



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107636180 A

(43)申请公布日 2018.01.26

(21)申请号 201680027948.3

托博约恩·博杰林

(22)申请日 2016.05.13

(74)专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事务  
所(普通合伙) 11201

(30)优先权数据

代理人 宋融冰

1508278.7 2015.05.14 GB

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

(51)Int.Cl.

2017.11.14

G22C 21/00(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

G22C 21/02(2006.01)

PCT/EP2016/060926 2016.05.13

G22C 21/06(2006.01)

(87)PCT国际申请的公布数据

G22C 21/08(2006.01)

W02016/180985 EN 2016.11.17

G22C 21/12(2006.01)

(71)申请人 海邦得股份公司

B23K 35/40(2006.01)

地址 挪威特隆赫姆

B23K 35/28(2006.01)

B23K 35/02(2006.01)

B23K 35/00(2006.01)

(72)发明人 欧森·格龙

乌尔夫·罗阿尔·阿肯斯

托尔·古纳尔·奥斯蒂加德

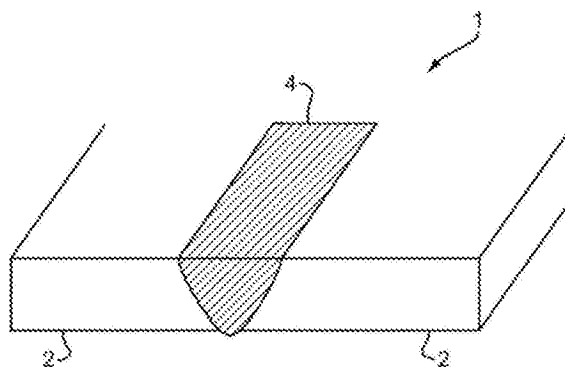
权利要求书6页 说明书18页 附图8页

(54)发明名称

挤出材料

(57)摘要

提供了用于混合金属挤出和粘结方法的铝挤出材料。该挤出材料的组成包括:0至0.25wt%的铁;至少0.05wt%的弥散体形成元素,其中所述弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钨;和,除了当铝挤出材料的铝合金属于2xxx系列时,0至0.05wt%的铜。该挤出材料的微结构为变形的微结构;并且该挤出材料的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质,并且其中在铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。还提供了用于制造挤出材料的铝条、包括由该挤出材料制成的挤出物的接头、制造该挤出材料和铝条的方法、和使用该挤出材料连接两个铝构件和方法。



1. 用于混合金属挤出和粘结方法的铝挤出材料，其中所述挤出材料的组成包括：  
0至0.25wt%的铁；  
至少0.05wt%的弥散体形成元素，其中所述弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钽；和，  
除了当所述铝挤出材料的铝合金属于2xxx系列时，0至0.05wt%的铜，  
其中所述挤出材料的微结构是变形的微结构；以及  
其中所述挤出材料的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质，并且其中在所述铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。
2. 根据权利要求1所述的铝挤出材料，其中所述挤出材料的纳米结构包括小铁粒子。
3. 根据权利要求1或2所述的铝挤出材料，其中所述纳米结构不含富溶质的亚稳沉淀物、大铁粒子和粗糙富溶质平衡相。
4. 根据权利要求1、2或3所述的铝挤出材料，其中所述微结构不是再结晶的微结构。
5. 根据任一前述权利要求所述的铝挤出材料，其中所述微结构的颗粒的长宽比为至少5:1。
6. 根据任一前述权利要求所述的铝挤出材料，其中所述挤出材料包括颗粒细化剂。
7. 根据任一前述权利要求所述的铝挤出材料，其中所述挤出材料是填充丝。
8. 根据任一前述权利要求所述的铝挤出材料，其中所述混合金属挤出和粘结方法是连接两个构件的混合金属挤出和粘结方法。
9. 根据权利要求8所述的铝挤出材料，其中所述构件中的至少一个是铝构件，并且其中所述挤出材料的组成与所述铝构件中至少一个的组成属于相同的铝合金系列。
10. 根据任一前述权利要求所述的铝挤出材料，其中所述混合金属挤出和粘结方法用于将挤出的挤出材料沉积和粘结在基件上。
11. 根据任一前述权利要求所述的铝挤出材料，其中所述基件是铝构件，并且其中所述挤出材料的组成与所述铝构件的组成属于相同的铝合金系列。
12. 通过混合金属挤出和粘结方法连接来连接两个铝构件的系统，所述系统包括：  
待连接的两个构件；和  
根据任一前述权利要求所述的铝挤出材料。
13. 根据权利要求12所述的连接两个铝构件的系统，其中所述构件中的至少一个是铝构件。
14. 用于将挤出材料粘结到构件上的系统，所述系统包括：  
所述挤出材料所要沉积和粘结其上的构件；和  
根据权利要求1至11中任一项所述的挤出材料。
15. 用于制造用于混合金属挤出和粘结方法的铝挤出材料的铝条，其中所述铝条的组成包括：  
0至0.25wt%的铁；  
至少0.05wt%的弥散体形成元素，其中所述弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钽；和，  
除了当所述铝条的铝合金属于2xxx系列时，0至0.05wt%的铜，

其中所述铝条的微结构是变形的微结构;和

其中所述铝条的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质,并且其中在所述铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

16. 根据权利要求15所述的铝条,其中所述铝条的纳米结构包括小铁粒子。

17. 根据权利要求15或16所述的铝条,其中所述纳米结构不含富溶质的亚稳沉淀物、大铁粒子和粗糙富溶质平衡相。

18. 根据权利要求15、16或17所述的铝条,其中所述微结构不是再结晶的微结构。

19. 根据权利要求15至18中任一项所述的铝条,其中所述微结构的颗粒的长宽比为至少5:1。

20. 根据权利要求15至19中任一项所述的铝条,其中所述铝条包括颗粒细化剂。

21. 根据权利要求15至20中任一项所述的铝条,其中所述挤出材料是填充丝。

22. 根据权利要求15至21中任一项所述的铝条,其中所述混合金属挤出和粘结方法是连接两个构件的混合金属挤出和粘结方法。

23. 根据权利要求15至22中任一项所述的铝条,其中所述构件中的至少一个是铝构件,并且其中所述挤出材料的组成与所述铝构件中至少一个的组成属于相同的铝合金系列。

24. 根据权利要求15至23中任一项所述的铝条,其中所述混合金属挤出和粘结方法用于将挤出的挤出材料沉积和粘结在基件上。

25. 根据权利要求24所述的铝条,其中所述基件是铝构件,并且其中所述挤出材料的组成与所述铝构件的组成属于相同的铝合金系列。

26. 接头,所述接头包括:

两个铝构件;和

其之间的铝填充材料,

其中所述铝构件已利用混合金属挤出和粘结方法被所述填充材料连接在一起,

其中所述填充材料的组成与所述铝构件中至少一个的组成属于相同的铝合金系列;

其中所述填充材料的组成包括:

0至0.25wt%的铁;

至少0.05wt%的弥散体形成元素,其中所述弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钨;和,

除了当所述铝填充材料的铝合金属于2xxx系列时,0至0.05wt%的铜,

其中所述填充材料的微结构是变形的微结构;和

其中所述填充材料的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质,并且其中在所述铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

27. 根据权利要求26所述的接头,其中所述填充材料已通过挤出根据权利要求1至11中任一项所述的挤出材料而形成。

28. 制造铝条的方法,所述铝条用于制造用于混合金属挤出和粘结过程的挤压材料,所述方法包括:

提供铝熔体,其中所述铝熔体的组成包括

0至0.25wt%的铁;

至少0.05wt%的弥散体形成元素,其中所述弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至

- 0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钨；和，  
除了当所述铝条的铝合金属于2xxx系列时，0至0.05wt%的铜；  
铸造所述铝熔体以产生铝坯料，  
使所述铝坯料均质化；  
使所述坯料热变形以形成所述铝条；和  
使所述铝条淬火，  
其中淬火的所述铝条的微结构是变形的微结构；和  
其中淬火的所述铝条的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质，并且其中在所述铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。
29. 根据权利要求28所述的方法，其中所述铝熔体由原铝产生。
30. 根据权利要求28或29所述的方法，其中所述铸造是直接冷铸。
31. 根据权利要求28、29或30所述的方法，其中均质化温度在所述坯料的铝合金的、通过平衡相图限定的固相线温度和溶线温度之间，并且与所述固相线温度相比更接近所述溶线温度。
32. 根据权利要求28至31中任一项所述的方法，其中所述坯料在热变形之前通过感应加热被预加热。
33. 根据权利要求28至32中任一项所述的方法，其中在热变形过程中，所述坯料的温度被控制，以便其保持在所述合金的、通过平衡相图限定的平衡溶线以上。
34. 根据权利要求28至33中任一项所述的方法，其中所述热变形是热挤出，并且其中最小面积缩减为至少10:1。
35. 根据权利要求28至33中任一项所述的方法，其中所述热变形是热轧，并且其中面积缩减为至少5:1。
36. 根据权利要求28至35中任一项所述的方法，其中热变形的所述铝条的直径是预期挤出材料的直径的约1.5至2倍。
37. 根据权利要求28至36中任一项所述的方法，其中所述挤出材料是填充丝。
38. 根据权利要求28至37中任一项所述的方法，其中所述混合金属挤出和粘结过程是连接两个构件的混合金属挤出和粘结过程。
39. 根据权利要求38所述的方法，其中所述构件中的至少一个是铝构件，并且其中所述铝条的组成与所述铝构件中至少一个的组成属于相同的铝合金系列。
40. 根据权利要求28至39中任一项所述的方法，其中所述混合金属挤出和粘结过程用于将挤出的挤出材料沉积和粘结在基件上。
41. 根据权利要求40所述的方法，其中所述基件是铝构件，并且其中所述铝条的组成与所述铝构件的组成属于相同的铝合金系列。
42. 制造挤出材料的方法，所述挤出材料用于混合金属挤出和粘结过程，所述方法包括：  
提供铝条；  
其中所述铝条的组成包括：  
0至0.25wt%的铁；  
至少0.05wt%的弥散体形成元素，其中所述弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至

0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钨；和，

除了当所述铝条的铝合金属于2xxx系列时，0至0.05wt%的铜，

其中所述铝条的微结构是变形的微结构；和

其中所述铝条的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质，并且其中在所述铝基质中合金元素的大多数在固溶体中；和

使所述铝条变形以形成所述挤出材料，其中所述挤出材料的微结构是变形的微结构；并且其中所述挤出材料的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质，并且其中在所述铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

43. 根据权利要求42所述的方法，其中使所述铝条变形包括：

冷刮削所述铝条；和

拉伸所述铝条。

44. 根据权利要求42或43所述的制造挤出材料的方法，其中所述铝条的冷刮削和拉伸在一个操作中进行，而不应用中间热处理步骤。

45. 根据权利要求42、43或44所述的制造挤出材料的方法，其中拉伸比为约2:1至1.2:1。

46. 根据权利要求42至45中任一项所述的制造挤出材料的方法，其中在拉伸后进行丝清洁。

47. 根据权利要求42至46中任一项所述的方法，其中所述挤出材料是填充丝。

48. 根据权利要求42至47中任一项所述的方法，其中所述混合金属挤出和粘结过程是连接两个构件的混合金属挤出和粘结过程。

49. 根据权利要求48所述的方法，其中所述构件中的至少一个是铝构件，并且其中所述挤出材料的组成与所述铝构件中至少一个的组成属于相同的铝合金系列。

50. 根据权利要求42至49中任一项所述的方法，其中所述混合金属挤出和粘结过程用于将挤出的挤出材料沉积和粘结在基件上。

51. 根据权利要求50所述的方法，其中所述基件是铝构件，并且其中所述挤出材料的组成与所述铝构件的组成属于相同的铝合金系列。

52. 根据权利要求42至51中任一项所述的制造挤出材料的方法，其中所述铝条是根据权利要求28至41中任一项所述的方法制造的。

53. 根据权利要求52所述的制造挤出材料的方法，其中当所述材料被热挤出时，挤出比比拉伸比大至少5倍，并且当所述材料被热轧时，轧制比比拉伸比大至少2倍。

54. 连接两个铝构件的方法，所述方法包括：

提供所述两个铝构件，其中所述铝构件各具有待与另一个铝构件连接的连接表面；

提供根据权利要求1至11所述的挤出材料，

从所述两个铝构件的所述连接表面去除氧化物，和

在所述两个铝构件的所述连接表面之间挤出所述挤出材料。

55. 根据权利要求54所述的方法，其中所述方法包括根据权利要求42至53中任一项制造挤出材料。

56. 将挤出物粘结至构件的方法，所述方法包括：

提供所述构件，其中所述构件具有所述挤出物所要沉积和粘结其上的表面；

提供根据权利要求1至11所述的挤出材料，  
从所述构件的所述表面去除氧化物，和  
将所述挤出材料挤出到所述构件的所述表面上。

57. 用于连接两个铝构件的混合金属挤出和粘结方法的铝填充丝，  
其中所述填充丝的组成与所述铝构件中至少一个的组成属于相同的铝合金系列；  
其中所述填充丝的组成包括：

