



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104942271 A

(43) 申请公布日 2015. 09. 30

(21) 申请号 201510390214. 9

B21C 37/02(2006. 01)

(22) 申请日 2015. 06. 30

(71) 申请人 中国工程物理研究院材料研究所

地址 621700 四川省绵阳市江油市华丰新村  
9号

(72) 发明人 王晶 王震宏 周运洪 陆喜  
龙波 鲍永新

(74) 专利代理机构 成都九鼎天元知识产权代理  
有限公司 51214

代理人 沈强

(51) Int. Cl.

B22D 27/02(2006. 01)

B22D 21/00(2006. 01)

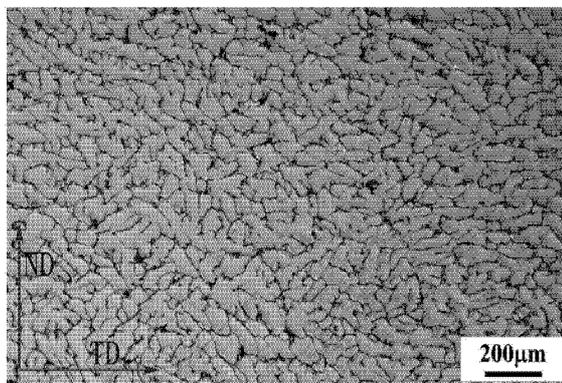
权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种铍铝合金板材及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种铍铝合金板材及其制备方法,所述制备方法包括依次进行的铍铝合金铸锭制备、铍铝合金铸锭热压预成型和铍铝合金锭坯热轧成型并得到所述铍铝合金板材,在所述铍铝合金铸锭制备步骤中采用近液相线电磁铸造制备铍铝合金铸锭。本发明的制备方法是将近液相线电磁铸造、固态热压预成形和精密轧制相结合的复合加工方法,其在铍铝合金铸锭制备步骤中采用近液相线电磁铸造,有利于形成细小、均匀的非枝晶组织,而且有利于细化铍铝合金的合金铸态组织,并且利用热压预成形加工进一步碎化铸锭的合金枝晶组织并提高合金塑性变形能力,最后采用精密轧制方法制备得到所需厚度的板材,所生产的铍铝合金板材的力学性能和成分均符合要求。



1. 一种铍铝合金板材的制备方法,其特征在于,所述制备方法包括依次进行的铍铝合金铸锭制备、铍铝合金铸锭热压预成型和铍铝合金锭坯热轧成型并得到所述铍铝合金板材,其中,在所述铍铝合金铸锭制备步骤中采用近液相线电磁铸造制备铍铝合金铸锭。

2. 根据权利要求1所述的铍铝合金板材的制备方法,其特征在于,所述近液相线电磁铸造包括以下步骤:

(a) 配料:至少准备铍的锭、块或粉末以及铝或铝合金的锭、块或粉末;

(b) 熔炼:将准备的原材料放入氧化铝或氧化铍坩埚中并置于电阻炉中熔炼,控制熔炼温度为1250~1350℃并熔炼5~20分钟,得到铍铝合金熔体;

(c) 近液相线保温:将所述铍铝合金熔体在1145~1155℃下保温10~20分钟;

(d) 浇铸:将保温后的铍铝合金熔体浇注至模具中,同时开启电磁场,控制输入电流为50~150A且搅拌频率为5~50Hz,得到铍铝合金铸锭。

3. 根据权利要求2所述的铍铝合金板材的制备方法,其特征在于,所述熔炼步骤、近液相线保温步骤和浇铸步骤是在真空条件下且在非反应性气氛中进行,其中,所述非反应性气氛为氩气、氦气或氮气。

4. 根据权利要求2所述的铍铝合金板材的制备方法,其特征在于,所述模具为具有氧化铝涂层的石墨模具,并且在浇铸前将所述模具预热至500~700℃。

5. 根据权利要求2所述的铍铝合金板材的制备方法,其特征在于,所述电磁场为交变旋转磁场、行波磁场或交变旋转与行波复合磁场。

6. 根据权利要求1所述的铍铝合金板材的制备方法,其特征在于,所述铍铝合金铸锭热压预成型包括以下步骤:

(a) 去除铍铝合金铸锭的表面氧化皮,得到铍铝合金坯料;

