



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103103383 A

(43) 申请公布日 2013. 05. 15

(21) 申请号 201210445317. 7

H01B 13/00(2006. 01)

(22) 申请日 2012. 11. 09

(71) 申请人 安徽欣意电缆有限公司

地址 230012 安徽省合肥市新蚌埠路 98 号

(72) 发明人 林泽民

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

11227

代理人 赵青朵 李玉秋

(51) Int. Cl.

C22C 21/00(2006. 01)

C22C 21/06(2006. 01)

C22C 21/16(2006. 01)

C22F 1/04(2006. 01)

C22F 1/047(2006. 01)

C22F 1/057(2006. 01)

H01B 1/02(2006. 01)

H01B 9/02(2006. 01)

权利要求书1页 说明书11页

(54) 发明名称

Al-Fe-Cu-Mg-RE 铝合金及其制备方法和电力电缆

(57) 摘要

本发明提供了一种 Al-Fe-Cu-Mg-RE 铝合金。本发明还提供了一种 Al-Fe-Cu-Mg-RE 铝合金的制备方法,包括以下步骤:a) 铸造铝合金铸锭;b) 将所述铝合金铸锭进行均匀化处理,将均匀化处理后的铝合金铸锭进行轧制,得到铝合金杆材;c) 将步骤 b) 得到的铝合金杆材进行间歇式退火处理;d) 将步骤 c) 得到的铝合金杆材进行时效处理,得到铝合金。本发明还提供了一种电力电缆。本发明通过对添加元素的选择和控制,并采用合理的制备工艺,使铝合金具有较好的综合性能。

1. 一种 Al-Fe-Cu-Mg-RE 铝合金,包括:
  - 0.01~1.6wt% 的 Fe;
  - 0.001~0.3wt% 的 Cu;
  - 0.001~0.3wt% 的 Mg;
  - 0.01~3.0wt% 的 RE;余量的铝。
2. 根据权利要求 1 所述的铝合金,其特征在于,包括 0.25~0.6wt% 的 Fe。
3. 根据权利要求 1 所述的铝合金,其特征在于,包括 0.1~0.6wt% 的 RE。
4. 根据权利要求 1 所述的铝合金,其特征在于,包含 0.01~0.20wt% 的 Mg。
5. 一种 Al-Fe-Cu-Mg-RE 铝合金的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:
  - a) 铸造如下成分的铝合金铸锭:0.01~1.6wt% 的 Fe,0.001~0.3wt% 的 Cu,0.001~0.3wt% 的 Mg,0.01~3.0wt% 的 RE 和余量的铝;
  - b) 将所述铝合金铸锭进行均匀化处理,将均匀化处理后的铝合金铸锭进行轧制,得到铝合金杆材;
  - c) 将步骤 b) 得到的铝合金杆材进行间歇式退火处理;
  - d) 将步骤 c) 得到的铝合金杆材进行时效处理,得到铝合金。
6. 根据权利要求 5 所述的制备方法,其特征在于,所述均匀化处理的温度为 450~550℃,所述均匀化处理的时间为 6~16h,所述均匀化处理的升温速度为 3~8℃/min。
7. 根据权利要求 5 所述的制备方法,其特征在于,所述步骤 c) 具体为:

将步骤 b) 得到的铝合金杆材加热至 280~350℃,保温 2~8h 后进行降温,温度降至 150~200℃,保温 2~4h 后冷却。
8. 根据权利要求 5 所述的制备方法,其特征在于,所述时效处理在电场强度为 5~15KV/cm 均匀电场中进行。
9. 根据权利要求 5 所述的制备方法,其特征在于,所述时效处理的温度为 250~320℃,所述时效处理的时间为 4~20h。
10. 一种电力电缆,包括线芯、绝缘层、屏蔽层和保护层,其特征在于,所述线芯为权利要求 1~4 任意一项所述的铝合金或权利要求 5~9 任意一项所制备的铝合金。

## Al-Fe-Cu-Mg-RE 铝合金及其制备方法和电力电缆

### 技术领域

[0001] 本发明涉及合金技术领域,尤其涉及用于电力电缆的铝合金及其制备方法和电力电缆。

### 背景技术

[0002] 铝合金是工业中应用最广泛的一类有色金属结构材料,在航空、航天、汽车、机械制造、船舶及化学工业中得到广泛应用。随着科学技术以及工业经济的飞速发展,铝合金的需求日益增多,则铝合金的研究也随之深入。铝合金的广泛应用促进了铝合金在电力行业的发展,同时电力行业的发展又拓展了铝合金的应用领域。

[0003] 电力电缆是用来输送和分配电能的资源,其基本结构由线芯、绝缘层、屏蔽层和保护层四部分组成。其中,线芯是电力电缆的导电部分,用来输送电能,其是电力电缆的主要部分;绝缘层将线芯与大地以及不同相的线芯间在电气间彼此隔离,保证电能输送,其是电力电缆结构中不可缺少的组成部分;保护层是保护电力电缆免受外界杂质和水分的侵入,以及防止外力直接损坏电力电缆。由于铜具有良好的导电性,铜广泛用于电力电缆的线芯。但是随着铜资源的日益匮乏,而铝的含量很丰富,以铝代替铜受到了研究者的关注,因此铝合金作为电缆导体成为了研究的热点。

