

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

C22F 1/053 (2006.01)

C22C 21/10 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03824402.0

[45] 授权公告日 2007 年 9 月 26 日

[11] 授权公告号 CN 100339501C

[22] 申请日 2003.9.19 [21] 申请号 03824402.0

[30] 优先权

[32] 2002. 9. 21 [33] US [31] 60/412,200

[86] 国际申请 PCT/US2003/029671 2003. 9. 19

[87] 国际公布 WO2004/046402 英 2004. 6. 3

[85] 进入国家阶段日期 2005. 4. 19

[73] 专利权人 通用合金公司

地址 美国佐治亚

[72] 发明人 J·格奥尔基 D·C·马莱简

R·梅克勒

[56] 参考文献

US 2002/0121319A1 2002. 9. 5

审查员 王怀东

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

代理人 蔡胜有

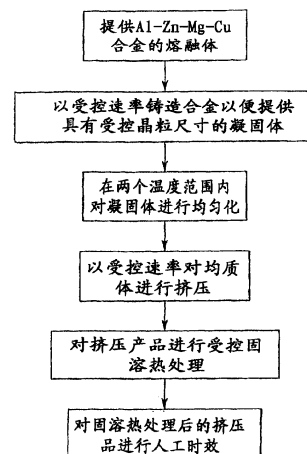
权利要求书 5 页 说明书 13 页 附图 1 页

[54] 发明名称

铝-锌-镁-铜合金挤压产品

[57] 摘要

具有改良的强度和断裂韧性的铝合金挤压产品，该铝基合金由 1.95 至 2.5wt% Cu，1.9 至 2.5wt% Mg，8.2 至 10wt% Zn，0.05 至 0.25wt% Zr，至多 0.15wt% Si，至多 0.15wt% Fe，至多 0.1wt% Mn，和余量的铝和附带的元素和杂质组成。



1. 制造具有改良断裂韧性的铝合金挤压产品的方法，该方法包括下列步骤：

(a) 提供由 1.95 至 2.5%重量 Cu, 大于 1.9 至 2.5%重量 Mg, 8.2 至 10%重量 Zn, 0.05 至 0.25%重量 Zr, 至多 0.15%重量 Si, 至多 0.15%重量 Fe, 至多 0.1%重量 Mn, 余量的铝和附带元素及杂质组成的铝基合金的熔融体；

(b) 对所述铝基合金的所述熔融体进行铸造以便提供凝固体，以每分钟 2.5-15cm 的速率铸造所述的熔融铝基合金；

(c) 通过在 449-460℃的第一温度范围内加热随后在 460-471℃的第二温度范围内加热对所述凝固体进行均匀化，且第二均匀化温度大于第一均匀化温度，以便提供具有 η 沉淀物和含锆分散体的均匀分布的均质体；

(d) 对所述均质体进行挤压以便提供挤压产品，在 316-455℃的温度范围内并在足以将所述挤压产品的横截面积的至少 80%维持在非再结晶状态的速率进行所述的挤压；

(e) 对所述挤压产品进行固溶热处理；和

(f) 对所述产品进行人工时效以便提高强度性能，从而提供具有改良的屈服强度与断裂韧性比的挤压产品。

2. 根据权利要求 1 的方法，其中该合金包含 1.95 至 2.3%重量 Cu。

3. 根据权利要求 1 的方法，其中该合金包含大于 1.9 至 2.3%重量 Mg。

4. 根据权利要求 1 的方法，其中该合金包含 0.05 至 0.2%重量 Cr。

5. 根据权利要求 1 的方法，其中该合金包含 8.45 至 9.4%重量 Zn。

6. 根据权利要求 1 的方法，其中该合金包含 0.01 至 0.1%重量

Sc。

7. 根据权利要求1的方法, 其中该合金包含 0.01 至 0.2%重量 Ti。

8. 根据权利要求1的方法, 该方法包括在所述的第一温度范围内加热 6 至 18 小时。

9. 根据权利要求1的方法, 该方法包括在所述的第二温度范围内加热 4 至 36 小时。

10. 根据权利要求1的方法, 该方法包括对所述挤压产品进行快速淬火。

11. 根据权利要求1的方法, 其中以 0.15-2.4m/min 的速率进行所述的挤压。

12. 根据权利要求1的方法, 其中在 466-477℃的温度范围内进行所述的固溶热处理并持续 5 至 120 分钟。

13. 根据权利要求1的方法, 其中通过在 79.4-149℃的温度范围内时效 3 至 30 小时随后在 138-182℃下时效 3 至 24 小时进行所述的人工时效。

14. 根据权利要求1的方法, 其中通过在 99-138℃的温度范围内时效 4 至 24 小时随后在 160-204℃下时效 30 分钟至 14 小时进行所述的人工时效。

15. 根据权利要求1的方法, 其中通过在 66-163℃的温度范围内时效 2 至 30 小时随后在 149-260℃下时效 5 分钟至 3 小时随后在 79.4-163℃下时效 2 至 30 小时进行所述的人工时效。

16. 根据权利要求1的方法, 其中所述的人工时效是三步工艺, 其中所述的第一步和第三步提高强度而第二步提高抗腐蚀性。

17. 根据权利要求1的方法, 其中所述的人工时效包括: (i) 在高于室温的低温下时效以便对所述挤压产品进行沉淀硬化; (ii) 在提高所述挤压产品的抗腐蚀性能的温度下时效; (iii) 在高于室温的较低温度下时效以便对所述挤压产品进行沉淀硬化。

