



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115210031 A

(43) 申请公布日 2022.10.18

(21) 申请号 202080097762.1

罗伯特·D·弗里茨

(22) 申请日 2020.12.30

(74) 专利代理机构 广州三环专利商标代理有限公司

公司 44202

(30) 优先权数据

专利代理师 郝传鑫

PCT/US2019/068996 2019.12.30 US

63/008,722 2020.04.11 US

(51) Int.Cl.

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

B23K 26/21 (2014.01)

2022.08.30

B23K 26/24 (2014.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

B23K 103/12 (2006.01)

PCT/US2020/067591 2020.12.30

(87) PCT国际申请的公布数据

W02021/138510 EN 2021.07.08

(71) 申请人 努布鲁有限公司

地址 美国科罗拉多州森特尼尔

(72) 发明人 马修·芬纽夫 马克·S·泽迪克

埃里克·波希

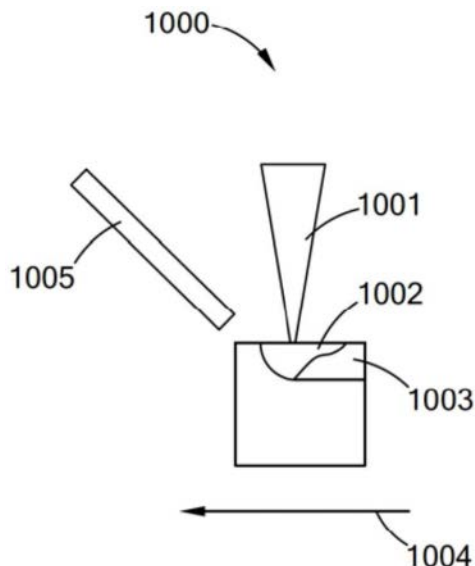
权利要求书9页 说明书19页 附图15页

(54) 发明名称

使用激光减少焊接金属产生的危害副产物的方法和系统

(57) 摘要

一种用于将材料焊接在一起,不会产生危险量的金属粉末的可见光激光系统和操作。一种用于形成铝基材料的焊缝,而不会产生危险量的金属粉末的蓝色、蓝绿色和绿色激光系统和方法。一种用于将导电元件,特别是薄铝导电元件焊接在一起以用于储能装置,诸如电池组,而不会产生危险量的金属粉末的蓝色、蓝绿色和绿色激光系统和操作。



1. 一种在铝基材料中形成焊缝的方法,所述方法包括:
 - a. 将工件放入激光系统中;其中所述工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铝材料接触;
 - b. 将蓝色激光束引导至所述工件,从而在所述第一块铝基材料和所述第二块铝基材料之间形成焊缝;其中所述焊缝包括HAZ和再凝固区;和,
 - c. 其中铝基材料、所述HAZ和所述再凝固区的微结构是相同的。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述相同的微结构在所述焊缝中没有显示出表明所述焊缝中的弱点的可辨别的差异。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述相同的微结构包括相似尺寸的晶体生长区域。
4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述焊缝通过传导模式焊接形成。
5. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一块和所述第二块的厚度为约10 μm 至约1000 μm 。
6. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一块包括多层铝箔。
7. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一块是铝金属。
8. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一块是铝合金,具有约10至约95wt%的铝。
9. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束作为具有小于800kW/cm²的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。
10. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束作为具有小于500kW/cm²的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。
11. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束作为具有约100kW/cm²至约800kW/cm²的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。
12. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束作为具有约800kW/cm²至约5MW/cm²的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。
13. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束作为具有大于100kW/cm²的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。
14. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束具有小于500W的功率。
15. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束具有小于275W的功率。
16. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述激光束具有小于750W的功率。
17. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束具有在150W至约750W范围内的功率。
18. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束具有在约200W至约1500W范围内的功率。
19. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束作为具有约50 μm 至约250 μm 的光斑尺寸的聚焦光斑被引导至所述工件。
20. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束具有从约405nm至约500nm的波长。
21. 根据权利要求1所述的方法,其中所形成的所述焊缝是无飞溅的。
22. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光不使所述工件汽化。
23. 一种在铝基材料中形成焊缝的方法,所述方法包括:
 - a. 将工件放入激光系统中;其中所述工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铝材料接触;

b. 将蓝色激光束引导至所述工件,从而在所述第一块铝基材料和所述第二块铝基材料之间形成焊缝;其中所述焊缝包括HAZ和再凝固区;和

c. 其中所述HAZ的硬度范围在铝基材料的硬度范围内。

24. 根据权利要求23所述的方法,其中所述再凝固区的硬度范围在所述铝基材料的硬度范围内。

25. 根据权利要求23所述的方法,其中铝基材料、所述HAZ和所述再凝固区的微结构是相同的。

26. 根据权利要求25所述的方法,其中所述相同的微结构在所述焊缝中没有显示出表明所述焊缝中的弱点的可辨别的差异。

27. 根据权利要求26所述的方法,其中所述相同的微结构在所述焊缝中没有显示出表明所述焊缝中的弱点的可辨别的差异。

28. 根据权利要求26所述的方法,其中所述相同的微结构包括相似尺寸的晶体生长区域。

29. 根据权利要求23所述的方法,其中所述焊缝通过传导模式焊接形成。

30. 根据权利要求23所述的方法,其中所述第一块和所述第二块具有约 $10\mu\text{m}$ 至约 $500\mu\text{m}$ 的厚度。

31. 根据权利要求23所述的方法,其中所述第一块包括多层铝箔。

32. 根据权利要求23所述的方法,其中所述第一块是铝金属。

33. 根据权利要求23所述的方法,其中所述第一块是铝合金,具有约10至约95wt %的铝。

34. 根据权利要求23所述的方法,其中所述激光束作为具有小于 $2000\text{kW}/\text{cm}^2$ 的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。

35. 根据权利要求23所述的方法,其中所述激光束作为具有小于 $500\text{kW}/\text{cm}^2$ 的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。

36. 根据权利要求23所述的方法,其中所述激光束作为具有约 $100\text{kW}/\text{cm}^2$ 至约 $4500\text{kW}/\text{cm}^2$ 的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。

37. 根据权利要求23所述的方法,其中所述激光束作为具有大于 $100\text{kW}/\text{cm}^2$ 的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。

38. 根据权利要求23所述的方法,其中所述激光束具有小于500W的功率。

39. 根据权利要求23所述的方法,其中所述激光束具有小于275W的功率。

40. 根据权利要求23所述的方法,其中所述激光束具有小于750W的功率。

41. 根据权利要求23所述的方法,其中所述激光束具有在150W至约750W范围内的功率。

42. 根据权利要求23所述的方法,其中所述激光束具有在约200W至约1500W范围内的功率。

43. 根据权利要求23所述的方法,其中所述激光束作为具有约 $50\mu\text{m}$ 至约 $250\mu\text{m}$ 的光斑尺寸的聚焦光斑被引导至所述工件。

44. 根据权利要求23所述的方法,其中所述激光束作为具有约 $100\mu\text{m}$ 至约 $500\mu\text{m}$ 的光斑尺寸的聚焦光斑被引导至所述工件。

45. 根据权利要求23所述的方法,其中所述激光束具有约405nm至约500nm的波长。

46. 根据权利要求23所述的方法,其中所形成的所述焊缝是无飞溅的。
47. 根据权利要求23所述的方法,其中所述激光不使所述工件汽化。
48. 一种在铝基材料中形成焊缝的方法,所述方法包括:
- a. 将工件放入激光系统中;其中所述工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铝材料接触;
 - b. 将蓝色激光束引导至所述工件,从而在所述第一块铝基材料和所述第二块铝基材料之间形成焊缝;其中所述焊缝包括HAZ和再凝固区;
 - c. 其中所述再凝固区的硬度范围在所述铜基材料的硬度范围内;和,
 - d. 其中所述铝基材料、所述HAZ和所述再凝固区的微结构是相同的。
49. 根据权利要求48所述的方法,其中所述相同的微结构在所述焊缝中没有显示出表明所述焊缝中的弱点的可辨别的差异。
50. 根据权利要求48所述的方法,其中所述相同的微结构在所述焊缝中没有显示出表明所述焊缝中的弱点的可辨别的差异。
51. 根据权利要求48所述的方法,其中所述相同的微结构包括相似尺寸的晶体生长区域。
52. 根据权利要求48所述的方法,其中所述焊缝通过传导模式焊接形成。
53. 根据权利要求48所述的方法,其中所述第一块和所述第二块的厚度为约10 μm 至约500 μm 。
54. 根据权利要求48所述的方法,其中所述第一块包括多层铝箔。
55. 根据权利要求48所述的方法,其中所述第一块是铝金属。
56. 根据权利要求48所述的方法,其中所述第一块是铝合金,具有约10至约95wt%的铝。
57. 根据权利要求48所述的方法,其中所述激光束作为具有小于800kW/cm²的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。
58. 根据权利要求48所述的方法,其中所述激光束作为具有小于500kW/cm²的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。
59. 根据权利要求48所述的方法,其中所述激光束作为具有约100kW/cm²至约3000kW/cm²的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。
60. 根据权利要求48所述的方法,其中所述激光束作为具有大于100kW/cm²的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。
61. 根据权利要求48所述的方法,其中所述激光束具有小于500W的功率。
62. 根据权利要求48所述的方法,其中所述激光束具有小于275W的功率。
63. 根据权利要求48所述的方法,其中所述激光束具有小于750W的功率。
64. 根据权利要求48所述的方法,其中所述激光束具有在150W至约750W范围内的功率。
65. 根据权利要求48所述的方法,其中所述激光束具有在约200W至约1500W范围内的功率。
66. 根据权利要求48所述的方法,其中将所述激光束作为具有约50 μm 至约250 μm 的光斑尺寸的聚焦光斑引导至所述工件。
67. 根据权利要求48所述的方法,其中所述激光束具有约405nm至约500nm的波长。

68. 根据权利要求48所述的方法,其中所形成的所述焊缝是无飞溅的。
69. 根据权利要求48所述的方法,其中所述激光不使所述工件汽化。
70. 一种在铝基材料中形成锁孔焊缝的方法,所述方法包括:
- a. 将工件放入激光系统中;其中所述工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铝材料接触;和,
- b. 将蓝色激光束引导至所述工件,从而在所述第一块铝基材料和所述第二块铝基材料之间形成锁孔模式焊缝;其中所述焊缝包括HAZ和再凝固区。
71. 根据权利要求70所述的方法,其中激光功率小于1000kW。
72. 根据权利要求70所述的方法,其中激光功率小于500kW。
73. 根据权利要求70所述的方法,其中激光功率小于300kW。
74. 根据权利要求70所述的方法,包括延长所述激光束以抑制锁孔的飞溅。
75. 根据权利要求70所述的方法,包括调制激光功率以抑制锁孔的飞溅。
76. 根据权利要求70所述的方法,包括在锁孔焊接模式期间快速扫描所述光束以抑制飞溅。
77. 根据权利要求70所述的方法,包括在开始焊接之后迅速降低激光功率,其中降低的方法能是自动的或手动的。
78. 根据权利要求1、23或70所述的方法,包括在焊接过程期间使用低大气压力来减少夹带的气体和飞溅。
79. 根据权利要求1、23或70所述的方法,包括施加保护气体。
80. 根据权利要求1、23或70所述的方法,包括施加选自He、Ar、N₂的保护气体。
81. 根据权利要求1、23或70所述的方法,包括施加选自Ar-H₂、N₂、N₂-H₂的保护气体混合物。
82. 根据权利要求1、23或70所述的方法,包括施加保护气体并向所述保护气体添加氢气以去除氧化物层和促进所述焊缝的润湿。
83. 根据权利要求1、23或70所述的方法,包括将第二激光束引导至与形成所述焊缝的所述激光束相同的区域。
84. 根据权利要求1至83中任一项所述的方法,其中所述激光束作为散焦光斑被引导至所述工件。
85. 根据权利要求1至83中任一项所述的方法,其中所述激光束穿过多个重叠路径。
86. 根据权利要求1至83中任一项所述的方法,其中所述激光束穿过多个偏移路径。
87. 根据权利要求1至86中任一项所述的方法,其中所述激光束的波长在约500nm至约575nm的范围内。
88. 根据权利要求1至86中任一项所述的方法,其中所述激光束的波长范围选自约450nm、约460nm、约470nm、约515nm、约532nm、约550nm。
89. 根据权利要求1至88中任一项所述的方法,其中不形成粒度小于约500μm的铝粉尘。
90. 根据权利要求1至88中任一项所述的方法,其中不形成粒度小于500μm的铝粉尘。
91. 根据权利要求1至88中任一项所述的方法,其中不形成粒度小于约420μm的铝粉尘。
92. 根据权利要求1至88中任一项所述的方法,其中不形成粒度小于420μm的铝粉尘。
93. 根据权利要求1至88中任一项所述的方法,其中铝粉尘的任何形成都在NFPA-484

(2019年修订版)设定的限度之内或低于所述限度。

94. 根据权利要求1至88中任一项所述的方法,其中产生低于爆炸水平的气载的铝粉尘的量。

95. 根据权利要求1至92中任一项所述的方法,其中产生少量的气载的铝粉尘,其中所述量选自小于100g、小于50g、小于20g、小于1g、小于100mg、小于50mg、小于5mg和小于1mg、小于0.1mg、小于0.001mg、约50g至约1g、约1g至约50mg、约70mg至20mg和约1mg至约0.1mg。

96. 根据权利要求87至95中任一项所述的方法,其中所述铝粉尘包括铝、氧化铝和氢氧化铝中的一种或多种。

97. 根据权利要求1至96中任一项所述的方法,其中在1mm长度的焊缝形成期间产生少量的气载的铝粉尘,其中所述量选自小于100g、小于50g、小于20g、小于1g、小于规定的小于100mg、小于50mg、小于5mg、和小于1mg、小于0.1mg、小于0.001mg、约50g至约1g、约1g至约50mg、约70mg至20mg和约1mg至约0.1mg。

98. 根据权利要求97所述的方法,其中所述铝粉尘包括铝、氧化铝和氢氧化铝中的一种或多种。

99. 根据权利要求1至95中任一项所述的方法,其中在进行所述焊接的时间期间产生少量的气载的铝粉尘,其中所述量选自小于100g、小于50g、小于20g、小于1g、小于规定的小于100mg、小于50mg、小于5mg、小于1mg、小于0.1mg、小于0.001mg、约50g至约1g、约1g至约50mg、约70mg至20mg和约1mg至约0.1mg;其中所述铝粉尘包括铝、氧化铝和氢氧化铝中的一种或多种。

100. 根据权利要求99所述的方法,其中用于进行所述焊接的时间选自至少10秒、10至1000秒、超过1000秒、超过10000秒、至少1小时、至少2小时、至少10小时和10秒至100小时。

101. 一种在铝基材料中形成焊缝的方法,所述方法包括:

a. 将工件放入激光系统中;其中所述工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铜材料接触;

b. 将蓝色激光束引导至所述工件,从而在所述第一块铝基材料和所述第二块铜基材料之间形成焊缝;其中所述焊缝包括HAZ和再凝固区;和,

c. 其中铝-铜界面的微结构显示出极少的金属间化合物。

102. 一种在铝基材料中形成焊缝的方法,所述方法包括:

a. 将工件放入激光系统中;其中所述工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块钢材接触;

b. 将蓝色激光束引导至所述工件,从而在所述第一块铝基材料和所述第二块铜基材料之间形成焊缝;其中所述焊缝包括HAZ和再凝固区;和,

c. 其中铝-铜界面的微结构显示出极少的金属间化合物。

103. 一种在铝基材料中形成焊缝的方法,所述方法包括:

a. 将工件放入激光系统中;其中所述工件包括将第一块铜基材料放置成与第二块铝材料接触;

b. 将蓝色激光束引导至所述工件,从而在所述第一块铜基材料和所述第二块铝基材料之间形成焊缝;其中所述焊缝包括HAZ和再凝固区;和,

c. 其中铝-铜界面的微结构显示出极少的金属间化合物。

104. 一种在铝基材料中形成焊缝的方法,所述方法包括:

a. 将工件放入激光系统中;其中所述工件包括将第一块钢基材料与第二块铝材料接触;

b. 将蓝色激光束引导至所述工件,从而在所述第一块钢基材料和所述第二块铝基材料之间形成焊缝;其中所述焊缝包括HAZ和再凝固区;和,

c. 其中铝-钢界面的微结构显示出极少的金属间化合物。

105. 一种在铝基材料中形成焊缝的方法,所述方法包括:

a. 将工件放入激光系统中;其中所述工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铝材料接触;

b. 将蓝色激光束引导至所述工件,从而在所述第一块铝基材料和所述第二块铝基材料之间形成焊缝;其中所述焊缝包括HAZ和再凝固区;和,

c. 其中铝基材料、所述HAZ和所述再凝固区的微结构是相同的。

106. 一种在铝基材料中形成焊缝的方法,所述方法包括:

a. 将工件放入激光系统中;其中所述工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铝材料接触;

b. 将蓝色激光束引导至所述工件,从而在所述第一块铝基材料和所述第二块铝基材料之间形成焊缝;其中所述焊缝包括HAZ和再凝固区;和,

c. 其中铝基材料、所述HAZ和所述再凝固区的微结构是相同的。

107. 根据权利要求1所述的方法,其中所述相同的微结构在所述焊缝中没有显示出表明所述焊缝中的弱点的可辨别的差异。

108. 根据权利要求1所述的方法,其中所述相同的微结构包括相似尺寸的晶体生长区域。

109. 根据权利要求1所述的方法,其中所述焊缝通过传导模式焊接形成。

110. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一块和所述第二块的厚度为约10 μm 至约1000 μm 。

111. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一块包括多层铝箔。

112. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一块是铝金属。

113. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一块是铝合金,具有约10至约95wt%的铝。

114. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束作为具有小于800kW/cm²的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。

115. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束作为具有小于500kW/cm²的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。

116. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束作为具有约100kW/cm²至约800kW/cm²的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。

117. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束作为具有约800kW/cm²至约5MW/cm²的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。

118. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束作为具有大于100kW/cm²的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。

119. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束具有小于500W的功率。
120. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束具有小于275W的功率。
121. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束具有小于750W的功率。
122. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束具有在150W至约750W范围内的功率。
123. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束具有在约200W至约1500W范围内的功率。
124. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束作为具有约50 μm 至约250 μm 的光斑尺寸的聚焦光斑被引导至所述工件。
125. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光束具有约405nm至约500nm的波长。
126. 根据权利要求1所述的方法,其中所形成的所述焊缝是无飞溅的。
127. 根据权利要求1所述的方法,其中所述激光不使所述工件汽化。
128. 一种在铝基材料中形成焊缝的方法,所述方法包括:
- a. 将工件放入激光系统中;其中所述工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铝材料接触;
 - b. 将蓝色激光束引导至所述工件,从而在所述第一块铝基材料和所述第二块铝基材料之间形成焊缝;其中所述焊缝包括HAZ和再凝固区;和,
 - c. 其中所述HAZ的硬度范围在铝基材料的硬度范围内。
129. 一种在铝基材料中形成焊缝的方法,所述方法包括:
- a. 将工件放入激光系统中;其中所述工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铝材料接触;
 - b. 将具有在389nm至850nm范围内的波长的激光束引导到所述工件上,从而在所述第一块铝基材料和所述第二块铝基材料之间形成焊缝;其中所述焊缝包括HAZ和再凝固区;和,
 - c. 其中铝基材料、所述HAZ和所述再凝固区的微结构是相同的。
130. 根据权利要求129所述的方法,其中所述相同的微结构在所述焊缝中没有显示出表明所述焊缝中的弱点的可辨别的差异。
131. 根据权利要求129所述的方法,其中所述相同的微结构包括相似尺寸的晶体生长区域。
132. 根据权利要求129所述的方法,其中所述焊缝通过传导模式焊接形成。
133. 根据权利要求129所述的方法,其中所述第一块和所述第二块的厚度为约10 μm 至约1000 μm 。
134. 根据权利要求129所述的方法,其中所述第一块包括多层铝箔。
135. 根据权利要求129所述的方法,其中所述第一块是铝金属。
136. 根据权利要求129所述的方法,其中所述第一块是铝合金,具有约10至约95wt%的铝。
137. 根据权利要求129所述的方法,其中所述激光束作为具有小于800kW/cm²的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。
138. 根据权利要求129所述的方法,其中所述激光束作为具有小于500kW/cm²的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。
139. 根据权利要求129所述的方法,其中所述激光束作为具有约100kW/cm²至约800kW/

cm^2 的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。

140. 根据权利要求129所述的方法,其中所述激光束作为具有约 $800\text{kW}/\text{cm}^2$ 至约 $5\text{MW}/\text{cm}^2$ 的功率密度的聚焦光斑引导至所述工件。

141. 根据权利要求129所述的方法,其中将所述激光束作为具有大于 $100\text{kW}/\text{cm}^2$ 的功率密度的聚焦光斑被引导至所述工件。

142. 根据权利要求129所述的方法,其中所述激光束具有小于 600W 的功率。

143. 根据权利要求129所述的方法,其中所述激光束具有小于 275W 的功率。

144. 根据权利要求129所述的方法,其中所述激光束具有小于 750W 的功率。

145. 根据权利要求129所述的方法,其中所述激光束具有在 150W 至约 750W 范围内的功率。

146. 根据权利要求129所述的方法,其中所述激光束具有在约 200W 至约 1500W 范围内的功率。

147. 根据权利要求129所述的方法,其中所述激光束作为具有约 $50\mu\text{m}$ 至约 $250\mu\text{m}$ 的光斑尺寸的聚焦光斑被引导至所述工件。

148. 根据权利要求129所述的方法,其中所述激光束具有约 405nm 至约 500nm 的波长。

149. 根据权利要求129所述的方法,其中所形成的所述焊缝是无飞溅的。

150. 根据权利要求129所述的方法,其中所述激光不使所述工件汽化。

151. 一种在铝基材料中形成焊缝的方法,该方法包括:

a. 将工件放入激光系统中;其中所述工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铝材料接触;

b. 将波长在 380nm 至 850nm 范围内的激光束引导到所述工件上,从而在所述第一块铝基材料和所述第二块铝基材料之间形成焊缝;其中所述焊缝包括HAZ和再凝固区;和,

c. 其中所述HAZ的硬度范围在铝基材料的硬度范围内。

152. 根据权利要求101至150中任一项所述的方法,其中不形成粒度小于约 $500\mu\text{m}$ 的铝粉尘。

153. 根据权利要求101至150中任一项所述的方法,其中不形成粒度小于 $500\mu\text{m}$ 的铝粉尘。

154. 根据权利要求101至150中任一项所述的方法,其中不形成粒度小于约 $420\mu\text{m}$ 的铝粉尘。

155. 根据权利要求101至150中任一项所述的方法,其中不形成粒度小于 $420\mu\text{m}$ 的铝粉尘。

156. 根据权利要求101至150中任一项所述的方法,其中铝粉尘的任何形成在NFPA-484 (2019年修订版) 设定的限度内或低于所述限度。

157. 根据权利要求101至150中任一项所述的方法,其中产生低于爆炸水平的气载的铝粉尘的量。

158. 根据权利要求101至150中任一项所述的方法,其中产生少量的气载的铝粉尘,其中所述量选自小于 100g 、小于 50g 、小于 20g 、小于 1g 、小于 100mg 、小于 50mg 、小于 5mg 、和小于 1mg 、小于 0.1mg 、小于 0.001mg 、约 50g 至约 1g 、约 1g 至约 50mg 、约 70mg 至 20mg 和约 1mg 至约 0.1mg ;并且其中所述铝粉尘包含铝、氧化铝和氢氧化铝中的一种或多种。

159. 根据权利要求101至150中任一项所述的方法, 其中在形成1mm长度的焊缝期间产生少量的气载的铝粉尘, 其中所述量选自小于100g、小于50g、小于20g、小于1g、小于提供的小于100mg、小于50mg、小于5mg、和小于1mg、小于0.1mg、小于0.001mg、约50g至约1g、约1g至约50mg、约70mg至20mg和约1mg至约0.1mg; 并且其中所述铝粉尘包含铝、氧化铝和氢氧化铝中的一种或多种。

160. 根据权利要求101至150中任一项所述的方法, 其中在进行焊接的时间期间产生少量的气载的铝粉尘, 其中所述量选自小于100g、小于50g、小于20g、小于1g、小于提供的小于100mg、小于50mg、小于5mg、小于1mg、小于0.1mg、小于0.001mg、约50g至约1g、约1g至约50mg、约70mg至20mg和约1mg至约0.1mg; 并且其中所述铝粉尘包含铝、氧化铝和氢氧化铝中的一种或多种。

161. 根据权利要求160所述的方法, 其中用于进行所述焊接的所述时间选自至少10秒、10至1000秒、超过1000秒、超过10000秒、至少1小时、至少2小时、至少10小时以及10秒至100小时。

使用激光减少焊接金属产生的危害副产物的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及改进的材料激光加工,特别是使用具有约350nm至约850nm以及更大波长的激光束的金属材料的激光接合。本发明减轻、减少和消除危害材料的形成,包括通过IR焊接技术形成的有害微粒。

背景技术

[0002] 金属(例如铝)的IR、超声波和电阻焊接会产生危害材料,包括危害颗粒。这些危害副产物的产生主要是由焊接成型不良、焊接质量差以及这些方法的焊接过程引起的。这些危害之一是产生铝粉末,例如金属铝、氧化铝、氢氧化铝。随着对此类焊缝和焊接的需求不断增加,来自这些材料(诸如铝粉末)的危害越来越受到关注。例如,这些需要并导致形成危害材料的问题的一个市场是不断增长的电动汽车市场的高性能电子产品领域。通常需要减少,优选减轻,更优选消除这种危害材料的形成的焊接技术,例如,特别需要该焊接技术为不断增长的汽车市场生产高性能电池和电子产品,同时保持速度和性能经济并满足该行业的焊接规范。

[0003] 当使用1030nm的IR激光源时,金属(例如铝、铜)在该波长下的高反射率使得难以将功率耦合到材料中以加热和焊接它。例如,这种耦合功率的困难是由于室温下在1000nm处和大于1000nm的波长下的低吸收,例如铝(8%)、铜(5%),这会阻止功率高效耦合到金属中。随着功率开始耦合到金属中并且金属开始加热,IR中的吸收迅速增加,导致直接进入蒸发和微粒生成的失控过程。

[0004] 克服高反射率的一种方法是使用高功率水平(>1kW) IR激光来启动锁孔焊缝,锁孔焊缝然后将功率耦合到材料中。这种焊接方法的主要问题是,锁孔中的蒸汽会导致微爆炸,将熔融铝喷射到整个被焊接的部件上,或者微爆炸会导致完全穿过部件的孔被焊接。因此,研究人员不得不依靠快速调制激光功率来试图防止焊接期间的这些缺陷。已经发现缺陷是工艺本身的直接结果,当激光试图焊接金属时,它首先将其加热到熔点,然后迅速转变为使金属汽化。一旦金属汽化,锁孔被形成,并且激光耦合从最初的5%迅速上升到100%,这种转变发生得如此之快,以至于耦合进来的热量迅速超过了焊接部件所需的热量,从而导致所描述的微爆炸。

[0005] 由IR焊接工艺引起的这些微爆炸和飞溅会产生金属粉尘。金属粉尘可能会带来健康问题、可能是易燃的、可能会带来爆炸风险,以及这些的组合和变化,以及其他有害影响。例如,铝粉尘是小的(例如,微米和亚微米尺寸)铝基微粒,诸如金属铝、氧化铝、氢氧化铝。吸入铝粉尘会导致健康问题,诸如金属烟雾热和肺纤维化。值得注意的是,铝粉尘是一种易燃固体,具有火灾危险。粒径小于约500 μ m的铝粉尘的存在会产生爆炸风险和危害。

[0006] 在制造操作期间,铝细粉可能通过诸如研磨、锯切、切割、砂磨、IR激光焊接或刮擦等活动产生,并且它们中的至少一些细粉将足够细以潜在地是爆炸的。术语“粉尘”或“粉末”经常用于描述此类微粒。很难具体说明尺寸,但如果所有微粒都大于500 μ m,那么爆炸可能不会持续下去。然而,这种材料仍然是易燃固体。然而,更可能的是会产生更粗和更细的

材料的混合物,如果材料是420 μm (40目)或更细,那么它就有爆炸的可能性。当达到它们的着火点时,较细的微粒很容易燃烧,并且也倾向于点燃较粗的微粒。在铝的情况下,如果在微粒以粉尘云的形式悬浮在空气中时发生点火,可能会导致爆炸,因为燃烧以极快的速度从一个微粒延伸到另一个微粒。

[0007] 使用当前的红外激光方法和系统对金属(例如铝)进行激光焊接具有挑战性,并且由于金属的高反射率而存在问题。为了克服这个问题,IR激光在焊缝中具有不受控制的飞溅和不可预测的可变性,并产生金属粉末,例如铝基粉末。在试图控制生产铝粉末的危险中,需要大型、复杂和昂贵的空气处理和管理系统。虽然可能将铝基粉末从操作员移开,但该因素必须处理和处置危险的易燃粉末。因此,存在减少、优选减轻、更优选消除此类有害副产物粉末例如铝粉末的形成的重要且长期的需要。

[0008] 铝焊接工艺的更困难之一是如何将铝箔堆叠彼此焊接和焊接到较厚的母线。今天,这不能用IR激光可靠地完成,也不能以产生制造商所需的焊缝质量的方式完成。因此,制造商依靠超声波焊接方法将这些箔片粘合在一起。这些超声波方法也不是最佳的并且是有问题的。例如,使用超声波焊接方法时,超声焊极(sonotrodes)会在生产期间磨损,从而导致工艺变化,从不完整的焊缝到留下碎屑(铝粉末)的焊缝。这些缺陷限制了制造良率、电池的内阻、所得电池的能量密度以及在许多情况下电池的可靠性。此外,这些过程会产生有害金属粉末,诸如铝基粉末。

[0009] 除非另有明确规定,术语“铝基材料”应被赋予其最广泛的含义,包括铝、6061铝、1100铝、铝系列1100至7000、铝材料、铝金属、用铝电镀的材料、含有至少约10wt%铝至100wt%铝的金属材料、含有至少约10wt%铝至100wt%铝的金属和合金、含有至少约20wt%铝至100wt%铝的金属和合金、含有至少约10wt%铝至100wt%铝的金属和合金、含有至少约50wt%铝至100wt%铝的金属和合金、含有至少约70wt%铝至100wt%铝的金属和合金,以及含有至少约90wt%铝至100wt%铝的金属和合金。

[0010] 除非另有明确规定,术语“激光加工”、“材料的激光加工”和类似的此类术语应被赋予其最广泛的含义,包括焊接、钎焊、熔炼、接合、退火、软化、增粘、表面重修、喷丸、热处理、熔合、密封和堆叠。

[0011] 如本文所用,除非另有明确说明,“UV”、“紫外线”、“UV光谱”和“光谱的UV部分”和类似术语应被赋予其最广泛的含义,并且将包括波长为约10nm至约400nm,和10nm至400nm的光。

[0012] 如本文所用,除非另有明确说明,术语“可见”、“可见光谱”和“光谱的可见部分”和类似术语应被赋予其最广泛的含义,并且将包括波长为约380nm至约750nm,和400nm至700nm的光。

[0013] 如本文所用,除非另有明确说明,术语“蓝色激光束”、“蓝色激光”和“蓝色”应被赋予其最广泛的含义,并且通常指的是提供激光束的系统、激光束、激光源,例如激光器和二极管激光器,它们提供例如传播激光束或具有约400nm至约500nm波长的光。典型的蓝色激光的波长范围为405nm至495nm,约405至约495nm。蓝色激光包括450nm、约450nm、460nm、约460nm、约470nm的波长。蓝色激光的带宽可以为约10pm(皮米)至约10nm、约5nm、约10nm和约20nm,以及更大和更小的值。

[0014] 如本文所用,除非另有明确说明,术语“绿色激光束”、“绿色激光”和“绿色”应被赋

予其最广泛的含义,并且通常指的是提供激光束的系统、激光束、激光源,例如激光器和二极管激光器,其提供例如传播激光束或具有约500nm至约575nm波长的光。绿色激光包括515nm、约515nm、532nm、约532nm、550nm和约550nm的波长。绿色激光的带宽可以为约10pm至10nm、约5nm、约10nm和约20nm,以及更大和更小的值。

[0015] 如本文所用,除非另有明确说明,诸如“至少”、“大于”之类的术语也表示“不小于”,即,除非另有明确说明,此类术语不包括较低的值。

[0016] 如本文所用,除非另有明确规定,术语“金属间化合物”应被赋予其最广泛的可能含义,并且将包括在两种或更多种金属元素之间形成有序固态化合物的所有类型的金属合金。金属间化合物通常又硬又脆。术语金属间化合物包括金属间化合物的所有分类,包括化学计量和非化学计量的金属间化合物。

[0017] 如本文所用,除非另有说明,数值范围、约“x”至约“y”的范围以及类似的此类术语和量化的叙述仅用作单独引用该范围内的单独值的速记方法。因此,它们包括该范围内的每个项目、特征、值、数量或数量。如本文所用,除非另有说明,一个范围内的每个和所有单独的点都包含在本说明书中,并且是本说明书的一部分,就好像它们在本文中被单独引用一样。

[0018] 如本文所用,除非另有说明,室温为25℃。并且,标准温度和压力为25℃和1个大气压。除非另有明确说明,所有与温度、压力或两者相关的测试、测试结果、物理特性和值均在标准温度和压力下提供。

[0019] 通常,除非另有说明,本文使用的术语“约”和符号“~”意在涵盖±10%的方差或范围、与获得所述值相关的实验或仪器误差,优选其中较大的一个。

[0020] 本发明的背景部分旨在介绍本领域的各个方面,这些方面可能与本发明的实施方案相关联。因此,本部分中的前述讨论为更好地理解本发明提供了框架,并且不应被视为对现有技术的承认。

