



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113039303 A

(43) 申请公布日 2021.06.25

(21) 申请号 201980071897.8

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所  
11256

(22) 申请日 2019.11.06

代理人 苏娟 张宁潇

(30) 优先权数据

62/756,963 2018.11.07 US

(51) Int.Cl.

G22C 21/12 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

B22D 21/04 (2006.01)

2021.04.29

B33Y 70/00 (2020.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2019/060016 2019.11.06

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2020/097169 EN 2020.05.14

(71) 申请人 奥科宁克技术有限责任公司

地址 美国宾夕法尼亚州

(72) 发明人 J·博斯利 J·C·林

L·M·卡拉宾 文伟

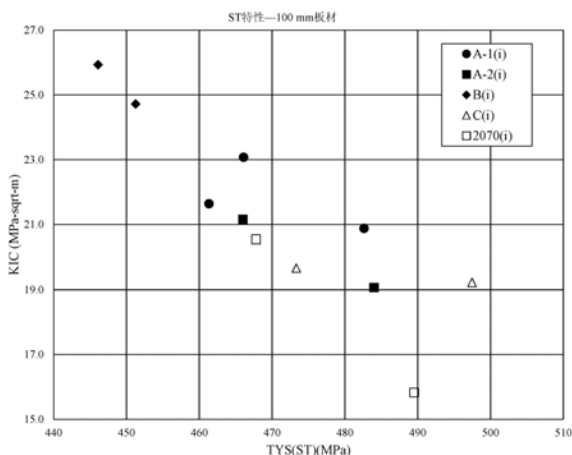
权利要求书3页 说明书14页 附图3页

(54) 发明名称

2XXX铝锂合金

(57) 摘要

公开了具有的新型2xxx铝合金。新型2xxx铝合金一般包括2.5-3.9wt.%的Cu;0.82-1.20wt.%的Li;0.5-2.0wt.%的Zn;0.10-0.60wt.%的Mn;0.05-0.35wt.%的Mg;0.05至0.50wt.%的至少一种晶粒结构控制元素,其中所述至少一种晶粒结构控制元素选自自由以下组成的组:Zr、Sc、Cr、V、Hf、其它稀土元素以及其组合;至多0.22wt.%的Ag;至多0.15wt.%的Fe;至多0.12wt.%的Si;以及至多0.15wt.%的Ti,其余部分是铝、偶存元素和杂质。新型2xxx铝合金可以实现强度、断裂韧性、伸长率和耐腐蚀性中两种或更多种的组合的改善。



1. 一种2xxx铝合金,其包含:
  - 2.5-3.9wt.%的Cu;
  - 0.82-1.20wt.%的Li;
  - 0.5-2.0wt.%的Zn;
  - 0.10-0.60wt.%的Mn;
  - 0.05-0.35wt.%的Mg;
  - 0.05至0.50wt.%的至少一种晶粒结构控制元素,其中所述至少一种晶粒结构控制元素选自自由以下组成的组:Zr、Sc、Cr、V、Hf、其它稀土元素以及其组合;
  - 至多0.22wt.%的Ag;
  - 至多0.15wt.%的Fe;
  - 至多0.12wt.%的Si;以及
  - 至多0.15wt.%的Ti;
  - 其余部分是铝、偶存元素和杂质。
2. 根据权利要求1所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括不超过0.20wt.%的Ag、或不超过0.15wt.%的Ag、或不超过0.10wt.%的Ag、或不超过0.05wt.%的Ag、或不超过0.01wt.%的Ag、或不超过0.005wt.%的Ag。
3. 根据前述权利要求中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括至少0.85wt.%的Li、或至少0.875wt.%的Li、或至少0.900wt.%的Li、或至少0.925wt.%的Li、或至少0.950wt.%的Li。
4. 根据前述权利要求中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括不超过1.15wt.%的Li、或不超过1.10wt.%的Li、或不超过1.075wt.%的Li、或不超过1.050wt.%的Li、或不超过1.025wt.%的Li、或不超过1.000wt.%的Li、或不超过0.980wt.%的Li。
5. 根据前述权利要求中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括至少0.125wt.%的Mn、或至少0.15wt.%的Mn、或至少0.175wt.%的Mn、或至少0.20wt.%的Mn、或至少0.225wt.%的Mn、或至少0.25wt.%的Mn、或至少0.27wt.%的Mn。
6. 根据前述权利要求中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括不超过0.055wt.%的Mn、或不超过0.50wt.%的Mn、或不超过0.45wt.%的Mn、或不超过0.425wt.%的Mn、或不超过0.40wt.%的Mn、或不超过0.375wt.%的Mn、或不超过0.35wt.%的Mn、或不超过0.325wt.%的Mn、或不超过0.30wt.%的Mn。
7. 根据前述权利要求中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括不超过0.12wt.%的Fe、或不超过0.10wt.%的Fe、或不超过0.08wt.%的Fe、或不超过0.06wt.%的Fe。
8. 根据前述权利要求中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括不超过0.10wt.%的Si、或不超过0.08wt.%的Si、或不超过0.06wt.%的Si、或不超过0.04wt.%的Si。
9. 根据前述权利要求中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括至少0.005wt.%的Ti、或至少0.010wt.%的Ti、或至少0.015wt.%的Ti、或至少0.020wt.%的Ti。
10. 根据前述权利要求中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括不超过

0.10wt.%的Ti、或不超过0.08wt.%的Ti、或不超过0.07wt.%的Ti、或不超过0.06wt.%的Ti、或不超过0.05wt.%的Ti。

11. 根据前述权利要求中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述晶粒结构控制元素至少是Zr,且其中所述合金包括0.05至0.20wt.%的Zr。

12. 根据权利要求11所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括至少0.06wt.%的Zr、或至少0.07wt.%的Zr、或至少0.08wt.%的Zr。

13. 根据权利要求11至12中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括不超过0.18wt.%的Zr、或不超过0.16wt.%的Zr、或不超过0.15wt.%的Zr、或不超过0.14wt.%的Zr、或不超过0.13wt.%的Zr。

14. 根据前述权利要求中任一项所述的2xxx铝合金,其中 (wt.%Cu) / (wt.%Zn) 不超过4.25。

15. 根据前述权利要求中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括3.1-3.8wt.%的Cu。

16. 根据权利要求15所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括至少0.6wt.%的Zn、或至少0.7wt.%的Zn、或至少0.75wt.%的Zn、或至少0.80wt.%的Zn、或至少0.85wt.%的Zn、或至少0.9wt.%的Zn、或至少0.95wt.%的Zn。

17. 根据权利要求15至16中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括不超过1.8wt.%的Zn、或不超过1.6wt.%的Zn、或不超过1.4wt.%的Zn、或不超过1.3wt.%的Zn、或不超过1.2wt.%的Zn、或不超过1.1wt.%的Zn、或不超过1.05wt.%的Zn。

18. 根据权利要求15至17中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括至少3.1wt.%的Cu、或至少3.2wt.%的Cu、或至少3.3wt.%的Cu。

19. 根据权利要求15至18中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括不超过3.75wt.%的Cu、或不超过3.7wt.%的Cu、或不超过3.65wt.%的Cu、或不超过3.6wt.%的Cu。

20. 根据权利要求15至19中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括至少0.10wt.%的Mg、或至少0.125wt.%的Mg、或至少0.15wt.%的Mg、或至少0.175wt.%的Mg、或至少0.20wt.%的Mg、或至少0.21wt.%的Mg、或至少0.22wt.%的Mg。

21. 根据权利要求15至20中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括不超过0.325wt.%的Mg、或不超过0.30wt.%的Mg、或不超过0.29wt.%的Mg、或不超过0.28wt.%的Mg。

22. 根据权利要求15至21中任一项所述的2xxx铝合金,其中 (wt.%Cu) / (wt.%Zn) 不超过4.10、或不超过4.00、或不超过3.90、或不超过3.80、或不超过3.78。

23. 根据权利要求1至14中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括2.5-3.4wt.%的Cu。

24. 根据权利要求23所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括至少0.6wt.%的Zn、或至少0.8wt.%的Zn、或至少1.0wt.%的Zn、或至少1.1wt.%的Zn、或至少1.2wt.%的Zn、或至少1.3wt.%的Zn。

25. 根据权利要求23至24中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括不超过1.9wt.%的Zn、或不超过1.8wt.%的Zn、或不超过1.7wt.%的Zn、或不超过1.6wt.%的

Zn、或不超过1.5wt.%的Zn。

26. 根据权利要求23至25中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括至少2.6wt.%的Cu、或至少2.7wt.%的Cu、或至少2.8wt.%的Cu、或至少2.85wt.%的Cu。

27. 根据权利要求23至26中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括不超过3.35wt.%的Cu、或不超过3.3wt.%的Cu、或不超过3.25wt.%的Cu、或不超过3.2wt.%的Cu。

28. 根据权利要求23至27中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括至少0.10wt.%的Mg、或至少0.12wt.%的Mg、或至少0.13wt.%的Mg、或至少0.14wt.%的Mg、或至少0.15wt.%的Mg、或至少0.16wt.%的Mg、或至少0.17wt.%的Mg。