0至0.25wt%的铁；

至少0.05wt%的弥散体形成元素，其中所述弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钽；和，

除了当所述铝填充丝的铝合金属于2xxx系列时，0至0.05wt%的铜，

其中所述填充丝的微结构是变形的微结构；和

其中所述填充丝的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质，并且其中在所述铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

58. 通过混合金属挤出和粘结方法连接来连接两个铝构件的系统，所述系统包括：  
待连接的两个铝构件；和

根据权利要求56所述的铝填充丝。

59. 用于制造铝填充丝的铝条，所述铝填充丝用于连接两个铝构件的混合金属挤出和粘结方法，

其中所述铝条的组成与所述铝构件中至少一个的组成属于相同的铝合金系列；

其中所述铝条的组成包括：

0至0.25wt%的铁；

至少0.05wt%的弥散体形成元素，其中所述弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钽；和，

除了当所述铝条的铝合金属于2xxx系列时，0至0.05wt%的铜，

其中所述铝条的微结构是变形的微结构；和

其中所述铝条的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质，并且其中在所述铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

60. 制造铝条的方法，所述铝条用于制造用于连接两个铝构件的混合金属挤出和粘结过程的填充丝，所述方法包括：

提供铝熔体，其中所述铝熔体的组成与所述铝构件中至少一个的组成属于相同的铝合金系列；其中所述铝熔体的组成包括

0至0.25wt%的铁；

至少0.05wt%的弥散体形成元素，其中所述弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钽；和，

除了当所述铝条的铝合金属于2xxx系列时，0至0.05wt%的铜；

铸造所述铝熔体以产生铝坯料，

使所述铝坯料均质化；

使所述坯料热变形以形成所述铝条；和

使所述铝条淬火，

其中淬火的所述铝条的微结构是变形的微结构;和

其中淬火的所述铝条的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质,并且其中在所述铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

61. 制造填充丝的方法,所述填充丝用于连接两个铝构件的混合金属挤出和粘结过程,所述方法包括:

提供铝条;

其中所述铝条的组成与所述铝构件中至少一个的组成属于相同的铝合金系列;其中所述铝条的组成包括:

0至0.25wt%的铁;

至少0.05wt%的弥散体形成元素,其中所述弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钽;和,

除了当所述铝条的铝合金属于2xxx系列时,0至0.05wt%的铜,

其中所述铝条的微结构是变形的微结构;和

其中所述铝条的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质,并且其中在所述铝基质中合金元素的大多数在固溶体中,

冷刮削所述铝条;和

拉伸所述铝条以形成所述填充丝,其中所述填充丝的微结构是变形的微结构;并且其中所述填充丝的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质,并且其中在所述铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

62. 连接两个铝构件的方法,所述方法包括:

提供所述两个铝构件,其中所述铝构件各具有待与另一个铝构件连接的连接表面;

提供根据权利要求56所述的填充丝,

从所述两个铝构件的所述连接表面去除氧化物,和

在所述两个铝构件的所述连接表面之间挤出所述填充丝。

## 挤出材料

### 技术领域

[0001] 本发明涉及挤出材料,例如填充丝,用于混合金属挤出和粘结方法(过程, process),该方法可例如将两个铝构件连接在一起。

### 背景技术

[0002] 已知多种技术被用于将两个材料——尤其是轻金属,例如铝——连接在一起。

[0003] 这些技术中的一种是熔焊,其中基础金属和可能的填充金属均通过电弧、电子束或激光束而熔融,允许金属与金属的粘结在结晶过程中在焊池的拖尾部分(trailing part)中实现。在熔焊中,供应能量中仅一部分有助于熔融,从而有助于粘结。供应能量中的大部分导致焊接接头附近的基础金属局部加热和所谓热影响区(文献中常称为HAZ)的形成。该区是个问题,因为造成的微结构变化导致母体金属永久机械退化。焊接区的性质因此将成为工程设计的限制因素,并且在实践中决定构件的承载负荷的能力。另外,过度供应能量(即,热)导致焊接区中高残留应力以及总体变形和扭曲。这些问题在轻金属——如铝——的焊接中比在钢焊接中更大,因为采取必要预防措施(例如通过调整基础金属化学组成来改变HAZ微结构)的可能性在前者情形中更难。

[0004] 鉴于这些问题,更有效的焊接方法,如激光焊接和电子束焊接,已被使用,其提供显著更窄的HAZ。但是,这些技术带来融合区中热裂抗性和孔形成相关的其它问题。另外,其具有设备更加昂贵而功能较少的缺点。此外,由于事实上通常不添加填充金属,耐力要求显著更加苛刻。

[0005] 在过去,为开发用于连接轻金属的替代技术已做出数种尝试。实例包括摩擦焊接或称为摩擦搅拌焊接(FSW)的变型。

[0006] 在FSW中,将待连接在一起的两个板被相互牢牢挤压,同时沿着其之间的界面(边缘)移动旋转工具,去除总是存在于表面上的氧化物层(至少对于铝而言)。

[0007] 即使可观的摩擦加热发生在旋转工具和母体铝板之间的界面处,供应的能量以及因而产生的热量也比在熔焊中少,因此接头附近的基础金属不会熔融和达到液态。因此,摩擦搅拌焊接是固态连接技术的一个实例,其与熔焊相比是一种改进,因为若干常见问题因此减少,即高残留应力和热裂的产生、孔形成和低抗腐蚀性。另一方面,该技术被若干缺点阻碍,一个是由于不使用填充金属,待连接表面需要相互精确匹配的要求。另一个缺点是待连接的构件必须以可观的力被相互挤压,这意味着该方法需要重型且刚性的设备。最后,即使这种类型的摩擦焊接也会形成宽HAZ,其中造成的微结构变化导致沉淀强化的金属永久软化。

[0008] 在连接的其它方法中,应提到硬焊、铆接和粘合剂粘结。这些方法中的一种或多种可便于一些应用区域,但总体上其提供低安全性来防止故障,并因此在承载负荷或重量的构造中不是焊接的切实替代选择。

[0009] 已知一种用于连接构件的可选固态方法,例如如W0 03/043 775中所述,适于连接用于结构应用的铝(或其它轻金属)构件。该方法涉及从待连接表面去除氧化物,然后立即

将填充材料挤出到待连接表面之间的间隙中,以将两个表面相互粘结。该方法可被称为混合金属挤出和粘结 (HYB) 方法。该方法基于填充/粘结材料的连续挤出原理,并且目标是减少或消除与FSW方法和其它现有技术方法有关的过度加热的缺点。

[0010] HYB方法背后的基本思路是能够实现铝构件的固态连接而不像传统熔焊和FSW中那样导致弱/软焊接区形成。

[0011] 这种HYB方法需要挤出/填充材料。这是因为其利用连续挤出作为在高压下将来自挤出机的填充金属 (FM) 压挤到待连接的两个板之间的坡口 (groove) 中以实现金属粘结的技术手段。

[0012] 填充金属被广泛用于熔焊。例如,在铝合金的MIG焊接中,三种不同类型的填充材料是可商购的;纯铝、具有约5wt%Si的硅铝合金以及具有约5wt%Mg的铝镁合金(其中一些还可含有上至1wt%的Mn)。后者关于Si或Mg被高度过度合金 (overalloy),以降低焊接期间固化开裂的风险。如果填充金属组成与待连接构件中至少一个的基础金属组成相似,则固化裂纹将不可避免地在融合区中形成。

[0013] 在铝合金的固态焊接(包括FSW)中,如上所述,是不使用填充金属的。因此,专用于具体固态连接应用的填充金属不是可商购的。取而代之,必须在产生需求的时候对其进行开发。

[0014] 已经发现用于熔焊的填充材料不适合用于HYB方法。因此,需要可以用于HYB方法的填充材料以提供牢固和可靠的连接。

## 发明内容

[0015] 在第一方面,本发明提供了用于混合金属挤出和粘结方法的铝挤出材料,其中该挤出材料的组成包括:0至0.25wt%的铁;至少0.05wt%的弥散体形成元素,其中弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钽;和,除了当铝挤出材料的铝合金属于2xxx系列时,0至0.05wt%的铜,其中挤出材料的微结构是变形的微结构;并且其中挤出材料的纳米结构包括具有错位 (dislocation) 和弥散体的铝基质,并且其中在铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

[0016] 挤出材料是将在使用中被挤出的材料,尤其是待挤出的材料。

[0017] 挤出材料可以是丝。

[0018] 挤出材料可被称为填充丝,尤其是利用混合金属挤出和粘结方法将两个构件连接在一起时。

[0019] 混合金属挤出和粘结方法可以连接两个铝构件,即填充丝可用于连接两个铝构件的混合金属挤出和粘结方法中。

[0020] 填充丝的组成可与待连接的铝构件中至少一个的组成属于相同的铝合金系列。

[0021] 在第二方面,本发明提供了用于制造用于混合金属挤出和粘结方法的铝挤出材料的铝条 (aluminum rod),其中铝条的组成包括:0至0.25wt%的铁;至少0.05wt%的弥散体形成元素,其中弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钽;和,除了当铝条的铝合金属于2xxx系列时,0至0.05wt%的铜,其中铝条的微结构是变形的微结构;并且其中铝条的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质,并且其中在铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

[0022] 混合金属挤出和粘结方法可以连接两个铝构件。

[0023] 铝条的组成可与铝构件中至少一个的组成属于相同的铝合金系列。

[0024] 在第三方面,本发明提供了用于通过混合金属挤出和粘结方法连接两个铝构件的系统,系统包括:待连接的两个铝构件;和铝填充丝;其中填充丝的组成与铝构件中至少一个的组成属于相同的铝合金系列;其中填充丝的组成包括:0至0.25wt%的铁;至少0.05wt%的弥散体形成元素,其中弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钽;和,除了当铝填充丝的铝合金属于2xxx系列时,0至0.05wt%的铜,其中填充丝的微结构是变形的微结构;并且其中填充丝的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质,并且其中在铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

[0025] 在另一方面,本发明可提供用于通过混合金属挤出和粘结方法将挤出材料粘结至构件的系统,系统包括:挤出材料所要沉积和粘结其上的构件;和铝挤出材料;其中挤出材料的组成包括:0至0.25wt%的铁;至少0.05wt%的弥散体形成元素,其中弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钽;和,除了当铝挤出材料的铝合金属于2xxx系列时,0至0.05wt%的铜,其中挤出材料的微结构是变形的微结构;并且其中挤出材料的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质,并且其中在铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

[0026] 当构件是由铝制成的构件时,挤出材料的组成可与铝构件的组成属于相同的铝合金系列。

[0027] 在第四方面,本发明提供了接头,该接头包括:两个铝构件;和其之间的铝填充材料,其中铝构件已利用混合金属挤出和粘结方法被填充材料连接在一起,其中填充材料的组成与铝构件中至少一个的组成属于相同的铝合金系列;其中填充材料的组成包括:0至0.25wt%的铁;至少0.05wt%的弥散体形成元素,其中弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钽;和,除了当铝填充材料的铝合金属于2xxx系列时,0至0.05wt%的铜,其中填充材料的微结构是变形的微结构;并且其中填充材料的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质,并且其中在铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

[0028] 在另一方面,本发明提供了接头,该接头包括:构件;和铝挤出物,其中铝挤出物已利用混合金属挤出和粘结方法被粘结至构件,其中挤出物的组成包括:0至0.25wt%的铁;至少0.05wt%的弥散体形成元素,其中弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钽;和,除了当铝挤出物的铝合金属于2xxx系列时,0至0.05wt%的铜,其中挤出物的微结构是变形的微结构;并且其中挤出物的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质,并且其中在铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

[0029] 构件可以是铝构件,并且挤出材料的组成可与铝构件的组成属于相同的铝合金系列。

[0030] 在第五方面,本发明提供了制造铝条的方法,该铝条用于制造用于混合金属挤出和粘结过程的挤出材料/填充丝,方法包括:提供铝熔体;其中铝熔体的组成包括0至0.25wt%的铁;至少0.05wt%的弥散体形成元素,其中弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钽;和,除了当铝条的铝合金属于2xxx系列时,0至0.05wt%的铜;铸造该铝熔体以产生铝坯料,使铝坯料均质化;使该坯料热

变形(例如,热挤出或热轧)以形成铝条;和使铝条淬火,其中淬火的铝条的微结构是变形的微结构;并且其中淬火的铝条的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质,并且其中在铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

[0031] 混合金属挤出和粘结方法可以连接两个铝构件。在这种情况下,铝熔体的组成可与铝构件中至少一个的组成属于相同的铝合金系列。

[0032] 坯料的热变形可进行下去,直至挤出材料/填充丝的最终期望直径。在这种情况下,可不必对形成的铝条进一步加工以形成挤出材料/填充丝,即,形成的铝条可以是用于混合挤出和粘结方法的挤出材料/填充丝。