18. 根据权利要求1的方法, 其中该挤压产品具有比由 7075 合金

制成的相似挤压产品大至少 5%的断裂韧性。

19. 根据权利要求 1 的方法,其中该挤压产品具有比由 7075 合金制成的相似挤压产品大至少 8%的拉伸强度。

20. 制造具有改良的强度和断裂韧性的铝合金挤压产品的方法,该方法包括下列步骤:

(a) 提供由 1.95 至 2.3%重量 Cu, 大于 1.9 至 2.3%重量 Mg, 8.2 至 9.4%重量 Zn, 0.05 至 0.2%重量 Cr, 0.05 至 0.15%重量 Zr, 至多 0.15%重量 Si, 至多 0.15%重量 Fe, 至多 0.1%重量 Mn, 余量的铝和附带元素及杂质组成的铝基合金的熔融体;

(b) 对所述铝基合金的所述熔融体进行铸造以便提供凝固体, 以每分钟 2.5-15cm 的速率铸造所述的熔融铝基合金;

(c) 通过在 449-460℃的第一温度范围内加热 6 至 24 小时随后在 460-471℃的第二温度范围内加热 4 至 36 小时对所述凝固体进行均匀化, 且第二均匀化温度大于第一均匀化温度, 以便提供具有 η 沉淀物和含锆和铬的分散体的均匀分布的均质体;

(d) 对所述均质体进行挤压以便提供挤压产品, 在 316-455℃的温度范围内并以 0.15-2.4m/min 的速率进行所述的挤压以便提供非再结晶区域占该挤压产品横截面至少 80%的挤压产品;

(e) 对所述挤压产品进行快速淬火;

(f) 对所述挤压产品进行固溶热处理; 和

(g) 对所述产品进行人工时效以便提高强度性能, 从而提供具有改良的屈服强度与断裂韧性比的挤压产品。

21. 制造具有改良的强度和断裂韧性的铝合金挤压产品的方法, 该方法包括下列步骤:

(a) 提供由 1.95 至 2.5%重量 Cu, 大于 1.9 至 2.5%重量 Mg, 8.2 至 10%重量 Zn, 0.05 至 0.25%重量 Zr, 至多 0.15%重量 Si, 至多 0.15%重量 Fe, 至多 0.1%重量 Mn, 余量的铝和附带元素及杂质组成的铝基合金的熔融体;

(b) 对所述铝基合金的所述熔融体进行铸造以便提供凝固

体, 以每分钟 2.5-10cm 的速率铸造所述的熔融铝基合金;

(c) 对所述凝固体进行均匀化以便提供具有 η 沉淀物的均匀分布的均质体;

(d) 对所述均质体进行挤压以便提供挤压产品, 在 316-455 °C 的温度范围内并以 10 至 60 的挤压比和 0.15-2.4m/min 的挤压速率进行所述的挤压, 以便提供处于基本上非再结晶状态的挤压产品;

(e) 对所述挤压产品进行快速淬火;

(f) 对所述挤压产品进行固溶热处理; 和

(g) 对所述产品进行人工时效以提高强度性能, 从而提供具有改良的屈服强度与断裂韧性比的挤压产品。

22. 改良铝基合金的可锻产品, 其基本上由 1.95 至 2.5%重量 Cu, 大于 1.9 至 2.5%重量 Mg, 8.2 至 10%重量 Zn, 0.05 至 0.25%重量 Zr, 至多 0.15%重量 Si, 至多 0.15%重量 Fe, 至多 0.1%重量 Mn, 余量的铝和附带元素及杂质组成, 所述合金产品具有比相似尺寸的 7075 产品大至少 5%的断裂韧性和大至少 8%的屈服强度。

23. 根据权利要求 22 的合金产品, 其中所述产品是飞机纵梁。

24. 根据权利要求 22 的合金产品, 其中所述产品是飞机地板梁。

25. 根据权利要求 22 的合金产品, 其中所述产品是飞机机身梁。

26. 改良铝基合金的可锻产品, 其基本上由 1.95 至 2.5%重量 Cu, 大于 1.9 至 2.5%重量 Mg, 8.2 至 10%重量 Zn, 0.05 至 0.25%重量 Zr, 0.05 至 0.2%重量 Sc, 至多 0.15%重量 Si, 至多 0.15%重量 Fe, 至多 0.1%重量 Mn, 余量的铝和附带元素及杂质组成。

27. 改良铝基合金的可锻产品, 其基本上由 1.95 至 2.5%重量 Cu, 大于 1.9 至 2.5%重量 Mg, 8.2 至 10%重量 Zn, 0.05 至 0.25%重量 Zr, 至多 0.15%重量 Si, 至多 0.15%重量 Fe, 至多 0.1%重量 Mn, 余量的铝和附带元素及杂质组成, 所述合金产品具有比相似尺寸的 7075 产品大至少 5%的断裂韧性和大至少 8%的屈服强度并且具有 EB 或更好的抗剥离性。

28. 改良铝基合金的飞机部件, 其基本上由 1.95 至 2.5%重量 Cu,

大于 1.9 至 2.5%重量 Mg, 8.2 至 10%重量 Zn, 0.05 至 0.25%重量 Zr, 至多 0.15%重量 Si, 至多 0.15%重量 Fe, 至多 0.1%重量 Mn, 余量的铝和附带元素及杂质组成, 所述合金产品具有比相似尺寸的 7075 产品大至少 5%的断裂韧性和大至少 8%的屈服强度。

29. 改良铝基合金的飞机部件, 其基本上由 1.95 至 2.5%重量 Cu, 大于 1.9 至 2.5%重量 Mg, 8.2 至 10%重量 Zn, 0.05 至 0.25%重量 Zr, 至多 0.15%重量 Si, 至多 0.15%重量 Fe, 至多 0.1%重量 Mn, 余量的铝和附带元素及杂质组成, 所述合金产品具有比相似尺寸的 7075 产品大至少 5%的断裂韧性和大至少 8%的屈服强度, 且具有 EB 或更好的抗剥离性。

