



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103266246 A

(43) 申请公布日 2013.08.28

(21) 申请号 201310124663.X

(22) 申请日 2008.09.16

(30) 优先权数据

07018595.4 2007.09.21 EP

(62) 分案原申请数据

200880107556.3 2008.09.16

(71) 申请人 阿勒里斯铝业科布伦茨有限公司

地址 德国科布伦茨

(72) 发明人 N·特利奥伊 A·诺曼 A·博格

S·M·斯潘格勒

(74) 专利代理机构 北京信慧永光知识产权代理

有限责任公司 11290

代理人 杨国强 张淑珍

(51) Int. Cl.

*C22C 21/18* (2006.01)

*C22C 21/16* (2006.01)

*C22F 1/057* (2006.01)

权利要求书4页 说明书8页

(54) 发明名称

适于航空应用的 Al-Cu-Li 合金产品

(57) 摘要

本发明提供一种用于结构元件的铝合金产品,其具有的化学组成以重量%计的包括 Cu3.4-5.0、Li0.9-1.7、Mg 大约 0.2-0.8、Ag 大约 0.1-0.8、Mn 大约 0.1-0.9、Zn 最高达 1.5,和一种或多种元素选自(Zr 大约 0.05-0.3、Cr 大约 0.05-0.3、Ti 大约 0.03-0.3、Sc 大约 0.05-0.4、Hf 大约 0.05-0.4),Fe<0.15、Si<0.5,普通且不可避免的杂质和余量的铝。

1. 一种用于结构元件的滚轧或锻造产品形式的铝合金产品,所述铝合金产品的化学组成以重量%计由以下组成:

Cu	3.4-5.0;
Li	1.0-1.7;
Mg	0.2-0.8;
Ag	0.1-0.8;
Mn	0.1-0.9;
Zn	至多 1.5;

一种或多种选自于由以下元素所组成的组中的元素:Zr0.05-0.3;Cr0.05-0.3;Ti0.03-0.3;Sc0.05-0.4;Hf0.05-0.4;

Fe <0.15;

Si <0.5;

不可避免的杂质和余量的铝。

2. 根据权利要求1所述的铝合金产品,其中,所述铝合金产品为滚轧产品形式。

3. 根据权利要求1所述的铝合金产品,其中,所述Cu的含量为3.6-4.4%,优选为3.75-4.4%,且更优选为3.75-4.2%。

4. 根据权利要求1所述的铝合金产品,其中,所述Li的含量为1.0-1.4%,且优选为1.0-1.25%。

5. 根据权利要求1所述的铝合金产品,其中,所述产品含有0.05-0.25%的Zr。

6. 根据权利要求1所述的铝合金产品,其中,所述产品包含0.1-1.5%、优选0.2-1.0%的Zn。

7. 根据权利要求1所述的铝合金产品,其中,所述产品包含<0.1%的Zn。

8. 根据权利要求1所述的铝合金产品,其中,所述产品含有0.2-0.6%、优选0.25-0.50%的Ag。

9. 根据权利要求1所述的铝合金产品,其中,所述产品含有0.2-0.7%的Mn。

10. 根据权利要求1所述的铝合金产品,其中,所述产品含有<0.10%、优选<0.07%的Si。

11. 根据权利要求1所述的铝合金产品,其中,所述产品含有<0.1%的Fe。

12. 根据权利要求1所述的铝合金产品,其中,所述产品含有0.05-0.4%、优选0.07-0.2%的Sc。

13. 根据权利要求1所述的铝合金产品,其中,所述产品含有0.03-0.3%、优选<0.07%的Ti。

14. 根据权利要求1所述的铝合金产品,其中,所述产品含有Cr、Ti和Sc的组合加入。

15. 根据权利要求1所述的铝合金产品,其中,所述产品含有Zr、Cr、Ti和Sc的组合加入。

16. 根据权利要求1所述的铝合金产品,其中,所述合金以重量%计由以下组成:

Cu	3.6-4.2;
Li	1.0-1.4;
Mg	0.2-0.8, 优选 0.2-0.65;
Ag	0.2-0.8;
Mn	0.2-0.9;
Zn	0.1-1.0;
Zr	0.05-0.25;
Ti	0.03-0.3;
Fe	< 0.15;
Si	< 0.10;

不可避免的杂质和余量的铝。

17. 根据权利要求 1 所述的铝合金产品,其中,所述合金以重量 % 计由以下组成:

Cu	3.6-4.2;
Li	1.0-1.4;
Mg	0.2-0.8, 优选 0.2-0.65;
Ag	0.2-0.8;
Mn	0.2-0.9;
Zn	0.1-1.0;
Zr	0.05-0.25;
Ti	0.03-0.3;
Sc	0.05-0.4;
Fe	< 0.15;
Si	< 0.10;

不可避免的杂质和余量的铝。

18. 一种用于结构元件的滚轧产品形式的铝合金产品,其中,所述铝合金产品的化学组成以重量 % 计由以下组成:

Cu	3.4-5.0;
Li	0.9-1.4;
Mg	0.2-0.8, 优选 0.2-0.65;
Ag	0.1-0.8;
Mn	0.1-0.9;
Zn	<0.1;
Zr	0.05-0.3;
Ti	0.03-0.3;
Fe	< 0.15;
Si	< 0.10;

不可避免的杂质和余量的铝。

19. 根据权利要求 1 所述的铝合金产品,其中,所述产品以片件或板件的形式作为飞机结构部件的一部分。

20. 根据权利要求 1 所述的铝合金产品,其中,所述片件产品具有至少 460MPa、优选至少 480MPa 的屈服强度。

21. 根据权利要求 1 所述的铝合金产品,其中,所述板件产品具有至少 480MPa、优选至少 500MPa 的屈服强度。

22. 根据权利要求 1 所述的铝合金产品,其中,所述产品为具有 0.7-3 英寸 (17.1-76mm) 规格的板件产品。

23. 根据权利要求 1 所述的铝合金产品,其中,所述产品为具有 2.5-11 英寸 (63-280mm) 规格的板件产品。

24. 根据权利要求 1 所述的铝合金产品,其中,所述产品已采用热变形操作、固溶热处理、淬火和老化来进行处理。

25. 根据权利要求 1 所述的铝合金产品,其中,所述产品已采用热变形操作、固溶热处理、淬火和老化至低于 T8 老化条件下来进行处理。

26. 根据权利要求 1 所述的铝合金产品,其中,所述产品已采用固溶热处理、淬火和冷应变硬化来进行处理,并且具有 0.5-15%、优选 0.5-5% 的永久形变。

27. 根据权利要求 1 所述的铝合金产品,其中,所述产品为飞机结构部件。

28. 根据权利要求 1 所述的铝合金产品,其中,所述产品为飞行器桁条。

29. 根据权利要求 1 所述的铝合金产品,其中,所述产品为飞机机身板。

30. 根据权利要求 1 所述的铝合金产品,其中,所述产品为飞机翼板。

31. 一种制造根据权利要求 1 所述的铝合金产品的方法,所述方法包括以下步骤:

- a. 浇铸根据权利要求 1 所述的 AlCuLi- 合金铸锭的坯件;
- b. 将浇铸过的坯件预热和 / 或均化;
- c. 将所述坯件通过选自于由滚轧和锻造所组成的组中的一种或多种方法来进行热加工;
- d. 任选地对经热加工的坯件进行冷加工;

e. 将经热加工的坯件和 / 或任选地经冷加工的坯件进行固溶热处理 (SHT), 在足以将在铝合金中可溶的组分置于固溶体中的温度和时间下实施所述 SHT ;

f. 将 SHT 坯件冷却 ;

g. 任选地拉伸或压缩冷却的 SHT 坯件或冷加工冷却的 SHT 坯件以释放应力, 例如整平或拉拔或冷轧冷却的 SHT 坯件 ; 和

h. 将冷却的且任选地拉伸或压缩的或冷加工的 SHT 坯件老化, 优选人工老化, 以实现希望的状态。

32. 根据权利要求 31 所述的方法, 其中, 在步骤(e)期间, 所述 SHT 在 480°C 至 525°C 的温度下进行。

33. 根据权利要求 31 所述的方法, 其中, 在步骤(e)期间, 所述 SHT 在 480°C 至 525°C 的温度下进行 15 分钟至 5 小时。

34. 根据权利要求 31 所述的方法, 其中, 在步骤(g) 期间, 所述冷却的 SHT 坯件拉伸为其原长的 0.5-15%, 优选 0.5-6%, 更优选 0.5-5%。

