



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105603268 A

(43) 申请公布日 2016.05.25

(21) 申请号 201610013929.7

*G22F 1/047*(2006.01)

(22) 申请日 2016.01.11

*G22F 1/05*(2006.01)

(71) 申请人 湖北莲花电力母线制造有限公司

*B22D 11/041*(2006.01)

地址 435500 湖北省黄冈市浠水县经济开发区洪山工业园三号路

*H01B 13/004*(2006.01)

(72) 发明人 夏学忠 郑小刚 兰国林 陈春杰  
林杰军 胡洋 付雄法 张军  
郭文革 郭端午 杨火兵 徐育生  
周洪

(74) 专利代理机构 黄石市三益专利商标事务所  
42109

代理人 饶建华

(51) Int. Cl.

*G22C 21/02*(2006.01)

*G22C 21/08*(2006.01)

*G22F 1/043*(2006.01)

权利要求书1页 说明书5页

(54) 发明名称

高强度高导电率的铝-镁-硅合金导电管母线的制造方法

(57) 摘要

本发明涉及电力传输材料的生产技术,是一种高强度高导电率的铝-镁-硅合金导电管母线的制造方法,其特征是:选用母线坯料的化学成份重量百分比为:Mg 0.40—0.90, Si 0.50—0.9, Cu 0.10—0.30, B 0.03—0.08, 稀土 0.10—0.25, Be 0.01—0.1, Fe ≤ 0.25, Cr+V+Ti+Mn < 0.05, 余量为Al;然后将上述成份的备料经熔炼、半连续铸造成管坯,再经行星轧制、拉拔、人工时效处理成合金管母线;本发明方法提高了铝合金管母线性能的均匀性,生产效率和成材率,采用本发明生产的管母线大大超过了国家标准,广泛用于电力行业。

1. 高强度高导电率的铝-镁-硅合金导电管母线的制造方法,其特征是:选用母线坯料的化学成份重量百分比为:Mg 0.40—0.90, Si 0.50—0.9, Cu 0.10—0.30, B 0.03—0.08, 稀土 0.10—0.25, Be 0.01—0.1,  $Fe \leq 0.25$ ,  $Cr+V+Ti+Mn < 0.05$ , 余量为Al;并按以下工艺步骤进行生产:

(1)采用99.7%铝锭、镁锭以及Al-Fe、Al-Cu、Al-稀土、Al-B中间合金,根据上述化学成份重量百分比的范围计算出各合金原料的加入重量比例备料,将所有备料放入熔炼炉内经熔化、精炼、保温和在线过滤并加入Al-Ti-B细化剂后,采用多头结晶器的立式半连续铸造机铸造成直径为 $\Phi 100—300\text{mm}$ ,壁厚20—60mm的管坯,浇注温度680—730 $^{\circ}\text{C}$ ,铸造速度600—1100mm/min;

(2)将管坯加热到420—450 $^{\circ}\text{C}$ 并保温2小时,送入行星轧轧机进行管材轧制,通过控制冷却水的流量大小,控制轧制的终轧温度480—540 $^{\circ}\text{C}$ ;

(3)在线对轧制管坯进行直接水淬,控制冷却后的温度 $\leq 120^{\circ}\text{C}$ ,以实现合金的在线固溶处理;

(4)采用拉拔机对轧制管材进行拉拔成设计规格的管母线材,拉拔过程中,拉伸变形量控制为30—50%;

(5)对拉制成型的铝合金管母线进行人工时效处理,控制时效温度为175—205 $^{\circ}\text{C}$ ,保温4—10小时。

2. 根据权利要求1所述的高强度高导电率的铝-镁-硅合金导电管母线的制造方法,其特征是:所述母线坯料的化学成份中控制Mg:Si  $\leq 1.73$ 。

3. 根据权利要求1所述的高强度高导电率的铝-镁-硅合金导电管母线的制造方法,其特征是:所述母线坯料的化学成份重量百分比为Mg 0.5—0.7、Si 0.7—0.8、Cu 0.2—0.3、B 0.05—0.06、稀土0.15—0.2、Be 0.03—0.08、 $Fe 0.1—0.2$ 、 $Cr+V+Ti+Mn < 0.05$ ,其余为Al。

4. 根据权利要求1所述的高强度高导电率的铝-镁-硅合金导电管母线的制造方法,其特征是:所述母线坯料的化学成份重量百分比为Mg 0.5、Si 0.72、Cu 0.25、B 0.05、稀土0.2、Be 0.05、 $Fe 0.15$ 、 $Cr+V+Ti+Mn 0.03$ 、其余为Al。

