



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104428434 A

(43) 申请公布日 2015. 03. 18

(21) 申请号 201380036638. 4

(74) 专利代理机构 北京市联德律师事务所

(22) 申请日 2013. 07. 15

11361

代理人 易咏梅 牛艳玲

(30) 优先权数据

61/671, 969 2012. 07. 16 US

13/774, 702 2013. 02. 22 US

13/861, 443 2013. 04. 12 US

(51) Int. Cl.

C22C 21/08(2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2015. 01. 09

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2013/050433 2013. 07. 15

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/014795 EN 2014. 01. 23

(71) 申请人 美铝公司

地址 美国宾夕法尼亚州

(72) 发明人 J·C·林 安东·J·罗维托

蒂莫西·P·多伊尔

肖恩·P·沙利文

嘉布丽埃勒·F·西科拉

克里斯托弗·J·坦

权利要求书5页 说明书14页 附图7页

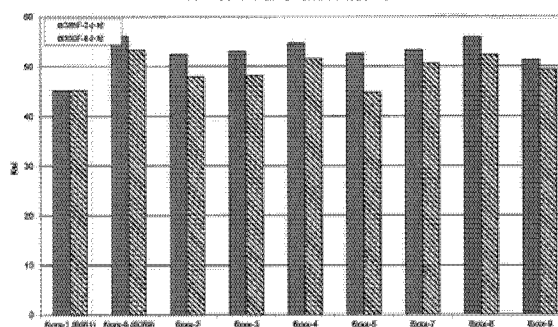
(54) 发明名称

改进的 6XXX 铝合金及其生产方法

(57) 摘要

本发明公开了新的6XXX铝合金。新的6XXX铝合金可以包含 1.05-1.50wt. %的 Mg, 0.60-0.95wt. %的 Si, 其中 (wt. % Mg)/(wt. % Si) 是 1.30 至 1.90, 0.275-0.50wt. %的 Cu, 和 0.05 至 1.0wt. %的至少一种次级元素, 其中所述次级元素选自 V、Fe、Cr、Mn、Zr、Ti 及其组合所组成的组。

图1a-实例1合金-拉伸屈服强度 (ksi)



1. 一种 6xxx 铝合金,由以下成分组成:

(a) 1.05-1.50wt. 的 Mg;

(b) 0.60-0.95wt. %的 Si;

其中 (wt. % Mg)/(wt. % Si) 是 1.30 至 1.90;

(c) 0.275-0.50wt. %的 Cu;

(d) 0.05 至 1.0wt. %的至少一种次级元素,其中所述次级元素选自由 V、Fe、Cr、Mn、Zr、Ti 及其组合所组成的组;

其中至少存在 V 并且其中所述 6xxx 铝合金包含 0.05wt. %至 0.25wt. %的作为次级元素的 V;

其中,当存在时,所述 6xxx 铝合金包含不大于 0.80wt. %的作为次级元素的 Fe;

其中,当存在时,所述 6xxx 铝合金包含不大于 0.50wt. %的作为次级元素的 Mn;

其中,当存在时,所述 6xxx 铝合金包含不大于 0.40wt. %的作为次级元素的 Cr;

其中,当存在时,所述 6xxx 铝合金包含不大于 0.25wt. %的作为次级元素的 Zr;

其中,当存在时,所述 6xxx 铝合金包含不大于 0.10wt. %的作为次级元素的 Ti;

(e) 余量为铝和其他元素,其中所述其他元素中的每一种在所述 6xxx 铝合金中均不超过 0.10wt. %,并且其中所述其他元素的总量在所述 6xxx 铝合金中不多于 0.35wt. %。

2. 根据权利要求 1 所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含 0.01 至 0.50wt. % 的 Fe。

3. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含 0.05 至 0.50wt. %的 Fe。

4. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含 0.05 至 0.30wt. %的 Fe。

5. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 0.35wt. %的 Mn。

6. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 0.25wt. %的 Cr。

7. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 0.15wt. %的 Zr。

8. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含 0.01 至 0.05wt. %的 Ti。

9. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含至少 0.65wt. %的 Si。

10. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含至少 0.70wt. %的 Si。

11. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 0.90wt. %的 Si。

12. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 0.85wt. %的 Si。

13. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大

于 0.80wt. % 的 Si。

14. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含至少 1.10wt. % 的 Mg。

15. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 1.40wt. % 的 Mg。

16. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 1.35wt. % 的 Mg。

17. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 1.30wt. % 的 Mg。

18. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含至少 0.30wt. % 的 Cu。

19. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含至少 0.325wt. % 的 Cu。

20. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含至少 0.35wt. % 的 Cu。

21. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 0.475wt. % 的 Cu。

22. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 0.45wt. % 的 Cu。

23. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 0.425wt. % 的 Cu。

24. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于, (wt. % Mg)/(wt. % Si) 是至少 1.35。

25. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于, (wt. % Mg)/(wt. % Si) 是至少 1.40。

26. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于, (wt. % Mg)/(wt. % Si) 是不大于 1.85。

27. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于, (wt. % Mg)/(wt. % Si) 是不大于 1.80。

28. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于, (wt. % Mg)/(wt. % Si) 是不大于 1.75。

29. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于, (wt. % Mg)/(wt. % Si) 是不大于 1.70。

30. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于, (wt. % Mg)/(wt. % Si) 是不大于 1.65。

31. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于, (wt. % Mg)/(wt. % Si) 是至少 1.45。

32. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含 0.05 至 0.20wt. % 的 V。

33. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含 0.05 至 0.16wt. % 的 V。

34. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述其他元素中的每一种在所述 6xxx 铝合金中均不超过 0.05wt. %,并且其中所述其他元素的总量在所述 6xxx 铝合金中不多于 0.15wt. %。

35. 根据前述权利要求中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述其他元素中的每一种在所述 6xxx 铝合金中均不超过 0.03wt. %,并且其中所述其他元素的总量在所述 6xxx 铝合金中不多于 0.10wt. %。

36. 一种 6xxx 铝合金,由以下成分组成:

(a) 1.05-1.50wt. % 的 Mg;

(b) 0.60-0.95wt. % 的 Si;

其中 (wt. % Mg)/(wt. % Si) 是 1.30 至 1.90;

(c) 0.35-0.50wt. % 的 Cu;

(d) 小于 0.05wt. % 的 V;

(e) 0.05 至 1.0wt. % 的至少一种次级元素,其中所述次级元素选自由 Fe、Cr、Mn、Zr、Ti 及其组合所组成的组;

其中存在 Cr、Mn 和 Zr 中的至少一种,并且其中所述 6xxx 铝合金中 Cr、Mn 和 Zr 的组合量是 0.15 至 0.80wt. %;

其中所述 6xxx 铝合金包含不大于 0.50wt. % 的作为次级元素的 Mn;

其中所述 6xxx 铝合金包含不大于 0.40wt. % 的作为次级元素的 Cr;

其中,当存在时,所述 6xxx 铝合金包含不大于 0.25wt. % 的作为次级元素的 Zr;

其中,当存在时,所述 6xxx 铝合金包含不大于 0.80wt. % 的作为次级元素的 Fe;

其中,当存在时,所述 6xxx 铝合金包含不大于 0.10wt. % 的作为次级元素的 Ti;

(f) 余量为铝和其他元素,其中所述其他元素中的每一种在所述 6xxx 铝合金中均不超过 0.10wt. %,并且其中所述其他元素的总量在所述 6xxx 铝合金中不多于 0.35wt. %。

37. 根据权利要求 36 所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含 0.01 至 0.50wt. % 的 Fe。

38. 根据权利要求 36-37 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含 0.05 至 0.50wt. % 的 Fe。

39. 根据权利要求 36-38 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含 0.05 至 0.30wt. % 的 Fe。

40. 根据权利要求 36-39 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 0.35wt. % 的 Mn。

41. 根据权利要求 36-40 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 0.30wt. % 的 Cr。

42. 根据权利要求 36-41 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 0.15wt. % 的 Zr。

43. 根据权利要求 36-42 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含铬和锰,并且其中合金包含总计 0.15wt. % 至 0.60wt. % 的铬和锰。

44. 根据权利要求 43 所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含小于 0.05wt. % 的 Zr。

45. 根据权利要求 36-44 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含 0.01 至 0.05wt. % 的 Ti。

46. 根据权利要求 36-45 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含至少 0.65wt. % 的 Si。

47. 根据权利要求 36-46 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含至少 0.70wt. % 的 Si。

48. 根据权利要求 36-47 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 0.90wt. % 的 Si。

49. 根据权利要求 36-48 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 0.85wt. % 的 Si。

50. 根据权利要求 36-49 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 0.80wt. % 的 Si。

51. 根据权利要求 36-50 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含至少 1.10wt. % 的 Mg。

52. 根据权利要求 36-51 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 1.40wt. % 的 Mg。

53. 根据权利要求 36-52 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 1.35wt. % 的 Mg。

54. 根据权利要求 36-53 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 1.30wt. % 的 Mg。

55. 根据权利要求 36-54 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含至少 0.375wt. % 的 Cu。

56. 根据权利要求 36-55 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含至少 0.40wt. % 的 Cu。

57. 根据权利要求 36-56 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 0.475wt. % 的 Cu。

58. 根据权利要求 36-57 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于,所述合金包含不大于 0.45wt. % 的 Cu。

59. 根据权利要求 36-58 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于, (wt. % Mg)/(wt. % Si) 是至少 1.35。

60. 根据权利要求 36-59 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于, (wt. % Mg)/(wt. % Si) 是至少 1.40。

61. 根据权利要求 36-60 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于, (wt. % Mg)/(wt. % Si) 是不大于 1.85。

62. 根据权利要求 36-61 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于, (wt. % Mg)/(wt. % Si) 是不大于 1.80。

