

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁷

C22F 1/06

B22D 17/00

[12]发明专利申请公开说明书

[21]申请号 01800788.0

[43]公开日 2002年8月28日

[11]公开号 CN 1366560A

[22]申请日 2001.4.9 [21]申请号 01800788.0

[30]优先权

[32]2000.4.7 [33]JP [31]106375/00

[86]国际申请 PCT/JP01/03028 2001.4.9

[87]国际公布 WO01/76792 英 2001.10.18

[85]进入国家阶段日期 2001.12.3

[71]申请人 玛志达株式会社

地址 日本广岛县

[72]发明人 坂本和夫 渔崎靖夫 坂手宣夫

[74]专利代理机构 上海专利商标事务所

代理人 周承泽

权利要求书1页 说明书12页 附图页数9页

[54]发明名称 轻金属成形制品的制造方法

[57]摘要

一种制造轻金属成形制品的方法,该方法包括下列步骤:对轻金属材料构成的制品进行塑性加工,形成塑性加工的制品;将经塑性加工的制品在250~400℃温度范围进行20分钟至10小时的塑性加工后热处理。结果,制得延性高的轻金属成形制品。

ISSN1008-4274

01·12·003

权 利 要 求 书

1. 一种制造轻金属成形制品的方法，该方法包括下列步骤：

对轻金属材料构成的用于塑性加工的制品进行塑性加工，形成塑性加工的制
5 品；

使经塑性加工的制品在 250–400°C 温度范围进行 20 分钟至 10 小时的塑性加
工后热处理。

2. 如权利要求 1 所述的制造轻金属成形制品方法，其特征在于所述轻金属是
镁合金。

10 3. 如权利要求 1 所述的制造轻金属成形制品方法，其特征在于所述塑性加工
后热处理是一种使塑性加工制品延性很高的热处理。

4. 如权利要求 1 所述的制造轻金属成形制品方法，其特征在于构成塑性加工
用制品的所述轻金属材料由轻金属合金形成，所述方法还包括使塑性加工用的制
品先进行塑性加工前的预热处理，其处理温度低于轻金属合金低共熔体开始熔化
15 的温度。

5. 如权利要求 4 所述的制造轻金属成形制品方法，其特征在于所述塑性加工
前的预热处理进行至少 1 小时。

6. 如权利要求 5 所述的制造轻金属成形制品方法，其特征在于所述塑性加工
前的预热处理在 350–450°C 温度范围进行 10–20 小时。

20 7. 如权利要求 4 所述的制造轻金属成形制品方法，其特征在于进行所述塑性
加工前的预热处理，在塑性加工用制品表面产生由于包含在塑性加工用制品内的
气体膨胀引起的隆起。

8. 如权利要求 1 所述的制造轻金属成形制品方法，其特征在于所述包含在塑
性加工用制品内的内部缺陷不超过塑性加工用制品体积的 10%。

25 9. 如权利要求 1 所述的制造轻金属成形制品的方法，其特征在于通过固化
半熔化轻金属来形成塑性加工用的制品。

10. 如权利要求 1 所述的制造轻金属成形制品方法，其特征在于所述塑性加
工用的制品是通过注模成形轻金属来形成。

30 11. 如权利要求 10 所述的制造轻金属成形制品的方法，其特征在于所述熔化
轻金属处于低于该轻金属熔点的半熔化状态。

01·10·003

说 明 书

轻金属成形制品的制造方法

5 发明领域

本发明涉及轻金属成形制品的制造方法，在该方法中对用于轻金属塑性加工的制品进行塑性加工和其后的热处理。

发明背景

10 金属材料的一种成形方法是称作“锻造”的塑性加工法。锻造是将金属材料如坯料置于在模具中，锤打成要求的形状。当锻造轻金属材料时，通常使锻造制成的锻造制品经过 T6 热处理，来提高机械性能。T6 热处理是一种两步热处理，先是固溶处理，即保持在高温一个预定时间，提高材料组成的均匀性，随后进行时效沉淀硬化处理，保持在一较低温度一个预定时间，提高硬度。

15 铸造—锻造结合了铸造和锻造，是另一种成形轻金属材料的方法。铸造—锻造法是例如通过注模成形或压模浇铸进行铸造，制出用于锻造的制品其形状接近于要求的形状，然后将该制品锻造加工成要求的形状。日本专利公开公报平一
20 104800(对应于欧洲专利公报 EP0905266 A1)揭示了一种方法，是将用铸造—锻造来成形的轻金属材料锻造制品进行 T6 处理，包括处理温度为 380–420°C，处理时间为 10–24 小时的固溶处理以及处理温度为 170–230°C，处理时间为 4–16 小时的时效沉淀硬化处理。

然而，当铸造—锻造是采用注模成形或压模浇铸作为进行铸造的方法时，在所得锻造用的制品中会产生内部缺陷如气体缺陷。通过例如使半熔化金属流入膜腔或改进的模具，固然可以减少这种内部缺陷的数量，但要完全消除是极为困难的。当用于锻造的制品包含内部缺陷时，存在的问题是锻造后进行的标准 T6 热处理并不能充分改善机械特性，并且由于热处理期间气体缺陷膨胀，在制品表面形成瘤状的隆起，使锻造制品外观遭到破坏。

30 通过进行锻造前的预热处理，将锻造用的制品转变为固溶体并使气体缺陷膨胀，经过此预热处理的制品在锻造以后进行锻造后热处理就能达到改进的机械性能，上述问题可以得到解决。采用这种方法，由于预热处理期间气体缺陷的膨胀出现在锻造用制品表面的隆起，锻造过程可以破坏和消除其一部分，结果能减少

锻造制品表面存在的气体缺陷数量。

然而，锻造后热处理是在和时效沉淀硬化处理(构成 T6 处理的部分)同样的条件下进行。结果是采用这种方法制造的轻金属成形制品的延性差。

5 发明概述

本发明的目的是提供一种制造方法，该方法优化了制品塑性加工后的热处理条件，使制造的轻金属成形制品具有足够的延性。

为达到上述目的，本发明对轻金属构成的塑性加工制品进行塑性加工后的热处理，该热处理温度高于标准 T6 处理的温度，处理时间短于 T6 处理的时间。

10 具体而言，本发明是制造轻金属成形制品的方法，该方法包括下列步骤：对轻金属材料构成的制品进行塑性加工，形成塑性加工的制品；使塑性加工的制品在 250–400°C 温度范围进行塑性加工后的热处理 20 分钟至 10 小时。

15 按照上述方法，在比 T6 处理的时效沉淀硬化处理的温度高，处理时间短的条件下，进行塑性加工后热处理。由本说明书下面描述的实验可以了解，这样做能使延性有效地获得改善，同时保持了强度和屈服强度。

