



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105051237 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 11

(21) 申请号 201480014728. 8

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2014. 03. 12

G22F 1/053(2006. 01)

(30) 优先权数据

G22C 21/10(2006. 01)

13/827, 918 2013. 03. 14 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2015. 09. 14

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2014/024576 2014. 03. 12

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/159647 EN 2014. 10. 02

(71) 申请人 美铝公司

地址 美国宾夕法尼亚州

(72) 发明人 严新炎 张文平 D·克拉克

詹姆斯·丹尼尔·布赖恩特 J·林

(74) 专利代理机构 北京市联德律师事务所

11361

代理人 刘永全 王屹东

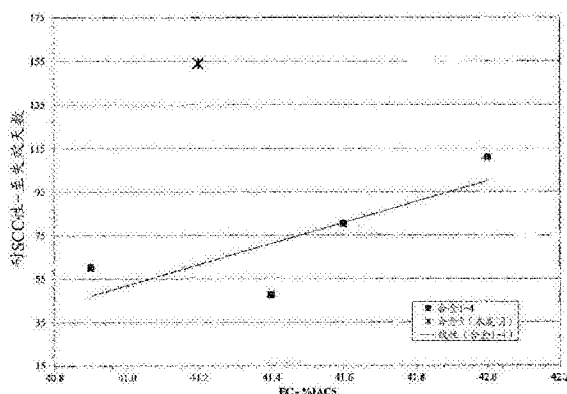
权利要求书5页 说明书24页 附图1页

### (54) 发明名称

用于铝锌镁合金的人工老化方法以及基于该方法的产品

### (57) 摘要

本发明公开了对具有锌和镁的铝合金进行老化的新方法。所述方法可包括：在约 310 °F 至 530 °F 的第一温度下以 1 分钟至 6 小时的第一老化时间对所述铝合金进行首次老化，然后在第二温度下以至少 30 分钟的第二老化时间对所述铝合金进行二次老化，其中所述第二温度低于所述第一温度。



1. 一种方法,包括:

(a) 铸造具有 2.5 重量%至 12.0 重量%的 Zn 和 1.0 重量%至 5.0 重量%的 Mg 的铝合金,其中所述锌和所述镁中的至少一者是除了铝之外的主要合金成分;

(b) 任选地对所述铝合金进行热加工或冷加工;

(c) 在铸造步骤 (a) 和任选步骤 (b) 之后,对该铝合金进行固溶热处理和淬火处理;

(d) 在步骤 (c) 之后,任选地加工所述铝合金;

(e) 在步骤 (c) 和任选的步骤 (d) 之后,对该铝合金进行人工老化,其中人工老化步骤 (e) 包括:

(i) 在约 330 °F 至 530 °F 的第一温度下以 1 分钟至 6 小时的第一老化时间对所述铝合金进行首次老化;

(ii) 在第二温度下以至少 30 分钟的第二老化时间对该铝合金进行二次老化,其中第二温度低于第一温度。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述第一温度为 350 °F 至 460 °F。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述第一温度为 390 °F 至 420 °F。

4. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述第一老化时间不大于 2 小时。

5. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述第一老化时间不大于 1 小时。

6. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述第一老化时间不大于 30 分钟。

7. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述第一老化时间为至少 5 分钟。

8. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述第二老化温度比所述第一老化温度低 5 °F 至 150 °F。

9. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述第二老化温度比所述第一老化温度低 10 °F 至 100 °F。

10. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述第二老化温度比所述第一老化温度低 10 °F 至 75 °F。

11. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述第二老化温度比所述第一老化温度低 20 °F 至 50 °F。

12. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述第一老化温度为约 400 °F,并且其中所述第二老化温度为约 360 °F。

13. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述方法由步骤 (a)、(c) 和 (e) 任选地与步骤 (d) 构成。

14. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述铝合金包含最多 3.0 重量%的 Cu。

15. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中所述铝合金包含 4.0 重量%至 5.0 重量%的 Zn 和 1.0 重量%至 2.5 重量%的 Mg。

16. 一种方法,包括:

(a) 铸造具有 4.0 重量%至 5.0 重量%的 Zn 和 1.0 重量%至 3.0 重量%的 Mg 的铝合金;

(b) 在铸造步骤 (a) 之后,对所述铝合金进行固溶热处理然后进行淬火;

(c) 在步骤 (b) 之后,对所述铝合金进行人工老化,其中所述人工老化步骤 (c) 包括:

(i) 在 400 °F 的第一温度下对所述铝合金进行 1 分钟至 20 分钟的首次老化,或在基本上等同的老化条件下进行首次老化;

(ii) 在 360 °F 的第二温度下对所述铝合金进行 2 小时至 8 小时的二次老化,或在基本上等同的老化条件下进行二次老化;

(d) 任选地拉伸所述铝合金,其中所述任选的拉伸在所述铸造步骤 (b) 之后进行。

17. 根据权利要求 16 所述的方法,包括:

(e) 将所述铝合金形成为预定型产品,这可与所述人工老化步骤 (c) 同时进行或在其后进行。

18. 根据权利要求 16 所述的方法,由步骤 (a) 至 (c) 任选地与步骤 (d) 构成。

19. 根据权利要求 17 所述的方法,由步骤 (a) 至 (c) 和 (e) 任选地与步骤 (d) 构成。

20. 一种方法,包括:

(a) 制备用于固溶热处理的锻制 7xxx 铝合金,其中所述锻制 7xxx 铝合金包含 4.0 重量%至 9.5 重量%的 Zn、1.2 重量%至 3.0 重量%的 Mg 和最多 2.6 重量%的 Cu;

(b) 在步骤 (a) 之后,对所述锻制 7xxx 铝合金进行固溶热处理然后进行淬火;

(c) 在步骤 (b) 之后,对所述锻制 7xxx 铝合金进行人工老化,其中所述人工老化步骤 (c) 包括:

(i) 在 310 °F 至 430 °F 范围内的第一温度下对所述锻制 7xxx 铝合金进行 1 分钟至 360 分钟的首次老化;

(ii) 在第二温度下对所述锻制 7xxx 铝合金进行至少 0.5 小时的二次老化,其中所述第二温度低于所述第一温度。

21. 根据权利要求 20 所述的方法,其中所述第二温度比所述第一温度低至少 10 °F。

22. 根据权利要求 20 所述的方法,其中所述第二温度比所述第一温度低至少 20 °F。

23. 根据权利要求 20 所述的方法,其中所述第二温度比所述第一温度低至少 30 °F。

24. 根据权利要求 20 所述的方法,其中所述第二温度比所述第一温度低至少 40 °F。

25. 根据权利要求 20 所述的方法,其中所述第二温度比所述第一温度低至少 50 °F。

26. 根据权利要求 20 所述的方法,其中所述第二温度比所述第一温度低至少 60 °F。

27. 根据权利要求 20 所述的方法,其中所述第二温度比所述第一温度低至少 70 °F。

28. 根据权利要求 20 至 27 中任一项所述的方法,其中所述第一老化步骤的时间不大于 120 分钟。

29. 根据权利要求 20 至 27 中任一项所述的方法,其中所述第一老化步骤的时间不大于 90 分钟。

30. 根据权利要求 20 至 27 中任一项所述的方法,其中所述第一老化步骤的时间不大于 60 分钟。

31. 根据权利要求 20 至 27 中任一项所述的方法,其中所述第一老化步骤的时间不大于 45 分钟。

32. 根据权利要求 20 至 27 中任一项所述的方法,其中所述第一老化步骤的时间不大于 30 分钟。

33. 根据权利要求 20 至 27 中任一项所述的方法,其中所述第一老化步骤的时间不大于 20 分钟。

34. 根据权利要求 20 至 33 中任一项所述的方法, 其中所述第一老化步骤的时间为至少 5 分钟。

35. 根据权利要求 20 至 27 中任一项所述的方法, 其中所述第一老化步骤的时间为 5 分钟至 20 分钟。

36. 根据权利要求 20 至 35 中任一项所述的方法, 其中所述第二老化步骤的时间为 1 小时至 12 小时。

37. 根据权利要求 20 至 35 中任一项所述的方法, 其中所述第二老化步骤的时间为 2 小时至 8 小时。

38. 根据权利要求 20 至 35 中任一项所述的方法, 其中所述第二老化步骤的时间为 3 小时至 8 小时。

39. 根据权利要求 20 所述的方法, 其中所述合金包含 1.0 重量%至 2.6 重量%的 Cu, 并且其中所述第一温度为 310 °F 至 400 °F, 并且其中所述第一老化步骤的时间不大于 120 分钟。

40. 根据权利要求 20 所述的方法, 其中所述合金包含 1.0 重量%至 2.6 重量%的 Cu, 并且其中所述第一温度为 320 °F 至 390 °F, 并且其中所述第一老化步骤的时间不大于 90 分钟。

41. 根据权利要求 20 所述的方法, 其中所述合金包含 1.0 重量%至 2.6 重量%的 Cu, 并且其中所述第一温度为 330 °F 至 385 °F, 并且其中所述第一老化步骤的时间不大于 60 分钟。

42. 根据权利要求 20 所述的方法, 其中所述合金包含 1.0 重量%至 2.6 重量%的 Cu, 并且其中所述第一温度为 340 °F 至 380 °F, 并且其中所述第一老化步骤的时间不大于 30 分钟。

43. 根据权利要求 39 至 42 中任一项所述的方法, 其中所述第二老化温度为 250 °F 至 350 °F, 并且其中所述第二老化步骤的时间为 0.5 小时至 12 小时。

44. 根据权利要求 39 至 42 中任一项所述的方法, 其中所述第二老化温度为 270° 至 340 °F, 并且其中所述第二老化步骤的时间为 1 小时至 12 小时。

45. 根据权利要求 39 至 42 中任一项所述的方法, 其中所述第二老化温度为 280 °F 至 335 °F, 并且其中所述第二老化步骤的时间为 2 小时至 8 小时。

46. 根据权利要求 39 至 42 中任一项所述的方法, 其中所述第二老化温度为 290 °F 至 330 °F, 并且其中所述第二老化步骤的时间为 2 小时至 8 小时。

47. 根据权利要求 39 至 42 中任一项所述的方法, 其中所述第二老化温度为 300 °F 至 325 °F, 并且其中所述第二老化步骤的时间为 2 小时至 8 小时。

48. 根据权利要求 43 至 47 中任一项所述的方法, 其中所述第二老化步骤的时间为至少 3 小时。

49. 根据权利要求 43 至 47 中任一项所述的方法, 其中所述第二老化步骤的时间为至少 4 小时。

50. 根据权利要求 20 至 49 中任一项所述的方法, 其中所述锻制 7xxx 铝合金包含 5.7 重量%至 8.4 重量%的 Zn、1.3 重量%至 2.3 重量%的 Mg 和 1.3 重量%至 2.6 重量%的 Cu。

51. 根据权利要求 50 所述的方法,其中所述锻制 7xxx 铝合金包含 7.0 重量%至 8.4 重量%的 Zn。

52. 根据权利要求 20 至 49 中任一项所述的方法,其中所述锻制 7xxx 铝合金选自 7x85、7x55、7x50、7x40、7x99、7x65、7x78、7x36、7x37、7x49,和 7x75。

