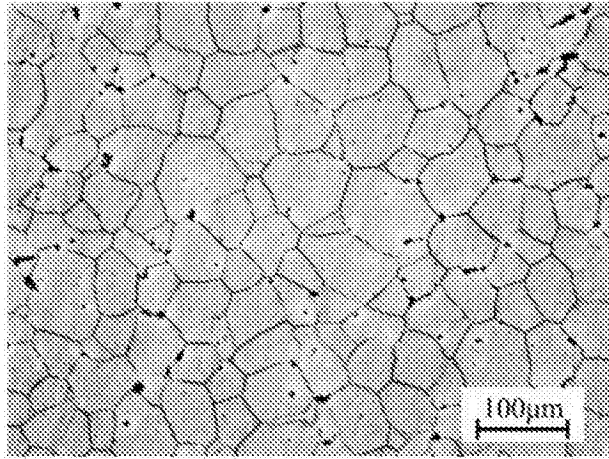


图4

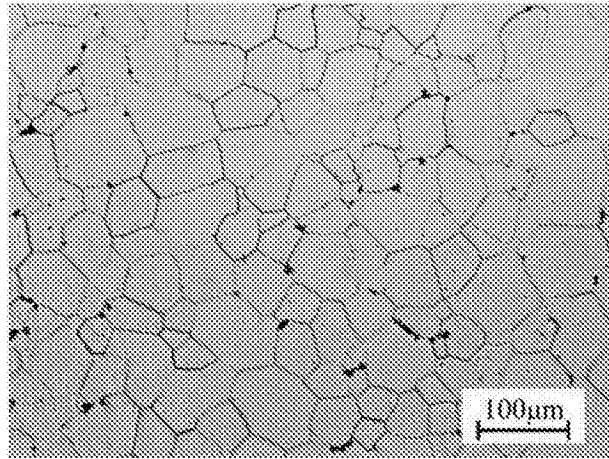


图5

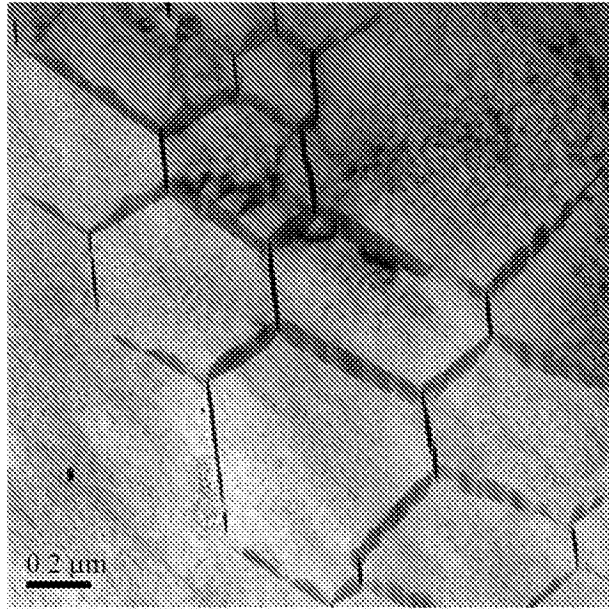


图6

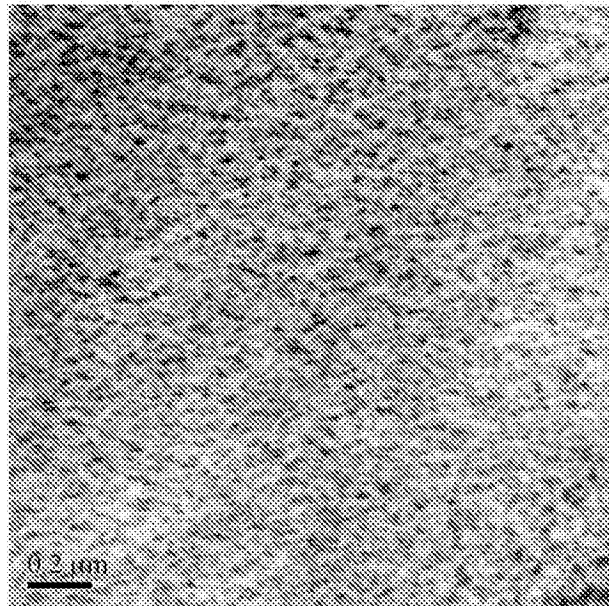


图7

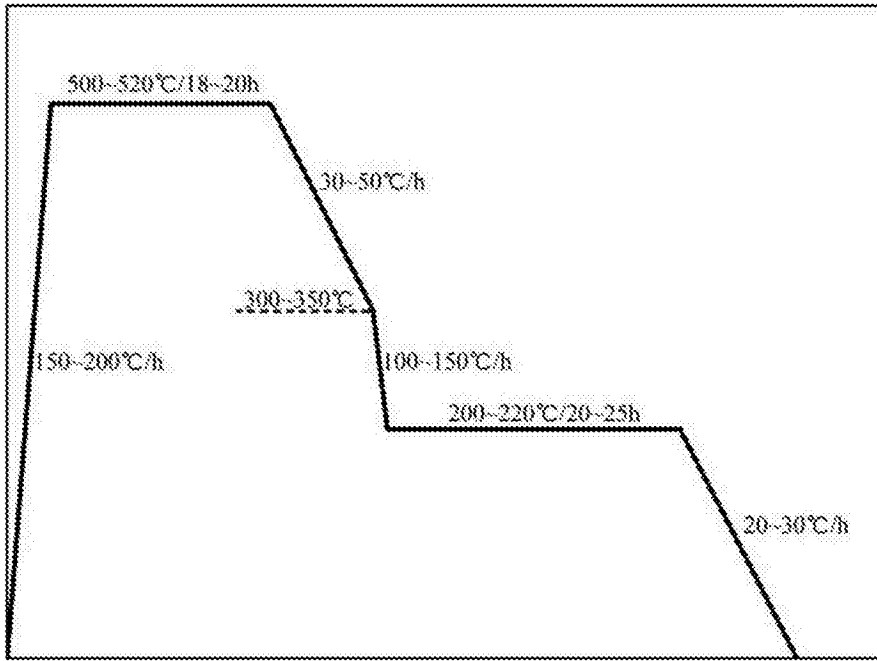


图8