发明内容

[0021] 对于金属的焊接,特别是用于电子元件和电池的铝金属的焊接,在不产生金属粉末和其他危害材料的情况下,存在长期的、不断增加的和未满足的需求。包括在这些需求中,需要一种将铝焊接到自身和其他金属上的改进方法,包括将铝箔堆叠和这些堆叠焊接到更厚的铝或铝部件或铜部件上,而不会产生铝基粉末和危害材料。本发明尤其通过提供本文教导和公开的制造物品、装置和方法来解决这些需求。

[0022] 因此,提供一种在铝基材料中形成高质量焊缝的方法和系统,该方法包括:将工件放置在激光系统中;其中工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铝材料接触;将蓝色激光束引导至工件,从而在第一块铝基材料和第二块铝基材料之间形成焊缝;其中产生极少的铝基粉末,优选不产生铝基粉末。

[0023] 因此,提供一种在铝基材料中形成高质量焊缝的方法和系统,该方法包括:将工件放置在激光系统中;其中工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铝材料接触;将绿色激光束引导至工件,从而在第一块铝基材料和第二块铝基材料之间形成焊缝;其中产生极少的铝基粉末,优选不产生铝基粉末。

[0024] 因此,提供一种在铝基材料中形成高质量焊缝的方法和系统,该方法包括:将工件

放置在激光系统中;其中工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铝材料接触;将蓝绿色激光束引导至工件,从而在第一块铝基材料和第二块铝基材料之间形成焊缝;其中产生极少的铝基粉末,优选不产生铝基粉末。

[0025] 提供焊接铝的这些焊缝、系统和方法,其中焊缝包括HAZ和再凝固区;其中铝基材料、HAZ和再凝固区的微结构是相同的。

[0026] 还提供了具有以下一个或多个特征的这些焊缝、系统和方法:其中焊缝由传导模式焊接形成;其中焊缝通过锁孔模式焊接形成;其中第一块和第二块的厚度为约10 μ m至约500 μ m;其中第一块包括多层铝箔;其中第一块为铝金属;其中第一块是铝合金,具有约10至约95wt%的铝;其中激光束作为功率密度小于800kW/cm²的聚焦光斑被引导至工件;其中激光束作为功率密度小于500kW/cm²的聚焦光斑被引导至工件;其中激光束作为功率密度为约100kW/cm²至约800kW/cm²的聚焦光斑被引导至工件;其中激光束作为功率密度大于100kW/cm²的聚焦光斑被引导至工件;其中激光束的功率小于500W;其中激光束的功率小于275W;其中激光束的功率小于150W;其中激光束的功率在150W至约750W范围内;其中激光束的功率在约200W至约1500W的范围内;其中激光束的功率在约500W至约5kW的范围内;其中激光束作为具有约50 μ m至约500 μ m的光斑尺寸的聚焦光斑被引导至工件;其中激光束的波长为约405nm至约500nm;其中激光束的波长为约380nm至约500nm;其中所述形成的焊缝是无飞溅的;并且,其中激光不使工件汽化。

[0027] 此外,提供用波长范围为405nm至500nm的激光焊接铝,以及通过这种焊接产生的焊缝和产品。

[0028] 此外,提供用波长范围为380nm至575nm的激光焊接铝,以及通过这种焊接产生的焊缝和产品。

[0029] 此外,提供用波长范围为500nm至575nm的激光焊接铝,以及通过这种焊接产生的焊缝和产品。

[0030] 此外,提供用波长范围为505nm至600nm的激光焊接铝,以及通过这种焊接产生的焊缝和产品。

[0031] 此外,提供用波长范围为380nm至850nm的激光焊接铝,以及通过该焊接产生的焊缝和产品。

[0032] 此外,提供包括以下特征中的一个或多个的这些焊缝、方法和系统:其中以传导模式焊接铝;以传导方式焊接铝,其中在焊接过程期间焊接熔池没有蒸发;以传导模式焊接铝从而产生与基底金属相似的微结构,晶体生长区域的尺寸与基底材料相似;以传导模式焊接铝从而产生与热影响区(HAZ)中的基底材料相似的微结构;以传导模式焊接铝从而产生与焊道中的基底金属相似的微结构;以传导模式焊接铝从而产生与热影响区中的基底金属相似的硬度;以传导模式焊接铝从而产生与焊道中的基底金属相似的硬度;焊接铝,其中焊缝中的微结构与基底金属的不同;焊接铝,其中HAZ中的微结构与基底金属相似。

[0033] 此外,提供包括以下以下特征中的一个或多个的这些焊缝、方法和系统:以锁孔模式焊接铝;以锁孔模式焊接铝,其中在焊接期间发生非常少的飞溅,在焊接后在铝表面上观察到很少或没有飞溅;以500kW/cm²或更高的功率密度和使锁孔能够保持打开的焊接速度焊接铝;以400kW/cm²或更高的功率密度和使锁孔能够保持打开的焊接速度焊接铝;以100kW/cm²或更高的功率密度和足够快以防止过渡到锁孔焊接状态的焊接速度焊接铝;用

提高焊接期间的穿透深度的预热来焊接铝;用Ar-CO₂辅助气体焊接铝;用Ar-H₂辅助气体焊接铝;用Ar辅助气体焊接铝;用空气焊接铝;用He辅助气体焊接铝;用N₂辅助气体焊接铝;和用辅助气体焊接铝。

[0034] 此外,提供包括以下特征中的一个或多个的这些焊缝、方法和系统:激光功率从1Hz调制到1kHz;激光功率从1kHz调制到50kHz;使用延长的蓝色激光光斑保持锁孔打开;使用机器人以圆形、振荡或椭圆形振荡运动快速移动该光斑;使用安装在检流计上的镜子使光斑平行于焊接方向振荡;使用安装在检流计上的镜子使光斑垂直于焊接方向振荡;和使用安装在一对检流计上的一对镜子以圆形、振荡或椭圆形振荡运动快速移动光点。

[0035] 另外,提供一种在铝基材料中形成锁孔焊缝的方法,该方法包括:将工件放置在激光系统中;其中工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铝材料接触;和,将蓝色激光束引导至工件,从而在第一块铝基材料和第二块铝基材料之间形成锁孔模式焊缝;其中焊缝包括HAZ和再凝固区。

[0036] 此外,提供包括以下特征中的一个或多个的这些焊缝、方法和系统:其中对于锁孔焊缝,激光功率小于1000W;其中对于锁孔焊缝,激光功率小于500W;其中对于锁孔焊缝,激光功率小于300W;包括延长激光束以抑制锁孔的飞溅;包括调制激光功率以抑制锁孔的飞溅;包括在焊接的锁孔模式期间快速扫描光束以抑制飞溅;包括在自动或手动开始焊接后迅速降低激光功率;以及,包括在焊接过程期间使用低大气压来减少夹带的气体和飞溅;包括施加保护气体;包括施加选自He、Ar、N₂的保护气体;包括施加选自Ar-H₂、N₂-H₂的保护气体混合物;和包括施加保护气体并向保护气体中添加氢气以去除氧化物层和促进焊缝的润湿。

[0037] 通过控制光斑尺寸和优化波长和耦合等,激光功率可以为500W至1000W或更大、约1kW、约2kW、约3kW、500W至2kW,和1kW至5kW,同时以良好的焊接速度(例如经济上可接受的速度)获得减少飞溅的焊缝,优选无飞溅焊缝。

[0038] 在使用蓝色、蓝绿色和绿色激光焊接铝的这些焊接方法和系统中,在焊接过程期间产生小于100g、小于50g、小于20g、小于1g、小于100mg、小于50mg、小于5mg、和小于1mg、小于0.1mg、小于0.001mg、约50g至约1g、约1g至约50mg、约70mg至20mg、约1mg至约0.1mg和更少量的铝基粉末,包括铝、氧化铝和氢氧化铝。

[0039] 在使用蓝色、蓝绿色和绿色激光焊接铝的这些方法和系统中,在形成1mm长度的焊缝期间产生小于100g、小于50g、小于20g、小于1g、小于100mg、小于50mg、小于5mg、和小于1mg、小于0.1mg、小于0.001mg、约50g至约1g、约1g至约50mg、约70mg至20mg、约1mg至约0.1mg和更少量的铝基粉末,包括铝、氧化铝和氢氧化铝。

[0040] 在使用蓝色、蓝绿色和绿色激光焊接铝的这些方法和系统中,在10秒的焊接期间产生小于100g、小于50g、小于20g、小于1g、小于100mg、小于50mg、小于5mg、和小于1mg、小于0.1mg、小于0.001mg、约50g至约1g、约1g至约50mg、约70mg至20mg、约1mg至约0.1mg和更少量的铝基粉末,包括铝、氧化铝和氢氧化铝。

[0041] 在使用蓝色、蓝绿色和绿色激光焊接铝的这些方法和系统中,在100秒的焊接期间产生小于100g、小于50g、小于20g、小于1g、小于100mg、小于50mg、小于5mg和小于1mg、小于0.1mg、小于0.001mg、约50g至约1g、约1g至约50mg、约70mg至20mg、约1mg至约0.1mg和更少量的铝基粉末,包括铝、氧化铝和氢氧化铝。

[0042] 在使用蓝色、蓝绿色和绿色激光焊接铝的这些方法和系统中,在1000秒的焊接期间产生小于100g、小于50g、小于20g、小于1g、小于100mg、小于50mg、小于5mg和小于1mg、小于0.1mg、小于0.001mg、约50g至约1g、约1g至约50mg、约70mg至20mg、约1mg至约0.1mg和更少量的铝基粉末,包括铝、氧化铝和氢氧化铝。

[0043] 此外,提供一种在铝基材料中形成焊缝的方法,该方法包括:将工件放置在激光系统中;其中工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铜材料接触;将蓝色激光束引导至工件,从而在第一块铝基材料和第二块铜基材料之间形成焊缝;其中焊缝包括HAZ和再凝固区;并且,其中铝-铜界面的微结构显示出极少的金属间化合物。

[0044] 还提供一种在铝基材料中形成焊缝的方法,该方法包括:将工件放置在激光系统中;其中工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块钢材料接触;将蓝色激光束引导至工件,从而在第一块铝基材料和第二块铜基材料之间形成焊缝;其中焊缝包括HAZ和再凝固区;并且,其中铝-铜界面的微结构显示出极少的金属间化合物。

[0045] 此外,提供一种在铝基材料中形成焊缝的方法,该方法包括:将工件放置在激光系统中;其中工件包括将第一块铜基材料放置成与第二块铝材料接触;将蓝色激光束引导至工件,从而在第一块铜基材料和第二块铝基材料之间形成焊缝;其中焊缝包括HAZ和再凝固区;并且,其中铝-铜界面的微结构显示出极少的金属间化合物。

[0046] 更进一步,提供一种在铝基材料中形成焊缝的方法,该方法包括:将工件放置在激光系统中;其中工件包括将第一块钢基材料放置成与第二块铝材料接触;将蓝色激光束引导至工件,从而在第一块钢基材料和第二块铝基材料之间形成焊缝;其中焊缝包括HAZ和再凝固区;并且,其中铝-钢界面的微结构显示出极少的金属间化合物。

[0047] 此外,提供一种在铝基材料中形成焊缝的方法,该方法具有:将工件放置在激光系统中;其中工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铝材料接触;将蓝色激光束引导至工件,从而在第一块铝基材料和第二块铝基材料之间形成焊缝;其中焊缝包括HAZ和再凝固区;并且,其中铝基材料、HAZ和再凝固区的微结构是相同的。

[0048] 此外,提供一种在铝基材料中形成焊缝的方法,该方法包括:将工件放置在激光系统中;其中工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铝材料接触;将蓝色激光束引导至工件,从而在第一块铝基材料和第二块铝基材料之间形成焊缝;其中焊缝包括HAZ和再凝固区;并且,其中铝基材料、HAZ和再凝固区的微结构是相同的。

[0049] 此外还提供了这些方法可以具有以下特征中的一个或多个:其中相同的微结构在焊缝中没有显示出表明焊缝中的弱点的可辨别的差异;其中相同的微结构包括相似尺寸的晶体生长区域;其中焊缝通过传导模式焊接形成;其中第一块和第二块的厚度为约10 μ m至约1000 μ m;其中第一块包括多层铝箔;其中第一块为铝金属;其中第一块是铝合金,具有约10至约95wt%的铝;其中激光束作为功率密度小于800kW/cm²的聚焦光斑被引导至工件;其中激光束作为功率密度小于500kW/cm²的聚焦光斑被引导至工件;其中激光束作为功率密度为约100kW/cm²至约800kW/cm²的聚焦光斑被引导至工件;其中激光束作为功率密度为约800kW/cm²至约5MW/cm²的聚焦点被引导至工件;其中激光束以功率密度大于100kW/cm²的聚焦光斑被引导至工件;其中激光束的功率小于500W;其中激光束的功率小于275W;其中激光束的功率小于750W;其中激光束的功率在150W至约750W范围内;其中激光束的功率在约200W至约1500W的范围内;其中激光束作为光斑尺寸为约50 μ m至约250 μ m的聚焦光斑被引导

至工件;其中激光束具有约405nm至约500nm的波长;其中所形成的焊缝是无飞溅的;其中激光不使工件汽化。

[0050] 更进一步,提供了一种在铝基材料中形成焊缝的方法,该方法包括:将工件放置在激光系统中;其中工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铝材料接触;将蓝色激光束引导至工件,从而在第一块铝基材料和第二块铝基材料之间形成焊缝;其中焊缝包括HAZ和再凝固区;并且,其中HAZ的硬度范围在铝基材料的硬度范围内。

[0051] 此外,提供一种在铝基材料中形成焊缝的方法,该方法包括:将工件放置在激光系统中;其中工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铝材料接触;将具有在389nm至850nm范围内的波长的激光束引导到工件,从而在第一块铝基材料和第二块铝基材料之间形成焊缝;其中焊缝包括HAZ和再凝固区;并且,其中铝基材料、HAZ和再凝固区的微结构是相同的。

[0052] 另外,提供一种在铝基材料中形成焊缝的方法,该方法包括:将工件放置在激光系统中;其中工件包括将第一块铝基材料放置成与第二块铝材料接触;将波长在380nm至850nm范围内的激光束引导到工件上,从而在第一块铝基材料和第二块铝基材料之间形成焊缝;其中焊缝包括HAZ和再凝固区;并且,其中HAZ的硬度范围在铝基材料的硬度范围内。

[0053] 此外,还提供这些方法可以具有以下特征中的一个或多个:其中不形成粒径小于约500 μ m的铝粉尘;其中不形成粒径小于500 μ m的铝粉尘;其中不形成粒径小于约420 μ m的铝粉尘;其中不形成粒径小于420 μ m的铝粉尘;其中铝粉尘的任何形成都在NFPA-484 (2019年修订版) 设定的限度之内或低于该限度;其中产生低于爆炸水平的气载的铝粉尘的量;其中产生少量的气载的铝粉尘,其中该量选自小于100g、小于50g、小于20g、小于1g、小于100mg、小于50mg、小于5mg、和小于1mg、小于0.1mg、小于0.001mg、约50g至约1g、约1g至约50mg、约70mg至20mg,和约1mg至约0.1mg;其中铝粉尘包括铝、氧化铝和氢氧化铝中的一种或多种;其中在形成1mm长度的焊缝期间产生少量的气载的铝粉尘,其中该量选自小于100g、小于50g、小于20g、小于1g、小于100mg、小于50mg、小于5mg、小于1mg、小于0.1mg、小于0.001mg、约50g至约1g、约1g至约50mg、约70mg至20mg和约1mg至约0.1mg;其中铝粉尘包括铝、氧化铝和氢氧化铝中的一种或多种;其中在进行焊接的时间期间产生少量的气载的铝粉尘,其中该量选自小于100g、小于50g、小于20g、小于1g、小于100mg、小于50mg、小于5mg和小于1mg、少于0.1mg、少于0.001mg、约50g至约1g、约1g至约50mg、约70mg至20mg和约1mg至约0.1mg;其中铝粉尘包括铝、氧化铝和氢氧化铝中的一种或多种;和其中用于进行焊接的时间选自至少10秒、10至1000秒、超过1000秒、超过10000秒、至少1小时、至少2小时、至少10小时、10秒至100小时。