(b) 加热所述铍铝合金坯料至350~600℃;

(c) 将所述铍铝合金坯料转移至锻压机进行热压,控制变形率为30~60%,得到铍铝合金锭坯。

7. 根据权利要求1所述的铍铝合金板材的制备方法,其特征在于,所述铍铝合金锭坯热轧成型包括以下步骤:

(a) 加热所述铍铝合金铸锭热压预成型制备得到的铍铝合金锭坯至350~600℃;

(b) 将所述铍铝合金锭坯转移至轧机进行热轧,控制单道次变形率为10~15%;

(c) 按照步骤(a)和(b)进行多道次轧制,直至获得所需厚度的铍铝合金板材。

8. 根据权利要求7所述的铍铝合金板材的制备方法,其特征在于,控制连续两道次的轧制方向为相反的。

9. 一种铍铝合金板材,其特征在于,采用权利要求1至8中任一项所述的铍铝合金板材的制备方法制备得到,其中,所述铍铝合金板材的厚度为1~5mm且铍含量为62~68wt%。

10. 根据权利要求9所述的铍铝合金板材,其特征在于,所述铍铝合金的室温抗拉强度 $\geq 260\text{MPa}$ 且延伸率 $\geq 3\%$ 。

## 一种铍铝合金板材及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及合金及其加工的技术领域,更具体地讲,本发明涉及一种铍铝合金板材及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 铍铝合金结合了金属铍的高弹性模量以及金属铝的高韧性和易加工性,是一种独特的轻质(密度比铝低 25%)、刚性(比刚度是铝、钛、钢铁、镁的 4 倍)、高阻尼性和高稳定性(热膨胀系数比铝低 50%)的材料,被认为是“二十一世纪从实验室到工程应用的重要材料”,在国防与航空航天领域具有广阔的应用前景。

[0003] 铍铝合金的生产工艺主要有三种:粉末冶金、铸造和锻(挤)压成形。不同制备工艺制得的合金组织具有显著差异,导致合金的性能有所不同。铸态合金的拉伸强度是最低的,锻压态铍铝合金比铸造合金具有更好的力学性能,拉伸强度和延伸率均有大幅度提高。粉末冶金法制备的铍铝合金的强度也有明显改善,而且经冷等静压/挤压的铍铝合金的力学性能要明显优于热等静压态铍铝合金。可见,经过塑性变形加工的铍铝合金具有更加优良的力学性能。

[0004] 目前,制备铍铝合金板材的方法主要有两种。第一种方法是首先采用粉末等静压法制备坯料,之后采用挤压方法成形,最后轧制成板材。粉末冶金法的主要流程包括:在 1350 至约 1450℃ 的温度范围内,在有陶瓷内衬的耐火坩埚中对铝和铍的起始材料进行真空熔炼,令液化的铝-铍熔体经由耐火喷嘴倾出成一液流,然后被高速喷射的惰性气流所截交,惰性气流使液流断裂成细微的液滴,液滴然后固化形成预制的合金粉末,构成的预制合金粉末具有非常细微的树枝状显微结构且粒径约为 3~5 μm,颗粒尺寸对最终产品的强度有重要影响。预合金粉经冷等静压压至理论密度的约 80%,再经热等静压成形,最后经挤压进一步提高密度,挤压温度通常为 370~510℃。挤压成的棒材经切割后轧制成板材,制板时挤压棒应包覆在钢套或铜套中。该方法制备的铍铝合金板材具有各向同性特性,但是生产成本非常昂贵。

[0005] 第二种方法是传统的铸锭浇注操作和轧制成形。将熔融的铍铝合金倒进石墨型腔中,待冷却后获得固态铸锭,去除铸锭的表层氧化皮后进行轧制即获得铍铝合金板材。由于常规铸造铍铝合金基体中有非常粗大的柱状树枝晶铍相,其各向异性度非常严重且塑性变形能力很差,板材轧制过程较为困难。