[0004] 铝合金电力电缆替代铜缆逐渐成为一种趋势,并得到了广泛应用。现有技术中的铝合金导体材料,在电性能、耐腐蚀性能和机械性能等方面较为优异,但是在抗疲劳性能方面还是比较差,从而容易出现质量问题,影响铝合金材料的使用寿命或带来安全隐患,因此,铝合金电力电缆综合性能仍较差。

### 发明内容

[0005] 本发明解决的技术问题在于提供一种综合性能较好的用于电力电缆的铝合金及其制备方法。

[0006] 有鉴于此,本发明提供了 Al-Fe-Cu-Mg-RE 铝合金,包括:

[0007] 0.01~1.6wt% 的 Fe;

[0008] 0.001~0.3wt% 的 Cu;

[0009] 0.001~0.3wt% 的 Mg;

[0010] 0.01~3.0wt% 的 RE;

[0011] 余量的铝。

[0012] 优选的,包括 0.25~0.6wt% 的 Fe。

[0013] 优选的,包括 0.1~0.6wt% 的 RE。

[0014] 优选的,包括 0.01~0.20wt% 的 Mg。

[0015] 本发明提供了一种 Al-Fe-Cu-Mg-RE 铝合金的制备方法,包括以下步骤:

[0016] a) 铸造如下成分的铝合金铸锭:0.01~1.6wt% 的 Fe,0.001~0.3wt% 的 Cu,0.001~0.3wt% 的 Mg,0.01~3.0wt% 的 RE 和余量的铝;

[0017] b) 将所述铝合金铸锭进行均匀化处理,将均匀化处理后的铝合金铸锭进行轧制,得到铝合金杆材;

[0018] c) 将步骤 b) 得到的铝合金杆材进行间歇式退火处理;

[0019] d) 将步骤 c) 得到的铝合金杆材进行时效处理,得到铝合金。

[0020] 优选的,所述均匀化处理的温度为  $450\sim 550^{\circ}\text{C}$ ,所述均匀化处理的时间为  $6\sim 16\text{h}$ ,所述均匀化处理的升温速度为  $3\sim 8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

[0021] 优选的,所述步骤 c) 具体为:

[0022] 将步骤 b) 得到的铝合金杆材加热至  $280\sim 350^{\circ}\text{C}$ ,保温  $2\sim 8\text{h}$  后进行降温,温度降至  $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ ,保温  $2\sim 4\text{h}$  后冷却。

[0023] 优选的,所述时效处理在电场强度为  $5\sim 15\text{KV}/\text{cm}$  均匀电场中进行。

[0024] 优选的,所述时效处理的温度为  $250\sim 320^{\circ}\text{C}$ ,所述时效处理的时间为  $4\sim 20\text{h}$ 。

[0025] 本发明还提供了一种电力电缆,包括线芯、绝缘层、屏蔽层和保护层,所述线芯为上述方案所述的铝合金或上述方案所制备的铝合金。

[0026] 本发明提供了一种 Al-Fe-Cu-Mg-RE 铝合金,包括:  $0.01\sim 1.6\text{wt}\%$  的 Fe,  $0.001\sim 0.3\text{wt}\%$  的 Cu,  $0.001\sim 0.3\text{wt}\%$  的 Mg,  $0.01\sim 3.0\text{wt}\%$  的 RE 和余量的铝。本发明以铝为基,添加了微量的铁,铝能与铁形成  $\text{Al}_3\text{Fe}$ ,析出的  $\text{Al}_3\text{Fe}$  弥散粒子抑制了合金的蠕变变形,部分 Fe 还与 RE 形成  $\text{AlFeRE}$  化合物析出,析出相  $\text{AlFeRE}$  能增强合金的抗疲劳性能和高温运行的耐热性能,且稀土化合物析出相还能提高屈服极限强度;添加的铜元素与铝形成  $\theta$  相,而  $\theta$  相具有固溶强化和弥散强化的作用,对于提高铝合金的拉伸强度和屈服强度起到了较好的效果;本发明还添加了原子半径比较大的镁元素,镁能够引起晶格畸变,能够起到固溶硬化的作用,同时镁还能提高铝合金的耐腐蚀性和耐热性能;稀土元素对氧、硫、氮和氢的亲合力都很强,因而其脱氧、脱硫、去除氢气和氮气的作用都很强,稀土为表面活性元素,可集中分布在晶界面上,降低相与相之间的拉力,从而使晶粒细化,通过对合金元素的选择和含量的控制,有利于铝合金综合性能的提高。

[0027] 本发明还提供了一种 Al-Fe-Cu-Mg-RE 铝合金的制备方法,首先通过铸锭进行均匀化处理,均匀化处理使铸锭受热均匀,且优化合金的组织结构;然后将均匀化处理的铝合金铸锭轧制成杆材进行间歇式退火处理,消除机械加工过程中产生的内应力和对微观结构的损伤,优化晶体结构,恢复线材的电性能,优化机械性能,使材料的拉伸性能、柔韧性能和抗疲劳性能方面保持较好的匹配;再将退火处理后的铝合金杆材在均匀电场中进行时效处理,通过时效处理可以使整个材料的性能达到均匀分布,各项性能综合指标达到俱佳的匹配。本发明通过对铝合金制备方法的优化,使材料的拉伸性能、柔韧性能、电性能、耐腐蚀性能和抗疲劳性能方面保持较好的匹配,并且使整个材料的性能达到均匀分布,从而得到综合性能较好的铝合金。

### 具体实施方式

[0028] 为了进一步理解本发明,下面结合实施例对本发明优选实施方案进行描述,但是应当理解,这些描述只是为进一步说明本发明的特征和优点,而不是对本发明权利要求的限制。