63. 根据权利要求 36-62 中任一项所述的 6xxx 铝合金,其特征在于, (wt. % Mg)/

(wt. % Si) 是不大于 1.75。

64. 根据权利要求 36-63 中任一项所述的 6xxx 铝合金, 其特征在于, (wt. % Mg)/ (wt. % Si) 是不大于 1.70。

65. 根据权利要求 36-64 中任一项所述的 6xxx 铝合金, 其特征在于, (wt. % Mg)/ (wt. % Si) 是不大于 1.65。

66. 根据权利要求 36-65 中任一项所述的 6xxx 铝合金, 其特征在于, (wt. % Mg)/ (wt. % Si) 是至少 1.45。

67. 根据权利要求 36-66 中任一项所述的 6xxx 铝合金, 其特征在于, 所述其他元素中的每一种在所述 6xxx 铝合金中均不超过 0.05wt. %, 并且其中所述其他元素的总量在所述 6xxx 铝合金中不多于 0.15wt. %。

68. 根据权利要求 36-67 中任一项所述的 6xxx 铝合金, 其特征在于, 所述其他元素中的每一种在所述 6xxx 铝合金中均不超过 0.03wt. %, 并且其中所述其他元素的总量在所述 6xxx 铝合金中不多于 0.10wt. %。

改进的 6XXX 铝合金及其生产方法

背景技术

[0001] 铝合金在多种应用中是有用的。然而,改进铝合金的一种性能而不损害另一种性能是难以实现的。例如,在不降低合金的韧性的情况下增加合金的强度是困难的。铝合金的令人感兴趣的其他性能包括耐蚀性和抗疲劳性,仅举两个例子。

发明内容

[0002] 大体上讲,本专利申请涉及新的 6xxx 铝合金及其生产方法。总体上,该新的 6xxx 铝合金产品实现了改进的性能组合,这归因于例如合金元素的量,如以下进一步详细描述。例如,新的 6xxx 铝合金可以实现强度、韧性、抗疲劳性和耐蚀性等等中的两项或更多项的改进的组合,如由以下实例所示。可以将新的 6xxx 铝合金生产成形变形式,如轧制形式(例如,薄板或者板材)、挤出件或者锻件等等。在一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金呈锻造轮毂产品形式。在一个实施例中,所述 6xxx 锻造轮毂产品是模锻轮毂产品。

[0003] 新的 6xxx 铝合金通常包含(并且在一些情况下基本上由下述元素组成,或者由下述元素组成)作为主合金元素的镁(Mg)、硅(Si)和铜(Cu),以及选自钒(V)、锰(Mn)、铁(Fe)、铬(Cr)、锆(Zr)和钛(Ti)所组成的组中的至少一种次级元素,余量为铝和其他杂质,如下文所限定。

[0004] 对于镁,新的 6xxx 铝合金通常包含 1.05wt. %至 1.50wt. %的 Mg。在一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含至少 1.10wt. %的 Mg。在另一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含至少 1.15wt. %的 Mg。在又一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含至少 1.20wt. %的 Mg。在一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 1.45wt. %的 Mg。在另一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 1.40wt. %的 Mg。在又一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 1.35wt. %的 Mg。

[0005] 新的 6xxx 铝合金通常包含硅和在 0.60wt. %至 0.95wt. %范围内的 Si。在一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含至少 0.65wt. %的 Si。在另一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含至少 0.70wt. %的 Si。在一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.90wt. %的 Si。在另一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.85wt. %的 Si。在又一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.80wt. %的 Si。

[0006] 新的 6xxx 铝合金通常包含比率为 1.30 至 1.90(Mg/Si)的镁和硅。在一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金具有至少 1.35 的 Mg/Si 比。在另一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金具有至少 1.40 的 Mg/Si 比。在又一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金具有至少 1.45 的 Mg/Si 比。在一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金具有不大于 1.85 的 Mg/Si 比。在另一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金具有不大于 1.80 的 Mg/Si 比。在又一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金具有不大于 1.75 的 Mg/Si 比。在另一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金具有不大于 1.70 的 Mg/Si 比。在又一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金具有不大于 1.65 的 Mg/Si 比。在一些实施例中,所述新的 6xxx 铝合金具有 1.35 至 1.85 的 Mg/Si 比。在其他实施例中,所述新的 6xxx 铝合金具有 1.35 至 1.80 的 Mg/Si 比。在另外的其他实施例

中,所述新的 6xxx 铝合金具有 1.40 至 1.75 的 Mg/Si 比。在其他实施例中,所述新的 6xxx 铝合金具有 1.40 至 1.70 的 Mg/Si 比。在另外的其他实施例中,所述新的 6xxx 铝合金具有 1.45 至 1.65 的 Mg/Si 比。可以使用上述限值的其他组合。使用上述 Mg 和 Si 的量可以有利于改进的强度和 / 或抗疲劳性等等。

[0007] 新的 6xxx 铝合金通常包含铜和在 0.275wt. % 至 0.50wt. % 范围内的 Cu。在一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含至少 0.30wt. % 的 Cu。在另一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含至少 0.325wt. % 的 Cu。在又一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含至少 0.35wt. % 的 Cu。在一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.45wt. % 的 Cu。在另一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.425wt. % 的 Cu。在又一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.40wt. % 的 Cu。使用上述 Cu 的量可以有利于改进的强度和良好的耐蚀性。如下文进一步详细描述,当新的 6xxx 铝合金基本上不含钒时 (即,包含小于 0.05wt. % 的 V),新的 6xxx 铝合金应当包含至少 0.35wt. % 的 Cu。

[0008] 新的 6xxx 铝合金包含 0.05 至 1.0wt. % 的次级元素,其中,所述次级元素选自自由钒、锰、铬、铁、锆、钛、及其组合所组成的组。在一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含 0.10 至 0.80wt. % 的次级元素。在另一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含 0.15 至 0.60wt. % 的次级元素。在另一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含 0.20 至 0.45wt. % 的次级元素。

[0009] 在一个实施例中,所述次级元素至少包括钒,并且在这些实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含至少 0.05wt. % 的 V。在另一个实施例中,所述次级元素至少包括钒和铁。在又一个实施例中,所述次级元素至少包括钒、铁和钛。在另一个实施例中,所述次级元素至少包括钒、铁、钛和铬。在另一个实施例中,所述次级元素至少包括钒、铁、钛和锰。在又一个实施例中,所述次级元素包括钒、铁、钛、锰和铬中的全部。

[0010] 在其他实施例中,所述次级元素基本上不含钒 (即,包含小于 0.05wt. % 的 V),并且在这些实施例中,所述次级元素选自自由钒、锰、铬、铁、锆、钛及其组合所组成的组,并且其中存在锰、铬和锆中的至少一种。在一个实施例中,至少存在铬。在一个实施例中,至少存在铬和锆。在一个实施例中,至少存在铬和锰。在一个实施例中,至少存在锆。在一个实施例中,至少存在锆和锰。在一个实施例中,至少存在锰。

[0011] 如以下数据所显示的,钒是有用的次级元素,但是不要求包含在新的 6xxx 铝合金中。在其中包含钒的实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含 0.05 至 0.25wt. % 的 V。在一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.20wt. % 的 V。在另一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.18wt. % 的 V。在又一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.16wt. % 的 V。在另一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.14wt. % 的 V。在又一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.13wt. % 的 V。在一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含至少 0.06wt. % 的 V。在另一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含至少 0.07wt. % 的 V。在一些实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含 0.05 至 0.16wt. % 的 V。在其他实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含 0.06 至 0.14wt. % 的 V。在另外的其他实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含 0.07 至 0.13wt. % 的 V。可以使用上述限值的其他组合。

[0012] 在其他实施例中,所述新的 6xxx 铝合金基本上不含钒,并且在这些实施例中,所

述新的 6xxx 铝合金含有小于 0.05wt. % 的 V。在这些实施例中, 铬、锰和 / 或锆可以用作钒的替代。在一个实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金含有小于 0.05wt. % 的 V, 但是含有总计 0.15 至 0.60wt. % 的铬、锰和 / 或锆 (即, Cr+Mn+Zr 是 0.15wt. % 至 0.60wt. %)。在另一个实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金含有小于 0.05wt. % 的 V, 但是含有 0.20 至 0.45wt. % 的铬、锰和 / 或锆。在其中所述新的 6xxx 铝合金基本上不含钒 (即, 该铝合金含有小于 0.05wt. % 的 V) 的实施例中, 该新的 6xxx 铝合金中铜的量应当是至少 0.35wt. % 的 Cu。在这些不含钒的实施例中的一些中, 所述新的 6xxx 铝合金包含至少 0.375wt. % 的 Cu。在这些不含钒的实施例中的其他一些中, 所述新的 6xxx 铝合金包含至少 0.40wt. % 的 Cu。

[0013] 在其中存在铬 (含有或不含钒) 的实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金通常包含 0.05 至 0.40wt. % 的 Cr。在一个实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.35wt. % 的 Cr。在另一个实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.30wt. % 的 Cr。在又一个实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.25wt. % 的 Cr。在另一个实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.20wt. % 的 Cr。在一个实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含至少 0.08wt. % 的 Cr。在一些实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含 0.05 至 0.25wt. % 的 Cr。在其他实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含 0.08 至 0.20wt. % 的 Cr。可以使用上述限值的其他组合。在一些实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金基本上不含铬, 并且在这些实施例中含有小于 0.05wt. % 的 Cr。

