



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111041311 A

(43)申请公布日 2020.04.21

(21)申请号 201911406569.7

(22)申请日 2019.12.31

(71)申请人 北京工业大学

地址 100124 北京市朝阳区平乐园100号

(72)发明人 刘轲 郭成龙 杜文博 李淑波

王朝辉 杜宪

(74)专利代理机构 北京思海天达知识产权代理

有限公司 11203

代理人 张立改

(51) Int. Cl.

*G22C 23/06*(2006.01)

*G22F 1/06*(2006.01)

*B21B 37/00*(2006.01)

*B21B 37/46*(2006.01)

*B21B 37/74*(2006.01)

权利要求书1页 说明书3页 附图1页

(54)发明名称

一种具有低成本高性能稀土镁合金及制备技术

(57)摘要

一种具有低成本高性能稀土镁合金及制备技术,属金属材料先进制造技术。该合金板材中的合金化元素及其含量主要为稀土元素Gd,其质量百分比含量为 $\leq 6\%$ ;稀土元素Er,其质量百分比含量为 $\leq 2.0\%$ ,合金中稀土总量 $\leq 8.0\%$ ,Zr质量百分比含量为 $\leq 1.0\%$ ,余量为Mg。在本发明条件下,在轧制温度为 $300^{\circ}\text{C}$ - $450^{\circ}\text{C}$ ,轧制压下量达到75%及以上,获得的该镁金属板材厚度在1.0-1.5mm,其屈服强度可达200~350MPa、抗拉强度260~370MPa,延伸率为2%-10%,合金中的链条状结构是合金性能提高的主要原因。该合金生产方便,制备效率高,工艺流程短,是一种具有巨大应用前景的镁合金板材。

1. 一种具有低成本高性能稀土镁合金,其特征在於,元素质量组成如下:稀土元素Gd质量百分比含量为 $\leq 6\%$ ,Er质量百分比含量为 $\leq 2.0\%$ ,稀土总量 $\leq 8.0\%$ ,Zr质量百分比含量为 $\leq 1.0\%$ ,其余量为Mg,上述Gd、Er的含量均不为0。

2. 按照权利要求1所述的高性能稀土镁合金的制备工艺,其特征在於,包括如下步骤:将合金铸坯进行热处理,然后在不同温度下进行轧制,轧制温度区间为 $300^{\circ}\text{C}\sim 450^{\circ}\text{C}$ ,轧制速率控制在 $8\text{--}12\text{m}/\text{min}$ 优选 $10\text{m}/\text{min}$ ,每道次变形量在 $8\%\text{--}10\%$ ,每道次之间回炉保温时间为 $8\text{--}15\text{min}$ ,累计变形量达 $75\%$ 及以上。优选采用十字轧制方法,即每道次轧制方向较前一道次轧制方向旋转,转角度约为 $90^{\circ}$ 。

3. 按照权利要求2所述的高性能稀土镁合金的制备工艺,其特征在於,最后获得的产品为厚度为 $1.0\text{mm}\sim 1.5\text{mm}$ 板材,表面及边缘光滑,无开裂。

4. 按照权利要求3所述的高性能稀土镁合金的制备工艺,其特征在於,最终产品板材合金的晶粒尺寸约为 $5\text{--}10\mu\text{m}$ 。

5. 按照权利要求3所述的高性能稀土镁合金的制备工艺,其特征在於,产生了链状强化相,宽度为 $5\text{nm}\text{--}20\text{nm}$ ,可同时提高合金的强度和塑性。

6. 按照权利要求3所述的高性能稀土镁合金的制备工艺,其特征在於,合金板材的力学性能为屈服强度 $200\sim 350\text{MPa}$ ,抗拉强度 $260\sim 370\text{MPa}$ ,延伸率为 $2\%\text{--}10\%$ 。

## 一种具有低成本高性能稀土镁合金及制备技术

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种具有低成本高强稀土镁合金材料及制备工艺技术,属金属材料先进制造技术,具体为一种获得高强稀土镁金属板材的成形工艺。