附图说明

[0054] 图1是根据本发明的铝板的搭接焊缝的实施方案的顶面照片。

[0055] 图2是图1的焊缝的底面的照片。

[0056] 图3是图1的焊缝的横截面的照片。

[0057] 图4是根据本发明的铝板的对接焊缝的实施方案的顶面的照片。

[0058] 图5是图4的焊缝的底面的照片。

[0059] 图6是图5的焊缝的横截面的照片。

[0060] 图7是根据本发明焊缝的铝方形蓄电池(prismatic cell)和袋形蓄电池电池引线的实施方案的照片。

[0061] 图8是图7的焊缝的横截面的放大和注释照片。

[0062] 图8A是图8的截面的放大图。

[0063] 图9是各种金属的吸收曲线,并显示了IR激光和可见激光之间的吸收差异。

[0064] 图10是根据本发明的传导模式焊缝向材料中扩展的实施方案的示意图。

[0065] 图11是根据本发明的锁孔焊缝向材料中扩展的实施方案的示意图。

[0066] 图12是根据本发明的用于激光焊接的部件保持器的实施方案的透视图。

[0067] 图12A是图12的部件保持器的剖视图。

[0068] 图13是根据本发明的用于保持薄部件以进行搭接焊接的部件保持器的实施方案的透视图。

[0069] 图13A是图12的部件保持器的剖视图。

[0070] 图14是用于执行根据本发明的本激光焊接方法的实施方案的150瓦蓝色激光系统的实施方案的示意图。

[0071] 图15是根据本发明的使用两个150瓦蓝色激光系统来制造300瓦蓝色激光系统的实施方案的示意性光线轨迹图。

[0072] 图16是根据本发明的使用四个150瓦蓝色激光系统来制造800瓦蓝色激光系统的实施方案的示意性光线轨迹图。

[0073] 图17是根据本发明的铝1100BOP测试的实施方案的曲线图,显示了熔深(μm)与速度 m/min 的关系。

[0074] 图18是根据本发明的铝110对接焊缝测试的实施方案的曲线图,显示了熔深(μm)与速度 m/min 的关系。

具体实施方式

[0075] 一般而言,本发明涉及用于焊接金属的激光、激光束、系统和方法,其减轻、减少和消除危害材料的形成,所述危害材料包括由其他焊接技术形成的,尤其是通过IR激光焊接技术形成的危害微粒。

[0076] 在本发明的一个实施方案中,激光束具有在蓝色、蓝绿色、绿色和红色波长中的波长,并且其减轻、减少和消除危害材料的形成,所述危害材料包括由其他焊接技术形成的危害微粒,特别是通过IR激光焊接技术形成的危害微粒。

[0077] 在本发明的一个实施方案中,激光束具有在蓝色、蓝绿色、绿色和红色波长中的波长,并且焊接铝基材料,并且其减轻、减少和消除危害材料的形成,所述危害材料包括由其他焊接技术形成的危害铝粉末,特别是通过IR激光焊接技术形成的危害铝粉末。

[0078] 在本发明的一个实施方案中,蓝色、绿-蓝色、绿色和红色激光束消除,(或显著消除到铝粉末形成(如果有的话)低于最大安全量和不会引起火灾危险的点)由产生金属粉尘的IR焊接过程引起的微爆炸和飞溅。因此,本发明消除金属粉尘的形成,金属粉尘可能会带来健康问题、可能是易燃的、可能会带来爆炸风险,以及这些的组合和变化,以及其他有害影响。例如,铝粉尘是小的(例如,微米和亚微米尺寸)铝基微粒,诸如金属铝、氧化铝、氢氧化铝。吸入铝粉尘会导致健康问题,诸如金属烟雾热和肺纤维化。值得注意的是,铝粉尘是

一种易燃固体,具有火灾危险。密闭区域中存在铝粉尘会产生爆炸风险和危害。

[0079] 本发明提供了铝基材料的激光焊接,很少或没有铝粉尘。因此,例如,本发明提供减少铝粉尘的形成,使得浓度(mg/L空气)低于爆炸水平。气载的铝粉末和固体铝粉末均在美国、欧洲和其他国家受到监管。铝粉末可能非常危险,它是一种易燃固体,具有爆炸性,并且可用于制造炸药。

[0080] 铝粉尘标准由美国国家消防协会颁布。NFPA 484 (2019年修订版)“可燃金属标准”中概述了要执行的测试。测试结果将确定NFPA 484对设施的适用性。NFPA 484适用于加工、处理或储存任何能够燃烧或爆炸形式的金属的任何设施。如果在产生细粉的过程中发生任何变化,应始终对新鲜样品进行测试,以重新确定最低爆炸浓度和点火能量。速度、合金、表面涂层(诸如使用的蜡、润滑剂或磨料)的变化可能会导致更细的微粒形成,从而增加潜在危险。

[0081] 在本激光焊接技术的一个优选实施方案中,使用蓝色、蓝绿色、绿色和红色范围内的波长,铝粉尘产生处于或低于由NFPA-484 (2019年修订版)建立的阈值和安全限制,其全部公开内容通过引用并入本文。

[0082] 对蓝色、绿-蓝色、绿色和红色波长使用较大的光斑尺寸可以进一步减少或消除飞溅和铝粉尘的产生。例如,可以采用大于100 μm 、大于200 μm 、大于300 μm 、大于400 μm 、大于500 μm 、约300 μm 至约500 μm 、约100 μm 至约400 μm 、约10 μm 至约500 μm 、约400 μm 至约600 μm 、约50 μm 至约600 μm 、约500 μm 至约1 μm 的光斑尺寸。

[0083] 在一个实施方案中,本发明为用于包括电池的电子组件的金属基材料提供高质量的焊缝、高焊接速度和两者,很少或没有形成如本说明书中所述的金属粉末。在一个实施方案中,本发明为用于汽车电子组件(包括电池)的铝基材料提供高质量的焊缝、高焊接速度和两者,很少或没有形成如本说明书中所述的金属粉末。

[0084] 虽然本说明书侧重于焊接铝基材料和避免产生铝粉末,但应该理解,本激光系统和焊接技术适用于其他金属,诸如金、铜、黄铜、银、铝、镍、镀镍铜、不锈钢及其合金的焊接。

[0085] 本发明的激光技术、焊接工艺、激光束和用于执行这些焊接工艺的系统可以是来自通过使用例如空间、光谱、相干、拉曼和偏振方法的组合而组合的这些发射器的激光束。在美国专利公开No.2016/0322777、2018/0375296、2016/0067827和2019/0273365以及美国专利申请序列No.16/695,090和16/558,140(这些中的每个申请的整个公开通过引用并入本文)中教导和公开的用于提供激光束的系统和方法可以用于执行本发明。

[0086] 在本发明的一个实施方案中,高功率蓝色激光源(例如,~450nm)在许多焊接技术中提供稳定的焊接,包括传导焊接模式和锁孔焊接模式。该系统和方法最小化、减少并且优选地消除汽化、飞溅、微爆炸以及这些的组合和变化,并提供减少和防止铝粉尘形成的方法。在一个实施方案中,如本说明书中所述,在功率水平范围为150瓦至275瓦、光斑尺寸为~200 μm 的铝的蓝色激光焊接实现了良好的焊缝,而不会形成危害的铝粉尘。

[0087] 在实施方案中,如本发明书中所述,铝的蓝色激光焊接在功率水平范围约300瓦至约500瓦、约500W至约1kW、750W至1.5kW、1kW至2.5kW、1kW至5kW、250W至5kW和更大的功率,并且光斑尺寸~100 μm 、~200 μm 、~300 μm 、~400 μm 、~500 μm 、~700 μm 、~1000 μm 、约100 μm 至约1000 μm 、约100 μm 至约500 μm 、约200 μm 至约750 μm 、约200 μm 至约400 μm 、约600 μm 至约800 μm 、约500 μm 至约1000 μm 、约700 μm 至约1500 μm 、约1mm和更大、约2mm、约3mm和更大以及约4mm和

更大,以经济可行的速度实现良好的焊缝,而不会形成危害的铝粉尘,包括组合和变化。

[0088] 优选地,在实施方案中,激光波长可以在350nm至500nm的波长范围内,光斑尺寸(直径或横截面)可以在100微米(μm)至3mm的范围内,并且还可以考虑更大的光斑尺寸。该光斑可以是圆形、椭圆形、线性、方形或其他图案。优选地,激光束是连续的。在实施方案中,激光束可以是脉冲的,例如约1微秒和更长。如本说明书所述,该技术在铝基材料中产生良好的焊缝,而不会形成危害的铝粉尘。

[0089] 聚焦点和聚焦点的位置,以及激光束穿透到铝材料中的深度进一步提供减少和消除飞溅和铝粉尘形成的能力。通常,激光束的熔深越深,聚焦点越深,飞溅和粉尘的减少和消除就越大。

[0090] 转到图1至图3,示出了200 μm 至200 μm 铝板搭接焊缝的照片,采用500瓦激光功率,速度为30毫米/秒。氩工艺气体以50cfh使用。0.4秒的停留时间为激光提供足够的时间来切穿现有的氧化物层并形成合适的焊接熔池,以沿着材料的长度向下线性扩展。图1描绘了顶面。图2描绘了底面。图3描绘了焊缝的横截面。蚀刻剂不会显示铝的晶体结构,但在焊接区域和非焊接区域之间几乎看不到明显差异。几乎不存在HAZ。几乎不存在氧化。

[0091] 转到图1至图3,示出200 μm 至200 μm 铝板的对接焊缝照片,采用500瓦激光功率,速度为130毫米/秒。激光束提供的激光的激光中心波长可以是450nm $\pm$ 10nm,激光的带宽为10至20nm。氩工艺气体以50cfh使用。不需要停留时间,因为激光功率很容易传播到焊缝中,加热两侧的材料,产生合适的熔池以沿着材料之间的接缝传播。图4描绘了顶部表面,干净、均匀的焊缝。可以清楚地观察到焊缝两侧的熔化区域,以及连接它们的熔化和凝固金属的光滑区域。图5描绘了底面。在这里,焊缝也有三个部分。两侧均匀分布的人字形图案,以及连接它们的小而略粗糙的补丁。图6描绘了焊缝的横截面。蚀刻剂不显示铝的晶体结构,但在焊接区域和非焊接区域之间几乎看不到明显差异。当金属通过焊接过程加热并被拉在一起时,就会发生弯曲。几乎不存在HAZ。几乎不存在氧化。

[0092] 转向图7、8和8a,示出了使用本发明的激光焊接技术激光焊接方形蓄电池和袋式蓄电池的电池引线的照片。激光束提供的激光的激光中心波长可以是450nm $\pm$ 10nm,激光的带宽为10至20nm。图7、8和8A示出了41层12 μm 铝与1mm铝接头的焊接。1000W功率用于3道工序,速度范围为800至2000mm/min。初始停留用于首先建立足够大的熔池以在第一道工序期间将箔熔合到接头上。在一个实施方案中,激光被移离焦点以便将激光加热散布到更大的区域。激光沿箔片边缘移动,偏移 to 箔片边缘的外侧、中心或内侧。随后的几道工序通常使激光束进一步进入箔堆叠/在箔堆叠上。相应地调整激光的焦点位置,以产生具有最佳特性的最可重复的焊缝。通常,这个过程几乎不会产生氧化。

[0093] 该工艺的实施方案包括搭接焊接厚的箔堆叠。这里可以使用更长的停留时间。小的圆形或椭圆形图案可用于穿透整个堆叠厚度。可以使用小的前后运动来保持焊缝熔深(penetration)。可以使用小的椭圆或其他图案来保持焊缝熔深。可以使用一块薄金属覆盖箔以限制箔层的切割量。

[0094] 本发明的一个实施方案涉及使用可见激光系统将铝焊接到铝或者将铝焊接到其他材料的方法、装置和系统,以及这些的组合,以实现益处,包括向铝材料的有效传热速率;稳定的焊接熔池;和特别是在焊接的传导模式或锁孔模式中具有这些益处。如图9所示,铝在蓝色波长范围(20%)内具有吸收性。本发明的激光束系统和方法加热基材(要焊接的材

料,例如铝)的速度快于热可以离开激光光斑传导的速度。一旦氧化物层的熔化完成,基础铝材料的熔化开始并且一个稳定的熔池建立。这为传导模式激光焊接提供有效和良好的焊接性能,即激光束中的材料被快速加热到熔点并通过连续激光束保持在熔点,从而导致稳定的焊道形成。

[0095] 图10示出传导模式焊接1000的实施方案的示意图,用箭头1004显示了焊缝的方向。激光束1001,例如蓝色波长,被聚焦到焊接熔池1002并保持焊接熔池1002。在焊接熔池1002后面是固体焊接材料1003。基材,例如铝金属或合金,位于焊缝下方。也可以使用保护气流1005。

[0096] 转向图11,其示出锁孔模式焊接2000的实施方案的示意图,用箭头2007显示了焊缝的方向。在锁孔2006中存在金属/蒸汽等离子体。蓝色激光束2002产生等离子体云2002、焊接熔池2003和固体焊接金属2004。也可以使用保护气流2005。

[0097] 比较图11的锁孔焊缝与图10的传导模式焊缝,锁孔焊缝中最终焊缝再凝固区的壁比传导模式焊缝更垂直地穿过部件或基材。

[0098] 优选地,用于本发明的系统和方法的实施方案的高功率激光束(例如,可见、绿色和蓝色激光束)被聚焦,或者具有通过系统中的光学器件被聚焦的能力,成为光斑尺寸约50 μm 或更大和功率至少10W或更大。激光束(包括蓝色激光束)的功率可以为10W、20W、50W、100W、10至50W、100至250W、200至500W、150至1000W、1000W、500W至1500W、1500W,也考虑更高和更低的功率,以及在这些范围内的所有波长。这些功率和激光束的光斑尺寸(最长的横截面距离,对于圆来说是直径)可以为约20 μm 至约4mm、小于约3mm、小于约2mm、约20 μm 至约1mm、约30 μm 至约50 μm 、约50 μm 至约250 μm 、约50 μm 至约500 μm 、约100 μm 至约4000 μm ,可考虑更大的和更小的光斑,以及在这些范围内的所有尺寸。激光束斑的功率密度可以为约50kW/ cm^2 至5MW/ cm^2 、约100kW/ cm^2 至4.5MW/ cm^2 、约100kW/ cm^2 至1000kW/ cm^2 、约500kW/ cm^2 至2MW/ cm^2 、大于约50kW/ cm^2 、大于约100kW/ cm^2 、大于约500kW/ cm^2 、大于约1000kW/ cm^2 、大于约2000kW/ cm^2 ,以及更高和更低的功率密度,以及这些范围内的所有功率密度。铝的焊接速度约0.1毫米/秒至约200毫米/秒,取决于各种条件的更慢和更快的速度,以及在这些范围内的所有速度,都可用于焊接,几乎不产生本说明书中描述的铝粉尘。

[0099] 本发明的方法和系统的实施方案可以使用一个、两个、三个或更多个激光束来形成焊缝。激光束可以聚焦在相同的一般区域以启动焊接。激光束斑可以重叠,也可以重合。多个激光束可以同时使用;并且同时发生。单个激光束可用于启动焊接,然后添加第二个激光束。多个激光束可用于启动焊接,然后使用较少的光束,例如单个光束,来继续焊接。这多个激光束中的激光束可以是不同功率或相同功率,功率密度可以不同或相同,波长可以不同或相同,以及它们的组合和变化。附加激光束的使用可以是同时的或顺序的。也可以使用多个激光束的这些实施方案的组合和变化。使用多个激光束可以抑制焊缝中的飞溅,并且可以在深熔深焊接方法中做到这一点。

[0100] 在实施方案中,氢气 H_2 可以与惰性气体混合以在焊接过程期间从基材去除氧化物层。氢气流过焊接区域。氢气还促进焊缝的润湿。氢气可以添加到保护气体中,或与保护气体形成混合物,并作为保护气体的一部分应用于焊缝。这些混合物包括例如 Ar-H_2 、 He-H_2 、 $\text{N}_2\text{-H}_2$ 。

用蓝色、蓝绿色、绿色和红色激光系统对铝、铝合金和其他金属进行传导模式焊接

的方法

[0101] 本系统克服了与IR焊接生产危害材料(包括有害铝粉尘)相关的问题和困难。本发明的激光束与铝的相互作用使铝达到其熔点并允许可接受的加工窗口。

[0102] 在一个实施方案中,通过使用部件保持装置或固定装置,执行稳定传导模式焊接并且以稳定和快速的速率获得高质量焊缝。

[0103] 焊接固定装置用于在通过激光束在部件中引起的热瞬态期间将待焊接的材料保持在适当位置。固定装置示于图12和图12A中,它们分别是可用于搭接、对接甚至边缘焊接的焊接夹具的线性部分的实施方案的透视图和横截面图。焊接固定装置4000具有底板或支撑结构4003。附接至底板4003的是两个夹持构件或压紧件4001。压紧件4001具有靠在底板4002的表面上的凸片和接触并固定待焊接的工件的自由端。在底板4002中,在压紧件4001的自由端之间的区域中,有一个槽,例如2mm宽x2mm深。四个螺栓,例如4004,(也可以使用其他类型的调节紧固装置)调节、紧固并保持夹具靠在工件上,从而保持或固定工件。

[0104] 该固定装置的优选材料是低导热率材料,诸如不锈钢,因为它足够坚硬以施加在焊接期间将部件保持在适当位置所需的夹紧压力。在实施方案中,固定装置、底板和两者都可以在焊接过程期间对工件具有绝缘质量或影响。对固定装置使用具有低导热率的材料可以防止、最小化和减少沉积在部件形状中的热量被固定装置本身迅速带走。夹具选用的材料、夹具的宽度和部件下的间隙都是决定焊缝熔深、焊道宽度和焊道整体质量的参数。