[0014] 在其中存在锰 (含有或不含钒) 的实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金通常包含 0.05 至 0.50wt. % 的 Mn。在一些实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.25wt. % 的 Mn。在其他实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.20wt. % 的 Mn。在另外的其他实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.15wt. % 的 Mn。在一些实施方案中, 所述新的 6xxx 铝合金包含 0.05 至 0.25wt. % 的 Mn。在其他实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含 0.05 至 0.20wt. % 的 Mn。在另外的其他实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含 0.05 至 0.15wt. % 的 Mn。可以使用上述限值的其他组合。在一些实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金基本上不含锰, 并且在这些实施例中含有小于 0.05wt. % 的 Mn。

[0015] 在其中存在锆的 (含有或不含钒) 的实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金通常包含 0.05 至 0.25wt. % 的 Zr。在一些实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.20wt. % 的 Zr。在其他实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.18wt. % 的 Zr。在另外的其他实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.15wt. % 的 Zr。在一个实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含至少 0.06wt. % 的 Zr。在另外的其他实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含至少 0.07wt. % 的 Zr。在一些实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含 0.05 至 0.20wt. % 的 Zr。在其他实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含 0.06 至 0.18wt. % 的 Zr。在另外的其他实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含 0.07 至 0.15wt. % 的 Zr。可以使用上述限值的其他组合。在一些实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金基本上不含锆, 并且在这些实施例中含有小于 0.05wt. % 的 Zr。

[0016] 在该合金中通常存在铁, 并且是以 0.01wt. % 至 0.80wt. % Fe 的范围存在。在一些实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.50wt. % 的 Fe。在其他实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.40wt. % 的 Fe。在另外的其他实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.30wt. % 的 Fe。在一个实施例中, 所述新的 6xxx 铝合金包含至少 0.08wt. %

的 Fe。在另外的其他实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含至少 0.10wt. % 的 Fe。在一些实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含 0.05 至 0.50wt. % 的 Fe。在其他实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含 0.08 至 0.40wt. % 的 Fe。在另外的其他实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含从 0.10 至 0.30wt. % 的 Fe。在另外的其他实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含 0.10 至 0.25wt. % 的 Fe。可以使用上述限值的其他组合。当较低的抗疲劳性是可容许的时,在新的 6xxx 铝合金产品中可以容许较高的铁的水平。在一些实施例中,所述新的 6xxx 铝合金基本上不含铁,并且在这些实施例中包含有小于 0.01wt. % 的 Fe。

[0017] 在其中存在钛(含有或不含钒)的实施例中,所述新的 6xxx 铝合金通常包含 0.001 至 0.10wt. % 的 Ti。在一些实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.05wt. % 的 Ti。在其他实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.04wt. % 的 Ti。在另外的其他实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含不大于 0.03wt. % 的 Ti。在一个实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含至少 0.005wt. % 的 Ti。在另外的其他实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含至少 0.01wt. % 的 Ti。在一些实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含从 0.005 至 0.05wt. % 的 Ti。在其他实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含从 0.01 至 0.04wt. % 的 Ti。在另外的其他实施例中,所述新的 6xxx 铝合金包含 0.01 至 0.03wt. % 的 Ti。可以使用上述限值的其他组合。在一些实施例中,所述新的 6xxx 铝合金基本上不含钛,并且在这些实施例中包含有小于 0.001wt. % 的 Ti。

[0018] 新的 6xxx 铝合金可以基本上不含其他元素。如本文所用的,“其他元素”意指除如上所述上文列出的镁、硅、铜、钒、铁、铬、钛、锆和铁之外的周期表中的任何其他元素。在本段的背景下,短语“基本上不含”意指所述新的 6xxx 铝合金含有每种均不多于 0.10wt. % 的其他元素中的任一种元素,并且这些其他元素的总组合量在该新的 6xxx 铝合金不超过 0.35wt. %。在另一个实施例中,这些其他元素中的每一种在所述 6xxx 铝合金中均不超过 0.05wt. %,并且这些其他元素的总组合量在该 6xxx 铝合金中不超过 0.15wt. %。在另一个实施例中,这些其他元素中的每一种在所述 6xxx 铝合金中均不超过 0.03wt. %,并且这些其他元素的总组合量在该 6xxx 铝合金中不超过 0.10wt. %。

[0019] 新的 6xxx 铝合金可以实现高强度。在一个实施例中,由所述新的 6xxx 铝合金制成的形变产品(“新的形变 6xxx 铝合金产品”)在 L(纵向)方向实现了至少 45ksi 的拉伸屈服强度。在另一个实施例中,新的形变 6xxx 铝合金产品在 L 方向实现了至少 46ksi 的拉伸屈服强度。在其他实施方案中,新的形变 6xxx 铝合金产品在 L 方向实现了至少 47ksi,或者至少 48ksi,或者至少 49ksi,或者至少大约 50ksi,或者至少大约 51ksi,或者至少大约 52ksi,或者至少大约 53ksi,或者至少大约 54ksi,或者至少大约 55ksi,或者更高的拉伸屈服强度。

[0020] 新的 6xxx 铝合金可以实现良好的延伸率。在一个实施例中,新的形变 6xxx 铝合金产品在 L 方向实现了至少 6% 的延伸率。在另一个实施例中,新的形变 6xxx 铝合金产品在 L 方向实现了至少 8% 的延伸率。在其他实施方案中,新的形变 6xxx 铝合金产品在 L 方向实现了至少 10%,或者至少 12%,或者至少 14%,或者更高的延伸率。根据 ASTM E8 和 B557 测量强度和延伸性能。

[0021] 新的 6xxx 铝合金可以实现良好的韧性。在一个实施例中,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了通过夏比冲击试验所测量的至少 35ft. -lbs 的韧性,其中根据 ASTM E23-07a 进

行夏比冲击试验。在另一个实施例中,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了通过夏比冲击试验所测量的至少 40ft.-lbs 的韧性。在其他实施方案中,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了通过夏比冲击试验所测量的至少 45ft.-lbs,或者至少 50ft.-lbs,或者至少 55ft.-lbs,或者至少 60ft.-lbs,或者至少 65ft.-lbs,或者至少 70ft.-lbs,或者至少 75ft.-lbs,或者至少 80ft.-lbs,或者至少 85ft.-lbs,或者更高的韧性。

[0022] 新的 6xxx 铝合金可以实现良好的抗疲劳性。在一个实施例中,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了比相同(例如,相同的产品形式、尺寸、几何形状、状态)但是由常规的 6061 合金制成的形变产品的平均旋转疲劳寿命好至少 10% 的平均旋转疲劳寿命,其中所述平均旋转疲劳寿命是根据 ISO1143(2010) (“金属材料-旋转棒弯曲疲劳试验”) (即,旋转梁式疲劳试验) 所测试的至少 5 件形变 6xxx 铝合金产品试样的旋转疲劳寿命的平均值。在另一个实施方案中,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了比由常规的 6061 合金制成的相同形变产品的平均旋转疲劳寿命好至少 20% 的平均旋转疲劳寿命。在其他实施例中,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了比由常规的 6061 合金制成的相同形变产品的平均旋转疲劳寿命好至少 25%,或者好至少 30%,或者好至少 40%,或者好至少 45%,或者好更多的平均旋转疲劳寿命。

[0023] 在一个实施例中,所述新的形变 6xxx 铝合金产品是锻造轮毂产品,并且所述锻造 6xxx 铝合金轮毂产品实现了至少 1,000,000 次循环的平均径向疲劳寿命,如根据 SAE J267(2007) 应用 2.8X 载荷系数所测试。在另一个实施例中,所述锻造 6xxx 铝合金轮毂产品实现了至少 1,050,000 次循环的平均径向疲劳寿命。在其他实施例中,所述锻造 6xxx 铝合金轮毂产品实现了至少 1,100,000 次循环,或者至少 1,150,000 次循环,或者至少 1,200,000 次循环,或者至少 1,250,000 次循环,或者至少 1,300,000 次循环,或者至少 1,350,000 次循环,或者更多次循环的平均径向疲劳寿命。

[0024] 在一个实施例中,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了比相同(例如,相同的产品形式、尺寸、几何形状、状态)但是由常规的 6061 合金制成的形变产品的平均径向疲劳寿命好至少 10% 的平均径向疲劳寿命,如根据 SAE J267(2007) 应用 2.8X 载荷系数所测试。在另一个实施方案中,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了比由常规的 6061 合金制成的相同形变产品的平均径向疲劳寿命好至少 20% 的平均径向疲劳寿命。在其他实施例中,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了比由常规的 6061 合金制成的相同形变产品的平均径向疲劳寿命好至少 25%,或者好至少 30%,或者好至少 40%,或者好至少 45%,或者好更多的平均径向疲劳寿命。

[0025] 新的 6xxx 铝合金可以实现良好的耐蚀性。在一个实施例中,当根据 ASTM G110(24 小时的暴露;最少 5 件样品) 测量时,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了在 T/10 位置处不大于 0.008 英寸的平均侵蚀深度。在另一个实施例中,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了在 T/10 位置处不大于 0.006 英寸的平均侵蚀深度。在其他实施例中,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了在 T/10 位置处不大于 0.004 英寸,或者不大于 0.002 英寸,或者不大于 0.001 英寸,或者更小的平均侵蚀深度。

[0026] 在一个实施例中,当根据 ASTM G110(24 小时的暴露;最少 5 件样品) 测量时,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了在 T/10 位置处不大于 0.011 英寸的最大侵蚀深度。在另一个实施例中,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了在 T/10 位置处不大于 0.009 英寸的最大侵蚀

深度。在其他实施例中,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了在 T/10 位置处不大于 0.007 英寸,或者不大于 0.005 英寸,或者不大于 0.003 英寸,或者更小的最大侵蚀深度。

[0027] 在一个实施例中,当根据 ASTM G110(24 小时的暴露;最少 5 件样品)测量时,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了在表面处不大于 0.008 英寸的平均侵蚀深度。在另一个实施例中,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了在表面处不大于 0.007 英寸的平均侵蚀深度。在其他实施例中,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了在表面处不大于 0.006 英寸,或者不大于 0.005 英寸,或者不大于 0.004 英寸,或者更小的平均侵蚀深度。

