

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B23K 35/28 (2006.01)

B23K 35/40 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610152125.1

[45] 授权公告日 2008 年 12 月 24 日

[11] 授权公告号 CN 100445019C

[22] 申请日 2006.9.14

[21] 申请号 200610152125.1

[73] 专利权人 中国航空工业第一集团公司北京航空材料研究院

地址 100095 北京市 81 号信箱

[72] 发明人 李 艳 张学军 李小飞 张文扬

[56] 参考文献

CN1107120C 2003.4.30

RU2082808C1 1997.6.27

JP9-279284A 1997.10.28

CN1785580A 2006.6.14

CN1103828C 2003.3.26

审查员 方 勇

[74] 专利代理机构 中国航空专利中心

代理人 李建英

权利要求书 1 页 说明书 6 页

[54] 发明名称

Al-Mg-Sc 系焊丝

[57] 摘要

本发明涉及一种用于 Al-Mg-Li 系铝锂合金和 Al-Mg 系铝合金熔化焊用 Al-Mg-Sc 系焊丝。主要化学成份 (wt%) 为: 镁 (Mg) 4~8、锰 (Mn) 0.5~1.0、锆 (Zr) 0.05~0.3、钪 (Sc) 0.1~1.0、钛 (Ti) 0.05~0.15、钠 (Na) + 钾 (K) ≤ 15 ppm、氢 (H) ≤ 0.4 ppm、铝 (Al) 余量。采用本发明的 Al-Mg-Sc 焊丝, 焊接接头综合性能明显提高: (1) 铝锂合金焊接接头的抗裂性明显增强。 (2) 焊缝组织明显细化。 (3) 室温抗拉强度明显提高。使用本发明的 Al-Mg-Sc 系焊丝熔化焊接 Al-Mg-Li 系铝锂合金和 Al-Mg 系铝合金, 焊缝金属组织细腻、焊接接头抗裂性好, 接头综合力学性能良好。

1、一种 Al-Mg-Sc 系焊丝，其主要化学成份的重量百分比为， Mg 4~8、Mn 0.5~0.7、Zr 0.05~0.3、Sc 0.2~1.0、Ti 0~0.15、Na+ K \leq 15ppm、H \leq 0.4ppm、Al 余量；

其制备方法是：

(1) 原材料配制，基体元素 Al 以纯 Al 形式加入，合金元素 Mg、Mn、Sc、Zr、Ti 均以 Al 基中间合金形式添加，按重量百分比配制；

(2) 合金熔炼，采用感应加热电炉，并在真空充氩保护条件下进行合金熔炼，浇铸成合金锭；

(3) 加工成型：对合金锭去皮、切头后，经退火、挤压为合金棒，或再退火、拉拔为规格尺寸的直条状焊丝或连续盘状焊丝，备用。

2. 根据权利要求 1 所述的 Al-Mg-Sc 系焊丝，其主要化学成份的重量百分比为，Mg 5、Mn 0.5、Zr 0.1、Sc 0.75、Ti 0.1、Na + K \leq 15ppm、H \leq 0.4ppm、Al 余量。

3. 根据权利要求 1 所述的 Al-Mg-Sc 系焊丝，其主要化学成份的重量百分比为，Mg 6、Mn 0.7、Zr 0.05、Sc 0.5、Ti 0.05、Na+ K \leq 15ppm、H \leq 0.4ppm、Al 余量。

4. 根据权利要求 1 所述的 Al-Mg-Sc 系焊丝，其主要化学成份的重量百分比为，Mg 7、Mn 0.6、Zr 0.25、Sc 0.4、Ti 0、Na+K \leq 15ppm、H \leq 0.4ppm、Al 余量。

5. 根据权利要求 1 所述的 Al-Mg-Sc 系焊丝，其主要化学成份的重量百分比为，Mg 7.5、Mn 0.65、Zr 0.2、Sc 0.2、Ti 0、Na+ K \leq 15ppm、H \leq 0.4ppm、Al 余量。

6. 根据权利要求 1 所述的 Al-Mg-Sc 系焊丝，其主要化学成份的重量百分比为，Mg 6.5、Mn 0.5、Zr 0.15、Sc 1.0、Ti 0、Na+ K \leq 15ppm、H \leq 0.4ppm、Al 余量。