29. 根据权利要求23至28中任一项所述的2xxx铝合金,其中所述2xxx铝合金包括不超过0.30wt.%的Mg、或不超过0.275wt.%的Mg、或不超过0.25wt.%的Mg、或不超过0.24wt.%的Mg、或不超过0.23wt.%的Mg。

30. 根据权利要求23至29中任一项所述的2xxx铝合金,其中 $(\text{wt.}\% \text{Cu}) / (\text{wt.}\% \text{Zn})$ 不超过4.0、或不超过3.75、或不超过3.50、或不超过3.30、或不超过3.10、或不超过2.95、或不超过2.90、或不超过2.75、或不超过2.67、或不超过2.50、或不超过2.42。

31. 一种锻制铝合金产品,其由根据权利要求1至30中任一项所述的2xxx铝合金制成。

32. 根据权利要求31所述的锻制铝合金产品,其中所述锻制铝合金产品具有至少12.7mm的厚度。

33. 根据权利要求31所述的锻制铝合金产品,其中所述锻制铝合金产品具有至少101.6mm的厚度。

34. 根据权利要求31所述的锻制铝合金产品,其中所述锻制铝合金产品具有至少152.4mm的厚度。

35. 根据权利要求31至34中任一项所述的锻制铝合金产品,其中所述锻造铝合金产品具有不超过203.2mm的厚度。

36. 根据权利要求31至35中任一项所述的锻制铝合金产品,其中所述锻制铝合金产品是板材产品、挤出产品或锻造产品中的一种。

37. 一种增材制造的产品,其由根据权利要求1至30中任一项所述的2xxx铝合金制成。

38. 一种增材制造的原料,其由根据权利要求1至30中任一项所述的2xxx铝合金制成。

39. 一种成形铸造产品,其由根据权利要求1至30中任一项所述的2xxx铝合金制成。

40. 一种铸锭,其由根据权利要求1至30中任一项所述的2xxx铝合金制成。

## 2XXX铝锂合金

### 技术领域

[0001] 本公开涉及2xxx铝锂合金和由其制备的产品。

### 背景技术

[0002] 铝合金可用于多种应用。然而,改善铝合金的一种特性而不降低另一种特性通常被证明是难以办到的。例如,难以增加合金的强度,而不降低合金的韧性。仅举两例,值得关注的铝合金的其它特性包括耐腐蚀性和疲劳裂纹扩展速率抗性。

### 发明内容

[0003] 大体上,本专利申请涉及新型2xxx铝锂合金。一般来说,所述新型2xxx铝锂合金包含(并且一些实例主要由以下组成或由以下组成):2.5至3.9wt.%的Cu;0.82至1.20wt.%的Li;0.5至2.0wt.%的Zn;0.10至0.60wt.%的Mn;0.05至0.35wt.%的Mg;0.05至0.50wt.%的至少一种晶粒结构控制元素,其中所述至少一种晶粒结构控制元素选自自由以下组成的组:Zr、Sc、Cr、V、Hf、其它稀土元素以及其组合;至多0.22wt.%的Ag;至多0.15wt.%的Fe;至多0.12wt.%的Si;以及至多0.15wt.%的Ti,其余部分是铝、偶存元素和杂质。掺有此类合金组合物的产品可以实现例如强度、伸长率、断裂韧度和抗应力腐蚀开裂性中两种或更多种的组合的改善。

#### [0004] i. 组成

[0005] 如上所述,所述合金中包括铜(Cu),并且一般包括在2.5wt.%至3.9wt.%范围内的Cu。与铜有关的更具体的实施方案将于本节结尾附近提供。

[0006] 如上所述,新型合金中包括锂(Li),且其一般在0.82wt.%至1.20wt.%范围内。在一个实施方案中,新型合金包括至少0.85wt.%的Li。在另一个实施方案中,新型合金包括至少0.875wt.%的Li。在又一个实施方案中,新型合金包括至少0.90wt.%的Li。在另一个实施方案中,新型合金包括至少0.925wt.%的Li。在另一个实施方案中,新型合金包括至少0.95wt.%的Li。在一个实施方案中,新型合金包括不超过1.15wt.%的Li。在另一个实施方案中,新型合金包括不超过1.10wt.%的Li。在又一个实施方案中,新型合金包括不超过1.075wt.%的Li。在另一个实施方案中,新型合金包括不超过1.050wt.%的Li。在又一个实施方案中,新型合金包括不超过1.025wt.%的Li。在另一个实施方案中,新型合金包括不超过1.000wt.%的Li。在又一个实施方案中,新型合金包括不超过0.980wt.%的Li。

[0007] 新型合金中一般包括锌(Zn),且其一般在0.50wt.%的Zn至2.0wt.%的Zn范围内。与锌有关的更具体的实施方案将于本段结尾附近提供。

[0008] 所述合金中铜比锌的重量比可与其特性的改善(例如其淬火敏感性)有关。在一个实施方案中,新型2xxx铝合金实现不超过4.25:1(Cu:Zn)的铜比锌重量比。

[0009] 新型合金中一般包括锰(Mn),且一般包括在0.10wt.%至0.60wt.%范围内的Mn。在一个实施方案中,新型合金包括至少0.125wt.%的Mn。在另一个实施方案中,新型合金包括至少0.15wt.%的Mn。在又一个实施方案中,新型合金包括至少0.175wt.%的Mn。在另

一个实施方案中,新型合金包括至少0.20wt.%的Mn。在另一个实施方案中,新型合金包括至少0.225wt.%的Mn。在又一个实施方案中,新型合金包括至少0.25wt.%的Mn。在另一个实施方案中,新型合金包括至少0.27wt.%的Mn。在一个实施方案中,新型合金包括不超过0.55wt.%的Mn。在另一个实施方案中,新型合金包括不超过0.50wt.%的Mn。在又一个实施方案中,新型合金包括不超过0.45wt.%的Mn。在另一个实施方案中,新型合金包括不超过0.425wt.%的Mn。在又一个实施方案中,新型合金包括不超过0.40wt.%的Mn。在另一个实施方案中,新型合金包括不超过0.375wt.%的Mn。在又一个实施方案中,新型合金包括不超过0.35wt.%的Mn。在另一个实施方案中,新型合金包括不超过0.325wt.%的Mn。在另一个实施方案中,新型合金包括不超过0.30wt.%的Mn。在合金化行业中,锰可以被视为合金成分和晶粒结构控制元素,因为保留在固溶体中的锰可增强合金的机械特性(例如强度和/或韧性),而呈颗粒形式的锰(例如呈 $Al_6Mn$ 、 $Al_{12}Mn_3Si_2$ 、 $Al_{20}Cu_2Mn_3$ 形式,有时称为分散体)可帮助晶粒结构控制,并且还能改善损伤容限特性,如断裂韧性。然而,由于Mn在本专利申请中是根据其自身组成限值分开定义,故出于本专利申请的目的,它不在“晶粒结构控制元素”(如下所述)的定义内。

[0010] 新型合金中包括镁(Mg),且一般包括在0.05wt.%至0.35wt.%范围内的Mg。与镁有关的更具体的实施方案将于本段结尾附近提供。

[0011] 所述合金可包括0.05至0.50wt.%的至少一种晶粒结构控制元素,其选自由以下组成的组:锆(Zr)、钪(Sc)、铬(Cr)、钒(V)和/或铪(Hf),和/或其它稀土元素,并由此使所利用的晶粒结构控制元素维持在最大溶解度以下。如本文所使用,“晶粒结构控制元素”意思指出于形成通常呈固态的第二相颗粒,以控制在如回收和再结晶之类热工艺期间固态晶粒结构的变化之目的而有意添加于合金中的元素或化合物。出于本专利申请的目的,举几个例子,晶粒结构控制元素包括Zr、Sc、Cr、V、Hf和其它稀土元素,但不包括Mn。

[0012] 合金中所用晶粒结构控制材料的量一般取决于用于晶粒结构控制和/或合金制造工艺的材料类型。在一种方法中,所述晶粒结构控制元素是Zr,并且所述合金包括0.05wt.%至0.20wt.%的Zr。在一个实施方案中,所述铝合金包含至少0.06wt.%的Zr。在另一个实施方案中,所述铝合金包括至少0.07wt.%的Zr。在又一个实施方案中,所述铝合金包括至少0.08wt.%的Zr。在一个实施方案中,所述铝合金包括不超过0.18wt.%的Zr。在另一个实施方案中,所述铝合金包括不超过0.16wt.%的Zr。在另一个实施方案中,所述铝合金包括不超过0.15wt.%的Zr。在又一个实施方案中,所述铝合金包括不超过不超过0.14wt.%的Zr。在另一个实施方案中,所述铝合金包括不超过0.13wt.%的Zr。在一个实施方案中,所述合金包括0.05wt.%至0.15wt.%的Zr。在另一个实施方案中,所述合金包括0.07wt.%至0.14wt.%的Zr。在另一个实施方案中,所述合金包括0.08wt.%至0.13wt.%的Zr。