## 高强度高导电率的铝-镁-硅合金导电管母线的制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电力传输材料的生产技术,尤其是一种高强度高导电率的铝-镁-硅合金导电管母线的制造方法。

### 背景技术

[0002] 目前,电力行业中广泛应用的铝合金导电管母线主要选用 $6\times\times\times$ 系铝-镁-硅合金制造,如6101、6201型铝合金,主要合金元素仅限于Mg、Si,强化相为 $Mg_2Si$ 。传统的生产方法是以铸锭(棒)—固溶处理—挤压—拉伸—时效处理的工艺方法进行生产。传统方法生产的导电管母线一般能达到的标准值为:抗拉强度、200MPa、延伸率8%、导电率51%IACS。随着科学技术的飞速发展,以及极端天气(大风、对流、严寒等天气)增多,现有铝合金导电管母线的性能已不能满足工业生产发展的需要。另一方面,传统的生产方法中固溶处理和挤压两道工序分开,以及工艺流程比较落后,造成产品组织性能在横向和纵向分布极不均匀,且成材率偏低,一般在75%左右,并且传统工艺需要购置大吨位挤压机和配套辅机设施。固定资产投资相当大,挤压速度慢,生产效率偏低,固定资产折旧和人工费用大,生产成本低。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的就是要解决传统方法生产导电管母线性能不均匀,成材率低,生产效率低,生产成本低,产品质量不能满足工业生产发展需要等问题,提供一种高强度高导电率的铝-镁-硅合金导电管母线的制造方法。

[0004] 本发明的具体方案是:一种高强度高导电率的铝-镁-硅合金导电管母线的制造方法,其特征是:选用母线坯料的化学成份重量百分比为:Mg 0.40—0.90, Si 0.50—0.9, Cu 0.10—0.30, B 0.03—0.08, 稀土 0.10—0.25, Be 0.01—0.1,  $Fe \leq 0.25$ ,  $Cr+V+Ti+Mn < 0.05$ , 余量为Al;按以下工艺步骤进行生产:

(1)采用99.7%铝锭、镁锭以及Al-Fe、Al-Cu、Al-稀土、Al-B中间合金,根据上述化学成份重量百分比的范围计算出各合金原料的加入重量比例备料,将所有备料放入熔炼炉内经熔化、精炼、保温和在线过滤并加入Al-Ti-B细化剂后,采用多头结晶器的立式半连续铸造机铸造成直径为 $\Phi 100—300mm$ ,壁厚20—60mm的管坯,浇注温度680—730℃,铸造速度600—1100mm/min;

(2)将管坯加热到420—450℃并保温2小时,送入行星轧轧机进行管材轧制,通过控制冷却水的流量大小,控制轧制的终轧温度480—540℃;

(3)在线对轧制管坯进行直接水淬,控制冷却后的温度 $\leq 120^\circ C$ ,以实现合金的在线固溶处理;

(4)采用拉拔机对轧制管材进行拉拔成设计规格的管母线材,拉拔过程中,拉伸变形量控制为10—30%;

(5)对拉制成型的铝合金管母线进行人工时效处理,控制时效温度为175—205℃,保温4—10小时。

[0005] 本发明中所述母线坯料的化学成份中控制 $Mg:Si \leq 1.73$ 。

[0006] 本发明中所述母线坯料的化学成份重量百分比比较好的范围是： $Mg 0.5-0.7$ 、 $Si 0.7-0.8$ 、 $Cu 0.2-0.3$ 、 $B 0.05-0.06$ 、 $稀土0.15-0.2$ 、 $Be 0.03-0.08$ 、 $Fe 0.1-0.2$ 、 $Cr+V+Ti+Mn < 0.05$ ，其余为Al。

[0007] 本发明中所述母线坯料的化学成份重量百分比更好为 $Mg 0.5$ 、 $Si 0.72$ 、 $Cu 0.25$ 、 $B 0.05$ 、 $稀土0.2$ 、 $Be 0.05$ 、 $Fe 0.15$ 、 $Cr+V+Ti+Mn 0.03$ 、其余为Al。

