

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷
C22C 21/02
C22C 21/08



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 99816136.5

[45] 授权公告日 2003 年 10 月 8 日 [11] 授权公告号 CN 1123644C

[22] 申请日 1999.2.12 [21] 申请号 99816136.5
[86] 国际申请 PCT/EP99/00939 1999.2.12
[87] 国际公布 WO00/47789 英 2000.8.17
[85] 进入国家阶段日期 2001.8.10
[71] 专利权人 挪威海德罗公开有限公司
地址 挪威奥斯陆
[72] 发明人 U·吞达 R·奥德文
审查员 葛松生

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 卢新华 罗才希

权利要求书 2 页 说明书 20 页 附图 1 页

[54] 发明名称 含镁及硅的铝合金
[57] 摘要

含镁及硅的合金混合物 0.5 - 2.5 重量%的一种铝合金，其 Mg/Si 摩尔比在 0.70 - 1.25 范围，硅的添加量约等于合金中存在的 Fe、Mn 及 Cr 量的 1/3，其余为铝、不可避免的杂质及其他合金剂，此合金在冷却后受到了均质化、挤出前预热、挤出及时效处理，其时效是在 160 - 220℃ 的温度范围内进行。对挤出产物冷却后的时效实行双时效速率的操作，包括第一阶段，其中以 30℃/小时以上的加热速率加热该挤出件至温度 100 - 170℃ 的范围，和第二阶段，其中以 5 至 50℃/小时之间的加热速率加热该挤出件至最终保持的温度 160 - 220℃ 的范围，其中总时效周期施行的时间在 3 - 24 小时之间。

I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1. 处理铝合金的一种方法，该铝合金由以下所组成：

- 0.5-2.5 重量%的镁与硅的合金混合物，其 Mg/Si 摩尔比在
5 0.70-1.25 之间，
- 按重量%表示，硅添加量约等于合金中存在的 Fe、Mn 及 Cr 的
1/3，
- 其它合金元素及不可避免的杂质，和
- 其余为铝，

10 此合金冷却后受到均质化、挤出前预热、挤出及时效处理，其时效是在挤出后按双步骤时效操作，在最终保持温度 160-220℃的范围内进行的，其特征在于，所述时效包括其中以 100℃/小时以上的加热速率，加热该挤出件至 100-170℃的温度范围的第一阶段，和其中以 5 至 50℃/小时之间的加热速率，加热该挤出件至最终保持温度的第二阶段，以
15 及在于总时效周期施行的时间在 3-24 小时范围。

2. 按照权利要求 1 的方法，其特征在于该铝合金含 0.60-1.10 重量%的镁与硅的合金混合物，其拉伸强度属于 F19 的级别(185-220MPa)-F22 的级别(215-250MPa)。

20 3. 按照权利要求 1 的方法，其特征在于该铝合金含 0.80-1.40 重量%的镁与硅的合金混合物，其拉伸强度属于 F25 的级别(245-270MPa)-F27 的级别(265-290MPa)。

4. 按照权利要求 1 的方法，其特征在于该铝合金含 1.10-1.80 重量%的镁与硅的合金混合物，其拉伸强度属于 F29 的级别(285-310MPa)-F31 的级别(305-330MPa)。

25 5. 按照权利要求 2 的方法，其特征在于该铝合金含 0.60-0.80 重量%的镁与硅的合金混合物，其拉伸强度属于 F19 的级别(185-220MPa)。

6. 按照权利要求 2 的方法，其特征在于该铝合金含 0.70-0.90 重量%的镁与硅的合金混合物，其拉伸强度属于 F22 的级别(215-
30 250MPa)。

7. 按照权利要求 3 的方法, 其特征在于该铝合金含 0.85-1.15 重量%的镁与硅的合金混合物, 其拉伸强度属于 F25 级别 (245-270MPa)。

8. 按照权利要求 3 的方法, 其特征在于该铝合金含 0.95-1.25 重量%的镁与硅的合金混合物, 其拉伸强度属于 F27 的级别 (265-290MPa)。

9. 按照权利要求 4 的方法, 其特征在于该铝合金含 1.10-1.40 重量%的镁与硅的合金混合物, 其拉伸强度属于 F29 的级别 (285-310MPa)。

10. 按照权利要求 4 的方法, 其特征在于该铝合金含 1.20-1.55 重量%的镁与硅的合金混合物, 其拉伸强度属于 F31 的级别 (305-330MPa)。