[0013] 所述合金可包括累积至多0.15wt.%的Ti以用于晶粒细化和/或其它目的。晶粒细化剂是用于在合金固化期间接种新晶粒的孕育剂或核。晶粒细化剂的实例是包含96%铝、3%钛(Ti)和1%硼(B)(都以重量百分比计)的9.525mm杆,其中几乎所有的硼都是以精细分散的 $TiB_2$ 颗粒形式存在。在铸造期间,晶粒细化杆可以接受控速率连续地进给至流入铸造坑中的熔融合金中。所述合金中所包括的晶粒细化剂的量一般取决于用于晶粒细化和合金制造工艺的材料类型。晶粒细化剂的实例包括Ti与B(例如 $TiB_2$ )或碳(TiC)的组合,不过

其它晶粒细化剂,如Al-Ti母合金,也可以使用。一般来说,取决于所希望的铸态晶粒大小,添加至合金中的晶粒细化剂的量在0.0003wt.%至0.005wt.%的范围内。此外,添加至合金中的Ti的量可分别取决于产品形式而为至多0.15wt.%,以增加晶粒细化剂的效用,并且典型地在0.005至0.15wt.%的Ti的范围内。当合金中包括Ti时,它的存在量一般是0.01至0.10wt.。在一个实施方案中,新型合金包括至少0.005wt.%的Ti。在另一个实施方案中,新型合金包括至少0.01wt.%的Ti。在又一个实施方案中,新型铝合金包括至少0.015wt.%的Ti。在另一个实施方案中,新型合金包括至少0.020wt.%的Ti。在一个实施方案中,新型合金包括不超过0.10wt.%的Ti。在另一个实施方案中,新型合金包括不超过0.08wt.%的Ti。在又一个实施方案中,新型铝合金包括不超过0.07wt.%的Ti。在另一个实施方案中,新型合金包括不超过0.06wt.%的Ti。在又一个实施方案中,新型铝合金包括不超过0.05wt.%的Ti。在一个实施方案中,所述铝合金包括晶粒细化剂,并且所述晶粒细化剂是TiB<sub>2</sub>和TiC中的至少一种,其中合金中Ti的重量百分比是0.01至0.06wt.%或0.01至0.03wt.%。

[0014] 新型铝合金可包括铁(Fe)。新型合金的铁含量一般不应超过0.15wt.。在一个实施方案中,新型合金可包括至少0.01wt.%的Fe。在一个实施方案中,新型合金包括不超过0.12wt.%的Fe。在另一个实施方案中,新型合金包括不超过0.10wt.%的Fe。在又一个实施方案中,新型合金包括不超过0.08wt.%的Fe。在另一个实施方案中,新型合金包括不超过0.06wt.%的Fe。在又一个实施方案中,新型合金包括不超过0.04wt.%的Fe。

[0015] 新型铝合金可包括硅(Si)。新型合金的硅含量一般不应超过0.12wt.。在一个实施方案中,新型合金可包括至少0.01wt.%的Si。在一个实施方案中,新型合金包括不超过0.10wt.%的Si。在另一个实施方案中,新型合金包括不超过0.08wt.%的Si。在又一个实施方案中,新型合金包括不超过0.06wt.%的Si。在另一个实施方案中,新型合金包括不超过0.04wt.%的Si。

[0016] 如上所述,新型铝合金可任选地包括银且其量是至多0.22wt.。在一个实施方案中,新型合金包括不超过0.20wt.%的Ag。在另一个实施方案中,新型合金包括不超过0.15wt.%的Ag。在又一个实施方案中,新型合金包括不超过0.10wt.%的Ag。在另一个实施方案中,新型合金包括不超过0.05wt.%的Ag。在又一个实施方案中,新型合金包括不超过0.01wt.%的Ag。在另一个实施方案中,新型合金包括不超过0.005wt.%的Ag和/或在新型合金中无法检测到。

[0017] 如上所述,新型合金一般包括所陈述的合金成分,其余部分是铝、任选存在的偶存元素和杂质。如本文所使用,“偶存元素”意思指除以上所列元素之外,可任选地添加至合金中以帮助合金制造的元素或材料。偶存元素的实例包括铸造助剂,如晶粒细化剂和脱氧剂。所述合金中可包括至多1.0wt.%的累积量的任选存在的偶存元素。作为一个非限制性实例,可以在铸造期间,将一种或多种偶存元素添加至合金中,以减少或限制(并且在一些情况下,消除)由例如氧化物褶皱、凹陷和氧化物斑点引起的铸锭开裂。这些类型的偶存元素在本文中一般被称为脱氧剂。一些脱氧剂的实例包括Ca、Sr和Be。当合金中包括钙(Ca)时,其存在量一般是至多约0.05wt.%或至多约0.03wt.%。在一些实施方案中,合金中包括约0.001-0.03wt.%或约0.05wt.%,如0.001-0.008wt.%(或10至80ppm)的量的Ca。锶(Sr)可作为Ca的替代物(完全或部分地)包括在合金中,且因此可以按与Ca相同或类似的量包括在

合金中。传统上,添加铍(Be)有助于减小铸锭开裂的倾向,但出于环境、健康和安全性原因,合金的一些实施方案基本上不含Be。当合金中包括Be时,其存在量一般是至多约20ppm。偶存元素可以微量存在,或可以大量存在,且可以在不脱离本文所述合金的情况下自行添加所希望或其它的特征,只要所述合金保持本文所述的所希望的特征即可。然而,应理解,不得/不能通过仅添加不会在其它方面影响本文所希望和所获得的特性组合的数量的一种或多种元素来避开本公开的范围。

[0018] 新型2xxx铝合金一般含有少量杂质。在一个实施方案中,新型2xxx铝合金包括总计不超过0.15wt.%的杂质,且其中所述2xxx铝合金包括不超过0.05wt.%的每种杂质。在另一个实施方案中,新型2xxx铝合金包括总计不超过0.10wt.%的杂质,且其中所述2xxx铝合金包括不超过0.03wt.%的每种杂质。

[0019] a. 新型2xxx铝合金的示例性第一版本

[0020] 在一个实施方案中,新型2xxx铝合金的第一版本包括第一定制量的铜、镁和锌。在一种方法中,所述第一版本包括3.1至3.8wt.%的铜、0.5至2.0wt.%的Zn和0.05至0.35wt.%的Mg。

[0021] 在一个实施方案中,所述第一版本包括至少3.2wt.%的Cu。在另一个实施方案中,所述第一版本包括至少3.3wt.%的Cu。在一个实施方案中,所述第一版本包括不超过3.75wt.%的Cu。在另一个实施方案中,所述第一版本包括不超过3.7wt.%的Cu。在一个实施方案中,所述第一版本包括不超过3.65wt.%的Cu。在另一个实施方案中,所述第一版本包括不超过3.6wt.%的Cu。

[0022] 在一个实施方案中,所述第一版本包括至少0.6wt.%的Zn。在另一个实施方案中,所述第一版本包括至少0.7wt.%的Zn。在又一个实施方案中,所述第一版本包括至少0.75wt.%的Zn。在另一个实施方案中,所述第一版本包括至少0.8wt.%的Zn。在又一个实施方案中,所述第一版本包括至少0.85wt.%的Zn。在另一个实施方案中,所述第一版本包括至少0.9wt.%的Zn。在又一个实施方案中,所述第一版本包括至少0.95wt.%的Zn。在一个实施方案中,所述第一版本包括不超过1.8wt.%的Zn。在另一个实施方案中,所述第一版本包括不超过1.6wt.%的Zn。在又一个实施方案中,所述第一版本包括不超过1.4wt.%的Zn。在另一个实施方案中,所述第一版本包括不超过1.3wt.%的Zn。在又一个实施方案中,所述第一版本包括不超过1.2wt.%的Zn。在另一个实施方案中,所述第一版本包括不超过1.1wt.%的Zn。在又一个实施方案中,所述第一版本包括不超过1.05wt.%的Zn。

[0023] 如上所述,合金中铜比锌的重量比可与其特性(例如其淬火敏感性)的改善相关。在一个实施方案中,所述第一版本实现了不超过4.25:1(Cu:Zn)的铜比锌(重量)比,即合金中(wt.%Cu)/(wt.%Zn)不超过4.25。在另一个实施方案中,所述第一版本实现了不超过4.10:1的铜比锌(重量)比。在又一个实施方案中,所述第一版本实现了不超过4.00:1的铜比锌(重量)比。在另一个实施方案中,所述第一版本实现了不超过3.90:1的铜比锌(重量)比。在又一个实施方案中,所述第一版本实现了不超过3.80:1的铜比锌(重量)比。在另一个实施方案中,所述第一版本实现了不超过3.78:1的铜比锌(重量)比。

[0024] 在一个实施方案中,所述第一版本包括至少0.10wt.%的Mg。在另一个实施方案中,所述第一版本包括至少0.125wt.%的Mg。在又一个实施方案中,所述第一版本包括至

少0.15wt.%的Mg。在另一个实施方案中,所述第一版本包括至少0.175wt.%的Mg。在又一个实施方案中,所述第一版本包括至少0.20wt.%的Mg。在另一个实施方案中,所述第一版本包括至少0.21wt.%的Mg。在又一个实施方案中,所述第一版本包括至少0.22wt.%的Mg。在一个实施方案中,所述第一版本包括不超过0.325wt.%的Mg。在另一个实施方案中,所述第一版本包括不超过0.30wt.%的Mg。在又一个实施方案中,所述第一版本包括不超过0.29wt.%的Mg。在另一个实施方案中,所述第一版本包括不超过0.28wt.%的Mg。