由于在低于 250°C 不能充分改善延性，而在高于 400°C 时屈服强度明显下降，所以采用 250–400°C 的温度范围。

20 由于处理时间短于 20 分钟不能充分改善延性，而热处理时间超过 10 小时会降低延性，所以采用 20 分钟至 10 小时的处理时间。处理时间较好设定为 5 小时或更短，最好是 1 小时。

术语“轻金属材料”指一种密度低的金属如铝或镁，或指它们的合金。一个具体例子是按照 ASTM 标准的 AZ91D 合金。

塑性加工在此指锻造等压力加工。

即使进行目前类型的塑性加工后热处理，所得塑性加工制品中的内部缺陷如 25 气体缺陷会阻止充分达到上述效果。

在由轻金属合金形成轻金属材料的情况，如果对塑性加工用的制品进行塑性加工前的前预热处理，且此处理的温度低于轻金属合金的低共熔体开始熔化的温度，由于靠近塑性加工用制品表面的气体缺陷的膨胀，在其表面会产生隆起。一些隆起在塑性加工时会被破坏和消除，从而减少塑性加工后制品中包含气体的缺陷数量。要在低于轻金属合金低共熔体开始熔化的温度下进行此预热处理的原因，30 是在等于或高于该温度下，塑性加工用的制品会部分熔化，熔化部分的材料组成

不均匀，在塑性加工时会发生该曾经熔化部分的断裂。处理温度宜在 350–450°C 范围。由于塑性加工前产生的隆起可以通过塑性加工消除，塑性加工后热处理时隆起的进一步产生就受到抑制，因此采用这种方法制成的轻金属成形制品具有良好的外观。

5 当塑性加工前的预热处理的处理时间为 1 小时或更长时，在塑性加工用的制品表面上可以有效地产生隆起，而且可以 T6 处理中进行的固溶处理相同的方式，改善材料组成的均匀性。由于此原因，处理时间是 10–20 小时为宜。

塑性加工前预热处理的温度高于塑性加工后热处理的温度，处理时间超过塑性加工后的热处理时间，这样塑性加工后热处理是在较低温度和较短时间进行，
10 就可以抑制塑性加工后热处理产生的隆起。

塑性加工用的制品内包含的内部缺陷较好不超过 10%（体积）。如果内部缺陷不超过 10%，即使采用难以完全除去内部缺陷的非完全闭合模头进行塑性加工，也可以制得缺陷极少的塑性加工制品。如果内部缺陷超过 10%，用非完全闭合模头塑性加工后仍保留有内部缺陷，因此，只有采用完全闭合的模头进行塑性加工，
15 才能制得缺陷很少的塑性加工制品。就是说务使塑性加工用的制品所含的内部缺陷不超过 10%，就可以制得内部缺陷很少的塑性加工制品，而对塑性加工采用的方法没有限制。

当成形塑性加工用的制品时，较好的是在模腔内通入半熔化的轻金属，然后
20 固化该半熔化轻金属材料，成形出塑性加工用的制品。这样做，熔融金属以层流或接近层流的方式进入模腔。结果，可以制造内部缺陷如气体缺陷或缩孔很少的塑性加工用的制品。这意味着可以制造高质量塑性加工用的制品和最终的轻金属成形制品。在此，术语“半熔化”指作为原料的轻金属材料一部分仍处于固体状态，而一部分已熔化变为液体的状态。通常，加热轻金属材料至低于其熔点可达到这种状态。

25 通过注模成形来成形塑性加工用的制品也是较好的。这是因为通过注模成形的塑性加工用的制品，其因所含空气产生的内部缺陷少于通过压模浇铸法制造的，在压模浇铸法中是将雾化的熔融金属装入压模的空腔。注模成形会更为有效，如果按照上面所述将熔融轻金属材料在低于其熔点的半熔化态注入的话。

本领域技术人员在结合附图阅读和理解下面的详细描述后，能更好地理解本
30 发明的这个优点和其它优点。

附图简述

图 1 是本发明一个实施方案中注模成形设备的局部剖面图。

图 2 是列出实验中使用的合金组成的表。

图 3A 和 3B 分别是由注模成形制品在锻造前切割出的一块制品以及锻造后制品的透视图。
5

图 4 是表示合金 A 进行锻造后热处理的轻金属成形制品，其 0.2% 屈服强度、强度和破裂后伸长与热处理温度的关系图。

图 5 是表示合金 B 进行锻造后热处理的轻金属成型制品，其 0.2% 屈服强度、强度和破裂后伸长与热处理温度的关系图。

图 6A-6D 是合金 A 的轻金属成形制品表面的微结构图，该轻金属成形制品已在不同条件下进行过锻造后热处理。
10

图 7A-7D 是合金 B 的轻金属成形制品表面的微结构图，该轻金属成形制品已在不同条件下进行过锻造后热处理。

图 8 是表示合金 A 的 0.2% 屈服强度、强度和破裂后伸长与锻造后热处理时间的关系图。
15

图 9 是合金 B 的 0.2% 屈服强度、强度和破裂后伸长与锻造后热处理时间的关系图。

图 10A 和 10B 所示是锻造用的制品和锻造后制品的俯视图和侧视截面图。

图 11 是表示锻造用的制品在锻造前相对密度与锻造后相对密度之间的关系
20 图，图示的是两种情况下相对密度的最大值和最小值。

图 12 是表示熔化金属的固相比例与注模成形制品相对密度间关系的图。

图 13A-13D 是注模成形制品在热处理前后表面的微结构图。

发明详细描述

下面描述按照本发明一个实施方案制造轻金属成形制品的方法。
25

(铸造法—注模成形法)

<注模成形设备>

图 1 所示是本发明一个实施方案的注模成形设备 1。该注模成形设备对锻造用的制品(塑性加工用的制品)进行成形。

30 注模成形设备 1 包括主体 2、由主体 2 支撑使之可以自由旋转的螺杆 3、安装在主体 2 背面的旋转驱动螺杆 3 的旋转驱动装置 4、固定到主体 2 包围螺杆 3

的筒体 5、以预定螺距沿筒体 5 长度安装在筒体 5 周围的加热器 6、储存轻金属合金原料的料斗 7、测量料斗 7 中原料并将该原料供给注模设备 1 的进料器 8、以及固定在筒体 5 末端的模头 9。

在主体 2 上装有在筒体内纵向推进螺杆 3 的注射机构。当注射机构监测到由于被向前输送的熔融轻金属合金的力使螺杆 3 后退一段预定距离后，注射装置就使螺杆 3 的旋转后退停止，并以一预定时间使螺杆 3 向前推进从而注射熔化金属。控制螺杆 3 向前推进的速度，由此控制熔化金属通入模腔 12 的速度 9。