11. 按照前述权利要求任一项的方法, 其特征在于最终时效温度为至少 165℃。

12. 按照前述权利要求任一项的方法, 其特征在于最终时效温度为最多 205℃。

13. 按照前述权利要求任一项的方法, 其特征在于在第二加热阶段的加热速率为至少 7℃/小时。

14. 按照前述权利要求任一项的方法, 其特征在于在第二加热阶段的加热速率为最多 30℃/小时。

15. 按照前述权利要求任一项的方法, 其特征在于第一加热步骤结束时, 该温度是在 130-160℃的范围。

16. 按照前述权利要求任一项的方法, 其特征在于总时效时间为至少 5 小时。

17. 按照前述权利要求任一项的方法, 其特征在于总时效时间最多 12 小时。

18. 按照前述权利要求任一项的方法, 其特征在于在挤出之前的预热过程中, 该合金被加热到温度 510-550℃范围, 而后该合金被冷却至正常挤出温度。

含镁及硅的铝合金

本发明涉及处理铝合金的一种方法，该铝合金由以下所组成：

- 5 - 镁与硅的合金混合物 0.5-2.5 重量%，其 Mg/Si 摩尔比在 0.70 至 1.25 之间，
- 硅添加量约等于合金中存在的 Fe、Mn 及 Cr 的 1/3，按重量%表示，
- 其它合金元素及不可避免的杂质，和
- 10 - 其余为铝，

此合金冷却后受到均质化、挤出前预热、挤出及时效处理，其时效是在挤出后按双步骤时效操作在最终保持温度 160-220℃ 的范围内进行的。

此类方法在 WO 95.06759 中已有描述。按照该专利，时效是在温
15 度 150-200℃ 范围内进行，其加热速率在 10-100℃/小时之间，优选在 10-70℃/小时之间。并提出了另一种两步加热的方案，其中建议保持温度在 80-140℃ 的范围，以使总加热速率处在上述特定范围内。

一般认为，Mg 与 Si 的总量较高会对最终产品的机械性能产生有利影响，然而对铝合金却对可挤出性产生了不利的影响。以前曾有人预
20 料，Al-Mg-Si 合金中的硬化相组成接近于 Mg_2Si 。但是，又认为过量的 Si 会形成较高的机械性能。

后来实验表明，其析出顺序相当复杂，除平衡相外，所涉及相都不含有化学计量比的 Mg_2Si 。S.J. 安德森 (Andersen) 等人在刊物 (Acta mater, Vol. 46 No. 9p. 3283-3298, 1998) 中提出，Al-Mg-Si 合金中有一个硬化相接近于 Mg_5Si_6 的组成。
25

因此，本发明目的在于提供一种处理铝合金的方法，这种方法会使合金具有更好的机械性能及更好的可挤出性，该合金含有最低量的合金剂及尽可能接近传统铝合金的一般组成。这个目的及其它目的可以达到，是因为时效包括第一阶段，其中以超过 100℃/小时的加热速率加热
30 该挤出件至 100-170℃ 的温度范围，和第二阶段，其中以 5 至 50℃/小时之间的加热速率加热该挤出件至最后保持温度，并因为总时效周期实行时间在 3-24 小时的范围。

Mg/Si 最佳比是可使所有的 Mg 及 Si 都转变成 Mg_5Si_6 相的 Mg/Si 比。Mg 与 Si 的这种组合可耗费最少的合金元素 Mg 及 Si, 产生最大的机械强度。 据发现, 最高挤出速度几乎与 Mg/Si 比无关。因此, 由于 Mg/Si 比最佳而使达到某一强度要求所需的 Mg 与 Si 的总量最小, 这种合金也

的机械强度。 据发现, 最高挤出速度几乎与 Mg/Si 比无关。因此, 由于 Mg/Si 比最佳而使达到某一强度要求所需的 Mg 与 Si 的总量最小, 这种合金也因此具有最好的可挤出性。 采用按照本发明的组合物, 结合按照本发明的双速率时效方法, 已使强度及可挤出性达到最大, 总时效
5 时间最短。

除该 Mg_5Si_6 相外, 还有另一个硬化相, 此相含有比 Mg_5Si_6 相中更多的 Mg 。 但是, 此相并不像 Mg_5Si_6 相那样有效, 对机械强度也未达到像 Mg_5Si_6 相所给出那样多的贡献。 由于 Mg_5Si_6 相富含 Si , 它很可能不含硬化相, Mg/Si 比在 $5/6$ 以下会不利。

10 低温下延长时间一般会增加形成较高密度的 $Mg-Si$ 析出, 可以说明双速率时效方法对机械强度的有利影响。 如果整个时效操作都在这种低温度下进行, 总时效时间又会超过实际极限, 而且时效炉处理能力也会太低。 而缓慢增加温度至最终时效温度, 可使低温成核的大量析出物不断长大。 结果由于时效温度低而总时效时间却又显著较短, 析出
15 物会很多及机械强度值很高。

20 二步时效虽也改善了机械强度, 但由于从第一保持温度快速加热到第二保持温度, 最小析出物的逆转概率会很大, 硬化析出物会较少, 并由此导致机械强度较低的结果。 与正常时效法以及二段时效法相比, 双速率时效方法还有另一个好处, 就是缓慢的加热速率可保证负载物内较好的温度分布。 负载物内挤出件的温度经历几乎与负载物尺寸、充填密度及挤出件壁厚无关。 结果会是其机械性能比用其它类型时效方法的更协调。