[0033] 因此,本发明可提供制造用于混合金属挤出和粘结过程的铝挤出材料的方法,方法包括:提供铝熔体;其中铝熔体的组成包括0至0.25wt%的铁;至少0.05wt%的弥散体形成元素,其中弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钽;和,除了当铝条的铝合金属于2xxx系列时,0至0.05wt%的铜;铸造铝熔体以产生铝坯料,使铝坯料均质化;使该坯料热变形(例如,热挤出或热轧)以形成铝挤出材料;和使铝挤出材料淬火,其中淬火的铝挤出材料的微结构是变形的微结构;并且其中淬火的铝条的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质,并且其中在铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

[0034] 混合金属挤出和粘结方法可连接两个铝构件。在这种情况下,铝熔体的组成可与所述铝构件中至少一个的组成属于相同的铝合金系列。

[0035] 在第六方面,本发明提供了制造用于混合金属挤出和粘结方法的挤出材料/填充丝的方法,方法包括:提供铝条;其中铝条的组成包括:0至0.25wt%的铁;至少0.05wt%的弥散体形成元素,其中弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钽;和,除了当铝条的铝合金属于2xxx系列时,0至0.05wt%的铜,其中铝条的微结构是变形的微结构;并且其中铝条的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质,并且其中在铝基质中合金元素的大多数在固溶体中;加工铝条以形成挤出材料/填充丝,其中挤出材料/填充丝的微结构是变形的微结构;并且其中挤出材料/填充丝的纳米结构包括具有弥散体的铝基质,并且其中在铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

[0036] 混合金属挤出和粘结方法可连接两个铝构件。在这种情况下,铝条的组成可与铝构件中至少一个的组成属于相同的铝合金系列。

[0037] 其中加工铝条以形成挤出材料/填充丝可包括冷刮削铝条和/或拉伸铝条。

[0038] 例如,铝条可被刮削下来,直至挤出材料/填充丝的最终期望直径,或者所述铝条可被拉伸至挤出材料的最终期望直径。可选地,铝条可被刮削,然后拉伸,以形成挤出材料/填充丝。

[0039] 在第七方面,本发明提供了一种连接两个铝构件的方法,方法包括:提供两个铝构件,其中每个铝构件具有待与另一个铝构件连接的连接表面;提供填充丝,其中填充丝的组成与铝构件中至少一个的组成属于相同的铝合金系列;其中填充丝的组成包括:0至0.25wt%的铁;至少0.05wt%的弥散体形成元素,其中弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钽;和,除了当铝填充丝的铝合金属于2xxx系列时,0至0.05wt%的铜,其中填充丝的微结构是变形的微结构;并且其中填充丝的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质,并且其中在铝基质中合金元素的大多数在

固溶体中；从两个铝构件的连接表面去除氧化物，以及在两个铝构件的连接表面之间挤出填充丝。

[0040] 在另一方面，本发明可提供将挤出物粘结至构件的方法，方法包括：提供构件，其中构件具有待粘结至挤出物的连接表面；提供挤出材料，其中挤出材料的组成包括：0至0.25wt%的铁；至少0.05wt%的弥散体形成元素，其中弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钽；和，除了当铝挤出材料的铝合金属于2xxx系列时，0至0.05wt%的铜，其中挤出材料的微结构是变形的微结构；并且其中挤出材料的纳米结构包括具有错位和弥散体的铝基质，并且其中在铝基质中合金元素的大多数在固溶体中；从构件的连接表面去除氧化物，以及将挤出材料挤出到构件的连接表面上以形成粘结至构件的挤出物。

[0041] 构件可以是铝构件。挤出材料的组成可与铝构件的组成属于相同的铝合金系列。

[0042] 可选地，构件可以是非铝构件，如钢构件，并且该方法可以是将铝挤出物粘结至非铝构件的方法。

[0043] 混合金属挤出和粘结方法可以是WO 03/043775中描述的方法。用于混合金属挤出和粘结方法的装置可以是WO 2013/095160中描述的装置或者WO 2013/095160中描述的装置的任何其它变型。

[0044] 在混合金属挤出和粘结 (HYB) 方法中，填充丝可被挤出到待连接的两个构件之间的接头中以在其间形成填充材料。方法可包括从待连接的表面去除氧化物，然后立即用填充材料连接和填充构件之间的坡口，该填充材料通过挤出填充丝来提供。对坡口的氧气供应可同时受限于挤出和粘结方法过程中的需要程度。两个构件可都是铝构件。可选地，构件中仅一个可以是铝构件，并且另一个构件可以是非铝构件。例如，一个构件可以是铝构件，一个构件可以是钢构件。因此，方法可包括连接两个构件，其中构件中的至少一个是铝构件。

[0045] 所述两个构件皆不是铝构件。在混合金属挤出和粘结 (HYB) 方法中，填充丝 (即挤出材料) 可被挤出到构件上并粘结至其。

[0046] 将挤出材料挤出可形成所谓的挤出物。

[0047] 填充材料/挤出材料可用于在构件上形成层，而不用于将两个构件连接在一起。

[0048] 因此，填充丝/挤出材料可用于混合金属挤出和粘结方法，其中挤出材料被挤出和粘结至构件的表面。挤出材料可被挤出和粘结到构件上，以在构件上形成小珠和/或覆盖/铺覆构件。

[0049] 挤出材料可被用于混合金属挤出和粘结方法，其中挤出材料被挤出和粘结至已沉积的、挤出的挤出材料 (即挤出物沉积其上的构件可以是已挤出和粘结的材料) 的表面。因此，挤出材料可用于混合金属挤出和粘结方法，该方法导致挤出和粘结附加层的制造 (或附加层制造、增材制造 (additive manufacturing) 或3D打印)。

[0050] 用于该方法的挤出材料/填充丝和生产的产品的填充材料 (即挤出物)，例如接头，将具有相同组成。挤出材料和挤出物的形状以及在某种程度上填充丝和填充金属的微结构、纳米结构和原子结构将是不同的，因为，挤出材料在其通过挤出机到达其固结以形成填充材料 (即挤出物) 位点 (例如接合处) 的过程中经历摩擦加热和严重塑性变形。但是，挤出物的微结构、纳米结构和原子结构将取决于原始挤出材料的微结构、纳米结构和原子结构。

[0051] 在熔焊中,填充丝将由于重新熔融而完全丧失其结构识别性。因此,控制填充丝的微结构不是重要的。已经认识到,相比之下,在HYB方法中,由于挤出材料/填充丝在连接方法过程中不熔融和重新凝固,填充材料(即挤出物)的微结构将取决于方法中所用的挤出材料的微结构。因此,挤出材料具有适当的微结构和纳米结构,该微结构和纳米结构将在挤出材料已被用于HYB方法中后确保牢固和可靠的粘结,即接头,是非常重要的。

[0052] 已经认识到,对于这种HYB方法,适当的微结构是变形的微结构,适当的纳米结构是具有错位和弥散体的铝基质,并且在铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

[0053] 在使用前制造和储存挤出材料的方法可以是这样的:使铝基质中合金元素的大多数保持在固溶体中。这使得在使用挤出材料的时候,在铝基质中合金元素的大多数可以在固溶体中。

[0054] 在选择适合的填充丝/挤出材料以产生期望的(预期的,desired)挤出材料——例如填充材料——时,必须考虑和补偿材料(例如,丝)在挤出和粘结方法过程中形成挤出物所经历的状态。

[0055] 接合处的填充材料可具有一定的强度、延展性/韧性和/或耐腐蚀性,这些性质优于接头的铝构件中的至少一个。挤出材料还可具有一定的界面粘结强度——至少与挤出材料沉积其上的构件一样强,或者在两个构件之间的连接的情况中,至少与连接的铝构件中的至少一个一样强。这可通过控制粘结界面处的杂质和变形模式来实现。

[0056] 当铝合金挤出材料被挤出以形成挤出物时,铝合金同时经历摩擦加热和严重塑性变形。但是,这通常发生,即可发生,而不会导致挤出材料外表面上氧化层的表面膨胀和随后的分解(break-up)。因此,除非通过一些其它手段(例如,通过在使用前对挤出材料进行刮削和适当清洁)实现表面清洁,所有这种污染均可最终存于待连接的两个铝构件之间的坡口中并在挤出材料与一个或多个构件之间的接触表面处积累。这进而可降低界面粘结强度。

[0057] 因此,本发明可包括在使用前刮削和清洁挤出材料。尽管这不是必需的。

[0058] 已经认识到,期望的接头质量和性质仅可通过使用特殊设计的挤出材料来实现,该挤出材料在通过挤出机后满足对焊后状态的挤出物设定的要求。

[0059] 由挤出物的性质预测期望的挤出材料性质需要详细了解挤出和连接过程中温度、应变和应变速率的瞬时值。

[0060] 对挤出和连接过程中温度、应变和应变速率的迅速变化的了解可用于预测挤出材料被挤出形成挤出物时材料的微结构和纳米/原子状态如何变化。

[0061] 已经发现,HYB方法尤其有效用于连接用于结构应用的中强度和高强度铝合金,其中接头的承载负荷的能力尤其被关注。因此待连接的铝构件可包括中强度和高强度铝合金。

[0062] 将会理解,本文对铝的提及不一定指代纯铝,而可在适当时指代铝合金和纯铝。例如,铝挤出材料或铝填充丝可以是由铝合金制成的挤出材料或填充丝。

[0063] 连接的构件(在连接两个构件的情况中)可用于结构应用中。

[0064] 接头(如果形成接头)可以是承载负荷的接头。

[0065] 铝构件(一个或多个)的铝合金可以是锻造铝合金的国际分类系统限定的铝合金系列中的一种。例如,铝构件(一个或多个)可由属于下列的合金制造:(i) 2xxx系列(Al-Cu

合金)、(ii) 5xxx (Al-Mg合金)、(iii) 6xxx系列 (Al-Mg-Si合金)、(iv) 7xxx系列 (Al-Zn-Mg合金) 或 (v) 8xxx系列 (如Al-Li合金或铝与另一元素的合金, 该另一元素不落入其它系列中的任一种)。因此, 铝构件 (一个或多个) 可由2xxx、5xxx、6xxx、7xxx或8xxx系列铝合金制成, 并且相应地铝条、挤出材料——即填充丝、或挤出物——即填充材料, 可属于铝的这些系列中的一种。

[0066] 每个系列中的主要合金元素是: (i) 2xxx系列中的Cu、(ii) 5xxx系列中的Mg、(iii) 6xxx系列中的Si和Mg、(iv) 7xxx系列中的Zn和Mg以及 (v) 8xxx系列中的不被其它系列覆盖的其它元素 (如锂)。在挤出材料中这些系列的特定元素的上限和下限由锻造铝合金的国际分类系统来限定。因此, 用Al-Mg-Si合金为例, 属于这种合金类别/系列的挤出材料的适当命名则是AA6xxx-A级, 其中A级是指代主要合金元素Si和Mg的具体含量。

[0067] 在这些系列的每一个中有多个铝合金级别, 每个级别覆盖多种铝合金组成。

[0068] 挤出材料可适合于可属于这五个系列其中之一结构铝合金的所有类型的、利用HYB方法的固体连接或粘结。

[0069] 已经认识到, 为利用HYB方法制备适于热机械加工和随后的挤出和粘结的挤出材料, 应对铝条/挤出材料/挤出物的组成中的其它元素的含量施以如下约束:

[0070] 1) 铁含量应被限制为0.25wt%以下的值, 不管在该系列的铝构件的国际基础金属标准中做出什么说明。这是因为在填充材料已经被挤出后铁可对填充材料的微结构和性质具有不利影响。

[0071] 2) 除了在Cu为主要合金元素的铝条/挤出材料/挤出物合金中 (如在2xxx系列中), 铜可被认为是杂质元素。因此, 其它合金如5xxx、6xxx、7xxx和8xxx挤出材料合金中的Cu含量, 应被限制为0.05wt%以下的值, 不管在该系列的铝合金构件的国际基础金属标准中做出什么说明。这是因为铜可对挤出物的耐腐蚀性是不利的。

[0072] 3) 至少0.05wt%的弥散体形成元素, 锰、铬、锆和钪。这些元素可被认为是次要合金元素。属于次要合金元素群组意味着其可单独或组合地以受控方式被有意地添加到挤出材料合金中。合金中这些次要元素的水平应在如下限制内, 不管在该系列的铝合金构件的国际基础金属标准中做出什么说明, 即Mn在0至1.2wt%之间、Cr在0至0.25wt%之间、Zr在0至0.25wt%之间和Sc在0至0.25wt%之间。该元素应被添加, 因为它是弥散体形成元素, 可以有助于防止填充材料再结晶。