35. 根据权利要求 31 所述的方法, 其中, 在步骤(b) 期间, 均化以一个步骤或多个步骤来进行, 各个步骤具有 475°C 至 535°C 的温度。

36. 根据权利要求 31 所述的方法, 其中, 在步骤(c) 期间, 热加工的起始温度为 440°C 至 490°C。

37. 根据权利要求 31 所述的方法, 其中, 在步骤(h)期间, 将所述产品老化至低于 T8 老化条件下。

## 适于航空应用的 Al-Cu-Li 合金产品

[0001] 本申请是申请日为 2008 年 9 月 16 日、发明名称为“适于航空应用的 Al-Cu-Li 合金产品”的申请号为 200880107556.3 的专利申请的分案申请。

### 技术领域

[0002] 本发明涉及一种用于结构元件的铝合金,特别是一种 Al-Cu-Li 型的合金产品,更特别地是一种 Al-Cu-Li-Mg-Ag-Mn 合金产品,所述铝合金产品组合了高强度和高韧性。由该铝合金产品制成的产品非常适合于航空应用,但不限于此。可以将该合金加工成各种产品形式,例如,片件、薄板、厚板、挤压产品或锻造产品。

### 背景技术

[0003] 如本文以下要理解的,除另外说明,合金牌号和状态标号(temper designations)是指于 2007 年由铝协会颁布的“铝标准和数据及登记备案”中的铝业协会标号。

[0004] 关于任何对合金组分或优选合金组分的说明,提到百分比时都是指重量百分比,除非另作说明。

[0005] 本文所使用的术语“大约”,当用于描述组分范围或添加的合金元素的量的时候,意思是所述添加的合金元素实际的量可以由于如本领域技术人员所理解的标准工艺的变化因素,偏离标称预期量而变化。

[0006] 术语“基本上不含”意思是不具有故意地加入到合金组合物的该组分的显著量,应理解的是,痕量的附加元素和 / 或杂质可能存在于所期望的终端产品中。

[0007] 在航空工业一般所熟知的是,减小飞机重量的最有效的方法之一是降低用于飞机制造的铝合金的密度。该期待导致了向铝合金中加入锂,密度最小的金属元素。铝协会合金如 AA2090 和 AA2091 含有大约 2.0 重量 % 的锂,其比不含锂的合金轻了大约 7% 的重量。铝合金 AA2094 和 AA095 含有大约 1.2 重量 % 的铝。另一种铝合金,AA8090 含有大约 2.5 重量 % 的锂,其比不含锂的合金轻了几乎 10% 的重量。

[0008] 然而,铸造这样含有相对大量的锂的常规合金是困难的。此外,这样合金所结合的强度和断裂韧性不是最优化的。折衷存在于传统的铝-锂合金中,其中断裂韧性随强度的增大而减小。航空铝合金的另一个重要的性质是疲劳裂缝生长抗性。例如,在飞机的耐损坏应用中,增加的疲劳裂缝生长抗性是期望的。较好的疲劳裂缝生长抗性意味着裂缝将较缓慢地生长,因此使得飞机更安全,因为小裂缝可以在它们达到灾难性传播的临界尺寸之前被探测到。此外,较慢的裂缝生长由于可以实施较长的检查间隔而具有经济利益。

[0009] 一些其它的现有技术文献为:

[0010] US-2004/0071586 公开了一种宽范围的铝合金,其以重量 % 计包括:3-5% 的 Cu、0.5-2% 的 Mg、和 0.01-0.9% 的 Li。其公开了 Li 含量应当保持在低水平与已控制量的 Cu 和 Mg 组合以提供希望水平的断裂韧性和强度。优选地,Cu 和 Mg 在合金中以低于合金溶解限度的总量而存在。

[0011] WO-2004/106570 公开了用作结构元件的另一种 Al-Cu-Li-Mg-Ag-Mn-Zr 合金。

该合金以重量计 % 包括 :2.5-5.5% 的 Cu、0.1-2.5% 的 Li、0.2-1% 的 Mg、0.2-0.8% 的 Ag、0.2-0.8% 的 Mn、以及高达 0.3% 的 Zr、余量的铝。

[0012] US-2007/0181229 公开了一种铝合金,其以重量 % 计包括 :2.1-2.8% 的 Cu、1.1-1.7% 的 Li、0.1-0.8% 的 Ag、0.2-0.6% 的 Mg、0.2-0.6% 的 Mn、Fe 和 Si 的含量分别小于或等于 0.1%、余量的杂质和铝,并且其中所述合金基本上不含锆。报道称低的 Zr 含量是为了增强韧性。