[0028] 在一个实施例中,当根据 ASTM G110(24 小时的暴露;最少 5 件样品)测量时,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了在表面处不大于 0.010 英寸的最大侵蚀深度。在另一个实施例中,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了在表面处不大于 0.009 英寸的最大侵蚀深度。在其他实施例中,新的形变 6xxx 铝合金产品实现了在表面处不大于 0.008 英寸,或者不大于 0.007 英寸,或者不大于 0.006 英寸,或者更小的最大侵蚀深度。

[0029] 可以实现上述性能的组合,如由以下实例所显示。

附图说明

[0030] 图 1a-1f 是示出了来自实例 1 的结果的图示。

[0031] 图 1g-1 至图 1g-4 是来自实例 1 的显微照片。

具体实施方式

[0032] 实施例 1 - 铰接式铸型研究

[0033] 生产了 9 种铰接式铸型铸锭,下表 1 提供了这些铸锭的组成(所有数值以重量百分比表示)。

[0034] 表 1- 实例 1 的合金组成

[0035]

合金	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	V	Ti
6xxx-1(6061)	0.70	0.290	0.28	0.07	0.90	0.22	0.00	0.015
6xxx-2(本发明)	0.87	0.190	0.29	0.00	1.38	0.00	0.11	0.015
6xxx-3(本发明)	0.89	0.083	0.29	0.00	1.40	0.00	0.11	0.010
6xxx-4(本发明)	0.88	0.080	0.44	0.00	1.40	0.00	0.11	0.010
6xxx-5(本发明)	0.90	0.082	0.30	0.00	1.37	0.20	0.11	0.009
6xxx-6(6069)	0.90	0.270	0.70	0.00	1.36	0.21	0.16	0.009
6xxx-7(本发明)	0.94	0.260	0.46	0.00	1.37	0.21	0.16	0.010
6xxx-8(非本发明)	0.89	0.730	0.69	0.00	1.34	0.21	0.16	0.010

6xxx-9(非本发明)	0.91	0.760	0.45	0.00	1.36	0.21	0.15	0.009
----------------	------	-------	------	------	------	------	------	-------

[0036] 合金 6061 和 6069 是常规的 6xxx 铝合金。所有合金含有所列出的元素,余量为铝和其他杂质,其中其他杂质各自均不超过 0.05wt. %,并且其他杂质的总量不多于 0.15wt. %。本发明合金具有 1.46 至 1.59 的 Mg/Si 比。

[0037] 将合金铸造成 2.875 英寸 (ST) x 4.75 英寸 (LT) x 17 英寸 (L) 的铸锭,所述铸锭被修整至 2 英寸的厚度,然后被均匀化。接着将铸锭热轧成大约 0.5 英寸的板材,对应大约 75% 的压下量。随后将板材固溶热处理并且冷水淬火 (100° F)。接着在 385° F 和 350° F 下将板材时效不同的时间,并且生成时效曲线。基于时效曲线结果,选择了两种时效条件 (385° F 持续 2 小时,和 350° F 持续 8 小时) 用于测试各种性能。385° F 持续 2 小时的时效条件通常代表大约最大强度,并且 350° F 持续 8 小时的时效条件通常表示欠时效条件。图 1a-1f 中显示了测试结果,并且下表 2-7 中提供了这些结果。根据 ASTM E8 和 B557 测量强度和延伸率性能。根据 ASTM E323-07a 测量夏比冲击试验。根据 ISO1143(2010) 在 15ksi 的应力下进行旋转疲劳寿命试验,其中 $R = -1$, 并且 $K_t = 3$ 。根据 ASTM G110 持续 24 小时测试耐蚀性。

[0038] 表 2- 合金的机械性能 - 最大强度条件 (385° F 持续 2 小时)

[0039]

合金	TYS (ksi)	UTS (ksi)	延伸率 (%)	夏比冲击 能(ft-lbs)	旋转疲劳寿 命(平均值)
6xxx-1(6061)	45.1	47.25	14	83.5	337,103
6xxx-2	52.4	54.25	10	39	402,549
6xxx-3	53	54.65	9	32	634,978
6xxx-4	54.65	56.35	8	32.5	414,013
6xxx-5	52.55	54.05	12	43.5	424,909
6xxx-6(6069)	56	58.85	13	59	331,770
6xxx-7	53.25	56	15	72	451,075
6xxx-8	55.85	59.3	12.5	70	255,579
6xxx-9	51.25	54.85	12	62	287,496

[0040] 表 3- 合金的机械性能 - 欠时效条件 (350° F 持续 8 小时)

[0041]

合金	TYS (ksi)	UTS (ksi)	延伸率 (%)	夏比冲击 能(ft-lbs)	旋转疲劳寿 命(平均值)
6xxx-1(6061)	45.2	48.7	18	84.5	514,840
6xxx-2	47.9	53.5	17	49.5	381,533
6xxx-3	48.15	53.7	15	37	708,003
6xxx-4	51.6	55.7	14.5	35	449,002
6xxx-5	44.7	52.7	17	52.5	499,260
6xxx-6(6069)	53.25	58.75	17	73	404,120
6xxx-7	50.6	55.5	17	83.5	429,141
6xxx-8	52.35	58.7	15	85.5	313,281
6xxx-9	49.3	54.9	15.5	83	371,073

[0042] 表 4- 合金的腐蚀性能 – 最大强度条件 (385° F 持续 2 小时)

[0043]

合金	G110- 侵蚀深度 24 小时(英寸)			
	T/10(平均 值)	T10(最大值)	表面(平均 值)	表面(最大值)
6xxx-1(6061)	0.00754	0.00997	0.00936	0.01294
6xxx-2	0.00539	0.00808	0.00699	0.00952
6xxx-3	0.00064	0.00109	0.00514	0.0724
6xxx-4	0.00534	0.00686	0.00817	0.00562
6xxx-5	0.00105	0.00230	0.00465	0.00574
6xxx-6(6069)	0.00391	0.00552	0.00517	0.00555
6xxx-7	0.00348	0.00438	0.00573	0.00657
6xxx-8	0.00765	0.00958	0.00565	0.00666
6xxx-9	0.00758	0.01030	0.00756	0.00893

[0044] 表 5- 合金的腐蚀性能 – 欠时效条件 (350° F 持续 8 小时)

[0045]

合金	G110- 侵蚀深度 24 小时(英寸)			
	T/10(平均值)	T10(最大值)	表面(平均值)	表面(最大值)
6xxx-1(6061)	0.01044	0.01385	0.00822	0.01141
6xxx-2	0.00348	0.00934	0.00657	0.00838
6xxx-3	0.00373	0.00573	0.00639	0.00736
6xxx-4	0.00641	0.00879	0.00795	0.01010
6xxx-5	0.00274	0.00443	0.00607	0.00670
6xxx-6(6069)	0.00449	0.00533	0.00681	0.00810
6xxx-7	0.00397	0.00515	0.00662	0.00736
6xxx-8	0.00749	0.00824	0.00332	0.00570
6xxx-9	0.00774	0.00960	0.00688	0.01058

[0046] 图 1a-1c 显示了合金的拉伸性能。所有测试的合金具有比常规的 6061 合金更高的近最大强度。

[0047] 图 1d 显示了合金的旋转疲劳寿命。含有多于 0.7wt. % 的高 Fe 的合金（即，合金 6xxx-8 和 6xxx-9）实现了较低的疲劳寿命。合金 6xxx-8 和 6xxx-9 也含有多于 1.0wt. % 的次级元素钒 (V)、锰 (Mn)、铁 (Fe)、铬 (Cr)、锆 (Zr) 和钛 (Ti)，这引起了它们的低疲劳性能。而且，含有大约 0.7wt. % Cu 的合金 6 和 8 实现了比它们的对应合金更低劣的疲劳性能，这说明了将铜维持在大约 0.55wt. % 以下的重要性。

[0048] 图 1e 显示了合金的无缺口夏比冲击能。夏比冲击能是断裂韧性的指标。出乎意料地，夏比冲击能随组分形成元素（例如，Fe、Cr 和 V）的增加而增加。图 1f 给出了关联图。该趋势与夏比冲击能通常随铝合金中组分颗粒浓度的增加而下降的正常趋势相反。

[0049] 表 4 和 5 提供了与按照 ASTM G110(24 小时测试) 的侵蚀深度测试有关的腐蚀数据。与常规的 6061 合金相比，所有合金显示出更好或者相似的耐蚀性。

[0050] 也测试了合金的颜色和光泽。相对于常规的 6061 合金，本发明合金在 DURA-BRIGHT(亮丽永驻法) 处理之前和之后均实现了可比较的颜色和光泽性能（参见，美国专利 No. 6, 440, 290）。

[0051] 也获得了各种合金的显微照片，其中的一些在图 1g-1 至 1g-4 中显示。通过 V 和 Cr 的联合添加改进了弥散相的量和弥散相分布的均匀性。而且，添加 V+Cr 的合金的微结构是更多未再结晶的，如图 1g-3 和 1g-4 中所示。

[0052] 实例 2- 另外的铰接式铸型研究

[0053] 按照实例 1 的步骤生产了另外的 7 种铰接式铸型铸锭，除了将合金全部在 385° F 下时效 2 小时。下表 6 提供了实例 2 合金的组成（所有数值以重量百分比表示）。

[0054] 表 6- 实例 2 的合金组成

[0055]

合金	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	V	Zr	Ti
6xxx-10	0.72	0.15	0.34	---	1.24	0.21	---	---	0.013