[0006] 除了以上两种方法外,上世纪 90 年代,勃拉希-威尔曼公司还开发了另一种用于铍铝合金的近净成形技术一半固态成形技术。该技术的创新之处在于使用雾化法或机械粉碎法将铍粉与固态颗粒或液相线铝相混合,不将铍熔化,不进行熔融态铝铍合金的搅拌,也无需引入剪切力。其中,半固态铍铝合金浆料的制备流程如下:首先采用雾化法或机械粉碎法制备铍粉和铝粉;之后将铝和铍粉末按组分混合;在约高于铝的固相线的温度下熔化铝组分,产生固态铍分散于液态铝中的半固态浆料;最后原位浇注该半固态浆料,制备得到的半固态铍铝合金坯料。铍铝合金坯料可通过闭模锻造、半固态锻造以及半固态模压进一步

成形,或者进行轧制获得铍铝合金板材。虽然这种方法最为经济,但是在实际操作中铍与铝难以混合均匀,不易进行规模化生产,因此该方法产业化前景不容乐观。

[0007] 为此,需要提供一种经济性与实用性兼顾的铍铝合金板材及其制备方法。

## 发明内容

[0008] 针对现有技术中存在的问题和不足,本发明的目的在于提供一种经济性与实用性兼顾的铍铝合金板材及其制备方法。

[0009] 为了实现上述目的,本发明的一方面提供了一种铍铝合金板材的制备方法,所述制备方法包括依次进行的铍铝合金铸锭制备、铍铝合金铸锭热压预成型和铍铝合金锭坯热轧成型并得到所述铍铝合金板材,其中,在所述铍铝合金铸锭制备步骤中采用近液相线电磁铸造制备铍铝合金铸锭。

[0010] 根据本发明的铍铝合金板材的制备方法的一个实施例,所述近液相线电磁铸造包括以下步骤:

[0011] (a) 配料:至少准备铍的锭、块或粉末以及铝或铝合金的锭、块或粉末;

[0012] (b) 熔炼:将准备的原材料放入氧化铝或氧化铍坩埚中并置于电阻炉中熔炼,控制熔炼温度为 1250 ~ 1350℃ 并熔炼 5 ~ 20 分钟,得到铍铝合金熔体;

[0013] (c) 近液相线保温:将所述铍铝合金熔体在 1145 ~ 1155℃ 下保温 10 ~ 20 分钟;

[0014] (d) 浇铸:将保温后的铍铝合金熔体浇注至模具中,同时开启电磁场,控制输入电流为 50 ~ 150A 且搅拌频率为 5 ~ 50Hz,得到铍铝合金铸锭。

[0015] 根据本发明的铍铝合金板材的制备方法的一个实施例,所述熔炼步骤、近液相线保温步骤和浇铸步骤是在真空条件下且在非反应性气氛中进行,其中,所述非反应性气氛为氩气、氦气或氮气。

[0016] 根据本发明的铍铝合金板材的制备方法的一个实施例,所述模具为具有氧化铝涂层的石墨模具,并且在浇铸前将所述模具预热至 500 ~ 700℃。

[0017] 根据本发明的铍铝合金板材的制备方法的一个实施例,所述电磁场为交变旋转磁场、行波磁场或交变旋转与行波复合磁场。

[0018] 根据本发明的铍铝合金板材的制备方法的一个实施例,所述铍铝合金铸锭热压预成型包括以下步骤:

[0019] (a) 去除铍铝合金铸锭的表面氧化皮,得到铍铝合金坯料;

[0020] (b) 加热所述铍铝合金坯料至 350 ~ 600℃;

[0021] (c) 将所述铍铝合金坯料转移至锻压机进行热压,控制变形率为 30 ~ 60%,得到铍铝合金锭坯。

[0022] 根据本发明的铍铝合金板材的制备方法的一个实施例,所述铍铝合金锭坯热轧成型包括以下步骤:

[0023] (a) 加热所述铍铝合金铸锭热压预成型制备得到的铍铝合金锭坯至 350 ~ 600℃;

[0024] (b) 将所述铍铝合金锭坯转移至轧机进行热轧,控制单道次变形率为 10 ~ 15%;

[0025] (c) 按照步骤 (a) 和 (b) 进行多道次轧制,直至获得所需厚度的铍铝合金板材。

[0026] 根据本发明的铍铝合金板材的制备方法的一个实施例,控制连续两道次的轧制方向为相反的。

[0027] 本发明的另一方面提供了一种铍铝合金板材,采用上述铍铝合金板材的制备方法制备得到,其中,所述铍铝合金板材的厚度为 1 ~ 5mm 且铍含量为 62 ~ 68wt%。