[0105] 在优选的实施方案中,固定装置4000的底板4002由不锈钢制成,在底板中切出2mm宽的间隙4003以定位在焊接区的正下方并用惰性气体诸如氩气、氦气或氮气(作为覆盖气体或保护气体)充满以最大限度地减少焊缝背面的氧化。覆盖气体可以是氢气和惰性气体的混合物。压紧件4001被设计成在距底板4002中的间隙4003边缘2mm处对待焊接的部件施加压力。因此,在该实施方案中,待焊接部件的6mm宽区域对激光束开放(认识到激光束将与压紧件稍有距离)。压紧件的这种定位使激光束容易到达表面,并且可以牢固地夹紧部件。这种类型的夹具是将厚度为50 μ m至数mm不等的两片铝箔或铝板对接焊接在一起的优选方法。该固定装置还适用于将两块200 μ m至数mm的较厚的铝板搭接焊接在一起。夹紧压力的大小非常重要,并且取决于激光功率的大小、焊接速度、部件厚度和正在执行的焊接类型,对于较厚的材料,夹紧螺栓的扭矩可能为0.05牛顿·米(Nm),达到3Nm或更大。该扭矩值很大程度上取决于螺栓尺寸、螺纹啮合以及螺栓中心到夹紧点的距离。

[0106] 在一个实施方案中,通过提供足够的夹紧力来防止部件在焊接期间移动,同时使对固定装置本身的寄生热损失最小化,来获得高质量和优良的焊缝。应当理解,图12和图12A中的固定装置的实施方案表示焊接固定装置的直线部分的横截面,并且可以被设计成任何任意2-D路径(例如,-S-、-C-、-W-等)以将任何类型的形状焊接在一起。在另一个实施方案中,固定装置可以被预热或在焊接过程期间加热,以增加焊接的速度或熔深,同时减少对固定装置的寄生热损失。固定装置在被加热到100℃时可以将焊接速度或者熔深和质量提高一倍或两倍或更多。用于焊缝顶侧的保护气体从焊缝行进方向的前部纵向地输送到焊缝行进方向的后部,如图10所示。

[0107] 使用传导模式焊接工艺对两个部件进行搭接焊接需要将部件放置并保持紧密接触。这两个部件(统称为工件)可以放置在固定装置中,优选地是图13和图13A中所示类型的固定装置,它们分别是固定装置5000的透视图和截面图。固定装置5000具有底板5003和两

个夹具5002。夹具具有对应于例如5001的压紧螺栓的四个槽，例如5010。通过这种方式，可以调节和固定夹具相对于工件、相对于彼此的位置，以及夹持力或压力的大小。夹具可以有磁体来帮助它们定位和固定。夹具5002具有用于传输保护气体的内部的通道，例如5004。通道5004与保护气体出口例如5005流体连通。保护气体出口和保护气体通道形成夹具内的保护气体输送系统。因此，气体输送系统是并且穿过沿夹具长度的一排孔，这些孔输送惰性气体，诸如氩气、氦气或氮气。氩气是优选气体，因为它比空气重，会沉淀在部件上，置换氧气并防止上表面氧化。惰性气体中可加入少量氢气，以促进部件上氧化物层的清除和促进部件在熔化过程期间的润湿。

[0108] 还存在插入件5006，其用于迫使箔堆叠中的各个箔在堆叠中保持并维持彼此接触。插入件5006可以拉伸和迫使箔彼此紧密且均匀地接触。在图13和图13A的实施方案中，插入件5006是倒V形。取决于箔的堆叠及其各自的厚度，它可以是弯曲的、隆起的或其他形状。另外，在图13和图13A的实施方案中，插入件5006与夹具5002相邻，但不被夹具5002覆盖。插入件可以从夹具的端部移除，或者夹具中的一个或两个可以部分地覆盖插入件。

[0109] 在优选的实施方案中，底板5000由不锈钢制成，夹具5002也是如此。固定装置可以由陶瓷或绝热材料制成。插入件5006从焊缝底部提供压力以保持重叠板(两个、三个、数十个等)紧密接触。在该实施方案中，保护气体的装置以沿着夹具长度的一排孔的形式内置于夹具5002中，这些孔输送惰性气体，诸如氩气、氦气或氮气。氩气是优选气体，因为它比空气重，会沉淀在部件上，从而置换氧气并防止上表面氧化。底板5003中的插入件5006还可以具有一系列通道、孔或槽，以将覆盖气体或保护气体输送到焊缝的背面以防止氧化。如图所示，固定装置5000代表焊缝的直线部分的横截面，并且可以被设计成任何任意2-D路径以将任意形状焊接在一起。在此应用中，螺栓的扭矩值可能很重要，具体取决于工件的性质，扭矩值太低，例如0.1Nm，部件可能无法保持接触，扭矩值太高>1Nm，寄生热传递降低焊接过程的效率，从而降低熔深和焊道宽度。

[0110] 可以单独地和共同地进一步减少和消除飞溅和粉尘形成的其他处理参数包括向部件提供足够的辅助气体、在部件内定位焦点位置、使用传导模式焊接以及使用焊接脉冲参数或成形焊缝(类似于圆形光栅图案中的摆动)。

用于焊接铝、铝合金和其他金属的其他技术，减少有害金属粉末的产生

[0111] 应当理解，在500瓦和200 μ m光斑下，功率密度>1.6MW/cm²。在这种和更大的功率密度下，即使是蓝色激光也有可能在焊缝中产生飞溅和孔隙。然而，由于吸收得到很好的控制，抑制、控制或消除飞溅的能力是可能的。抑制飞溅的第一种方法是一旦飞溅过程开始就降低功率水平，同时保持焊接速度恒定。抑制飞溅的第二种方法是延长焊接熔池以允许保护气体和汽化的金属从锁孔中排出，从而产生无飞溅、无缺陷的焊缝。抑制飞溅的第三种方法是使用安装在一组检流计电机上的一组镜子或机器人来摆动蓝色激光束。抑制飞溅的第四种方法是降低焊接环境的压力，包括使用真空。最后，抑制飞溅的第五种方法是在1Hz至1kHz的范围内或高达50kHz的范围内调制激光束功率。优选地，焊接参数被优化以最小化过程期间的飞溅。

[0112] 一般而言，本发明的实施方案涉及材料的激光加工，通过将预选的激光束波长与待加工的材料相匹配以具有高水平或增加水平的材料吸收率的激光加工，和特别的用具有高吸收率的激光束对材料的激光焊接。

[0113] 本发明的一个实施方案涉及使用具有可见激光束、波长为350nm至850nm的激光束,通过激光加工来焊接或以其他方式将对这些波长具有更高吸收率的材料接合。特别地,激光束波长基于待激光加工为具有至少约10%、至少约15%、至少约18%和至少约20%或更多以及约10%至约20%的吸收的材料预先确定。因此,例如,具有约400nm至约500nm波长的激光束用于焊接金、铜、黄铜、银、铝、镍、这些金属的合金、不锈钢和其他金属、材料和合金。

[0114] 使用蓝色激光,例如约405至约495nm波长,来焊接材料诸如金、铜、黄铜、镍、镀镍铜、不锈钢和其他材料、电镀材料和合金是优选的,由于这些材料在室温下的高吸收率,例如大于约15%的吸收率。本发明的几个优点之一是预选波长激光束,诸如蓝色激光束,能够在激光操作(例如焊接过程)期间更好地将激光能量更好地耦合到材料中的能力。通过将激光能量更好地耦合到被焊接的材料,大大减少并优选消除了失控过程的机会。激光能量的更好耦合还允许使用较低功率的激光,这节省成本。更好的耦合还提供了更好的控制、更高的公差和因此更高的焊缝再现性。IR激光和IR激光焊接操作中未发现的这些特性对于电子和电力存储领域的其他产品尤为重要。

[0115] 使用例如约380至约575nm波长的激光来焊接材料诸如金、铜、黄铜、镍、镀镍铜、不锈钢和其他材料、电镀材料和合金,是优选的,因为这些材料在室温下的高吸收率,例如大于约15%的吸收率。本发明的几个优点之一是预选波长激光束,诸如蓝色激光束,能够在激光操作(例如焊接过程)期间更好地将激光能量更好地耦合到材料中的能力。通过将激光能量更好地耦合到被焊接的材料,大大减少并优选消除了失控过程的机会。激光能量的更好耦合还允许使用较低功率的激光,这节省成本。更好的耦合还提供了更好的控制、更高的公差和因此更高的焊缝再现性。IR激光器和IR激光焊接操作中未发现的这些特性对于电子和电力存储领域的其他产品尤为重要。

[0116] 在一个实施方案中,使用以CW模式操作的蓝色激光器。CW操作在许多应用中可能优于脉冲激光,因为它能够快速和全面地调制激光输出并在反馈回路中控制焊接过程,从而产生具有最佳机械和电气特性的高度可重复的过程。

[0117] 在本发明的一个实施方案中,涉及一个、两个或更多个部件的激光加工。部件可由吸收激光束,例如激光束能量的任何类型的材料制成,包括塑料、金属、复合材料、无定形材料和其他类型的材料。在一个实施方案中,激光加工涉及将两个金属部件焊合在一起。在一个实施方案中,激光加工涉及将两个金属部件焊接在一起。

[0118] 在一个实施方案中,提供工具、系统和方法,其中激光焊接操作选自自燃焊接、激光混合焊接、锁孔焊接、搭接焊接、角焊、对接焊接和非自燃焊接。

[0119] 激光焊接技术许多不同的情况下是有用的,特别是在需要焊接以形成电连接的情况下,和特别是诸如电池的电力存储设备中。通常,本发明的激光焊接操作和系统的实施方案包括可以是自生的可见波长激光,优选蓝色波长激光,这意味着仅基材被使用并且在锁孔焊接、传导焊接、搭接焊接、角焊和对接焊接中很常见。激光焊接可以是非自生的,其中填充材料被添加到熔池中以“填充”间隙或形成凸起的焊道以增强焊缝强度。激光焊接技术还将包括激光材料沉积(“LMD”)。

[0120] 本发明的激光焊接操作和系统的实施方案包括可以是混合焊接的可见波长激光,优选蓝色波长激光,其中电流与激光束结合使用以提供更快速的填充材料供给。激光混合

焊接根据定义是非自生的。

[0121] 优选地,在一些实施方案中,主动焊接监控器,例如照相机,可用于动态检查焊缝质量。这些监视器可以包括例如X射线检测系统和超声波检测系统。此外,可以利用在线光束分析和功率监控来全面了解系统特性和操作特性。

[0122] 本申请的激光系统的实施方案可以是将新颖的激光系统和方法与传统的铣削和加工设备相结合的混合系统。以这种方式,可以在制造、建造、修整或其他过程中添加和移除材料。使用本申请的发明人中的一个或多个发明的激光系统的其他实施方案的这种混合系统的实施例在美国专利申请序列No.14/837,782中公开和教导,其全部公开内容通过引用并入本文。

[0123] 通常,在实施方案中,激光焊接使用非常低的气流来保持光学器件清洁,使用气刀来保持光学器件清洁或使用惰性环境来保持光学器件清洁。激光焊接可以在空气、惰性环境或其他受控环境(例如N₂)中进行。

[0124] 存在通过本申请的激光系统和工艺的实施方案执行的两种优选的自生焊接模式,以及它们产生的自生焊缝,传导焊缝和锁孔焊缝。传导焊缝是使用低强度($<100\text{kW}/\text{cm}^2$)的激光束将两块金属焊接在一起。在此,两块金属可以相互对接,向一侧重叠并完全重叠。传导焊缝的熔深不如锁孔焊缝那么深,它通常会为对对接焊缝产生特征性的“球形”焊接接头,该接头非常坚固。然而,在激光束强度相对较高($>500\text{kW}/\text{cm}^2$)的情况下会发生锁孔焊缝,并且这种焊缝可以深入材料,并且当它们重叠时通常会穿透多层材料。对于蓝色激光源,从传导模式到锁孔模式转变的确切阈值尚未确定,但锁孔焊缝在材料顶部具有特征性的“V”形,重新冷冻材料的近平行的通道深入到材料中。锁孔过程依靠激光束从金属熔池侧面的反射来将激光能量传递到材料深处。虽然这些类型的焊可以用任何激光进行,但对于启动这两种类型的焊接来说,预计蓝色激光将具有比红外激光低得多的阈值。

[0125] 提供以下实施例以说明本发明的激光系统和操作的各种实施方案,特别是用于焊接部件的蓝色激光系统,所述部件包括电子存储设备中的部件。这些实施例用于说明目的,可以是预言性的,并且不应被视为和不以其他方式限制本发明的范围。

[0126] 实施例1

[0127] 使用蓝色、蓝绿色、绿色或红色激光束对金属进行激光焊接而不使光束摆动。这些焊缝具有深熔深。因此,提供了使用这些激光束对包括铝箔和铝板的铝基材料的无摆动焊接。在铝、铝基材料和它们的合金上提供无摆动焊接。

[0128] 在这种无摆动激光焊接的实施方案中,激光焊接是使用波长为450nm的蓝色激光束在厚度为2mm或更小、约1mm或更小和小于1mm的铝上进行的。

[0129] 在这种无摆动激光焊接的一个实施方案中,激光焊接是使用波长为460nm的蓝色激光束在厚度小于1mm的铝上进行的。

[0130] 在这种无摆动激光焊接的一个实施方案中,激光焊接是使用波长为470nm的蓝色激光束在厚度小于1mm的铝上进行的。

[0131] 在这种无摆动激光焊接的一个实施方案中,激光焊接是使用波长为515nm的绿色激光束在厚度小于1mm的铝上进行的。

[0132] 在这种无摆动激光焊接的一个实施方案中,激光焊接是使用波长为532nm的绿色激光束在厚度小于1mm的铝上进行的。

[0133] 在这种无摆动激光焊接的一个实施方案中,激光焊接是使用波长为550nm的绿色激光束在厚度小于1mm的铝上进行的。

[0134] 实施例1A

[0135] 使用蓝色、蓝绿色、绿色或红色激光束对金属进行激光焊接而不使光束摆动。这些焊缝具有深熔透。因此,提供了使用这些激光束、使用光束的摆动来焊接铝基材料,包括铝箔和铝板。在铝、铝基材料和它们的合金上提供无摆动焊接。

[0136] 在这种激光焊接的一个实施方案中,激光焊接是使用具有450nm波长的蓝色激光束在具有2mm或更小、约1mm或更小和小于1mm的厚度的铝上进行的。

[0137] 在这种激光焊接的一个实施方案中,激光焊接是使用波长为460nm的蓝色激光束在厚度小于1mm的铝上进行的。

[0138] 在这种激光焊接的一个实施方案中,激光焊接是使用波长为470nm的蓝色激光束在厚度小于1mm的铝上进行的。

[0139] 在这种激光焊接的一个实施方案中,激光焊接是使用波长为515nm的绿色激光束在厚度小于1mm的铝上进行的。

[0140] 在这种激光焊接的一个实施方案中,激光焊接是使用波长为532nm的绿色激光束在厚度小于1mm的铝上进行的。

[0141] 在这种无摆动激光焊接的一个实施方案中,激光焊接是使用波长为550nm的绿色激光束在厚度小于1mm的铝上进行的。

[0142] 实施例2

[0143] 一个实施方案是具有四个200瓦蓝色激光模块的600瓦激光器,提供具有450nm波长的激光束。该激光系统在美国专利申请序列No.16/730,852(代理人案号Nu 18a)中被教导和公开,该申请的全部公开内容通过引用并入本文。激光二极管是单独准直的,光束发散被弄成环形,从而导致每个模块的光束参数乘积为22mm mrad。来自四个蓝色激光模块的激光束在水平方向和垂直方向都被光学剪切,以填充100mm直径聚焦光学元件的孔径。这种复合光束(450nm)的光束参数乘积为44mm mrad。该蓝色激光束经由自由空间传送到工件。注意,光束也可以通过光纤传送。

[0144] 使用具有4'x6'光具座的光学试验板,其允许将实时光束诊断集成到设置中。复合输出光束使用1%光束采样器进行采样,一部分光束被发送到远场轮廓相机和功率计。远场由与焊接透镜相同焦距的透镜产生,100mm F/1或200mm F/2透镜。两个透镜都是ThorLabs的BK7非球面镜。透镜填充不足,约80mm,对于100mm FL透镜,工件上的光斑为约200 μ m,对于200mm FL透镜为约400 μ m。

[0145] 光束焦散通过使Ophir光束轮廓仪平移通过装置的光束采样臂中的100mm FL透镜的焦点和测量95%环绕功率点处的光束直径来测量。该测量表明100mm FL透镜的焦深相对较短。

[0146] Fanuc 6轴机器人(FANUC M-16iB)用于使样品移动通过自由空间光束焦点,其中覆盖气体由安装在机器人适配器上的3/8"直径分布器管提供,并被引导沿着焊接的方向。

[0147] 使用图12和图12A所示类型的焊接固定装置的实施方案。焊接固定装置是焊接过程的一部分,在焊接高导热材料时,它会影响可以实现的熔深、焊接速度以及两者。图12和图12A是焊接固定装置的实施方案的图。在一个实施方案中,使用铝(6061系列)。在另一个