6xxx-11	0.72	0.15	0.34	--	1.24	0.19	0.07	--	0.014
6xxx-12	0.74	0.15	0.34	--	1.26	0.22	0.11	--	0.015
6xxx-13	0.72	0.16	0.34	0.09	1.26	0.21	0.11	--	0.012
6xxx-14	0.73	0.15	0.34	--	1.20	--	0.11	0.11	0.024
6xxx-15	0.70	0.15	0.34	0.14	1.17	--	0.13	--	0.018
6xxx-16	0.72	0.16	0.35	0.14	1.20	--	0.12	0.10	0.018

[0056] 所有合金含有所列出的元素,余量为铝和其他杂质,其中,其他杂质各自均不超过 0.05wt.%,并且其他杂质的总量不多于 0.15wt.%. 这些合金具有 1.64 至 1.75 的 Mg/Si 比。

[0057] 测试了这些合金的机械性能,下表 7 提供了测试结果。根据 ASTM E8 和 B557 测量强度和延伸率性能。根据 ISO 1143(2010) 在 15ksi 的应力下进行旋转疲劳寿命试验,其中 $R = -1$, 并且 $K_t = 3$ 。如表 7 所示,含有适量的 Si、Mg 并且在适宜的 Si/Mg 比的合金实现了改进的抗疲劳性并且具有高强度。实际上,合金总体上具有可忽略量的多余 Si 和 Mg,这有助于合金实现改进的性能;相对于 6061 合金(来自实例 1 的 6xxx-1),所有合金均实现了改进的性能,这至少在一定程度上归因于 Si、Mg 的量和 Si/Mg 比,并且与所使用的 Mn、Cr 和 V 的量无关。然而,观察到含有钒并且含有锰和铬中的至少一种的合金总体上实现了高强度和改进的抗疲劳性的组合。

[0058] 表 7- 合金的机械性能 -385° F 持续 2 小时

[0059]

合金	TYS (ksi)	UTS (ksi)	延伸率 (%)	夏比冲击能 (ft-lbs)	旋转疲劳寿命 (平均值)
6xxx-10	46.1	49.4	16	59.0	461900
6xxx-11	46.8	49.9	16	73.5	439909
6xxx-12	48.65	51.25	15	80.5	471108
6xxx-13	48.3	52.1	17	88.0	456419
6xxx-14	47.3	52.75	16	49.0	467624
6xxx-15	49.65	53.05	15	61.5	482539
6xxx-16	47.35	52.6	16	65.0	466159

[0060] 实例 3- 轮毂研究

[0061] 将两种发明组成和 7 种对比组成生产成轮毂。具体地说,通过直冷铸造生产具有下表 8 中提供的组成的 9 种铸锭,随后将它们均匀化,并且接着模锻成轮毂,随后将轮毂固溶热处理,淬火,并且接着在 385° F 下人工时效大约 2 小时。

[0062] 表 8- 实例 3 的合金组成

[0063]

合金	Mg	Si	Fe	Mn	Cr	Cu	V
合金 17(本发明)	1. 10	0. 77	0. 20	0	0. 11	0. 4	0. 10
合金 18(本发明)	1. 24	0. 76	0. 15	0	0. 18	0. 35	0. 11
合金 19(非本发明)	1. 40	0. 90	0. 25	0. 6	0. 15	0. 15	0
合金 20(非本发明)	1. 59	0. 58	0. 28	0. 55	0. 20	0. 15	0
合金 21(非本发明)	0. 70	0. 80	0. 20	0. 31	0. 20	0. 26	0
合金 22(非本发明)	0. 70	0. 80	0. 22	0. 53	0. 13	0. 25	0
合金 23(非本发明)	0. 86	0. 69	0. 31	0. 076	0. 20	0. 3	0
AA6061	0. 92	0. 7	0. 30	0. 08	0. 21	0. 29	0
AA6082	0. 75	1. 04	0. 21	0. 54	0. 14	0. 04	0

[0064] 所有合金含有所列出的元素和大约 0. 02wt. % 的 Ti, 余量为铝和其他杂质, 其中, 其他杂质各自均不超过 0. 05wt. %, 并且其他杂质的总量不多于 0. 15wt. %。本发明合金具有 1. 43 至 1. 63 的 Mg/Si 比。

[0065] 测试了轮毂产品的机械性能, 下表 9 提供了测试结果。

[0066] 根据 ASTM E8 和 B557 测量强度和延伸率性能。根据 SAE J267 (2007) 应用 2. 8X 载荷系数进行径向疲劳寿命测试。如表 9 所示, 相对于常规的合金和非发明合金, 本发明合金总体上实现了更高的强度和改进的疲劳寿命。

[0067] 表 9- 轮毂的机械性能 -385° F 持续 2 小时

[0068]

合金	TYS (ksi)	UTS (ksi)	延伸率 (%)	径向疲劳 寿命(平均 值)
合金 17(本发明)	51.6	53.8	13.7	1,170,062
合金 18(本发明)	50.4	53.4	16.0	1,331,779
合金 19(非本发明)	47.5	51.8	13.4	784,237
合金 20(非本发明)	41.6	47.6	14.8	393,296
合金 21(非本发明)	46.8	53.9	17.3	753,077
合金 22(非本发明)	46.0	53.2	16.3	778,972
合金 23(非本发明)	46.7	48.5	13.3	850,413
AA6061	47.1	49.0	17.0	942,683
AA6082	47.4	49.7	8.0	650,036

[0069] 实例 4- 另外的铰接式铸型研究

[0070] 除了将合金全部在 385° F 下时效 2 小时之外,按照实例 1 的步骤生产了 10 种另外的铰接式铸型铸锭。下表 10 提供了实例 4 合金的组成(所有数值以重量百分比表示)。

[0071] 表 10- 实例 4 的合金组成

[0072]

合金	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Mg/Si	Cr	V
合金 24(本发明)	0.77	0.14	0.36	--	1.20	1.56	0.19	0.09
合金 25(本发明)	0.74	0.12	0.34	--	1.20	1.62	0.11	0.08
合金 26(本发明)	0.77	0.15	0.39	0.02	1.17	1.52	0.14	0.06
合金 27(本发明)	0.74	0.13	0.35	0.02	1.18	1.60	0.28	—
合金 28(本发明)	0.73	0.17	0.37	0.12	1.17	1.60	0.02	0.09
合金 29(本发明)	0.75	0.15	0.37	0.36	1.21	1.61	0.02	0.07
合金 30(本发明)	0.72	0.13	0.36	0.14	1.16	1.61	0.24	--
合金 31(本发明)	0.75	0.18	0.37	0.11	1.19	1.59	0.11	0.06
合金 32(非本发明)	1.14	0.14	0.36	0.02	1.22	1.07	0.20	0.10
合金 33(非本发明)	0.67	0.3	0.26	0.08	0.86	1.28	0.23	--

[0073] 所有合金含有所列出的元素和大约 0.02wt. % 的 Ti, 余量为铝和其他杂质, 其中, 其他杂质各自均不超过 0.05wt. %, 并且其他杂质的总量不多于 0.15wt. %。本发明合金具有 1.52 至 1.62 的 Mg/Si 比。

[0074] 将合金铸造成 2.875 英寸 (ST) x 4.75 英寸 (LT) x 17 英寸 (L) 的铸锭, 所述铸锭被修整至 2 英寸的厚度并且接着被均匀化。然后将铸锭加工成大约 1.5 英寸直径的圆柱体 (3 英寸高度), 并且接着使其形变成具有大约 0.52 英寸的最终厚度的圆盘。随后将圆盘固溶热处理并且冷水淬火 (100° F), 并且接着在 385° F 下时效 2 小时。根据 ASTM E8 和 B557 测量强度和延伸率性能。根据 ISO 1143 (2010) 在 15ksi 的应力下进行旋转疲劳寿命试验, 其中 R = -1, 并且 Kt = 3。下表 11 提供了结果。

[0075] 表 11- 实例 4 合金的机械性能

[0076]

合金	TYS (ksi)	UTS (ksi)	延伸率 (%)	径向疲劳 寿命(平 均值)
合金 24(本发明)	49.8	51.75	11.5	433362
合金 25(本发明)	42.5	47.35	18	477147
合金 26(本发明)	45.95	49.85	16	465299
合金 27(本发明)	39.6	46.65	20.5	388834
合金 28(本发明)	49.05	51.05	12	430464
合金 29(本发明)	43.75	47.85	17.5	392867
合金 30(本发明)	47.75	49.65	13	453965
合金 31(本发明)	40	46.85	21	419481
合金 32 (非本发明)	54.8	56.65	4.5	428743
合金 33 (非本发明)(6061)	42.8	44.4	13.5	330573

[0077] 如所示,相对于非发明合金 33(6061 型),本发明合金实现了改进的性能。相对于非发明合金 33(6061 型),含有钒的合金 24-26、28-29 和 31 实现了大约相同或者改进的强度,并且具有改进的旋转疲劳寿命和良好的延伸率。相对于非发明合金 33(6061 型),不含钒但含有铬和锰的合金 27 和 30 实现了改进的旋转疲劳寿命并且具有良好的延伸率。含有 1.14Si 并且具有 1.07 的 Mg/Si 比的非发明合金 32 实现了低劣的延伸率。

[0078] 实例 5- 另外的铰接式铸型研究

[0079] 生产了 7 种另外的铰接式铸型铸锭,在下表 13 中提供了这些铸锭的组成(所有数值以重量百分比表示)。

[0080] 表 13- 实例 5 的合金组成

[0081]

合金	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Mg/Si	Cr	V
合金 34(本发明)	0.71	0.14	0.33	0	1.12	1.58	0	0.11
合金 35(本发明)	0.77	0.16	0.34	0	1.19	1.55	0.18	0

[0082]