[0028] 根据本发明的铍铝合金板材的一个实施例,所述铍铝合金的室温抗拉强度  $\geq 260\text{MPa}$  且延伸率  $\geq 3\%$ 。

[0029] 本发明铍铝合金板材的制备方法是将近液相线电磁铸造、固态热压预成形和精密轧制相结合的复合加工方法,其在铍铝合金铸锭制备步骤中采用近液相线电磁铸造,有利于形成细小、均匀的非枝晶组织,而且有利于细化铍铝合金的合金铸态组织,并且利用热压预成形加工进一步碎化铸锭的合金枝晶组织并提高合金塑性变形能力,最后采用精密轧制方法制备得到所需厚度的板材,所生产的铍铝合金板材的力学性能和成分均符合要求。

## 附图说明

[0030] 图 1 示出了示例 2 中制备得到的铍铝合金铸锭的微观组织照片。

[0031] 图 2 示出了示例 2 中热压开坯后铍铝合金锭坯的微观组织照片。

[0032] 图 3 示出了示例 2 中制备得到的铍铝合金板材的微观组织照片。

## 具体实施方式

[0033] 在下文中,将详细说明本发明的铍铝合金板材及其制备方法。

[0034] 由于电磁铸造能显著改善铸锭的表面质量、抑制溶质元素偏析、细化显微组织并提升产品的机械性能,所以被广泛地应用于钢和其他合金的铸造。近年发展起来的近液相线铸造法也为获得细小均匀的等轴晶组织提供了更加简单、有效和经济的方法,由于合金熔体温度低且几乎无过热,因此浇注时熔体中会形成大量均匀分布的晶核,有利于细小、均匀、等轴的非枝晶组织形成。

[0035] 本发明创新地将电磁铸造应用于铍铝合金的制备并选用合适的制备参数,采用近液相线保温并在合金的凝固过程中施加电磁场,从而形成细小、均匀的非枝晶组织并细化铍铝合金的合金铸态组织,为后续的加工提供成本更低且质量更优的铸锭。并且,本发明还利用热压预成形加工进一步碎化铸锭的合金枝晶组织并提高合金塑性变形能力,最后采用精密轧制方法制备得到所需厚度的板材。

[0036] 根据本发明的示例性实施例,所述铍铝合金板材的制备方法包括依次进行的铍铝合金铸锭制备、铍铝合金铸锭热压预成型和铍铝合金锭坯热轧成型并得到所述铍铝合金板材,其中,在所述铍铝合金铸锭制备步骤中采用近液相线电磁铸造制备铍铝合金铸锭。

[0037] 其中,本发明中所述的近液相线电磁铸造是指将熔炼得到的合金熔体在其中某种金属的近液相线的温度范围内保温一定时间后,再在合金熔体的凝固过程中持续地施加电磁场直至凝固得到铸锭的铸造工艺。

[0038] 对于本发明而言,可以将包含铍和铝的合金熔体在铍铝合金近液相线的温度范围内进行保温,例如,液相线的温度为  $1150^{\circ}\text{C}$ ,则本发明选取为在  $1145 \sim 1155^{\circ}\text{C}$  的范围内进行保温。近液相线保温法是制备半固态熔体的一种简单可行、成本低廉的方法,也是获得细小、非枝晶组织的有效方法。根据瞬态形核理论,晶核的来源是在略低于液相线温度的小过冷度下瞬态内生成的。在液相线温度附近形核的关键条件是获得与晶核润湿角非常小的固相基底,准固相原子团簇因与晶核有良好的“润湿”效果而成为晶核核心的主要来源。熔体

温度场得均匀程度直接影响到熔体准固相原子团簇的均匀程度和数量,越均匀越有利于熔体均匀的形核。当熔体温度略低于液相线温度时,在较小的过冷度和均匀温度下,大量准固相原子团簇发展成为游离晶,并且均匀地分布于熔体中,有利于晶核的形成,从而实现晶粒细化。

[0039] 根据本发明,所述近液相线电磁铸造可以包括以下步骤:

[0040] 首先,进行配料。在配料时,至少准备铍的锭、块或粉末以及铝或铝合金的锭、块或粉末,也即本发明不对铍和铝的原料形态和类型进行具体限制,只要配料能满足最终所需的铍铝合金的含量要求即可。优选地,配料时保证制备得到的铍铝合金中的铍含量为 62 ~ 68wt%。

[0041] 然后,进行熔炼。将配料时所准备的原材料放入氧化铝或氧化铍坩埚中并置于电阻炉中熔炼,控制熔炼温度为 1250 ~ 1350℃并熔炼 5 ~ 20 分钟,得到铍铝合金熔体。

[0042] 之后,进行近液相线保温。将熔炼所得的铍铝合金熔体在 1145 ~ 1155℃下保温 10 ~ 20 分钟。保温时间对晶粒形态与尺寸具有较大影响,在液相线附近的温度保温一定时间,可以保证溶质扩散和热传导具有充分的时间,从而使固-液界面前沿的溶质和温度均匀分布,为晶核生长成粒状组织提供有力条件。但当保温时间过长时,合金液中的晶核在热运动过程中相互碰撞,粘合在一起成为粗大的晶粒,从而促使凝固组织中晶粒的粗化。因此,本发明将保温时间设置为较适宜的 10 ~ 20 分钟。

[0043] 最后,进行浇铸。将保温后的铍铝合金熔体浇注至模具中,同时开启电磁场,控制输入电流为 50 ~ 150A 且搅拌频率为 5 ~ 50Hz,得到铍铝合金铸锭。其中,所使用的电磁场可以为交变旋转磁场、行波磁场或者交变旋转与行波复合磁场。

[0044] 优选地,上述浇铸步骤中使用的模具为具有氧化铝涂层的石墨模具,并且在浇铸前将模具预热至 500 ~ 700℃。由于石墨容易加工且成本低廉,其热导率与钢相差不多,在涂层的保护作用下可多次重复利用,因此本发明选用的是石墨模具。铍铝合金在高温下非常活泼,具有与大多数耐热材料反应的倾向,尤其是铝与碳在高温下极易反应生成  $Al_4C_3$  化合物,因此铍铝合金高温浇注时必须采用涂层对模具进行保护。铍铝合金具有很强的热裂倾向,如果凝固时熔体温度场出现较大波动,将产生很大的凝固应力,从而导致铸件产生裂纹,为了避免热裂发生需要对模具进行适当预热,在保证冷却速度的前提下,使熔体凝固时的温度场保持相对均匀。

[0045] 并且,上述熔炼步骤、近液相线保温步骤和浇铸步骤均是在真空条件下进行,并且均在非反应性气氛中进行。其中,上述非反应性气氛可以为氩气、氦气或氮气等气氛。本领域技术人员可以根据需求调节真空度并选择具体气氛。

[0046] 在制备得到铍铝合金铸锭之后,需要对铍铝合金铸锭进行热压预成型,具体包括以下步骤:

[0047] 先将铍铝合金铸锭的表面氧化皮去除,例如采用车削的方式去除,得到铍铝合金坯料。

[0048] 再加热所得的铍铝合金坯料至 350 ~ 600℃以进行热压预成型。

[0049] 最后将加热后的铍铝合金坯料转移至锻压机进行热压,控制变形率为 30 ~ 60%,得到铍铝合金锭坯。

[0050] 由于铍铝合金的铸态组织十分粗大,同时具有较严重的显微疏松(裂纹源),这导

致合金的热变形能力较差,并且在轧制过程中易产生贯通式裂纹,从而导致锭坯报废。为了提高铍铝合金的塑性变形能力,有必要在轧制前对合金组织进行预处理,热压预成型之后合金组织将会破碎、细化,使得显微疏松闭合,而晶粒细化和缺陷的消除将改善材料的塑性并提高合金的变形能力。

[0051] 在制备得到铍铝合金锭坯之后,需要对铍铝合金锭坯进行热轧成型,具体包括以下步骤:

[0052] 先加热铍铝合金锭坯至 350 ~ 600℃。

[0053] 再将铍铝合金锭坯转移至轧机进行热轧,控制单道次变形率为 10 ~ 15%。

[0054] 按照上面的步骤进行多道次轧制,直至获得所需厚度的铍铝合金板材。优选地,为了降低各向异性程度,控制连续两道次的轧制方向为相反的。

[0055] 本发明的铍铝合金板材则是采用上述铍铝合金板材的制备方法制备得到的。

[0056] 优选地,铍铝合金板材的厚度为 1 ~ 5mm 且铍含量为 62 ~ 68wt%。并且,所制得的铍铝合金的室温抗拉强度  $\geq 260\text{MPa}$  且延伸率  $\geq 3\%$ 。