[0013] 因此,存在用于飞机应用的铝合金的需要,该铝合金具有高断裂韧性、高强度和出色的疲劳裂缝生长抗性。

## 发明内容

[0014] 本发明的一个目的在于提供 AlCuLi 型的合金产品,其理想地被用于结构元件并具有高强度与高韧性的平衡。

[0015] 本发明的另一个目的在于提供一种制造这样的铝合金产品的方法。

[0016] 这些目的和其它目的以及进一步的优点被本发明满足或超越,本发明提供用于结构元件的铝合金产品,其具有的化学组成以重量 % 计包括 :3.4-5.0 的 Cu、0.9-1.7 的 Li、大约 0.2-0.8 的 Mg、大约 0.1-0.8 的 Ag、大约 0.1-0.9 的 Mn、最大为 1.5 的 Zn、选自 : (大约 0.05-0.3 的 Zr、大约 0.05-0.3 的 Cr、大约 0.03-0.3 的 Ti、大约 0.05-0.4 的 Sc、大约 0.05-0.4 的 Hf) 的一种或多种元素、Fe<0.15、Si<0.5、普通且不可避免的杂质和余量的铝。所述合金产品可以含有普通和 / 或不可避免的元素和杂质,通常每种 <0.05% 且总量 <0.2%, 并且余量由铝制成。

[0017] 任选地,所述合金产品可以含有 0-1%, 且优选为 0-0.1% 的晶粒细化剂元素,该元素选自 :B、TiB<sub>2</sub>、Ce、Nb、Er 和 V。

[0018] 铜是合金产品中主要的合金元素之一并且其被添加以提高合金产品的强度。然而,必须注意的是,不要加入太多的铜,因为抗腐蚀性可能被降低。而且,超过最大溶解量的铜加入量将导致低断裂韧性和低的损伤容限。由于这样的原因,Cu 含量的优选上限为大约 4.4%, 且更优选为 4.2%。优选的下限为大约 3.6%, 且更优选为大约 3.75%, 且最优选为大约 3.9%。

[0019] 镁是合金产品中另一主要的合金元素,且其被添加以提高强度并降低密度。然而,应当注意的是,不要加入与铜组合的太多的镁,因为超过最大溶解量的加入量将导致低的断裂韧性和低的损伤容限。Mg 的加入量的更优选下限为 0.3%、且更优选的上限为 0.65%。已经发现的是,高于大约 0.8% 水平的 Mg 进一步添加会导致合金产品的韧性的下降。

[0020] 锂为本发明产品中另一重要的合金元素,并且与铜一起加入到合金中以获得改进的断裂韧性和强度的组合。这意味着本发明的合金在相比于不具有锂或具有较大量锂的类似合金、在至少一个状态下,具有较高的断裂韧性和相当或较高的强度,或具有较高强度和相当或较高的断裂韧性。Li 的加入量的优选下限为 1.0%。Li 的加入量的优选上限为约 1.4%, 且更优选为 1.25%。在本发明合金产品中相对高的 Cu 水平的情况下,太高的锂含量对合金产品的损伤容限性质尤其具有不利的影响。

[0021] 银的加入是为了进一步提高强度且不应超过大约 0.8%, 且优选的下限为大约 0.1%。Ag 的加入量的优选范围为大约 0.2-0.6%, 且更优选的为大约 0.25-0.50%。

[0022] 锰的加入是为了通过提供主沉积相的更均匀的分布来控制晶粒结构,并且从而尤其更进一步提高了强度。Mn 的加入量不应当超过大约 0.9% 且应当至少为大约 0.1%。锰的加入量的优选下限为至少大约 0.2%,且更优选为至少大约 0.3%,且更优选为至少 0.35%。Mn 的加入量的优选上限为大约 0.7%。

[0023] 除了铝、铜、镁、锂、银、锰以及优选也还有的锌之外,本发明的合金含有选自 Zr、Cr、Ti、Sc、Hf 中的至少一种元素。

[0024] 如果加入的话,锆应当以 0.05-0.3% 的范围存在,且优选为 0.07-0.2%。太低的锆加入量对合金产品的单位扩展能(unit propagation energy)具有不利影响。