[0025] 所述2xxx合金的各种第一版本的实施方案提供于下。

[0026] 表1a-示例性第一版本的合金(以重量百分比表示)

[0027]

合金	Cu	Li	Zn	Mn	Mg	Ag
1V-1	3.1-3.8	0.82-1.20	0.5-2.0	0.10-0.60	0.05-0.35	≤0.22
1V-2	3.2-3.75	0.85-1.15	0.6-1.8	0.15-0.55	0.10-0.325	≤0.005
1V-3	3.2-3.7	0.875-1.10	0.7-1.6	0.20-0.45	0.125-0.30	≤0.005
1V-4	3.3-3.7	0.90-1.075	0.75-1.4	0.20-0.425	0.15-0.29	≤0.005
1V-5	3.3-3.65	0.90-1.050	0.8-1.3	0.225-0.40	0.175-0.29	≤0.005
1V-6	3.3-3.6	0.90-1.025	0.85-1.2	0.225-0.375	0.20-0.29	≤0.005
1V-7	3.3-3.6	0.90-1.000	0.9-1.1	0.25-0.35	0.21-0.28	≤0.005
1V-8	3.3-3.6	0.90-1.000	0.95-1.05	0.27-0.325	0.22-0.28	≤0.005

[0028] 表1b-示例性第一版本的合金(以重量百分比表示)(续)

[0029]

合金	Cu:Zn	GSC*	Fe	Si	Ti	杂质(各杂质/总计)	余量**
1V-1	≤4.25:1	0.05-0.20 Zr	≤0.15	≤0.12	≤0.15	≤0.05 / ≤0.15	Al 和 Opt. Incid. El.
1V-2	≤4.25:1	0.05-0.18 Zr	≤0.12	≤0.10	0.01 - 0.10	≤0.05 /	Al 和 Opt.

[0030]

合金	Cu:Zn	GSC*	Fe	Si	Ti	杂质(各杂质/总计)	余量**
						≤0.15	Incid. El.
1V-3	≤4.25:1	0.05-0.16 Zr	≤0.10	≤0.08	0.01 - 0.10	≤0.05 / ≤0.15	Al 和 Opt. Incid. El.
1V-4	≤4.25:1	0.05-0.15 Zr	≤0.08	≤0.06	0.01 - 0.10	≤0.05 / ≤0.15	Al 和 Opt. Incid. El.
1V-5	≤4.25:1	0.05-0.15 Zr	≤0.08	≤0.06	0.01 - 0.10	≤0.05 / ≤0.15	Al 和 Opt. Incid. El.
1V-6	≤4.10:1	0.05-0.15 Zr	≤0.08	≤0.06	0.01 - 0.10	≤0.03 / ≤0.10	Al 和 Opt. Incid. El.
1V-7	≤4.00:1	0.05-0.15 Zr	≤0.08	≤0.06	0.01 - 0.10	≤0.03 / ≤0.10	Al 和 Opt. Incid. El.
1V-8	≤3.78:1	0.05-0.15 Zr	≤0.06	≤0.04	0.01 - 0.10	≤0.03 / ≤0.10	Al 和 Opt. Incid. El.

[0031] \*GSC=晶粒结构控制

[0032] \*\*Op.Incid.El.=任选存在的偶存元素

[0033] 在一个实施方案中,第一版本包括3.2-3.7wt.%的Cu;0.85-1.15wt.%的Li;

0.75-1.25wt.%的Zn,其中Cu:Zn(重量比) $\leq 4.25:1$ ;0.15-0.29wt.%的Mg;(X1、X2、X3、X4或X5)wt.%的Mn; $\leq 0.005$ wt.%的Ag;0.05-0.15wt.%的Zr; $\leq 0.10$ wt.%的Fe; $\leq 0.08$ wt.%的Si;0.01-0.10wt.%的Ti,其余部分是铝、任选存在的偶存元素和杂质,其中X1是0.15-0.40(即,X1 wt.%的Mn是0.15-0.40wt.%的Mn),其中X2是0.15-0.30,其中X3是0.15-0.25,其中X4是0.20-0.40,且其中X5是0.25-0.35。

[0034] b.新型2xxx铝合金的示例性第二版本

[0035] 在一个实施方案中,新型2xxx铝合金的第二版本包括第二定制量的铜、镁和锌。在一种方法中,所述第二版本包括2.5至3.4wt.%的铜、0.5至2.0wt.%的Zn和0.05至0.35wt.%的Mg。

[0036] 在一个实施方案中,所述第二版本包括至少2.6wt.%的Cu。在另一个实施方案中,所述第二版本包括至少2.7wt.%的Cu。在又一个实施方案中,所述第二版本包括至少2.8wt.%的Cu。在另一个实施方案中,所述第二版本包括至少2.85wt.%的Cu。在一个实施方案中,所述第二版本包括不超过3.35wt.%的Cu。在另一个实施方案中,所述第二版本包括不超过3.3wt.%的Cu。在一个实施方案中,所述第二版本包括不超过3.25wt.%的Cu。在另一个实施方案中,所述第二版本包括不超过3.2wt.%的Cu。在另一个实施方案中,所述第二版本包括不超过3.15wt.%的Cu。

[0037] 在一个实施方案中,所述第二版本包括至少0.6wt.%的Zn。在另一个实施方案中,所述第二版本包括至少0.8wt.%的Zn。在又一个实施方案中,所述第二版本包括至少1.0wt.%的Zn。在另一个实施方案中,所述第二版本包括至少1.1wt.%的Zn。在又一个实施方案中,所述第二版本包括至少1.2wt.%的Zn。在另一个实施方案中,所述第二版本包括至少1.3wt.%的Zn。在一个实施方案中,所述第二版本包括不超过1.9wt.%的Zn。在另一个实施方案中,所述第二版本包括不超过1.8wt.%的Zn。在又一个实施方案中,所述第二版本包括不超过1.7wt.%的Zn。在另一个实施方案中,所述第二版本包括不超过1.6wt.%的Zn。在又一个实施方案中,所述第二版本包括不超过1.5wt.%的Zn。

[0038] 如上所述,合金中铜比锌的重量比可与其特性(例如其淬火敏感性)的改善相关。在一个实施方案中,所述第二版本实现了不超过4.25:1(Cu:Zn)的铜比锌(重量)比,即合金中的(wt.%Cu)/(wt.%Zn)不超过4.00:1。在另一个实施方案中,所述第二版本实现了不超过3.75:1的铜比锌(重量)比。在又一个实施方案中,所述第二版本实现了不超过3.50:1的铜比锌(重量)比。在另一个实施方案中,所述第二版本实现了不超过3.30:1的铜比锌(重量)比。在又一个实施方案中,所述第二版本实现了不超过3.10:1的铜比锌(重量)比。在另一个实施方案中,所述第二版本实现了不超过2.95:1的铜比锌(重量)比。在又一个实施方案中,所述第二版本实现了不超过2.90:1的铜比锌(重量)比。在另一个实施方案中,所述第二版本实现了不超过2.75:1的铜比锌(重量)比。在另一个实施方案中,所述第二版本实现了不超过2.67:1的铜比锌(重量)比。在另一个实施方案中,所述第二版本实现了不超过2.50:1的铜比锌(重量)比。在另一个实施方案中,所述第二版本实现了不超过2.42:1的铜比锌(重量)比。

[0039] 在一个实施方案中,所述第二版本包括至少0.10wt.%的Mg。在另一个实施方案中,所述第二版本包括至少0.12wt.%的Mg。在又一个实施方案中,所述第二版本包括至少0.13wt.%的Mg。在另一个实施方案中,所述第二版本包括至少0.14wt.%的Mg。在又一

个实施方案中,所述第二版本包括至少0.15wt.%的Mg。在另一个实施方案中,所述第二版本包括至少0.16wt.%的Mg。在又一个实施方案中,所述第二版本包括至少0.17wt.%的Mg。在一个实施方案中,所述第二版本包括不超过0.30wt.%的Mg。在另一个实施方案中,所述第二版本包括不超过0.275wt.%的Mg。在又一个实施方案中,所述第二版本包括不超过0.25wt.%的Mg。在另一个实施方案中,所述第二版本包括不超过0.24wt.%的Mg。在又一个实施方案中,所述第二版本包括不超过0.23wt.%的Mg。

[0040] 所述新型2xxx合金的各种第二版本的实施方案提供于下。

[0041] 表2a-示例性第二版本的合金(以重量百分比表示)

[0042]

合金	Cu	Li	Zn	Mn	Mg	Ag
2V-1	2.5-3.4	0.82-1.20	0.5-2.0	0.10-0.60	0.05-0.35	≤0.22
2V-2	2.6-3.4	0.85-1.15	0.6-1.9	0.15-0.55	0.10-0.30	≤0.005
2V-3	2.6-3.35	0.875-1.15	0.8-1.8	0.20-0.45	0.12-0.275	≤0.005
2V-4	2.7-3.35	0.90-1.10	1.0-1.7	0.20-0.425	0.13-0.25	≤0.005
2V-5	2.7-3.3	0.90-1.10	1.1-1.7	0.225-0.40	0.14-0.25	≤0.005
2V-6	2.8-3.25	0.90-1.075	1.1-1.6	0.225-0.375	0.15-0.24	≤0.005
2V-7	2.8-3.2	0.925-1.05	1.2-1.5	0.25-0.35	0.16-0.24	≤0.005
2V-8	2.85-3.15	0.95-1.05	1.3-1.5	0.27-0.325	0.17-0.23	≤0.005