[0029] 本发明实施例公开了一种 Al-Fe-Cu-Mg-RE 铝合金,包括:

[0030] 0.01~1.6wt% 的 Fe ;

[0031] 0.001~0.3wt% 的 Cu ;

[0032] 0.001~0.3wt% 的 Mg ;

[0033] 0.01~3.0wt% 的 RE ;

[0034] 余量的铝。

[0035] 按照本发明,铁作为特征微合金元素,由于铝能与铁形成  $Al_3Fe$ ,析出的  $Al_3Fe$  弥散粒子抑制了合金的蠕变变形,并提高连接的稳定性。Fe 可以提高铝基的抗张强度、屈服极限以及耐热性能,同时还可以提高合金的塑性。在铝合金的制备过程中,合金中部分 Fe 以  $Al_3Fe$  的形式析出,部分 Fe 与 RE 形成  $AlFeRE$  化合物析出,高温退火处理后,Fe 在铝基中的固溶更小,则 Fe 对合金的电性能影响很小;但是这些弥散析出相能增强合金的抗疲劳性能和高温运行的耐热性能,且稀土化合物析出相还能提高屈服极限强度,合金中 Fe 的含量在 0.01wt% 以下,对铝基性能改变很小,起不到效果,因此 Fe 的含量不能低于 0.01wt%,但是 Fe 的含量不能太高,若超过 1.6wt%,铝基电性能的削弱较为明显,对于用于电线电缆导体、电缆附件及电器领域方面的使用会有影响,因此总体含量控制 1.2wt% 以下,效果较好。所述 Fe 的含量为 0.01~1.6wt%,优选为 0.20~1.0wt%,更优选为 0.25~0.6wt%,更优选为 0.30~0.45wt%。

[0036] 铜是铝合金中的基本强化元素,它与铝形成  $\theta$  ( $Al_2Cu$ ) 相,而  $\theta$  相具有固溶强化和弥散强化的作用,对于提高铝合金的拉伸强度和屈服强度起到了较好的效果。但若铜的含量小于 0.001wt%,则对铝合金的机械性能改善不明显,若含量超过 0.3wt%,则降低铝合金的电导率。另外,Cu 还能改善铝合金的热性能。所述 Cu 的含量为 0.001~0.3wt%,优选为 0.01~0.25wt%,更优选为 0.05~0.20wt%,更优选为 0.10~0.15wt%。

[0037] 本发明在铝合金中还添加了原子半径比较大的镁元素,镁能够引起结晶格子产生畸变,引起固溶硬化;同时镁还可以提高铝合金的耐腐蚀性和耐热性能。但是镁的含量不应超过 0.3wt%,太高则会导致电阻过多增大以及耐热性能的降低。所述镁的含量为 0.001~0.3wt%,优选为 0.005~0.25wt%,更优选为 0.01~0.20wt%,最优选为 0.05~0.15wt%。

[0038] 本发明在铝合金中添加了稀土元素,所述稀土元素能提高合金的导电性,由于稀土元素能细化晶粒,并与合金中的 Fe、Cu 和 Mg 形成稳定的化合物,从晶体内析出,降低电解质的初晶温度,使离子在电场的作用下运动速度加快,减少浓差过电位,从而使铝合金的电阻率降低。另一方面,稀土元素与氢、氧、氮等元素的亲和力比铝更大,形成多种化合物,因而稀土是合金中一种除气、脱氮、造渣、中和微量低熔点杂质、改变杂质状态的净化机,可以起到较好的精炼作用,使得合金变得更纯净,从而使电阻率得到很大的提高,导电率能达到 60%IACS。另一方面,稀土元素能形成致密氧化膜结构,对于提高合金的氧化性和耐电化学腐蚀起到极好的效果,提高了铝合金的使用寿命。此外,稀土为表面活性元素,可集中分布在晶界面上,降低相与相之间的拉力,因此使形成临界尺寸晶核的功减小,结晶核数量增加,从而使晶粒细化。其次,经过熔炼、高温退火和均匀电场中时效处理后,Fe 在 Al 中与 RE 形成复杂的铝铁稀土金属,提高了合金的抗疲劳极限和屈服极限,增加合金在实际应用中的使用效果和使用寿命。

[0039] 所述稀土元素 RE 为镧(La)、铈(Ce)、镨(Pr)、钕(Nd)、钷(Pm)、钐(Sm)、铕(Eu)、钆(Gd)、铽(Tb)、镝(Dy)、钬(Ho)、铒(Er)、铥(Tm)、镱(Yb)、镱(Lu)、铪(Hf)和钇(Y)中的

