

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl<sup>7</sup>

C22C 21/00

B22C 9/04

# [12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95190223.7

[45]授权公告日 2002年5月1日

[11]授权公告号 CN 1083899C

[22]申请日 1995.2.22 [24]颁证日 2002.5.1

[21]申请号 95190223.7

[30]优先权

[32]1994.3.31 [33]US [31]08/221,395

[86]国际申请 PCT/US95/02184 1995.2.22

[87]国际公布 WO95/27088 英 1995.10.12

[85]进入国家阶段日期 1995.11.28

[73]专利权人 勃拉希、威尔曼股份有限公司

地址 美国俄亥俄州

[72]发明人 F·C·格林辛 J·M·马德

J·H·布罗菲

[56]参考文献

US3373004A 1968.3.12

US3812898A 1974.5.28 B22C9/04

US4766948A 1988.8.30 B22C3/00

审查员 徐川

[74]专利代理机构 上海专利商标事务所

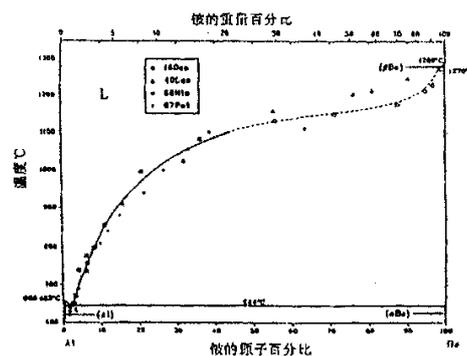
代理人 林蕴和

权利要求书 3 页 说明书 14 页 附图页数 3 页

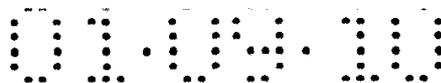
[54]发明名称 含铍铝合金净形状物件及其熔模精密铸造法和应用

[57]摘要

含铍的铝合金及其熔模精密铸造,所说明的是一种实际含有 1 至 99 重量百分比铍的铝基合金,以及用以铸造出净铝-铍合金零件的熔模精密铸造的改良方法。



ISSN 1008-4274



# 权 利 要 求 书

---

1. 一种用以制备含铍铝合金净形状铸件的熔模精密铸造法，其特征在于它包括下列步骤：

(a) 提供一种由固体含铝组分和固体含铍组分构成的合金料；

(b) 将步骤(a)的合金料在置于真空熔炼炉中的具有耐火内衬的坩埚中熔制；

(c) 将步骤(b)所得的金属熔体倒进一次性的壳型模子中；

(d) 令该熔体在该一次性壳型模子中冷却；

(e) 除去该一次性壳型模子。

2. 如权利要求 1 的方法，其特征在于所得的含铍铝合金含有 5 至 80 重量百分比铍。

3. 如权利要求 2 的方法，其特征在于该所得的含铍铝合金含有 5 至 80 重量百分比的散布在大体上为纯铝中的铍。

4. 如权利要求 2 的方法，其特征在于步骤(a)的该固体含铝组分是一种富含铝的组合物，而该所得的含铍铝合金含有 5 至 80 重量百分比的散布在该富含铝组合物中的铍。

5. 如权利要求 4 的方法，其特征在于该富含铝的组合物含有选自镁、镍、硅、银和锂的元素。

6. 如权利要求 1 的方法，其特征在于所得的含铍铝合金具有比铝要高出至少 25%的弹性模量。

7. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于所述的模子保持在真空和/或惰性气氛中。

8. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于用于制备合金熔体的坩埚和模子也保持在真空室中。

9. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于将合金组分加热至



600-700°C的第一温度，然后加热至不超过 1500°C 的过热温度。

10. 如权利要求 9 所述的方法，其特征在于经感应加热达到过热。

11. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于所述的模子被加热至接近于纯铍熔点的温度。

12. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于除去步骤(e)中的一次性壳型模子，得出净形状铸件，该方法还包括：

(f) 将浇口和过量合金材料除去以生成净形物件。

13. 一种用权利要求 1 所述方法制得的经熔模精密铸造的净形状物件，其特征在于它的组成材料是包含 1 至 99 重量百分比铍的铝合金。

14. 如权利要求 13 所述的净形状物件，其特征在于含有 5 至 80 重量百分比的铍。

15. 如权利要求 14 所述的净形状物件，其特征在于含有 5 至 80 重量百分比的散布在大体上纯铝中的铍。

16. 如权利要求 14 所述的净形状物件，其特征在于含有 5 至 80 重量百分比的散布在该富含铝组合物中的铍。

17. 如权利要求 16 所述的净形状物件，其特征在于该富含铝的组合物含有选自镁、镍、硅、银和锂的元素。

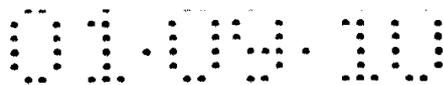
18. 如权利要求 13 所述的净形状物件，其特征在于它具有比铝要高出至少 25%的弹性模量。