实施方案中,使用不锈钢(316)。铝焊接固定装置倾向于迅速将热带出部件,而不锈钢固定装置则允许大部分热留在部件内。两种材料都用不同的夹持样品(例如工件、部件)方法一起进行评估。惰性气体(诸如氩气- CO_2)流过放置在固定装置中的部件顶部,以抑制焊接过程期间部件的任何氧化。小的间隙4003位于样品中心的下方,以最大限度地减少板实例上焊道点处的散热,并允许将辅助气体添加到焊缝的背面。

[0148] 在锁孔焊接模式下焊接时会产生强的羽流(plume)。由于羽流中的原子和离子很容易吸收 $450\mu\text{m}$ 的光,因此应管理并优选抑制该羽流。一个 $3/8$ "直径的管状分布器用于通过在部件顶部输送 50scfh 的氩气或氩气- CO_2 来抑制羽流。可以使用各种气体进行或制造焊缝以管理羽流和避免部件氧化,包括氩气、氩气- CO_2 、空气、氢气和氮气。优化焊接过程等的目标是在尽可能高的速度下实现最大的熔深。实施例8A至8K中呈现的数据使用氩气作为保护气体。在其他激光焊接和加工应用中,诸如对接焊接、羽流管理是可取的,也是优选的。

[0149] 对于实例8A至8F的500瓦焊接测试,使用200mm焦距透镜将光束聚焦到 $400\mu\text{m}$ 光斑尺寸,导致平均强度为约 $400\text{kW}/\text{cm}^2$,峰值强度接近 $800\text{kW}/\text{cm}^2$ 。

[0150] 对于实例8G至8K的600瓦焊接测试,使用100mm焦距透镜将光束聚焦到 $200\mu\text{m}$ 光斑尺寸,导致平均强度为约 $2.1\text{MW}/\text{cm}^2$,峰值强度接近 $4.5\text{MW}/\text{cm}^2$ 。

[0151] 使用这种激光、过程、板上焊道,用铝(1100系列)、使用500瓦特、 $400\mu\text{m}$ 的光斑尺寸和 $400\text{kW}/\text{cm}^2$ 的平均功率密度来执行和评估焊接。样品全部用剪切机切割成 $10\text{mm}\times 45\text{mm}$ 大小,并在加工前用丙酮清洗。表面光洁度由McMaster Carr提供,对于较薄的样品看起来像轧制的光洁度,对于较厚的样品看起来像铣削的光洁度。

[0152] 用于焊接的样品在评估之前用丙酮擦干净,并用转矩至1牛顿米的螺栓夹在固定装置中。固定装置和样品被保持成与光束法线成 20° 角,以防止背向反射到激光,导致200mm FL透镜的光斑延长至 $400\mu\text{m}\times 540\mu\text{m}$ 。光束角是从光束法线到待焊接的部件的后侧。样品的这种倾斜最可能降低由于部件上较低的强度而可达到的最大焊接速度。焊接的顺序是机器人被命令平移部件,部件和激光束之间有足够的距离以确保机器人达到编程速度,当焊接固定装置穿过激光束的位置时激光被启动。部件以恒定速度平移通过光束,一旦到达焊接固定装置的末端,激光束就会被关闭,并且机器人被命令返回其原始位置。样品被横截、抛光和蚀刻以揭示微结构。所有的焊缝都呈现出球形熔体冻结图案,表明为传导模式焊缝。

[0153] 实施例2A

[0154] 使用实施例2的激光、过程和设置,对铝1100系列样品进行焊接和评估。制备铝1100系列样品并将其安装在与实施例2中的铝部件相同的焊接固定装置中。焊接过程类似于实施例2的铜焊接过程,只是改变了机器人速度。图17所示的焊接速度是在该厚度部件的背面观察到完全穿透焊道的情况。在焊接过程期间没有观察到从熔池飞溅。

[0155] 实施例2B

[0156] 使用实施例2的激光、过程和设置,对并排放置在焊接固定装置中的两个铝1100样品进行对接焊缝和焊接测试。样品用剪切机制备,并且在进行焊接之前,两个边缘没有进行特殊的准备。在焊接之前用丙酮擦拭样品。绘制的最终焊接速度是在被焊接样品的整个长度上获得全熔深焊道的速度。该数据的概要显示在图18中。

[0157] 实施例3

[0158] 实施例1、1A、2、2A和2B的焊接过程产生极少的铝基粉末,优选不产生铝基粉末。在一个实施方案中,前述量的铝基粉末不作为气载的铝粉末或气载的铝微粒生产。

[0159] 实施例4

[0160] 在实施例1、1A、2、2A和2B的焊接过程期间,产生小于50g、小于20g、小于10g、小于1g、小于100mg、小于50mg、小于5mg、小于约1mg、小于1mg、小于约0.5mg、小于0.5mg、小于约0.1mg、小于0.1mg、小于0.05mg、小于0.01mg、约20g至约1mg、约2g至约1mg、约2mg至约0.05mg、约1mg至约0.001mg,以及更少量的铝基粉末,包括铝、铝氧化物和氢氧化铝。在一个实施方案中,前述量的铝基粉末作为气载的铝粉膜或气载的铝微粒生产。

[0161] 实施例5

[0162] 在实施例1、1A、2、2A和2B的形成1mm长度焊缝的焊接过程期间,产生小于50g、小于20g、小于10g、小于1g、小于100mg、小于50mg、小于5mg、小于约1mg、小于1mg、小于约0.5mg、小于0.5mg、小于约0.1mg、小于0.1mg、小于小于0.05mg、小于0.01mg、约20g至约1mg、约2g至约1mg、约2mg至约0.05mg、约1mg至约0.001mg和更少量的铝基粉末,包括铝、氧化铝和氢氧化铝。在一个实施方案中,前述量的铝基粉末作为气载的铝粉或气载的铝微粒生产。

[0163] 实施例6

[0164] 在实施例1、1A、2、2A和2B的焊接过程的至少10秒、10至1000秒、超过1000秒、超过10000秒以及焊缝的全部焊接操作期间,产生小于50g、小于20g、小于10g、小于1g、小于100mg、小于50mg、小于5mg、小于约1mg、小于1mg、小于约0.5mg、小于0.5mg、小于约0.1mg、小于0.1mg、小于0.05mg、小于0.01mg、约20g至约1mg、约2g至约1mg、约2mg至约0.05mg、约1mg至约0.001mg,以及更少量的铝基粉末,包括铝、氧化铝和氢氧化铝。在一个实施方案中,前述量的铝基粉末作为气载的铝粉或气载的铝微粒生产。

[0165] 实施例7

[0166] 实施例1、1A、2、2A和2B的焊接过程产生极少的、优选不产生粒度小于500 μm 的铝基粉末。在一个实施方案中,一定量的铝基粉末不作为气载的铝粉或气载的铝微粒产生。

[0167] 实施例8

[0168] 实施例1、1A、2、2A和2B的焊接过程产生极少的、优选不产生粒度小于约420 μm 、优选小于420 μm 的铝基粉末。在一个实施方案中,一定量的铝基粉末不作为气载的铝粉或气载的铝微粒产生。

[0169] 实施例9

[0170] 提供一种用于焊接更大和更重的铝部件诸如汽车框架、船舶部件、框架、支柱、梁、结构支撑件、机器部件等的重型焊接系统。激光系统具有波长为380nm至850nm、优选为405nm至600nm,功率为500W至5kW、大于4kW、大于5kW、2kW至10kW、1kW至5kW的激光。

[0171] 实施例10

[0172] 在铝基组件(包括铝基部件)的生产、制造和组装过程中,诸如研磨、铣削、机加工和组装的操作可能导致生产不可接受的、不期望的、危险的甚至爆炸性的铝粉尘条件。空气处理系统以及粉尘产生、运输或存在的附近区域可以受到波长为380nm至850nm、优选405nm至600nm的激光束,其中激光束以图案和能量提供使得铝粉被软化、熔化或两者兼而有之,以使较小的粉尘微粒能够凝聚成较大尺寸的凝聚体或微粒,在这些凝聚体或微粒中它们不再易燃或易爆,例如具有大于420 μm 、500 μm 和更大、600 μm 和更大、1000 μm 和更大的粒径的聚

集体或微粒。在一个实施方案中,激光能量足够高从而小微粒被汽化,优选在无氧环境中,蒸汽沉积为表面例如收集板的铝金属。

标题和实施方案

[0173] 应当理解,本说明书中标题的使用是为了清楚的目的,而不是以任何方式进行限制。因此,在标题下描述的过程和公开内容应当结合本说明书的全部内容(包括各种实施例)来阅读。本说明书中标题的使用不应限制本发明的保护范围。

[0174] 注意,不需要提供或解决作为本发明实施方案的主题或与本发明实施方案相关的新颖和开创性工艺、材料、性能或其他有益特征和性质的理论基础。然而,本说明书中提供了各种理论以进一步推进该领域的技术。本说明书中提出的理论,除非另有明确说明,绝不限、限定或缩小所要求保护的发明的保护范围。这些理论很多不需要或被实践来利用本发明。还应理解,本发明可能会导致新的和迄今为止未知的理论来解释本发明的方法、物品、材料、装置和系统的实施方案的功能特征;并且这些后来发展起来的理论不应限制本发明的保护范围。

[0175] 在本说明书中阐述的系统、设备、技术、方法、活动和操作的各种实施方案可以用于各种其他活动以及除了本文阐述的那些之外的其他领域。此外,这些实施方案例如可以用于:未来可能开发的其他设备或活动;和可以部分地根据本说明书的教导进行修改的现有的设备或活动。此外,本说明书中阐述的各种实施方案可以以不同的和各种组合彼此使用。因此,例如,在本说明书的各个实施方案中提供的配置可以相互使用。例如,按照本说明书的教导,具有A、A'和B的实施方案的组件和具有A''、C和D的实施方案的组件可以以各种组合例如A、C、D和A、A''C和D等彼此使用。赋予本发明的保护范围不应限于在特定实施方案、实施例或特定附图中的实施方案中阐述的特定实施方案、配置或布置。

[0176] 在不背离本发明的精神或基本特征的情况下,本发明可以以不同于本文具体公开的那些形式实施。所描述的实施方案在所有方面都被认为仅是说明性的而不是限制性的。