铝-锌-镁-铜合金挤压产品

本发明涉及 Al-Zn-Mg-Cu 合金且更具体地涉及用于飞机应用的 Al-Zn-Mg-Cu 挤压产品和制造该挤压产品的方法。此外，本发明涉及具有改良断裂韧性的 Al-Zn-Mg-Cu 合金挤压产品。

现有的 Al-Zn-Mg-Cu 合金可能在适中的抗腐蚀性和适中的破坏容限或断裂韧性下具有相对高的强度。（下面的）专利中将说明这样的合金和获得性能的方法。例如，美国专利 4,863,528 公开了生产铝合金的方法和具有改良的强度和抗腐蚀性组合的最终产品。该方法包括提供基本上由下列成分组成的合金：约 6-16% 锌，约 1.5-4.5% 镁，约 1-3% 铜，选自锆，铬，锰，钛，钒和铪的一种或多种元素，所述元素的总量不超过约 1%，余量的铝和附带的杂质。然后对该合金进行固溶热处理，沉淀硬化以便将其强度提高到比固溶热处理强度水平高出该固溶热处理强度水平与最大强度的差的至少约 30% 的水平，在足以提高其抗腐蚀性能的温度下进行处理，然后再次进行沉淀硬化以便提高其屈服强度并产生高强度，高抗腐蚀的合金产品。

美国专利 5,221,377 公开了具有改良的强度，密度，韧性和抗腐蚀性组合的合金产品，所述合金产品基本上由下列成分组成：约 7.6-8.4% 锌，约 1.8-2.2% 镁，约 2-2.6% 铜和至少一种选自锆，钒和铪的元素，所述元素的存在总量不超过约 0.5%，优选约 0.05 至 0.25% 的锆，余量的铝和附带的元素和杂质。适用于航天应用的该合金产品表现出高的屈服强度，比其 7X50-T6 的对应产品高至少约 10% 的屈服强度，且具有良好的韧性和与其 7X50-T76 对应产品典型相当或更好的抗腐蚀性能。由这种合金制成的上机翼部件典型具有超过 579MPa (84ksi) 的屈服强度，良好的断裂韧性和“EC”或更好且典型为“EB”的 EXCO 抗剥离性能水平。

美国专利 4,477,292 公开了用来提高含有固溶热处理铝合金的产

品的强度和抗腐蚀性的三步热时效方法，该合金包含锌，镁，铜和至少一种选自铬，锰和锆的元素。在约 79.4-163℃ (175°至 390°F) 下对该产品进行沉淀硬化，在约 162-199℃ (360°至 390°F) 的温度下热处理几分钟到几小时，然后在约 79.4-163℃ (175°至 390°F) 下再次进行沉淀硬化。在优选的实施方案中，处理的产品包含 T6 状态的铝合金 7075。该发明的方法易于控制且比其它可比方法适用于处理更厚的产品。

美国专利 5,108,520 公开了对金属合金进行固溶热处理，沉淀硬化的时效工艺，该工艺包括首先对该合金进行不完全时效，以便获得低于峰值屈服强度的屈服强度，随后进行较高的时效以便提高该合金的抗腐蚀性，随后进行较低温度的时效以便将强度提高到初始强度以上。

美国专利 5,560,789 公开了具有高机械强度的 AA7000 系列合金和得到它们的方法。该合金包含 7 至 13.5%重量 Zn，1 至 3.8%重量 Mg，0.6 至 2.7%重量 Cu，0 至 0.5%重量 Mn，0 至 0.4%重量 Cr，0 至 0.2%重量 Zr，分别至多 0.05%重量且总量至多 0.15%重量的其它元素，和余量的 Al。可以得到可锻或铸造的合金，且该产品与 DEA 熔化信号相联系的比能量低于 3J/g。

美国专利 5,312,498 公开了具有改良抗剥离性能和断裂韧性的铝基合金产品的制造方法，该方法包括提供基本上由下列成分组成的铝基合金组合物：约 5.5-10.0%重量的锌，约 1.75-2.6%重量的镁，约 1.8-2.75%重量的铜，余量的铝和其它元素。对该铝基合金进行加工，热处理，淬火和时效以便制造具有改良的抗腐蚀性能和机械性能的产品。锌，镁和铜具有平衡的化学计量，这样在由于时效工艺而产生的沉淀基本完成之后，不存在过剩的元素。该铝基合金产品的制造方法利用了一步或两步时效处理并结合了铜，镁和锌的化学计量平衡。

美国专利 4,711,762 公开了改良的铝基合金产品，该合金包含 0 至 3.0%重量 Cu，0 至 1.5%重量 Mn，0.1 至 4.0%重量 Mg，0.8 至 8.5%重量 Zn，至少 0.005%重量 Sr，至多 1.0%重量 Si，至多 0.8%重量 Fe 和至多 0.45%重量 Cr，0 至 0.2%重量 Zr，余量的铝和附带元素及杂

质。

美国专利 1,418,303 公开了由下列成分组成的改良铝合金：约 0.1%至小于 3%的任意量的铜，约 0.1%至约 2%的钛，约 6%至约 16%的锌，优选不超过 0.6%的铁(作为商用铝的杂质存在)，优选不超过 0.4%的硅(作为商用铝的杂质存在)，优选不超过 0.4%的其它元素(杂质)，余量的铝。

美国专利 2,290,020 公开了含有铝，锌和镁的三元化合物的改良铝合金，该化合物的存在量的范围是约 2%至 20%，优选的范围是 3%至 15%。室温下该三元化合物以约 2%的量进入铝合金中的固溶体。高温下固溶体中的百分比提高而冷却时降低，过剩部分沉淀。