19. 一种如权利要求 13 所述的净形状物件，其特征在于它的组分可用方程式  $(30-75\%Be) + (25-70\%Al) + (0.25-5\%X) + (0-5\%Y) + (0-0.5\%Z)$  表示，其中

X 是选自镍、钴和铜的元素；

Y 是银；

Z 是选自钛、锆、硼、钨、钇和稀土族的元素。



20. 如权利要求 19 的净形状物件，其特征在于它具有下列性质：

(a) 热膨胀系数在约  $6.4$  至  $13.0/^\circ\text{F}\times 10^{-6}$  的范围内；

(b) 模量在  $7.0\times 10^5\sim 30.9\times 10^5$  千克/厘米<sup>2</sup> 的范围内； 以及

(c) 密度在  $0.0027-0.0186$  千克/厘米<sup>3</sup> 的范围内。

21. 如权利要求 14 所述的净形状物件在制造致引动器的可旋转臂组和航空电子盒中的应用。



# 说 明 书

## 含铍铝合金净形状物件及其 熔模精密铸造法和应用

### 发明的技术领域

本发明是关于铍及铝的合金的。具体说来，本发明说明一种用以制造含铍的铝合金和以熔模精密铸造技术来使其形成有用结构产品的方法。

### 技术背景

铝和铍的合金在技术上为已知的。比如在 Cooper 的专利 1, 254, 987 中，说明了将铝加进铍中来改善切削加工性能。Fenn 的专利 3, 337, 334 说明并提出申请专利的 Lockalloy 商业化产品(由 Lockheed 和 Berylco 在 1960 年代发展的)，它包含以铝为主的合金和 62 重量百分比的铍。

Lockalloy 是制成片状，并装入 YF12 实验飞机的后机身下翼中 (Dubu, YF-12 Lockalloy 腹翼计划 (YF-12 Lockalloy Ventral Fin Program)，最终报告，NASA CR-144971, 1976)。在引进 Lockalloy 后，对含有 62 重量百分比铍的预制铝合金制成的轧制合金取得了广泛的数据。比如，可参见 London: 合金及复合物 (Alloy and Composites), Beryllium Science and Technology, 第 2 卷, Plenum 出版社, 纽约 (New York) (1979)。

文献上也有报告将第二级及第三级元素加至铝-铍合金中。如 McCarthy 的专利 3, 664, 889 所说明的，加入了镁、硅、镍或银以制备铝和铍的三元及四元合金。这些合金是由迅速凝固的合金粉末用常规方式进行密致化和加工制成。俄国对三元或更多元铝-铍合金的研究，散见在 Molchanova, 600°C 时在 Al-Be-Ni 系统的相平衡

(Phase Equilibria in the Al—Be—Ni System at 620 Deg. C), Vest. Mosk. Univ. Khim, 第 27(3)卷, 第 266—271 页(1986); Komarov, 用热处理来增加 Al—Be—Mg 合金在熔焊接点的强度 (Increasing the Strength of Welded Joints in an Al—Be—Mg Alloy by Heat Treatment), Weld. Prod., 第 26(1)卷, 第 32—33 页(1979); Kolachev, 铝铍及镁的结构合金 (Constructional Alloys of Aluminum Beryllium and Magnesium), Metalloved. Term. Obrad. Metal., 第 13 卷, 第 196—249 页(1980); Nagorskaya, Al—Be—Mg—Zn 四元系统合金中的结晶过程 (Crystallization in Al—Be—Mg—Zn Quaternary System Alloys), Metalloved. Term. Obrad. Metal., 第 9 卷, 第 72—74 页(1973)中的说明。

通常会加入少量的铍至富含铝的合金中,以防止铝和其它合金组分在像熔融和浇铸的步骤中发生氧化。第一个例子有位在俄亥俄州(Ohio),艾莫耳(Elmore)的 Brush Wellman 有限公司(Brush Wellman Inc.),它制造并销售供中间厂商(bulk Producer)作进一步加工用的含有 10%或不到铍的富含铝的母合金。下游铝产品中的残余铍含量较宜少于 0.01%。

最近的铝—铍相图显示出一个实际上在两端都没有固体溶解度的简单低共熔物。摘自 Murray 所著 铝-铍系统 (The Aluminum—Beryllium System), 二元铍合金的相图, ASM 国际的合金相图专集 (ASM International Monographs on Alloy Phase Diagrams), 第 9 页(1987)的这个 Al—Be 相图复制在本说明书的图 1 中。

Brush Wellman 已经对含有约 10 至约 75 重量百分比铍的铝合金进行了广泛的研究,可参见 Hashiguchi 所著 供太空应用的铝铍合金 (Aluminum Beryllium Alloys for Aero—space Application), 欧洲太空总署结构材料会议 (European Space Agency Structural Materials Conference), 阿姆斯特丹 (Amsterdam) (1992 年 3 月)。他

作的研究显示,一个含有约 62 重量百分比铍的铝合金相当于含有约 70 容积百分比的铍,而 50 重量百分比铍的合金则相当于含有约 59 容积百分比的铍。另外还发现,该系统合金组合物的密度和弹性模数服从混合物原则,即通常有可能在纯铍和纯铝的性质之间作合金性质的内插。