[0025] Cr 的加入尤其可以用于提高合金产品的单位扩展能(UPE)。UPE 通常在 Kahn 撕裂试验中被测定,其为裂缝生长所需的能量。通常相信的是,UPE 越高,裂缝生长就越难,这是材料所希望的特征。Cr 的加入量应当在 0.05-0.3% 的范围内,且优选的在 0.05-0.16% 的范围内。向含锂的铝合金产品中目的地加入 Cr 之前已被报道为对工程性质具有不利影响。

[0026] Cr 的加入对 UPE 的作用随着 Cr 和 Ti 的组合加入而显著提高。Ti 也应当在 0.05-0.3% 的范围内,且优选的在 0.05-0.16% 的范围内。Cr 和 Ti 的组合加入还对合金产品晶粒间的腐蚀抗性起到积极作用。

[0027] 可加入钪以尤其显著提高合金产品的单位扩展能(UPE)。Sc 的加入量应当为 0.05-0.4%,且优选地为 0.05-0.25%。

[0028] 钪可以部分地或整体地通过加入铪来代替。Hf 的加入量应当与钪的组分范围相类似。

[0029] 在本发明合金产品的优选实施方案中,具有至少 Cr、Ti 和 Sc 的组合加入。

[0030] 并且,在本发明合金产品的更优选的实施方案中,具有至少 Zr、Cr、Ti 和 Sc 的组合加入。

[0031] 合金产品中 Si 的含量应当小于 0.5% 并且可以作为目的性合金元素而存在。在另一个实施方案中,硅以杂质元素而存在并且应当以该范围的下限来存在,例如小于大约 0.10%,且更优选的小于 0.07%,以将断裂韧性的性质保持在希望的水平。

[0032] 在合金产品中,Fe 的含量应当小于 0.15%。当合金产品被用于航空应用时,该范围的下限是优选的,例如,小于大约 0.1%,且更优选的小于大约 0.07% 以尤其将韧性维持在一个足够高的水平。在合金产品被用于商业应用的情况下,例如加工板,可以容忍较高的 Fe 含量。

[0033] 在合金产品的又一个实施方案中,锌作为杂质元素而存在,可容忍其到最多 0.1% 的水平,且优选为最多大约 0.05% 的水平,例如大约 0.02% 或更少。因此,所述合金产品可以基本不含 Zn。

[0034] 在合金产品的另一个优选的实施方案中,有目的地将锌加入以改进强度,其对合金产品的损伤容限性质影响小。在该实施方案中,锌通常以大约 0.1-1.5% 的范围,且更优选地为大约 0.2-1.0% 的范围存在。作为具体的实施例,将锌以大约 0.5% 的量加入。

[0035] 在合金产品目的地加入锌的实施方案中,还加入选自(Zr、Cr、Ti、Sc、Hf)的一种或多种合金元素。在更优选的实施方案中,仅仅加入该组元素中的一种,且仍然具有强度和韧性的希望的平衡。例如,合金产品可以含有 0.03-0.3% 的 Ti、而基本不含 Zr、Cr、Sc 和 Hf 中的每个。在另一个实施例中,合金产品可以含有 0.05-0.3%,优选为 0.05-0.25% 的 Zr,而



还基本不含 Cr、Ti、Sc 和 Hf 中的每个。在又一个实施例中，合金产品可以含有 0.05-0.3% 的 Cr，而还基本不含 Zr、Ti、Sc 和 Hf 中的每个。

[0036] 在合金产品的实施方案中，该产品为滚轧、挤压或锻造产品的形式，而更优选的产品为作为飞机结构部件的一部分的片件、板件、锻造件或挤压件的形式。在更优选的实施方案中，以挤压产品的形式来提供合金产品。

[0037] 当作为飞机结构部件的一部分时，所述部件例如可以为机身板、上翼板、下翼板、机加工零件用的厚板、桁条(stringer)用的薄片和锻造片。

[0038] 本发明的产品的晶粒间腐蚀抗性通常是高的，例如，当金属受到腐蚀测试时，一般仅探测到点蚀(pitting)。然而，片件和轻规格板也可以被电镀，且优选的镀层厚度为片件或板件的厚度的 1%-8%。镀层通常为低组成的铝合金。