25 与 WO 95.06759 中所述的从室温开始加热速率缓慢的时效方法相比, 双速率时效实行从室温快速加热到 $100-170^{\circ}C$ 温度范围的方法, 使总时效时间缩短。 在中等温度下开始缓慢加热, 所得强度几乎同样地好, 如像从室温开始缓慢加热似的。

取决于所设想的强度级别, 各种组成都可能包括在本发明一般范围内。

30 所以有可能使铝合金拉伸强度达到 F19-F22 的级别, 硅的镁合金混合物量在 $0.60-1.10$ 重量%之间。 对于拉伸强度在 F25-F27 级别内的合金, 有可能利用含镁与硅合金混合物 $0.80-1.40$ 重量%的铝合金, 对于

拉伸强度在 F29-F31 级别的合金,有可能利用含镁与硅的合金混合物 1.10-1.80 重量%的铝合金。

优选地,并按照本发明, F19(185-220 MPa(兆帕))级别的拉伸强度是通过含该合金混合物达 0.60-0.80 重量%的一种合金达到的,在
5 F22(215-250MPa)级别的拉伸强度是通过含该合金混合物达 0.70-0.90 重量%的一种合金达到的,在 F25(245- 270MPa)级别的拉伸强度是通过含该合金混合物达 0.85-1.15 重量%的一种合金达到的,在 F27(265-290MPa)级别的拉伸强度是通过含该合金混合物达 0.95-1.25 重量%的一种合金达到的,在 F29(285- 310MPa)级别的拉伸强度是通过含该合金混
10 合物达 1.10-1.40 重量%的一种合金达到的,及在 F31(305-330MPa)级别的拉伸强度是通过含该合金混合物达 1.20-1.55 重量%的一种合金达到的。

至于添加 Cu,按照经验,每加 0.10 重量%的 Cu 会使机械强度提高 10MPa, Mg 与 Si 的总量可降低,而强度级别仍然相当于比单独添加 Mg
15 及 Si 的高的级别。

由于上述理由, Mg/Si 摩尔比优选在 0.75-1.25 范围,更优选在 0.8-1.0 范围。

在本发明的一组优选实施方案中,最终时效温度至少 165℃,更优选该时效温度最高 205℃。在采用优选温度时,已发现使机械强度达到
20 最大,同时总时效时间仍然保持在合理的极限内。

为了缩短双速率时效操作中的总时效时间,优选的是第一加热阶段在最高可能达到的加热速率下进行,而通常这取决于所提供的设备。因此优选的是在第一加热阶段采用至少 100 °C/小时的加热速率。

在第二加热阶段,由于总时间效率及合金最后的品质必须使加热速率最佳化。由于这个原因,第二加热速率优选至少 7°C/小时和最多 30
25 °C/小时。在加热速率在 7 °C/小时以下时,总时效时间会长,而导致时效炉处理能力低的后果,而加热速率在 30 °C/小时以上时,其机械性能会比理想的低。

优选地,第一加热阶段在 130-160℃范围结束,在这种温度下
30 Mg_5Si_6 相会充分析出,得到高机械强度的合金。第一阶段的终止温度较低,一般会导致总时效时间增长。优选总时效时间最多 12 小时。

为了获得在时效操作前几乎所有 Mg 及 Si 都进入固态溶液中的挤出制品，重要的是要控制挤出过程及挤出后冷却过程的参数。参数合适就可通过正常预热作到这一点。但是，采用 EP 0302623 中所述的所谓过热方法，它属于一种预热操作，是在挤出前的预热操作过程中使该合金加热至 510-560℃ 的温度范围，然后冷却该金属坯段至正常挤出温度，这样就可保证所有加至合金中的 Mg 及 Si 是被溶解的。通过恰当地对挤出制品进行冷却，可保持 Mg 及 Si 溶解及供给时效操作中形成硬化析出物。

对于低合金组合物，只要挤出参数恰当，在挤出操作中可以达到 Mg 及 Si 的溶解，而不会过热。但是，对于高合金组合物，正常预热条件并不总足以使所有 Mg 及 Si 进入固态溶中。在此情况下，过热可能会使该挤出过程更强固，而且在其压制成为型条时，始终会保证所有的 Mg 及 Si 都在固态溶液中。

通过以下对用按照本发明合金进行的许多检测的描述，其它特征及优点都会是清楚的。

实施例 1

将表 1 所列八种组成不同的合金，按 6060 合金标准铸块条件，铸造成为 $\Phi 95$ 毫米金属坯段。以约 250℃/小时的加热速率使该金属坯段均质化，在 575℃ 下保持时间为 2 小时 15 分钟，均质化后的冷却速率为约 350℃/小时。最后切割该圆材为长 200 毫米的金属坯段。