### 背景技术

[0002] 镁合金具有优良的性能,其密度约为 $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ ,只有铝的 $2/3$ ,钢的 $1/4$ ,具有比重轻、比强度及比刚性高、震动吸收性能好以及易导热、电磁屏蔽性能好、易回收再生利用等特点,可满足汽车及航空航天领域对材料轻量化的要求,近年来镁合金产量在全球的年增长率高达 $20\%$ ,其原因主要是由于汽车和易携带型电子产品等产业对镁合金的急剧需求拉动了全球镁合金用量的增加。可以说,镁合金在21世纪将广泛应用于现代汽车、航空航天、国防和易携带型电子产品等领域,是21世纪的绿色工程材料。但同时由于镁为典型的密排六方结构,其在温度较低的情况下加工性能不佳,这对其板材制备造成了很大困难。而在镁合金里添加稀土元素可有效提高合金的阻燃和耐蚀性能,改善合金塑性成型能力,以及提高合金室温及高温力学性能。因此,近些年来,稀土镁合金的开发及使用一直备受关注。我国稀土资源和镁资源的丰富,使得我国在Mg-RE系合金研究方面的具有一定的优势。稀土元素在镁合金中具有很高的固溶度,并且具有随温度的降低固溶度急剧减小的特性,使Mg-RE合金具有良好的固溶强化和时效硬化效果。因此,稀土元素在改善镁合金性能方面具有其他元素所无法替代的作用。近年来的研究发现,对稀土合金进行塑性加工可有效改善合金性能,包括获得更高的强度,Wang等人对Mg-12Gd-3Y-0.4Zr (wt.%)合金进行 $450^\circ\text{C}$ 、累计变形量 $92\%$ 热轧制时,得到了晶粒尺寸明显细化的高强度镁合金板材,其抗拉强度达到 $381.8\text{MPa}$ ,屈服强度达到 $309.6\text{MPa}$ 。对其进行 $225^\circ\text{C}$ ,17h的时效处理后,使其抗拉强度和屈服强度获得了进一步的提高,抗拉强度达到 $456.8\text{MPa}$ ,屈服强度也达到了 $348.9\text{MPa}$ 。但同时,在镁合金中添加大量稀土元素同时产生了多个问题:(1)过量的稀土元素使得合金的密度变大,削弱了其镁合金本身固有的比重轻的优势。(2)稀土镁合金经过时效处理后延伸率恶化,不利于后期对材料的深加工。(3)稀土元素成本昂贵,镁合金中加入大量的稀土元素,使得合金的整体成本增加,不利于工业上的大规模批量生产。因此,开发设计出一种低稀土含量镁合金,辅助形变热处理工艺来实现材料的高强度更适合于镁合金今后的工业应用。

[0003] 本发明中涉及到一种低成本高强稀土镁合金及其制备技术,开发设计了一种低稀土含量镁合金Mg-Gd-Er-Zr合金,稀土元素Gd质量百分比含量为 $\leq 6\%$ ,Er质量百分比含量为 $\leq 2.0\%$ ,稀土总量 $\leq 8.0\%$ ,其余量为Mg。在该发明中通过调控轧制工艺参数(轧制温度、压下量、保温时间)制备镁合金板材,其板材具有表面光洁、厚度薄、成形性好,力学性能优异的特点,在工业应用上具有很大的潜力。

### 发明内容

[0004] 本发明针对目前高稀土镁合金具有生产成本低,且变形加工后延伸率低的问题。发明了一种降低稀土含量,工业生产短流程的镁合金板材制备技术。其发明的特点是有效

降低了稀土含量,稀土含量控制在8%以下(如wt.% = 7%),且经过形变热处理后实现了板材高强度。首先,对铸态合金进行固溶处理后采用常规轧制工艺,对板材在不同轧制温度下轧制,获得了高强高韧的优异力学性能。此发明突破了当前低稀土镁金属强度不高,延伸率不佳的缺点,且在此发明中强化相的形态表现为5nm-20nm的链条结构分布,合金实现了高强高韧的目标,其屈服强度可达200~350MPa,抗拉强度可达260~370MPa,是一种具备应用前景的镁金属板材材料。

[0005] 为了降低稀土镁合金中稀土含量设计了一种较低稀土含量镁合金并提供了其制备工艺。

[0006] 本发明一种具有低成本高性能稀土镁合金,其特征在于,元素质量组成如下:稀土元素Gd质量百分比含量为 $\leq 6\%$ ,Er质量百分比含量为 $\leq 2.0\%$ ,稀土总量 $\leq 8.0\%$ ,Zr质量百分比含量为 $\leq 1.0\%$ ,其余量为Mg,上述Gd、Er的含量均不为0。