Brush Wellman 公司 Elmore 研究室的研究也显示可以生产出大的铸锭和预制合金喷雾细粉末的颗粒,其显微组织是铍在铝基体中的复合物。目前 Brush Wellman 是以商标名为 AlBeMet™ 的挤压产品和冲压薄板产品出售这些合金的。

Brush Wellman 使用了两种均可适用的方法将 AlBeMet™ 加工为有用的零件。这两个方法通常都需要在约 1350 至约 1450℃ 的温度范围内,在有陶瓷内衬的耐火坩埚中对铝和铍的起始材料进行真空熔炼。第一个可用的方法是令液化的铝-铍熔体经由耐火喷嘴倾出成一液流,然后被一高速喷射的惰性气流所截交。惰性气流使液流断列成细微的液滴,液滴然后固化形成预制的合金粉末。构成预制合金粉末的单个颗粒具有铝合金基体中含有铍相的非常细微的树枝状显微结构。然后利用冷等静压制、热等静压制或挤压,使预制合金粉末固结生产出整体形状件,接着可经切削加工形成有用的物件。

将 AlBeMet™ 加工形成有用零件的第二个可用的方法,是传统的铸锭浇注操作。它是将熔融的铝-铍合金倒进石墨模腔中,使之冷却成直径为 6 英寸的固态铸锭。该铸件的显微结构是在铝合金基体中有相当粗大的树枝状铍相。去除铸件的保温帽,将其表面刮净,然后进一步压延、挤压或切削加工成最终的型件。这两种都可采用的方法是相当昂贵的,需要有较便宜的最终成型方法。

熔模精密铸造是金属精密制造的一种,它可生成净形状的零件,而降低了后续的切削损失。使用一个按所需零件形状制造的一次性陶瓷壳型来作铸造该合金零件的模子。参见 Horton, 熔模精密铸造

(Investment. casting), 金属手册(Metal Handbooks), 第9版, 第15卷, 第253—287页(1984)。将熔融金属倒进模子中制出零件, 而陶瓷壳型则在与冷却后的金属合金件分离时被毁掉。

在本发明揭示之前, 未见有用于铝-铍合金熔模精密铸造的报导, 因为传统知识认为, 象铝-铍合金系统(参见图1)所见的液相温度和固相温度之间有很大差异的情况, 要熔模精密铸造这种合金时预计会有很大的困难。含有最有用铍含量的铝合金在其液相温度和固相温度之间有很大差异, 这在理论上会使铸造这些合金非常困难, 或者几乎不可能。举例来说, 一种被称为“热撕裂”的在技术上可检查出来的铸件缺陷, 会随着铸造合金之液相温度和固相温度之差的加大而更形严重。参见 Davis, 收缩破裂(Contractioin Cracks), 固化及铸造(solidification and Casting), 第174—176页, 应用科学出版实(Applied Science Publishers), 艾色克思(Essex), 英国(1973)。

本说明书叙述对上述问题的解决办法, 用以制造含铍的铝合金, 另外还说明对金属合金进行熔模精密铸造的改进。

#### 发明的目的

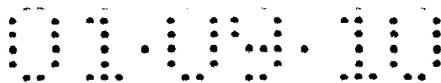
本发明的一个目标, 是要用经改进的熔模精密铸造方法来提供铍加入量在 1 至 99 重量百分比 范围内的净形状的铝基合金零件。

本发明还有一个目标, 是要提供铍加入量较宜在 5 至 80 重量百分比范围内的净形状的铝基合金另件。

另外一个目标则是要提供用以熔模精密铸造的方法, 它可选择性地采用合金元素来改良所得净形状零件的铸造性能及性质。

本发明的再一目标, 是要提供一种用以生产铍加入量较宜在 5 至 80 重量百分比范围内的铝基合金复杂形状零件的成本上有效的经改进的熔模精密铸造方法。

本发明的还一个目标, 是要提供使用接近净形状模子的生产方法来节省切削加工的成本。



本发明另外还有一个目标是要提供一种方法，用此方法可形成含有显著量铍的精确净形状的铝零件。

对那些熟练本技术的人士而言，在读了以下的说明文字后，本发明的其他目标将不言自明。

### 本发明概述

技术上用以由以铝-铍基合金来制造构件的目前趋势，是看好粉末冶金方法。用喷雾法制出预制合金粉末、固结、然后将其接受标准的金属加工作业产生坯件，然后切削加工形成最终零件。

本说明书叙述对含有显著量铍的铝基合金进行熔模精密铸造，用以直接由原料来制造实际上为净形状的铝-铍零件。本说明书中所用“净形状”这个词意在说明一个非常接近其最终形状的零件，即在最终使用该零件前只需非常少的进一步切削加工的熔模精密铸件。