表 1

合金	Si	Mg	Fe	总 Si+Mg
1	0,34	0,40	0,20	0,74
2	0,37	0,36	0,19	0,73
3	0,43	0,31	0,19	0,74
4	0,48	0,25	0,20	0,73
5	0,37	0,50	0,18	0,87
6	0,41	0,47	0,19	0,88
7	0,47	0,41	0,20	0,88
8	0,51	0,36	0,19	0,87

在 800 吨压榨机中施行挤出试验，该压榨机配有 $\Phi 100$ 毫米的容器和挤出前对该金属坯段加热的感应电炉。

用于可挤出性实验的模具产生一种圆柱形杆条，其直径7毫米，两肋线宽0.5毫米及高1毫米，按相距180度固定。

为了取得型条机械性能的良好测定，用产生2 * 25平方毫米巴的一种模具进行单独测试。挤出前预热该金属坯段至约500℃。挤出后在5 无风下冷却型条，冷却时间约2分，直到温度降至250℃以下。挤出后拉伸该型条0.5%。时效前控制室温下的存放时间。借助于拉力测试方法获得机械性能。

这些合金的可挤出性测试全部结果示于表2及3中。

表2 合金1-4的挤出试验

10

合金编号	推杆速度 mm/sec.	坯段温度 °C	备注
1	16	502	正常
1	17	503	正常
1	18	502	断裂
1	17	499	正常
1	19	475	正常
1	20	473	正常
1	21	470	断裂
2	16	504	正常
2	17	503	微细断裂
2	18	500	断裂
2	20	474	正常
2	19	473	正常
2	18	470	正常
2	21	469	微细断裂
3	17	503	断裂
3	16	505	正常
3	15	504	正常
3	19	477	正常
3	18	477	正常
3	20	472	正常
3	21	470	断裂
4	17	504	正常
4	18	505	断裂
4	16	502	正常
4	19	477	正常
4	20	478	正常
4	20	480	微细断裂
4	21	474	断裂

对于合金 1-4，其 Mg 与 Si 总量大致相同，但 Mg/Si 比不同，在可比金属坯段温度下，断裂前最高挤出速度大致相同。

表 3 合金 5-8 的挤出试验

合金编号	推杆速度 mm/sec.	坯段温度 °C	备注
5	14	495	正常
5	14,5	500	断裂
5	15	500	断裂
5	14	500	微细断裂
5	17	476	断裂
5	16,5	475	正常
5	16,8	476	微细断裂
5	17	475	断裂
6	14	501	微细断裂
6	13,5	503	正常
6	14	505	断裂
6	14,5	500	断裂
6	17	473	断裂
6	16,8	473	断裂
6	16,5	473	正常
6	16,3	473	正常
7	14	504	断裂
7	13,5	506	微细断裂
7	13,5	500	正常
7	13,8	503	微细断裂
7	17	472	微细断裂
7	16,8	476	断裂
7	16,6	473	正常
7	17	475	断裂
8	13,5	505	正常
8	13,8	505	断裂
8	13,6	504	正常
8	14	505	断裂
8	17	473	微细断裂
8	17,2	474	微细断裂
8	17,5	471	断裂
8	16,8	473	正常

对于合金 5-8，其 Mg 与 Si 的总量大致相同，但 Mg/Si 比不同，在可比的金属坯段温度下，其断裂前最高挤出速度大致相同。但是，通过对 Mg 与 Si 的总量较低的合金 1-4 号与合金 5-8 号的比较，合金 1-4 号的最高挤出速度一般较高。