美国专利 3,637,441 公开了铝基粉末冶金合金产品，该合金产品具有高的抗弯屈服强度和高的抗应力腐蚀开裂性能的改良组合。该合金包含基本的沉淀硬化元素锌，镁和铜加弥散强化元素铁和镍。它还可另外包含铬和/或锰。通过元素熔体的粉化，热加工，固溶热处理，淬火和人工时效来制备该合金。该合金除铝之外的成分是，至少 6.5 至 13%重量的锌，1.75 至 6%重量的镁，0.25 至 2.5%重量的铜，0.75 至 4.25%重量的铁和 0.75 至 6%重量的镍，至多 3%重量的锰和至多 0.75%重量的铬。铁与镍的比值为 0.2:1 至 2.0:1。

美国专利 5,028,393 公开了用作滑动材料(sliding)的 Al 基合金，该合金具有优良的抗疲劳性能和抗粘着(seizure)性能且由下列成分组成：1-10%重量 Zn，1-15%重量 Si，0.1-5%重量 Cu，0.1-5%重量 Pb，0.005-0.5%重量 Sr，和余量的 Al 及附带杂质。

美国专利 6,315,842 公开了由厚度大于 60mm 的轧制，挤压或锻造 AlZnMgCu 铝合金产品制成的用于塑料产品的模具，且该合金包括如下组成(按重量百分比)： $5.7 < \text{Zn} < 8.7$ ， $1.7 < \text{Mg} < 2.5$ ， $1.2 < \text{Cu} < 2.2$ ， $\text{Fe} < 0.14$ ， $\text{Si} < 0.11$ ， $0.05 < \text{Zr} < 0.15$ ， $\text{Mn} < 0.02$ ， $\text{Cr} < 0.02$ ，同时 $\text{Cu} + \text{Mg} < 4.1$ 且 $\text{Mg} > \text{Cu}$ ，其它元素每种 < 0.05 且总量 < 0.10 ，通过固溶热处理，淬火和时效至 T6 回火对该产品进行处理。

尽管已有这些公开，然而仍存在对具有高水平的强度，抗腐蚀性，

断裂韧性和良好的抗疲劳裂纹生长性能的用于飞机应用的改良铝合金和由此制造的挤压产品的巨大需求。本发明提供了这样的挤压产品。

本发明的目的是提供用于飞机的改良 Al-Zn-Mg-Cu 合金挤压产品。

本发明的另一个目的是提供具有改良的断裂韧性并具有高的强度水平的 Al-Zn-Mg-Cu 合金挤压产品。

本发明的又一个目的是提供具有改良的强度性能，断裂韧性和抗疲劳裂纹生长性能的 Al-Zn-Mg-Cu 合金挤压产品的制造方法。

本发明的另外一个目的是提供具有改良的强度性能，断裂韧性，良好的抗腐蚀水平的 Al-Zn-Mg-Cu 合金产品的制造方法。

本发明的另一个目的是提供航空结构部件，例如由本发明的合金制成的挤压产品。

依照这些目的，提供了制造具有改良断裂韧性的铝合金挤压产品的方法，该方法包括下列步骤：提供由 1.95 至 2.5%重量 Cu，1.9 至 2.5%重量 Mg，8.2 至 10%重量 Zn，0.05 至 0.25%重量 Zr，至多 0.15%重量 Si，至多 0.15%重量 Fe，至多 0.1%重量 Mn，余量的铝和附带元素及杂质组成的铝基合金的熔融体；铸造该铝合金熔融体以便提供凝固体，在液相线和固相线温度之间以每秒 600°至 800°K 范围的速率使熔融铝基合金凝固，以便提供具有 25 至 75 μm 范围的晶粒尺寸的凝固体。其后，通过在 449-460°C (840°至 860°F) 的第一温度范围内加热随后在 360-471°C (680°至 880°F) 的第二温度范围内加热对该凝固体进行均匀化以便提供具有 MgZn_2 或 η 沉淀物的均匀分布的均质体。然后对该均质体进行挤压以便提供挤压产品，在 316-455°C (600°至 850°F) 的温度范围内并以足够将所述挤压产品的至少 80%维持在非再结晶状态的速率进行该挤压。对该挤压产品进行固溶热处理和人工时效以提高强度性能并提供具有改良断裂韧性的挤压产品。

相比于类似尺寸的 7xxx 产品，该改良的铝基合金挤压产品可以具有大至少 8%的断裂韧性和大至少 3%的屈服强度。

本发明还包括改良的铝基合金的可锻产品，例如基本上由下列成

分组成的挤压产品：1.95 至 2.5%重量 Cu，1.9 至 2.5%重量 Mg，8.2 至 10%重量 Zn，0.05 至 0.25%重量 Zr，0.05 至 0.2%重量 Sc，至多 0.15%重量 Si，至多 0.15%重量 Fe，至多 0.1%重量 Mn，余量的铝和附带的元素和杂质。

附图简述

图 1 是显示本发明步骤的流程图。

图 2 图解说明了与高强度 7xxx 合金 (SSLLC) 对比的，本发明合金 (M703) 的破坏容限 (归一化的凹陷速率) 结果。

参照图 1，显示了本发明中的步骤的流程图。通常，在该步骤中以受控的凝固速率对 Al-Zn-Mg-Cu 合金的熔体进行铸造以便在铸体中得到特定的晶粒尺寸范围。其后，在受控条件下对该铸体进行均匀化以便得到 $MgZn_2$ 或 η 沉淀物的均匀分布。以特定的速率范围和温度对该铸体进行挤压以便获得其大部分例如至少 80% 为非再结晶状态的挤压产品。然后对该挤压产品进行固溶热处理和时效至极高水平的强度，断裂韧性和抗腐蚀性。