[0007] 所述高性能稀土镁合金的制备工艺,包括如下步骤:将合金铸坯进行热处理,然后在不同温度下进行轧制,轧制温度区间为 $300^{\circ}\text{C}\sim 450^{\circ}\text{C}$ ,轧制速率控制在8-12m/min优选10m/min,每道次变形量在8%-10%,每道次之间回炉保温时间为8-15min,累计变形量达75%及以上。优选采用十字轧制方法,即每道次轧制方向较前一道次轧制方向旋转,转角度约为 $90^{\circ}$ 。最后获得的产品如厚度为1.0mm~1.5mm板材,表面及边缘光滑,无开裂。

[0008] 最终产品板材合金的晶粒尺寸约为5-10 $\mu\text{m}$ ,产生了一种不同于传统强化相的链状强化相,宽度5nm-20nm,可同时提高合金的强度和塑性。合金板材的力学性能为屈服强度200~350MPa,抗拉强度260~370MPa,延伸率为2%-10%。

[0009] 本发明的实质性特点及显著进步:

[0010] (1)发明了一种低稀土含量镁金属材料,其稀土总量 $\leq 8.0\%$ ,其稀土含量明显低于常用的高强稀土镁合金材料。

[0011] (2)本发明采用了一种新型的轧制技术,在 $300\sim 450^{\circ}\text{C}$ 轧制温度区间,总变形量可达75%及以上,轧制速度达到8-12m/min,单道次变形量8%-10%,且运用这种轧制工艺得到的板材表面光洁,成形性良好。

[0012] (3)本发明中强化相类型不同于常规Mg-Gd系合金的析出相类型,在此发明合金中产生链条沉淀,其有助于提高材料强度和延伸率。

[0013] (4)本发明中制备的低稀土含量镁合金板材的力学性能优异,显著高于同稀土含量镁合金材料。

[0014] (5)该合金的制备、加工方法简单,成形能力强,不需要特种加工工艺即可获得表面光滑,力学性能优异的镁金属板材。

## 附图说明

[0015] 图1.本发明实施例1链状强化相的低倍TEM照片。

[0016] 图2.本发明实施例1链状强化相的高倍TEM照片。

## 具体实施方式

[0017] 下面结合实施例对本发明做进一步说明,但本发明并不限于以下实施例。

[0018] 实施例1

[0019] 将由普通熔融铸造获得的Mg-6Gd-1Er-0.5Zr合金固溶处理,而后进行切削割铣获得轧制毛坯,并将该毛坯放置于保温炉中进行处理,保温炉温度为300℃。设定轧制速率为10m/min,每道次变形量为8%,且轧制完一道次后轧向旋转90°进行下一道次轧制,如此经过多道次轧制,每道次之间保温时间15min,轧制累积压下量为75%,获得厚度为1.5mm的板材,获得晶粒尺寸为7.4μm的混晶组织,Mg<sub>5</sub>(Gd,Er)强化相尺寸为240nm,合金的屈服强度为349MPa,抗拉强度为367MPa,延伸率为9.0%。合金中链状强化相的TEM如图1-2所示。

[0020] 实施例2

[0021] 将由普通熔融铸造获得的Mg-5Gd-1Er-Zr合金固溶处理,而后进行切削割铣获得轧制毛坯,并将该毛坯放置于保温炉中进行处理,保温炉温度为350℃。设定轧制速率为10m/min,每道次变形量为10%,且轧制完一道次后轧向旋转90°进行下一道次轧制,如此经过多道次轧制,每道次之间保温时间8min,轧制累积压下量为75%,获得厚度为1.5mm的板材,获得晶粒尺寸为4.3μm的等轴晶组织,Mg<sub>5</sub>(Gd,Er)强化相尺寸为270nm,合金的屈服强度为310MPa,抗拉强度为330MPa,延伸率为7.0%。

[0022] 实施例3

[0023] 将由普通熔融铸造获得的Mg-4Gd-1Er-0.5Zr合金固溶处理,而后进行切削割铣获得轧制毛坯,并将该毛坯放置于保温炉中进行处理,保温炉温度为400℃。设定轧制速率为10m/min,每道次变形量为10%,且轧制完一道次后轧向旋转90°进行下一道次轧制,如此经过多道次轧制,每道次之间保温时间5min,轧制累积压下量为75%,获得厚度为1.5mm的板材,获得晶粒尺寸为9.3μm的等轴晶组织,合金的屈服强度为230MPa,抗拉强度为300MPa,延伸率为3%。