本发明提供一种用以制备含铍铝合金净形状铸件的熔模精密铸造法，它包括下列步骤：(a)提供一个固体含铝组分和一个固体含铍组分构成合金料；(b)将步骤(a)的合金料在置于真空熔炼炉中的具有耐火内衬的坩埚中熔制；(c)将步骤(b)所得的金属熔体倒进一次性的壳型模子中；(d)令该熔体在该一次性壳型模子中冷却；(e)除去该一次性壳型模子。该方法还可包括步骤(f)将浇口和过量合金材料除去以生成净形物件。

在一个实施方式中，上述的模子保持在真空和/或惰性气氛中。在另一个实施方式中，用于制备合金熔体的坩埚和模子也保持在真空室中。先将合金组分加热至 600-700°C 的第一温度，然后经感应加热加热至不超过 1500°C 的过热温度。上述的模子被加热至接近于纯铍熔点的温度。

本发明还提供一种用上述方法制得的经熔模精密铸造的净形状物



件，它的组成材料是包含 1 至 99 重量百分比铍的铝合金，较好含有 5 至 80 重量百分比铍，更好含有 5 至 80 重量百分比的散布在大体上为纯铝中的铍。步骤(a)所用的固体含铝组分较好是一种富含铝的组合物，而该所得的含铍铝合金含有 5 至 80 重量百分比的散布在该富含铝组合物中的铍。该富含铝的组合物含有选自镁、镍、硅、银和锂的元素。

本发明成功发使用熔模精密铸造来制造含有铍的铝合金。本申请专利范围的合金(和相对应的零件)具有比其他已知铝合金要低的密度以及接近铍的弹性模量。模量随铍含量增加而增加，并接近为铝在  $7.0 \times 10^5$  千克/厘米<sup>2</sup> 的模量与铍在  $30.9 \times 10^5$  千克/厘米<sup>2</sup> 模量的线性组合。

下表总结本发明各个含铍铝合金的性质。



表 I  
含铍铝合金的性质对照表

Be (重量%)	密度 (千克/厘米 <sup>3</sup> )	模数 (10 <sup>5</sup> 千克/厘米 <sup>2</sup> )	E/Rho (厘米×10 <sup>7</sup> )	CTE (/° F×10 <sup>-6</sup> )
0	0.00271	7.0	26.0	13.1
5	0.00266	8.7	33.1	12.6
10	0.00260	10.3	40.2	12.2
15	0.00255	11.9	47.3	11.7
20	0.00249	13.4	54.3	11.3
25	0.00243	14.8	61.4	10.9
30	0.00241	16.2	68.5	10.5
35	0.00235	17.6	75.6	10.2
40	0.00229	18.8	82.6	9.8
45	0.00226	20.0	89.7	9.5
50	0.00221	21.2	96.8	9.1
62	0.00212	23.8	113.8	8.4
70	0.00207	25.5	125.1	7.9
80	0.00198	27.4	139.2	7.4
90	0.00193	29.2	153.4	6.9
100	0.0186	30.9	167.6	6.4

市场上需求的是具有较高弹性模量和较低密度的铝基合金。如表 I 所示，显示的是一端为纯铝至另一端纯铍之间在性质上的连续变化。比如，和合金的铝基相比，在密度大约相同的条件下，5 百分比铍的增加均可产生高出 25% 的模量。

对铝及铍的熔模精密铸造为选用零件的大小和形状提供了先前并

不知道的活动余地。依据本发明，孔隙度很大的净形状零件只需要非常少的切削加工即可变成成品。结果，和由大整块的坯件象“修剪马鬃” (hog-out) 得到零件产品相比，这就大幅度地降低劳力及材料上的成本了。

本发明可普遍地应用到许多不同的零件，包括有(但不局限于)宇航飞行器机身、紧急出口门锁、转向柱、发动机支架、支撑架构、翼稳定器、转子旋转斜盘、航空电子盒、涡轮发动机、集合管、变速箱、扩散器、颗粒分离器、油箱、定子、压缩机、泵、水力设备、电子仪器组件、光电元件、电脑和磁盘驱动硬件、运动设备等等。

现在，本发明的完整说明将参考以下附图及实施例来提供。

### 附图简要说明

图 1 是最近的铝-铍相图。

图 2 是依据本发明制成的熔模精密铸造铝-铍磁盘驱动臂的 X-射线放射照相。

图 3 是用铝-铍合金依据本发明制成的航空电子盒熔模精密铸造件。

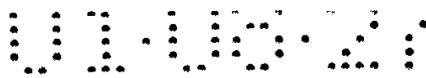
图 4 是由本发明铝-铍合金构成的读/写头组件。

图 5 显示来自图 4 组件的净形单一致动器的臂。对臂所施加的力以向量表示之。

### 本发明详述说明

进行了以下的实施例来制造含有外加铍的铝合金的净形件。这类铝-铍合金是依据所选定的参数经由熔模精密铸来制成净形件的。实施例清楚地表明，依据本发明可以成功地对具有显著铍含量的铝合金进行熔模精密铸造。