本发明的合金包含约 8.2 至 10%重量的 Zn，1.9 至 2.5%重量的 Mg，1.95 至 2.5%重量的 Cu，0.05 至 0.25%重量的 Zr，至多 0.15%重量的 Si，至多 0.15%重量的 Fe，至多 0.1%重量的 Mn，余量的铝和附带的元素和杂质。

优选地，该合金包含 1.95 至 2.3%重量的 Cu，1.9 至 2.3%重量的 Mg，8.45 至 9.4%重量的 Zn，0.05 至 0.2%重量的 Cr，0.05 至 0.15%重量的 Zr。Cr 的范围可以为 0.05 至 0.08%重量。为了延缓再结晶，该合金可以包含 0.01 至 0.2%重量的 Sc，优选 0.01 至 0.1%重量。当依照本发明进行处理时，这些合金与传统的 7xxx 合金例如 AA7075-T6 相比，在可接受或甚至高水平的强度和抗腐蚀性下具有显著提高的断裂韧性。1993 年 12 月出版的题目为“用于可锻铝和可锻铝合金的铝业协会命名和化学组成范围注册登记”的铝业协会出版物中阐述了 AA7xxx 合金的组成。术语“7xxx”是指包含锌作为主要合金组分的铝合金。AA 7075-T6 指铝业协会登记的 AA 组成范围。对于 7075 的典型

T6 时效操作是在约 121°C (250°F) 下加热 24 小时并在约 79-166°C (175° 至 330°F) 的典型温度范围下加热 3 到 30 小时。

对于本发明，以可提供受控显微组织或晶粒尺寸的速率将本发明的熔融铝合金铸造成凝固体。当希望制造挤压产品时，典型将这种熔融铝合金铸成坯条 (billet) 的形式。此外，典型以约 2.5-15cm (1 至 6 英寸) 每分钟，优选以 5-10cm (2 至 4 英寸) 每分钟的速率铸造该凝固体，且该坯条典型具有 2.5-18cm (约 1 至 7 英寸) 范围的直径。对于本发明，该凝固体优选具有 25 至 100 μm ，优选 35 至 75 μm 的平均晶粒尺寸。如果以控制的速率对本发明的合金进行铸造并依照本发明进行热机械处理，可以获得非常高的拉伸和压缩强度，断裂韧性和抗腐蚀性。即，为了获得用于依照本发明进行热机械处理的期望显微组织，以受控的凝固速率对熔融铝进行铸造。据发现，本公开铝合金的受控凝固速率与随后的受控热机械处理的结合可产生具有优异性能挤压产品，即非常高的拉伸强度，良好抗腐蚀性和耐冲击 (dent resistance) 性。

应注意，可以通过弥散硬化或应变硬化提高本发明铝合金的强度。应变硬化是塑性变形的结果并且取决于变形的程度。弥散硬化是通过形成原子簇 (称为 Guiner-Preston 或 GP 区) 而产生的。另外，弥散硬化也可以由合金中新相或沉淀物的形成而产生，该新相或沉淀物形成了位错移动的障碍。这可以显著提高合金的强度。在 Al-Zn-Mg-Cu 合金中，新的强化相包括 MgZn_2 ，也称为 M 或 η -相， $\text{Mg}_3\text{Zn}_3\text{Al}_2$ 也称为 T-相， CuMgAl_2 也称为 S-相。新相沉淀产生的强化比形成 GP 区产生的强化更有效。然而，新相沉淀导致的强化会对破坏容限或断裂韧性造成不利影响。通常，沉淀相的体积分数越大，破坏容限能越低。相比之下，GP 区的形成产生的强化不会牺牲破坏容限能。因此，为了提供改良的强度和破坏容限，本发明平衡了最终产品中的沉淀物体积分数和 GP 区或富锌簇的体积分数，同时维持过量的溶解的锌。对于本发明，GP 区尺寸的范围应为 2 至 35nm 且 GP 区密度的范围应为每 cm^3 4×10^{18} 至 5×10^{18} 个区。

为了制造依照本发明的坯条，可以使用通过空气和液体冷却剂冷却的模具来进行铸造，以便在可提供期望的晶粒尺寸或组织的受控速率下使坯条凝固。该晶粒可以具有 35 至 75 μm 范围的尺寸。与模具一同使用的空气和冷却剂的混合物特别适于从铝合金熔融体中吸收热量，从而对于具有 2.5-15cm（1 至 6 英寸）直径的坯条可获得每秒钟 5 至 50℃ 的凝固速率。在美国专利 4,598,763 中描述了使用空气和冷却剂混合物的模具，该模具适于控制铸造本发明的熔融铝合金的冷却速率。与作为用于本发明的这些模具一起使用的冷却剂由气体和液体组成，其中将气体作为微小，离散的不溶气泡注入该液体并在新形成的铸块上结合。该附带有气泡的冷却剂能够以提高的热去除速率冷却金属，而且如果需要，可以利用该提高的热去除速率与冷却剂排出量一起控制铸造操作任何阶段包括稳态铸造阶段的冷却速率。