- 5 在不同时效周期下时效的各种不同合金的机械性能示于表 4-11 中。

作为对这些表的解释，参考图 1，其中不同时效周期是用字母图解表示及区别的。在图 1 中，X 轴表示总时效时间，Y 轴表示所用温度。

此外，该不同列具有以下的意义：

- 10 总时间 = 该时效周期的总时效时间。

R_m = 极限抗拉强度；

$R_{p0.2}$ = 屈服强度；

AB = 断裂伸长率；

Au = 均匀伸长率。

- 15 所有这些数据都是用标准拉力试验方法获得的，所示数字均为挤出型条的二个平行样品的平均值。

表 4

合金 1 - 0.40Mg + 0.34Si					
	总时间[小时]	Rm	Rp02	AB	Au
A	3	143,6	74,0	16,8	8,1
A	4	160,6	122,3	12,9	6,9
A	5	170,0	137,2	12,6	5,6
A	6	178,1	144,5	12,3	5,6
A	7	180,3	150,3	12,3	5,2
B	3,5	166,8	125,6	12,9	6,6
B	4	173,9	135,7	11,9	6,1
B	4,5	181,1	146,7	12,0	5,4
B	5	188,3	160,8	12,2	5,1
B	6	196,0	170,3	11,9	4,7
C	4	156,9	113,8	12,6	7,5
C	5	171,9	134,7	13,2	6,9
C	6	189,4	154,9	12,0	6,2
C	7	195,0	168,6	11,9	5,8
C	8	199,2	172,4	12,3	5,4
D	7	185,1	140,8	12,9	6,4
D	8,5	196,5	159,0	13,0	6,2
D	10	201,8	171,6	13,3	6,0
D	11,5	206,4	177,5	12,9	6,1
D	13	211,7	184,0	12,5	5,4
E	8	190,5	152,9	12,8	6,5
E	10	200,3	168,3	12,1	6,0
E	12	207,1	176,7	12,3	6,0
E	14	211,2	185,3	12,4	5,9
E	16	213,9	188,8	12,3	6,6

表 5

合金 2 - 0.36Mg + 0.37Si					
	总时间[小时]	Rm	Rp02	AB	Au
A	3	150,1	105,7	13,4	7,5
A	4	164,4	126,1	13,6	6,6
A	5	174,5	139,2	12,9	6,1
A	6	183,1	154,4	12,4	4,9
A	7	185,4	157,8	12,0	5,4
B	3,5	175,0	135,0	12,3	6,3
B	4	181,7	146,6	12,1	6,0
B	4,5	190,7	158,9	11,7	5,5
B	5	195,5	169,9	12,5	5,2
B	6	202,0	175,7	12,3	5,4
C	4	161,3	114,1	14,0	7,2
C	5	185,7	145,9	12,1	6,1
C	6	197,4	167,6	11,6	5,9
C	7	203,9	176,0	12,6	6,0
C	8	205,3	178,9	12,0	5,5
D	7	195,1	151,2	12,6	6,6
D	8,5	208,9	180,4	12,5	5,9
D	10	210,4	181,1	12,8	6,3
D	11,5	215,2	187,4	13,7	6,1
D	13	219,4	189,3	12,4	5,8
E	8	195,6	158,0	12,9	6,7
E	10	205,9	176,2	13,1	6,0
E	12	214,8	185,3	12,1	5,8
E	14	216,9	192,5	12,3	5,4
E	16	221,5	196,9	12,1	5,4

表 6

合金 3 - 0.31Mg + 0.43Si					
	<u>总时间[小时]</u>	<u>Rm</u>	<u>Rp02</u>	<u>AB</u>	<u>Au</u>
A	3	154,3	111,0	15,0	8,2
A	4	172,6	138,0	13,0	6,5
A	5	180,6	148,9	13,0	5,7
A	6	189,7	160,0	12,2	5,5
A	7	192,5	164,7	12,6	5,3
B	3,5	187,4	148,9	12,3	6,3
B	4	193,0	160,3	11,5	5,9
B	4,5	197,7	168,3	11,6	5,1
B	5	203,2	177,1	12,4	5,5
B	6	205,1	180,6	11,7	5,4
C	4	170,1	127,4	14,3	7,5
C	5	193,3	158,2	13,4	6,2
C	6	207,3	179,2	12,6	6,4
C	7	212,2	185,3	12,9	5,7
C	8	212,0	188,7	12,3	5,6
D	7	205,6	157,5	13,2	6,7
D	8,5	218,7	190,4	12,7	6,0
D	10	219,6	191,1	12,9	6,7
D	11,5	222,5	197,5	13,1	5,9
D	13	226,0	195,7	12,2	6,1
E	8	216,6	183,5	12,6	6,8
E	10	217,2	190,4	12,6	6,9
E	12	221,6	193,9	12,4	6,6
E	14	225,7	200,6	12,4	6,0
E	16	224,4	197,8	12,1	5,9

表 7

合金 4 - 0.25Mg + 0.48Si					
	总时间[小时]	Rm	Rp02	AB	Au
A	3	140,2	98,3	14,5	8,6
A	4	152,8	114,6	14,5	7,2
A	5	166,2	134,9	12,7	5,9
A	6	173,5	141,7	12,8	5,7
A	7	178,1	147,6	12,3	5,2
B	3,5	165,1	123,5	13,3	6,4
B	4	172,2	136,4	11,8	5,7
B	4,5	180,7	150,2	12,1	5,2
B	5	187,2	159,5	12,0	5,6
B	6	192,8	164,6	12,1	5,0
C	4	153,9	108,6	13,6	7,7
C	5	177,2	141,8	12,0	6,5
C	6	190,2	159,7	11,9	5,9
C	7	197,3	168,6	12,3	6,1
C	8	197,9	170,6	12,5	5,6
D	7	189,5	145,6	12,3	6,4
D	8,5	202,2	171,6	12,6	6,1
D	10	207,9	178,8	12,9	6,0
D	11,5	210,7	180,9	12,7	5,6
D	13	213,3	177,7	12,4	6,0
E	8	195,1	161,5	12,8	5,9
E	10	205,2	174,1	12,5	6,4
E	12	208,3	177,3	12,8	5,6
E	14	211,6	185,9	12,5	6,3
E	16	217,6	190,0	12,4	6,2