53. 根据权利要求 20 至 49 中任一项所述的方法,其中所述锻制 7xxx 铝合金为 7x85 合金。

54. 根据权利要求 20 至 49 中任一项所述的方法,其中所述锻制 7xxx 铝合金为 7x55 合金。

55. 根据权利要求 20 至 49 中任一项所述的方法,其中所述锻制 7xxx 铝合金为 7x65 合金。

56. 根据权利要求 20 所述的方法,其中所述合金包含 0.25 重量%至小于 1.0 重量%的 Cu,并且其中所述第一温度为 330 °F 至 430 °F,并且其中所述第一老化步骤的时间不大于 120 分钟。

57. 根据权利要求 20 所述的方法,其中所述合金包含 0.25 重量%至小于 1.0 重量%的 Cu,并且其中所述第一温度为 340 °F 至 425 °F,并且其中所述第一老化步骤的时间不大于 90 分钟。

58. 根据权利要求 20 所述的方法,其中所述合金包含 0.25 重量%至小于 1.0 重量%的 Cu,并且其中所述第一温度为 350 °F 至 420 °F,并且其中所述第一老化步骤的时间不大于 60 分钟。

59. 根据权利要求 20 所述的方法,其中所述合金包含 0.25 重量%至小于 1.0 重量%的 Cu,并且其中所述第一温度为 360 °F 至 415 °F,并且其中所述第一老化步骤的时间不大于 30 分钟。

60. 根据权利要求 56 至 59 中任一项所述的方法,其中所述第二老化温度为 250 °F 至 370 °F,并且其中所述第二老化步骤的时间为 0.5 至 12 小时。

61. 根据权利要求 56 至 59 中任一项所述的方法,其中所述第二老化温度为 270 °F 至 360 °F,并且其中所述第二老化步骤的时间为 1 至 12 小时。

62. 根据权利要求 56 至 59 中任一项所述的方法,其中所述第二老化温度为 280 °F 至 355 °F,并且其中所述第二老化步骤的时间为 2 至 8 小时。

63. 根据权利要求 56 至 59 中任一项所述的方法,其中所述第二老化温度为 290 °F 至 350 °F,并且其中所述第二老化步骤的时间为 2 至 8 小时。

64. 根据权利要求 56 至 59 中任一项所述的方法,其中所述第二老化温度为 300 °F 至 345 °F,并且其中所述第二老化步骤的时间为 2 至 8 小时。

65. 根据权利要求 60 至 64 中任一项所述的方法,其中所述第二老化步骤的时间为至少 3 小时。

66. 根据权利要求 60 至 64 中任一项所述的方法,其中所述第二老化步骤的时间为至少 4 小时。

67. 根据权利要求 20 至 38 以及 56 至 66 中任一项所述的方法,其中所述锻制 7xxx 铝合金为 RU1953 合金。

68. 根据权利要求 20 至 38 以及 56 至 66 中任一项所述的方法,其中所述锻制 7xxx 铝

合金为 7x41 合金。

69. 根据权利要求 20 所述的方法,其中所述合金包含小于 0.25 重量%的 Cu,并且其中所述第一温度为 310 °F 至 400 °F,并且其中所述第一老化步骤的时间不大于 120 分钟。

70. 根据权利要求 20 所述的方法,其中所述合金包含小于 0.25 重量%的 Cu,并且其中所述第一温度为 320 °F 至 390 °F,并且其中所述第一老化步骤的时间不大于 90 分钟。

71. 根据权利要求 20 所述的方法,其中所述合金包含小于 0.25 重量%的 Cu,并且其中所述第一温度为 330 °F 至 385 °F,并且其中所述第一老化步骤的时间不大于 60 分钟。

72. 根据权利要求 20 所述的方法,其中所述合金包含小于 0.25 重量%的 Cu,并且其中所述第一温度为 340 °F 至 380 °F,并且其中所述第一老化步骤的时间不大于 30 分钟。

73. 根据权利要求 69 至 72 中任一项所述的方法,其中所述第二老化温度为 250 °F 至 350 °F,并且其中所述第二老化步骤的时间为 0.5 至 12 小时。

74. 根据权利要求 69 至 72 中任一项所述的方法,其中所述第二老化温度为 270 °F 至 340 °F,并且其中所述第二老化步骤的时间为 1 至 12 小时。

75. 根据权利要求 69 至 72 中任一项所述的方法,其中所述第二老化温度为 280 °F 至 335 °F,并且其中所述第二老化步骤的时间为 2 至 8 小时。

76. 根据权利要求 69 至 72 中任一项所述的方法,其中所述第二老化温度为 290 °F 至 330 °F,并且其中所述第二老化步骤的时间为 2 至 8 小时。

77. 根据权利要求 69 至 72 中任一项所述的方法,其中所述第二老化温度为 300 °F 至 325 °F,并且其中所述第二老化步骤的时间为 2 至 8 小时。

78. 根据权利要求 73 至 77 中任一项所述的方法,其中所述第二老化步骤的时间为至少 3 小时。

79. 根据权利要求 73 至 77 中任一项所述的方法,其中所述第二老化步骤的时间为至少 4 小时。

80. 根据权利要求 20 至 38 以及 69 至 79 中任一项所述的方法,其中所述锻制 7xxx 铝合金选自 7x05、7x39、7x47 和 RU1980。

81. 根据权利要求 20 至 49 中任一项所述的方法,其中所述锻制 7xxx 铝合金为 7x39 合金。

82. 根据权利要求 20 至 49 中任一项所述的方法,其中所述锻制 7xxx 铝合金为 RU1980 合金。

83. 根据权利要求 20 至 82 中任一项所述的方法,其中所述方法包括对所述锻制 7xxx 铝合金进行应力消除,其中所述应力消除在步骤 (b) 之后并且在步骤 (c) 之前进行。

84. 根据权利要求 83 所述的方法,其中所述应力消除包括拉伸 0.5% 至 8% 和压缩 0.5% 至 12% 中的至少一者。

85. 根据权利要求中任一项所述的方法,其中所述人工老化步骤由所述第一老化步骤和所述第二老化步骤构成。

## 用于铝锌镁合金的人工老化方法以及基于该方法的产品

### [0001] 背景

[0002] 铝合金在各种各样的应用中是有用的。然而,要改进铝合金的一种特性而不使其另一种特性退化是难以实现的。例如,要增加合金的强度而不降低合金的韧性是困难的。铝合金的其他受关注的特性包括耐腐蚀性和抗疲劳裂纹扩展性,这只是其中两个例子。

### 发明内容

[0003] 广义地讲,本专利申请涉及对具有锌和镁的铝合金进行人工老化的改进方法以及基于该方法的产品。如本文所用,具有锌和镁的铝合金是指这样的铝合金,即锌和镁中至少一者是其中除铝之外的主要合金成分,无论此类铝合金是铸造合金(即,5xx.x 或 7xx.x 合金)或者锻制合金(即,5xxx 或 7xxx 合金)。所述具有锌的铝合金通常包含 2.5 至 12 重量%的 Zn、1.0 至 5.0 重量%的 Mg,并且可包含最多 3.0 重量%的 Cu。在一个实施例中,该铝合金包含 4.0 至 5.0 重量%的 Zn 和 1.0 至 2.5 重量%的 Mg。

[0004] 本专利的方法大体包括:

[0005] (a) 铸造具有 2.5 至 12 重量% Zn、1.0 至 5.0 重量% Mg 的铝合金;然后

[0006] (b) 任选地对该铝合金进行热加工或冷加工;

[0007] (c) 在铸造步骤 (a) 和任选步骤 (b) 之后,对该铝合金进行固溶热处理和淬火处理;

[0008] (d) 在步骤 (c) 之后,任选地加工该铝合金;并且

[0009] (e) 在步骤 (c) 和任选的步骤 (d) 之后,对该铝合金进行人工老化,其中人工老化步骤 (e) 包括:

[0010] (i) 在约 310 °F (或约 330 °F) 至 530 °F 的第一温度下以 1 分钟至 6 小时的第一老化时间对该铝合金进行首次老化;

[0011] (ii) 在第二温度下以至少 30 分钟的第二老化时间对该铝合金进行二次老化,其中第二温度低于第一温度。

[0012] 这些方法相对于传统老化工艺而言可实现综合特性的改进和/或生产量的提高。

[0013] 铸造步骤 (a) 可以是适用于锻制铝合金或铸造铝合金的任何铸造步骤。锻制铝合金可(例如)通过直接冷铸和/或连续铸造(例如,双带式铸造)以及其他方法进行铸造。铸造铝合金为成形铸造,可通过任何适当的成形铸造方法进行铸造,包括永久模铸造、高压压铸、砂模铸造、熔模铸造、挤压铸造和半固态铸造,以及其他方法。

[0014] 在步骤 (a) 之后,该方法可包括 (b) 任选地对铸造铝合金进行热加工和/或冷加工。当铝合金为锻制铝合金时,其通常可进行热加工,并且在铸造步骤之后可进行冷加工。该任选的热加工步骤可包括轧制、挤出和/或锻造。该任选的冷加工步骤可包括滚压成形、拉延和其他冷加工技术。当铝合金为成形铸造铝合金时,未完成该任选的步骤 (b)。在任何热加工步骤之前,可执行均质化步骤(例如,对于锻制铝合金)。

[0015] 在任选的热加工步骤和/或冷加工步骤 (b) 之后,该方法包括 (c) 对铝合金进行固溶热处理然后进行淬火处理。固溶热处理及其后的淬火处理等意味着将铝合金加热到通

常高于相固溶温度的适当温度,并且保持该温度足够长的时间以使可溶性元素进入到固溶体中,然后快速冷却足够长的时间以使这些元素保持在固溶体中。固溶热处理可包括将铝合金放进适当的加热设备中加热一段适当的时间。淬火(冷却)处理可通过任何适当的方式完成,并可使用任何适当的冷却介质。在一个实施例中,淬火处理包括使用气体接触铝合金(例如,空气冷却)。在另一个实施例中,淬火处理包括使用液体接触铝合金板。在一个实施例中,该液体是水基的,诸如水或另一种水基冷却溶液。在一个实施例中,该液体是水,并且水温约等于环境温度。在另一个实施例中,该液体是水,并且水温约等于沸点温度。在另一个实施例中,该液体是一种油。在一个实施例中,该油是碳氢化合物基的。在另一个实施例中,该油是有机硅基的。

[0016] 在对铝合金进行固溶热处理然后进行淬火处理步骤(c)之后,该方法可任选地包括(d)加工该铝合金体,诸如通过拉伸1-10%(例如,为获得平整度和/或消除应力)和/或诱导大量的冷加工(例如,25-90%),如共同拥有的美国专利申请公布 No. 2012/0055888 中的说明。该任选的步骤(d)可包括热加工和/或冷加工。

[0017] 在对铝合金进行固溶热处理然后进行淬火处理步骤(c)以及任选的加工步骤(d)之后,该方法包括对铝合金进行人工老化(e)。该人工老化步骤(e)可包括:(i)在约330°F至530°F的第一温度下以1分钟至6小时的第一老化时间对铝合金进行首次老化,以及(ii)在第二温度下以至少30分钟的第二老化时间对铝合金进行二次老化,其中第二温度低于第一温度。在第一和第二老化步骤之后,可完成一个或多个附加的老化步骤。在第一老化步骤之前,未完成任何人工老化步骤。