[0043] 表2b-示例性第二版本的合金(以重量百分比表示)(续)

[0044]

合金	Cu:Zn	GSC*	Fe	Si	Ti	杂质(各杂质/总计)	余量**
2V-1	≤4.25:1	0.05-0.20 Zr	≤0.15	≤0.12	≤0.15	≤0.05 / ≤0.15	Al 和 Opt. Incid. El.
2V-2	≤4.00:1	0.05-0.18 Zr	≤0.12	≤0.10	0.01 - 0.10	≤0.05 / ≤0.15	Al 和 Opt. Incid. El.
2V-3	≤4.00:1	0.05-0.16 Zr	≤0.10	≤0.08	0.01 - 0.10	≤0.05 / ≤0.15	Al 和 Opt. Incid. El.
2V-4	≤3.30:1	0.05-0.15 Zr	≤0.08	≤0.06	0.01 - 0.10	≤0.05 / ≤0.15	Al 和 Opt. Incid. El.
2V-5	≤2.95:1	0.05-0.15 Zr	≤0.08	≤0.06	0.01 - 0.10	≤0.05 / ≤0.15	Al 和 Opt. Incid. El.
2V-6	≤2.90:1	0.05-0.15 Zr	≤0.08	≤0.06	0.01 - 0.10	≤0.03 / ≤0.10	Al 和 Opt. Incid. El.
2V-7	≤2.67:1	0.05-0.15 Zr	≤0.08	≤0.06	0.01 - 0.10	≤0.03 / ≤0.10	Al 和 Opt. Incid. El.
2V-8	≤2.42:1	0.05-0.15 Zr	≤0.06	≤0.04	0.01 - 0.10	≤0.03 / ≤0.10	Al 和 Opt. Incid. El.

[0045] \*GSC=晶粒结构控制

[0046] \*\*Op.Incid.El.=任选存在的偶存元素

[0047] 在一个实施方案中,第二版本包括2.7-3.3wt.%的Cu;0.85-1.15wt.%的Li;1.2-1.6wt.%的Zn,其中Cu:Zn(重量比)≤4.25:1;0.15-0.30wt.%的Mg;(Y1、Y2、Y3、Y4或Y5)wt.%的Mn,≤0.005wt.%的Ag;0.05-0.15wt.%的Zr;≤0.10wt.%的Fe;≤0.08wt.%的

Si;0.01-0.10wt.%的Ti,其余部分是铝、任选存在的偶存元素和杂质,其中Y1是0.15-0.40(即,Y1 wt.%的Mn是0.15-0.40wt.%的Mn),其中Y2是0.15-0.30,其中Y3是0.15-0.25,其中Y4是0.20-0.40,且其中Y5是0.25-0.35。

[0048] ii.产品形式

[0049] 所述新型合金可用于多种产品形式,例如包括铸锭或坯料、锻制产品形式(板材、锻件和挤出件)、成形铸件、增材制造产品和粉末冶金产品。

[0050] 在一个实施方案中,新型2xxx铝合金呈厚锻制产品形式。厚锻制铝合金产品是横截面厚度为至少12.7mm的锻制产品。锻制产品可以是辊压产品、锻造产品或挤出产品。在一个实施方案中,厚锻制铝合金产品具有至少25.4mm的厚度。在另一个实施方案中,厚锻制铝合金产品具有至少50.8mm的厚度。在又一个实施方案中,厚锻制铝合金产品具有至少76.2mm的厚度。在另一个实施方案中,厚锻制铝合金产品具有至少101.6mm的厚度。在又一个实施方案中,厚锻制铝合金产品具有至少126.0mm的厚度。在另一个实施方案中,厚锻制铝合金产品具有至少152.4mm的厚度。本文所描述的特性改善可以用厚度是至多304.8mm的厚锻制产品实现。在一个实施方案中,厚锻制铝合金产品具有不超过254.0mm的厚度。在另一个实施方案中,厚锻制铝合金产品具有不超过203.2mm的厚度。在又一个实施方案中,厚锻制铝合金产品具有不超过177.8mm的厚度。如本段中所使用,厚度是指产品的最小厚度,意味着产品的一些部分的厚度可能略大于所陈述的最小厚度。

[0051] iii.锻制处理

[0052] 新型合金可以通过大体上常规实践制备成锻制形式,并呈适当的回火,包括将铝合金直接冷却(DC)铸造成铸锭形式。在常规刮光(scalping)、车削(lathing)或剥离(peeling)(如果需要)和均匀化之后,这些铸锭可以通过对产品进行热加工来进一步处理,所述均匀化可以在刮光之前或之后完成。然后,产品可任选地经历冷加工,任选地退火、固溶热处理、淬火和最终冷加工(例如通过伸展或压缩0.5%至10%进行)。在最终的冷加工步骤之后,可以对产品进行人工时效。因此,在一些实施方案中,产品可以在T3或T8回火中制造。在其它实施方案中,可以使用其它T回火(例如T1、T2、T4、T5、T6、T7或T9回火中的任一种)。T回火定义于ANSI H35.1(2009)中。

[0053] iv.特性

[0054] 新型2xxx铝锂合金一般实现强度、伸长率、断裂韧度和抗应力腐蚀开裂性中至少两种的组的改善。

[0055] 在一个实施方案中,新型2xxx铝锂合金具有至少80mm的厚度并且在T8回火中实现至少440MPa的拉伸屈服强度(ST)。在另一个实施方案中,新型2xxx铝锂合金具有至少80mm的厚度并且在T8回火中实现至少450MPa的拉伸屈服强度(ST)。在又一个实施方案中,新型2xxx铝锂合金具有至少80mm的厚度并且在T8回火中实现至少460MPa的拉伸屈服强度(ST)。在另一个实施方案中,新型2xxx铝锂合金具有至少80mm的厚度并且在T8回火中实现至少470MPa的拉伸屈服强度(ST)。在又一个实施方案中,新型2xxx铝锂合金具有至少80mm的厚度并且在T8回火中实现至少480MPa或更高的拉伸屈服强度(ST)。上述强度特性可以在厚度是至少100mm、或至少125mm、或至少150mm或更高的产品中实现。

[0056] 在一个实施方案中,新型2xxx铝锂合金具有至少80mm的厚度并且在T8回火中实现至少20MPa-sqrt-m的平面应变( $K_{IC}$ )断裂韧度(S-L)。在另一个实施方案中,新型2xxx铝锂合

金具有至少80mm的厚度并且在T8回火中实现至少21MPa-sqrt-m的平面应变 ( $K_{IC}$ ) 断裂韧度 (S-L)。在又一个实施方案中,新型2xxx铝锂合金具有至少80mm的厚度并且在T8回火中实现至少22MPa-sqrt-m的平面应变 ( $K_{IC}$ ) 断裂韧度 (S-L)。在另一个实施方案中,新型2xxx铝锂合金具有至少80mm的厚度并且在T8回火中实现至少23MPa-sqrt-m的平面应变 ( $K_{IC}$ ) 断裂韧度 (S-L)。在又一个实施方案中,新型2xxx铝锂合金具有至少80mm的厚度并且在T8回火中实现至少24MPa-sqrt-m的平面应变 ( $K_{IC}$ ) 断裂韧度 (S-L)。在另一个实施方案中,新型2xxx铝锂合金具有至少80mm的厚度并且在T8回火中实现至少25MPa-sqrt-m的平面应变 ( $K_{IC}$ ) 断裂韧度 (S-L)。在又一个实施方案中,新型2xxx铝锂合金具有至少80mm的厚度并且在T8回火中实现至少26MPa-sqrt-m或更高的平面应变 ( $K_{IC}$ ) 断裂韧度 (S-L)。上述断裂韧度特性可以在厚度是至少100mm、或至少125mm、或至少150mm或更高的产品中实现。

[0057] 在一个实施方案中,新型2xxx铝锂合金具有至少80mm的厚度并且在T8回火中实现至少1.5%的伸长率 (ST)。在另一个实施方案中,新型2xxx铝锂合金具有至少80mm的厚度并且在T8回火中实现至少2.0%的伸长率 (ST)。在又一个实施方案中,新型2xxx铝锂合金具有至少80mm的厚度并且在T8回火中实现至少2.5%的伸长率 (ST)。在一个实施方案中,新型2xxx铝锂合金具有至少80mm的厚度并且在T8回火中实现至少3.0%或更高的伸长率 (ST)。上述伸长率特性可以在厚度是至少100mm、或至少125mm、或至少150mm或更高的产品中实现。

[0058] 在一个实施方案中,新型2xxx铝锂合金具有至少80mm的厚度并且在T8回火中具有抗应力腐蚀开裂性(如下定义)。上述抗应力腐蚀开裂特性可以在厚度是至少100mm、或至少125mm、或至少150mm或更高的产品中实现。