[0073] 4) 铝条/挤出材料/挤出物的合金组成中的其它元素的含量, 应该在待连接构件 (一个或多个) 中的至少一个所属的铝合金系列的组成范围内, 假如该构件 (一个或多个) 或其中至少一个由铝制成。

[0074] 铝条/挤出材料/挤出物的组成还可含有其它公知的合金元素, 如镁、锌、硅、钛、硼等, 条件是其量使所落入的合金系列与正被连接的构件中的至少一个或挤出物粘结其上的构件相同。

[0075] 铝条/挤出材料/挤出物材料的精确组成将取决于多个因素, 如待连接的构件以及最终接头/沉积挤出物的具体应用/环境。

[0076] 作为实例, 当待连接构件中的至少一个或挤出物——即填充材料——正要沉积其上的构件是6xxx系列合金时, 铝条/填充丝/填充材料可以是组成上有上述进一步限制的AA6082铝合金。具体地, 这种合金可由下列组成: 0.7至1.3wt%的Si、0.0至0.25wt%的Fe、

0.0至0.05wt%的Cu、0.0至1.2wt%的Mn、0.6至1.2wt%的Mg、0.0至0.2wt%的Zn、0.0至0.1wt%的Ti、0.0至0.25wt%的Cr、0.0至0.25wt%的Zr、0.0至0.25wt%的Sc(其中Mn、Cr、Zr和Sc的总量为至少0.05wt%)以及余量铝和不可避免的杂质。

[0077] 铝条/挤出材料/挤出物材料的组成还可含有颗粒细化剂。该颗粒细化剂可在铸造操作前刻被添加到熔体中,以细化铸造后的微结构。颗粒细化剂可例如是AlB<sub>2</sub>或TiB<sub>2</sub>。

[0078] 当挤出材料组成已经含有Zr和/或Sc时,附加颗粒细化剂的使用可以是多余的,因此在这些情况中挤出材料可不含有任何颗粒细化剂。这是因为这两种次要合金元素也可由于Al<sub>3</sub>Zr和Al<sub>3</sub>Sc化合物形成而在凝固过程中充当颗粒细化剂。已知两相均在推进的固/液界面之前提供有利于新铝颗粒的异相成核的位点。

[0079] 铝条/挤出材料/挤出物材料的组成可与被连接铝构件中的至少一个或挤出物沉积其上的铝构件的组成相似,但是同时,其也可以由于对组成施以的进一步约束而不相同。由于组成上的约束,铝条/挤出材料/挤出物材料的组成可以是与铝构件(一个或多个)不同的铝合金级别。

[0080] 在两个铝构件被连接的情况中,被连接的两个铝构件的组成可属于相同铝系列。在这种情况下,铝条/填充丝/填充材料的组成与被连接的两个铝构件属于相同的系列。

[0081] 在两个铝构件被连接的情况中,如果被连接的两个铝构件的组成属于不同系列,则铝条/填充丝/填充材料的组成可与两个铝构件中的较强者属于相同的系列。

[0082] 被连接的两个铝构件的组成可以是彼此相同的铝级别。

[0083] 被连接的两个铝构件可具有相同的合金组成。

[0084] 将会理解,铝熔体、铝条、挤出材料——即填充丝、和挤出物——即填充材料,在给定的情况中,全部都具有相同的组成(因为这不受加工步骤影响)。因此,本文对于铝材料的这些阶段中的每一个阶段的组成和组成中的任选特征的任何讨论均适用于任何形式的挤出材料(即,无论原始熔体,铝条,铝挤出材料,还是HYB方法后的挤出物)——在该组成以熔体制成后。

[0085] 铝条/挤出材料/挤出物的微结构可以是变形的微结构。这可被称为纤维状微结构。此微结构可以是再结晶还未发生时的微结构,即非再结晶的微结构。

[0086] 再结晶的颗粒结构是高度不期望的,并应当避免。这是因为其可在后续的挤出和连接过程中存留并且促进焊后(即粘结)状态的挤出材料的强度、韧性和耐腐蚀性降低。

[0087] 微结构可具有变形的(伸长的)颗粒。微结构可不具有再结晶的(等轴的)颗粒。

[0088] 与相对圆润相反,微结构的颗粒可相对长且细。

[0089] 变形颗粒的长宽比可以是至少5:1。该长宽比可以是微结构中的颗粒的平均长宽比,或者其可以是微结构中的至少50%颗粒的长宽比,如例如通过光学或扫描电子显微镜测定。

[0090] 在纳米/原子级上,铝条/挤出材料/挤出物材料应包括铝基质,该铝基质其中具有弥散体并且在铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

[0091] 铝条/挤出材料/挤出物材料的纳米/原子级还可包括小铁粒子。

[0092] 铝条/挤出材料/挤出物材料的纳米/原子级可由铝基质组成,该铝基质其中具有弥散体、小铁粒子和错位,其中在铝基质中基本上所有不在弥散体或铁粒子中的合金元素都在固溶体中。

[0093] 小铁粒子的尺寸可以是上至4 $\mu\text{m}$ 的尺寸,例如其可在0.1至4 $\mu\text{m}$ 的范围内。错位的数量密度可高于 $10^{13}$ 个/ $\text{m}^2$ ,如例如利用高分辨率透射电子显微镜测定。

[0094] 合金元素的大多数在固溶体中,可意味着在铝基质中,除了弥散体形成元素和铁以外,基本上所有合金元素可以在固溶体中。例如,在铝基质中至少50%的合金元素——除了弥散体形成元素和铁以外——可以在固溶体中,如例如利用专用导电率测量测定。这意味着挤出材料/挤出物材料的最高加工硬化潜力可以利用HYB方法在随后的挤出和连接过程中实现。

[0095] 如果在铝条/挤出材料制造过程中没有进行充分的过程控制,富溶质的亚稳沉淀物在与大Fe粒子和粗糙富溶质平衡相一起冷却后可在室温下出现在铝基质中。此结构类型是高度不期望的,因为其降低了在挤出和粘结后挤出材料的加工硬化潜力、拉伸屈服强度和延展性、冲击韧性和耐腐蚀性,并应避免。

[0096] 因此,纳米结构不应含有富溶质的亚稳沉淀物、大铁粒子(即直径大于4 $\mu\text{m}$ 的铁粒子)和/或粗糙富溶质平衡相,如例如利用光学或扫描电子显微镜测定。

[0097] 挤出材料的纳米/原子结构还可包括团簇(clusters)和GP区,如例如利用高分辨率透射电子显微镜测定。这些可因室温下发生的自然老化(因为溶质原子的短程扩散)而存在。由于团簇/GP区的热稳定性低,其在挤出室内基于HYB方法的再加热容易溶解,并且因此就挤出材料的性质而言不会在HYB情况中造成问题。但是,在制造过程中可任选地发生的刮丝(丝刮削,wire shaving)和/或冷拉伸过程中,可将这些考虑在内,因为相关的屈服强度增加,影响FW合金的拉伸性。

[0098] 再到挤出材料(即填充丝)的制造路线和加工要求,制造可包括多个严格控制的步骤以确保挤出材料具有适当的微结构和物理性质以形成具有期望性质的挤出物。

[0099] 将会理解,挤出材料要求会随挤出物沉积其上的构件的性质而变,例如待连接的合金的类型和应用的操作条件。尽管如此,仍有与制造路线和加工要求相关的多个重要特征是总体上适用的并因此适用于所有挤出材料,而无论其化学组成。铝条和/或铝挤出材料的制造方法可被控制,以便确保微结构是变形的(纤维状)微结构,并且在纳米级上,材料包括具有错位和弥散体的铝基质,并且其中在铝基质中合金元素的大多数在固溶体中。

[0100] 挤出材料的制造方法可包括下列步骤中的一个或多个:熔体处理、铸造、均质化、坯料预加热、热变形(例如热挤出/热轧)、受控冷却/淬火、初次缠卷、刮削、最终冷拉伸、清洁和最终缠卷以及包装。步骤可以此顺序执行(尽管可不实施这些步骤中的一个或多个)。例如,方法可不包括在冷却和刮削步骤之间的初次缠卷步骤。另外,方法可不包括刮削或最终冷拉伸,即挤出材料可被热变形直至最终直径。可选地,方法可不包括最终冷拉伸,即挤出材料可被刮削直至达到最终直径。

[0101] 每个步骤可由不同的方面(party)执行。例如,熔体处理、铸造、均质化、坯料预加热、挤出、冷却和/或初次缠卷中的一个或多个步骤(如果其被执行)可由第一方执行,如铝金属生产者。这些步骤可被执行以形成铝条,该铝条用于生产铝挤出材料,例如填充丝,用于混合金属挤出和粘结方法,该混合金属挤出和粘结方法可用于例如连接两个铝构件或将挤出物沉积在构件上。刮削、最终冷拉伸、清洁和缠卷以及包装中的一个或多个步骤(如果其被执行)可由第二方如铝丝制造者执行,以制造铝丝,用于混合金属挤出和粘结方法,该混合金属挤出和粘结方法可用于例如连接两个铝构件或将挤出物沉积在构件上。

[0102] 生产铝条可涉及熔体处理、铸造、均质化、坯料预加热、热变形和/或冷却/淬火。这些步骤可由铝金属生产者执行。在这些步骤后,铝条可被缠卷并运输到第二方,以从铝条形成丝,即挤出材料,用于HYB方法。

[0103] 坯料可被热变形至挤出材料的最终直径。因此,坯料可直接形成挤出材料,以便该条无需被缠卷和运输到第二方以进一步加工。

[0104] 制造铝挤出材料可包括接收铝条,刮削和冷拉伸铝条(如果该条还不是恰当的直径)以形成用于挤出的丝。在冷拉伸后,挤出材料,例如填充丝,可被清洁,然后缠卷和包装。然后挤出材料可被运输至第三方,用于HYB方法。

[0105] 术语“坯料”可涵盖任何半成铸造产品,如锭(ingot)、方坯(bloom)、板(slab)、坯料等。

[0106] 转而再到这些步骤中的每一个,熔体处理可根据最佳工业实践进行。熔体可由直接来自熔炉的原铝生成。这从而可以保证终产物中低含量的包含物和杂质元素。优选由原铝,而非由再循环的废金属,形成熔体。这是因为来自废金属的过量铁可对挤出物材料性质不利。来自废金属的过量铜也可对性质,尤其对挤出物材料耐腐蚀性,不利。因此,除属于2xxx系列的Al-Cu合金,用于挤出材料生产的所有其它合金应当低铜并且具有小于0.05wt%的Cu含量。

[0107] 铝熔体尤其含有低水平的铁和铜是非常重要的。这是因为精炼熔体以去除这些元素是不可能的。

[0108] 为提供恰当的组成,在挤出材料合金详述中陈述的不同合金元素可以恰当的和顺序被添加到清洁的基础熔体。首先,主要合金元素可被添加到原熔体,然后次要合金元素,然后颗粒细化剂(如被使用)。

[0109] 在挤出材料合金详述中陈述的合金元素可根据最佳的工业实践以恰当的和顺序来添加。

[0110] 可用于防止后续热机械加工过程中发生再结晶的弥散体形成元素,Mn、Cr、Zr和Sc,在此阶段被添加。如上所述,根据挤出材料详述,合金中这些次要合金元素的期望水平应在下列限制内,即Mn在0至1.2wt%之间,Cr在0至0.25wt%之间,Zr在0至0.25wt%之间,和Sc在0至0.25wt%之间。

[0111] 颗粒细化剂也可在铸造操作前刻被添加到熔体中(例如AlB<sub>2</sub>或TiB<sub>2</sub>)以精炼铸造后的微结构。这些颗粒细化剂仅可在如下情况下被添加:已证实颗粒细化剂成分对终产物性质(例如,挤出材料表面质量和挤出物拉伸延展性和冲击韧性)没有负面影响。其在实际生产或连接情况中是否实际上有害可取决于应用的颗粒细化实践。当熔体已经含有Zr和/或Sc时,可认为使用另外的颗粒细化剂是多余的,因为这两种次要合金元素也可由于Al<sub>3</sub>Zr和Al<sub>3</sub>Sc化合物形成而在凝固过程中充当颗粒细化剂。已知两相均提供有利于在前进到固/液界面之前新铝颗粒异相成核的位点。

[0112] 在熔体处理后,可进行铸造操作以形成铝坯料或锭。铸造操作可根据最佳工业实践进行。

[0113] 铸造方法可以是连续或半连续的铸造方法。铸造方法可以是直接冷(DC)铸。这种铸造操作可产生用于挤出材料生产的挤出坯料和/或轧锭。

[0114] 铸造铝可以是高质量的坯料或锭,即其应满足关于铸造缺陷——如偏析、多孔和

热裂——的最严格的工业耐力要求(例如Hydro或Alcoa标准)。

[0115] 这些铸件的尺寸必须或可以足够大以实现在随后热机械加工过程中需要的缩减比例。期望的尺寸将取决于挤出材料的期望最终尺寸和待执行的加工步骤。将被热挤出的坯料的尺寸与将被热轧的坯料相比所需较大。