表 8

合金 5 - 0.50Mg + 0.37Si					
	总时间[小时]	Rm	Rp02	AB	Au
A	3	180,6	138,8	13,9	7,1
A	4	194,2	155,9	13,2	6,6
A	5	203,3	176,5	12,8	5,6
A	6	210,0	183,6	12,2	5,7
A	7	211,7	185,9	12,1	5,8
B	3,5	202,4	161,7	12,8	6,6
B	4	204,2	170,4	12,5	6,1
B	4,5	217,4	186,7	12,1	5,6
B	5	218,9	191,5	12,1	5,5
B	6	222,4	198,2	12,3	6,0
C	4	188,6	136,4	15,1	10,0
C	5	206,2	171,2	13,4	7,1
C	6	219,2	191,2	12,9	6,2
C	7	221,4	194,4	12,1	6,1
C	8	224,4	202,8	11,8	6,0
D	7	213,2	161,5	14,0	7,5
D	8,5	221,5	186,1	12,6	6,7
D	10	229,9	200,8	12,1	5,7
D	11,5	228,2	200,0	12,3	6,3
D	13	233,2	198,1	11,4	6,2
E	8	221,3	187,7	13,5	7,4
E	10	226,8	196,7	12,6	6,7
E	12	227,8	195,9	12,8	6,6
E	14	230,6	200,5	12,2	5,6
E	16	235,7	207,9	11,7	6,4

表 9

合金 6 - 0.47Mg + 0.41Si					
	总时间[小时]	<u>Rm</u>	<u>Rp02</u>	<u>AB</u>	<u>Au</u>
A	3	189,1	144,5	13,7	7,5
A	4	205,6	170,5	13,2	6,6
A	5	212,0	182,4	13,0	5,8
A	6	216,0	187,0	12,3	5,6
A	7	216,4	188,8	11,9	5,5
B	3,5	208,2	172,3	12,8	6,7
B	4	213,0	175,5	12,1	6,3
B	4,5	219,6	190,5	12,0	6,0
B	5	225,5	199,4	11,9	5,6
B	6	225,8	202,2	11,9	5,8
C	4	195,3	148,7	14,1	8,1
C	5	214,1	178,6	13,8	6,8
C	6	227,3	198,7	13,2	6,3
C	7	229,4	203,7	12,3	6,6
C	8	228,2	200,7	12,1	6,1
D	7	222,9	185,0	12,6	7,8
D	8,5	230,7	194,0	13,0	6,8
D	10	236,6	205,7	13,0	6,6
D	11,5	236,7	208,0	12,4	6,6
D	13	239,6	207,1	11,5	5,7
E	8	229,4	196,8	12,7	6,4
E	10	233,5	199,5	13,0	7,1
E	12	237,0	206,9	12,3	6,7
E	14	236,0	206,5	12,0	6,2
E	16	240,3	214,4	12,4	6,8

表 10

合金 7 - 0.41Mg + 0.47Si					
	总时间[小时]	<u>Rm</u>	<u>Rp02</u>	<u>AB</u>	<u>Au</u>
A	3	195,9	155,9	13,5	6,6
A	4	208,9	170,0	13,3	6,4
A	5	216,2	188,6	12,5	6,2
A	6	220,4	195,1	12,5	5,5
A	7	222,0	196,1	11,5	5,4
B	3,5	216,0	179,5	12,2	6,4
B	4	219,1	184,4	12,2	6,1
B	4,5	228,0	200,0	11,9	5,8
B	5	230,2	205,9	11,4	6,1
B	6	231,1	211,1	11,8	5,5
C	4	205,5	157,7	15,0	7,8
C	5	225,2	190,8	13,1	6,8
C	6	230,4	203,3	12,0	6,5
C	7	234,5	208,9	12,1	6,2
C	8	235,4	213,4	11,8	5,9
D	7	231,1	190,6	13,6	7,6
D	8,5	240,3	208,7	11,4	6,3
D	10	241,6	212,0	12,5	7,3
D	11,5	244,3	218,2	11,9	6,3
D	13	246,3	204,2	11,3	6,3
E	8	233,5	197,2	12,9	7,6
E	10	241,1	205,8	12,8	7,2
E	12	244,6	214,7	11,9	6,5
E	14	246,7	220,2	11,8	6,3
E	16	247,5	221,6	11,2	5,8