一种或多种,优选为 Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Tm 和 Lu 中的一种或多种。其中,稀土 Pm 在合金中形成  $Al_{11}Pm_3 \sim AlPm_2$  等 6 种活性金属化合物;稀土 Sm 在合金中形成  $Al_{11}Sm_4$ 、 $Al_3Sm$ 、 $Al_2Sm$ 、 $AlSm$ 、 $AlSm_3$  等活性金属化合物;稀土 Eu 在合金中形成  $EuAl_4$ 、 $EuAl_2$ 、 $EuAl$  等活性金属化合物;稀土 Gd 在合金中形成  $Al_4Gd \sim Al_{17}Gd_2$  等 7 种难溶性金属化合物;稀土 Tb 在合金中形成  $Al_3Tb$ 、 $Al_2Tb$ 、 $AlTb$ 、 $AlTb_2$ 、 $AlTb_3$  等难熔活性金属化合物;稀土 Dy 在合金中形成  $Al_5Dy \sim Al_{17}Dy_2$  等 8 种难熔活性金属化合物;稀土 Ho 在合金中形成  $Al_5Ho_3$ 、 $Al_3Ho$ 、 $AlHo_2$ 、 $AlHo_3$  等难熔活性金属化合物;稀土 Tm 在合金中形成  $Al_3Tm_2$ 、 $Al_3Tm$ 、 $AlTm$ 、 $AlTm_3$  等难熔活性金属化合物;稀土 Lu 在合金中形成  $Al_7Lu_3$ 、 $Al_5Lu_3$ 、 $Al_2Lu_3$ 、 $AlLu_2$ 、 $AlLu_3$  等难熔活性金属化合物。上述高熔点的活性金属化合物弥散分布于呈网状或骨架状的晶间和枝晶间,并与基体牢固结合,起到了强化和稳定晶界的作用。同时,还可中和金属液中的元素 Fe、Cu 和 Mg,形成高熔点的化合物或使它们从枝晶间整个晶体组织内均匀分布,消除了枝晶组织,以提高合金材料的综合性能。所述稀土元素的含量为 0.01~3.0wt%,优选为 0.03~2.5wt%,更优选为 0.05~1.5wt%,最优选为 0.1~0.6wt%。

[0040] 按照本发明,对于铝合金中的基体铝,可以采用工业用的 A199.70 的纯铝,使本发明制备的铝合金具有原料供应充足、成本低、采购方便等优势;同时铝基还可以采用精铝或高纯级铝作为基体合金,该铝基比普通铝基材料具有更高的品质,加工成的产品在电性能和机械性能方面更具优势。

[0041] 本发明提供了一种 Al-Fe-Cu-Mg-RE 铝合金,包括:0.01~1.6wt% 的 Fe, 0.001~0.3wt% 的 Mg, 0.01~3.0wt% 的 RE 和余量的铝。本发明以铝为基,添加了微量的铁,铝能与铁形成  $Al_3Fe$ ,析出的  $Al_3Fe$  弥散粒子抑制了合金的蠕变变形,部分 Fe 还与 RE 形成  $AlFeRE$  化合物析出,析出相  $AlFeRE$  能增强合金的抗疲劳性能和高温运行的耐热性能,且稀土化合物析出相还能提高屈服极限强度;铜与铝形成  $\theta$  相,而  $\theta$  相起固溶强化和弥散强化作用,对于提高铝合金的拉伸强度和屈服强度起到了较好的效果;本发明还添加了原子半径比较大的镁,镁引起结晶格子产生畸变,引起固溶硬化;同时镁还能提高铝合金的耐腐蚀性和耐热性能;稀土元素对氧、硫、氮和氢的亲合力都很强,因而其脱氧、脱硫、去除氢气和氮气的作用都很强,稀土为表面活性元素,可集中分布在晶界面上,降低相与相之间的拉力,从而使晶粒细化。本发明通过对元素的选择及含量的控制,有利于提高铝合金的综合性能。

[0042] 本发明还提供了一种 Al-Fe-Cu-Mg-RE 铝合金的制备方法,包括以下步骤:

[0043] a) 将如下成分的原料铸造,得到铝合金铸锭:0.01~1.6wt% 的 Fe, 0.001~0.3wt% 的 Cu, 0.001~0.3wt% 的 Mg, 0.01~3.0wt% 的 RE 和余量的铝;

[0044] b) 将所述铝合金铸锭进行均匀化处理,将均匀化处理后的铝合金铸锭进行轧制,得到铝合金杆材;

[0045] c) 将步骤 b) 得到的铝合金杆材进行间歇式退火处理;

[0046] d) 将步骤 c) 得到的铝合金杆材进行时效处理,得到铝合金。

[0047] 按照本发明,步骤 a) 为铸造工序,得到铝合金铸锭,为了使各种元素充分熔解,均匀分布,作为优选方案,上述铸造工艺具体包括:将铝锭投入熔炉中,在密闭环境中加热至 720~800℃ 并保温,待铝锭熔化后再加入 Fe、Cu、Mg 或 Al-Fe、Al-Cu、Al-Mg 中间合金,搅拌均匀后,加入稀土元素 RE,得到合金熔体;将所述合金熔体加入精炼剂,进行炉内精炼,保

温 20~40min, 得到合金液; 将所述合金液经除气、除渣, 进入铸造机进行铸造, 得到铝合金铸锭。由于铝不易烧损, 且加入量较多, 因此先将铝加入熔炼炉, 而后加入其他元素。本发明合金元素优选采用上述顺序加入, 使各种元素熔炼后不发生损耗, 同时各种元素能够充分熔解, 均匀分布。

[0048] 步骤 b) 为均匀化处理阶段, 所述均匀化处理的温度优选为 450~550℃, 更优选为 480℃~520℃, 所述均匀化处理的时间优选为 2~8h, 更优选为 3~6h。将铝合金铸锭进行均匀化处理, 能够保证铸锭在轧制杆材的过程中, 其强度和延展性具有较好的匹配, 从而避免采用传统方式导致材料微观结构的破坏而进一步影响加工性能。为了保证铸锭受热均匀, 优化合金的组织结构, 避免合金在加工过程中由于升温或降温过快导致内部结构缺陷的产生, 所述均匀化处理的升温速度优选为 3~8℃/min, 更优选为 5℃/min。将铝合金铸锭进行均匀化处理后, 则将铝合金铸锭轧制, 得到铝合金杆材。