[0018] 如上所述,第一老化步骤通常在第一老化温度下执行,该第一老化温度通常为310°F(或约330°F)至530°F。较低的温度可对锌含量较高的铝合金更有用,而较高的温度可对锌含量较低的铝合金更有用。在一个实施例中,第一老化温度为至少350°F。在另一个实施例中,第一老化温度为至少370°F。在又一个实施例中,第一老化温度为至少390°F。在一个实施例中,第一老化温度不大于460°F。在另一个实施例中,第一老化温度不大于420°F。

[0019] 第一老化步骤的持续时间通常为1分钟至6小时,并且可与第一老化温度有关。例如,在较低的温度下,时间较长的第一老化步骤可能有用,而在较高的温度下,时间较短的第一老化步骤可能有用。在一个实施例中,第一老化时间不大于2小时。在另一个实施例中,第一老化时间不大于1小时。在又一个实施例中,第一老化时间不大于45分钟。在另一个实施例中,第一老化时间不大于30分钟。在又一个实施例中,第一老化时间不大于20分钟。在一个实施例中,第一老化时间可为至少5分钟。

[0020] 在一个实施例中,第一老化步骤的实施条件为“在约400°F的温度下老化1至30分钟”,或基本上等同的老化条件。本领域的技术人员已认识到,可根据众所周知的老化原理和/或公式(例如,使用菲克定律)来调整老化温度和/或时间。因此,本领域的技术人员能够增加老化温度而减少老化时间,或反之亦然,或仅仅稍微改变这些参数之一,而仍然实现“在约400°F的温度下老化1至30分钟”所达到的相同结果。能够实现“在约400°F的温度下老化1至30分钟”所达到的相同结果的人工老化实践的数量很多,因此,尽管所有此类替代实践皆处于本发明的范围之内,但在本申请中并未一一列出。短语“或基本上等同的人工老化温度和持续时间”和“或基本上等同的实践”用于概括所有此类替代老化实践。



[0021] 如上所述,第二老化步骤通常为在第二温度下老化至少 30 分钟的时间,并且第二温度低于第一温度。在一个实施例中,第二老化温度比第一老化温度低 5 °F 至 150 °F。在另一个实施例中,第二老化温度比第一老化温度低 10 °F 至 100 °F。在又一个实施例中,第二老化温度比第一老化温度低 10 °F 至 75 °F。在另一个实施例中,第二老化温度比第一老化温度低 20 °F 至 50 °F。

[0022] 如上所述,第二老化步骤的持续时间为至少 30 分钟。在一个实施例中,第二老化步骤的持续时间为至少 1 小时。在另一个实施例中,第二老化步骤的持续时间为至少 2 小时。在又一个实施例中,第二老化步骤的持续时间为至少 3 小时。在一个实施例中,第二老化步骤的持续时间不大于 30 小时。在另一个实施例中,第二老化步骤的持续时间不大于 20 小时。在另一个实施例中,第二老化步骤的持续时间不大于 12 小时。在另一个实施例中,第二老化步骤的持续时间不大于 10 小时。在另一个实施例中,第二老化步骤的持续时间不大于 8 小时。

[0023] 在一个实施例中,第二老化步骤的实施条件为“在约 360 °F 的温度下老化 2 至 8 小时”,或基本上等同的老化条件。本领域的技术人员已认识到,可根据众所周知的老化原理和 / 或公式来调整老化温度和 / 或时间。因此,本领域的技术人员能够增加老化温度而减少老化时间,或反之亦然,或仅仅稍微改变这些参数之一,而仍然实现“在约 360 °F 的温度下老化 2 至 8 小时”所达到的相同结果。能够实现“在约 360 °F 的温度下老化 2 至 8 小时”所达到的相同结果的人工老化实践的数量很多,因此,尽管所有此类替代实践皆处于本发明的范围之内,但在本申请中并未一一列出。短语“或基本上等同的人工老化温度和持续时间”和“或基本上等同的实践”用于概括所有此类替代老化实践。

[0024] 该方法可任选地包括在老化步骤 (e) 期间或之后将铝合金制成预定型产品。如本文所用,“预定型产品”等意指通过成形操作 (例如,拉延、熨压、温成形、滚压成形、剪切成形、旋压成形、成拱、颈缩、翻边、滴塑、卷边、弯曲、接缝、冲压、液压成形,以及卷曲等) 形成的产品,并且其形状在成形操作 (步骤) 之前已确定。预定型产品的例子包括汽车部件 (例如,引擎盖、挡泥板、车门、车顶和行李箱盖等) 和容器 (例如,食品罐头、瓶子等),消费类电子元件 (例如,膝上型计算机、移动电话、摄像机、移动音乐播放器、手持设备、计算机、电视等) 以及其他铝合金产品。在一个实施例中,预定型产品在成形步骤之后处于其最终产品形态。用于制备“预定型产品”的成形步骤可与人工老化步骤同时执行或在其后执行 (例如,与第一老化步骤同时执行或在其后执行,和 / 或与第二老化步骤同时执行或在其前后执行)。

[0025] 在一个实施例中,成形步骤与老化步骤 (e) 同时完成,并且因此可在升高的温度下执行。此类升高的温度下的成形步骤在本文中称为“温成形”操作。在一个实施例中,温成形操作在 200 °F 至 530 °F 的温度下执行。在另一个实施例中,温成形操作在 250 °F 至 450 °F 的温度下执行。因此,在一些实施例中,可使用温成形法制备预定型产品。温成形可有利于制备无缺陷的预定型产品。无缺陷意指部件适于用作商业产品,并且因此可具有极少 (非实质性) 或无裂纹、皱褶、吕德现象 (Ludering)、变薄和 / 或橘皮纹 (仅举几例)。在一个实施例中,可使用室温成形法制备无缺陷的预定型产品。

[0026] 在一种方式中,该方法包括 (a) 用成形铸造法铸造铝合金,其中该铝合金包含 4.0 至 5.0 重量%的 Zn 和 1.0 至 2.5 重量%的 Mg,然后 (b) 对该铝合金进行固溶热处理后再进

行淬火,之后(c)对该铝合金进行人工老化,其中人工老化包括:(i)在约390°F至420°F的第一温度下以1分钟至60分钟的第一老化时间对该铝合金进行首次老化,以及(ii)在第二温度下以至少30分钟的第二老化时间对该铝合金进行二次老化,其中第二温度低于第一温度。在该方式的一个实施例中,第二老化温度为300至380°F,并且老化时间为1至36小时。在另一个实施例中,第二老化温度为330至370°F,并且老化时间为1至8小时。在第一和第二老化步骤之后,可完成一个或多个附加的老化步骤。在第一老化步骤之前未完成任何老化步骤。

[0027] 在一种方式中,该方法包括(a)用成形铸造法铸造铝合金,其中该铝合金为铸铝合金707.X、712.X、713.X或771.X中的一种,然后(b)对该铝合金进行固溶热处理后再进行淬火,之后(c)对该铝合金进行人工老化,其中人工老化包括(i)例如使用上述第一老化条件中的任一种对铝合金进行首次老化,以及(ii)在第二温度下以至少30分钟的第二老化时间对铝合金进行二次老化,其中第二温度低于第一温度。在第一和第二老化步骤之后,可完成一个或多个附加的老化步骤。在第一老化步骤之前,未完成任何人工老化步骤。成形铸造铝合金707.X、712.X、713.X或771.X为已知的铸造合金,并且它们的成分在例如The Aluminum Association document“Designation and Chemical Compositions Limits for Aluminum Alloys in the Form of Castings and Ingot,”April 2002(铝业协会文件“针对铸件和铸块形式的铝合金的命名和化学成分限制”,2002年4月)中有所定义,该文献全文以引用方式并入本文。已知的是,“X”可用“0”、“1”等代替,以限定具体的铸造合金成分(已知的或将来的)。在一般意义上,对于本文而言,“0”通常是指成形铸造产品的成分,而“1”或“2”通常是指铸块的成分。例如,对于由707合金制成的成形铸造产品而言,707.0包含1.8至2.4重量%的Mg,而对于由707合金制成的铸块而言,707.1包含1.9至2.4重量%的Mg。

[0028] 在一个实施例中,合金为锻制的7xxx铝合金产品,意味着合金在铸造后的某个点进行了热加工。锻制产品的例子包括轧制产品(片材和板材)、挤压制品和锻件。在一个实施例中,方法包括(a)制备用于固溶热处理的锻制7xxx铝合金,其中锻制7xxx铝合金包含4.0至9.5重量%的Zn、1.2至3.0重量%的Mg,以及最多2.6重量%的Cu,(b)在步骤(a)之后,对锻制7xxx铝合金进行固溶热处理,然后进行淬火,以及(c)在步骤(b)之后,对锻制7xxx铝合金进行人工老化,其中人工老化步骤(c)包括(i)在310°F至430°F范围内的第一温度下对锻制7xxx铝合金进行1分钟至360分钟的首次老化,(ii)在第二温度下对锻制7xxx铝合金进行至少0.5小时的二次老化,其中第二温度低于第一温度。在第一和第二老化步骤之后,可完成一个或多个附加的老化步骤。在第一老化步骤之前,未完成任何人工老化步骤。在一个实施例中,人工老化步骤由第一老化步骤和第二老化步骤构成(即,仅使用两个老化步骤)。第一和第二人工老化步骤通常包括根据具体情况加热或冷却至规定温度,然后保持规定的时间量。比如,“370°F下持续10分钟”的第一人工老化步骤可包括对铝合金进行加热直到其达到370°F的目标温度,然后在以370°F为中心的可耐受并且可控温度范围内(例如,+/-10°F,或+/-5°F)保持10分钟。可使用老化整合法促进正确老化。

[0029] 在一个实施例中,该方法包括对锻制7xxx铝合金进行应力消除,其中在固溶热处理和其后的淬火处理步骤(b)之后并且在人工老化步骤(c)之前进行应力消除。在一个实

施例中,应力消除包括拉伸 0.5%至 8%和压缩 0.5%至 12%中的至少一者。

[0030] 如上所述,该方法包括对锻制 7xxx 铝合金进行人工老化,其中人工老化步骤 (c) 包括 (i) 在 310 °F 至 430 °F 范围内的第一温度下对锻制 7xxx 铝合金进行 1 分钟至 360 分钟的首次老化, (ii) 在第二温度下对锻制 7xxx 铝合金进行至少 0.5 小时的二次老化,其中第二温度低于第一温度。在一个实施例中,第二温度比第一温度低至少 10 °F。在另一个实施例中,第二温度比第一温度低至少 20 °F。在又一个实施例中,第二温度比第一温度低至少 30 °F。在另一个实施例中,第二温度比第一温度低至少 40 °F。在又一个实施例中,第二温度比第一温度低至少 50 °F。在另一个实施例中,第二温度比第一温度低至少 60 °F。在又一个实施例中,第二温度比第一温度低至少 70 °F。在一个实施例中,第一老化步骤的时间不大于 120 分钟。在另一个实施例中,第一老化步骤的时间不大于 90 分钟。在又一个实施例中,第一老化步骤的时间不大于 60 分钟。在另一个实施例中,第一老化步骤的时间不大于 45 分钟。在又一个实施例中,第一老化步骤的时间不大于 30 分钟。在另一个实施例中,第一老化步骤的时间不大于 20 分钟。在一个实施例中,第一老化步骤的时间为至少 5 分钟。在另一个实施例中,第一老化步骤的时间为至少 10 分钟。在一个实施例中,第一老化步骤的时间为 5 至 20 分钟。在一个实施例中,第二老化步骤的时间为 1 至 12 小时。在另一个实施例中,第二老化步骤的时间为 2 至 8 小时。在又一个实施例中,第二老化步骤的时间为 3 至 8 小时。