[0116] 例如,在用于铝条制造的热挤出中,最小面积缩减可以是至少10:1。在热轧中,面积缩减可以是至少5:1。

[0117] 由于通常认为在热形成过程中使用高缩减比例对终产物性质有益,无需规定面积缩减的上限。

[0118] 铸造铝坯料可被均质化。铸造后坯料或锭的均质化可根据最佳工业实践进行。

[0119] 均质化处理的主要目的是通过下列精炼铸件的微结构:(i) 消除或最小化微偏析,(ii) 改进在凝固过程中形成的、合金中的有害的Fe负载成分,(iii) 溶解结合溶质并且使铝基质的合金元素流失的所有平衡相,以及(iv) 通过弥散体形成元素Mn、Cr、Zr和Sc促进弥散体形成。

[0120] 在热处理过程中,可实施严格控制均质化温度以避免局部熔融或微结构通过扩散的而不充分精炼。

[0121] 均质化温度将取决于铝坯料或锭的合金组成。均质化时间将取决于坯料或锭的尺寸。

[0122] 均质化温度可居于坯料/锭的铝合金的通过平衡相图限定的固相线温度和溶线温度之间。均质化温度可居于坯料的铝合金的通过平衡相图限定的固相线温度和溶线温度之间,并且与固相线温度相比更接近溶线温度。这可导致合金中弥散体的更精细分布。

[0123] 例如,在Al-Mg-Si合金情况中,均质化可在受控的加热和冷却条件下在530至580℃温度范围内进行2至4小时。如果挤出材料生产中使用的Al-Mg-Si合金的后续热机械加工过程中的再结晶是一个问题,那么预防措施可使含有弥散体形成元素Mn和Cr的合金在530至540℃——而非570至580℃——均质化。这可导致弥散体在合金中的更精细分布。

[0124] 如果合金已经含有弥散体形成元素,均质化实践中的细小调整可足以防止再结晶发生——甚至在需要热变形条件过程中。

[0125] 为生产铝条,可使坯料或锭热变形,如热挤出或热轧。

[0126] 坯料或锭可在热变形之前被预加热。

[0127] 在热变形之前的坯料或锭预加热可根据最佳工业实践进行。

[0128] 预加热可利用气体加热或感应加热来实现。

[0129] 感应加热可以是有利的,因为其提供高加热速率(高于气体加热)并且可允许预加热在热变形前在最短可能时间内完成。

[0130] 加热尽可能快是有利的,从而可防止之前在均质化过程中溶解的相再沉淀。如果再沉淀发生,这可导致在热变形步骤中局部熔融发生。这可导致在挤出后的产品中由于撕裂和剥落而形成表面缺陷和裂纹。这种表面缺陷和裂纹可使后续加工——如刮丝和拉丝(丝拉伸,wire drawing)——困难。

[0131] 再次用Al-Mg-Si合金为例,热挤出坯料的预加热温度可一般为440至490℃。预加热时间可在5至45分钟之间——取决于坯料的直径和应用的加热方法。

[0132] 关于在用于HYB方法的挤出材料的制造中使用的铝坯料或锭,可旨在最短可能预

加热时间。

[0133] 坯料/锭可被挤出或热轧。

[0134] 热轧或挤出可用于生产适当长度和直径的铝条,该铝条适于后续的刮削和拉丝。可选地,热轧或挤出可用于生产期望直径的铝条,用于最终的挤出材料,即坯料可被热变形以直接生产最终的挤出材料或至少恰当尺寸的挤出材料。因此,在此提及形成铝条可涵盖形成挤出材料尺寸的铝条。

[0135] 挤出可比热轧优选,条件是可以实现期望的条(rod)质量,但是任一方法都可以用于形成铝条。

[0136] 优选的制造方法,尤其是应用的热变形方法,可取决于组成。例如,对于Al-Mg-Si和Al-Zn-Mg合金,热挤出可以是优选的,然而对于一些Al-Cu和Al-Mg合金,热轧可以是较好的。这是因为某些铝合金可具有低可成形性,这可使得挤出困难。

[0137] 热变形(例如,挤出和/或热轧)可进行以确保生产的铝条具有对于后续加工如刮丝和拉丝而言恰当的直径。

[0138] 根据合金的具体类型和预期挤出材料直径,热变形条的直径可以是1至3mm。

[0139] 热变形铝条的直径可以是预期填充丝的直径的约1.5至2倍,或多于2倍。

[0140] 但是,如果拉丝可选地在若干步骤中进行,更大直径也可以是容许的。在拉丝在多个步骤中进行的情况下,这可与软退火结合。

[0141] 在本文中,软退火可意指在合金的通过相图限定的平衡溶线边界以下的高温热处理。这种热处理可目的在于在此前的冷拉伸步骤之后、在继续下一个步骤之前增加合金的延展性。如果应用了软退火,则挤出材料合金的全溶体(full solution)热处理可作为最后步骤进行,以确保所有合金元素都回到固溶体中。

[0142] 当坯料被热挤出时,可根据最佳的工业实践选择对于合金组成和缩减比例的选定组合而言恰当的挤出(即,冲头或转轮)速度,从而防止模具区(die region)中铝的过热。这是因为过热可导致局部熔融并且造成在挤出后的产品中由于撕裂和剥落而形成表面缺陷和裂纹。在本文中,最佳的工业实践意指,根据对坯料组成的了解、热挤出过程中的坯料温度和/或应用的缩减比例,仔细选择冲头或转轮速度。这种选择可基于以所谓的挤出限制图表形式可获得的经验数据。

[0143] 在其中在某些情况下局部温度可增加上至约600°C的热挤出过程中,所有合金元素(除了被结合在大Fe负载成分或小亚显微弥散体中的那些)可在固溶体中。

[0144] 如果在挤出过程中应用的缩减比例(即原始横截面积:最终横截面积)足够高(即高于约10:1),则涉及的变形力可大到足以使均质化后仍存在于合金中的Fe负载成分分解并使其均匀分散在铝基质内。

[0145] 这可使得Fe粒子对性质的不利较少,这进而可以增加最终挤出物的延展性、韧性和耐腐蚀性。另一方面,在尺寸显著更小的弥散体(一般在0.1微米的数量级,例如0.01至0.5 $\mu\text{m}$ 之间)可不受塑性变形显著影响。

[0146] 由于热挤出过程中涉及的高温和塑性应变,存在合金再结晶的风险,除非其含有精细分布的弥散体。从挤出物材料强度和耐腐蚀性角度看,这种再结晶都是不期望的,并应避免。因此,用于生产用于HYB方法的挤出材料的所有合金都应含有至少0.05wt%的弥散体形成元素,如Mn、Cr、Zr或Sc,并且同时根据最佳工业实践被均质化,以使弥散体形成元素的

潜力通过沉淀呈现出来。

[0147] 如果进行热轧,可实施对温度、轧制计划(rolling schedule)和微结构演化的严格控制,理由与关于热挤出上述的理由相同。

[0148] 再次,为防止在形成操作过程中发生再结晶,用于生产用于HYB方法的挤出材料的轧锭应含有至少0.05wt%的弥散体形成元素Mn、Cr、Zr或Sc。同时,它们应根据最佳工业实践被均质化,以使其潜力通过沉淀呈现出来。

[0149] 热轧通常可利用具有依次变小的张口的轧机(roll)在若干步骤中进行。

[0150] 在热变形过程中,坯料/铝条的温度可被控制,以便其保持在合金的通过相图限定的平衡溶线以上。

[0151] 如果坯料/铝条的温度落到溶线温度以下,则结合溶质并且使铝基质的合金元素流失的平衡相和亚稳相可开始形成。这种沉淀可有害于挤出材料终产物性质,因为其可降低加工硬化潜力和减低挤出物材料强度和耐腐蚀性。

[0152] 在热变形之后,铝条可淬火,即迅速冷却。

[0153] 这种淬火可允许主要合金元素保留在降至室温(RT)的固溶体中。这是因为合金含有弥散体,该弥散体使其淬火敏感。

[0154] 当温度下降到特定水平(例如500°C)以下时,弥散体可在冷却过程中充当不同类型的富溶质亚稳相的有效异相成核位点。这些亚稳相的形成使周围的铝基质的溶质流失,并因此可降低挤出材料的加工硬化潜力和减低挤出物材料强度。

[0155] 已发现,一旦这种亚稳相在铝合金内形成,溶质流失可在HYB方法的后续挤出和粘结过程中以加速方式继续。这是因为其可以通过扩散增长,这可导致挤出物材料强度和加工硬化潜力进一步损失。

[0156] 为试图防止这种情况,可在热变形条离开变形装置(例如,挤出模具或轧机张口)后立即应用热变形条的受控冷却。这种冷却可利用强制通风、水喷雾或两者的结合来实现。为避免这些富溶质的稳定相和亚稳相在冷却过程中沉淀,冷却速率可在7至50K/s的范围内。

[0157] 在淬火后,铝条应该具有变形型微结构并且在纳米/原子级上具有铝基质,该铝基质具有错位和弥散体并且在该基质中合金元素的大多数在固溶体中。纳米结构还可包括小铁负载粒子(直径小于约4 $\mu\text{m}$ ),但不含上述不利稳定相和亚稳相。

[0158] 如果在铝条/挤出材料制造过程中没有进行充分的过程控制,富溶质的亚稳沉淀物可在与大Fe粒子(直径大于约4 $\mu\text{m}$ )和粗糙富溶质平衡相一起冷却后在室温下反而出现在铝基质内。这种类型的结构是高度不期望的,因为其可在利用HYB方法的后续挤出和粘结后降低挤出物的加工硬化潜力、拉伸屈服强度和延展性、冲击韧性和耐腐蚀性。

[0159] 在受控冷却后,可将缠卷铝条。在被缠卷后,铝条可以在进一步加工形成挤出材料前被储存和/或运输。铝条可被送到制丝者(wire manufacturer)以进一步加工。

[0160] 在长期室温储存过程中,在进一步加工如刮丝和拉丝(如执行)之前,合金的纳米结构和原子结构可因团簇和GP区形成而改变。此现象被称为自然老化(NA),可例如发生在Al-Cu、Al-Mg-Si和Al-Zn-Mg合金中。此过程因溶质原子的短程扩散而在室温下发生在合金中。由于团簇/GP区具有低热稳定性,其在挤出室内可基于再加热容易溶解,并且因此不在HYB情况中导致问题。但是,这些纳米结构应该在刮丝和冷拉伸(如执行)过程中被考虑在

内。这是因为这些纳米结构增加屈服强度,这可以影响挤出材料合金的拉伸性。

[0161] 如WO 2013/095160中所述,挤出材料丝直径应基于用于HYB方法的挤出室的线性尺寸来选择。例如,丝直径可比挤出室的宽度大约7%。同时,挤出室的横截面积可比丝的横截面积大约10%以防止铝堵塞挤出室。

[0162] 因此,可期望丝沿其长具有近似恒定的横截面形状/直径。

[0163] 直径可具有 $\pm 0.02\text{mm}$ 的公差。

[0164] 这可通过如下实现:将条拉伸以形成挤出材料,对条刮削以形成挤出材料或使坯料热变形以形成挤出材料。

[0165] 已经发现,拉丝可比挤出或轧制提供更均匀的产品形状和直径。例如,在通过拉伸制造 $\Phi 1.6\text{mm}$ 铝丝中,最佳工业实践意味着 $1.6\text{mm} (+0.0/-0.02)$ 的几何公差限制。这在HYB方法中是完全可接受的。

[0166] 如上所述,在HYB方法的挤出和粘结过程中不可发生材料周围氧化层的表面膨胀和随后的分解。因此,经由挤出材料合金带来的所有污染可以不可避免地最终存于粘结界面,例如待连接的两个铝构件之间的坡口中,并且降低界面粘结强度。

[0167] 为防止这种情况发生,可在使用前进行挤出材料的刮削和/或清洁。根据特定情况,如用于将挤出材料挤出的工具,刮削和/或清洁步骤不是必需的。

[0168] 刮丝可在拉伸操作之前完成。例如,刮丝可去除 $0.05$ 至 $0.5\text{mm}$ 、或多于 $0.5\text{mm}$ 的表层。该表层可以是被污染的表层。