Al-Mg-Sc 系焊丝

技术领域

本发明涉及一种用于 Al-Mg-Li 系铝锂合金和 Al-Mg 系铝合金熔化焊用 Al-Mg-Sc 系焊丝。

背景技术

高强铝锂合金和铝合金由于密度小，比强度高、性能优势而广泛应用于航空工业。但往往由于可焊性差、接头软化、疲劳寿命低、抗腐蚀性能差等因素限制了其应用范围。如能解决这一系列问题，将大大推动铝锂合金在航空、航天的应用，取得显著的减重效果，获得明显的经济效益。

目前在铝合金及铝锂合金中添加稀土元素以提高合金的强度，并获得较好的综合性能是铝合金研究的一个方向。俄罗斯就此方向做了大量研究，在对 17 种主要的稀土元素进行对比实验和综合比较后，指出 Sc 是最有成效的稀土元素，并相继开发了 Al-Mg-Sc（如 01515 合金，其名义成分为 Al-1.15Mg-0.4Mn-0.4（Sc+Zr）；01523 合金，其名义成分为 Al-2.1Mg-0.4Mn-0.45（Sc+Zr）；01535 合金，其名义成分为 Al-4.2Mg-0.4Mn-0.4（Sc+Zr）等）、Al-Zn-Mg-Sc、Al-Zn-Mg-Cu-Sc、Al-Mg-Li-Sc、Al-Cu-Li-Sc 等系列的合金，主要用于制造飞机、火箭、舰船和高速列车（杨志强，尹志民，“俄罗斯铝-钪合金的研究与开发”，轻合金加工技术[J]，2003，.vol131，No.11，P34~40）。国内西北工业大学开展过 2090 合金及焊丝中添加 Ce 的研究，取得了一些成效，但 Ce 对接头塑性损害较大（贺勇等，2090Ce 铝锂合金焊接接头力学性能研究，第三届全国铝锂合金研讨会论文集）；中南大学曾就微量 Sc 对 Al-Mg 合金和 Al-Zn-Mg 合金组织与性能进行过一些研究，如比较了 Al-0.45Mg 和 Al-0.45Mg-0.41Sc 变形合金的组织性能，指出在 Al-Mg 合金中加入微量 Sc 可形成初生 Al_3Sc ，消除铸态合金的枝晶组织，并且在合金铸锭的工艺加热过程中有次生 Al_3Sc 粒子强化合金。对合金性能的测试结果表明，加入 0.4% 的 Sc 后，合金性能大幅提高（如热处理后 Al-0.45Mg 合金的抗拉强度为 282MPa，Al-0.45Mg-0.41Sc 合金的抗拉强度 358MPa），但合

金的塑性在不同状态下均有不同程度的降低（如热处理后 Al-0.45Mg 合金的延伸率为 25.4%，Al-0.45Mg-0.41Sc 合金的延伸率为 18.9%）。（潘青林等，微量钪在 Al-Mg 合金中的作用，金属学报，2001，37（7）：P749-753）。

目前国内对于铝合金的焊接，一般采用与母材同质或成分接近的焊丝焊接。而对于国内较成熟的 Al-Mg-Li 系铝锂合金，如 5A90 合金，由于暂无专用焊丝，故焊接时常采用传统 Al-Mg 系防锈铝合金焊丝，主要是 LF6 焊丝。但由于 5A90 合金加入合金元素 Li 进行强化，合金强度较高（其中 $\sigma_b \geq 410\text{MPa}$ ， $\delta_5 \geq 8\%$ ）。而其中 Li 元素在焊接加热过程中极易挥发，因此焊缝内基本不含合金元素 Li，故采用合金本身切条作填充材料或采用 LF6 焊丝焊接，接头强度均很低，与母材性能缺乏可匹配性，而且不可工程化焊接。

发明内容

本发明的目的是提供一种可满足 Al-Mg-Li 系铝锂合金和 Al-Mg 系铝合金的工程化焊接的 Al-Mg-Sc 系焊丝。

本发明的技术解决方案是，Al-Mg-Sc 系焊丝的主要化学成份（wt%）为：镁（Mg）4~8、锰（Mn）0.5~0.7、锆（Zr）0.05~0.3、钪（Sc）0.2~1.0、钛（Ti）0~0.15、钠（Na）+钾（K） $\leq 15\text{ppm}$ 、氢（H） $\leq 0.4\text{ppm}$ 、铝（Al）余量。