[0031] 在一种方式中,锻制 7xxx 铝合金包含 4.0 至 9.5 重量%的 Zn、1.2 至 3.0 重量%的 Mg 和 1.0 至 2.6 重量%的 Cu。在与该方式相关联的一个实施例中,第一温度为 310° 至 400 °F,并且第一老化步骤的时间不大于 120 分钟。在另一个实施例中,第一温度为 320° 至 390 °F,并且第一老化步骤的时间不大于 90 分钟。在又一个实施例中,第一温度为 330° 至 385 °F,并且其中第一老化步骤的时间不大于 60 分钟。在另一个实施例中,第一温度为 340° 至 380 °F,并且第一老化步骤的时间不大于 30 分钟。在一个实施例中,第二老化温度为 250° 至 350 °F,并且第二老化步骤的时间为 0.5 至 12 小时。在另一个实施例中,第二老化温度为 270° 至 340 °F,并且第二老化步骤的时间为 1 至 12 小时。在又一个实施例中,第二老化温度为 280° 至 335 °F,并且第二老化步骤的时间为 2 至 8 小时。在另一个实施例中,第二老化温度为 290° 至 330 °F,并且其中第二老化步骤的时间为 2 至 8 小时。在又一个实施例中,第二老化温度为 300° 至 325 °F,并且其中第二老化步骤的时间为 2 至 8 小时。在这些实施例的一些中,第二老化步骤的时间为至少 3 小时。在这些实施例的一些中,第二老化步骤的时间为至少 4 小时。在一个实施例中,锻制 7xxx 铝合金包含 5.7 至 8.4 重量%的 Zn、1.3 至 2.3 重量%的 Mg 和 1.3 至 2.6 重量%的 Cu。在一个实施例中,锻制 7xxx 铝合金包含 7.0 至 8.4 重量%的 Zn。在一个实施例中,锻制 7xxx 铝合金选自 7x85、7x55、7x50、7x40、7x99、7x65、7x78、7x36、7x37、7x49 和 7x75 等,如 The Aluminum Association document “International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys” February 2009 (铝业协会文件“针对锻制铝及锻制铝合金的国际合金命名和化学成分限制”,2009 年 2 月) 及其对应的 2014 年 2 月附录 (统称为“Teal Sheets”) 中所定义,这两个文献全文以引用方式并入本文。已知的是,“x”可视情况而定用“0”、“1”等代替,以限定具体的锻制 7xxx 铝合金成分 (已知的或将来的)。例如,7040 包含 1.5 至 2.3 重量%的 Cu、1.7 至 2.4 重量%的 Mg 和 5.7 至 6.7

重量%的 Zn, 而 7140 包含 1.3 至 2.3 重量%的 Cu、1.5 至 2.4 重量%的 Mg 和 6.2 至 7.0 重量%的 Zn, 如 Teal Sheets 所示。在一个实施例中, 锻制 7xxx 铝合金为 7x85 合金。在另一个实施例中, 锻制 7xxx 铝合金为 7x55 合金。在又一个实施例中, 锻制 7xxx 铝合金为 7x40 合金。在另一个实施例中, 7xxx 铝合金为 7x65 合金。在另一个实施例中, 合金为 7x50 合金。在又一个实施例中, 7xxx 铝合金为 7x75 合金。

[0032] 在另一种方式中, 锻制 7xxx 铝合金包含 4.0 至 9.5 重量%的 Zn、1.2 至 3.0 重量%的 Mg 和 0.25 至小于 1.0 重量%的 Cu。在与该方式相关联的一个实施例中, 第一温度为 330° 至 430 °F, 并且第一老化步骤的时间不大于 120 分钟。在另一个实施例中, 第一温度为 340° 至 425 °F, 并且第一老化步骤的时间不大于 90 分钟。在又一个实施例中, 第一温度为 350° 至 420 °F, 并且第一老化步骤的时间不大于 60 分钟。在另一个实施例中, 第一温度为 360° 至 415 °F, 并且第一老化步骤的时间不大于 30 分钟。在一个实施例中, 第二老化温度为 250° 至 370 °F, 并且第二老化步骤的时间为 0.5 至 12 小时。在另一个实施例中, 第二老化温度为 270° 至 360 °F, 并且第二老化步骤的时间为 1 至 12 小时。在又一个实施例中, 第二老化温度为 280° 至 355 °F, 并且第二老化步骤的时间为 2 至 8 小时。在另一个实施例中, 第二老化温度为 290° 至 350 °F, 并且第二老化步骤的时间为 2 至 8 小时。在又一个实施例中, 第二老化温度为 300° 至 345 °F, 并且第二老化步骤的时间为 2 至 8 小时。在这些实施例的一些中, 第二老化步骤的时间为至少 3 小时。在这些实施例的一些中, 第二老化步骤的时间为至少 4 小时。在一个实施例中, 锻制 7xxx 铝合金为 7x41 合金, 如 Teal Sheets 所定义。在一个实施例中, 锻制 7xxx 铝合金为俄罗斯合金 RU1953。

[0033] 在又一种方法中, 锻制 7xxx 铝合金包含 4.0 至 9.5 重量%的 Zn、1.2 至 3.0 重量%的 Mg 和小于 0.25 重量%的 Cu。在与该方式相关联的一个实施例中, 第一温度为 310° 至 400 °F, 并且第一老化步骤的时间不大于 120 分钟。在另一个实施例中, 第一温度为 320° 至 390 °F, 并且第一老化步骤的时间不大于 90 分钟。在又一个实施例中, 第一温度为 330° 至 385 °F, 并且第一老化步骤的时间不大于 60 分钟。在另一个实施例中, 第一温度为 340° 至 380 °F, 并且第一老化步骤的时间不大于 30 分钟。在一个实施例中, 第二老化温度为 250° 至 350 °F, 并且第二老化步骤的时间为 0.5 至 12 小时。在另一个实施例中, 第二老化温度为 270° 至 340 °F, 并且第二老化步骤的时间为 1 至 12 小时。在又一个实施例中, 第二老化温度为 280° 至 335 °F, 并且第二老化步骤的时间为 2 至 8 小时。在另一个实施例中, 第二老化温度为 290° 至 330 °F, 并且第二老化步骤的时间为 2 至 8 小时。在又一个实施例中, 第二老化温度为 300° 至 325 °F, 并且第二老化步骤的时间为 2 至 8 小时。在这些实施例的一些中, 第二老化步骤的时间为至少 3 小时。在这些实施例的一些中, 第二老化步骤的时间为至少 4 小时。在一个实施例中, 锻制 7xxx 铝合金选自如 Teal Sheets 所定义的 7x05、7x39 和 7x47, 或俄罗斯合金 RU1980。在一个实施例中, 锻制 7xxx 铝合金为 7x39 合金。在一个实施例中, 锻制 7xxx 铝合金为俄罗斯合金 RU1980。

[0034] 本文所述具有锌和镁的新型铝合金可用于多种应用, 诸如汽车和 / 或航空航天应用等。在一个实施例中, 新型铝合金用于航空航天应用, 诸如机翼蒙皮 (上部和下部) 或纵梁 / 加强件、机身蒙皮或纵梁、肋、框架、翼梁、座椅导轨, 舱壁、周向框架、尾翼 (诸如水平和垂直稳定器), 底梁、座椅导轨、门和控制面部件 (如, 方向舵、副翼) 等。在另一个实施例中, 新型铝合金用于汽车应用, 诸如闭合板 (如, 引擎盖、挡泥板、车门、车顶和行李箱盖等), 车

轮,以及临界强度的应用,诸如白车身(如,立柱、加强件)应用等。在另一个实施例中,新型铝合金用于弹药/弹道/军事应用,诸如用于弹药筒和装甲等。弹药筒可包括在轻武器和加农炮中使用或用于火炮或坦克炮弹的那些弹药筒。其他可能的弹药部件可包括弹托和尾翼。火炮引信部件是另一种可能的应用,就像用于精确制导炸弹和导弹的尾翼和控制面。装甲部件可包括装甲板或军用车辆的结构部件。在另一个实施例中,新型铝合金用于石油和天然气应用,诸如用于立管、辅助管线、钻探管、节流和压井管线、生产管道和下降管等。

## 附图说明

[0035] 图1为曲线图,示出实例1合金的电导率与SCC性能。

## 具体实施方式

[0036] 实例1

[0037] 通过定向凝固铸造具有下表1所示的成分的7xx铸造铝合金。

[0038] 表1-实例1合金的成分(以重量%计)

[0039]

| 合金 | Zn   | Mg   | Cu   |
|----|------|------|------|
| 1  | 4.24 | 1.52 | 0.80 |

[0040] 在铸造之后,对合金1进行固溶热处理,然后在沸水中淬火。然后通过室温下将合金1自然老化约12至24小时而使其稳定。接下来在各种时间和温度下对合金1进行人工老化,如下表2所示。对于合金1-A至1-D而言,在约40分钟的时间内将合金从环境温度加热至第一老化温度,然后使其在第一老化温度下保持规定的持续时间;完成第一老化步骤之后,在约45分钟的时间内将合金1-A至1-D加热至第二老化温度,然后使其在第二老化温度下保持规定的持续时间。在约50分钟的时间内将合金1-E从环境温度加热至第一老化温度,然后使其在第一老化温度下保持规定的持续时间;在完成第一老化步骤之后,关闭加热炉的电源并使其暴露于空气中,直到加热炉达到第二目标温度(约10分钟),然后使合金1-E在第二老化温度下保持规定的持续时间。

[0041] 表2-人工老化实践

[0042]

| 合金  | 第一步骤          | 第二步骤          | 注意   |
|-----|---------------|---------------|------|
| 1-A | 250 °F, 3 小时  | 360 °F, 16 小时 | 非本发明 |
| 1-B | 250 °F, 3 小时  | 360 °F, 3 小时  | 非本发明 |
| 1-C | 250 °F, 3 小时  | 360 °F, 4 小时  | 非本发明 |
| 1-D | 250 °F, 3 小时  | 360 °F, 5 小时  | 非本发明 |
| 1-E | 400 °F, 10 分钟 | 360 °F, 4 小时  | 本发明  |

[0043] 然后测量合金的各种机械特性和耐应力腐蚀开裂 (SCC) 性, 所得结果示于下表 3-5 中。根据 ASTM E8 和 B557 对强度和伸长率进行测量 (取三份样品的平均值)。根据 ASTM E466 ( $K_t = 1$ ,  $R = -1$ , 应力 = 23.2ksi, 25Hz, 实验室环境下) 对疲劳性能进行测试 (取三份样品的平均值)。根据 ASTM G103 (应力 = 34.8ksi) 测量耐 SCC 性。

[0044] 表 3- 强度和拉伸特性 (实例 1 合金)