在筒体 5 的末端提供喷嘴 10，在筒体内经过搅拌和捏合的熔化金属通过喷嘴 10 注入模腔 12。当在筒体前端聚集预定量的熔化金属时，熔化金属就被压注入模腔 12，而在这种状态达到以前，需要防止熔化金属通过喷嘴 10 流出。为此原因，需按照下面所述控制喷嘴 10 的温度。当熔化金属正在筒体 5 的前端聚集时，喷嘴 10 被已固化的熔凝金属形成的一个冷塞头塞住，而当熔化金属要开始注射时此冷塞头就很容易地随着注射的熔化金属一起被压出朝向模头 9 而除去。在模头 9 和喷嘴 10 之间提供一热绝缘部件，阻止模头 9 从喷嘴 10 吸收热量以致降低喷嘴 10 的温度。喷嘴 10 用陶瓷材料构成。

在筒体 5 周围提供的绝热器 6，可以在多个区段分别控制筒体的温度，使温度朝喷嘴 10 方向沿着筒体 5 纵向逐步升高。通过螺杆 3 沿筒体 5 内部移动轻金属合金时，轻金属合金温度上升。在筒体 5 的前端，控制温度使轻金属合金处于低于熔点的半熔化状态或在熔点和刚高于熔点间的温度的熔化状态。

在料斗 7、进料器 8、筒体 5 和连接这些部件的通道内充入惰性气体(如氩气)，防止轻金属氧化。

模头 9 有一流道 11，从喷嘴 10 引导要注射的熔化金属。流道 11 直接从筒体 5 的喷嘴 10 伸出，然后垂直向上形成 L 形。在 L 形的拐角位置有一个冷塞头接受容器 11a，接受从喷嘴 10 除去的冷塞头。模头 9 还包括连接到流道 11 的一个模腔 12、形成模腔 12 和流道 11 之间边界的浇口 13，位于模腔 12 的浇口 13 以远的溢口 14，所述溢口 14 可接受被熔化金属置换出来的原来在模腔 12 中的气体。

<注模成形>

下面描述注模成形轻金属合金的方法。

首先，在注模设备 1 的料斗 7 中放入作为原料的轻金属合金(如 Mg-Al 合金)碎片。在进料器 8 中测量一预定量的轻金属合金碎片，进入注模成形设备 1。

之后，轻金属合金碎片通过筒体 5 内螺杆 3 的旋转而输送，此时加热筒体 5。

在筒体 5 内，通过螺杆 3 的旋转充分搅拌和捏合轻金属合金碎片，同时加热至预定温度。结果，轻金属合金碎片转变成为半熔化轻金属合金，其固相比例至少有 10%。

按照上述方式产生的熔化金属通过螺杆 3 向前推进，聚集在筒体 5 的前端，

5 螺杆 3 由于按照这种方式聚集的熔化金属的压力而退回。此时，筒体 5 内提供的塞头温度下降，导致部分熔化金属固化，产生覆盖喷嘴 10 的冷塞头，阻止了熔化金属流过喷嘴从筒体 5 流出。

主体 2 上的注射机构监测到螺杆 3 已退回一预定距离时，该机构就停止螺杆 3 的旋转和退回。此时，已有足够一次注射成形的熔化金属聚集在筒体 5 的前端。

10 随后，排放机构乃令螺杆 3 前进，向熔化金属施加压力。结果，熔化金属将冷塞头压出进入模头 9，熔化金属通过喷嘴 10 注入模腔 12。按照这种方式除去的冷塞头则被流道 11 中的塞头接受器所接受。

最后，熔化金属固化后，打开模头 9，取出注模成形的制品(锻造用的制品)。

15 (锻造前预热处理)

通过上面注模成形制造的锻造用制品，对其进行锻造前预热处理(塑性加工前预热处理)，处理时间至少 1 小时，处理温度低于形成锻造用制品的轻金属合金低共熔体开始熔化的温度。锻造前预热处理较好是在 350–450°C 下进行 10–20 小时。预热处理期间，锻造用制品的材料组成均匀性获得提高，而靠近锻造用制品表面的气体缺陷的膨胀导致该制品表面出现隆起。

(锻造)

已经经过锻造前预热处理的锻造用制品，对其进行完全闭合模头锻造(完全闭合模头塑性加工)或者非完全闭合模头锻造(非完全闭合模头塑性加工)。进行完全闭合模头锻造时，模头的锻造空间完全闭合，而进行非完全闭合锻造时，锻造用制品的至少一部分不受到抑制，所以能自由地塑性变形。锻造期间，锻造前预热处理在锻造用制品表面产生的隆起被部分破坏，从而消除。

(锻造后热处理)

30 锻造成形后的锻造制品，然后进行锻造后热处理(塑性加工后热处理)，处理温度在 250–400°C 范围，处理时间为 20 分钟至 10 小时。所得的制品即是本说明

书中所称的“轻金属成形制品”。

经过上述的轻金属成形制品的制造过程后，锻造制品再进行锻造后热处理，和 T6 处理进行的时效沉淀硬化相比，其处理温度较高，处理时间较短。有效提高了制品的延性，同时可以保持制品的强度和屈服强度。

5 锻造之前，锻造用制品还进行锻造前预热处理，其温度高于锻造后热处理，处理时间更长。结果，靠近锻造用制品表面的气体缺陷膨胀，在锻造用制品表面产生隆起。通过锻造过程这些隆起部分地破坏并消除，使制品中存在的气体缺陷量减少。锻造前隆起产生和锻造期间这些隆起被消除，随后的锻造后热处理是在较低温度进行较短时间，因此，锻造后热处理隆起的产生受到抑制，采用这种方法就可以制造良好外观的轻金属成形制品。

10 进行锻造前预热处理的处理时间至少为 1 小时，因此，可以在锻造用制品表面有效产生隆起，和 T6 处理中进行的固溶处理一样，提高了材料组成的均匀性。

15 由于锻造用制品的内部缺陷为 10% 或更少，即使采用非完全闭合模头锻造也可以制造内部缺陷极少的锻造制品，非完全闭合模头锻造是极难完全消除内部缺陷的。所以，可以制造内部缺陷很少的制品，对采用的锻造方法不受限制。

当制造注模成形锻造用制品时，半熔化轻金属合金通入模头的空腔并固化。熔化金属以层流或接近层流方式进入模腔，使得空气很难夹带在材料中。结果，可以制造内部缺陷如气体缺陷或收缩空腔很少的锻造用制品。这意味着可以制造高质量的锻造用制品和轻金属成形制品。

20

(另一实施方案)

上述实施方案描述了轻金属合金碎片加热成为固相比例至少为 10% 的半熔化金属的情况，而轻金属合金碎片可以加热达到在熔点或刚高于熔点温度的状态。

上面的实施方案描述了通过注模成形制造锻造用制品，这对本发明不构成具体限制，因此，可以采用不同方法来成形制造锻造用制品。

(实验 1)