[0059] 在一种方法中,新型2xxx铝锂合金实现比标准2070铝合金产品高至少3.0MPa-sqrt-m ( $K_{IC}$ ) 的平面应变 ( $K_{IC}$ ) 断裂韧度,其中两种产品被处理成相同的产品形式、规格、屈服强度和回火。例如,如果新型2xxx铝锂合金和2070合金在T8回火中被制造成150mm板材(具有相同量的伸展或压缩,例如彼此差异在0.5%延伸/压缩内),并且如果两种合金经历人工时效达到大致相同的拉伸屈服强度(例如彼此差异在5MPa内),则在此方法中,所述新型2xxx铝锂合金的 $K_{IC}$ 断裂韧度将比所述2070合金高至少3MPa-sqrt-m。在一个实施方案中,新型2xxx铝锂合金实现比标准2070铝合金产品高至少4.0MPa-sqrt-m的平面应变 ( $K_{IC}$ ) 断裂韧度,其中两种产品被处理成相同的产品形式、规格、屈服强度和回火。在另一个实施方案中,新型2xxx铝锂合金实现比标准2070铝合金产品高至少5.0MPa-sqrt-m的平面应变 ( $K_{IC}$ ) 断裂韧度,其中两种产品被处理成相同的产品形式、规格、屈服强度和回火。标准2070铝合金产品标称地包括(目标)3.5wt.%的Cu、0.30wt.%的Mn、0.22wt.%的Mg、0.30wt.%的Zn、1.15wt.%的Li、0.30wt.%的Zn、0.11wt.%的Zr、 $\leq 0.04$ wt.%的Si、 $\leq 0.06$ wt.%的Fe、 $\leq 0.03$ wt.%的Ti、总计不超过0.10wt.%的杂质以及不超过0.03wt.%的每种杂质,其余部分是铝。

[0060] 虽然上述特性一般涉及厚板材产品,但类似特性也可以在厚锻造产品和厚挤出产品中实现。此外,上述特性中有许多也可以组合地实现,如以下实例所示。

[0061] v. 定义

[0062] 除非另外指明,否则以下定义适用于本申请:

[0063] “2xxx铝合金”是根据“锻制铝和锻制铝合金的国际合金版号和化学组成限值

(International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys)”,第28页(2015)中所提供的铝业协会定义,具有铜作为主要合金元素的铝合金组合物。出于本专利申请的目的,2xxx铝合金组合物可用于非锻制产品中,如成形铸件、铸锭/坯料及增材制造产品等中。

[0064] “锻制铝合金产品”意思指在铸造之后经历热加工的铝合金产品,并且包括辊压产品(片材或板材)、锻造产品和挤出产品。

[0065] “锻造铝合金产品”意思指经历模具锻造或手工锻造的锻制铝合金产品。

[0066] “固溶热处理”意思指将铝合金暴露于高温以达到将溶质放入固溶体中的目的。

[0067] “热加工”意思指在高温下,一般在至少250°F下加工铝合金产品。

[0068] “冷加工”意思指在不被视为热加工温度的温度下,一般在低于约250°F下(例如在环境温度下)加工铝合金产品。

[0069] “人工时效”意思指将铝合金暴露于高温以达到使溶质沉淀的目的。人工时效可分一个或多个步骤进行,所述步骤可包括改变温度和/或暴露时间。

[0070] 强度和伸长率是根据ASTM E8和B557测量。

[0071] 断裂韧度是根据ASTM E399测量。

[0072] “抗应力腐蚀开裂性”意思指根据ASTM G44/G47,2xxx铝合金产品的所有试样在379MPa的净应力下进行30天的交替浸渍测试之后没有失效,并且测试需要至少5个试样。在一个实施方案中,根据ASTM G44/G47,2xxx铝合金产品的所有试样在379MPa的净应力下进行60天的交替浸渍测试之后没有失效,并且测试需要至少5个试样。在另一个实施方案中,根据ASTM G44/G47,2xxx铝合金产品的所有试样在379MPa的净应力下进行90天的交替浸渍测试之后没有失效,并且测试需要至少5个试样。提取SCC测试的试样,使其处于中平面的中心并相对于原始合金产品沿ST方向定向。

[0073] 如本文所使用,“增材制造”意思指如题为“增材制造技术的标准术语(Standard Terminology for Additively Manufacturing Technologies)”的ASTM F2792-12a中所定义,“根据3D模型数据接合材料以制造物品的一种方法,通常是逐层制造,与减材制造方法相对”。可用于制造铝合金产品的增材制造的非限制性实例包括例如直接金属激光烧结(DMLS)、选择性激光熔融(SLM)、选择性激光烧结(SLS)和电子束熔融(EBM)等。由以上新型2xxx铝合金制成的任何适合原料都可以使用,包括一种或多种粉末、一种或多种线材、一种或多种片材和其组合。在一些实施方案中,增材制造原料包含一种或多种包含新型2xxx铝合金的粉末。刨花是一种类型的颗粒。在一些实施方案中,增材制造原料包含一种或多种包含新型2xxx铝合金的线材。带状物是一种类型的线材。在一些实施方案中,增材制造原料包含一种或多种包含新型2xxx铝合金的片材。箔是一种类型的片材。

[0074] 在以下描述中部分阐述此新技术的这些和其它方面、优点和新颖特征,且本领域的技术人员在检查以下描述和附图后将变得显而易见,或可以通过实践本公开所提供的技术的一个或多个实施方案而习得。

[0075] 附图构成本说明书的一部分并且包括本公开的说明性实施方案,并且说明了其各种目的和特征。另外,各图中所示的任何测量结果、规格等旨在为说明性的,而不是限制性的。因此,本文公开的具体结构和功能细节不应被解释为限制性的,而仅作为用于教导本领域的技术人员以各种方式采用本发明的代表性基础。

[0076] 在已经公开的那些益处和改进当中,根据结合附图进行的以下描述,本发明的其他目的和优点将变得显而易见。在本文中公开了本发明的详细实施方案;然而,应当理解,所公开的实施方案仅仅说明可以通过各种形式体现的本发明。另外,连同本发明的各种实施方案一起给出的实例中的每一个均旨在为说明性的,而不是限制性的。

[0077] 在通篇说明书和权利要求书中,除非上下文另有明确规定,否则以下术语采取本文明确相关的含义。如本文所用,短语“在一个实施方案中”和“在一些实施方案中”不一定指相同实施方案(虽然它们可以是)。另外,如本文所用,短语“在另一个实施方案中”和“在一些其它实施方案中”不一定指不同实施方案(虽然它们可以是)。因此,可以容易地将本发明的各种实施方案组合,而不偏离本发明的范围或精神。

[0078] 此外,除非上下文另外明确规定,否则如本文所使用,术语“或”是包容性的“或”功能词,并且等同于术语“和/或”(例如“X1、X2、X3、X4或X5”在本文中不意味着“和/或”,因为X1-X5全部都是唯一的且彼此不同)。除非上下文另外明确规定,否则术语“基于”不具有排他性且允许基于未描述的其他因素。此外,在本说明书全篇中,除非上下文另外明确规定,否则“一个”、“一种”和“所述”的含义包括复数指代物。除非上下文另外明确规定,否则“在…中”的含义包括“在…中”和“在…上”。

[0079] 虽然已经描述了本发明的多个实施方案,但应了解这些实施方案仅具说明性且无限制性,且多种润饰对于本领域的技术人员而言可为显而易见的。更进一步,除非上下文另外明确要求,否则各种步骤可以按任何期望的顺序进行,并且可以添加和/或消除任何适用的步骤。

## 附图说明

[0080] 图1-2是示出实施例1的各种铝合金产品的性能的图。

[0081] 图3是示出实施例2的各种铝合金产品的性能的图。

## 具体实施方式

[0082] 实施例1-板材测试

[0083] 将各种Al-Li合金铸造为铸锭并均匀化。每一铸锭的组成示于下表3a中。合金A和B是本发明合金。合金C和2070合金是非本发明的合金。2070合金描述于例如共同拥有的美国专利申请公开第2012/0225271号中。

[0084] 表3a-合金的组成

合金	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Li	Zr	Ti
[0085] A-1	0.02	0.03	3.57	0.29	0.24	0.94	0.92	0.10	0.02
A-2	0.05	0.03	3.46	0.32	0.27	1.00	0.94	0.10	0.02
[0086] B	0.04	0.04	2.96	0.32	0.21	1.42	0.98	0.09	0.02
C	0.05	0.04	3.70	0.33	0.38	0.84	0.97	0.10	0.02
2070	0.02	0.03	3.48	0.30	0.22	0.36	1.13	0.10	0.02

[0087] 每一合金的其余部分是铝、偶存元素和杂质,其中没有杂质超过0.05wt.%,并且杂质的总量不超过0.15wt.%.在均匀化之后,合金被热辊压成最终的规格,经历固溶热处理、淬火并伸展约6%。下表3b中提供近似最终规格。

[0088] 表3b-合金和最终规格

合金	最终规格 (mm)	最终规格 (in.)
A-1(i)	100	3.94
A-1(ii)	150	5.91
A-2(i)	100	3.94
A-2(ii)	150	5.91
B(i)	100	3.94
B(ii)	150	5.91
C(i)	100	3.94
C(ii)	150	5.91
2070(i)	100	3.94
2070(ii)	120	4.72