上述 Al-Mg-Sc 系填充材料采用如下工艺制备：

（1）原材料配制，基体元素铝（Al）以纯铝（Al）形式加入，合金元素镁（Mg）、锰（Mn）、钪（Sc）、锆（Zr）、钛（Ti）均以铝（Al）基中间合金形式添加，按重量百分比配制；

（2）合金熔炼，采用感应加热电炉，并在真空充氩保护条件下进行合金熔炼，浇注成合金锭；

（3）加工成型：对合金锭去皮、切头后，经退火、挤压为合金棒，或再退火、拉拔为规格尺寸的直条状焊丝或连续盘状焊丝，备用。

使用本发明的 Al-Mg-Sc 系焊丝熔化焊接 Al-Mg-Li 系铝锂合金和 Al-Mg 系铝合金，焊缝金属组织细腻、焊接接头抗裂性好，接头综合力学性能良好。

采用本发明的 Al-Mg-Sc 焊丝，焊接接头综合性能明显提高：（1）铝

锂合金焊接接头的抗裂性明显增强。采用 5A90 (Al-Mg-Li 系) 合金的鱼骨试样和十字试样考察接头的抗裂性, 试验结果是均无裂纹产生; (2) 焊缝组织明显细化; (3) 室温抗拉强度明显提高。例如采用手工氩弧焊和自动氩弧焊焊接 5A90 合金 ($\delta = 2.0 \sim 3.0\text{mm}$), 焊接接头抗拉强度 (去除焊缝余高) 可达到 400~470MPa, 与母材等强, 且焊缝金属塑性、冲击韧性与母材相当。与同条件下采用传统 Al-Mg 焊丝的接头相比, 接头抗拉强度提高 50~100MPa; (4) 与传统 Al-Mg 焊丝的接头相比, 本发明焊丝的接头在抗拉强度提高的同时, 接头的塑性和韧性也提高, 例如延伸率和冲击韧性均可提高 20%~50%; (5) 与传统 Al-Mg 焊丝的接头相比, 本发明焊丝接头的高频疲劳极限可提高 15~25MPa (10^7 循环), 相对提高量达到 20%~40%。

为提高焊缝金属强度, 同时又不损失母材塑性, 本项目借助在焊接材料中添加微量 Sc, 同时加入 Zr、Mn、Ti 等合金元素进行多元合金化, 通过焊接材料的加入, 实现 Al-Mg-Li 合金熔焊焊缝的合金化, 提高 Al-Mg-Li 合金焊缝金属强度和焊接接头的抗裂纹敏感性, 以克服 Al-Mg-Li 合金熔焊中常存在的问题, 推动新研制材料的工程应用。但由于 Sc 的价格昂贵, 因此首先利用 Al_3Sc 在 Al 基体中的孕育期短和 Al_3Zr 易依附 Al_3Sc 长大的特性, 通过多元合金元素的添加, 降低 Sc 在 Al 中的极限溶解度, 促进 Al_3Sc 在铝基体中析出, 同时加入 Zr 促使形成 Al_3Sc 和 Al_3Zr 的复合粒子的形成长大, 为熔池的非平衡结晶提供足够的形核粒子, 从而细化焊缝组织; 其次, 高含量 Mg、Mn 元素的添加形成了铝基体的固溶强化和 Al、Mg、Mn 等多元复合粒子的形成, 也有效地提高了焊缝金属的强度, 同时保证焊缝金属塑性、冲击韧性等与母材相当; 再有, 本发明为提高焊缝金属的纯净度, 对焊丝的原材料以及熔炼、挤压、拉拔等工序均进行严格控制, 提高焊丝的纯净度, 为有效防止焊接气孔等缺陷和脆性化合物相的产生提供了坚实的基础。因此虽然由于焊接中焊丝合金元素的稀释 (稀释率一般在 20%~30%), 焊缝中 Sc、Zr 等合金元素很低 (远低于上述介绍的各类合金), 也保证了焊缝金属的强度、塑性、冲击韧性等均于母材相当, 综合性能良好。

具体实施方式

本发明的 Al-Mg-Sc 系填充材料, 其主要化学成份 (wt%) 为: 镁 (Mg)