[0045]

| 合金  | TYS<br>(ksi) | UTS<br>(ksi) | 总 El<br>(%) |
|-----|--------------|--------------|-------------|
| 1-A | 47.4         | 55.4         | 9.3         |
| 1-B | 49.9         | 56.5         | 6.7         |
| 1-C | 48.5         | 56.3         | 9.3         |
| 1-D | 47.4         | 53.9         | 6.3         |
| 1-E | 46.8         | 54.7         | 8.7         |

[0046] 表 4- 疲劳特性 (实例 1 合金)

[0047]

| 合金  | 至失效<br>平均周期 | 标准偏差    |
|-----|-------------|---------|
| 1-A | 105,421     | 27,715  |
| 1-B | 109,519     | 58,674  |
| 1-C | 142,187     | 105,362 |

[0048]

|     |         |        |
|-----|---------|--------|
| 1-D | 90,002  | 22,694 |
| 1-E | 144,611 | 35,256 |

[0049] 表 5- 耐 SCC 性 (实例 1 合金)

[0050]

| 合金  | 样品 | 至失效小时数 | 至失效平均小时数 |
|-----|----|--------|----------|
| 1-A | 1  | 45     | 111      |
|     | 2  | 96     |          |
|     | 3  | 96     |          |
|     | 4  | 150    |          |
|     | 5  | 168    |          |
| 1-B | 1  | 21     | 60.2     |
|     | 2  | 45     |          |
|     | 3  | 45     |          |
|     | 4  | 72     |          |
|     | 5  | 118    |          |
| 1-C | 1  | 24     | 47.8     |
|     | 2  | 30     |          |
|     | 3  | 45     |          |
|     | 4  | 68     |          |
|     | 5  | 72     |          |
| 1-D | 1  | 68     | 80.4     |
|     | 2  | 72     |          |
|     | 3  | 72     |          |
|     | 4  | 72     |          |
|     | 5  | 118    |          |
| 1-E | 1  | 142    | 154      |
|     | 2  | 142    |          |
|     | 3  | 150    |          |
|     | 4  | 168    |          |
|     | 5  | 168    |          |

[0051] 如上所示,与非本发明的合金相比,本发明的合金(1-E)达到了大约相同的强度而且具有更好的耐疲劳性。与非本发明的合金相比,本发明的合金还达到了更好的耐应力腐蚀开裂性。此外,本发明的合金仅用约4小时10分钟的人工老化时间就达到了改进的特性,而非本发明的合金全部需要至少6小时或更多小时数的人工老化时间。

[0052] 还使用HOCKing电导率计(AutoSigma 3000DL)测量了合金的电导率,所得结果示于下表6中(取四份样品的平均值)。如图1所示,本发明的合金出乎意料地达到了更低电导率下的更优SCC性能。本发明的合金的更低电导率表明其未被过度老化,但仍然达到了改进的SCC性能。

[0053] 表6- 电导率(实例1合金)

[0054]

| 合金  | 平均电导率<br>(% IACS) | 标准偏差 |
|-----|-------------------|------|
| 1-A | 42.0              | 0.05 |
| 1-B | 40.9              | 0.15 |
| 1-C | 41.4              | 0.05 |
| 1-D | 41.6              | 0.01 |
| 1-E | 41.2              | 0.06 |

[0055] 实例 2

[0056] 以类似于实例 1 的方式来加工实例 2 的合金 1,但是使用了下表 7 所示的各种时间来进行人工老化。

[0057] 表 7- 人工老化实践

[0058]

| 合金  | 第一步骤          | 第二步骤         | 注意  |
|-----|---------------|--------------|-----|
| 1-F | 400 °F, 10 分钟 | 360 °F, 3 小时 | 本发明 |
| 1-G | 400 °F, 10 分钟 | 360 °F, 4 小时 | 本发明 |
| 1-H | 400 °F, 10 分钟 | 360 °F, 6 小时 | 本发明 |
| 1-I | 400 °F, 5 分钟  | 360 °F, 4 小时 | 本发明 |
| 1-J | 400 °F, 20 分钟 | 360 °F, 4 小时 | 本发明 |

[0059] 然后测量合金的各种机械特性和耐应力腐蚀开裂 (SCC) 性,所得结果示于下表 8-10 中。根据 ASTM E8 和 B557 对强度和伸长率进行测量 (取三份样品的平均值)。根据 ASTM E466 ( $K_t = 1$ ,  $R = -1$ , 应力 = 23.2ksi, 25Hz, 实验室环境下) 对疲劳性能进行测试 (取三份样品的平均值)。根据 ASTM G103 (应力 = 34.8ksi) 测量耐 SCC 性。

[0060] 表 8- 强度和拉伸特性 (实例 2 合金)

[0061]

| 合金 | TYS<br>(ksi) | UTS<br>(ksi) | 总 El<br>(%) |
|----|--------------|--------------|-------------|
|----|--------------|--------------|-------------|

[0062]

|     |      |      |     |
|-----|------|------|-----|
| 1-F | 48.7 | 55.5 | 7.3 |
| 1-G | 48.0 | 55.1 | 7.3 |
| 1-H | 48.0 | 54.7 | 7.0 |
| 1-I | 46.9 | 53.6 | 6.3 |
| 1-J | 47.5 | 54.5 | 8.0 |

[0063] 表 9- 疲劳特性 (实例 2 合金)

[0064]



| 合金  | 至失效<br>平均周期 | 标准偏差   |
|-----|-------------|--------|
| 1-F | 112,269     | 48,630 |
| 1-G | 144,611     | 35,256 |
| 1-H | 94,599      | 49,852 |
| 1-I | 103,367     | 31,106 |
| 1-J | 107,605     | 16,369 |

[0065] 表 10- 耐 SCC 性 ( 实例 2 合金 )

[0066]

| 合金  | 样品 | 至失效小时数 | 至失效平均小时数 |
|-----|----|--------|----------|
| 1-F | 1  | 72     | 102.3    |
|     | 2  | 72     |          |
|     | 3  | 96     |          |
|     | 4  | 124.08 |          |
|     | 5  | 147.6  |          |
| 1-G | 1  | 96     | 142.8    |
|     | 2  | 113.76 |          |
|     | 3  | 168    |          |
|     | 4  | 168    |          |
|     | 5  | 168    |          |
| 1-H | 1  | 96     | 124.8    |
|     | 2  | 96     |          |
|     | 3  | 96     |          |
|     | 4  | 168    |          |
|     | 5  | 168    |          |
| 1-I | 1  | 42     | 118.8    |
|     | 2  | 96     |          |
|     | 3  | 120    |          |
|     | 4  | 168    |          |

[0067]

|     |   |     |       |
|-----|---|-----|-------|
|     | 5 | 168 |       |
| 1-J | 1 | 96  | 138.0 |
|     | 2 | 114 |       |
|     | 3 | 144 |       |
|     | 4 | 168 |       |
|     | 5 | 168 |       |

[0068] 与实例 1 类似, 本发明的合金实现了强度、耐疲劳性和耐应力腐蚀开裂性的良好组合。

[0069] 实例 3

[0070] 以类似于实例 1 的方式来加工实例 2 的合金 1,但是使用了下表 11 所示的各种时间来进行人工老化。

[0071] 表 11- 人工老化实践

[0072]

| 合金  | 第一步骤         | 第二步骤        | 注意  |
|-----|--------------|-------------|-----|
| 1-K | 390°F, 10 分钟 | 360°F, 4 小时 | 本发明 |
| 1-L | 400°F, 10 分钟 | 360°F, 4 小时 | 本发明 |
| 1-M | 420°F, 10 分钟 | 360°F, 4 小时 | 本发明 |

[0073] 然后测量合金的各种机械特性和耐应力腐蚀开裂 (SCC) 性,所得结果示于下表 12-14 中。根据 ASTM E8 和 B557 测量强度和伸长率 (取三份样品的平均值,不同的是合金 1-K 取两份样品的平均值)。根据 ASTM E466 ( $K_t = 1, R = -1$ , 应力 = 23.2ksi, 25Hz, 实验室环境下) 对疲劳性能进行测试 (取三份样品的平均值)。根据 ASTM G103 (应力 = 34.8ksi) 测量耐 SCC 性。

[0074] 表 12- 强度和拉伸特性 (实例 3 合金)

[0075]

| 合金  | TYS<br>(ksi) | UTS<br>(ksi) | 总 EI<br>(%) |
|-----|--------------|--------------|-------------|
| 1-K | 48.2         | 53.6         | 5.5         |
| 1-L | 48.0         | 54.1         | 5.7         |
| 1-M | 46.9         | 52.6         | 5.3         |

[0076] 表 13- 疲劳特性 (实例 3 合金)

[0077]

| 合金  | 至失效<br>平均周期 | 标准偏差  |
|-----|-------------|-------|
| 1-K | 110423      | 41955 |
| 1-L | 110362      | 36083 |
| 1-M | 103406      | 23128 |

[0078] 表 14- 耐 SCC 性 (实例 3 合金)

[0079]

| 合金  | 样品 | 至失效小时数 | 至失效平均小时数 |
|-----|----|--------|----------|
| 1-K | 1  | 46     | 104      |
|     | 2  | 94     |          |
|     | 3  | 94     |          |
|     | 4  | 118    |          |
|     | 5  | 168    |          |
| 1-L | 1  | 48     | 117.4    |
|     | 2  | 79     |          |
|     | 3  | 146    |          |
|     | 4  | 146    |          |
|     | 5  | 168    |          |
| 1-M | 1  | 94     | 153.2    |
|     | 2  | 168    |          |
|     | 3  | 168    |          |
|     | 4  | 168    |          |
|     | 5  | 168    |          |

[0080] 与实例 1-2 类似,本发明的合金实现了强度、耐疲劳性和耐应力腐蚀开裂性的良好组合。

[0081] 实例 4- 对锻制铝合金 7085 进行老化

[0082] 将具有表 15 所示成分的铝合金 7085 制备为具有 2 英寸厚度的常规板材产品(如,进行均质化,压制到最终厚度,进行固溶热处理和冷水淬火,通过拉伸(2%)进行应力消除)。在自然老化约四天之后,在不同温度下对 7085 板材进行不同时间的多步骤老化,如表 16 所示。在老化之后,根据 ASTM E8 和 B557 测量机械特性,所得结果示于表 17 中。还根据 ASTM G44(3.5% NaCl,交替浸渍)测量了耐应力腐蚀开裂性,所得结果示于表 18 中(应力沿 ST 方向)。

[0083] 表 15-7085 合金的成分(以重量%计)\*

[0084]

| 合金   | Zn   | Mg   | Cu   | Zr   | Si   | Fe   | Mn    | Cr    | Ti   |
|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| 7085 | 7.39 | 1.54 | 1.66 | 0.11 | 0.02 | 0.03 | <0.01 | <0.01 | 0.02 |

[0085] \* 合金的均衡配比在于铝和其他元素,其中任何其他元素的每一种在铝合金中的含量不超过 0.05 重量%,并且其中其他元素的总量在铝合金中的含量不超过 0.15 重量%。