[0039] 本发明的又一方面，涉及一种制造 Al-Cu-Li 合金的锻造铝合金产品的方法，该方法包括以下步骤：

[0040] a. 浇铸根据本发明所述 AlCuLi- 合金铸锭的坯件，

[0041] b. 将浇铸坯件预热和 / 或均化；

[0042] c. 将所述坯件通过选自滚轧、挤压和锻造的一种或多种方法来进行热加工；

[0043] d. 任选地对经热加工的坯件进行冷加工；

[0044] e. 将经热加工的坯件和 / 或任选地经冷加工的坯件进行溶液热处理(“SHT”)，在足以将在铝合金中可溶的组分之一置于固溶体中的温度和时间下实施所述 SHT；

[0045] f. 将 SHT 坯件冷却，优选通过喷液淬火或在水中或其他介质中淬火中的一种；

[0046] g. 任选地拉伸或压缩冷却的 SHT 坯件或冷加工冷却的 SHT 坯件以释放应力，例如整平或拔拉或冷滚轧冷却的 SHT 坯件；和

[0047] h. 将冷却的且任选地拉伸或压缩的或冷加工的 SHT 坯件老化，优选人工老化，以实现希望的状态。

[0048] 铝合金可以以铸锭或坯板或坯段的形式被提供，通过本领域用于铸造产品的常规铸造技术制造成适合的锻造产品，所述技术例如 DC- 浇铸、EMC- 浇铸、EMS- 浇铸。还可以使用由连续铸造(例如，带式连铸机或滚式连铸机)而得到的坯板，其当生产较薄规格的终端产品时可以是特别有利的。也可以施用本领域已知的晶粒细化剂，如含钛和硼的或含钛和碳的那些。在浇铸合金坯件之后，通常除去铸锭的表层以去除铸锭浇铸表面附近的离析区。

[0049] 均化处理通常以一步或多步来进行，各个步骤具有大约 475°C -535°C 的温度。预热温度包括将热加工坯件加热到热加工的起始温度，该温度通常为大约 440°C -490°C。

[0050] 在进行了预热和 / 或均化的操作之后，可以通过选自滚轧、挤压、和锻造中的一种或多种方法来对坯件进行热加工，优选地利用常规的工业技术。对于本发明而言，优选热滚轧的方法。

[0051] 热加工，以及尤其是热滚轧可以执行至最终的规格，例如 3mm 或更小或供选择的厚规格产品。供选择地，可以进行热加工步骤以提供中等规格的坯件，通常为片件或薄板。此后，可以将该具有中等规格的坯件进行冷加工如通过滚轧的方式至最终的规格。依据合金的组成和冷加工的量，在冷加工操作之前或之中，可以使用中度退火。

[0052] 一般在与均化所用温度相同的温度下进行溶液热处理(“SHT”)，尽管所选择的均热时间有些短。一般 SHT 在 480°C -525°C 的温度下进行 15 分钟 - 大约 5 小时。通常较低

的 SHT 温度促成高的断裂韧性。在 SHT 之后,将坯件迅速冷却或淬火,优选地利用喷液淬火或在水中或其他介质中的淬火中的一种。

[0053] 经 SHT 和淬火过的坯件可以进一步被冷加工,例如,通过拉伸其原长的大约 0.5-15% 以释放其中的残余应力并且以改进产品的平整性。优选地拉伸大约 0.5-6%,更优选地拉伸大约 0.5-5%。

[0054] 在冷却之后,通常是在环境温度下将坯件老化,和 / 或供选择地可以将坯件人工老化。

[0055] 根据本发明的合金产品优选地在稍微低于 T8 老化条件下被提供以提供强度与损伤容限性质间的最好平衡。

[0056] 然后将这些经热处理的板段,更通常地一般是在人工老化之后,加工成希望的结构形状,例如,整体的翼梁。在由挤压和 / 或锻造的加工步骤而制成的厚锻件的制造中,也可按照 SHT、淬火、任选的应力释放操作和人工老化的顺序。