在试验开始之前，先将所有的环境健康和安全设备包括辅助性 HEPAVAC 通风装置都安装好。在试验期间和最后的清理期间，都定期



进行空气中的尘粒计数。在试验期间，所有工作人员都穿戴上适当的空气过滤器面罩和衣服。有关安全的进一步细节可由俄亥俄州，克利夫兰(Cleveland)的 Brush Wellman 有限公司获得。

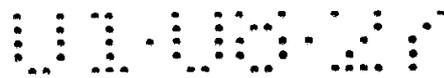
## 实施例 1

### 铝-铍合金零件的熔模精密铸造

将一个重 3.6 千克(8 磅)，占 38 重量百分比的干净铝棒和占 62 重量百分比的干净铍块作为合金料放入一个感应加热的氧化铝-氧化镁坩埚中。纯度为 99+百分率的铝条是得自麻州(Massachusetts)，瓦得希尔(Ward Hill)的 Alfa Johnson Mathey 公司，而等级 B-26-D 的铍是由 Bursh Wellman 公司供应的。坩埚放在可抽真空至  $1.33 \times 10^{-2}$  帕( $1 \times 10^{-4}$  托)的水冷不锈钢室中。同样位于不锈钢室内的还有一个电阻加热的预加热炉，其中装有陶瓷壳型模子。模子是将氧化铍(BeO)料浆浇在蜡模中制成的，蜡模由通过竖浇口彼此相接的三根棒构成。对于市售零件，则以符合所要求结构的蜡模用来制造的。

真空炉配备有一个光学高温计来测量熔融物的温度，还配备一支热电偶来测量陶瓷模子的温度。对预加热炉先启动供电至  $600^{\circ}\text{C}$ 。当模子温度达  $600^{\circ}\text{C}$  时(总时间约 16 小时)，启动感应线圈产生感应场，令铝料在大约 13.3 帕(0.1 托耳)的真空度下熔化。供电至熔炉之间的全部时间为 2 小时。一旦熔化，液体金属的温度上升至  $1375^{\circ}\text{C}$ ，此时熔体过热。此时，因熔体脱气，真空度会降至 106.5 帕(0.8 托)。令熔体保持在  $1375^{\circ}\text{C}$  5 分钟使熔体均匀加热，并有搅拌作用。在保温期间后，将熔体倒进陶瓷模子中，令其凝固。

在浇注完成后，关掉坩埚和模子预加热炉的所有供电电源，任模子冷却过夜。一旦冷却下来，使用锤子和喷砂机使陶瓷壳型与现已固化的铝-铍合金分离开来。在竖浇口切割下条状物，制备成样品供



金相和机械性能试验。铸造合金的显微结构为铝基体环绕着铍枝晶。在显微结构中也观察到几个小的孔隙区域。由于显微结构中有孔，所以未对其他条状物进行切削加工制作的拉伸样品进行测试。

## 实施例 2

### 铝-铍合金磁盘驱动臂的熔模精密铸造

为了显示本发明的原理，对铝和铍进行熔模精密铸造来得到净形状的磁盘驱动臂。所得驱动臂的 X-射线照相图示于图 2。

蜡模是由 Brush Wellman 公司制定规格，由俄亥俄州，密那瓦 (Minerva) 的精密铸件公司 (Precision Castparts Corporation) 设计，用以模拟四指驱动臂。选用这种四指结构是为了表明本发明的适用性。将两个蜡模连接起来，使得两个零件可藉一次浇注获得。将蜡涂敷上去制造一个陶瓷浇注模子，然后使用技术上熟知的“失蜡技术”将蜡除去。

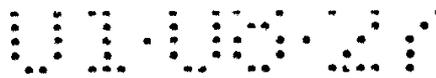
将模子放在真空铸造炉中，然后进行预先电加热。含有 62 重量百分比铍的铝合金在真空炉中进行熔化，倒入实施例 1 所述的模子中，在冷却后，将陶瓷模子由铸件上剥离去掉，留下两个良好形成的驱动臂和结合的浇口 (gating)。对铸件进行 X-射线照相，由图 2 的放射照相可证实它有极好的完整性。

## 实施例 3

### 零件的熔模精密铸造

根据实施例 1 和 2 所述的步骤制造了图 3 所示的航空电子盒。该盒子具有所有适用于现代飞机的特性，包括刚度很高、机械支撑良好、重量轻和除热特性优良并且热膨胀系数足够低能确保在温度变化循环中的稳定性。

同样根据实施例 1 和 2 的方法制造了图 4 和 5 所示的结构。这两个图表示了一个致动器的可旋转臂组，它有一个轴腔使臂组围绕磁



盘驱动器轴旋转，使得读写头在磁盘的径向上定位，其中的臂组就是由主要含有约 1 至 99 重量百分比铍的铝合金藉熔模精密铸造制成的一个单件。

图 4 具体地表示一个硬磁盘驱动的读写组件，它有许多个读写头 12 安装在致动器的臂 14 上。读写头 12 和致动臂 14 一起组装在致动器轴 16 上，后者是通过线圈 18 与安放在磁铁罩 22 内的磁铁 20 之间的作用来旋转的。致动器臂 14 用弹簧支承在磁盘上(当磁盘静止不动时)。当磁盘旋转，在读写头 12 底下会有空气压力形成，使致动器臂提升至略高于磁盘的位置。