4~8、锰 (Mn) 0.5~0.7、锆 (Zr) 0.05~0.3、钪 (Sc) 0.2~1.0、钛 (Ti) 0~0.15、钠 (Na) + 钾 (K) $\leq 15\text{ppm}$ 、氢 (H) $\leq 0.4\text{ppm}$ 、铝 (Al) 余量。

上述 Al-Mg-Sc 系填充材料采用如下工艺制备：

(1) 原材料配制，基体元素铝 (Al) 以纯铝 (Al) 形式加入，合金元素镁 (Mg)、锰 (Mn)、钪 (Sc)、锆 (Zr)、钛 (Ti) 均以铝 (Al) 基中间合金形式添加，按重量百分比配制；

(2) 合金熔炼，采用感应加热电炉，并在真空充氩保护条件下进行合金熔炼，浇注成合金锭；

(3) 加工成型：对合金锭去皮、切头后，经退火、挤压为合金棒，或再退火、拉拔为规格尺寸的直条状焊丝或连续盘状焊丝，备用。

当需要使用时，在焊前要对其表面油污、氧化膜进行除油和去氧化膜处理，具体如下：

除油：磷酸钠 40 g/L~60g/L、碳酸钠 40 g/L~50 g/L、水玻璃 25 g/L~30g/L 的水溶液 (60℃~85℃) 浸泡后流动水清洗；

化学清洗：苛性钠溶液 50g/L~60g/L (50℃~70℃) 去除表面氧化膜，流动水冲洗干净后再入硝酸溶液 250g/L~400g/L 进行光华处理，并采用流动水清洗；

干燥 在干燥箱内烘干或用加热的压缩空气吹干，温度为 40℃~60℃。

焊接时，根据选定的熔化焊方法及其焊接规范参数，采用手工（直条焊丝）或自动（盘状焊丝）将焊丝送入焊接熔池进行焊接。

实施例一

其主要化学成份 (wt%) 为：镁 (Mg) 5、锰 (Mn) 0.7、锆 (Zr) 0.1、钪 (Sc) 0.75、钛 (Ti) 0.1、钠 (Na) + 钾 (K) $\leq 15\text{ppm}$ 、氢 (H) $\leq 0.4\text{ppm}$ 、铝 (Al) 余量。

制备：

(1) 原材料配制 基体元素铝 (Al) 以纯铝 (Al) 形式加入，合金元素镁 (Mg)、锰 (Mn)、钪 (Sc)、锆 (Zr)、钛 (Ti) 均以铝 (Al) 基中间合金形式添加，按重量百分比配制；

(2) 合金熔炼 采用感应加热电炉，并在真空充氩保护条件下进行合金熔炼，浇注成 $\phi 100\text{mm}$ 合金锭；

(3) 加工成型: 对合金锭去皮、切头后, 经 450℃退火、单根挤压, 再退火、拉拔为 $\phi 1.6\text{mm}$ 连续盘状焊丝和 $\phi 2.0\text{mm} \times 1000\text{mm}$ 的直条焊丝;

(4) 除油、清洗、碱洗、清洗、硝酸光华处理、清洗、烘干后备用。直条焊丝可直接用于手工焊, 连续焊丝经重新绕盘后用于自动焊。

实施例二

其主要化学成份 (wt%) 为: 镁 (Mg) 6、锰 (Mn) 0.7、锆 (Zr) 0.05、钪 (Sc) 0.5、钛 (Ti) 0.05、钠 (Na) + 钾 (K) $\leq 15\text{ppm}$ 、氢 (H) $\leq 0.4\text{ppm}$ 、铝 (Al) 余量。

制备:

(1) 原材料配制 基体元素铝 (Al) 以纯铝 (Al) 形式加入, 合金元素镁 (Mg)、锰 (Mn)、钪 (Sc)、锆 (Zr)、钛 (Ti) 均以铝 (Al) 基中间合金形式添加, 按重量百分比配制;

(2) 合金熔炼 采用感应加热电炉, 并在真空充氩保护条件下进行合金熔炼, 浇注成 $\phi 100\text{mm}$ 合金锭;

(3) 加工成型: 对合金锭去皮、切头后, 经 450℃退火、单根挤压, 再退火、拉拔为 $\phi 1.6\text{mm}$ 连续盘状焊丝和 $\phi 2.0\text{mm} \times 1000\text{mm}$ 的直条焊丝;