为了铸造例如铝合金的金属，以便提供适于本发明用途的显微组织，由环形模具一端的开口将熔融金属引入该模具的腔体 并且当该金属在模具内部分凝固并在与该腔体另一端开口相邻的支撑物上形成金属凝固体时，使该模具与支撑物沿腔体纵向相互移动以便将金属凝固体从腔体的后一个开口抽出。向环绕模具体腔体的环形流动管路中引入液体冷却剂，该管路通向模具前述相反端开口相邻的环境大气，以便以冷却剂幕排放冷却剂并冲击在正形成的金属体上以便直接冷却。同时，将基本不溶于该冷却剂液体的气体加压注入置于该模具体的管路附近的环形分配室，该分配室通过位于该管路排出口上游且位于其中冷却剂流周围的环形狭缝通入该管路中。将腔体中的气体部分通过该狭缝释放到该管路中，并当通过该狭缝排气时通过该狭缝分成多个气体喷射流。以一定温度和压力将该喷射流注入冷却剂流，在该条件下将气体带入冷却剂流中形成大量气泡，当冷却剂幕通过管路的开口排出并冲击在正产生的金属体上时，该气泡倾向于在冷却剂中维持离散和不溶的状态。有了其中包含的大量气泡，该冷却幕具有提高的速度，并且可使用该提高来调整冷却剂液体的冷却速率，因为其足够补偿冷却剂导热性的任何减少。事实上，该高速且携带气泡的冷却

剂幕可能对金属产生洗刷作用，这可以破坏任何膜并降低金属表面发生的膜的倾向，从而（如果需要）允许在更理想水平的核呛火下进行该处理。气泡的加入还可以在冷却剂幕中产生更多的冷却剂蒸气，增加的蒸气倾向于上升进入通常刚刚在幕的上方形成的金属体和模具壁之间的间隙中，并冷却该位置的金属。结果，金属倾向于在壁上发生出乎意料的更快凝固，这不仅是以上述方式达到更高冷却速率的结果，而且还是在间隙中形成冷却剂蒸气的结果。该更高水平可确保金属在存在润滑油的模具壁上以一定水平凝固，同时，所有这些效果可以在铸锭的整个长度上产生优异，更具缎光状，无拉痕的金属体表面而且特别适合于热形变。

当结合美国专利 4,598,763 中描述的设备和技术使用该冷却剂时，这种铸造方法具有另外的优点，即由幕释放到间隙中的任何气体和/或蒸气会与从模具腔排出的流体的环面混合，从而产生更稳定的排放流，而不是作为流体的间歇脉冲发生的排放。

正如所指出的，在该液体中该气体应具有低的溶解性，且当该液体为水时，为了廉价和便于利用起见该气体可以是空气。

在铸造操作中，可以在锭坯（butt）形成阶段和稳态铸造阶段期间，通过狭缝将分配室中的气体释放到冷却剂流动管路中。或者，可以只是在稳态铸造阶段期间，通过该狭缝将气体释放到管路中。例如，在锭坯形成阶段，可以调节冷却剂的排放速率以便通过产生膜呛火效应使铸锭过冷，而且当金属温度达到需要提高冷却速率以便在金属上维持期望的表面温度的水平时，可以通过该狭缝将气体释放到管路中。这时，当表面温度降低到前述水平以下时，可以不再通过狭缝将气体释放到该管路中，以便再一次使金属过冷。最终，当稳态铸造开始时，通过狭缝并以不确定的方式再一次将气体释放到管路中直到铸造操作完成。或者，可以在锭坯形成阶段调节冷却剂的排放速率以便将金属的温度维持在前述的范围之内，而且直到提高冷却剂排放速率并且稳态铸造开始时，才通过狭缝将气体释放到管路中。

美国专利 4,598,763 和 4,693,298 中对冷却剂，模具和铸造方法

进行了进一步的描述，这里引用作为参考文献。

虽然对本发明制造坯条的铸造程序进行了详细的描述，其中该坯条具有用于依照本发明的热变形所需的组织，然而应明白可以使用其它铸造方法来提供可产生本发明所必需的晶粒结构的凝固速率。如前面所述，可以通过带式铸造，整体铸造或辊式铸造和电磁铸造来获得这样的凝固。

含 8.9%重量 Zn，2.1%重量 Mg，2.3%重量 Cu，0.11%重量 Zr，余量含铝的合金的七英寸坯条，使用利用空气和水冷却剂的模具以及每秒 1.7-10°C (35°至 50°F) 的冷却速率的铸造，对于依照本发明的挤压和热机械处理可提供满意的晶粒组织。

虽然关于坯条对铸造进行了描述，应明白可以将这里所述的原理应用于铸锭或铝合金电磁铸造。

铸造坯条之后，对其进行均匀化处理。优选地，对该坯条进行两次均匀化处理。第一个均匀化处理中，优选在 449-460°C (840°至 880°F) 的温度范围内对坯条处理 6 至 18 小时。其后，优选在 471-482°C (880°至 900°F) 的温度范围内对坯条处理 4 至 36 小时。对坯条进行上述的双重均匀化处理可提供 MgZn₂ 沉淀物或 M 或 η 相以及含锌和铬的弥散体的更均匀分布的坯条。

均匀化处理之后，对坯条进行挤压以便提供挤压产品。为了进行挤压，将坯条加热到 316-455°C (600°至 850°F) 范围的温度并在挤压期间将坯条维持在这个温度范围内。优选地，以 0.8 至 8ft/min 的速率且优选以 10 至 60 范围的挤压比对坯条进行挤压。为了获得其中至少 80%且优选 90%的挤压产品为非再结晶状态的挤压产品，这些条件是重要的。该挤压产品在最薄和最厚的截面之间可具有 1:4 至 1:18 的纵横比。

挤压之后，通过在约 452-482°C (845°F 至约 900°F) 的温度范围内加热对产品进行固溶热处理，且优选 466-477°C (870°至 890°F) 的温度范围。在这些温度下的典型时间范围是 5 至 120 分钟。应使该固溶热处理进行足够的时间以便溶解大部分合金元素。即，基本上使全