[0057] 在本发明的一个实施方案中,包括焊接的步骤,老化步骤可以为分成 2 步:在焊接操作前的预老化步骤和最终的热处理以形成焊接的结构元件。

[0058] 根据本发明的 AlCuLi- 合金产品尤其以最多 0.5 英寸 (12.5mm) 的厚度被使用,所述性质对于机身板而言将是出色的。在厚度为 0.7-3 英寸 (17.7-76mm) 的薄板厚度中,所述性质对于翼板例如下翼板而言是出色的。薄板的厚度范围还可以被用于用在机翼结构中的桁条或以形成整体翼板以及桁条。当被加工成大于 2.5 英寸 (63mm)- 大约 11 英寸 (280mm) 的较厚规格时,获得了对于从板件加工成整体部件来说出色的性质,或获得了用以形成用于机翼结构的整体翼梁或为用于机翼结构的翼肋形式的出色性质。较厚规格的产品还可以被用作加工板,例如用于制造成形塑料产品的模具,例如,通过模铸或注模。根据本发明的合金产品还可以以用于飞机结构的分步挤压件或挤压翼梁或挤压刚性件的形式来提供,或以用于机翼结构的锻造翼梁的形式来提供。

[0059] 当以片件产品的形式的应用时,产品的屈服强度或弹限强度应当至少为 460MPa,且优选为至少 480MPa。当以挤压产品的形式(例如,作为翼梁)或以板件产品的形式应用时,产品的屈服强度或弹限强度应当至少为 480MPa,且优选为至少 500MPa。这些强度水平可以通过在要求保护的范围内,且优选地在优选窄的范围内选择合金的组成以及与人工老化操作组合而获得。

[0060] 接下来,将通过以下非限制性的实施例来解释本发明。

## 实施例

[0061] 在实验室规格下,铸造了 8 个铝合金以证明本发明的原理并将其加工成 2mm 的片件。合金的组成列举在表 1 中,并且其中合金 no. 2 由于其较低的 Li 含量而作为对比合金。对于全部铸锭而言,余量为不可避免的杂质和铝。从大约 12kg 的实验室浇铸的铸锭锯下大约 80×80×100mm (高×宽×长) 的滚轧块。所述铸锭在 520±5℃ 的温度下均化大约 24 小时并随后缓慢空气冷却以模拟工业均化过程。将滚轧铸锭在 450±5℃ 的温度下预加热大约 4 小时,并且热滚轧至 8mm 的规格并随后冷滚轧至 2mm 最终规格。对经热滚轧的产品在 520±5℃ 的温度下进行 30min 的溶液热处理 (SHT) 并且在水中淬火。将经淬火的产品冷却拉伸大约 1.5%。在经 SHT 和淬火的片件上进行 2 种老化操作:(1) 通过在 170℃ 下老化 20

小时的低老化条件(under-aged condition),并且仅对于合金 1、7 和 8,(2)通过在 170°C 下老化 48 小时的峰老化条件(peak-aged condition)。

[0062] 在老化之后,根据 EN10.002 已确定了拉伸性能,并且由此“Rp”代表以 MPa 表示的屈服强度,“Rm”代表以 MPa 表示的拉伸强度,而“Ag”为在 L- 和 LT- 方向的以 % 表示的均匀伸长量。对于全部合金而言,还已根据 ASTM B871-96 确定了抗撕强度(tear strength),并且结果的测试方向为 T-L 方向和 L-T 方向。通过分解抗撕强度,通过 Kahn- 撕裂试验、通过拉伸屈服强度(“TS/Rp”),可以获得所谓的缺口韧性。本领域已知这样通常的 Kahn- 撕裂试验结果为真实断裂韧性的良好指标。测试的机械性能显示在表 2 和表 3 中。如果在 L- 方向给出的拉伸强度,那么缺口韧性的相应方向为 L-T 方向,并且如果在 LT- 方向给出了拉伸强度,那么缺口韧性的相应方向为 T-L 方向。

[0063] 表 1. 所测试的铝合金的化学组成。所有添加的合金元素都以重量 % 计,余量由不可避免的杂质和铝制成。对于全部合金而言,Fe0.03%、Si0.03%。

[0064]

合金 No.	合金元素									
	Li	Cu	Mg	Ag	Mn	Zr	Cr	Ti	Sc	Zn
1	1.1	3.9	0.5	0.4	0.5	0.11	0.11	0.10	0.15	-
2	0.6	3.9	0.5	0.4	0.5	0.11	0.11	0.10	0.15	-
3	1.3	3.9	0.5	0.4	0.5	0.11	0.11	0.10	0.15	-
4	1.1	3.6	0.5	0.4	0.5	0.11	0.11	0.10	0.15	-
5	1.1	4.4	0.5	0.4	0.5	0.11	0.11	0.10	0.15	-
6	1.6	3.6	0.5	0.4	0.5	0.11	0.11	0.10	0.15	-
7	1.1	3.9	0.5	0.4	0.5	-	-	0.10	-	0.5
8	1.1	3.9	0.5	0.4	0.5	0.11	-	-	-	1.0