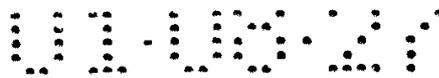
如图 5 所示，致动器臂 14 会受到垂直力 24 与角作用力 26 的作用。致动器臂 14 要有足够的刚度，以减少垂直振动的振幅，并避免在致动器臂 14 的上方或下方损伤到磁盘。同样地，致动器臂 14 还要有足够的刚度，以减少横向振动的振幅，为磁盘上按适当地址进行读写提供更迅速的反应时间。采用层压材料，可有效地减少主要在垂直方向上的挠曲。本发明制成的铝-铍合金则可有效地减少垂直及横向两个方向上挠曲。

#### 实施例 4

##### 三元 Al-Be-Ni 合金的熔模精密铸造

采用重 4.5 千克(10 磅)的合金炉料，它含有 35 重量百分比的干净铝棒、62 重量百分比的干净铍块和 3 重量百分比的镍粒(纯度 99.7%，从 Alfa-Johnson Mathey 获得)。将合金料装入位于实施例 2 所述真空炉内的一个感应加热氧化铝-氧化镁坩埚中。放在电阻预热炉中的壳型模子是按 16 个拉伸测试棒来制造的。对于商业应用，当然是按另件最终用途的形状(比如上述的航空电子盒)取代测试棒的形状来制造模子的。

使用电阻预热炉，约 16 小时期间模子温度就上升至 700°C。启



动感应场，含铝、铍和镍的炉料就在大约 13.3 帕(0.1 托)的真空下熔化。电源开启至熔融之间总共耗时 2 小时。一旦熔化后，液体金属的温度就上升至 1375℃使熔体过热。熔体保持在 1375℃达 5 分钟，使熔体均匀加热并有搅拌作用。在此期间，向炉内通以氩气直到压力达  $9.8 \times 10^4$  帕(1 大气压)。然后将合金熔体倒进陶瓷模子中。

在浇注后，关掉坩埚和预加热炉的电源，任充满有金属的陶瓷模子冷却过夜。一旦冷却下来，使用锤子和喷砂机来使陶瓷壳型和铝-铍合金分离开来。使用带锯将拉伸棒一切下，在浇口上切割下样品供金相分析。

浇铸合金的显微结构是被铝基体所围绕的铍枝晶。由配备有能量散布 X-射线能力的扫描电子显微镜中的检验指出，所加入镍合金元素已迁移进入铍相。在显微结构中仍可观察到孔隙区域，但孔隙区域的容积百分率已减少了。对几根测试棒进行了拉伸性质的测试。发现 0.2 百分比的屈服强度为  $1.55 \times 10^3$  千克/厘米<sup>2</sup>(22, 000psi)，最终抗拉强度为  $1.76 \times 10^3$  千克/厘米<sup>2</sup>(25, 000psi)，伸长比为 2.1 百分比。

将本实施例制成的铸件置于高温等静压机(HIP)中，在施以  $1.05 \times 10^3$  千克/厘米<sup>2</sup>(15, 000psi)压力的同时加热至 450℃达 2 小时。经此处理后的金相分析表明温度、时间和压力的结合可去除掉大部分与表面不连通的孔隙。

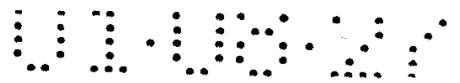
## 实施例 5

### 较多元数的铝-铍合金熔模精密铸造

含有其他元素的铝铍合金可使用实施例 3 所述的方法制造。合金组成可以下列方程式表示：

$$(30-75\text{Be}) + (25-70\text{Al}) +$$

$$(0.25-5\text{X}) + (0-5\text{Y}) +$$



(0-0.5%Z)

其中字母 X、Y 和 Z 代表下表 II 所代表的元素，合金组分的总重量必须等于 100%。

表 II

用于铝-铍合金的合金元素

X-镍、钴、铜

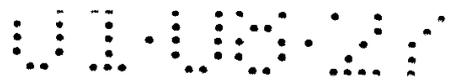
Y-银、硅、铁

Z-钛、锆、硼、钪、钇和所有视作稀土族的元素

举例来说，将占 30 重量百分比的铝棒、64 重量百分比的铍块、3 重量百分比的镍、1.5 重量百分比的银 1.4 重量百分比的硅组成的 4.5 千克(10 磅)合金料放入位于实施例 2 所述真空炉中的感应加热的氧化铝-氧化镁坩埚中。将占 0.1 重量百分比的钛添加物放在一料斗中，以便在进行浇注之前将其加入。将用以接受熔融合金的壳型模子放在电阻加热的预热炉中。该模子可适用一拉伸棒、工程零件、运动设备等的铸造。