[0086] 表 16- 人工老化实践

[0087]

| 合金      | 第一步骤                                                                       | 第二步骤        |
|---------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 7085-1  | 不适用-常规 3 步老化实践: 在 250°F 下持续 6 小时, 然后在 310°F 下持续 18 小时, 然后在 250°F 下持续 24 小时 |             |
| 7085-2  | 400°F, 10 分钟                                                               | 310°F, 4 小时 |
| 7085-3  | 400°F, 10 分钟                                                               | 310°F, 6 小时 |
| 7085-4  | 400°F, 10 分钟                                                               | 310°F, 8 小时 |
| 7085-5  | 460°F, 5 分钟                                                                | 310°F, 8 小时 |
| 7085-6  | 430°F, 7.5 分钟                                                              | 310°F, 8 小时 |
| 7085-7  | 400°F, 5 分钟                                                                | 310°F, 8 小时 |
| 7085-8  | 400°F, 15 分钟                                                               | 310°F, 8 小时 |
| 7085-9  | 460°F, 5 分钟                                                                | 310°F, 4 小时 |
| 7085-10 | 460°F, 5 分钟                                                                | 310°F, 6 小时 |
| 7085-11 | 375°F, 10 分钟                                                               | 310°F, 4 小时 |
| 7085-12 | 375°F, 10 分钟                                                               | 310°F, 4 小时 |
| 7085-13 | 375°F, 30 分钟                                                               | 310°F, 4 小时 |
| 7085-14 | 345°F, 15 分钟                                                               | 310°F, 6 小时 |
| 7085-15 | 345°F, 30 分钟                                                               | 310°F, 6 小时 |
| 7085-16 | 345°F, 72 分钟                                                               | 310°F, 6 小时 |
| 7085-17 | 345°F, 90 分钟                                                               | 310°F, 6 小时 |
| 7085-18 | 345°F, 72 分钟                                                               | 310°F, 4 小时 |

[0088] 对于人工老化而言, 在约 50 分钟时间内将样品加热至第一温度, 然后在规定温度下保持规定的时间量。然后将样品冷却至第二温度, 方法是更改加热炉的设定值并打开加热炉的门, 直到达到第二温度。然后使样品在第二温度下保持规定的时间量, 之后从加热炉中取出样品并使其空气冷却至室温。

[0089] 表 17- 机械特性

[0090]

| 合金      | 拉伸屈服强度<br>(TYS), ksi (ST) | 极限抗拉强度<br>(UTS), ksi (ST) | 伸长率, % (ST) |
|---------|---------------------------|---------------------------|-------------|
| 7085-1  | 67.7                      | 76.3                      | 10.9        |
| 7085-2  | 61.3                      | 70.8                      | 10.9        |
| 7085-3  | 60.3                      | 70.5                      | 10.9        |
| 7085-4  | 61.2                      | 71.3                      | 11.4        |
| 7085-5  | 46.1                      | 59.1                      | 14.1        |
| 7085-6  | 51.8                      | 63.7                      | 14.1        |
| 7085-7  | 60.5                      | 70.5                      | 11.4        |
| 7085-8  | 57.8                      | 68.4                      | 10.4        |
| 7085-9  | 46.9                      | 59.8                      | 15.1        |
| 7085-10 | 46.3                      | 59.1                      | 14.6        |
| 7085-11 | 65.5                      | 74.2                      | 12.0        |
| 7085-12 | 65.2                      | 73.8                      | 10.9        |
| 7085-13 | 64.2                      | 73.0                      | 10.9        |
| 7085-14 | 67.3                      | 75.5                      | 9.4         |
| 7085-15 | 66.2                      | 74.6                      | 10.4        |
| 7085-16 | 65.5                      | 74.4                      | 9.9         |
| 7085-17 | 65.5                      | 74.3                      | 9.4         |
| 7085-18 | 66.2                      | 74.8                      | 9.4         |

[0091] 表 18-SCC 结果

[0092]

| 合金     | 应力<br>(ksi) | 至失效天数 |      |      |      |      |
|--------|-------------|-------|------|------|------|------|
|        |             | 样品 1  | 样品 2 | 样品 3 | 样品 4 | 样品 5 |
| 7085-1 | 45          | DNF   | 50   | 42   | 86   | 89   |
| 7085-1 | 55          | DNF   | 89   | 44   | 33   | 29   |
|        |             |       |      |      |      |      |
| 7085-2 | 45          | DNF   | DNF  | DNF  | DNF  | 不适用  |
| 7085-2 | 55          | DNF   | DNF  | 90   | DNF  | 不适用  |
| 7085-3 | 45          | DNF   | DNF  | DNF  | 77   | 不适用  |
| 7085-3 | 55          | DNF   | DNF  | DNF  | DNF  | 不适用  |
| 7085-4 | 45          | DNF   | DNF  | DNF  | DNF  | 不适用  |
| 7085-4 | 55          | DNF   | DNF  | DNF  | DNF  | 不适用  |
| 7085-5 | 45          | DNF   | DNF  | DNF  | DNF  | 不适用  |
| 7085-5 | 55          | DNF   | DNF  | DNF  | DNF  | 不适用  |
| 7085-6 | 45          | DNF   | DNF  | DNF  | DNF  | 不适用  |
| 7085-6 | 55          | DNF   | DNF  | DNF  | DNF  | 不适用  |

[0093]

| 合金      | 应力<br>(ksi) | 至失效天数   |         |         |         |         |
|---------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|         |             | 样品 1    | 样品 2    | 样品 3    | 样品 4    | 样品 5    |
| 7085-7  | 45          | DNF     | DNF     | DNF     | DNF     | 不适用     |
| 7085-7  | 55          | DNF     | DNF     | DNF     | DNF     | 不适用     |
| 7085-8  | 45          | DNF     | DNF     | DNF     | DNF     | 不适用     |
| 7085-8  | 55          | DNF     | DNF     | DNF     | DNF     | 不适用     |
| 7085-9  | 45          | DNF     | DNF     | DNF     | DNF     | 不适用     |
| 7085-9  | 55          | DNF     | DNF     | DNF     | DNF     | 不适用     |
| 7085-10 | 45          | DNF     | DNF     | DNF     | DNF     | 不适用     |
| 7085-10 | 55          | DNF     | DNF     | DNF     | DNF     | 不适用     |
|         |             |         |         |         |         |         |
| 7085-11 | 45          | DNF(66) | 51      | 59      | 50      | 不适用     |
| 7085-11 | 55          | DNF(66) | DNF(66) | 43      | DNF(66) | 不适用     |
| 7085-14 | 45          | 50      | 50      | 59      | 40      | 不适用     |
| 7085-14 | 55          | 40      | DNF(66) | 44      | 44      | 43      |
|         |             |         |         |         |         |         |
| 7085-12 | 55          | DNF(66) | 58      | DNF(66) | 48      | 54      |
| 7085-13 | 55          | 58      | 57      | DNF(66) | DNF(66) | 65      |
| 7085-15 | 55          | 54      | 47      | DNF(66) | DNF(66) | DNF(66) |
| 7085-16 | 55          | 64      | DNF(66) | DNF(66) | 64      | DNF(66) |
| 7085-17 | 55          | 64      | DNF(66) | 62      | DNF(66) | DNF(66) |
| 7085-18 | 55          | DNF(66) | 54      | DNF(66) | 52      | 59      |

[0094] \*DNF = 90 天后未失效

[0095] \*\*DNF(66) = 66 天后未失效

[0096] 如所示的那样,新的老化实践通过减少总老化时间而显著提高了生产率,同时保持类似的强度和耐腐蚀性。实际上,合金 7085-14 实现了与常规老化的 7085-1 大约相同的强度,而与合金 7085-1 的 48 小时总老化时间(不包括升温时间和冷却时间)相比,前者的总老化时间(不包括升温时间和冷却时间)仅为 6.25 小时。

[0097] 实例 5- 铝合金 7255 的老化

[0098] 将具有表 19 所示成分的铝合金 7255 制备为具有 1.5 英寸厚度的常规板材产品(如,进行均质化,压制到最终厚度,进行固溶热处理和冷水淬火,通过拉伸(2%)进行应力消除)。在自然老化约四天之后,在不同温度下对 7255 板材进行不同时间的多步骤老化,如表 20 所示。在老化之后,根据 ASTM E8 和 B557 测量机械特性,所得结果示于表 21 中。还根据 ASTM G44(3.5% NaCl,交替浸渍)测量了耐应力腐蚀开裂性,所得结果示于表 22 中(应力沿 ST 方向,并且应力为 35ksi)。对于一些合金而言,根据 ASTM E1004-09(使用电磁(涡流)方法确定电导率的标准测试方法),使用 1 英寸 × 1.5 英寸 × 4 英寸的块测量了电导率(% IACS),所得结果示于下表 23 中。

[0099] 表 19-7255 合金的成分(以重量%计)\*

[0100]

| 合金   | Zn   | Mg   | Cu   | Zr   | Si   | Fe   | Mn    | Cr    | Ti   |
|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| 7255 | 7.98 | 1.91 | 2.18 | 0.11 | 0.02 | 0.03 | <0.01 | <0.01 | 0.02 |

[0101] \* 合金的均衡配比在于铝和其他元素,其中任何其他元素的每一种在铝合金中的含量不超过 0.05 重量%,并且其中其他元素的总量在铝合金中的含量不超过 0.15 重量%。

[0102] 表 20- 人工老化实践

[0103]

| 合金      | 第一步骤                                                                                        | 第二步骤        |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 7255-1  | 不适用-常规 3 步老化实践: 在 250°F 下持续 6 小时, 然后在 400°F 下持续 3 分钟 (≈30 分钟升温到 400°F), 然后在 250°F 下持续 24 小时 |             |
| 7255-2  | 400°F, 10 分钟                                                                                | 310°F, 4 小时 |
| 7255-3  | 400°F, 10 分钟                                                                                | 310°F, 6 小时 |
| 7255-4  | 400°F, 10 分钟                                                                                | 310°F, 8 小时 |
| 7255-5  | 480°F, 5 分钟                                                                                 | 310°F, 8 小时 |
| 7255-6  | 440°F, 10 分钟                                                                                | 310°F, 8 小时 |
| 7255-7  | 400°F, 5 分钟                                                                                 | 310°F, 8 小时 |
| 7255-8  | 400°F, 15 分钟                                                                                | 310°F, 8 小时 |
| 7255-9  | 480°F, 5 分钟                                                                                 | 310°F, 4 小时 |
| 7255-10 | 480°F, 5 分钟                                                                                 | 310°F, 6 小时 |
| 7255-11 | 370°F, 5 分钟                                                                                 | 310°F, 4 小时 |
| 7255-12 | 370°F, 10 分钟                                                                                | 310°F, 4 小时 |
| 7255-13 | 370°F, 20 分钟                                                                                | 310°F, 4 小时 |
| 7255-14 | 345°F, 15 分钟                                                                                | 310°F, 4 小时 |
| 7255-15 | 345°F, 30 分钟                                                                                | 310°F, 4 小时 |
| 7255-16 | 345°F, 60 分钟                                                                                | 310°F, 4 小时 |
| 7255-17 | 370°F, 10 分钟                                                                                | 不适用         |

[0104] 对于人工老化而言,除非另外指明,否则在约 50 分钟时间内将样品加热至第一温度,然后在规定温度下保持规定的时间量。然后将样品冷却至第二温度,方法是更改加热炉的设定值并打开加热炉的门,直到达到第二温度。然后使样品在第二温度下保持规定的时间量,之后从加热炉中取出样品并使其空气冷却至室温。