[0169] 刮丝和/或拉丝(如果执行这些步骤)可在多个步骤中完成。这可具有或可不具有中间热处理,如退火。

[0170] 丝清洁可在拉伸之后进行。清洁可以是挤出材料被缠卷和包装之前的最后步骤。

[0171] 挤出材料(例如,填充丝)的表面可以是光滑的,并且基本没有裂纹和污染物。

[0172] 在最终拉伸阶段之后、缠卷和包装之前,可从表面适当地去除所有润滑剂,如通过清洁操作。

[0173] 包装可包括将缠卷的挤出材料包装在真空包装内。这可避免污染物吸附到丝表面上。

[0174] 如被执行,刮丝和拉丝可在一个操作中冷温完成,而不应用中间热处理,如软退火。

[0175] 方法可仅包括一个拉伸步骤。由此,总拉伸比(即,原始横截面积除以最终横截面积)可低于熔焊中使用的一般填充丝。例如,拉伸比可以是约 $2:1$ 至 $1.2:1$ 。如果使用更高的拉伸比,则可发生丝的开裂或断裂。丝的高加工硬化潜力——受益于固溶体中高水平的合金元素——可在后续的拉丝阶段(如执行)中降低开裂和断裂的风险。

[0176] 拉伸比可高于约 $2:1$ ,尤其是在拉伸在多个步骤中进行的情况下。

[0177] 因此,在HYB挤出材料的制造中使用的铝条的初始直径可较小,例如在 $1$ 至 $3\text{mm}$ 之间,以有利于在一个操作中刮削和拉伸。在HYB挤出材料的制造中使用的铝条可大于 $3\text{mm}$ 。

[0178] 根据挤出机的尺寸和填充材料将要填充的接头的尺寸或待沉积的材料的期望体积,挤出材料丝可具有约 $0.6$ 至 $2\text{mm}$ 的直径,例如,丝直径可以是约 $1\text{mm}$ 或约 $1.6\text{mm}$ 。这可以是WO 2013/095160中描述的挤出装置的变型的丝直径。

[0179] 挤出或轧制比(原始横截面积除以最终横截面积)可显著大于拉伸比。例如,挤出

比可比拉伸比大至少5倍,并且轧制比可比拉伸比大至少2倍。这是因为在用于HYB方法的挤出材料的情况中,可期望挤出比或轧制比相对高,以使铝基质中大的沉淀物分解。相比之下,可期望拉伸比相对低,因而拉伸可单程进行,以避免退火的需求,退火可不利于合金的微结构或纳米结构。

[0180] 一般,在用于熔焊的填充丝的生产中,该丝经历多个拉伸步骤,并在这些拉伸步骤之间进行软退火。由于结构识别性将在重熔融后丧失,软退火的应用对于填充丝性质来说不是关键的——当其用于熔焊时。因此,对于这种熔焊填充丝来说,这可能是最有效的生产方法。

[0181] 但是,由于软退火通常在合金的平衡溶线温度以下进行,其不可避免地导致材料内不同的富溶质稳定相和亚稳相再沉淀。如上所述,这在HYB方法的情况中对于挤出材料(即填充丝)/挤出物(即填充材料)性质来说可以是毁灭性的,并应避免。

[0182] 因此,在第八方面,本发明可提供制造用于混合金属挤出和粘结过程(如用于连接两个铝构件)的挤出丝的方法,方法包括:提供铝条;在不应用中间软退火的情况下,在一个操作中冷刮削和拉伸该铝条,以生成挤出丝。

[0183] 在第九方面,本发明可提供制造用于混合金属挤出和粘结过程(如用于连接两个铝构件)的挤出丝的方法,方法包括:热挤出铝坯料以提供铝条;和拉伸该铝条以形成挤出丝,其中挤出比比拉伸比大至少5倍,例如5至10倍。

[0184] 在第十方面,本发明可提供制造用于混合金属挤出和粘结过程(如用于连接两个铝构件)的挤出丝的方法,方法包括:热轧铝坯料以提供铝条;和拉伸该铝条以形成挤出丝,其中轧制比比拉伸比大至少2倍,例如2至5倍。

[0185] 这些方面仅在制造方法包括冷刮削和拉伸、热挤出和拉伸和/或热轧和拉伸的情况下适用。

[0186] 这第八、第九和第十方面的发明每一项均可包括上述任一方面中的特征中的一个或多个,包括任选特征中的一个或多个。

[0187] 例如,铝条可以是本发明第二方面铝条,并且其可根据本发明第六方面来制造。

[0188] 在上述任一方面中提及的铝挤出材料/填充丝也可根据本发明的第八、第九和/或第十方面的方法来制造。

[0189] 如果刮丝和拉丝不能根据本发明的第八方面在一个操作中完成,则取而代之可在最后的软退火步骤(如进行)后进行全溶体热处理(full solution heat treatment),以使挤出合金的结构和性质恢复到如上所述。

[0190] 由于用于熔焊的填充丝将因重熔融而完全丧失其结构识别性,其制造没有被优化以获得对于最终焊接金属性质至关重要的具体结构。在熔焊(例如,金属惰性气体(MIG)或激光焊接)中,填充丝和焊接金属之间保持的唯一重要“性质”是化学结构/组成。相比之下,在HYB方法中,挤出丝还在Al基质内嵌入了所有已经过的制造步骤的强结构记忆,该结构记忆在随后的挤出和粘结过程中被传递给挤出物材料。这种已经过的生产步骤的“结构记忆”意味着制造路线和组成/化学结构不同于熔焊填充丝的生产中所用的那些。

## 附图说明

[0191] 现在将仅作为实例参考附图描述本发明的某些优选实施方式,在附图中:

- [0192] 图1是通过HYB方法形成的接头的示意图；
- [0193] 图2a和b是用于实验室测试的两个实验AA6xxx挤出丝的微结构的显微照片；
- [0194] 图3是一个纳米结构的示意图；
- [0195] 图4是另一纳米结构的示意图；
- [0196] 图5a是再另一纳米结构的示意图；
- [0197] 图5b是FW合金强度vs RT储存时间 $\log t$ 的图；
- [0198] 图6是示出制造路线的示意图；
- [0199] 图7a、b和c示例了可能的热变形方法；
- [0200] 图8a至e示出了实例接头和其强度水平的示意图；和
- [0201] 图9是属于相同的6xxx系列的不同铝级别之间Si和Mg含量重叠的图解表示。

### 具体实施方式

[0202] 通过混合金属挤出和粘结 (HYB) 方法形成的接头1在图1示出。接头1通过在两个铝构件2之间挤出填充丝以形成填充材料4而形成,如WO 2003/04775所述。

[0203] 如下文更详细讨论,填充丝可通过刮削和拉伸铝条来生产。

[0204] 填充丝还可用于将所得挤出物粘结到基件(即构件)的表面上。因此,填充丝不一定必须填充两个构件之间的间隙,而是可被沉积在构件的表面上。因此,填充丝还可更笼统被称为挤出材料。将挤出材料称为填充丝不意味着其必须被挤出到两个构件之间,而沉积在构件表面上的挤出材料可以同等被称为填充材料。

[0205] 在填充丝用于连接两个铝构件的情况中,HYB方法中使用的填充丝应是铝构件2的至少一种铝合金属于相同系列的铝合金。

[0206] 如果填充丝用于将铝构件连接至非铝构件或用于将层沉积在铝构件上,则HYB方法中使用的填充丝可以是与铝构件的铝合金属于相同系列的铝合金。

[0207] 填充丝的组成应含有0至0.25wt%的铁;至少0.05wt%的弥散体形成元素,其中弥散体形成元素包括0至1.2wt%的锰、0至0.25wt%的铬、0至0.25wt%的锆和0至0.25wt%的钽;和,除了当铝填充丝的铝合金属于2xxx系列时,0至0.05wt%的铜。

[0208] 鉴于被连接的接头1(或涂覆有挤出物的构件)和最终产品的目的应用,可选择组成中的其它组分,从而为最终填充材料4提供适当的性质。

[0209] 填充丝应具有如图2a示出的变形(纤维状)微结构。该微结构不应是如图2b示出的再结晶微结构。图2a和2b是两个实验AA6xxx填充丝的微结构的显微照片。显微照片右下角的尺度示出了500 $\mu\text{m}$ 的长度。

[0210] 应控制填充丝的组成和生产,以便实现图2a的变形微结构,而非图2b的再结晶微结构。对于用于制备接头1的铝填充丝和最终填充材料4的铝条也是如此。

[0211] 在纳米级上,填充丝/铝条/填充材料的铝合金应包括铝基质6,铝基质6中具有弥散体8、小铁粒子10(例如,小于4 $\mu\text{m}$ )和错位12,如图3中示意性显示。在铝基质6中合金元素的大多数应在固溶体中。

[0212] 纳米结构应不含亚稳相14、大铁粒子16(例如,大于4 $\mu\text{m}$ )和平衡相18。这是因为这些特征会减少固溶体中的合金元素量和不利地使铝合金的物理性质退化。图4示意性示出了不期望的纳米结构。

[0213] 铝填充丝的微结构和纳米结构非常重要,因为填充丝在HYB方法中不被熔融,因此填充丝的微结构和纳米结构将影响填充材料的微结构和纳米结构。这进而将大幅影响通过HYB方法制备的最终接头1的性质。

[0214] 如果铝合金留置在室温下(这可以是在铝条和填充丝生成之间的情况),其会自然老化并形成团簇和GP区20,如图5a示意性显示。

[0215] 图5b是x轴为填充丝合金强度并且y轴为 $\log t$ 表示的室温储存时间的图,如图5b所示,随着这些团簇和GP区形成,合金强度会增加。然而,这不会对HYB方法造成问题,因为填充丝的后续挤出过程中的高温会导致团簇和GP区20溶解回铝基质6中,这应该被考虑在铝合金进一步加工形成铝填充丝之内。

[0216] 图6示意性示出了利用热挤出制造填充丝的制造方法。但是,其它热变形方法如热轧可代替热挤出进行。

[0217] 方法可包括熔体处理22。原铝可由熔炉直接提供。这将有助于确保杂质如铁和铜的含量处在可接受的水平。合金元素,如弥散体形成元素,被添加至熔体,以形成期望的组成。颗粒细化剂,如 $AlB_2$ 和 $TiB_2$ ,也可被添加至熔体。这些可在铸造前刻被添加。

[0218] 然后,铝熔体可以被铸造24,以形成铝坯料或锭。这可通过直接冷铸进行。

[0219] 然后,坯料可被均质化26。均质化温度将取决于坯料的组成,但其可在合金的溶线温度和固相线温度之间。均质化温度可更接近溶线温度,而非更接近固相线温度,因为这可造成弥散体的更精细分布。

[0220] 然后,坯料可被预加热28,并且这可通过感应加热进行。坯料被预加热的温度将取决于铝合金的组成。

[0221] 然后,坯料可被热变形30,以形成铝条,该铝条可用于形成填充丝。该热变形步骤30可通过热挤出(如图7a或7b所示例)或热轧(如图7c所示)实现。

[0222] 图7a示出了容器102中的坯料100。通过冲头106的作用,坯料100被驱动通过模具104,以形成铝条108。

[0223] 图7b示出了坯料/原料110被转轮112驱动通过桥台(abutment)114和桩靴(shoe)116之间的模具,以形成铝条118。

[0224] 图7c示出了在两个辊120之间轧制的铝条122。

[0225] 挤出比(原始面积/最终面积)可以是至少10:1,并且轧制比(原始面积/最终面积)可以是至少5:1。在变形形成铝条后,铝合金就可淬火32。然后淬火条可在进一步加工形成填充丝之前被缠卷34以储存和运输。这些步骤22至34(以实线箭头示出)可由铝金属生产者进行。

[0226] 为形成填充丝,铝条可被刮削36和拉伸38。刮削36和拉伸38可在一个操作中冷温进行,而不应用中间热处理,如软退火。这可确保最终的填充丝具有适当的微结构,而不利用不利的软退火和/或耗财和耗时的热处理来修复此前软退火导致的结构损伤。拉伸比(原始面积/最终面积)可以是约2:1至1.2:1,或更高。

[0227] 挤出比比拉伸比大大约5至10倍,轧制比比拉伸比大大约2至5倍。

[0228] 填充丝的表面应是光滑的且没有裂纹。这是为了最小化污染物陷在填充丝表面的风险,陷在填充丝表面的污染物然后可负面影响最终接头1的质量,尤其是界面粘结强度。

[0229] 在拉伸38后,该丝可被清洁40,然后缠卷和包装42。该丝可被包装在密封的真空包

装环境中。这试图使填充丝保持在适当的状态下(例如表面上没有污染物)以用于HYB方法。步骤36至42(以虚线箭头示出)可由铝填充丝制造者进行。

[0230] 填充丝设计者可知道对于HYB方法其所需要的组成和微结构/纳米结构。有此信息,可相应地调节加工步骤,以允许生产期望的填充丝。

#### [0231] 实施例

[0232] 实例接头1在图8a至e中示出。这些实例示例了根据本发明的具有具体组成的定制填充丝对属于相同合金系列的不同Al-Mg-Si板的对接做出如何响应。

[0233] 每个示意性接头上方的图线示例了与被连接的构件相比接头的相对强度。

[0234] 在图8a、8b和8c的实例中的每一个中,呈现填充丝组成居于图9所示AA6082的组成窗的右上角内,即组成中的镁和硅含量相对高。此外,填充丝纳米结构是图5a示例的纳米结构。适当的填充丝合金命名则是AA6xxx-A级,其中A级意指填充丝的Si和Mg高。