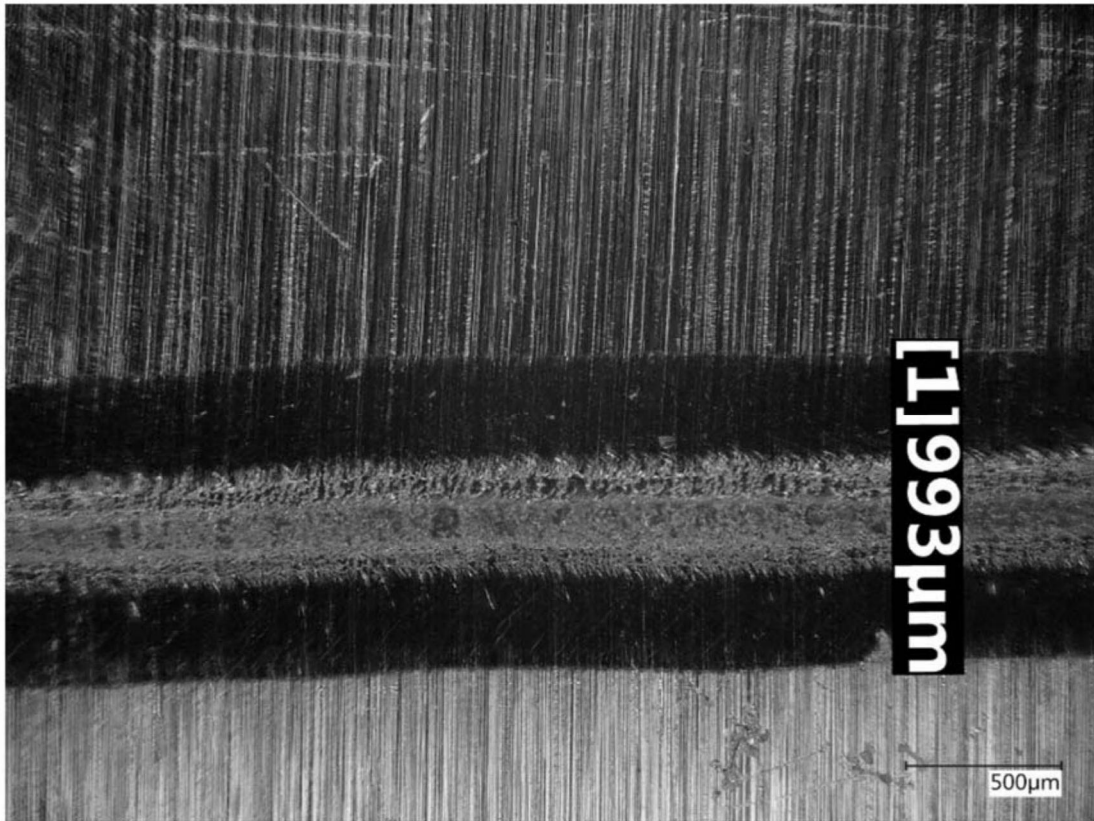


图1

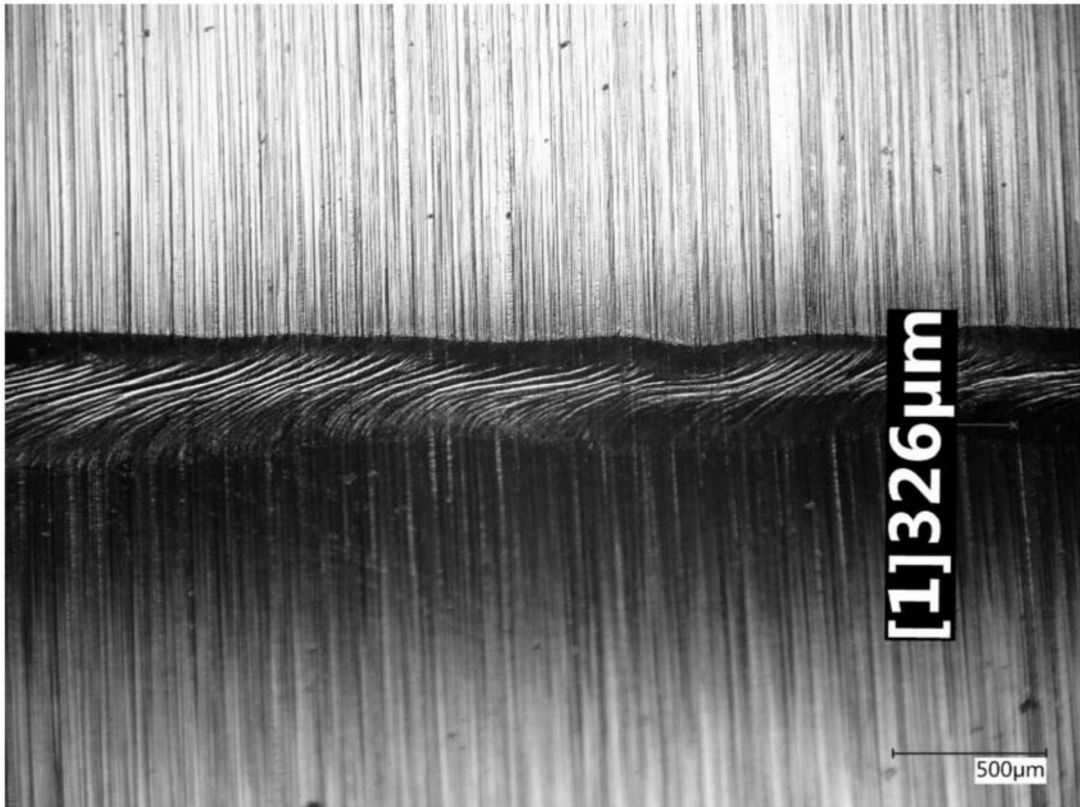


图2

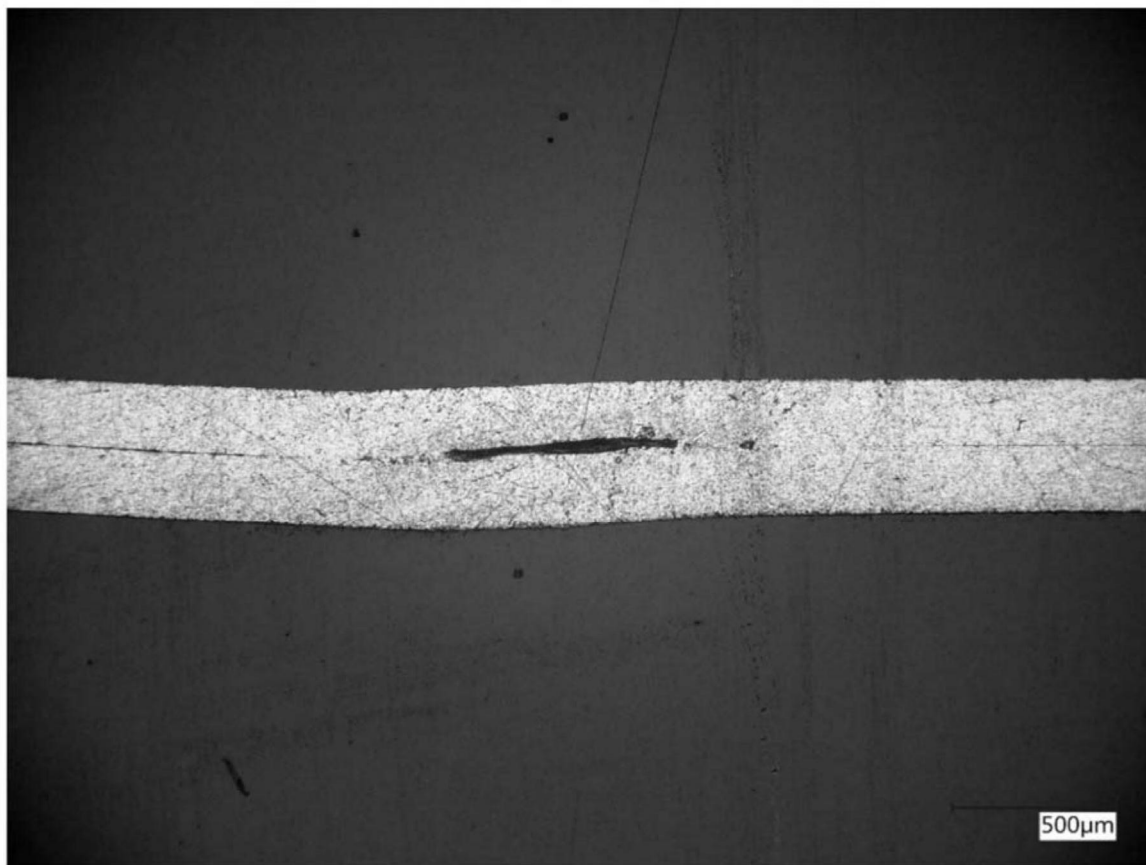


图3



图4

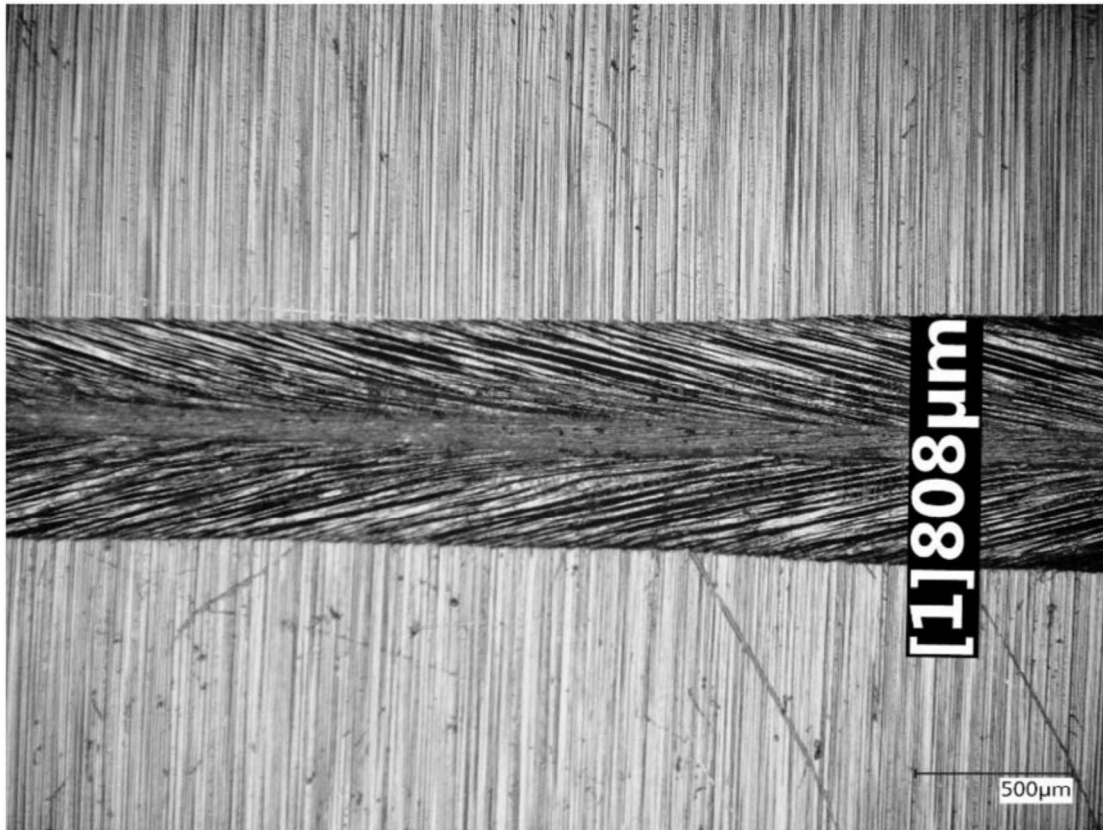


图5

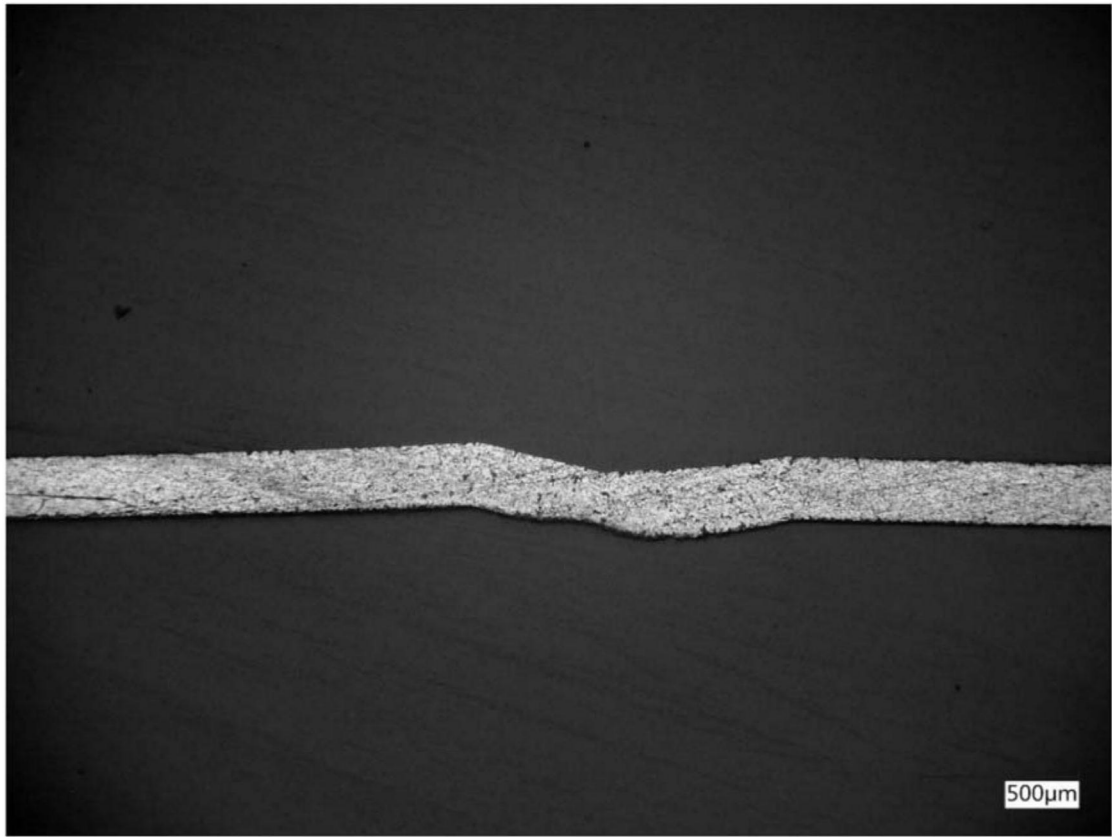


图6



图7

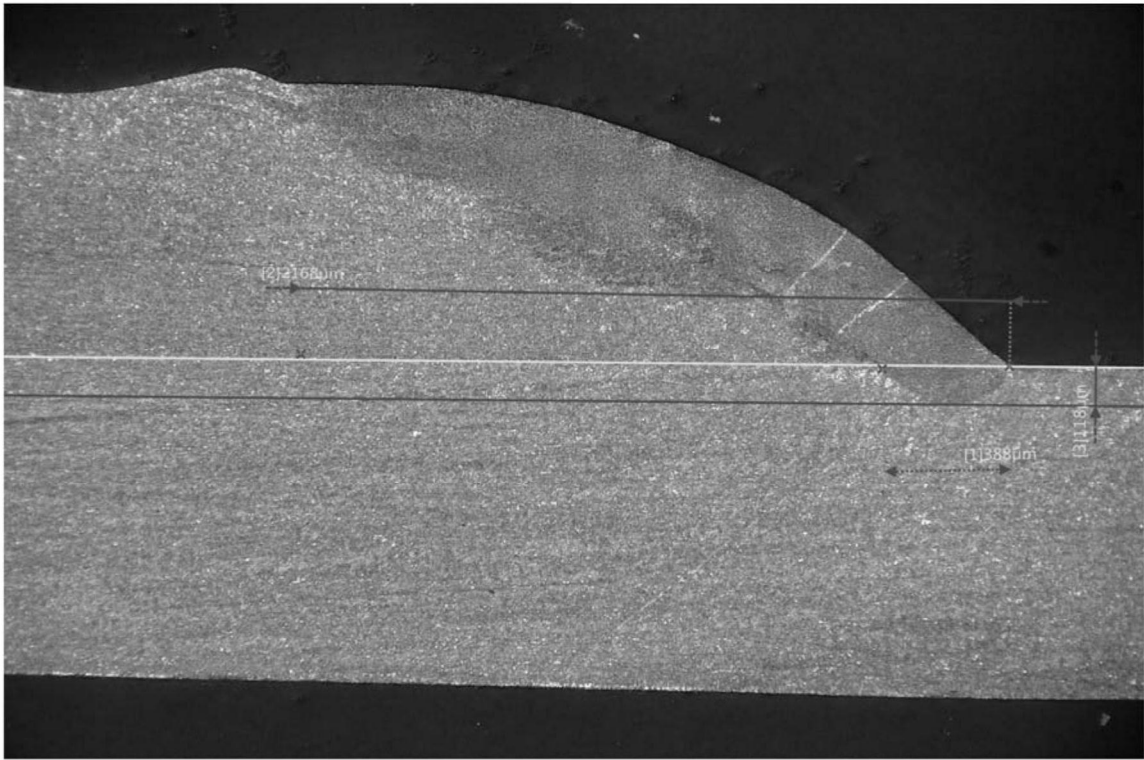


图8

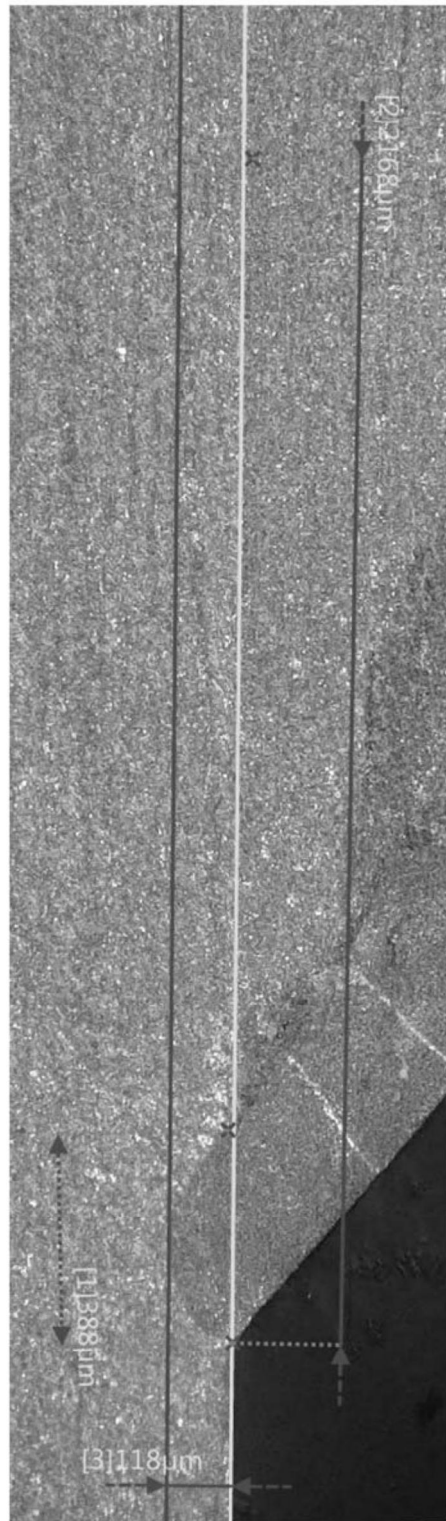


图8的放大图

图8A

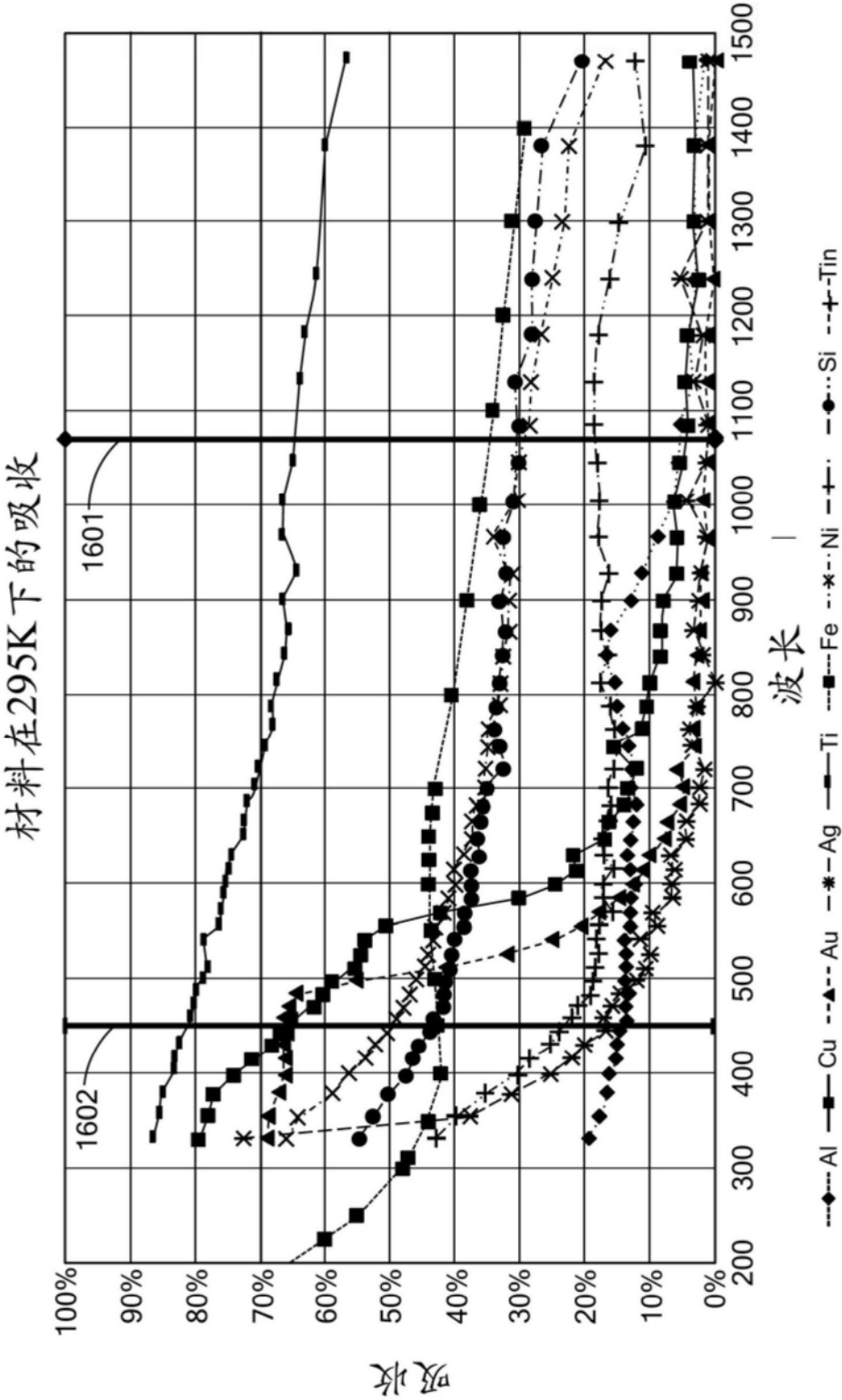


图9

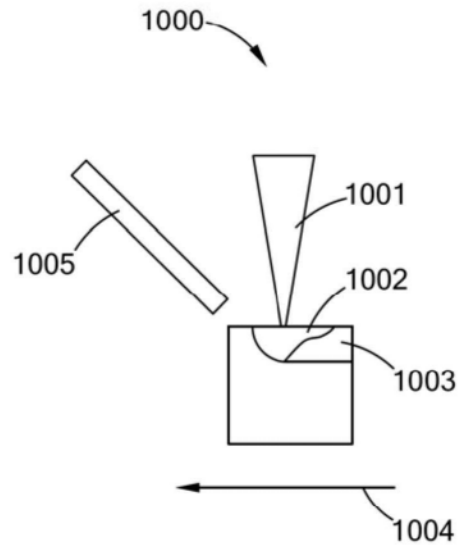


图10

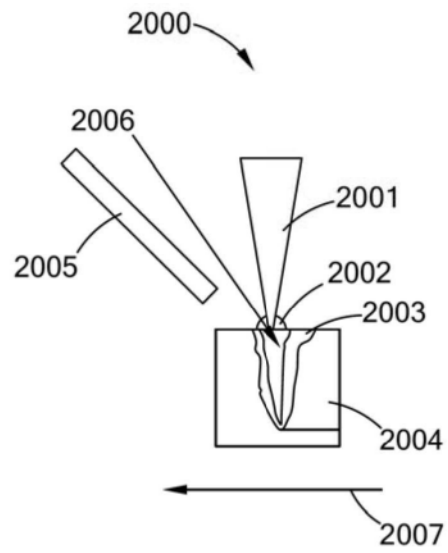