(4) 除油、清洗、碱洗、清洗、硝酸光华处理、清洗、烘干后备用。直条焊丝可直接用于手工焊, 连续焊丝经重新绕盘后用于自动焊。

实施例三

其主要化学成份 (wt%) 为: 镁 (Mg) 7、锰 (Mn) 0.6、锆 (Zr) 0.25、钪 (Sc) 0.4、钛 (Ti) 0、钠 (Na) + 钾 (K) $\leq 15\text{ppm}$ 、氢 (H) $\leq 0.4\text{ppm}$ 、铝 (Al) 余量。

制备:

(1) 原材料配制 基体元素铝 (Al) 以纯铝 (Al) 形式加入, 合金元素镁 (Mg)、锰 (Mn)、钪 (Sc)、锆 (Zr)、钛 (Ti) 均以铝 (Al) 基中间合金形式添加, 按重量百分比配制;

(2) 合金熔炼 采用感应加热电炉, 并在真空充氩保护条件下进行合金熔炼, 浇注成 $\phi 100\text{mm}$ 合金锭;

(3) 加工成型: 对合金锭去皮、切头后, 经 450℃退火、单根挤压, 再退火、拉拔为 $\phi 1.6\text{mm}$ 连续盘状焊丝和 $\phi 2.0\text{mm} \times 1000\text{mm}$ 的直条焊丝;

(4) 除油、清洗、碱洗、清洗、硝酸光华处理、清洗、烘干后备用。

直条焊丝可直接用于手工焊，连续焊丝经重新绕盘后用于自动焊

实施例四

其主要化学成份 (wt%) 为：镁 (Mg) 7.5、锰 (Mn) 0.65、锆 (Zr) 0.2、钪 (Sc) 0.2、钛 (Ti) 0、钠 (Na) + 钾 (K) $\leq 15\text{ppm}$ 、氢 (H) $\leq 0.4\text{ppm}$ 、铝 (Al) 余量。

制备：

(1) 原材料配制 基体元素铝 (Al) 以纯铝 (Al) 形式加入，合金元素镁 (Mg)、锰 (Mn)、钪 (Sc)、锆 (Zr)、钛 (Ti) 均以铝 (Al) 基中间合金形式添加，按重量百分比配制；

(2) 合金熔炼 采用感应加热电炉，并在真空充氩保护条件下进行合金熔炼，浇注成 $\phi 100\text{mm}$ 合金锭；

(3) 加工成型：对合金锭去皮、切头后，经 450°C 退火、单根挤压，再退火、拉拔为 $\phi 1.6\text{mm}$ 连续盘状焊丝和 $\phi 2.0\text{mm} \times 1000\text{mm}$ 的直条焊丝；

(4) 除油、清洗、碱洗、清洗、硝酸光华处理、清洗、烘干后备用。
直条焊丝可直接用于手工焊，连续焊丝经重新绕盘后用于自动焊

实施例五

其主要化学成份 (wt%) 为：镁 (Mg) 6.5、锰 (Mn) 0.5、锆 (Zr) 0.15、钪 (Sc) 1.0、钛 (Ti) 0、钠 (Na) + 钾 (K) $\leq 15\text{ppm}$ 、氢 (H) $\leq 0.4\text{ppm}$ 、铝 (Al) 余量。

制备：

(1) 原材料配制 基体元素铝 (Al) 以纯铝 (Al) 形式加入，合金元素镁 (Mg)、锰 (Mn)、钪 (Sc)、锆 (Zr)、钛 (Ti) 均以铝 (Al) 基中间合金形式添加，按重量百分比配制；

(2) 合金熔炼 采用感应加热电炉，并在真空充氩保护条件下进行合金熔炼，浇注成 $\phi 100\text{mm}$ 合金锭；

(3) 加工成型：对合金锭去皮、切头后，经 450°C 退火、单根挤压，再退火、拉拔为 $\phi 1.6\text{mm}$ 连续盘状焊丝和 $\phi 2.0\text{mm} \times 1000\text{mm}$ 的直条焊丝；

(4) 除油、清洗、碱洗、清洗、硝酸光华处理、清洗、烘干后备用。
直条焊丝可直接用于手工焊，连续焊丝经重新绕盘后用于自动焊。