实验研究了锻造制品进行锻造后热处理时采用的处理温度与热处理后锻造制品的强度、0.2% 屈服强度和破裂后伸长的关系。

30 <实验方法>

使用注模成形设备，用合金 A 制造金属板形式的注模成形制品，合金 A 组成

示于图 2。制造期间，控制熔化金属温度，使制得的注模成形制品的固相比例为 5 %，由注模成形材料表面的图象分析确定固相比例。在此使用的合金 A 是按照 ASTM 标准的 AZ91D 合金。按照上述方式，使用注模成形设备，用合金 B 制造金属板形式的注模成形制品，合金 B 组成示于图 2。制造期间，控制熔化金属温度，使制得的注模成形制品的固相比例为 10%。

从各自由合金 A 和 B 制造的金属板形注模成形制品上切出数个块形的锻造用制品，如图 3A 所示，其宽 10mm，长 35mm，厚 21mm。合金 A 制成的块在 410°C 进行 16 小时的锻造前预热处理，而合金 B 制成的块在 400°C 进行 10 小时的锻造前预热处理。

完成锻造前预热处理后，锻造用制品在宽度方向上收缩，对其进行锻造，直到其厚度减小一半，即从 21mm 减小至 10.5mm(锻造加工率为 50%)，如图 3B 所示。

合金 A 和 B 构成的锻造制品在下列温度进行 4 小时的锻造后热处理：170°C、250°C、300°C、350°C 和 400°C。为进行比较，有些锻造的制品不进行锻造后热处理。

之后，对进行锻造后热处理和未进行锻造后热处理的轻金属成形制品，进行张力试验。

进行了 300°C、350°C 和 400°C 锻造后热处理的合金 A 和 B 的轻金属成形制品，进行张力试验后，用显微镜检查它们的微结构。为进行比较，未进行锻造前预热处理和锻造后热处理的轻金属成形制品代之以进行 T6 处理，也检测了这些制品。

对合金 A 的 T6 处理包括在 410°C 16 小时的固溶处理和 170°C 16 小时的时效沉淀硬化处理，而对合金 B 的 T6 处理包括 400°C 10 小时的固溶处理和 175°C 16 小时的时效沉淀硬化处理。

〈实验结果〉

图 4 所示是合金 A 进行锻造后热处理的处理温度与锻造制品的 0.2% 屈服强度、强度和破裂后伸长的关系图，而图 5 所示是合金 B 的同样关系图。由图 4 和图 5 可知，合金 A 和合金 B 随处理温度上升，0.2% 屈服强度趋于下降，强度逐渐提高，破裂后伸长趋于增加。对破裂后伸长，采用和 T6 处理中时效沉淀硬化处理相同的处理温度 (170-230°C) 的热处理，其破裂后伸长小于不进行热处理的情况。但是，当处理温度为 230°C 或更高时，对破裂后伸长有较大的改善，同时不会引起 0.2% 屈服强度或强度的明显下降。

图 6A-6D 是合金 A 构成的轻金属成形制品表面的微结构。图 6A 所示为进行 T6

处理的制品，图 6B 所示为在 300°C 进行热处理的制品，图 6C 所示为在 350°C 进行热处理的制品，图 6D 所示为在 400°C 进行热处理的制品。图 7A-7D 是对合金 B 构成的轻金属成形制品的同样微结构图。图 6 和图 7 中，观察到图 6A 和 7A 中由于合金 A 中化合物 ($Mg_{17}Al_{12}$) 分离（图中黑色部分）而造成的晶粒变粗大。另一方面，
5 在进行了比 T6 处理温度更高处理时间更短的锻造后热处理的轻金属成形制品中，采用 300°C 处理温度的制品，没有清晰的晶粒边界，化合物沉淀很均匀（见图 6B 和 7B）。采用 350°C 处理温度的制品，观察到精细的晶粒边界，化合物沉淀很均匀（见图 6C 和 7C）。采用 400°C 处理温度的制品，观察到晶粒变粗大，但化合物沉淀也很均匀（见图 6D 和 7D）。

10 由张力试验结果以及微结构的观察结果，可以认为形成轻金属成形制品的材料组成在进行锻造后热处理以后会影响材料的延性。即，没有发生重结晶的组成，其晶粒形式不易改变，使得该材料强度高，但延性很差。当发生重结晶后，晶粒可以形式，使材料有延性。然而，据信当晶粒变得太大时，晶粒难以改变形式，使材料脆性，材料的强度和延性都有所降低。

15 因此，为了制造强度非常高的轻金属成形制品，锻造后热处理的处理温度设定在制造的材料组成中观察不到晶粒的温度。而要制造高延性的轻金属成形制品，锻造后热处理的温度设定在制造的材料组成中可以观察到精细晶粒的温度。

（实验 2）

20 实验研究了锻造后制品进行锻造后热处理的处理时间与 0.2% 屈服强度、强度和破裂后伸长的关系。

〈实验方法〉

按照和实验 1 相同的方式，由合金 A 和合金 B 各自制造块形锻造用制品，如图 3A 所示，为 10mm 宽，35mm 长和 21mm 厚。合金 A 制成的块在 410°C 进行 16 小时的锻造前预热处理，而合金 B 制成的块在 400°C 进行 10 小时的锻造前预热处理。
25

完成锻造前预热处理后，各锻造用制品在宽度方向收缩，对其进行锻造，直到其厚度减小一半，即从 21mm 减小至 10.5mm（锻造加工率为 50%），如图 3B 所示。

合金 A 和 B 构成的锻造制品进行锻造后热处理，合金 A 在 300°C，合金 B 在 350°C 进行下列处理时间的锻造后热处理：1 小时、4 小时、10 小时和 15 小时。

30 之后，对进行锻造后热处理和未进行锻造后热处理的轻金属成形制品，进行张力试验。

<实验结果>

图 8 所示是合金 A 进行锻造后热处理的处理时间与锻造制品的 0.2% 屈服强度、强度和破裂后伸长的关系图，而图 9 所示是合金 B 的同样关系图。处理时间为 0 的数据是实验 1 中未进行锻造后热处理的锻造用制品。由图 8 和图 9 可知，
 5 合金 A 和合金 B，当处理时间达到 1 小时，0.2% 屈服强度明显下降，尽管随处理时间达到 1 小时以上 0.2% 屈服强度的下降趋势变缓。当处理时间达到 1 小时强度略有增加，尽管随处理时间达到 1 小时以上强度逐渐下降。另一方面，对合金 A，观察到当处理时间达到 1 小时后，破裂后伸长明显增加，处理时间继续延长未
 10 观察到破裂后伸长明显的变化。对合金 B，当处理时间为 1 小时时，观察到破裂后伸长为峰值，随处理时间继续延长，破裂后伸长趋于下降。由上面的结果可知，合金 A 和合金 B，在热处理的第一小时可以观察到破裂后伸长有大的改善，对合金 B，设定 10 小时或更短的处理时间(较好是 5 小时或更短)，可以获得破裂后伸长有很大改善的轻金属成形制品。