表 11

合金 8 - 0.36Mg + 0.51Si					
	总时间[小时]	Rm	Rp02	AB	Au
A	3	200,1	161,8	13,0	7,0
A	4	212,5	178,5	12,6	6,2
A	5	221,9	195,6	12,6	5,7
A	6	222,5	195,7	12,0	6,0
A	7	224,6	196,0	12,4	5,9
B	3,5	222,2	186,9	12,6	6,6
B	4	224,5	188,8	12,1	6,1
B	4,5	230,9	203,4	12,2	6,6
B	5	231,1	211,7	11,9	6,6
B	6	232,3	208,8	11,4	5,6
C	4	215,3	168,5	14,5	8,3
C	5	228,9	194,9	13,6	7,5
C	6	234,1	206,4	12,6	7,1
C	7	239,4	213,3	11,9	6,4
C	8	239,1	212,5	11,9	5,9
D	7	236,7	195,9	13,1	7,9
D	8,5	244,4	209,6	12,2	7,0
D	10	247,1	220,4	11,8	6,7
D	11,5	246,8	217,8	12,1	7,2
D	13	249,4	223,7	11,4	6,6
E	8	243,0	207,7	12,8	7,6
E	10	244,8	215,3	12,4	7,4
E	12	247,6	219,6	12,0	6,9
E	14	249,3	222,5	12,5	7,1
E	16	250,1	220,8	11,5	7,0

基于这些结果，给出以下注解。

- 5 合金-1 在 A-周期及总时间 6 小时的时效后，其极限抗拉强度 (UTS) 略低于 180MPa。对于双速率时效周期，UTS 数值较高，但在 B 周期 5

小时后仍然不超过 190MPa, 而在 C 周期 7 小时后为 195MPa。对于 D 周期, UTS 数值达到 210MPa, 但在总时效时间在 13 小时之前未达到此值。

合金-2 在 A-周期及总时间 6 小时的时效后, 其极限抗拉强度 (UTS) 略超过 180MPa。B 周期 5 小时后 UTS 数值为 195MPa, 而 C 周期 7 小时后为 205MPa。对于 D 周期, 9 小时后 UTS 数值达到约 210MPa, 12 小时后达到约 215MPa。

合金-3, 它最接近于 Mg_5Si_6 系列富 Mg 侧, 说明合金 1-4 的机械性能最高。在 A 周期后, 总时间 6 小时后, UTS 为 190MPa。对于 B 周期 5 小时, UTS 接近 205MPa, C 周期 7 小时后略超过 210MPa。对于 D 时效周期 9 小时, UTS 接近 220MPa。

合金-4 表明其机械性能低于合金-2 及合金-3。A 周期, 总时间 6 小时后, UTS 不超过 175MPa。对于 D 时效周期 10 小时, UTS 接近 210MPa。

这些结果清楚表明, 用最少的 Mg 与 Si 总量达到的最好机械性能的最佳组合物, 接近于 Mg_5Si_6 系列富 Mg 侧。

对于 Mg/Si 比的另一重要方面是, 低比例看来可在较短时效时间内获得最大强度。

合金 5-8 具有恒定的 Mg 与 Si 总量, 即高于合金 1-4 的。与 Mg_5Si_6 系列相比, 所有合金 5-8 处于 Mg_5Si_6 系列富 Mg 侧。

合金-5, 离 Mg_5Si_6 系列最远, 对于 4 个不同合金 5-8, 表现机械性能最低。合金-5 在 A 周期及总时间 6 小时后的 UTS 数值为约 210MPa。合金-8 在相同周期后, UTS 数值 220MPa。对于 C 周期, 总时间 7 小时, 合金-5 及-8 的 UTS 数值分别为 220 及 240MPa。对于 D 周期 9 小时, UTS 约 225 及 245MPa。

此外, 由此可见, 最高机械性能是用最接近于 Mg_5Si_6 系列的合金获得的。至于合金 1-4, 看来双速率时效周期的效果是最接近于 Mg_5Si_6 系列的合金的最好。

达到最大强度的时效时间, 看来合金 5-8 的比合金 1-4 的更短。这正如所料, 因为时效时间是随着合金含量增加而降低的。此外, 对于合金 5-8, 看来合金 8 的时效时间多少比合金 5 的更短一些。

总延伸率值看来几乎与时效周期无关。在最大强度下，总延伸率值（AB）为约 12%，尽管对于双速率的时效周期，其机械强度值较高。

实施例 2

实施例 2 说明由直接及过热的 6061 合金坯段型条的极限抗拉强度。

- 5 将直接加热后的金属坯段加热至表中所示的温度，并以低于型条表面破坏前的最高速度的挤出速度对其挤出。在煤气加热炉中，预热该过热金属坯段，使之温度达到该合金溶解温度以上的温度，然后加以冷却，降温至表 12 所示的正常挤出温度。挤出后用水冷却该型条，并通过标准时效周期使之时效至最大强度。

表 12 由直接加热的及过热的 AA6061 合金坯段的型条在不同位置上的极限抗拉强度 (UTS)