[0065] 表 2. 在 170°C 下老化 16 小时后,经滚轧的合金产品的机械性能

[0066]

合金 No.	L-方向					LT-方向				
	Rp	Rm	Ag	TS	TS/Rp	Rp	Rm	Ag	TS	TS/Rp
1	502	536	6.1	654	1.30	442	509	6.8	580	1.31
2	346	443	9.3	668	1.93	362	449	8.4	611	1.69
3	527	565	5.6	598	1.13	471	542	5.6	454	0.96
4	479	518	7.0	678	1.42	414	482	8.5	621	1.50
5	508	549	6.5	578	1.14	477	541	7.7	505	1.06
6	456	516	6.8	565	1.24	-	-	-	-	-
7	574	611	5.5	571	0.99	542	600	5.9	479	0.88
8	570	606	5.4	483	0.85	514	550	3.4	451	0.88

[0067] 表 3. 在 170°C 下老化 24 小时后, 经滚轧的合金产品的机械性能  
[0068]

合金 No.	L-方向					LT-方向				
	Rp	Rm	Ag	TS	TS/Rp	Rp	Rm	Ag	TS	TS/Rp
1	510	543	5.9	647	1.27	461	535	7.2	546	1.18
7	582	617	4.9	-	-	547	603	4.3	-	-
8	564	604	4.9	-	-	536	592	5.0	-	-

[0069] 从表 2 结果中, 从合金 no. 1 (根据本发明的) 与合金 no. 2 (对比) 的对比中可以看出, 降低锂的含量对屈服强度和拉伸强度具有显著的不利影响。由于这个原因, 根据本发明的合金产品的 Li- 含量的下限至少为 0.9%, 且更优选地至少为 1.0%。

[0070] 从合金 no. 1 与合金 no. 3 的对比, 可以从表 2 中看出, 提高 Li 的含量增强了强度水平, 但对于合金产品的韧性具有不利的影晌。为了获得在根据本发明的合金产品中的强度和韧性的良好平衡, Li 的含量不应当超过 1.7%, 且优选地不大于 1.4%, 且更优选地不应当超过 1.25%。

[0071] 从合金 no. 1 与合金 no. 4 的对比, 可以从表 2 看出, 降低 Cu 的含量对于强度水平具有不利的影晌。由于这个原因, 为了维持足够的强度水平, 根据本发明的合金产品中的 Cu 的含量不应当小于 3.4%, 且优选地不应当小于 3.6%。而从合金 no. 1 与合金 no. 5 的对比中可以看出, 提高 Cu 的含量仅导致强度水平的微小提高, 但对于合金产品的韧性具有显著的不利影晌。为了获得在根据本发明的合金产品中的强度和韧性的良好平衡, Cu 的含量优选地不应当超过 4.4%, 且更优选地不应当超过 4.2%。

[0072] 从合金 no. 1 与合金 no. 6 的对比中可以看出, 显著提高 Li 的含量同时降低 Cu 的含量导致根据本发明的合金产品的强度降低及明显的韧性下降。

[0073] 从合金 no. 1 与合金 no. 7 的对比中可以看出, 仅加入大约 0.5% 的 Zn 显著地增强了合金产品的强度。在该实施例中, 甚至是不在目的地组合加入 Zr、Cr 和 Sc 的情况下获

得该强度的提高。

[0074] 从合金 no. 7 与合金 no. 8 的对比中可以看出,提高 Zn 的含量并不必然导致强度或韧性的进一步提高,并且可能对其它工程性质具有不利的影响。由于这个原因,Zn 含量的优选上限为大约 1.0%。具有目的性加入锌的合金产品表示根据本发明的合金产品的优选的实施方案。

[0075] 从表 2 的合金 no. 7 与合金 no. 8 的结果中可以看出,当目的性地加入仅一种选自 (Zr、Cr、Ti、Sc 和 Hf) 的元素时,获得了高的强度水平。

[0076] 从表 2 和表 3 的结果可以看出取决于人工老化操作,强度可以得到进一步的提高。

[0077] 现已完全地描述了本发明,对本领域一个普通技术人员而言明显的是,在不脱离本文所描述的本发明的精神和范围内可以作出许多变化和修改。