[0090] 对合金执行各种两步人工时效操作,如下表4中所提供,第一个步骤在290°F(143.3°C)下执行不同时间,第二个步骤在225°F(107.2°C)下执行12小时。根据ASTM E8和B557测量时效后的铝合金板材的各种机械特性。还根据ASTM E399测量了一些样品的断裂韧性特性。如以下数据和相应图1-2所示,本发明合金实现在短横向方向上特性组合的改善。

[0091] 表4-机械特性(短横向方向)

合金	第1个步骤的时效时间(小时)	TYS (ST) (MPa)	UTS (ST) (MPa)	伸长率 (ST)(%)	K <sub>IC</sub> (S-L) (MPa-sqrt-m)
A-1(i)	25	461.3	526.0	3.2	21.6
A-1(i)	30	466.1	531.9	3.7	23.1
A-1(i)	50	482.6	543.3	3.1	20.9
A-2(i)	25	466.0	529.0	4.7	21.2
A-2(i)	30	484.0	543.0	3.8	19.1
B(i)	40	446.1	509.5	3.7	25.9
B(i)	60	451.3	511.6	4.1	24.7
C(i)	25	473.3	538.5	2.8	19.7
C(i)	45	497.5	555.0	2.1	19.2
2070(i)	30	467.8	535.0	3.3	20.5
2070(i)	50	489.5	548.8	2.4	15.8
A-1(ii)	30	460.2	515.7	3.1	20.5
A-1(ii)	50	475.4	521.2	2.0	20.4
A-2(ii)	25	442.0	496.0	3.6	24.7
A-2(ii)	25	443.8	495.0	3.0	22.5
A-2(ii)	30	451.5	504.0	3.0	22.9
B(ii)	40	440.2	484.0	2.8	22.1
B(ii)	60	443.0	489.5	2.5	23.5
C(ii)	25	465.1	517.5	2.7	19.0
C(ii)	45	486.1	534.0	2.2	18.7
2070(ii) (120 mm)	30	461.3	527.4	3.4	18.2*
2070(ii) (120 mm)	50	482.6	538.1	2.7	16.5*

[0093] \*=K<sub>Q</sub>值

[0094] 在100mm下,新型合金一般在相同强度下实现断裂韧度的改善。例如,本发明合金

A-1在大致相同强度(在时效30个小时的时候)下实现比2070合金高约3MPa- $\sqrt{m}$ 的强度。本发明合金A-2也相对于2070合金有所改善,并且如果A-2合金的硅含量降低至0.02wt.%,则预期A-2合金将实现与合金A-1类似的结果。本发明合金B在降低的强度水平下实现极高断裂韧度,但如果时效达到相同强度,则预期其将实现至少与A-1同样好的结果。特性改善在150mm下甚至更明显,其中所有本发明的合金在相同强度下实现更佳的断裂韧度。值得注意的是,本发明的合金包括的镁比非本发明的合金C要少。本发明的合金还具有不超过4.25:1的Cu:Zn比率(重量比),而非本发明的合金实现更高的Cu:Zn比率。本发明的合金还具有比合金C和非本发明的合金2070要多的锌。

[0095] 在ST方向上并根据ASTM G44/G47测试许多合金的抗应力腐蚀开裂(SCC)特性。所有本发明的合金在所有时效条件下,在310MPa和379MPa的净应力下,在30天的测试时间内都没有出现、或预期将不会出现失效(一些合金仍在测试中)。相反,合金C在30天时间内且在相同测试条件下,在310MPa和379MPa的净应力下出现多次失效。这可能是因为合金C包括较多镁的事实,较多的镁会使合金C易于发生应力腐蚀开裂。合金C可进一步经历时效以改善腐蚀,但其已经较差的断裂韧度将减小。相反,本发明的合金A和B获得四个特性的良好组合:强度、伸长率、断裂韧度和抗应力腐蚀开裂性。

[0096] 实施例2-另外的板材测试

[0097] 将三种另外的Al-Li合金(都是本发明合金)都铸造成铸锭并均匀化,这些合金的组成显示于下表5中。

[0098] 表5-实施例2合金的组成

[0099]

合金	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ag	Li	Zr	Ti
1	0.04	0.04	3.46	0.27	0.26	0.98	--	0.96	0.10	0.03
2	0.07	0.07	3.63	0.27	0.26	0.97	--	0.96	0.09	0.02
3	0.06	0.04	3.50	0.26	0.22	0.96	--	0.97	0.09	0.02

[0100] 每一合金的其余部分是铝、偶存元素和杂质,其中没有杂质超过0.05wt.%,并且杂质的总量不超过0.15wt.%.在均匀化之后,合金被热辊压成最终的规格,经历固溶热处理、淬火,然后伸展约6%。接着,在各种时间和温度下,对合金进行人工时效。时效条件显示于表6中。

[0101] 表6-实施例2合金的时效条件

[0102]

条件	第一个步骤	第二个步骤
A	在 290°F下 20 小时	在 225°F下 12 小时
B	在 290°F下 30 小时	
C	在 290°F下 40 小时	

[0103] 在各时效步骤之间,将合金冷却至室温。

[0104] 接着,测试合金的全厚度机械特性,其结果显示于下表7中。

[0105] 表7-实施例2合金的机械特性

合金	最终规格 (mm)	时效条件	ST TYS (MPa)	ST UTS (MPa)	ST 伸长率 (%)	S-L $K_{IC}$ ( $MPa\sqrt{m}$ )
[0106]	1	A	455	535	7.8	27.3
		B	464	542	7.3	23.9
		C	473	548	8.5	22.7
	2	A	454	523	7.8	22.7
		B	464	532	7.0	21.8
		C	468	538	5.3	21.3
3	A	443	510	6.0	22.7	
	B	460	524	5.8	22.0	
	C	463	523	5.0	22.3	

[0107] 如图3所示,具有约60mm厚度的合金1-2实现强度和断裂韧度的优良组合。合金3实现与实施例1的100mm合金类似的强度-韧度趋势。

[0108] 另外,按照实施例1,在310MPa的净应力下,沿ST方向测试许多合金的抗应力腐蚀开裂(SCC)特性。结果提供于下表8中。

[0109] 表8-SCC测试结果(测试天数)

合金	最终规格 (mm)	时效条件	样品 1	样品 2	样品 3
[0110]	1	A	T	T	T
		B	T	T	T
2	60.8	A	T	T	T
		B	T	T	T
3	107.4	A	T	T	T
		B	T	T	T

[0111] T=在测试20天之后仍未失效。

[0112] 虽然已详细描述了本公开内容的各种实施方案,但显而易见,本领域技术人员将想到那些实施方案的修改和适应。然而,应明确地理解,这些修改和适应在本公开内容的精神和范围内。