[0049] 随后将铝合金杆材进行热处理, 首先将铝合金杆材在退火炉中进行间歇退火处理。所述间歇退火处理具体为: 将所述铝合金杆材加热至 280~350℃, 保温 2~8h 后进行降温, 温度降至 150~200℃, 保温 2~4h 后冷却。为了避免铝合金材料在高温下发生氧化而导致材料在电性能和表面耐腐蚀性能方面减弱, 所述退火处理优选在惰性气氛下进行。本发明采用间歇式分步退火处理, 并逐步降温冷却, 该种处理方式可以消除机械加工过程中产生的内应力和对微观结构的损伤, 优化晶体结构, 恢复线材的电性能, 优化机械性能, 使材料的拉伸性能、柔韧性能和抗疲劳性能方面保持较好的匹配。

[0050] 在将铝合金杆材进行退火处理后, 则将退火处理后的铝合金杆材进行时效处理。所述时效处理优选在电场强度为 5~15KV/cm 均匀电场中进行。所述时效处理的温度优选为 250~320℃, 更优选为 280~300℃, 所述时效处理的时间优选为 4~20h, 更优选为 8~15h, 最优选为 10~13h。在退火处理技术的基础上进行时效处理, 可以进一步弥补退火处理过程中热量传导不均, 导致材料内外性能分布不均或局部缺陷的特点。通过时效处理可以使整个材料的性能达到均匀分布, 各项性能综合指标达到俱佳的匹配。因此退火处理和时效处理, 两者有效的结合, 对于材料整体性能的优化起到了至关重要的作用, 二者缺一不可。本发明优选在高强度的均匀电场中进行时效处理, 第一方面改变了原子的排列、匹配和迁移, 第二方面, 提高了合金元素的固溶程度, 诱发了 T1 相的均匀形核, 提高了合金的屈服强度; 使均匀化处理的样品进行时效处理后, 析出相均匀弥散分布, 合金的力学性能大大提高; 第三方面, 改变了细小晶体组织的析出形态和数量, 使材料固态相变中发生形态、大小、分布等取向得以控制, 从而控制材料的组织, 最终获得优良的机械性能和电气性能。

[0051] 本发明还提供了一种铝合金的制备方法, 首先通过铸锭进行均匀化处理, 然后将均匀化处理的铝合金铸锭轧制成杆材再放入退火炉中, 进行退火处理, 再在均匀电场中进行时效处理, 使材料的拉伸性能、柔韧性能、电性能、耐腐蚀性能和抗疲劳性能方面保持较好的匹配, 并且使整个材料的性能达到均匀分布, 从而得到综合性能较好的铝合金。本发明的铝合金材料通过添加多种合金元素以及采用热处理技术, 极大的提高了纯铝的耐热性能, 使得该铝合金材料长期运行温度在 210℃, 蠕变现象较小, 抗拉强度保持 90% 的残存率, 保障了在高温运行下机械性能改变较小, 同时抗疲劳性能也获得了很好的提高, 铝合金的反复弯折次数达到 34, 这样可避免用作导体线芯在安装过程中出现的不同程度的损失; 且通过热处理技术使得合金的柔韧性相当好, 电缆安装弯曲半径在 4 倍电缆外径以上, 大大

提高了铝合金的延展性,延伸率超过 30%,不会由于拉力作用而容易出现损伤现象,且加工性能非常好,适用于拉制成单丝直径在 0.1mm 以上大小不等的单丝。

[0052] 本发明还提供了一种电力电缆,所述电力电缆包括线芯、绝缘层、屏蔽层和保护层,所述线芯为铝合金,所述铝合金含有 0.01~1.6wt% 的 Fe ;0.001~0.3wt% 的 Cu ;0.001~0.3wt% 的 Mg ;0.01~3.0wt% 的 RE ;余量的铝 ;所述铝合金的制备方法由按照上述方案的方法制备。所述电力电缆的制备方法本发明没有特殊的限制,为本领域技术人员熟知的方式即可。

[0053] 将本发明上述方案中的铝合金作为电力电缆的线芯,可使电力电缆具有较好的综合性能,实验结果表明:本发明制备的铝合金导电率大于 60%,抗拉强度大于 105MPa,断裂伸长率大于 30%,长期运行耐热温度能达到 210℃,且耐热运行试验后强度残存率能达到 90%,90 度反复弯折次数达到 34 次,400h 耐腐蚀性能质量损失小于  $1.0\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ ,最小弯曲半径大于 4 倍电缆外径,单丝最小直径大于 0.1mm。

[0054] 为了进一步理解本发明,下面结合实施例对本发明提供的铝合金及其制备方法进行详细说明,本发明的保护范围不受以下实施例的限制。

[0055] 实施例 1

[0056] (1) 将铝锭投入熔炉中,加热使之熔化并在 720℃ 下保温,熔化过程在密封环境内完成;先加入 Fe、Cu 和 Mg 纯金属,搅拌均匀后再加入稀土 RE 搅拌 20min 直至充分搅拌均匀,静置保温 30min;然后对上述合金熔体进行炉内精炼;在合金熔体中加入精炼剂,并搅拌均匀,再静置保温 30min,熔体精炼在密封环境中操作;精炼后打渣、静置、调温至 650℃,合金液倾倒入炉,再经除气、除渣处理后,进入铸造机进行铸造,得到铝合金铸锭,铸锭成分列于表 1;