15 (实验 3)

实验研究了锻造用制品的相对密度在非完全闭合模头锻造前后之间的关系。

<实验方法>

使用注模成形设备，在各种条件下制造出圆柱形锻造用制品，如图 10A 所示，在其上表面有一个深 3mm 的圆形凹陷。这些锻造用制品由合金 C 构成，其组成列
 20 于图 2。采用阿基米德法测定制成的锻造用制品的密度，测定值除以理论值(假设没有内部缺陷如气体缺陷)，计算结果乘以 100，得到相对密度值。制造几个相对密度分别为 85%、90% 和 95% 的锻造用制品。

上述锻造用制品然后进行非完全闭合模头锻造，直到获得图 10B 所示的形状。仍如上述测定制得的锻造制品密度，计算各锻造制品的相对密度。

25 <实验结果>

图 11 所示为锻造前锻造用制品相对密度与锻造后制品相对密度最大值和最小值之间的关系。由图 11 可知，锻造前锻造用制品相对密度小于 90% 时，锻造后制品的相对密度为 99% 或更小，且相对密度有很大差异。即，当相对密度小于 90% (即，内部缺陷大于 10% (体积))，非完全闭合模头锻造不能充分消除内部缺陷，因此，这样的锻造不能充分提高材料的强度。

(实验 4)

实验研究了采用注模成形制造的锻造用制品相对密度和固相比例之间的关系。

<实验方法>

5 使用注模成形设备，用合金 A 制造金属板形式的锻造用注模成形制品，此时改变熔化金属温度，即改变固相比例。注模成形过程中，以 10m/s 速度将熔化金属注入模腔。通过注模成形制品表面的图象分析确定固相比例。

然后，按照和实验 3 相同的方式，测量计算按照这种方式制造的锻造用制品的相对密度。

10 <实验结果>

图 12 所示为锻造用制品的相对密度和固相比例之间的关系。由图 12 可知，通过注射半熔融态的熔化金属成形，可获得相对密度高的锻造用制品。具体而言，当固相比例为 10% 或更大时，可以可靠地制造相对密度高的锻造用制品。认为这是由于固相比例为 10% 或更大的半熔化金属有很高的粘度，因此熔化金属在空腔中以层流方式缓慢流动。当固相比例为 10% 或更大时，未观察到相对密度的提高，不能达到 100% 的相对密度。认为这是因为在锻造用制品中不可避免地会产生缩孔。

(实验 5)

20 实验研究了锻造用制品在锻造前预热处理前后的表面微结构。

<实验方法>

按照和实验 1 相同的方式，通过注模成形合金 A 和合金 B，制造金属板形式的注模成形制品。然后，使用显微镜观察这些注模成形制品的微结构。

之后，合金 A 的注模成形制品在 410°C 进行 16 小时的热处理，而合金 B 的注模成形制品在 400 进行 10 小时的热处理。热处理后，使用显微镜再次观察微结构。

<实验结果>

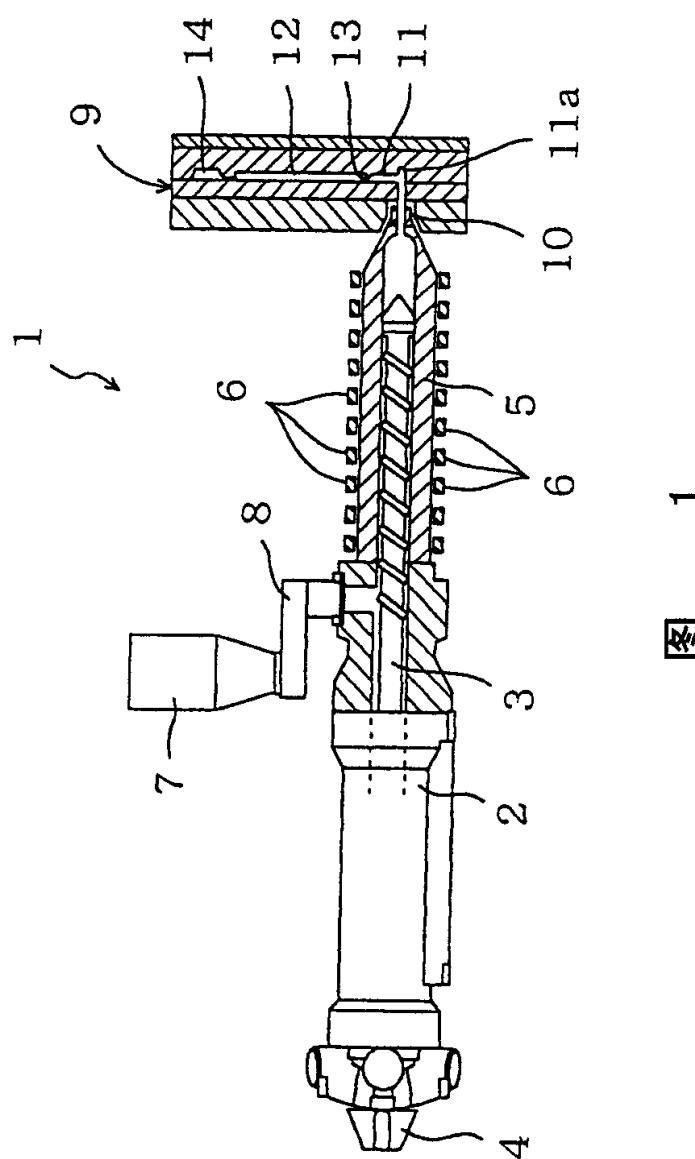
图 13A-13D 是注模成形制品在热处理前后的表面微结构图。图 13A 所示为在热处理前的合金 A 的注模成形制品，图 13B 所示为在热处理前的合金 B 的注模成形制品，图 13C 所示为在热处理后的合金 A 的注模成形制品，图 13D 所示为在热处理前的合金 B 的注模成形制品。由这些图可知，合金 A 和合金 B 构成的注模成形制品的微结构在热处理前后有很大差异。具体而言，热处理前，注模成形制品

的固相部分明显，而在液相部分中发生 $Mg_{17}Al_{12}$ 的结晶(液相部分中的黑色区域)。而热处理后，难以清楚辨认热处理前观察到的固相部分。 $Mg_{17}Al_{12}$ 溶解，因此难以观察。有些晶粒边界依稀可见。