部的锌，镁和铜溶解以便提供固溶体。

固溶热处理之后，使挤压产品快速冷却或者例如通过浸入冷水或用冷水喷淋对其进行淬火。淬火之后，可以对挤压产品进行矫直和/或拉伸。即，在时效之前对挤压产品进行矫直以便提高强度性能。

固溶热处理之后，对该挤压产品进行处理以便提高例如强度，腐蚀和断裂韧性的性能。

因此，可以根据需要的性能对挤压产品进行不同的热处理。例如，可以对挤压产品进行称为 T6 型回火的单一步骤热处理以便获得高或峰值的强度。然而，这种回火可能容易受到应力腐蚀开裂的影响。通过在 79.4-163℃ (175°至 325°F) 的温度范围内时效 3 至 30 小时可以获得 T6 回火。可以使用两步时效处理，其中在 79.4-149℃ (175°至 300°F) 下进行第一个时效步骤并持续 3 至 30 小时的一段时间，随后在 149-182℃ (300°至 360°F) 下进行第二个时效步骤并持续 3 至 24 小时的一段时间。这个时效处理可产生被称为 T7x 回火的过时效回火。这种状态可改善应力腐蚀开裂性能但会降低强度。

为了提高强度和抗腐蚀性，可以对挤压产品进行三步时效工艺。该时效步骤或阶段包括低-高-低的时效工序。在第一个或低时效步骤中，对挤压产品施加一定温度并持续一段时间，其间沉淀物可将该挤压产品强化达到或接近峰值强度。这可以通过在约 66-163℃ (150°至 325°F) 的温度范围内进行沉淀硬化并典型持续 2 至 30 小时的时间来实现。然后，对挤压产品进行第二个处理以便提高抗腐蚀性。第二个处理包括在 149-260℃ (300°至 500°F) 的温度范围内处理挤压产品并持续例如 5 分钟至约 3 小时。第三个步骤中，对挤压产品进行另一个强化步骤。该第三个热处理包括在 79.4-163℃ (175°至 325°F) 的温度下对挤压产品处理约 2 至 30 小时。

将本发明合金的剥离腐蚀 (EXCO) 特性与 7075 T6511 和 7075 T76511 合金进行比较。美国材料与试验协会开发出可提供用于 2xxx 和 7xxx 系列铝合金的加速剥离腐蚀试验的方法。使用参考标准照片建立的性能等级，通过目测确定剥离的敏感度。依照该试验方法进行试

验时,当时效至 T76 回火时,本发明的合金可表现出典型的 EA 剥离腐蚀等级。当时效至 T77 回火时,本发明的合金可表现出典型的 EB 剥离腐蚀等级。

虽然关于挤压产品对合金进行了描述,此处预料该合金也可以用作薄板或厚板产品。

这里提出的全部范围包括范围内的所有数值,正如具体描述过一样。

这里所述的依照本发明的产品或部件特别适用于航天应用并且可以在大型飞机例如商用和军用飞机中得到许多应用。该产品可用于机翼构件,机尾部件,机身部分或组件或构成飞机的其它组件。即,该飞机部件可包含机翼部件或机翼组件,中翼箱部件或组件,地板部件或组件包括座椅导轨,地板梁,支柱,载货板部件和组件,地板面板,载货地板面板,机身部件或组件机身框架,机身纵梁等。此外,可以以无缝或非无缝管材的形式制造该产品并用于体育用品例如棒球球棒。

表格

对于 0.63cm (0.249 英寸) 厚的挤压产品,本发明合金 (M703) 的典型机械性能与 7075 T6511 和 7150 T77511 的比较。

合金	回火	UTS, MPa (ksi)	YS, MPa (ksi)	e _y %	K _{IC}
7075	T6511	607 (88)	565 (82)	10	28
M703	T76511	669 (97)	641 (93)	10	33
M703	T77511	703 (102)	689 (100)	9	32.5
7150	T77511	641 (93)	614 (89)	9	27

该表格说明了当时效至 T76 和 T77 回火时本发明合金的机械性能。

下列实施例对本发明进行更进一步的示例性说明。

实施例 1

将包含 8.9%重量 Zn, 2.1%重量 Mg, 2.3%重量 Cu, 0.11%重量 Zr, 附带元素和杂质, 余量铝的合金坯条铸成直径 7 英寸的坯条。使用利用空气和液体冷却剂的铸模 (购自 Wagstaff Engineering Inc.,

Spokane, Washington) 铸造该坯条。调节该空气/水冷却剂, 以便以每分钟 4 英寸的速率铸造该铝合金的熔融体。该铸造后的组织具有 35 μm 的平均晶粒尺寸。在 466°C (870°F) 下保持 8 小时然后在 477°C (890°F) 下保持 24 小时对该坯条进行均匀化。其后, 使坯条处于 385°C (725°F) 然后挤压成空心管材, 该管材具有 6.7cm (2.65 英寸) 的外径和 0.2cm (0.080 英寸) 的壁厚。

该挤压产品具有非再结晶晶粒组织。将该挤压产品在 471°C (880°F) 下固溶热处理 25 分钟然后在水-15%乙二醇溶液中淬火。其后, 在 121°C (250°F) 下对该淬火挤压产品进行沉淀硬化并持续 24 小时然后, 将其置于 157°C (315°F) 的温度并持续 6 小时以便提高抗腐蚀性和屈服强度性能。然后对该挤压产品进行拉伸强度和屈服强度的试验并与 AA 7075 T6 进行比较。结果如表 1 所示。