[0008] 本发明通过优化设计合金元素的种类和数量，特别是定量控制添加了Cu、B、稀土、铍、铁等，同时对Si的含量进行了较大调整，并控制 $Cr+V+Ti+Mn < 0.05$ ，为生产高强度高导电率的铝—镁—硅合金导电管母线基材提供了基本保证。本发明中采用立式半连续铸造方法铸造Al—Mg—Si铝合金管坯、经均匀化处理、加热、行星轧制、在线淬火、拉伸和人工时效处理等，使合金管母线的力学性能和导电性能达到最佳组合。该方法的特点在于：

行星轧制—在线淬火实质上是一种高温形变热处理工艺，利用行星轧制变形及变形热的共同作用实现铝合金的快速固溶，并由于行星轧制具有组织性能均匀等特点，可确保整个生产过程的完全固溶，为随后的人工时效提供良好的组织条件，从而确保铝合金管母线具有良好的均匀的力学与导电性能的组合。本发明通过采用立式半连续铸造方法直接铸造Al—Mg—Si铝合金管坯，再进行行星轧制，充分利用行星轧制大变形量的特点，减少了拉伸道次，并通过在线淬火固溶处理，从而提高了生产效率和成材率，缩短了生产工序。

[0009] 本发明设计合理，工艺先进，采用本发明方法设计的铝合金导线管母线，在抗拉强度、延伸率、导电率等重要指标上同时超过了国家标准，能满足工业快速发展以及恶劣环境中使用的各种特殊需要。其中：抗拉强度 $\geq 240MPa$ ，提高了20%，延伸率达9.7—10.6%，提高了20%左右，导电率 $\geq 55.0\%IACS$ ，提高了8%以上。

### 具体实施方式

[0010] 例1：选用母线坯料的化学成份重量百分比为： $Mg 0.56$ ， $Si 0.52$ ， $Cu 0.15$ ， $B 0.05$ ， $稀土 0.10$ ， $Be 0.05$ ， $Fe \leq 0.25$ ， $Cr+V+Ti+Mn < 0.05$ ，余量为Al；按以下工艺步骤进行生产：

(1)采用99.7%铝锭、镁锭以及Al—Fe、Al—Cu、Al—稀土、Al—B中间合金，根据上述化学成份重量百分比的范围计算出各合金原料的加入重量比例备料，将所有备料放入熔炼炉内经熔化、精炼、保温和在线过滤并加入Al—Ti—B细化剂后，采用多头结晶器的立式半连续铸造机铸造成直径为 $\Phi 120 \times 20mm$ 的管坯，浇注温度 $690^\circ C$ ，铸造速度 $1000mm/min$ ；

(2)将管坯加热到 $420^\circ C$ 并保温2小时，送入行星轧机进行管材轧制，通过控制冷却水的流量大小，控制轧制的终轧温度 $480^\circ C$ ，轧制成 $\Phi 100 \times 6mm$ 的管材；

(3)在线对轧制管坯进行直接水淬，控制冷却后的温度 $\leq 120^\circ C$ ，以实现合金的在线固溶处理；

(4)采用拉拔机对轧制管材进行拉拔成 $\Phi 80 \times 4mm$ 规格的管母线材，拉拔过程中，拉伸变形量控制为46%；

(5)对拉制成型的铝合金管母线进行人工时效处理，控制时效温度为 $200^\circ C$ ，保温4小时。

[0011] 采用上述方法生产的铝合金导电管母线的性能指标为：抗拉强度为 $241MPa$ ，延伸

率为9.7,20℃电阻率为 $0.03118 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ,导电率为55.30%IACS。

[0012] 例2:选用母线坯料的化学成份重量百分比为:Mg 0.62,Si 0.58,Cu 0.2,B 0.03,稀土 0.15,Be 0.08, $\text{Fe} \leq 0.25$ , $\text{Cr}+\text{V}+\text{Ti}+\text{Mn} < 0.05$ ,余量为Al;按以下工艺步骤进行生产:

(1)采用99.7%铝锭、镁锭以及Al-Fe、Al-Cu、Al-稀土、Al-B中间合金,

根据上述化学成份重量百分比的范围计算出各合金原料的加入重量比例备料,将所有备料放入熔炼炉内经熔化、精炼、保温和在线过滤并加入Al-Ti-B细化剂后,采用多头结晶器的立式半连续铸造机铸造成直径为 $\Phi 140 \times 20\text{mm}$ 的管坯,浇注温度 $700^\circ\text{C}$ ,铸造速度 $900\text{mm}/\text{min}$ ;