在不偏离本发明精神和基本特点下，可以以其它形式实施本发明。在此申请
5 中揭示的实施方案应认为是说明性的，不构成限制。本发明的范围由权利要求书而不是由前面的描述界定，在权利要求书等价的意义和范围内的所有变化都包括在本发明中。

01.12.03

说 明 书 附 图



图

1

	A l	Z n	M n	S i	C u	N i	F e	M g
合金A	9.1	0.78	0.24	-	0.001	0.0009	0.003	余量
合金B	6.9	0.60	0.23	0.01	0.002	0.0005	0.002	余量
合金C	7.2	0.2	0.22	-	0.001	0.0008	0.003	余量

单位：重量 %

图 2

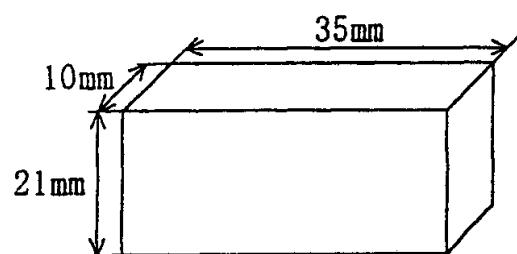


图 3A

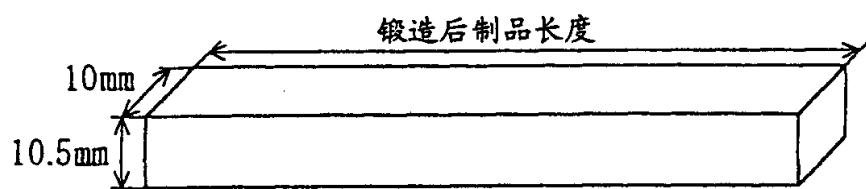


图 3B

01·12·03

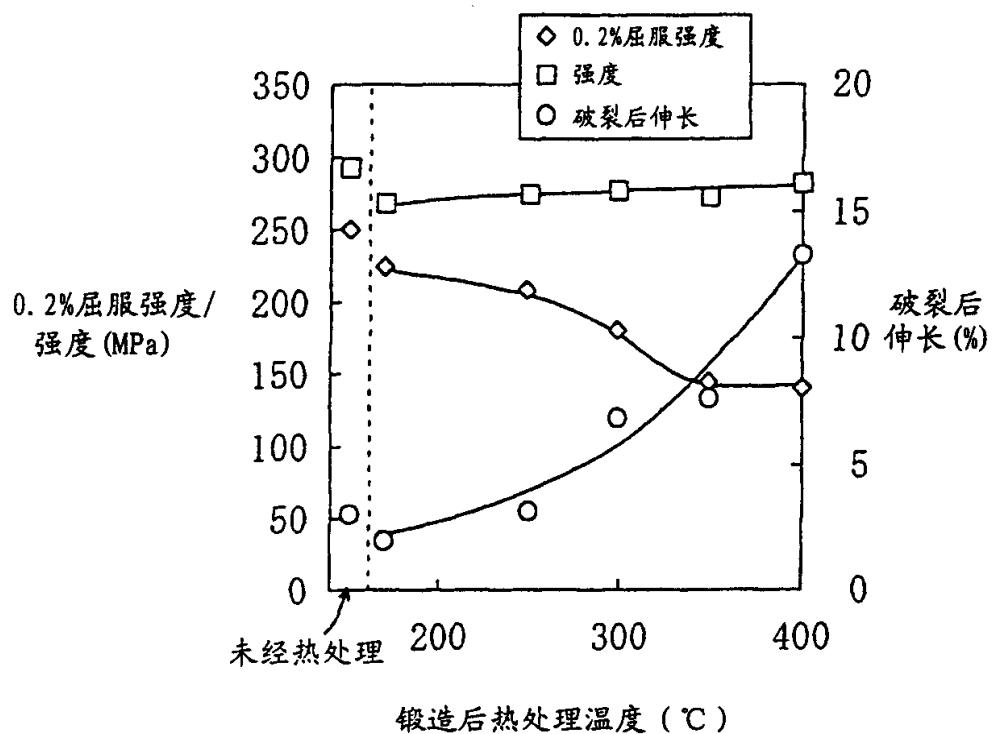


图 4