然后对该挤压产品进行耐冲击或破坏容限试验。通过向挤压管材投掷相同尺寸和重量的球来进行耐冲击试验。在挤压管材上形成第一个凹痕的投掷数代表耐冲击性。将该挤压产品与以类似方式处理的 AA 7055 合金进行对比。将本发明的合金称为 M703 而将 7055 称为 SLLC (参见图 2)。对两种合金进行同样的时效。从图 2 中可以看出 M703 具有更优异的耐冲击性。

实施例 2

将包含 8.9%重量 Zn, 2.1%重量 Mg, 2.3%重量 Cu, 0.11%重量 Zr, 附带元素和杂质, 余量铝的合金坯条铸成直径 18cm (7 英寸) 的坯条。使用利用空气和液体冷却剂的铸模 (购自 Wagstaff Engineering Inc., Spokane, Washington) 铸造该坯条。调节该空气/水冷却剂以便以每分钟 4 英寸的速率铸造该铝合金的熔融体。该铸造后的组织具有 35 μm 的平均晶粒尺寸。在 466°C (870°F) 下保持 8 小时然后在 477°C (890°F) 下保持 24 小时对该坯条进行均匀化。其后, 使坯条处于 385°C (725°F) 然后挤压成具有 T 型横截面和 0.62cm (0.245 英寸) 的壁厚的飞机纵梁。

该挤压产品具有非再结晶晶粒组织。将该挤压产品在 471°C (880°F) 下固溶热处理 35 分钟然后在水-15%乙二醇溶液中淬火。其

后，在 121℃ (250°F) 下对该淬火挤压产品进行沉淀硬化并持续 24 小时随后在 193℃ (380°F) 下保持 25 至 35 分钟，然后在 121℃ (250°F) 下保持 24 小时。然后对该挤压产品进行拉伸强度和屈服强度和断裂韧性，疲劳裂纹生长的试验并与 AA 7075 T6511 和 AA7150 T77511 进行比较。结果如表 1 所示。可以看出当与 AA 7075 T6511 和 AA7150 T77511 比较时，本发明的合金具有更优异的强度和断裂韧性。此外，该挤压产品具有独特的拉伸强度，抗腐蚀性，和破坏容限（即断裂韧性和疲劳裂纹生长）的组合。

对本发明的优选实施方案进行了描述，应明白在所附权利要求的范围内可以以另外的方式实施本发明。

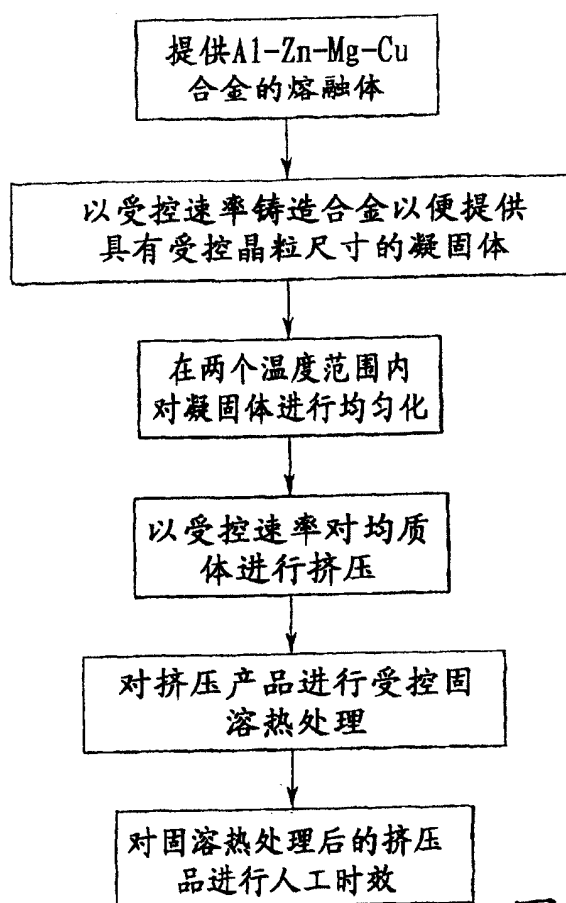


图1

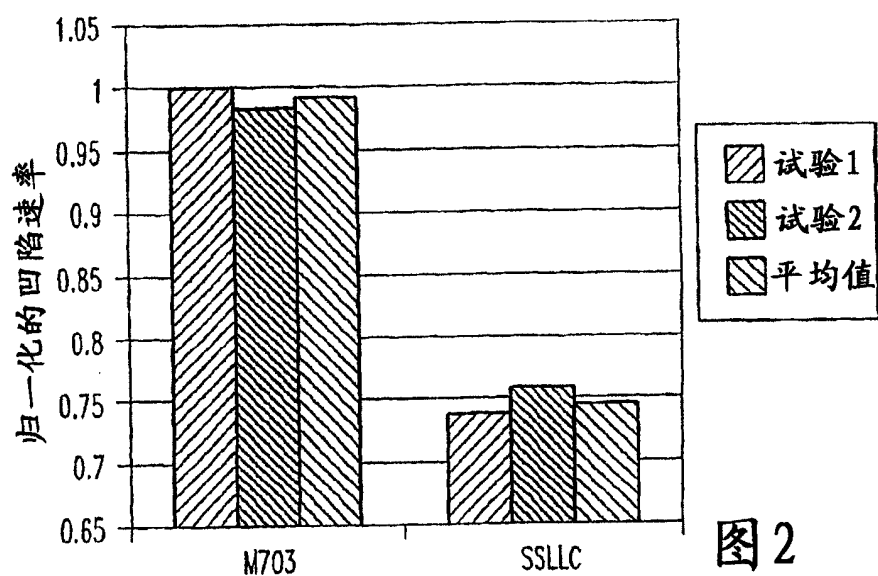


图2