[0057] 下面,本发明将进一步通过以下示例进行具体说明。

[0058] 示例 1:

[0059] 制备方法如下:

[0060] (1) 配料,称取金属铍块 1.24kg 和金属铝锭 0.76kg;将配好的原材料放入氧化铝坩埚中并置于电阻炉中熔炼,控制熔炼温度为 1300℃ 并熔炼 15 分钟,得到合金熔体。

[0061] (2) 将合金熔体降温至 1145℃ 并保温 10min。

[0062] (3) 将保温后的合金熔体快速、平稳地浇注至已预热为 600℃ 的具有氧化铝涂层的石墨模具中,同时开启交变旋转磁场,控制输入电流为 100A 且搅拌频率为 10Hz,得到铍铝合金铸锭。

[0063] (4) 采用车削的方法去除铍铝合金铸锭的表面氧化皮,得到铍铝合金坯料。

[0064] (5) 在箱式电阻炉中加热铍铝合金坯料至 600℃。

[0065] (6) 快速将铍铝合金坯料转移至锻压机进行热压,控制变形率为 30%,得到铍铝合金锭坯。

[0066] (7) 在箱式电阻炉中加热铍铝合金锭坯至 600℃。

[0067] (8) 快速将铍铝合金锭坯转移至轧机进行热轧,控制单道次变形率为 10%。每次轧制后,将轧板转移至箱式电阻炉中加热至 600℃ 并保温 10min,再进行下一道次轧制;

[0068] (9) 经过 13 道次轧制,获得铍铝合金板材。

[0069] 本示例制备的铍铝合金板材中包含 62wt% 的 Be。板材厚度为 5mm,在室温下的平均抗拉强度为 276MPa 且延伸率  $\geq 3.2\%$ 。

[0070] 示例 2:

[0071] 制备方法如下:

[0072] (1) 配料,称取金属铍块 1.24kg 和金属铝锭 0.76kg;将配好的原材料放入氧化铝坩埚中并置于电阻炉中熔炼,控制熔炼温度为 1280℃ 并熔炼 10 分钟,得到合金熔体。

[0073] (2) 将合金熔体降温至 1148℃ 并保温 15min。

[0074] (3) 将保温后的合金熔体快速、平稳地浇注至已预热为 500℃ 的具有氧化铝涂层的石墨模具中,同时开启交变旋转电磁场,控制输入电流为 80A 且搅拌频率为 15Hz,得到铍

铝合金铸锭。

[0075] (4) 采用车削的方法去除铍铝合金铸锭的表面氧化皮,得到铍铝合金坯料。

[0076] (5) 在箱式电阻炉中加热铍铝合金坯料至 380℃。

[0077] (6) 快速将铍铝合金坯料转移至锻压机进行热压,控制变形率为 50%,得到铍铝合金锭坯。

[0078] (7) 在箱式电阻炉中加热铍铝合金锭坯至 400℃。

[0079] (8) 快速将铍铝合金锭坯转移至轧机进行热轧,控制单道次变形率为 15%。每次轧制后,将轧板转移至箱式电阻炉中加热至 400℃并保温 10min,再进行下一道次轧制;

[0080] (9) 经过 10 道次轧制,获得铍铝合金板材。

[0081] 本示例制备的铍铝合金板材中包含 62wt% 的 Be。板材厚度为 5mm,在室温下的平均抗拉强度为 289MPa 且延伸率  $\geq 3.5\%$ 。

[0082] 本示例制得的铍铝合金铸锭的微观组织照片如图 1 所示,可以看到近液相线保温和电磁铸造法制备的铍铝合金没有出现铸态铍铝合金常见的粗大的柱状树枝晶,平均晶粒尺寸约为 250  $\mu\text{m}$ 。