[0105] 表 21- 机械特性

[0106]

| 合金      | 拉伸屈服强度<br>(TYS), ksi (ST) | 极限抗拉强度<br>(UTS), ksi (ST) | 伸长率(%) |
|---------|---------------------------|---------------------------|--------|
| 7255-1  | 77.9                      | 88.9                      | 4.7    |
| 7255-2  | 68.8                      | 79.6                      | 9.4    |
| 7255-3  | 67.7                      | 78.7                      | 9.4    |
| 7255-4  | 67.6                      | 79.0                      | 9.4    |
| 7255-5  | 44.0                      | 59.3                      | 13.6   |
| 7255-6  | 54.2                      | 68.3                      | 12.5   |
| 7255-7  | 70.0                      | 81.2                      | 7.8    |
| 7255-8  | 65.0                      | 76.9                      | 9.4    |
| 7255-9  | 43.5                      | 59.1                      | 12.5   |
| 7255-10 | 43.8                      | 59.5                      | 12.5   |
| 7255-11 | 75.7                      | 85.8                      | 7.8    |
| 7255-12 | 75.1                      | 84.4                      | 6.7    |
| 7255-13 | 75.2                      | 84.4                      | 5.7    |
| 7255-14 | 76.1                      | 85.3                      | 6.2    |
| 7255-15 | 75.8                      | 85.0                      | 6.2    |
| 7255-16 | 75.5                      | 84.3                      | 5.7    |
| 7255-17 | 74.6                      | 84.9                      | 6.2    |

[0107] 表 22-SCC 结果

[0108]

| 合金      | 至失效天数 |      |      |      |      |
|---------|-------|------|------|------|------|
|         | 样品 1  | 样品 2 | 样品 3 | 样品 4 | 样品 5 |
| 7255-1  | 5     | 71   | 6    | 8    | 5    |
| 7255-2  | 88    | 42   | 88   | 74   | 43   |
| 7255-3  | 63    | 70   | 74   | 54   | 53   |
| 7255-4  | 49    | 88   | 88   | 88   | 88   |
| 7255-5  | DNF   | DNF  | DNF  | DNF  | DNF  |
| 7255-6  | DNF   | DNF  | DNF  | DNF  | DNF  |
| 7255-7  | 60    | 63   | 88   | 47   | 46   |
| 7255-8  | 88    | 71   | DNF  | 90   | 90   |
| 7255-9  | DNF   | DNF  | DNF  | DNF  | DNF  |
| 7255-10 | DNF   | DNF  | DNF  | DNF  | DNF  |
| 7255-11 | 48    | 32   | 26   | 25   | 22   |
| 7255-12 | 45    | 41   | 51   | 52   | 52   |

[0109]

| 合金      | 至失效天数 |         |      |      |         |
|---------|-------|---------|------|------|---------|
|         | 样品 1  | 样品 2    | 样品 3 | 样品 4 | 样品 5    |
| 7255-13 | 51    | DNF(66) | 53   | 53   | 57      |
| 7255-14 | 8     | 8       | 8    | 32   | 24      |
| 7255-15 | 24    | 43      | 48   | 8    | 32      |
| 7255-16 | 53    | 32      | 47   | 41   | DNF(66) |
| 7255-17 | 8     | 8       | 8    | 8    | 8       |



[0110] \*DNF = 90 天后未失效

[0111] \*\*DNF (66) = 66 天后未失效

[0112] 如所示的那样,新的老化实践通过减少总老化时间而显著提高了生产量,同时保持类似的强度和耐腐蚀性。实际上,合金 7255-14 实现了与常规老化的 7255-1 大约相同的强度,而与合金 7255-1 的约 30 小时总老化时间(不包括升温时间和冷却时间)相比,前者的总老化时间(不包括升温时间和冷却时间)仅为 4.25 小时。7255-14 合金还实现了可与合金 7255-1 相比的耐腐蚀性。合金 7255-15 和 7255-16 实现了优于合金 7255-1 的改进的耐腐蚀性,同时具有能与后者相比的强度,而总老化时间(不包括升温时间和冷却时间)仅为 4.5 至 5.0 小时。

[0113] 表 23- 电导率 +SCC 结果

[0114]

| 合金      | 平均 SCC<br>(至失效天数) | EC<br>(% IACS) |
|---------|-------------------|----------------|
| 7255-1  | 19                | 37.5           |
| 7255-11 | 30.6              | 37.2           |
| 7255-12 | 48.2              | 37.6           |
| 7255-13 | 56                | 38.8           |
| 7255-14 | 16                | 37.0           |
| 7255-15 | 31                | 37.1           |
| 7255-16 | 47.8              | 38.5           |
| 7255-17 | 8                 | 36.2           |

[0115] 实例 6- 铝合金 1980 的老化

[0116] 将具有表 24 所示成分的俄罗斯合金 1980 制备为具有约 7.0 英寸外径和 1.3 英寸厚度的常规棒材产品(如,进行均质化,挤压为棒材,进行固溶热处理和冷水淬火)。在自然老化约 0.5 至 1 天之后,在不同温度下对 1980 合金棒材进行不同时间的多步骤老化,如表 25 所示。在老化之后,根据 ASTM E8 和 B557 测量机械特性,所得结果示于表 26 中。还根据 ASTM G103(煮盐测试)测量了一些合金的耐应力腐蚀开裂性,所得结果示于表 27 中(应力沿 ST 方向,并且应力为 16.2ksi)。

[0117] 表 24-1980 合金的成分(以重量%计)\*

[0118]

| 合金   | Zn   | Mg   | Cu   | Zr   | Si   | Fe   | Mn   | Cr   | Ti    |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1980 | 4.25 | 2.00 | 0.07 | 0.12 | 0.12 | 0.20 | 0.38 | 0.13 | <0.01 |

[0119] \* 合金的均衡配比在于铝和其他元素,其中任何其他元素的每一种在铝合金中的含量不超过 0.05 重量%,并且其中其他元素的总量在铝合金中的含量不超过 0.15 重量%。

[0120] 表 25- 人工老化实践

[0121]

| 合金 | 第一步骤 | 第二步骤 |
|----|------|------|
|    |      |      |

|         |                |              |
|---------|----------------|--------------|
| 1980-1  | 250 °F, 24 小时  | 350 °F, 6 小时 |
| 1980-2  | 400 °F, 10 分钟  | 350 °F, 2 小时 |
| 1980-3  | 400 °F, 10 分钟  | 350 °F, 4 小时 |
| 1980-4  | 400 °F, 10 分钟  | 350 °F, 6 小时 |
| 1980-5  | 420 °F, 7.5 分钟 | 350 °F, 4 小时 |
| 1980-6  | 380 °F, 10 分钟  | 350 °F, 4 小时 |
| 1980-7  | 400 °F, 5 分钟   | 350 °F, 4 小时 |
| 1980-8  | 400 °F, 15 分钟  | 350 °F, 4 小时 |
| 1980-9  | 420 °F, 7.5 分钟 | 350 °F, 2 小时 |
| 1980-10 | 420 °F, 7.5 分钟 | 350 °F, 6 小时 |
| 1980-11 | 370 °F, 10 分钟  | 不适用          |
| 1980-12 | 370 °F, 10 分钟  | 310 °F, 2 小时 |
| 1980-13 | 360 °F, 10 分钟  | 310 °F, 2 小时 |
| 1980-14 | 350 °F, 10 分钟  | 310 °F, 2 小时 |
| 1980-15 | 350 °F, 10 分钟  | 310 °F, 4 小时 |
| 1980-16 | 350 °F, 30 分钟  | 310 °F, 2 小时 |
| 1980-17 | 350 °F, 30 分钟  | 310 °F, 4 小时 |
| 1980-18 | 330 °F, 20 分钟  | 310 °F, 2 小时 |
| 1980-19 | 330 °F, 20 分钟  | 310 °F, 4 小时 |
| 1980-20 | 330 °F, 50 分钟  | 310 °F, 2 小时 |
| 1980-21 | 330 °F, 50 分钟  | 310 °F, 4 小时 |

[0122] 对于人工老化而言,除非另外指明,否则在约 50 分钟时间内将样品加热至第一温度,然后在规定温度下保持规定的时间量。然后将样品冷却至第二温度,方法是更改加热炉的设定值并打开加热炉的门,直到达到第二温度。然后使样品在第二温度下保持规定的时间量,之后从加热炉中取出样品并使其空气冷却至室温。

[0123] 表 26- 机械特性

[0124]

| 合金      | 拉伸屈服强度<br>(TYS), ksi | 极限抗拉强度<br>(UTS), ksi | 伸长率(%) |
|---------|----------------------|----------------------|--------|
| 1980-1  | 46.3                 | 57.9                 | 14.0   |
| 1980-2  | 35.5                 | 48.9                 | 14.0   |
| 1980-3  | 35.9                 | 49.0                 | 14.0   |
| 1980-4  | 35.5                 | 48.4                 | 12.0   |
| 1980-5  | 33.4                 | 46.7                 | 12.0   |
| 1980-6  | 36.6                 | 49.3                 | 12.0   |
| 1980-7  | 35.2                 | 48.3                 | 12.0   |
| 1980-8  | 35.0                 | 48.0                 | 12.7   |
| 1980-9  | 34.3                 | 47.6                 | 12.7   |
| 1980-10 | 34.1                 | 47.4                 | 12.0   |
| 1980-11 | 41.5                 | 54.2                 | 12.0   |
| 1980-12 | 44.7                 | 56.4                 | 10.7   |
| 1980-13 | 46.2                 | 56.8                 | 10.7   |
| 1980-14 | 44.7                 | 56.3                 | 10.7   |
| 1980-15 | 47.2                 | 57.9                 | 10.0   |
| 1980-16 | 46.4                 | 57.2                 | 10.0   |
| 1980-17 | 48.1                 | 58.7                 | 10.0   |
| 1980-18 | 45.7                 | 56.8                 | 9.3    |
| 1980-19 | 48.5                 | 58.6                 | 10.7   |
| 1980-20 | 47.8                 | 58.2                 | 10.0   |
| 1980-21 | 49.0                 | 59.1                 | 11.3   |

[0125] 表 27-SCC 结果

[0126]

| 合金      | 至失效小时数 |      |      |      |      |      |
|---------|--------|------|------|------|------|------|
|         | 样品 1   | 样品 2 | 样品 3 | 样品 4 | 样品 5 | 样品 6 |
| 1980-1  | 1      | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| 1980-3  | 1.5    | 1.5  | 1.5  | 1.5  | 2.5  | 2.5  |
| 1980-6  | 1.5    | 2    | 2    | 2.5  | 3    | 3.5  |
| 1980-8  | 1.5    | 1.5  | 1.5  | 2    | 2    | 不适用  |
| 1980-10 | 1.5    | 1.5  | 2    | 2    | 3.5  | 8    |
| 1980-11 | 1      | 1    | 1    | 44   | 不适用  | 不适用  |
| 1980-12 | 1      | 1    | 0.5  | 1    | 不适用  | 不适用  |
| 1980-13 | 1      | 0.5  | 0.5  | 1    | 不适用  | 不适用  |
| 1980-14 | 0.5    | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 不适用  | 不适用  |