合金 36(非本发明)	0.62	0.16	0.28	0	0.96	1.55	0.19	0
合金 37(非本发明)	0.92	0.16	0.35	0	1.14	1.24	0	0.10
合金 38(非本发明)	0.72	0.22	0.30	0.07	1.16	1.61	0.19	0
合金 39(非本发明)	0.75	0.15	0.19	0	1.14	1.52	0	0.10
合金 40(非本发明) (6061)	0.71	0.21	0.27	0.08	0.88	1.24	0.21	0

[0083] 所有合金含有所列出的元素和大约 0.01-0.02wt. % 的 Ti,余量为铝和其他杂质,

其中,其他杂质各自均不超过 0.05wt.%,并且其他杂质的总量不多于 0.15wt.%。本发明合金具有 1.55 至 1.58 的 Mg/Si 比。除了仅将它们在 385° F 下时效 2 小时之外,与实例 1 相同地加工合金。根据 ASTM E8 和 B557 测量强度和延伸率性能。下表 14 提供了结果。

[0084] 表 14- 实例 5 合金的机械性能

[0085]

合金	TYS (ksi)	UTS (ksi)	延伸率 (%)
合金 34(本发明)	502	53.8	8.5
合金 35(本发明)	48.3	52.0	13.5
合金 36(非本发明)	46.3	48.6	13.5
合金 37(非本发明)	51.5	54.3	3.0
合金 38(非本发明)	44.7	48.8	15.5
合金 39(非本发明)	45.9	50.3	10.5
合金 40(非本发明) (6061)	46.4	47.9	14.0

[0086] 如所示,相对于非发明合金 40(6061 型),本发明合金实现了改进的性能。具体地说,相对于非发明合金 40(6061 型),合金 34-35 实现了改进的拉伸屈服强度(TYS)并且具有良好的延伸率,虽然含有钒的合金 34 实现了更高的强度。含有 0.62wt.% Si、0.96wt.% Mg、0.28wt.% Cu 并且不含钒的非发明合金 36 实现了与非发明合金 40(6061 型)大约相同的拉伸屈服强度和延伸率。含有 0.92wt.% Si 并且具有 1.24 的 Mg/Si 比的非发明合金 37 实现了低的延伸率。含有 0.30wt.% Cu 并且具有 1.61 的 Mg/Si 比,但是不含钒的非发明合金 38 实现了比非发明合金 40(6061 型)低的屈服强度。含有 0.19wt.% Cu 的非发明合金 39 实现了比非发明合金 40(6061 型)低的屈服强度。

[0087] 上述结果表明,当采用至少 0.275wt.% 的 Cu 和适量的 Si 和 Mg 等等时,含有至少 0.05wt.% 钒的合金可以实现改进的性能,如上所示。上述结果还表明,通过采用至少 0.35wt.% 的 Cu 和适量的 Si、Mg,并且通过使用作为 V 的替代的 Cr、Mn 和 / 或 Zr,不含至少 0.05wt.% 钒的合金可以实现改进的性能。

[0088] 虽然已经详细地描述了本文所述新技术的多个实施例,但是显而易见的是,本领域技术人员将会想到这些实施例的更改和修正。然而,可以清楚地理解的是,这些更改和修正落入本发明所公开的新技术的精神和范围内。

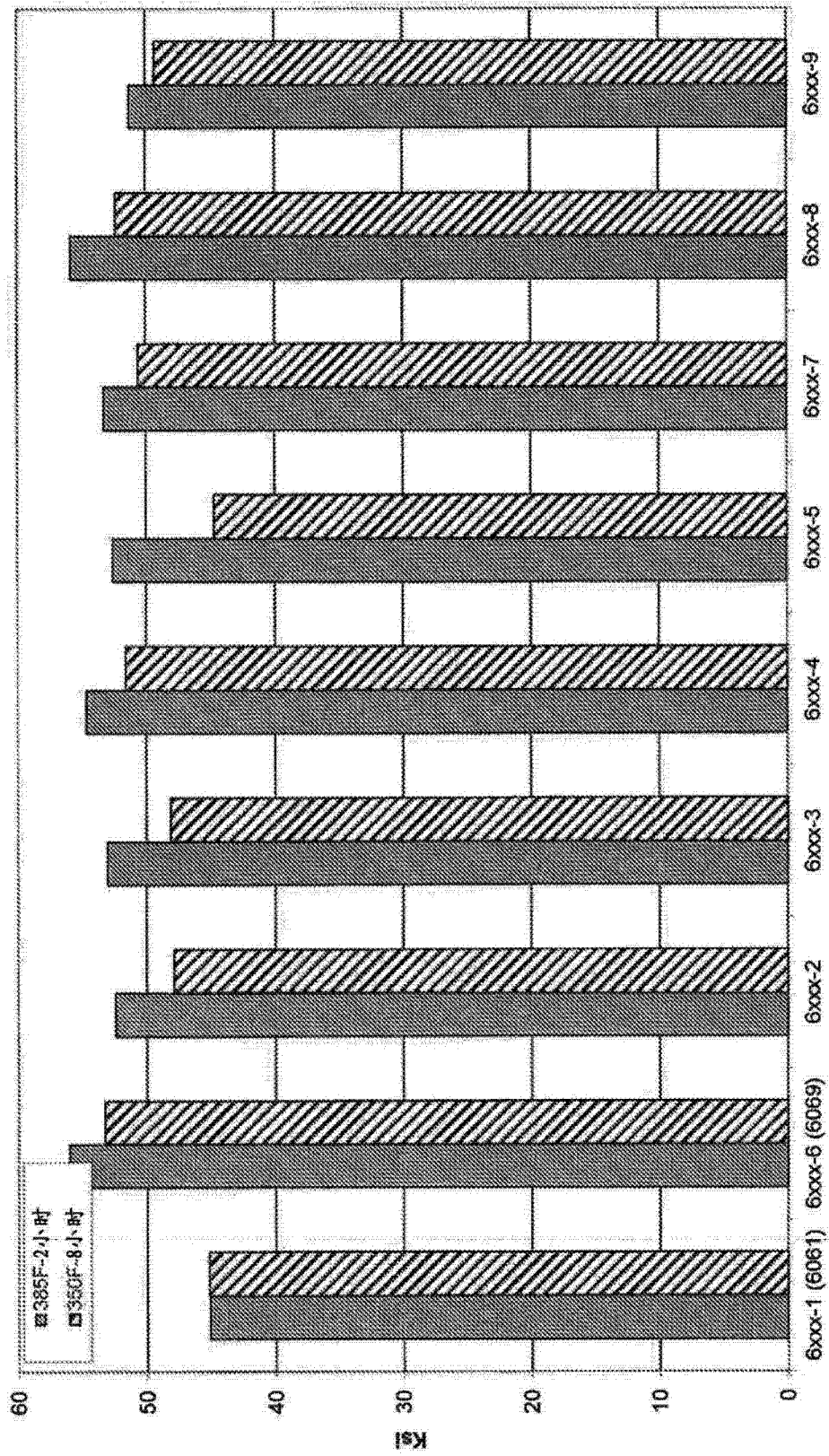


图 1a- 实例 1 合金 - 拉伸屈服强度 (ksi)

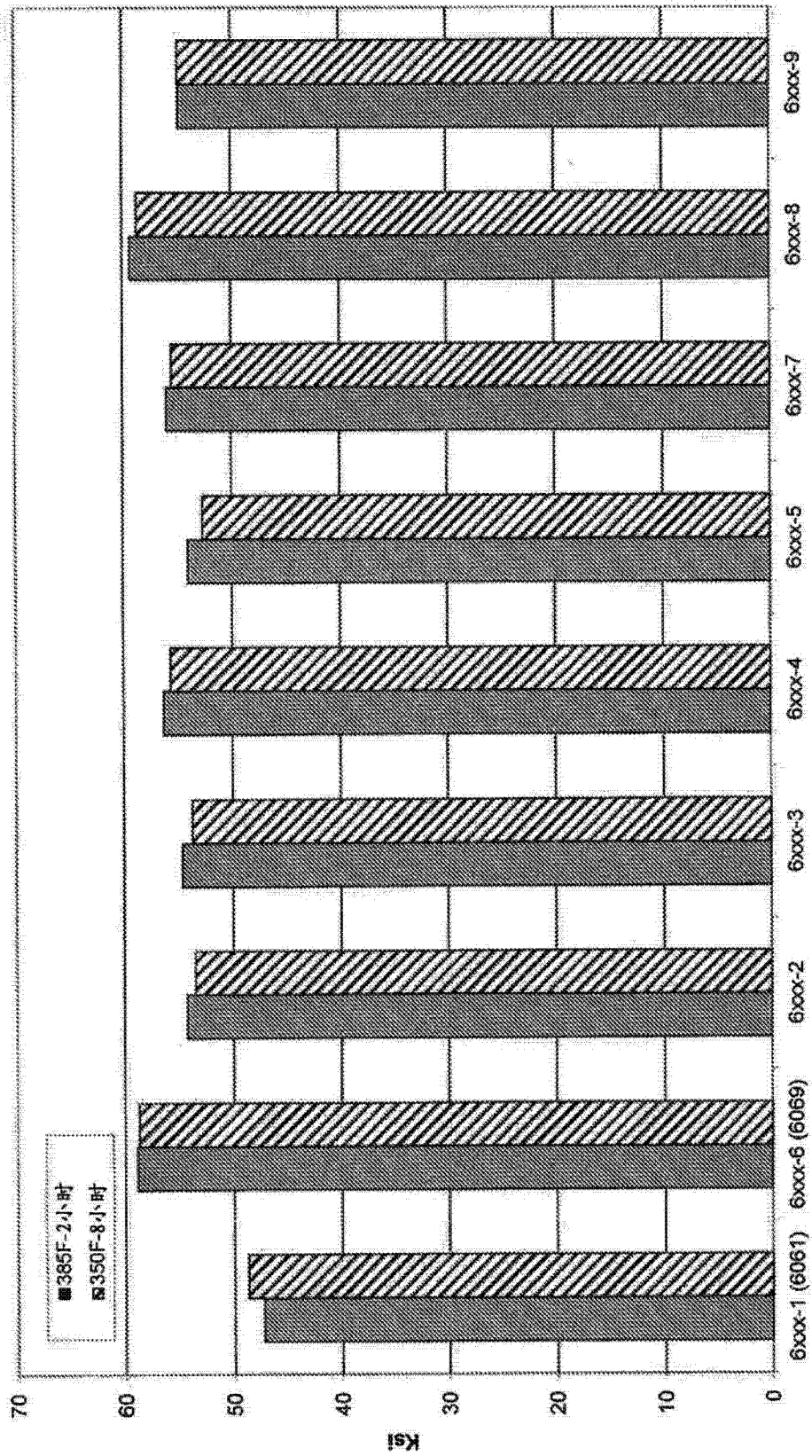


图 1b- 实例 1 合金 - 极限拉伸强度 (ksi)