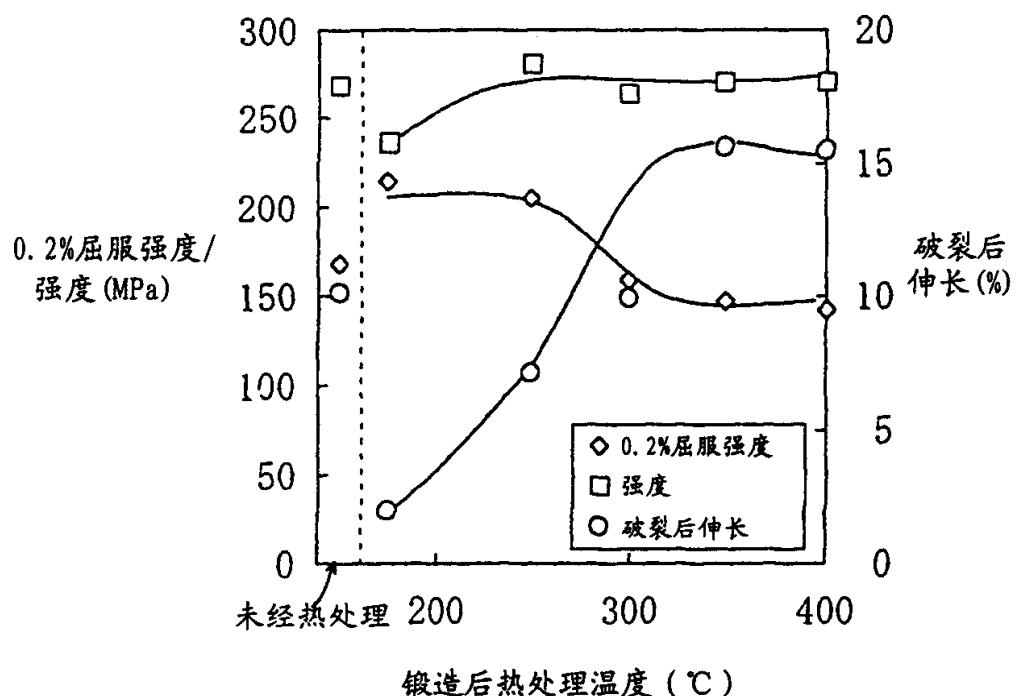


图 5

01-12-03



图 6A
T6处理



图 6B
处理温度 = 300°C



图 6C
处理温度 = 350°C



图 6D
处理温度 = 400°C

01-12-00



图 7A

T6处理

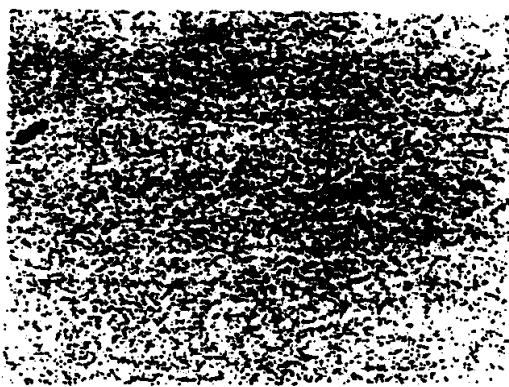


图 7B

处理温度 = 300°C



图 7C

处理温度 = 350°C

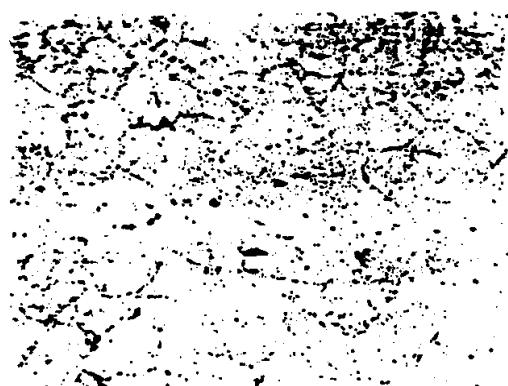


图 7D

处理温度 = 400°C

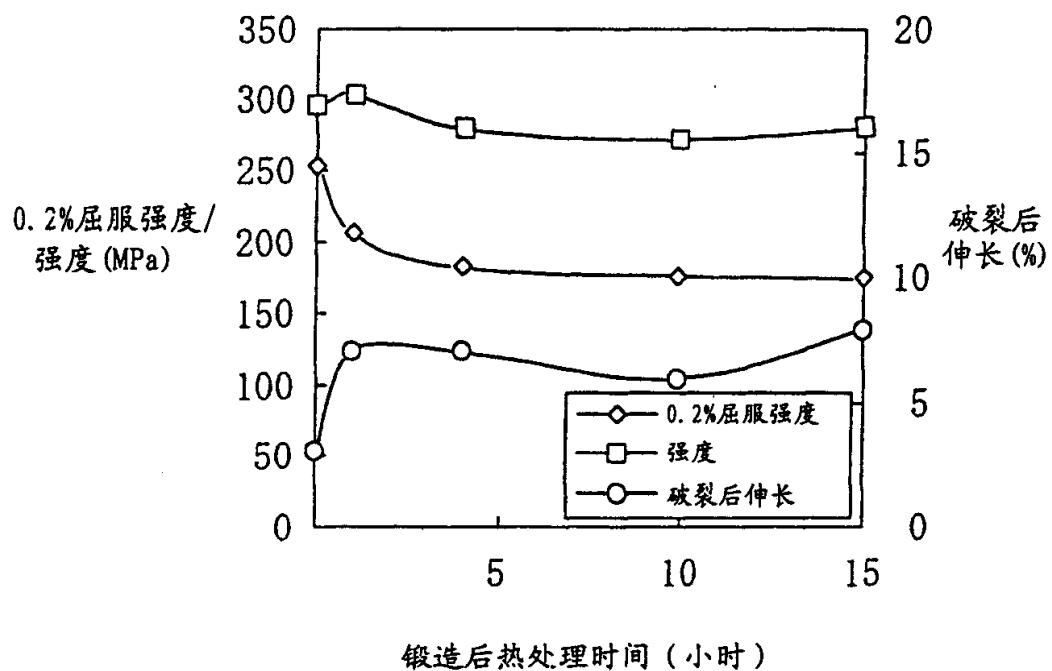


图 8

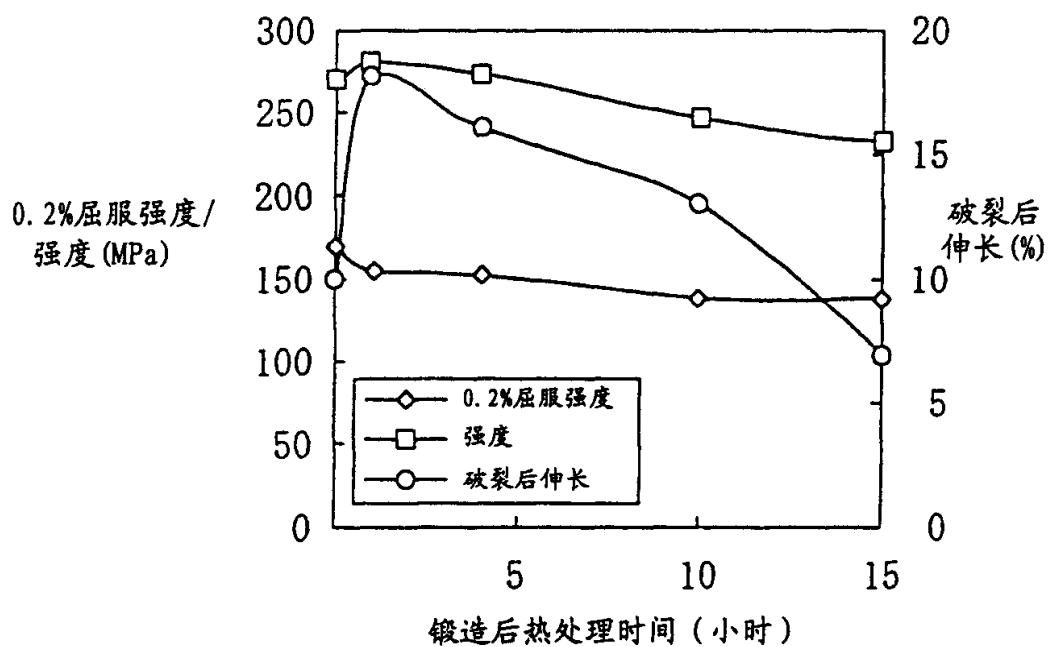


图 9

01.12.03

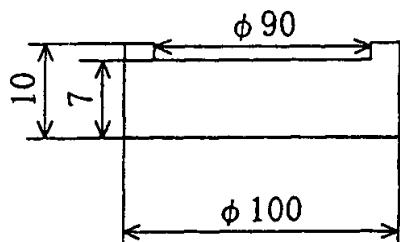
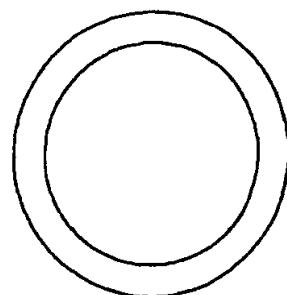