[0127]

| 合金      | 至失效小时数 |      |      |      |      |      |
|---------|--------|------|------|------|------|------|
|         | 样品 1   | 样品 2 | 样品 3 | 样品 4 | 样品 5 | 样品 6 |
| 1980-15 | 20.5   | 1    | 0.5  | 0.5  | 不适用  | 不适用  |
| 1980-16 | 1.5    | 20.5 | 0.5  | 0.5  | 不适用  | 不适用  |
| 1980-17 | 0.5    | 1    | 0.5  | 1    | 不适用  | 不适用  |
| 1980-18 | 0.5    | 20.5 | 1    | 1    | 不适用  | 不适用  |
| 1980-19 | 0.5    | 0.5  | 0.5  | 2.5  | 不适用  | 不适用  |
| 1980-20 | 1      | 1.5  | 1    | 1    | 不适用  | 不适用  |
| 1980-21 | 1      | 1    | 1    | 1    | 不适用  | 不适用  |

[0128] 如所示的那样,新的老化实践通过减少总老化时间而显著提高了生产率,同时保持类似的强度和耐腐蚀性。实际上,合金 1980-21 实现了高于常规老化的 1980-1 的强度,而与合金 1980-1 的 30 小时总老化时间(不包括升温时间和冷却时间)相比,前者的总老化时间(不包括升温时间和冷却时间)仅为 4.83 小时。1980-21 合金还实现了可与合金 1980-1 相比的耐腐蚀性。

#### [0129] 实例 6- 铝合金 1953 的老化

[0130] 将具有表 28 所示成分的俄罗斯合金 1953 制备为具有约 7.0 英寸外径和 1.3 英寸厚度的常规棒材产品(如,进行均质化,挤压为棒材,进行固溶热处理和冷水淬火)。在自然老化约 0.5 至 1 天之后,在不同温度下对 1953 合金棒材进行不同时间的多步骤老化,如表 29 所示。在老化之后,根据 ASTM E8 和 B557 测量机械特性,所得结果示于表 30 中。还根据 ASTM G103(煮盐测试)和根据 ASTM G44(3.5% NaCl,交替浸渍)测量了耐应力腐蚀开裂性,前者的所得结果示于表 31 中(应力沿 ST 方向,并且应力为 20ksi),后者的所得结果示于表 32 中(应力沿 ST 方向,并且应力为 35ksi)。

#### [0131] 表 28-1953 合金的成分(以重量%计)\*

[0132]

| 合金   | Zn   | Mg   | Cu   | Zr   | Si   | Fe   | Mn   | Cr   | Ti    |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1953 | 5.76 | 2.65 | 0.55 | 0.02 | 0.04 | 0.08 | 0.17 | 0.20 | <0.01 |

[0133] \* 合金的均衡配比在于铝和其他元素,其中任何其他元素的每一种在铝合金中的含量不超过 0.05 重量%,并且其中其他元素的总量在铝合金中的含量不超过 0.15 重量%。

#### [0134] 表 29- 人工老化实践

[0135]

| 合金     | 第一步骤          | 第二步骤         |
|--------|---------------|--------------|
| 1953-1 | 230 °F, 5 小时  | 330 °F, 5 小时 |
| 1953-2 | 400 °F, 10 分钟 | 330 °F, 2 小时 |
| 1953-3 | 400 °F, 10 分钟 | 330 °F, 4 小时 |
| 1953-4 | 400 °F, 10 分钟 | 330 °F, 6 小时 |

|         |                |              |
|---------|----------------|--------------|
| 1953-5  | 460 °F, 5 分钟   | 330 °F, 4 小时 |
| 1953-6  | 430 °F, 7.5 分钟 | 330 °F, 4 小时 |
| 1953-7  | 400 °F, 5 分钟   | 330 °F, 4 小时 |
| 1953-8  | 400 °F, 15 分钟  | 330 °F, 4 小时 |
| 1953-9  | 460 °F, 5 分钟   | 330 °F, 2 小时 |
| 1953-10 | 460 °F, 7.5 分钟 | 330 °F, 6 小时 |

[0136] 对于人工老化而言,除非另外指明,否则在约 50 分钟时间内将样品加热至第一温度,然后在规定温度下保持规定的时间量。然后将样品冷却至第二温度,方法是更改加热炉的设定值并打开加热炉的门,直到达到第二温度。然后使样品在第二温度下保持规定的时间量,之后从加热炉中取出样品并使其空气冷却至室温。

[0137] 表 30- 机械特性

[0138]

| 合金      | 拉伸屈服强度<br>(TYS), ksi | 极限抗拉强度<br>(UTS), ksi | 伸长率(%) |
|---------|----------------------|----------------------|--------|
| 1953-1  | 69.0                 | 78.0                 | 12.0   |
| 1953-2  | 67.0                 | 75.7                 | 12.0   |
| 1953-3  | 66.0                 | 75.4                 | 12.0   |
| 1953-4  | 65.1                 | 74.3                 | 12.0   |
| 1953-5  | 53.0                 | 65.8                 | 12.0   |
| 1953-6  | 59.7                 | 70.9                 | 12.0   |
| 1953-7  | 64.9                 | 75.0                 | 12.0   |
| 1953-8  | 63.0                 | 73.6                 | 12.0   |
| 1953-9  | 52.3                 | 66.1                 | 13.3   |
| 1953-10 | 51.1                 | 65.1                 | 12.0   |

[0139] 表 31-SCC 结果 -ASTM G103

[0140]

| 合金 | 至失效天数 |      |      |
|----|-------|------|------|
|    | 样品 1  | 样品 2 | 样品 3 |

[0141]

|        |      |      |      |
|--------|------|------|------|
| 1953-1 | 0.08 | 0.17 | 0.17 |
| 1953-2 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| 1953-3 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| 1953-4 | 0.17 | 0.08 | 0.08 |

[0142] 表 32-SCC 结果 -ASTM G44

[0143]

| 合金      | 至失效天数 |      |      |      |      |      |
|---------|-------|------|------|------|------|------|
|         | 样品 1  | 样品 2 | 样品 3 | 样品 4 | 样品 5 | 样品 6 |
| 1953-1  | DNF   | 90   | 90   | 不适用  | 不适用  | 不适用  |
| 1953-2  | DNF   | 90   | 90   | 不适用  | 不适用  | 不适用  |
| 1953-3  | 90    | DNF  | DNF  | 不适用  | 不适用  | 不适用  |
| 1953-4  | 90    | DNF  | 不适用  | 不适用  | 不适用  | 不适用  |
| 1953-5  | DNF   | 99   | DNF  | DNF  | DNF  | DNF  |
| 1953-6  | DNF   | DNF  | DNF  | 90   | 90   | 不适用  |
| 1953-7  | 90    | DNF  | 90   | 90   | DNF  | DNF  |
| 1953-8  | 75    | 90   | DNF  | 90   | DNF  | 90   |
| 1953-9  | DNF   | DNF  | DNF  | DNF  | DNF  | DNF  |
| 1953-10 | DNF   | DNF  | DNF  | DNF  | DNF  | DNF  |

[0144] \*DNF = 140 天后未失效

[0145] 如所示的那样,新的老化实践通过减少总老化时间而显著提高了生产量,同时保持类似的强度和耐腐蚀性。实际上,合金 1953-2 实现了与常规老化的 1953-1 大约相同的强度,而与合金 1953-1 的 10 小时总老化时间(不包括升温时间和冷却时间)相比,前者的总老化时间(不包括升温时间和冷却时间)仅为约 2.17 小时。

[0146] 虽然已详细描述本发明的各种实施例,但这些实施例的修改和调整对于本领域的技术人员而言是显而易见的。然而,应当明确了解的是,此类修改和调整属于本发明的精神和范围之内。

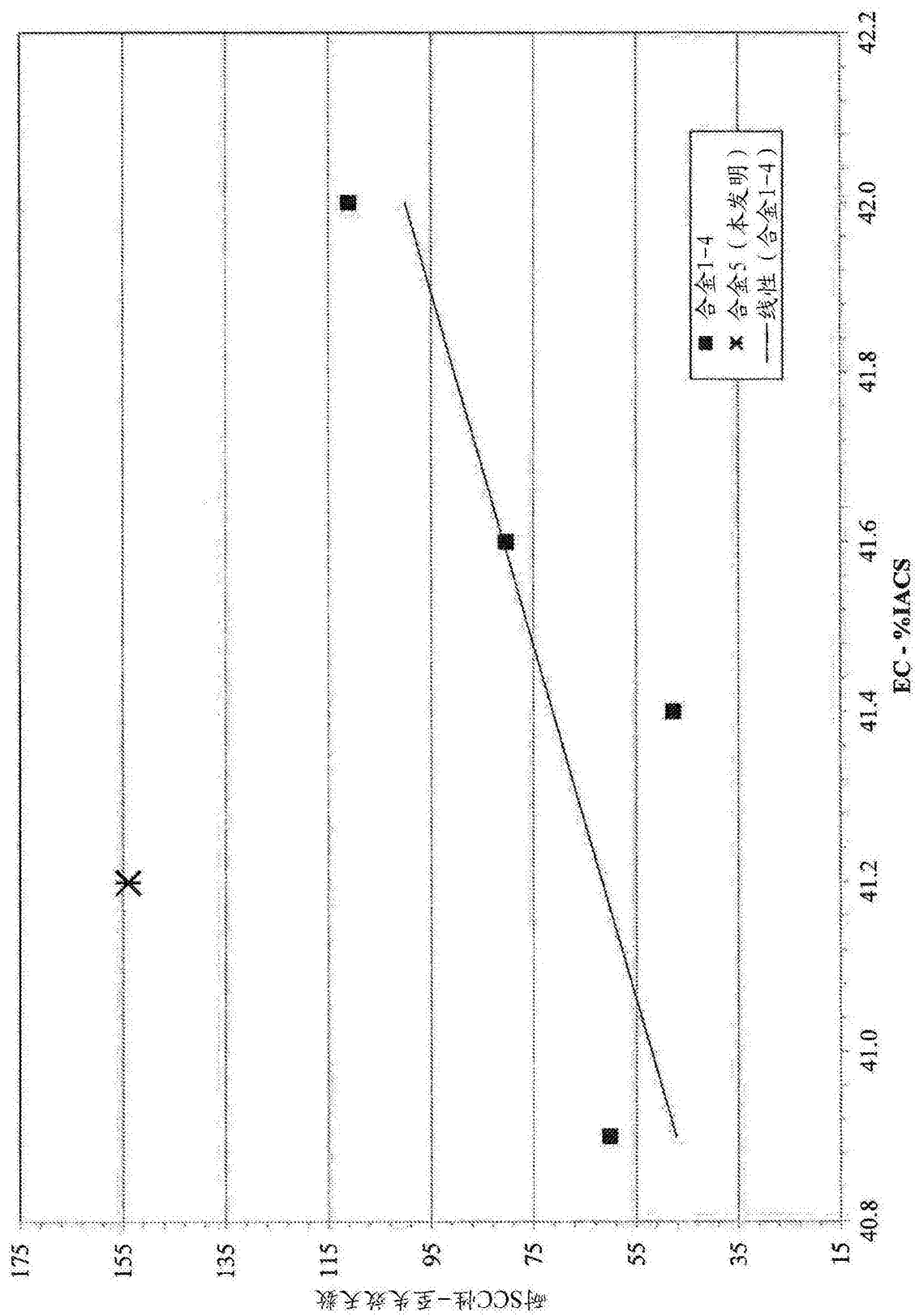


图 1