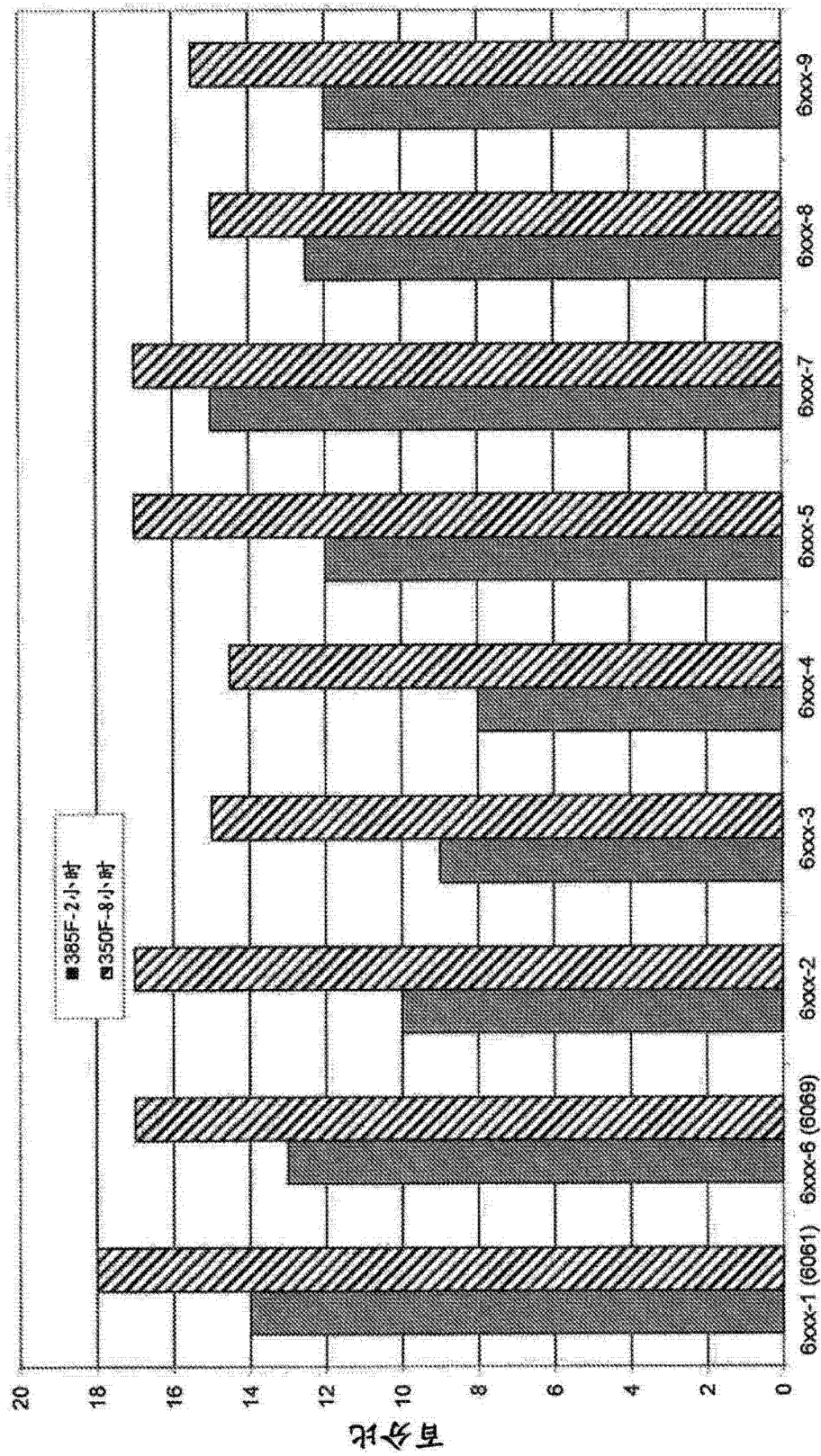
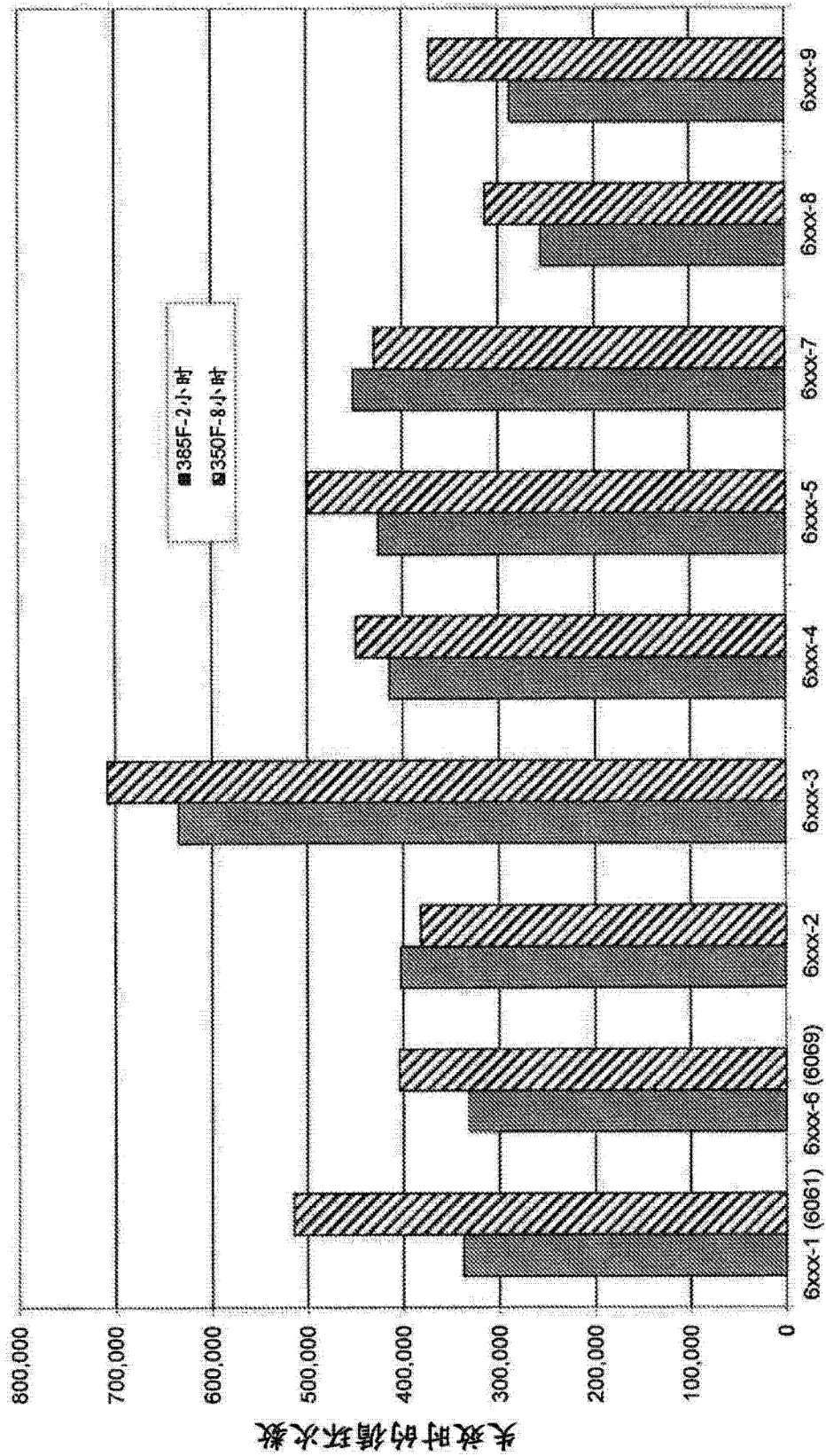


图 1c- 实例 1 合金 - 延伸率 (%)

图 1d- 实例 1 合金 - 缺口旋转疲劳寿命 (15ksi, $R = -1$)