使用预热炉使模子温度上升到 350°C 和 1275°C 之间的温度。确切的温度要视模子形状和被铸造的合金而定。如果另有一个模子预加热设备，则模子可以炉外先行加热，而就在浇注之前才放入铸造室中。该铸造室熔融室之间要用一真空紧密的阀分隔开来，铸造室可以有也可以没有自己的热源。

当模子达到选定的预热温度时，启动感应场令铝-铍合金的组分原料熔融在一起。熔融期间的真空度不可低于  $1.33 \times 10^{-2}$  帕(0.0001 托)，否则合金元素会发生过度的蒸发。一旦熔化时，液体金属的温度就上升(但不超过 1500°C)使熔体过热。在进行浇注之前的一分钟，将钛加入熔体中以促进细微晶粒的形成，在最终产品中产生微细的硬质中间金属颗粒的分散体系。加入钛一分钟后，将熔体倒进壳型



模子中。

在浇注后，关掉坩埚和预热炉的电源，令浇有金属的陶瓷模子冷却到室温。另一种办法则是，可自炉中将热模子移出进行冷却。一旦冷却后，使用机械的或化学的方法或者两法并用，将陶瓷模子由铝-铍合金铸件上除去。铸造零件取出可供进一步加工之用。

如本实施例所述的较多组元数的合金，可以采用一个或多个铝合金技术上为人熟知的热处理方法来在强度和延性上进行改良。可在热处理之前或之后，使用如实施例 3 所述的高温等静压制(HIP)步骤。