[0083] 本示例中热压开坯后铍铝合金锭坯的微观组织如图 2 所示,可以看到合金经过热压缩变形后树枝晶发生破碎,晶粒得到细化,这有利于晶粒间的协调变形。

[0084] 本示例制得的铍铝合金板材的微观组织照片如图 3 所示,经过多道次的热轧后,铍铝合金组织显著细化,并且晶粒尺寸较为均匀,未出现晶粒沿一定方向拉长变形的现象,说明轧制的铍铝合金板材具有较好的组织各向同性特性。

[0085] 示例 3:

[0086] 制备方法如下:

[0087] (1) 配料,称取金属铍块 1.55kg 和金属铝锭 0.95kg;将配好的原材料放入氧化铍坩埚中并置于电阻炉中熔炼,控制熔炼温度为 1300℃并熔炼 18 分钟,得到合金熔体。

[0088] (2) 将合金熔体降温至 1150℃并保温 18min。

[0089] (3) 将保温后的合金熔体快速、平稳地浇注至已预热为 550℃的具有氧化铝涂层的石墨模具中,同时开启行波磁场,控制输入电流为 100A 且搅拌频率为 30Hz,得到铍铝合金铸锭。

[0090] (4) 采用车削的方法去除铍铝合金铸锭的表面氧化皮,得到铍铝合金坯料。

[0091] (5) 在箱式电阻炉中加热铍铝合金坯料至 500℃。

[0092] (6) 快速将铍铝合金坯料转移至锻压机进行热压,控制变形率为 40%,得到铍铝合金锭坯。

[0093] (7) 在箱式电阻炉中加热铍铝合金锭坯至 550℃。

[0094] (8) 快速将铍铝合金锭坯转移至轧机进行热轧,控制单道次变形率为 13%。每次轧制后,将轧板转移至箱式电阻炉中加热至 550℃并保温 10min,再进行下一道次轧制;

[0095] (9) 经过 13 道次轧制,获得铍铝合金板材。

[0096] 本示例制备的铍铝合金板材中包含 65wt% 的 Be。板材厚度为 3mm,在室温下的平均抗拉强度为 320MPa 且延伸率  $\geq 3.0\%$ 。

[0097] 示例 4:

[0098] 制备方法如下:

[0099] (1) 配料,称取金属铍块 1.55kg 和金属铝锭 0.95kg;将配好的原材料放入氧化铍坩埚中并置于电阻炉中熔炼,控制熔炼温度为 1250℃并熔炼 10 分钟,得到合金熔体。

[0100] (2) 将合金熔体降温至 1154℃并保温 15min。

[0101] (3) 将保温后的合金熔体快速、平稳地浇注至具有氧化铝涂层的石墨模具中,同时开启交变旋转 + 行波复合电磁场,控制输入电流为 120A 且搅拌频率为 20Hz,得到铍铝合金铸锭。

[0102] (4) 采用车削的方法去除铍铝合金铸锭的表面氧化皮,得到铍铝合金坯料。

[0103] (5) 在箱式电阻炉中加热铍铝合金坯料至 450℃。

[0104] (6) 快速将铍铝合金坯料转移至锻压机进行热压,控制变形率为 40%,得到铍铝合金锭坯。

[0105] (7) 在箱式电阻炉中加热铍铝合金锭坯至 450℃。

[0106] (8) 快速将铍铝合金锭坯转移至轧机进行热轧,控制单道次变形率为 10%。每次轧制后,将轧板转移至箱式电阻炉中加热至 450℃并保温 10min,再进行下一道次轧制;

[0107] (9) 经过 15 道次轧制,获得铍铝合金板材。

[0108] 本示例制备的铍铝合金板材中包含 65wt% 的 Be。板材厚度为 2mm,在室温下的平均抗拉强度为 289MPa 且延伸率  $\geq 3.3\%$ 。

[0109] 综上所述,本发明铍铝合金板材的制备方法是将近液相线电磁铸造、固态热压预成形和精密轧制相结合的复合加工方法,其在铍铝合金铸锭制备步骤中采用近液相线电磁铸造,有利于形成细小、均匀的非枝晶组织,而且有利于细化铍铝合金的合金铸态组织,并且利用热压预成形加工进一步碎化铸锭的合金枝晶组织并提高合金塑性变形能力,最后采用精密轧制方法制备得到所需厚度的板材,所生产的铍铝合金板材的力学性能和成分均符合要求。。