(2)将管坯加热到 $430^\circ\text{C}$ 并保温2小时,送入行星轧轧机进行管材轧制,通过控制冷却水的流量大小,控制轧制的终轧温度 $490^\circ\text{C}$ ,轧制成 $\Phi 120 \times 8\text{mm}$ 的管材;

(3)在线对轧制管坯进行直接水淬,控制冷却后的温度 $\leq 120^\circ\text{C}$ ,以实现合金的在线固溶处理;

(4)采用拉拔机对轧制管材进行拉拔成 $\Phi 100 \times 5\text{mm}$ 规格的管母线材,拉拔过程中,拉伸变形量控制为47%;

(5)对拉制成型的铝合金管母线进行人工时效处理,控制时效温度为 $190^\circ\text{C}$ ,保温5小时。

[0013] 采用上述方法生产的铝合金导电管母线的性能指标为:抗拉强度为242MPa,延伸率为10.1,20℃电阻率为 $0.03119 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ,导电率为55.28%IACS。

[0014] 例3:选用母线坯料的化学成份重量百分比为:Mg 0.7,Si 0.65,Cu 0.25,B 0.05,稀土 0.20,Be 0.01, $\text{Fe} \leq 0.25$ , $\text{Cr}+\text{V}+\text{Ti}+\text{Mn} < 0.05$ ,余量为Al;按以下工艺步骤进行生产:

(1)采用99.7%铝锭、镁锭以及Al-Fe、Al-Cu、Al-稀土、Al-B中间合金,根据上述化学成份重量百分比的范围计算出各合金原料的加入重量比例备料,将所有备料放入熔炼炉内经熔化、精炼、保温和在线过滤并加入Al-Ti-B细化剂后,采用多头结晶器的立式半连续铸造机铸造成直径为 $\Phi 180 \times 30\text{mm}$ 的管坯,浇注温度 $710^\circ\text{C}$ ,铸造速度 $780\text{mm}/\text{min}$ ;

(2)将管坯加热到 $440^\circ\text{C}$ 并保温2小时,送入行星轧轧机进行管材轧制,通过控制冷却水的流量大小,控制轧制的终轧温度 $500^\circ\text{C}$ ,轧制成 $\Phi 180 \times 15\text{mm}$ 的管材;

(3)在线对轧制管坯进行直接水淬,控制冷却后的温度 $\leq 120^\circ\text{C}$ ,以实现合金的在线固溶处理;

(4)采用拉拔机对轧制管材进行拉拔成 $\Phi 150 \times 10\text{mm}$ 规格的管母线材,拉拔过程中,拉伸变形量控制为43%;

(5)对拉制成型的铝合金管母线进行人工时效处理,控制时效温度为 $185^\circ\text{C}$ ,保温6小时。

[0015] 采用上述方法生产的铝合金导电管母线的性能指标为:抗拉强度为244MPa,延伸率为10.6,20℃电阻率为 $0.03121 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ,导电率为55.24%IACS。

[0016] 例4:选用母线坯料的化学成份重量百分比为:Mg 0.8,Si 0.75,Cu 0.25,B 0.07,稀土 0.10,Be 0.03, $\text{Fe} \leq 0.25$ , $\text{Cr}+\text{V}+\text{Ti}+\text{Mn} < 0.05$ ,余量为Al;按以下工艺步骤进行生产:

(1)采用99.7%铝锭、镁锭以及Al-Fe、Al-Cu、Al-稀土、Al-B中间合金,根据上述化学成

份重量百分比的范围计算出各合金原料的加入重量比例备料,将所有备料放入熔炼炉内经熔化、精炼、保温和在线过滤并加入Al-Ti-B细化剂后,采用多头结晶器的立式半连续铸造机铸造成直径为 $\Phi 200 \times 30\text{mm}$ 的管坯,浇注温度 $720^\circ\text{C}$ ,铸造速度 $720\text{mm}/\text{min}$ ;

(2)将管坯加热到 $450^\circ\text{C}$ 并保温2小时,送入行星轧轧机进行管材轧制,通过控制冷却水的流量大小,控制轧制的终轧温度 $510^\circ\text{C}$ ,轧制成 $\Phi 200 \times 15\text{mm}$ 的管材;

(3)在线对轧制管坯进行直接水淬,控制冷却后的温度 $\leq 120^\circ\text{C}$ ,以实现合金的在线固溶处理;

(4)采用拉拔机对轧制管材进行拉拔成 $\Phi 170 \times 10\text{mm}$ 规格的管母线材,拉拔过程中,拉伸变形量控制为42%;