[0024] 实施例4

[0025] 将由普通熔融铸造获得的Mg-1Gd-1Er-0.5Zr合金固溶处理,而后进行切削割铣获得轧制毛坯,并将该毛坯放置于保温炉中进行处理,保温炉温度为450℃。设定轧制速率为10m/min,每道次变形量为10%,且轧制完一道次后轧向旋转90°进行下一道次轧制,如此经过多道次轧制,每道次之间保温时间2min,轧制累积压下量为75%,获得厚度为1.5mm的板材,获得晶粒尺寸为10μm的等轴晶组织,合金的屈服强度为200MPa,抗拉强度260MPa,延伸率6.0%。

[0026] 实施例2-4具有与实施例基本相似的TEM结构图。

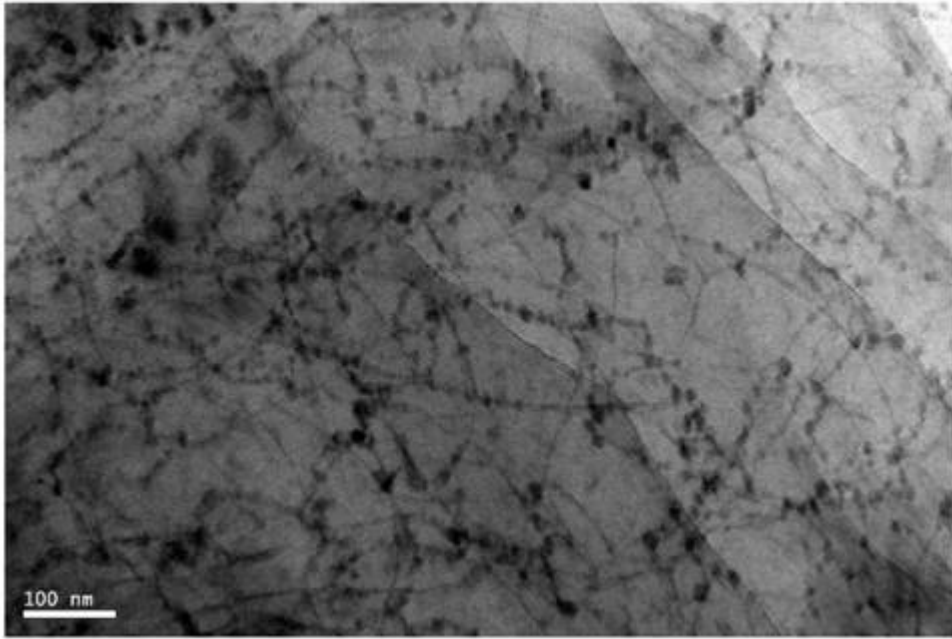


图1

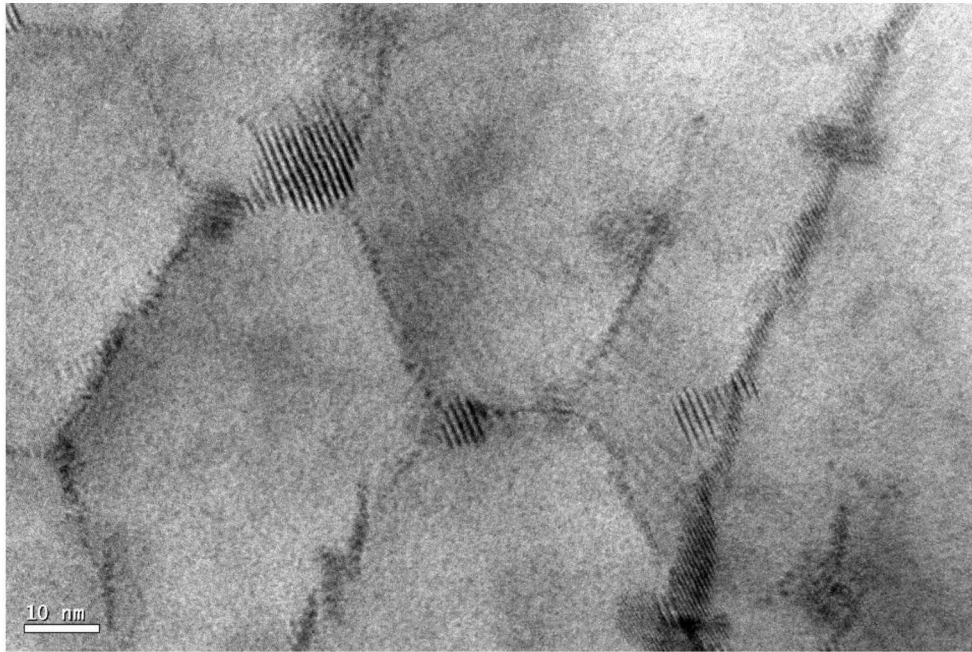


图2