图 10A

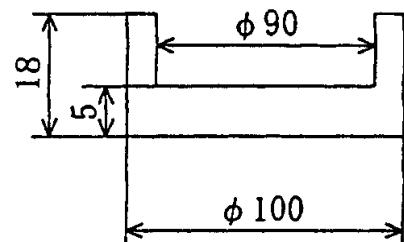
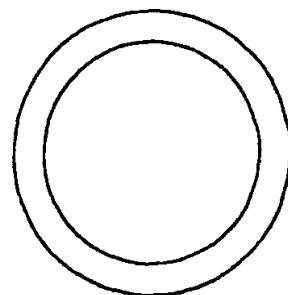


图 10B

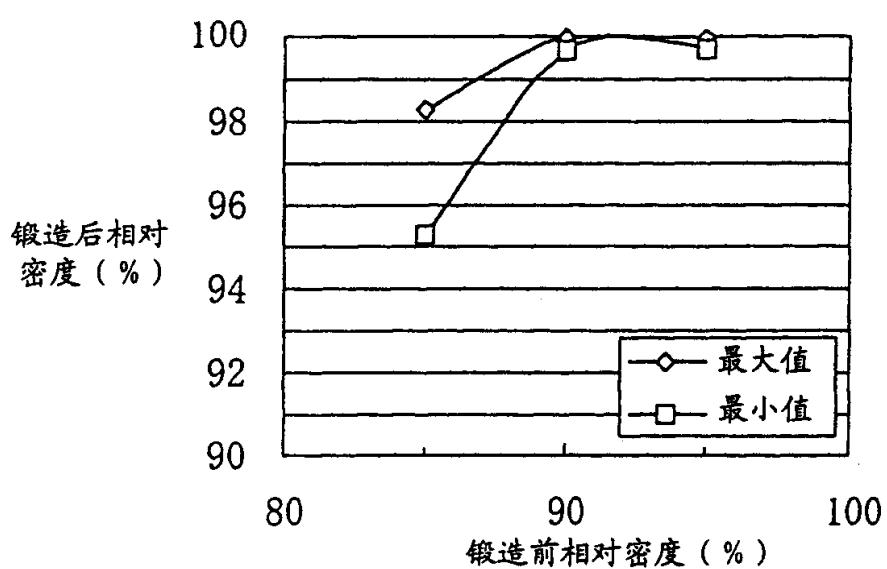


图 11

01-12-00

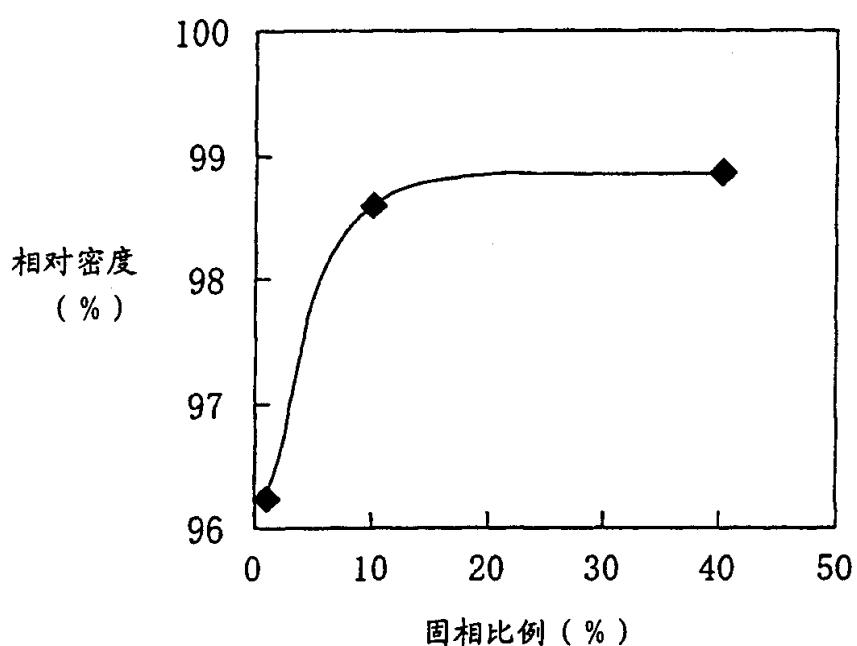


图 12

01-12-00

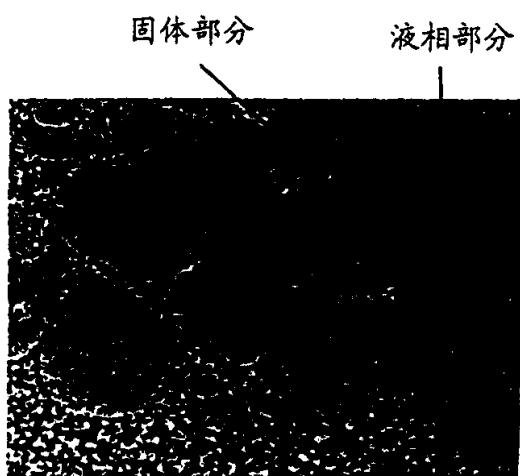


图 13A
合金A热处理前



图 13B
合金B热处理前

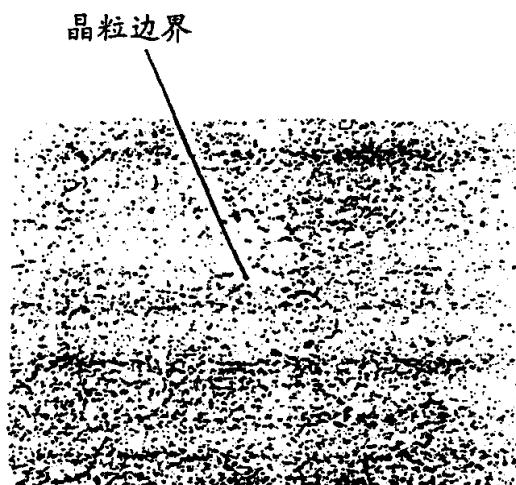


图 13C
合金A热处理后

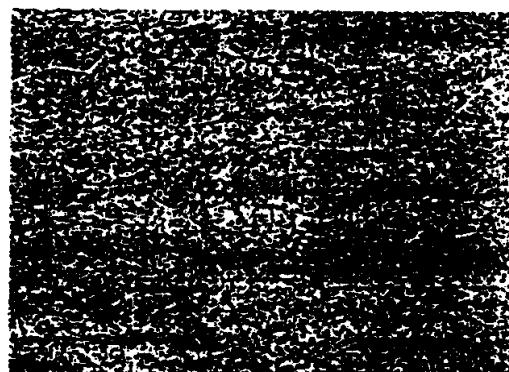


图 13D
合金B热处理后