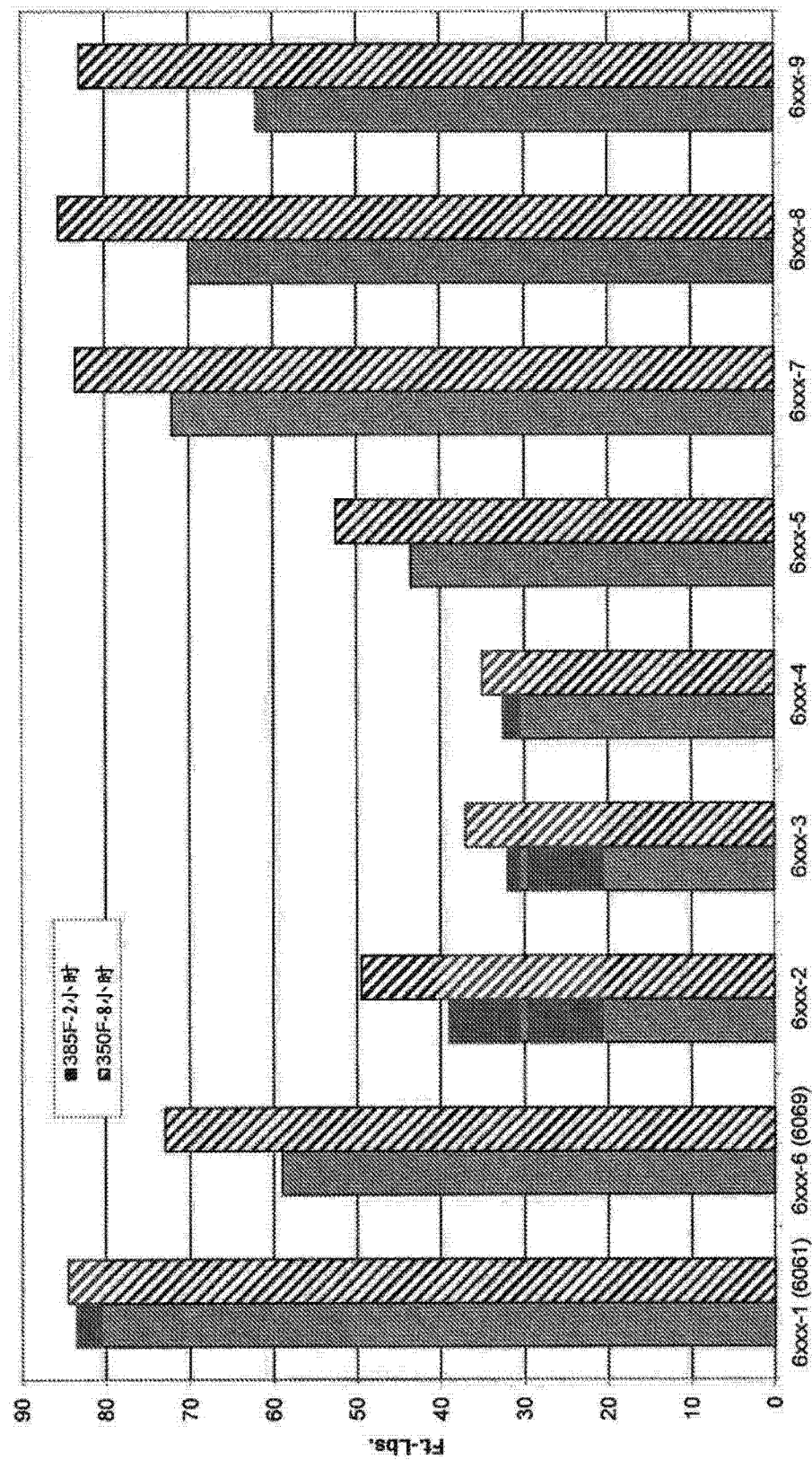


图 1e- 实例 1 合金 - 无缺口夏比冲击能 (Ft. -Lbs.)

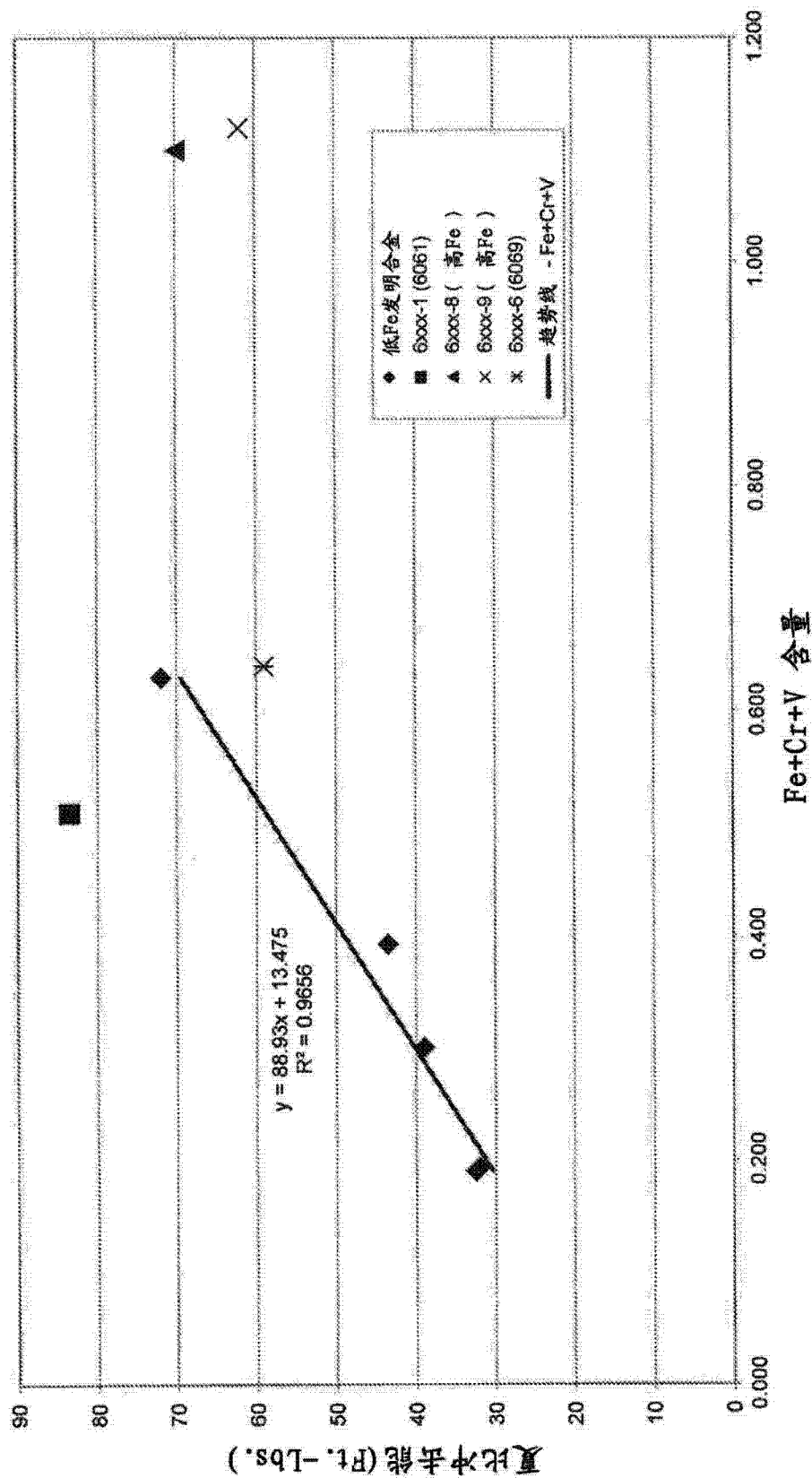
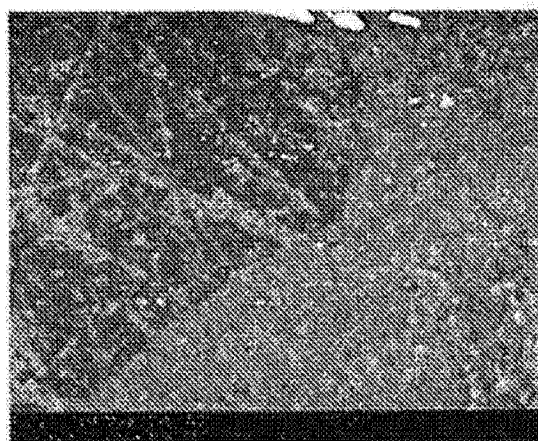


图 1f- 实例 1- 夏比冲击能对组分含量



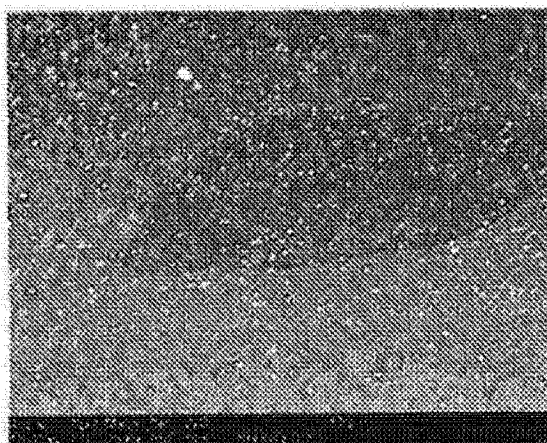
6061
(0.3Fe, 0.21Cr
.08Mn)

图 1g-1



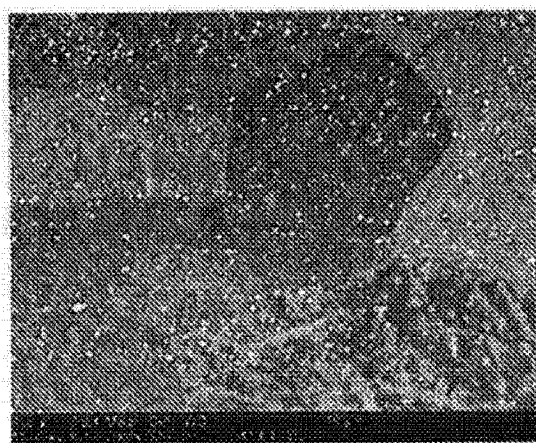
6XXX-3
(0.08Fe, 0.12V)

图 1g-2



6XXX-5
(0.08Fe, 0.2Cr
0.12V)

图 1g-3



6XXX-7
(0.25Fe, 0.2Cr
0.15V)

图 1g-4