[0057] (2) 将步骤(1)得到的铝合金铸锭进行 5℃ /min 的速度升温,温度至 450℃,保温 6h 后轧制成杆材;

[0058] (3) 将步骤(2)得到的杆材在惰性气氛下进行退火处理,加热至 280℃ 保温 2h,再将退火温度降至 150℃ 保温 3h,冷却至室温;

[0059] (4) 将步骤(3)得到的杆材在电场强度为 5kV/cm 的均匀电场中进行时效处理,时效温度为 250℃,时效时间为 4h,得到铝合金。

[0060] 将按照上述方法制备的铝合金进行性能测试,结果参见表 2。

[0061] 实施例 2

[0062] (1) 将铝锭投入熔炉中,加热使之熔化并在 740℃ 下保温,熔化过程在密封环境内完成;先加入 Fe、Cu 和 Mg 纯金属,搅拌均匀后再加入稀土 RE 搅拌 20min 直至充分搅拌均匀,静置保温 30min;然后对上述合金熔体进行炉内精炼;在合金熔体中加入精炼剂,并搅拌均匀,再静置保温 30min,熔体精炼在密封环境中操作;精炼后打渣、静置、调温至 720℃,合金液倾倒入炉,再经除气、除渣处理后,进入铸造机进行铸造,得到铝合金铸锭,铸锭成分列于表 1;

[0063] (2) 将步骤(1)得到的铝合金铸锭进行 3℃ /min 的速度升温,温度至 550℃,保温 16h 后轧制成杆材;

[0064] (3) 将步骤(2)得到的杆材在惰性气氛下进行退火处理,加热至 360℃ 保温 8h,再将退火温度降至 200℃ 保温 2h,冷却至室温;



[0065] (4)将步骤(3)得到的杆材在电场强度为 15kV/cm 的均匀电场中进行时效处理,时效温度为 320℃,时效时间为 20h,得到铝合金。

[0066] 将按照上述方法制备的铝合金进行性能测试,结果参见表 2。

[0067] 实施例 3

[0068] (1) 将铝锭投入熔炉中,加热使之熔化并在 760℃下保温,熔化过程在密封环境内完成;先加入 Al-Fe、Al-Mg 和 Al-Cu 中间合金,搅拌均匀后再加入稀土 RE 搅拌 20min 直至充分搅拌均匀,静置保温 30min;然后对上述合金熔体进行炉内精炼;在合金熔体中加入精炼剂,并搅拌均匀,再静置保温 30min,熔体精炼在密封环境中操作;精炼后打渣、静置、调温至 680℃,合金液倾倒出炉,再经除气、除渣处理后,进入铸造机进行铸造,得到铝合金铸锭,铸锭成分列于表 1;

[0069] (2) 将步骤(1)得到的铝合金铸锭进行 8℃/min 的速度升温,温度至 500℃,保温 10h 后轧制成杆材;

[0070] (3) 将步骤(2)得到的杆材在惰性气氛下进行退火处理,加热至 300℃保温 4h,再将退火温度降至 160℃保温 3h,冷却至室温;

[0071] (4)将步骤(3)得到的杆材在电场强度为 10kV/cm 的均匀电场中进行时效处理,时效温度为 260℃,时效时间为 10h,得到铝合金。

[0072] 将按照上述方法制备的铝合金进行性能测试,结果参见表 2。

[0073] 实施例 4

[0074] (1) 将铝锭投入熔炉中,加热使之熔化并在 780℃下保温,熔化过程在密封环境内完成;先加入 Al-Fe、Al-Mg 和 Al-Cu 中间合金,搅拌均匀后再加入稀土 RE 搅拌 20min 直至充分搅拌均匀,静置保温 30min;然后对上述合金熔体进行炉内精炼;在合金熔体中加入精炼剂,并搅拌均匀,再静置保温 30min,熔体精炼在密封环境中操作;精炼后打渣、静置、调温至 750℃,合金液倾倒出炉,再经除气、除渣处理后,进入铸造机进行铸造,得到铝合金铸锭,铸锭成分列于表 1;

[0075] (2) 将步骤(1)得到的铝合金铸锭进行 5℃/min 的速度升温,温度至 480℃,保温 8h 后轧制成杆材;

[0076] (3) 将步骤(2)得到的杆材在惰性气氛下进行退火处理,加热至 350℃保温 4h,再将退火温度降至 170℃保温 3h,冷却至室温;

[0077] (4)将步骤(3)得到的杆材在电场强度为 12kV/cm 的均匀电场中进行时效处理,时效温度为 260℃,时效时间为 14h,得到铝合金。

[0078] 将按照上述方法制备的铝合金进行性能测试,结果参见表 2。

[0079] 实施例 5

[0080] (1) 将铝锭投入熔炉中,加热使之熔化并在 800℃下保温,熔化过程在密封环境内完成;先加入 Al-Fe、Al-Mg 和 Al-Cu 中间合金,搅拌均匀后再加入稀土 RE 搅拌 20min 直至充分搅拌均匀,静置保温 30min;然后对上述合金熔体进行炉内精炼;在合金熔体中加入精炼剂,并搅拌均匀,再静置保温 30min,熔体精炼在密封环境中操作;精炼后打渣、静置、调温至 700℃,合金液倾倒出炉,再经除气、除渣处理后,进入铸造机进行铸造,得到铝合金铸锭,铸锭成分列于表 1;