预热	坯段温度 °C	UTS (前) MPa	UTS (中) MPa	UTS (后) MPa
Dir. Heated	470	287,7	292,6	293,3
Dir. Heated	472	295,3	293,9	296,0
Dir. Heated	471	300,8	309,1	301,5
Dir. Heated	470	310,5	318,1	315,3
Dir. Heated	482	324,3	312,6	313,3
Dir. Heated	476	327,1	334,0	331,9
Dir. Heated	476	325,7	325,0	319,5
Dir. Heated	475	320,2	319,0	318,8
Dir. Heated	476	316,0	306,4	316,0
Dir. Heated	485	329,1	329,8	317,4
Dir. Heated	501	334,7	324,3	331,2
Dir. Heated	499	332,6	327,8	322,9
Dir. Heated	500	327,8	329,8	318,8
Dir. Heated	505	322,9	322,2	318,1
Dir. Heated	502	325,7	329,1	334,7
Dir. Heated	506	336,0	323,6	311,2
Dir. Heated	500	329,1	293,9	345,0
Dir. Heated	502	331,2	332,6	335,3
Dir. Heated	496	318,8	347,8	294,6
直接加热坯段平均UTS及标准偏差		320,8 / 13,1	319,6 / 14,5	317,6 / 13,9
Overheated	506	333,3	325,7	331,3
Overheated	495	334,0	331,9	335,3
Overheated	493	343,6	345,0	333,3
Overheated	495	343,6	338,8	333,3
Overheated	490	339,5	332,6	327,1
Overheated	499	346,4	332,6	331,2
Overheated	496	332,6	335,3	331,9
Overheated	495	330,5	331,2	322,9
Overheated	493	332,6	334,7	333,3
Overheated	494	331,2	334,0	328,4
Overheated	494	329,1	338,8	337,4
Overheated	459	345,7	337,4	344,3
Overheated	467	340,2	338,1	330,5
Overheated	462	344,3	342,9	331,9
Overheated	459	334,0	329,8	326,4
Overheated	461	331,9	326,4	324,3
过热坯段的平均UTS及标准偏差		337 / 5,9	334,7 / 5,2	331,4 / 5,0

利用过热方法的，机械性能一般较高，而且比未过热的还更协调。此外，由于进行过热，其机械性能实际上与挤出之前的金属坯段的温度无关。这使得挤出过程对构成高而协调的机械性能方面更强固，使它有可能对低合金组合物进行操作，而对机械性能要求降低至较低的安全5 边际量。

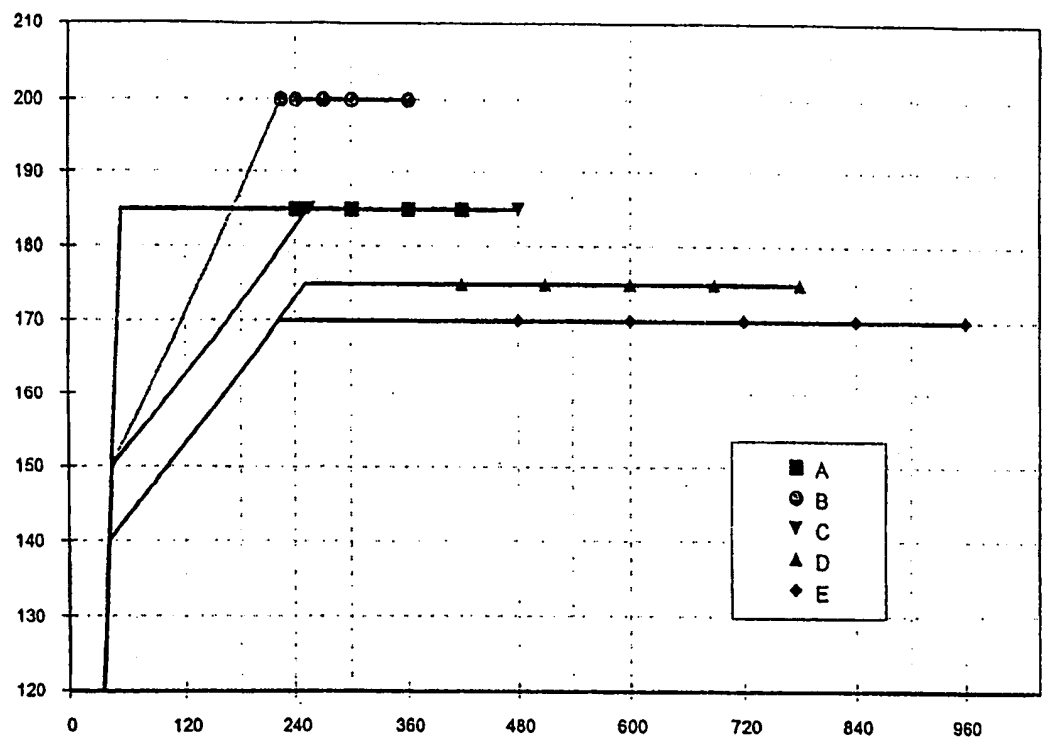


图 1