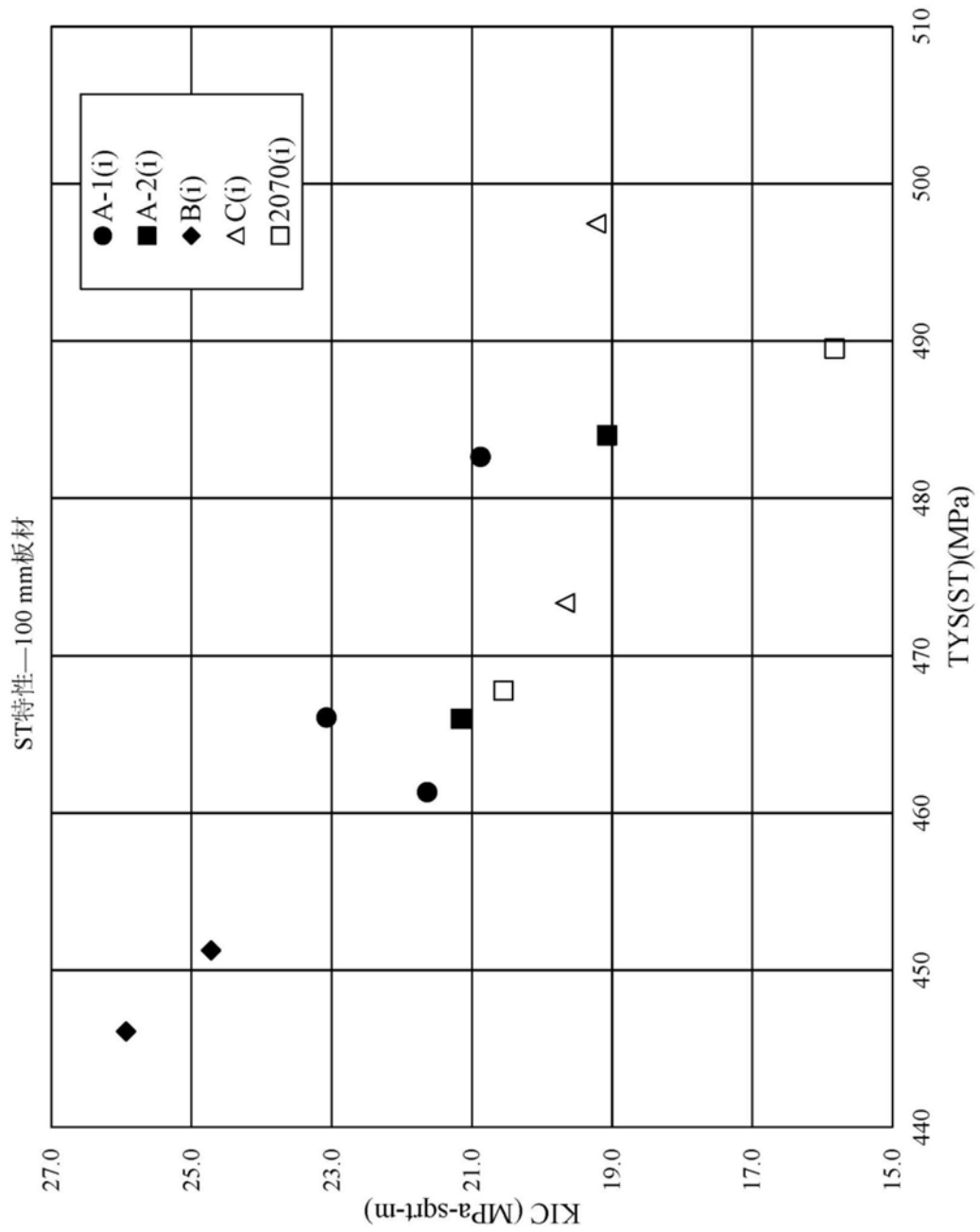


图1

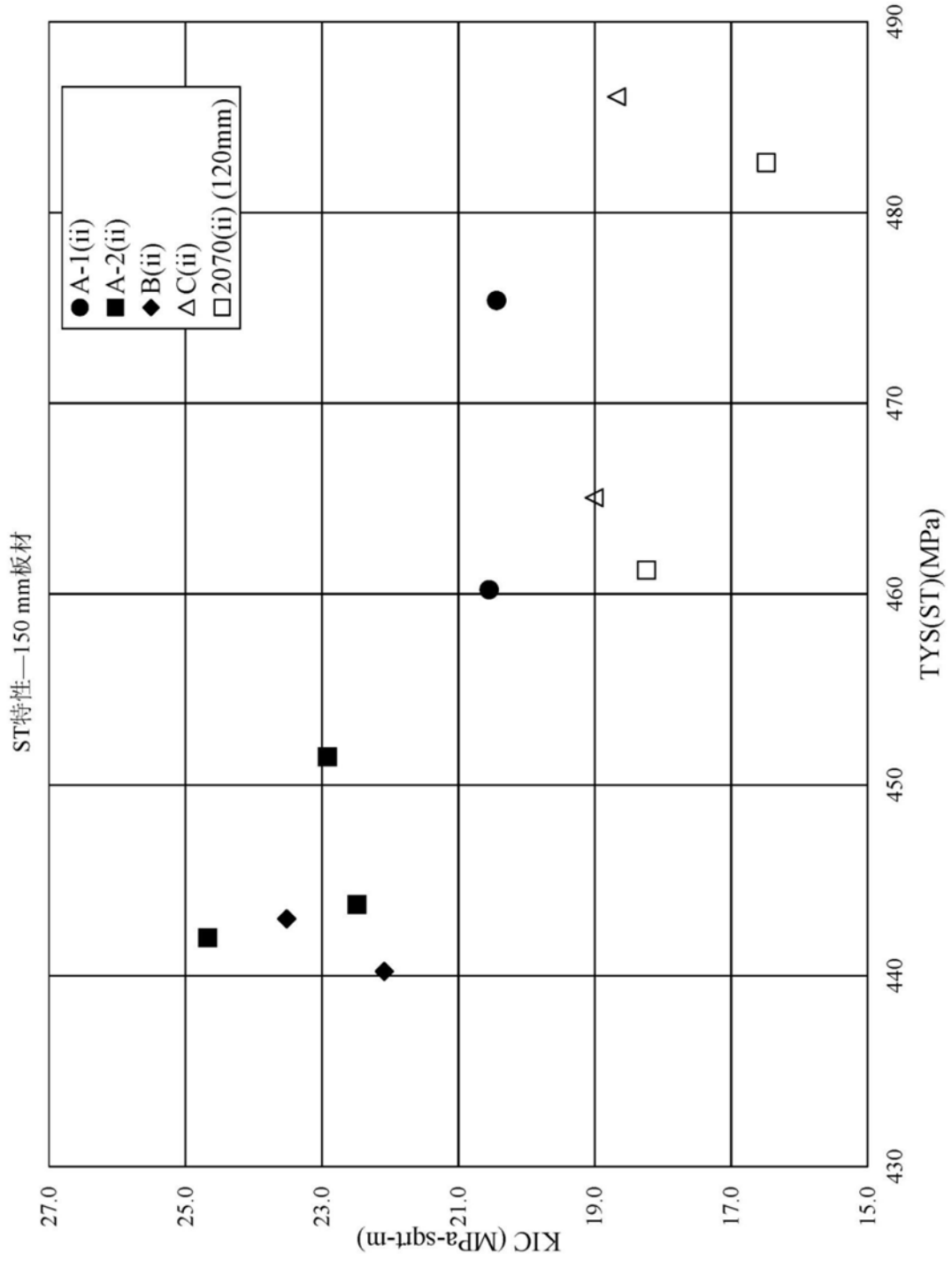


图2

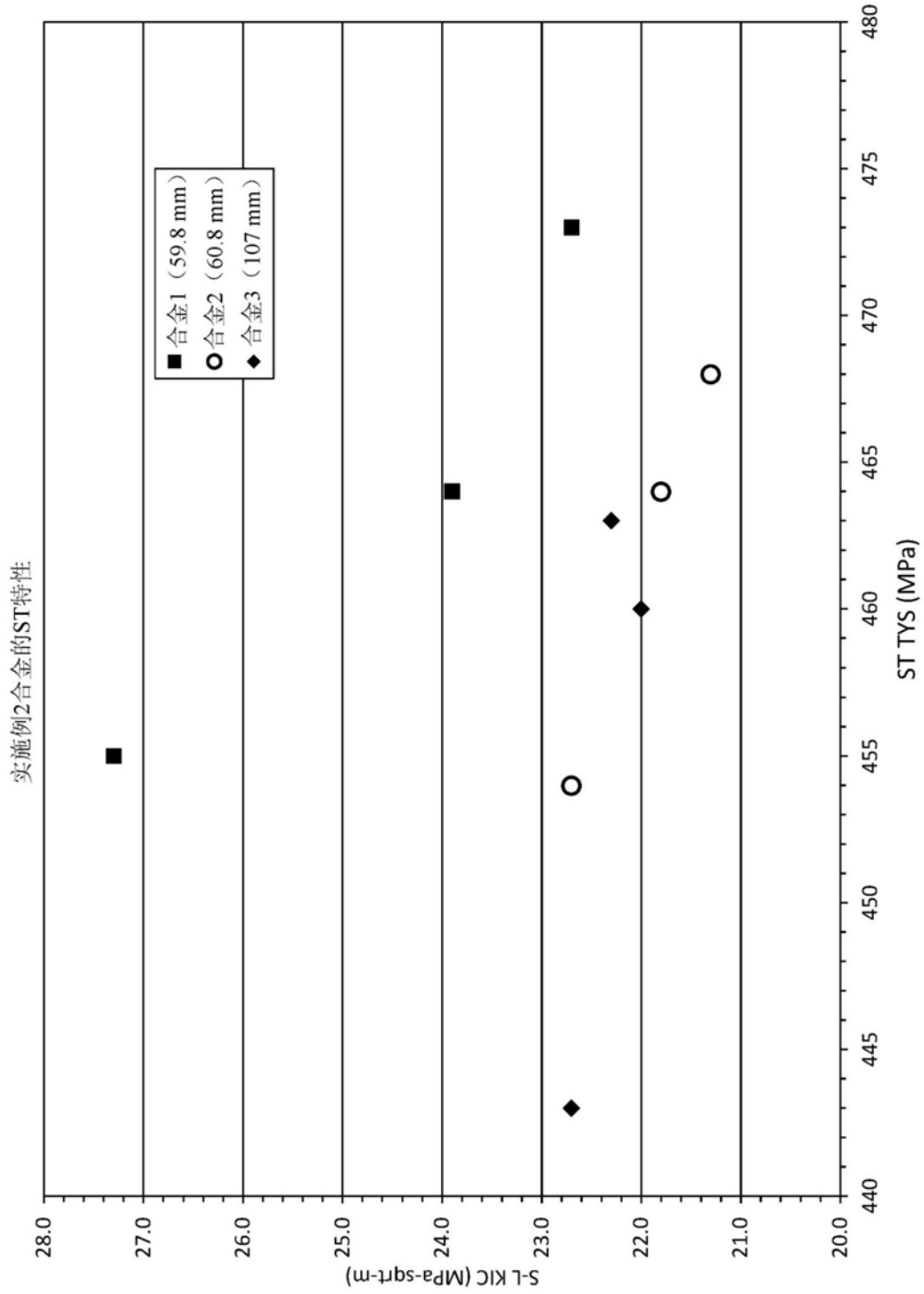


图3