[0235] 图8a中的实例示出了利用AA6xxx-A级作为填充丝的两个AA6082-T6基础板的对接。

[0236] T6硬度命名意指被连接的铝构件的材料在连接前被人工老化至峰值强度。因此,当在连接操作中使用匹配的填充丝时,应实现整个接头的“均匀强度水平”,如图8a所示。

[0237] 图8b中的实例示出了利用AA6xxx-A级作为填充丝的AA6082-T7基础板的对接。

[0238] T7硬度命名意指同样的、被连接的铝构件的材料在过度老化条件下使用。因此,其强度低于图8a实例中的T6热处理基础板的强度。相应地,在连接后,填充材料的强度将高于基础金属的强度,如图8b所示,被称为填充材料过度匹配(over-match)的状态。

[0239] 图8c中的实例示出了利用AA6xxx-A级作为填充丝的AA6060-T6基础板的对接。

[0240] 合金命名AA6060意指铝构件的这种基础材料与AA6082相比具有较低含量的主要合金元素Si和Mg(见图9)。因此,其峰值强度将低于图8a实例中的T6热处理基础板。因此,在这种情况下中也实现了填充材料过度匹配的期望程度,如图8c所示,尽管填充丝合金组成与图8a和8b的其它两个实例相同。

[0241] 图8d和e示出了具体填充丝的可能用于连接不相似的铝合金的实例。

[0242] 在这两个实例中,填充丝组成均呈现居于图9中的AA6060的组成窗的中部内。此外,填充丝结构呈现与图5a示出的结构相似。适当的填充丝合金命名则是AA6xxx-B级,其中B级意指填充丝的Si和Mg低。

[0243] 图8d示出了利用AA6xxx-B级作为填充丝的不相似的AA6082基础板(左手侧为AA6082-T6,右手侧为AA6082-T7)的对接的实例。

[0244] T6硬度命名意指图8d中不相似接头的左手侧的基础材料在连接前被人工老化至其峰值强度,而T7硬度命名意指另一个基础板取而代之在过度老化状态下使用。因此,当在连接操作中使用与最软基础金属匹配的强度的填充丝时,接头强度会从初始的T6值下降到较低的T7基础材料强度,如图8d所示。

[0245] 转到图8e,其示出了将左手侧的AA 6082-T6与右手侧的AA 6060-T6的连接,合金命名AA 6082意指这种基础材料与AA 6060相比具有较高含量的主要合金元素Si和Mg(参见图9)。因此,其峰值强度将高于T6热处理AA 6060基础材料。相应地,在利用与前述实例相同的填充丝连接后,填充材料强度会落在这两个基础板强度之间,如图8e所示。

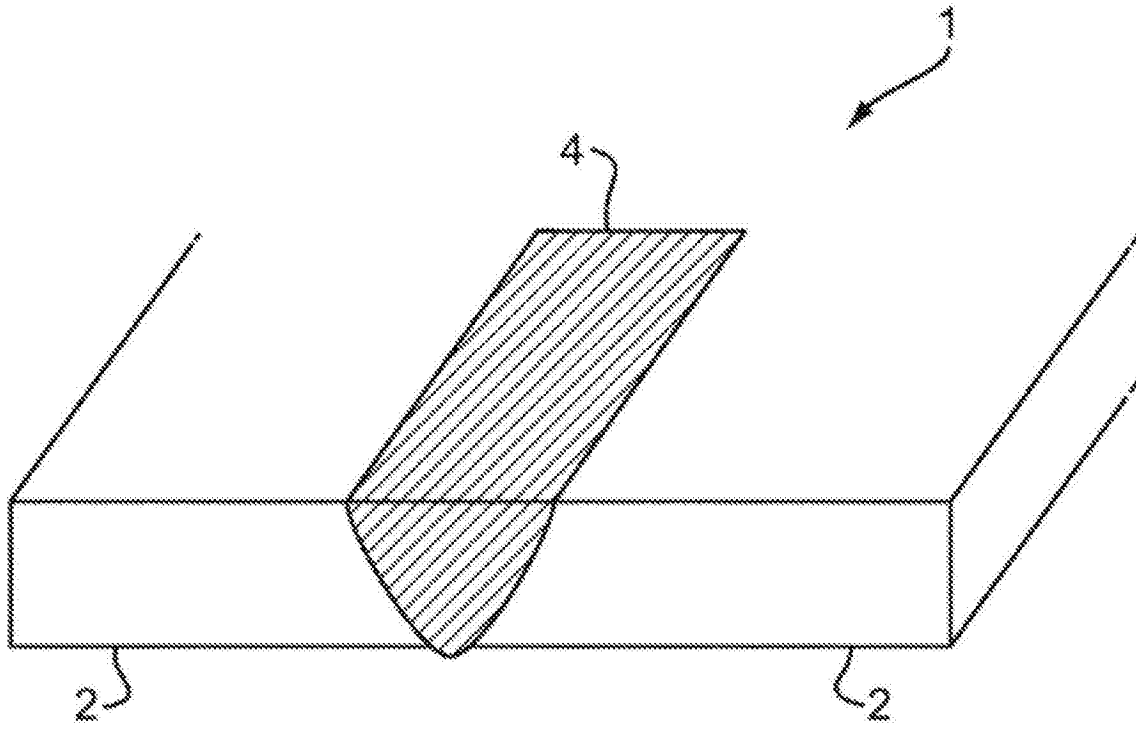


图1

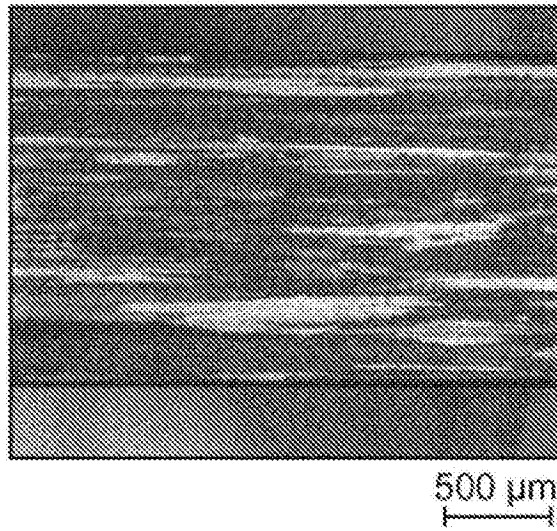


图2(a)

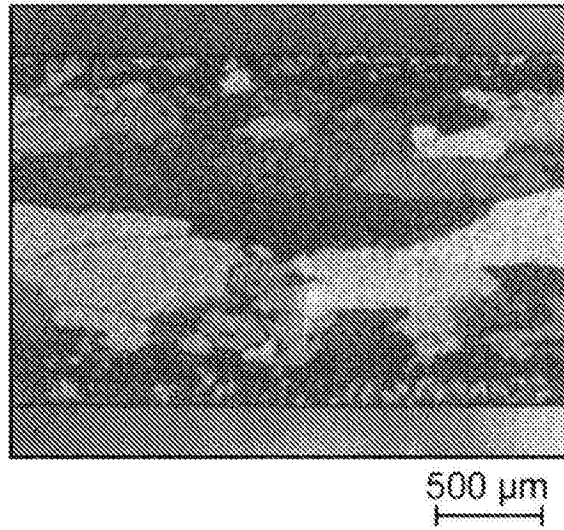


图2 (b)