图11

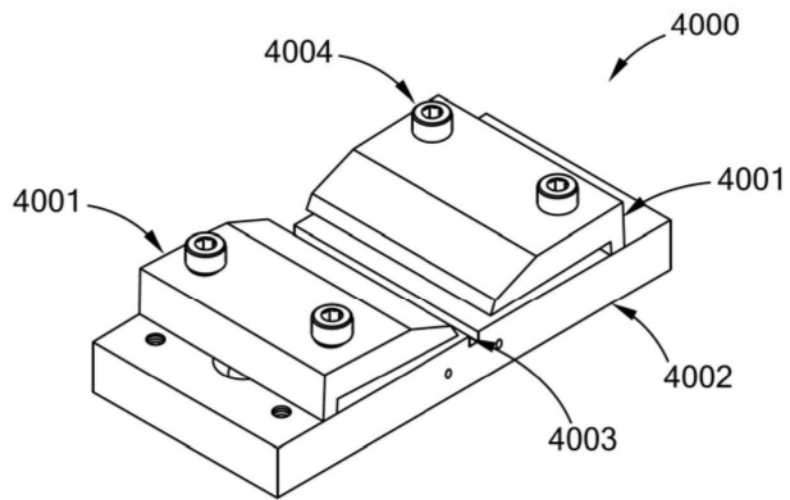


图12

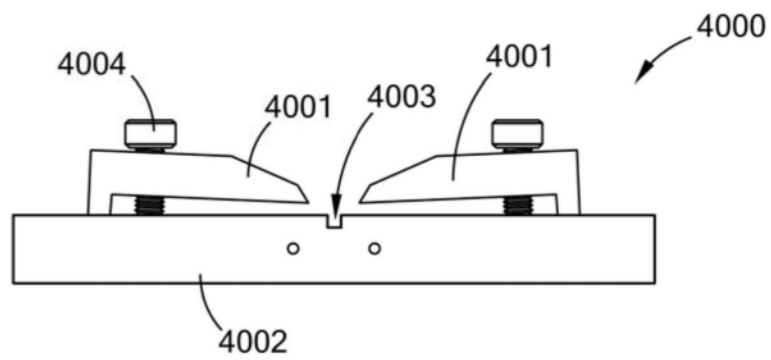


图12A

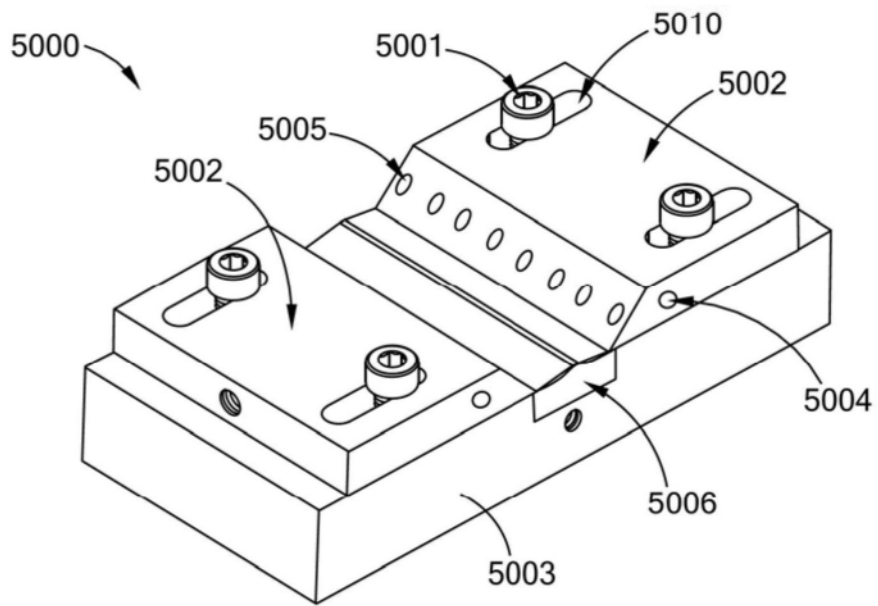


图13

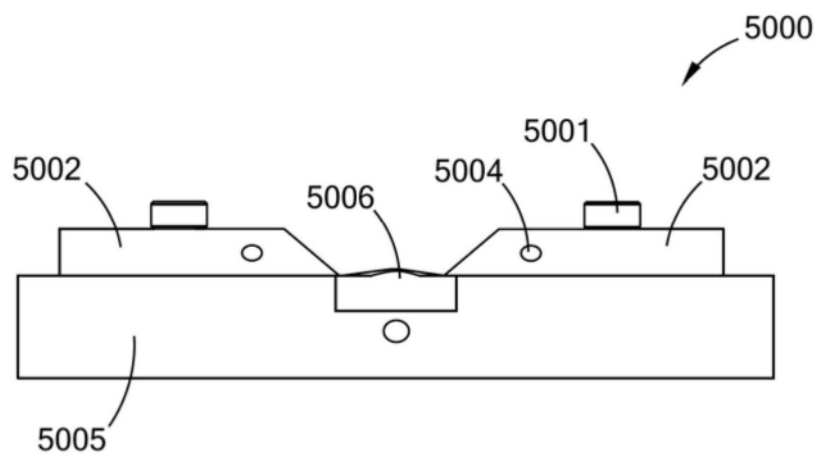


图13A

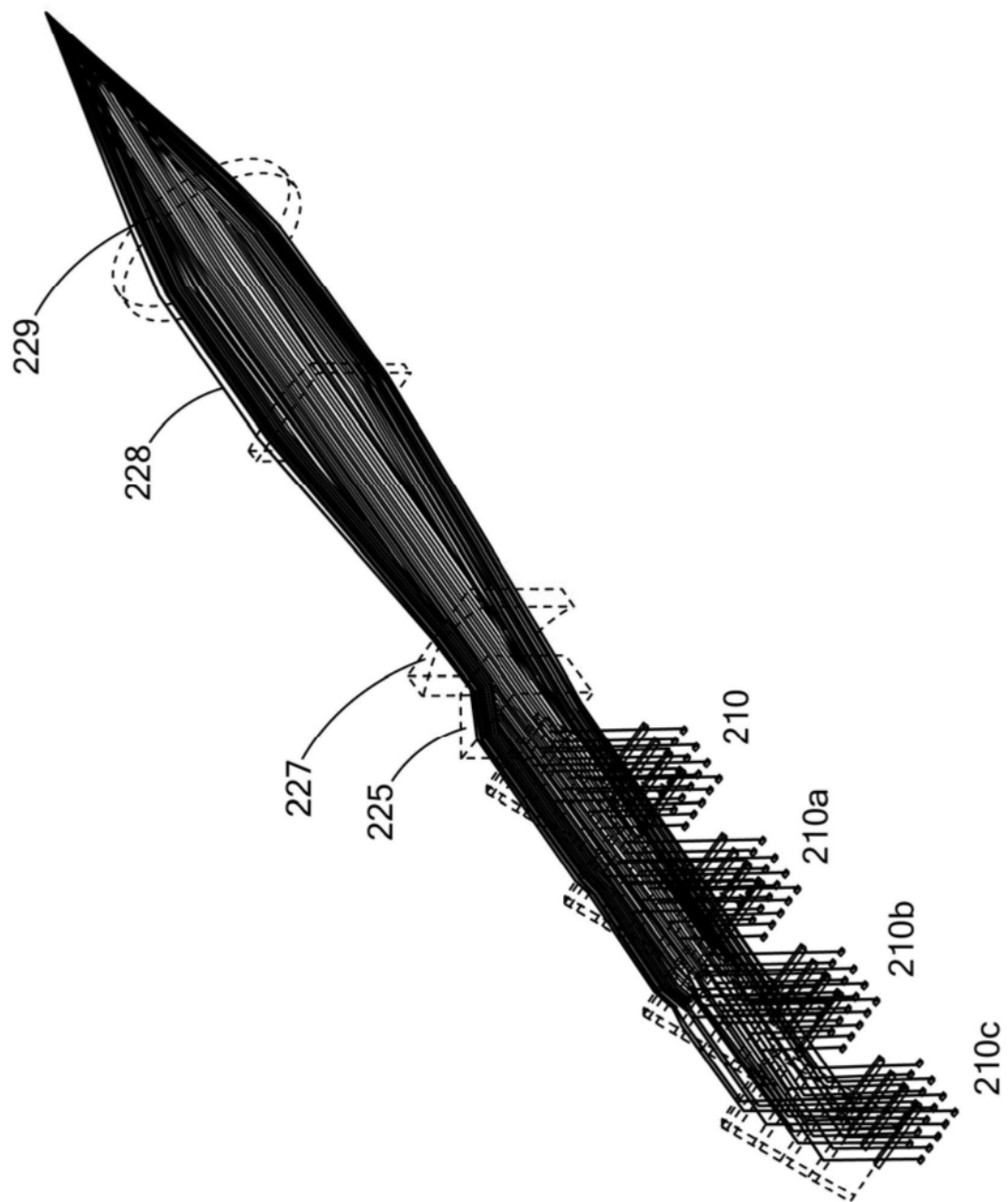


图14

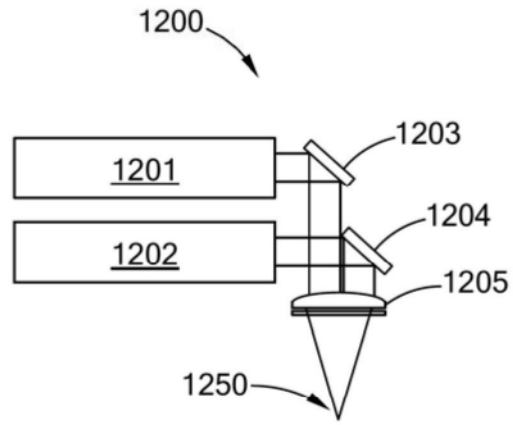


图15

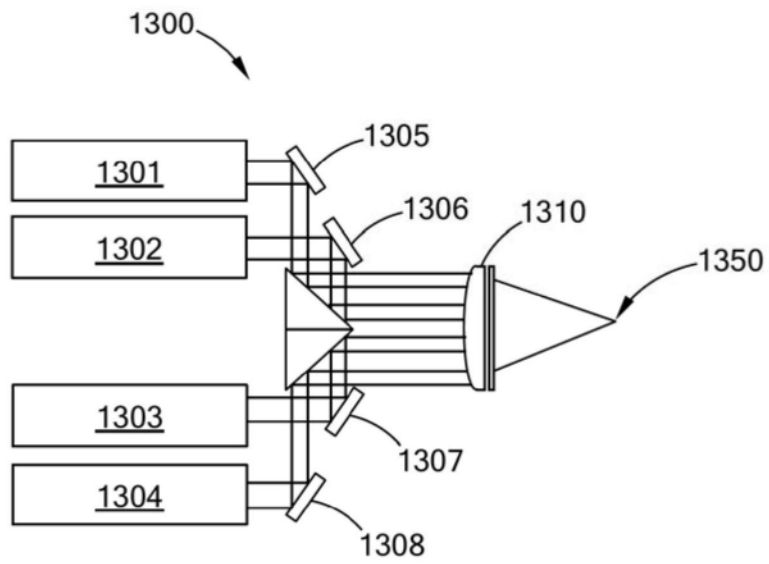


图16

铝BOP-熔深vs速度 (AO-500)

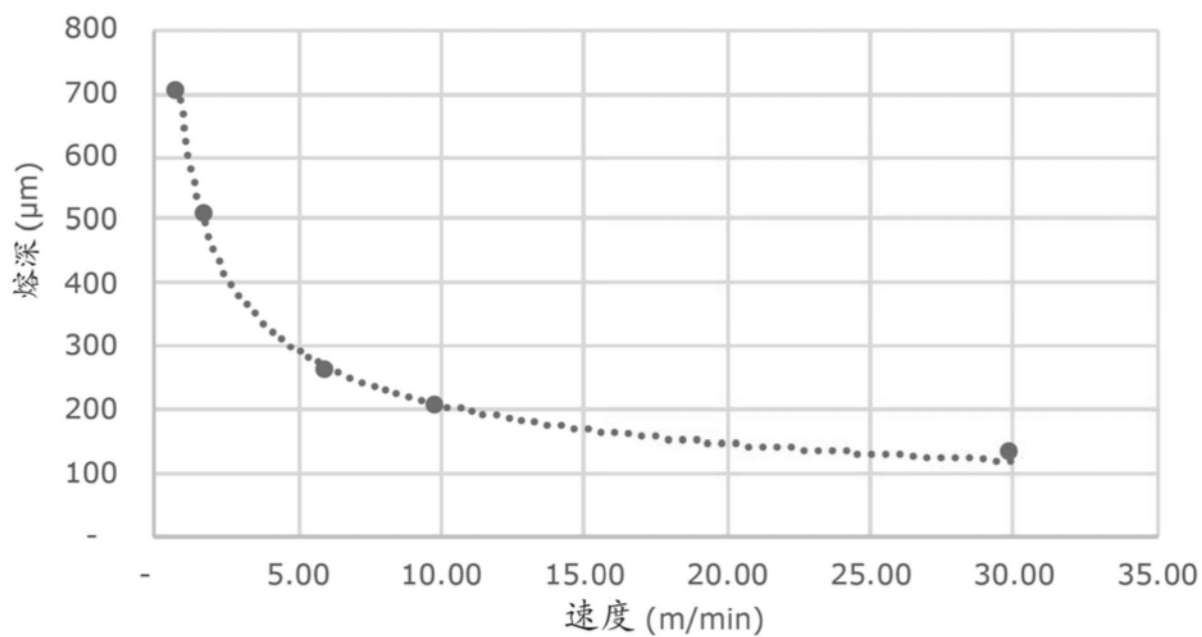


图17

铝对接焊缝-熔深vs速度 (AO-500)

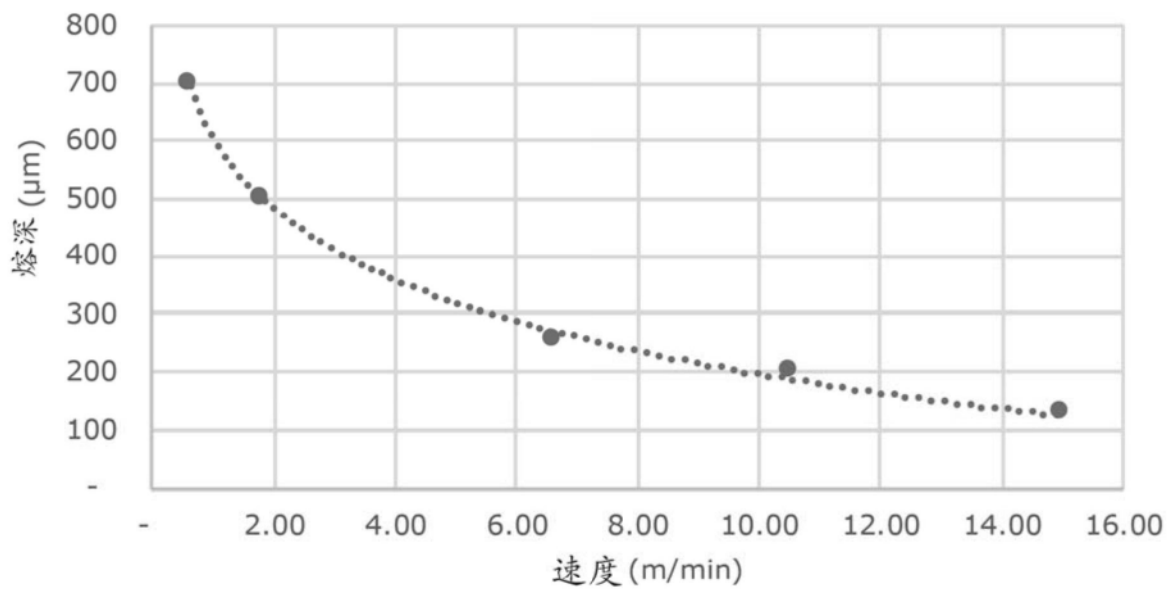


图18