基于本说明书，可对本发明作各种变化和改变。

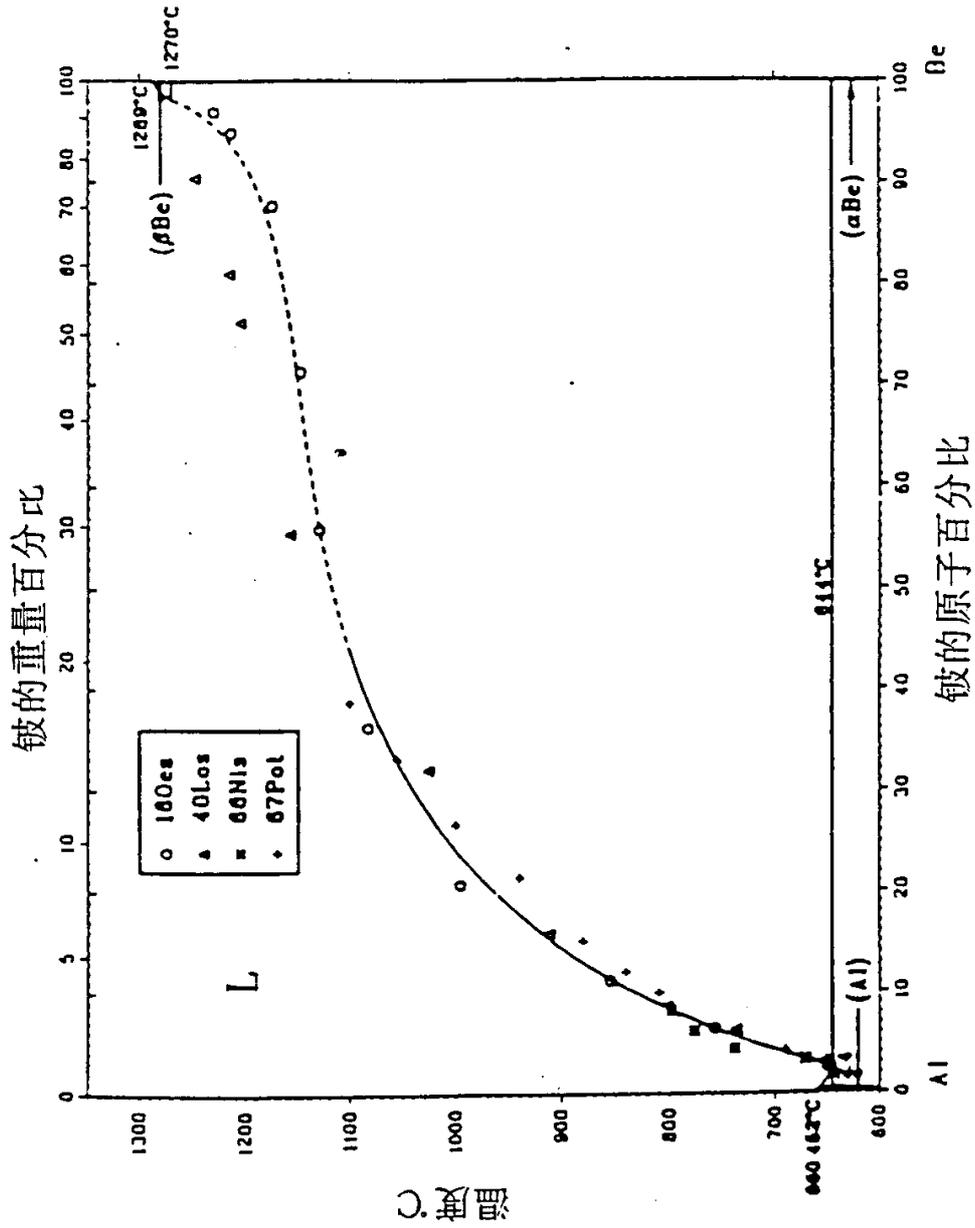


图 1

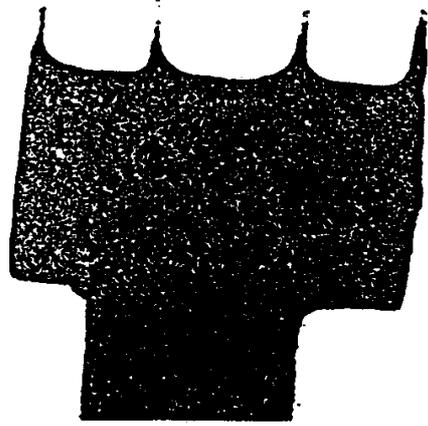


图 2

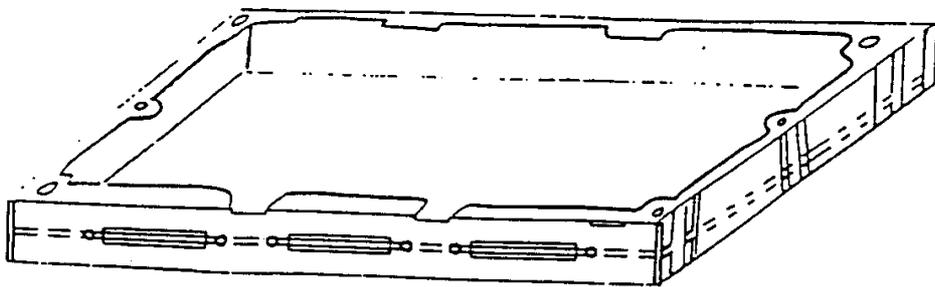


图 3

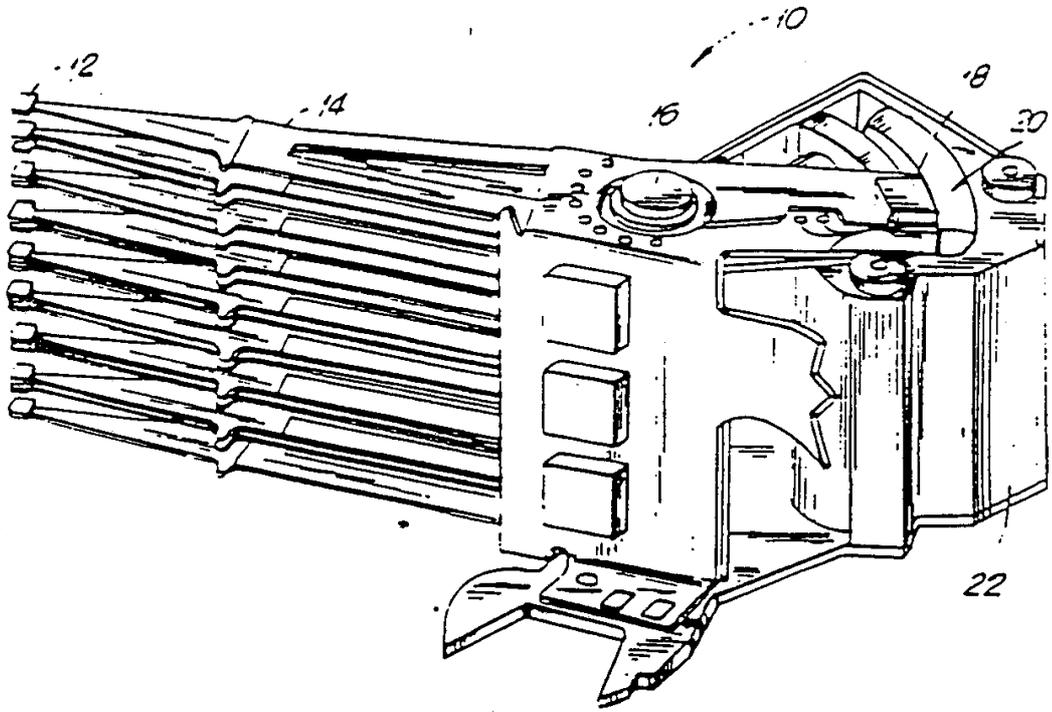


图 4

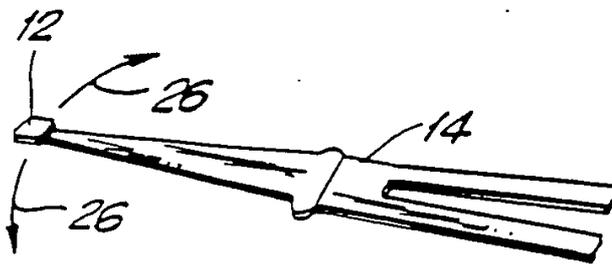


图 5