[0110] 尽管上面已经结合示例性实施例描述了本发明的铍铝合金板材及其制备方法,但是本领域普通技术人员应该清楚,在不脱离权利要求的精神和范围的情况下,可以对上述实施例进行各种修改和变化。

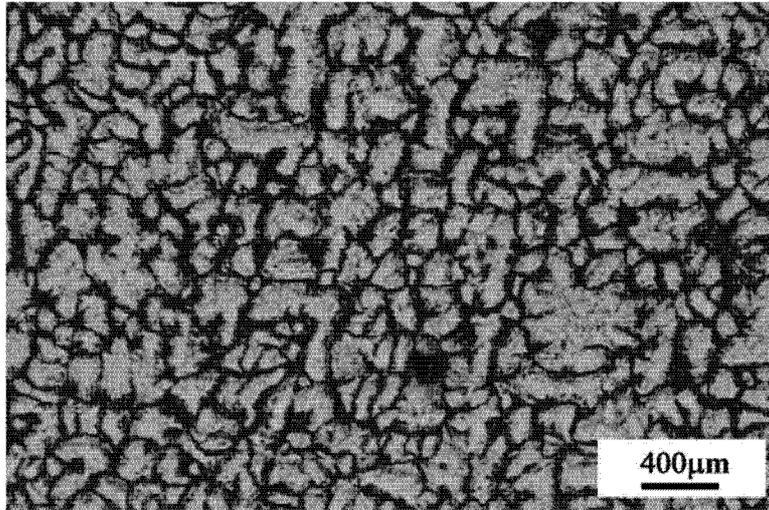


图 1

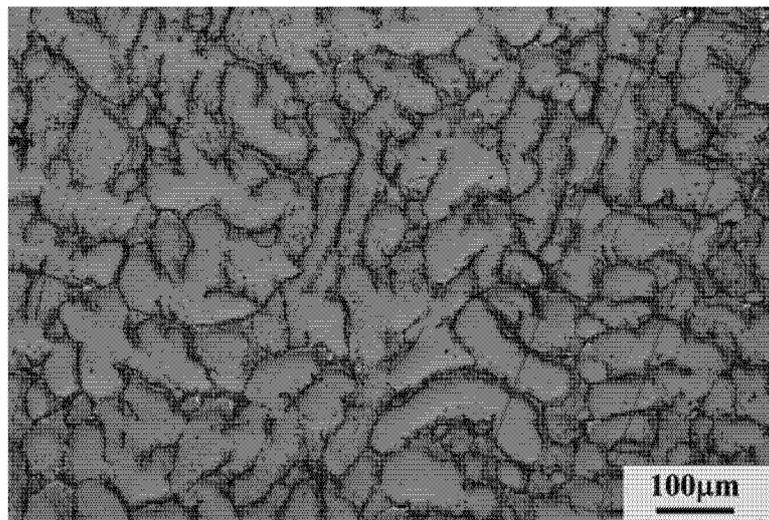


图 2

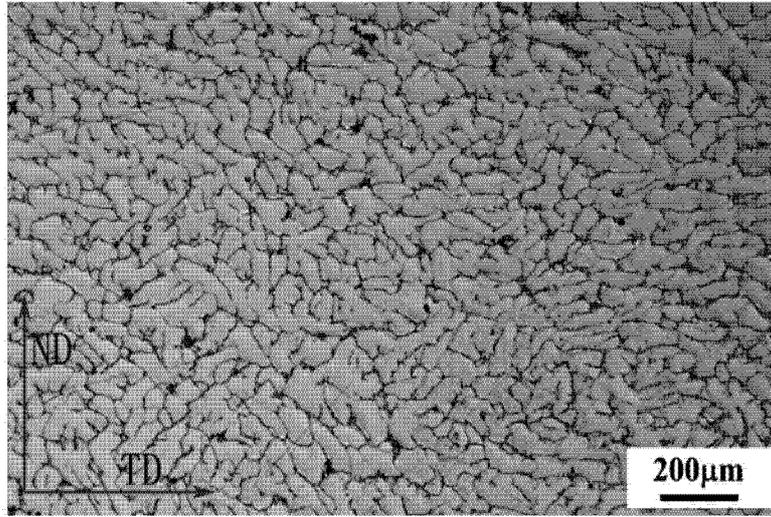


图 3