[0081] (2) 将步骤(1)得到的铝合金铸锭进行 6℃/min 的速度升温,温度至 490℃,保温

18h 后轧制成杆材；

[0082] (3) 将步骤(2)得到的杆材在惰性气氛下进行退火处理,加热至 320℃保温 6h,再将退火温度降至 190℃保温 3h,冷却至室温；

[0083] (4)将步骤(3)得到的杆材在电场强度为 12kV/cm 的均匀电场中进行时效处理,时效温度为 310℃,时效时间为 16h,得到铝合金。

[0084] 将按照上述方法制备的铝合金进行性能测试,结果参见表 2。

[0085] 实施例 6

[0086] (1) 将铝锭投入熔炉中,加热使之熔化并在 730℃下保温,熔化过程在密封环境内完成;先加入 Fe、Cu 和 Mg 纯金属,搅拌均匀后再加入稀土 RE 搅拌 20min 直至充分搅拌均匀,静置保温 30min;然后对上述合金熔体进行炉内精炼;在合金熔体中加入精炼剂,并搅拌均匀,再静置保温 30min,熔体精炼在密封环境中操作;精炼后打渣、静置、调温至 800℃,合金液倾倒入炉,再经除气、除渣处理后,进入铸造机进行铸造,得到铝合金铸锭,铸锭成分列于表 1;

[0087] (2) 将步骤(1)得到的铝合金铸锭进行 7℃/min 的速度升温,温度至 460℃,保温 14h 后轧制成杆材；

[0088] (3) 将步骤(2)得到的杆材在惰性气氛下进行退火处理,加热至 350℃保温 7h,再将退火温度降至 190℃保温 4h,冷却至室温；

[0089] (4)将步骤(3)得到的杆材在电场强度为 11kV/cm 的均匀电场中进行时效处理,时效温度为 305℃,时效时间为 18h,得到铝合金。

[0090] 将按照上述方法制备的铝合金进行性能测试,结果参见表 2。

[0091] 实施例 7

[0092] (1) 将铝锭投入熔炉中,加热使之熔化并在 750℃下保温,熔化过程在密封环境内完成;先加入 Fe、Cu 和 Mg 纯金属,搅拌均匀后再加入稀土 RE 搅拌 20min 直至充分搅拌均匀,静置保温 30min;然后对上述合金熔体进行炉内精炼;在合金熔体中加入精炼剂,并搅拌均匀,再静置保温 30min,熔体精炼在密封环境中操作;精炼后打渣、静置、调温至 720℃,合金液倾倒入炉,再经除气、除渣处理后,进入铸造机进行铸造,得到铝合金铸锭,铸锭成分列于表 1;

[0093] (2) 将步骤(1)得到的铝合金铸锭进行 4℃/min 的速度升温,温度至 470℃,保温 12h 后轧制成杆材；

[0094] (3) 将步骤(2)得到的杆材在惰性气氛下进行退火处理,加热至 340℃保温 5h,再将退火温度降至 170℃保温 4h,冷却至室温；

[0095] (4)将步骤(3)得到的杆材在电场强度为 12.5kV/cm 的均匀电场中进行时效处理,时效温度为 315℃,时效时间为 17h,得到铝合金。

[0096] 将按照上述方法制备的铝合金进行性能测试,结果参见表 2。

[0097] 实施例 8

[0098] (1) 将铝锭投入熔炉中,加热使之熔化并在 790℃下保温,熔化过程在密封环境内完成;先加入 Al-Fe、Al-Mg 和 Al-Cu 中间合金,搅拌均匀后再加入稀土 RE 搅拌 20min 直至充分搅拌均匀,静置保温 30min;然后对上述合金熔体进行炉内精炼;在合金熔体中加入精炼剂,并搅拌均匀,再静置保温 30min,熔体精炼在密封环境中操作;精炼后打渣、静置、调

温至 750℃,合金液倾倒入炉,再经除气、除渣处理后,进入铸造机进行铸造,得到铝合金铸锭,铸锭成分列于表 1;

[0099] (2)将步骤(1)得到的铝合金铸锭进行 5℃/min 的速度升温,温度 510℃,保温 13h 后轧制成杆材;

[0100] (3)将步骤(2)得到的杆材在惰性气氛下进行退火处理,加热至 310℃保温 5h,再将退火温度降至 170℃保温 4h,冷却至室温;

[0101] (4)将步骤(3)得到的杆材在电场强度为 8kV/cm 的均匀电场中进行时效处理,时效温度为 285℃,时效时间为 14h,得到铝合金。

[0102] 将按照上述方法制备的铝合金进行性能测试,结果参见表 2。

[0103] 对比例 1

[0104] 选取 99.7%纯度的标准铝锭,其杂质除硅、铁、铜外含量不超过 0.02wt%;将所述铝锭放入熔铝炉中熔化,加入 0.15wt%的锆、0.25wt%的铜、0.70wt%的铁以及 0.25wt%的钇,合金化温度为 750℃;经均匀化搅拌、精炼除气、造渣、除渣,铝合金液精炼温度为 725℃,用固体覆盖剂覆盖铝合金液表面,静置 60min,进行炉前化学成分分析,监测、调整以控制元素含量;将铝液进行连续浇铸,得到铝合金铸条;将铝合金铸条轧成铝合金杆,铝合金铸条进轧温度为 500℃,铝合金杆的终轧温度为 250℃;将铝合金杆进行拉线处理,拉线速度为 20 米/秒,多次拉线后,拉制成所需的高强度耐热铝合金圆线;将所述铝合金圆线进行调质热处理,温度为 200℃,时间为 120min,将热处理后的铝合金圆线冷却,得到耐热铝合金圆线。将制备的铝合金圆线进行性能测试,结果参见表 2。