(5)对拉制成型的铝合金管母线进行人工时效处理,控制时效温度为 $180^\circ\text{C}$ ,保温7小时。

[0017] 采用上述方法生产的铝合金导电管母线的性能指标为:抗拉强度为 $243\text{MPa}$ ,延伸率为10.5,  $20^\circ\text{C}$ 电阻率为 $0.03126 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ,导电率为55.15%IACS。

[0018] 例5:选用母线坯料的化学成份重量百分比为:Mg 0.85, Si 0.80, Cu 0.25, B 0.03, 稀土 0.18, Be 0.09,  $\text{Fe} \leq 0.25$ ,  $\text{Cr}+\text{V}+\text{Ti}+\text{Mn} < 0.05$ , 余量为Al;按以下工艺步骤进行生产:

(1)采用99.7%铝锭、镁锭以及Al-Fe、Al-Cu、Al-稀土、Al-B中间合金,根据上述化学成份重量百分比的范围计算出各合金原料的加入重量比例备料,将所有备料放入熔炼炉内经熔化、精炼、保温和在线过滤并加入Al-Ti-B细化剂后,采用多头结晶器的立式半连续铸造机铸造成直径为 $\Phi 250 \times 35\text{mm}$ 的管坯,浇注温度 $720^\circ\text{C}$ ,铸造速度 $700\text{mm}/\text{min}$ ;

(2)将管坯加热到 $450^\circ\text{C}$ 并保温2小时,送入行星轧轧机进行管材轧制,通过控制冷却水的流量大小,控制轧制的终轧温度 $510^\circ\text{C}$ ,轧制成 $\Phi 250 \times 15\text{mm}$ ;

(3)在线对轧制管坯进行直接水淬,控制冷却后的温度 $\leq 120^\circ\text{C}$ ,以实现合金的在线固溶处理;

(4)采用拉拔机对轧制管材进行拉拔成 $\Phi 200 \times 10\text{mm}$ 设计规格的管母线材,拉拔过程中,拉伸变形量控制为46%;

(5)对拉制成型的铝合金管母线进行人工时效处理,控制时效温度为 $175^\circ\text{C}$ ,保温8小时。

[0019] 采用上述方法生产的铝合金导电管母线的性能指标为:抗拉强度为 $245\text{MPa}$ ,延伸率为10.4,  $20^\circ\text{C}$ 电阻率为 $0.03133 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ,导电率为55.03%IACS。

[0020] 例6:选用母线坯料的化学成份重量百分比为:Mg 0.75, Si 0.70, Cu 0.28, B 0.06, 稀土 0.18, Be 0.1,  $\text{Fe} \leq 0.25$ ,  $\text{Cr}+\text{V}+\text{Ti}+\text{Mn} < 0.05$ , 余量为Al;按以下工艺步骤进行生产:

(1)采用99.7%铝锭、镁锭以及Al-Fe、Al-Cu、Al-稀土、Al-B中间合金,根据上述化学成份重量百分比的范围计算出各合金原料的加入重量比例备料,将所有备料放入熔炼炉内经熔化、精炼、保温和在线过滤并加入Al-Ti-B细化剂后,采用多头结晶器的立式半连续铸造机铸造成直径为 $\Phi 300 \times 40\text{mm}$ 的管坯,浇注温度 $720^\circ\text{C}$ ,铸造速度 $680\text{mm}/\text{min}$ ;

(2)将管坯加热到 $450^\circ\text{C}$ 并保温2小时,送入行星轧轧机进行管材轧制,通过控制冷却水

的流量大小,控制轧制的终轧温度 $510^{\circ}\text{C}$ ,轧制成 $\Phi 300 \times 15\text{mm}$ 的管材;

(3)在线对轧制管坯进行直接水淬,控制冷却后的温度 $\leq 120^{\circ}\text{C}$ ,以实现合金的在线固溶处理;

(4)采用拉拔机对轧制管材进行拉拔成 $\Phi 250 \times 10\text{mm}$ 规格的管母线材,拉拔过程中,拉伸变形量控制为44%;

(5)对拉制成型的铝合金管母线进行人工时效处理,控制时效温度为 $175^{\circ}\text{C}$ ,保温9小时。

[0021] 采用上述方法生产的铝合金导电管母线的性能指标为:抗拉强度为 $245\text{MPa}$ ,延伸率为10.4, $20^{\circ}\text{C}$ 电阻率为 $0.03119 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ,导电率为55.28%IACS。