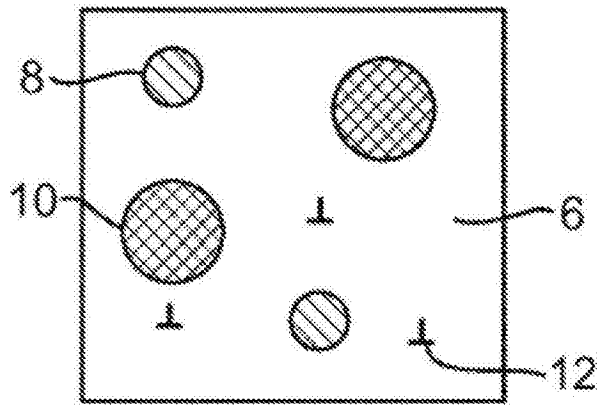


图3

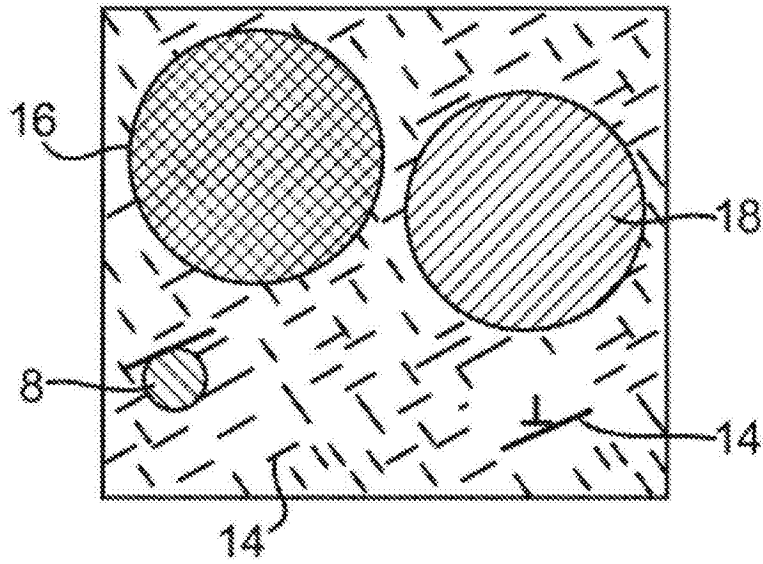


图4

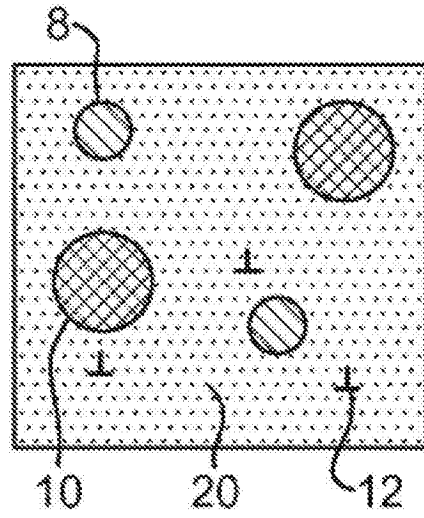


图5a

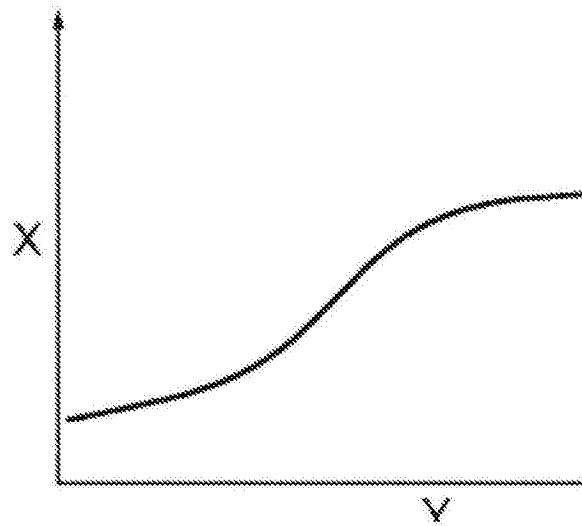


图5b

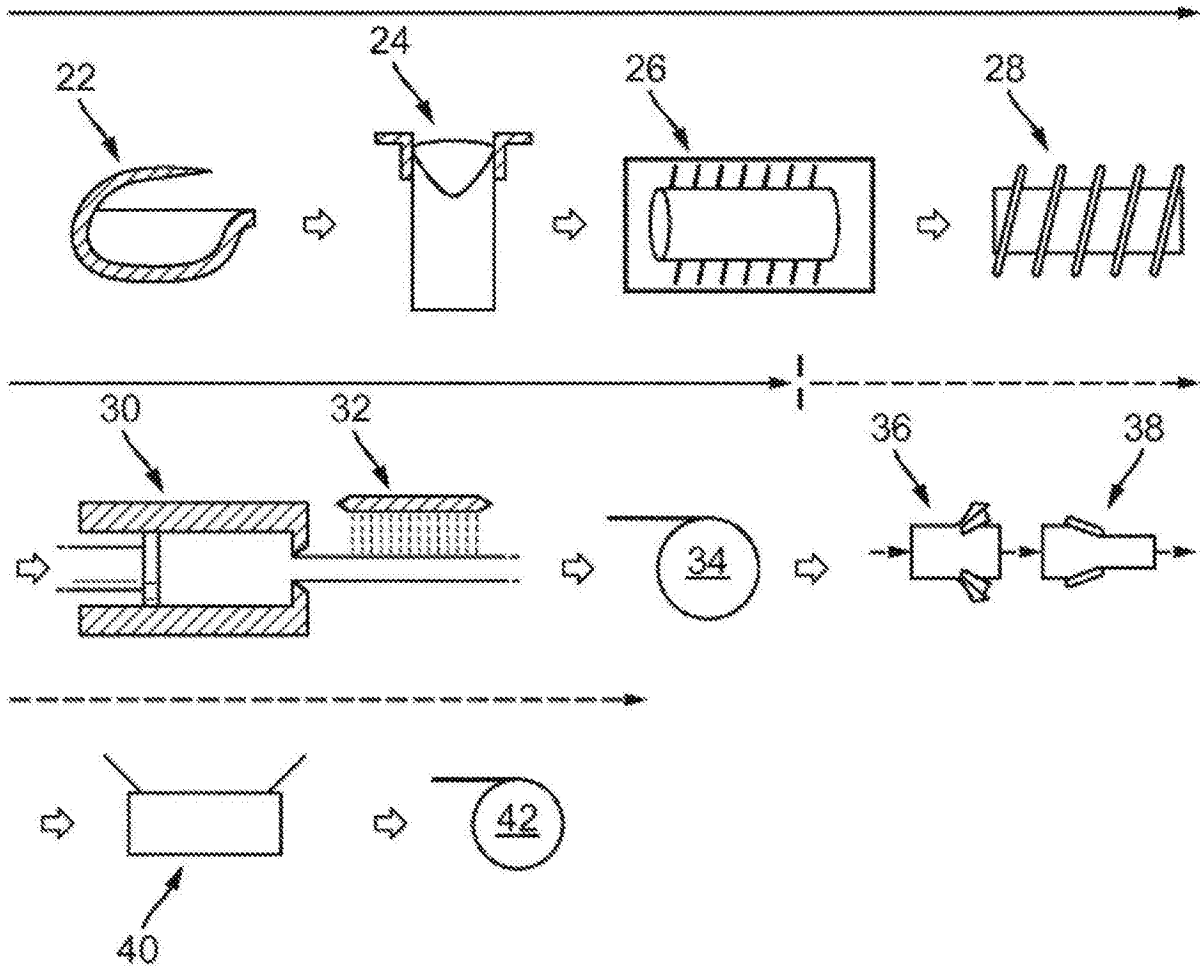


图6

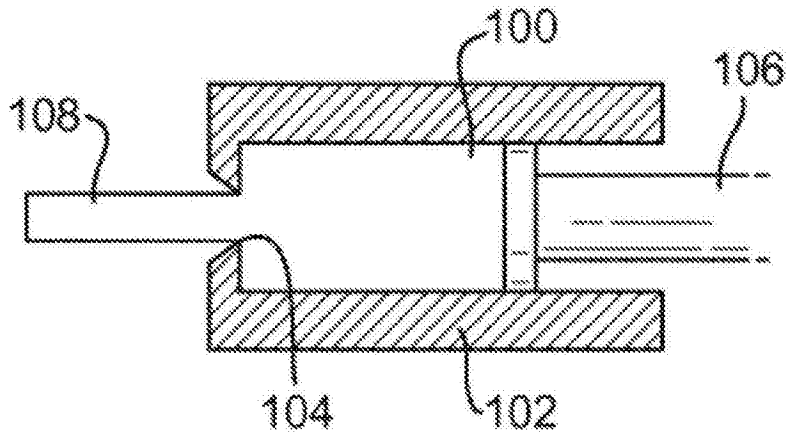


图7 (a)

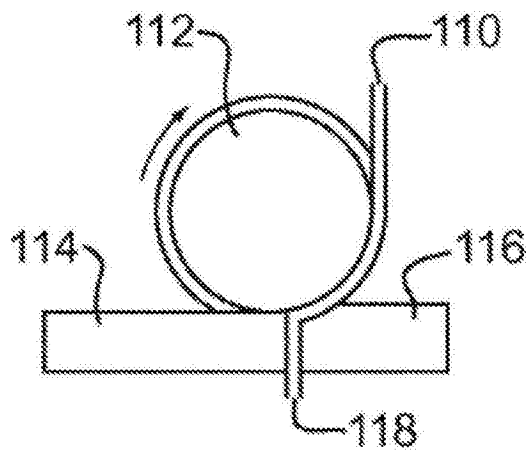


图7 (b)

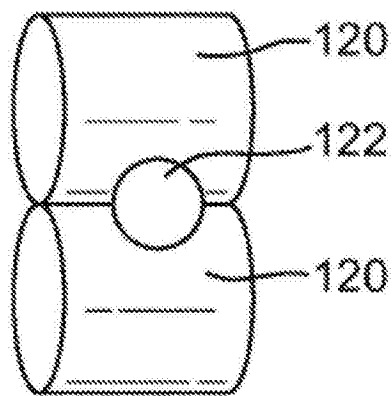


图7 (c)

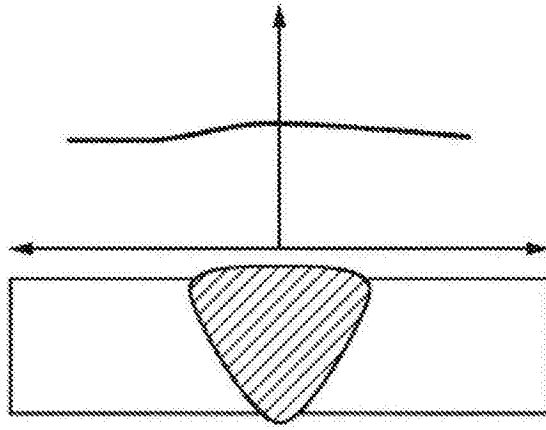


图8 (a)

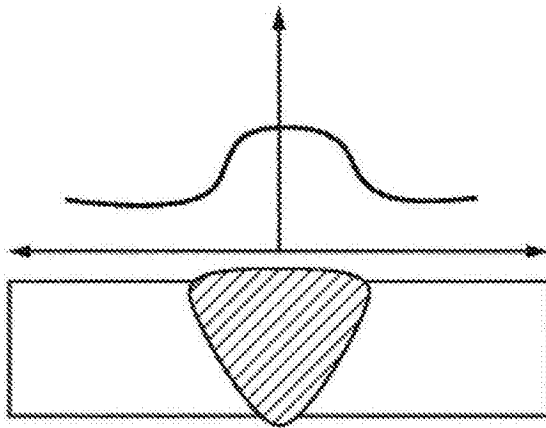


图8 (b)

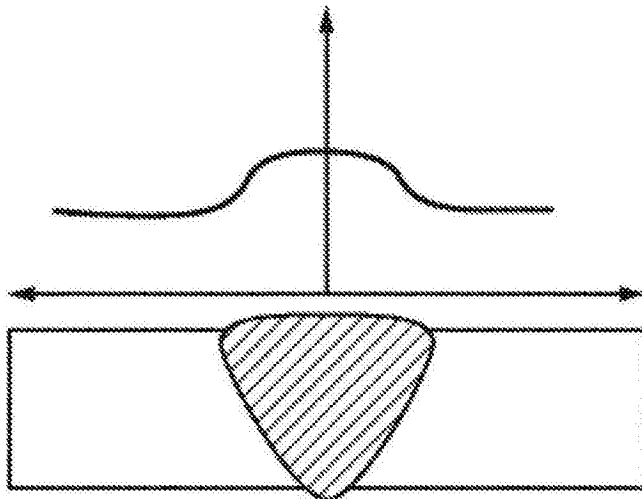


图8 (c)

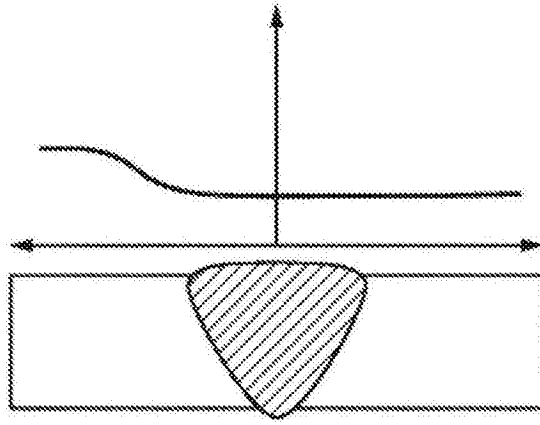


图8 (d)

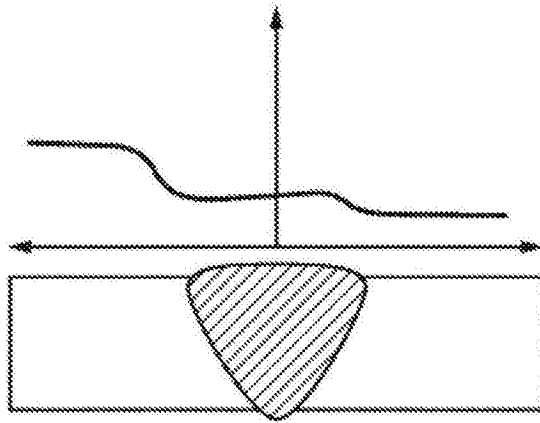


图8 (e)

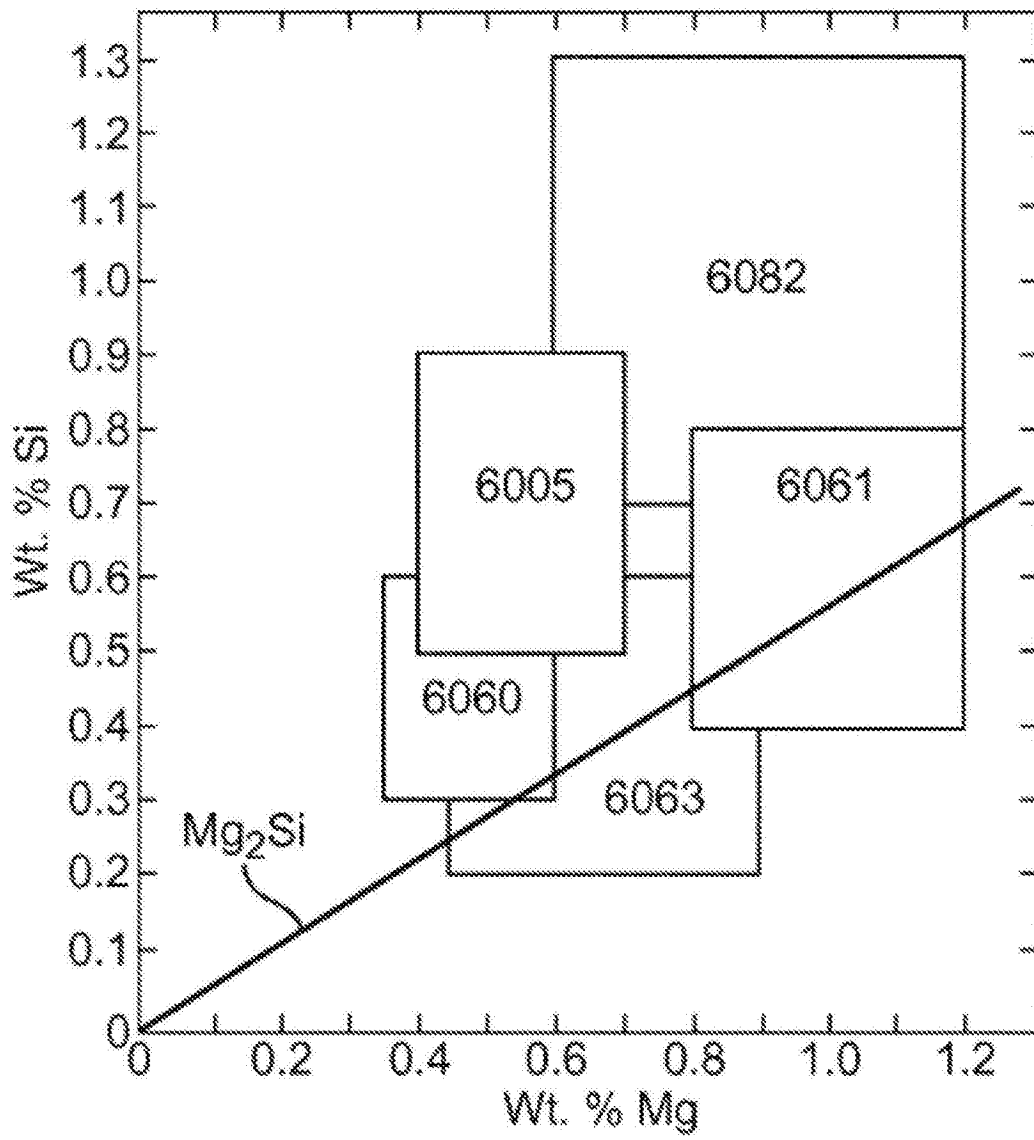


图9