[0105] 对比例 2

[0106] 选用八吨铝锭,其杂质含量(硅、铁、铜除外)不超过 0.02wt%,放入圆形熔铝炉熔化,同时加入 0.10wt%的锆、0.02wt%的铜、0.35wt%的铁、0.20wt%的硅以及 0.35wt%的稀土,合金化温度为 730℃;经均匀化搅拌、精炼除气、造渣、除渣,铝合金液精炼温度为 725℃,用固体覆盖剂覆盖铝合金液表面,静置 40min,进行炉前化学成分分析,监测、调整以控制元素含量;将铝液进行连续浇铸,得到铝合金铸条;将铝合金铸条轧成铝合金杆,铝合金铸条进轧温度为 500℃,铝合金杆的终轧温度为 250℃;将铝合金杆进行拉线处理,拉线速度为 10 米/秒,多次拉线后,拉制成所需的高强度耐热铝合金圆线;将所述铝合金圆线进行调质热处理,温度为 200℃,时间为 200min,将热处理后的铝合金圆线冷却,得到耐热铝合金圆线。将制备的铝合金圆线进行性能测试,结果参见表 2。

[0107] 对比例 3

[0108] 在竖炉中加入纯度大于 99.70wt%的铝锭,升温至 750℃,使铝锭熔化,将温度升高至 750℃,依次加入 0.86wt%的 Fe、0.11wt%的 Cu、0.15wt%的 Mg、0.13wt%的 Zr、0.29wt%的 Ca、0.13wt%的 Sc、0.33wt%的 Y、0.23wt%的 Er,使其完全溶解,并调节合金成分至设定范围,合金元素都是以铝中间合金的形式加入;在 760℃保温 30min,再加入 0.15wt%的精炼剂,进行除渣、除气,然后再浇铸成铝合金铸件;将铝合金铸件导入轧机,导入轧机的温度为 450℃,导入轧机成铝合金杆的终轧温度为 300℃;将铝合金杆进行冷拉加工成 3.0mm 的铝合金线,将 7 根拉制成铝合金线进行绞合,制备成导体线芯;将所述铝合金导体进行退火处理,退火温度为 370℃,时间为 12h,停止对炉体加热,再退火炉中自然冷却,24h 后从炉中取出,得到铝合金导线。将制备的铝合金导线进行性能测试,结果参见表 2。

[0109] 表 1 实施例制备的铝合金的成分表(wt%)

[0110]

组别	Fe	RE	Cu	Mg	Al
实施例 1	0.01	0.01	0.001	0.001	余量
实施例 2	0.25	0.05	0.005	0.005	余量
实施例 3	1.0	0.6	0.01	0.3	余量
实施例 4	0.5	0.3	0.05	0.28	余量
实施例 5	1.6	1.0	0.10	0.16	余量
实施例 6	0.6	2.0	0.15	0.12	余量
实施例 7	0.35	1.5	0.20	0.15	余量
实施例 8	0.45	3.0	0.30	0.25	余量

[0111] 表 2 实施例及对比例制备的铝合金的性能测试数据表

[0112]

组别	导电率 (IACS)	抗拉强度	断裂伸长率	长期运行耐热温度	耐热试验强度
	≥	(MPa) ≥	≥	(°C)	残存率 ≥
实施例 1	62%	100	32%	210	92%
实施例 2	60%	102	31%	213	90%
实施例 3	58%	106	33%	215	91%
实施例 4	63%	107	30%	212	92%
实施例 5	60%	105	32%	210	93%
实施例 6	61%	108	31%	215	92%
实施例 7	63%	106	31%	208	94%
实施例 8	64%	112	32%	212	92%
对比例 1	58%	150	2.10%	150	90%
对比例 2	53%	140	1.50%	180	89%
对比例 3	58%	190	2.10%	150	90%

[0113]

[0114] 表 2 实施例及对比例制备的铝合金的性能测试数据表(续表)

[0115]

组别	抗疲劳性能 (90度反复弯折次数)	最小弯曲半径	耐腐蚀性能	
			( $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ ) (400h)	加工性能 (单丝最小直径/m)
			≤	
实施例 1	33	5	0.30	0.12
实施例 2	35	4.5	0.32	0.11
实施例 3	36	5	0.30	0.10
实施例 4	33	6	0.29	0.12
实施例 5	37	4.5	0.40	0.10
实施例 6	35	4	0.45	0.07
实施例 7	36	5	0.47	0.15
实施例 8	34	5	0.50	0.10
对比例 1	19	10	2.67	0.35
对比例 2	23	9.5	0.89	0.50
对比例 3	18	8	0.95	0.40

[0116] 通过表 2 的比较可以看出,本发明的铝合金材料从综合性能有明显的优势,特别是长期运行耐热温度能达到  $210^{\circ}\text{C}$ ,且耐热运行试验后强度残存率能达到 90%,90 度反复弯折次数达到 34 次,最小弯曲半径大于 4 倍电缆外径,400h 耐腐蚀试验质量损失小于  $1.0\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ ,单丝最小加工直径大于 0.1mm。

[0117] 以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想。应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以对本发明进行若干改进和修饰,这些改进和修饰也落入本发明权利要求的保护范围内。

[0118] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。