



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101505891 B

(45) 授权公告日 2011.09.28

(21) 申请号 200780030727.2

(22) 申请日 2007.08.16

(30) 优先权数据

20063703 2006.08.18 NO

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009.02.18

(86) PCT申请的申请数据

PCT/N02007/000284 2007.08.16

(87) PCT申请的公布数据

W02008/020763 EN 2008.02.21

(73) 专利权人 镁工泰克有限公司

地址 德国博特罗普

(72) 发明人 哈康·韦斯滕根 佩尔·巴克

阿曼达·鲍尔斯

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理

有限公司 11112

代理人 丁业平 张天舒

(51) Int. Cl.

B22D 17/08 (2006.01)

B22D 21/00 (2006.01)

C22C 23/02 (2006.01)

(56) 对比文件

EP 1040883 A1, 2000.10.04, 全文.

US 6139651 A, 2000.10.31, 全文.

CN 1096906 C, 2002.12.25, 全文.

WO 2005/089161 A2, 2005.09.29, 全文.

CN 1210897 A, 1999.03.17, 全文.

审查员 范肖凌

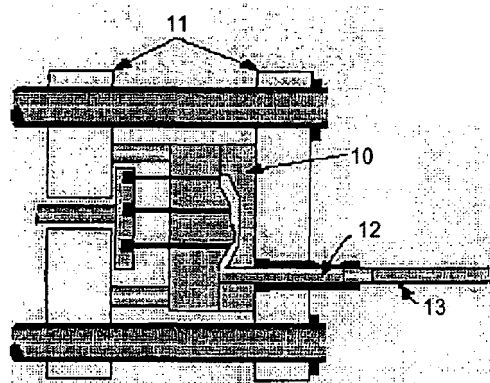
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 9 页

(54) 发明名称

铸造方法和合金成分的结合

(57) 摘要

本发明涉及一种铸造镁合金的方法,所述镁合金包含:10.00重量%-13.00重量%的铝,0.00重量%-10.00重量%的锌;以及5.00重量%-13.00重量%的铝,10.00重量%-22.00重量%的锌;该合金还包含:0.10重量%-0.5重量%的锰,并且余量是镁和不可避免的杂质,其杂质总量低于0.1重量%,其中,在温度被控制在150℃-340℃的铸模中铸造该合金;在以下时间内填充铸模,该时间用毫秒表示,并且等于2至300之间的某一数值乘以用毫米表示的部件平均厚度的乘积;在铸造期间将静态金属压力保持为20MPa-70MPa,并且随后可将其增加到180MPa。



1. 一种铸造镁合金的方法,所述镁合金含有:
10.00 重量% -13.00 重量%的铝,
0.00 重量% -10.00 重量%的锌,或者
5.00-13.00 重量%的铝,
10.00-22.00 重量%的锌,
该镁合金还包含:
0.10 重量% -0.5 重量%的锰,
并且余量是镁和不可避免的杂质,该杂质的总量低于 0.1 重量%,其中,
■在温度被控制于 150℃ -340℃的铸模中铸造该合金,
■在以下时间内填充该铸模,所述时间用毫秒表示,并且等于 2 至 300 之间的某一数值乘以用毫米表示的部件平均厚度的乘积,
■在铸造期间将静态金属压力保持为 20MPa-70MPa。
2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,在进行所述的在铸造期间将静态金属压力保持为 20MPa-70MPa 的步骤之后,将压力增加至 180MPa。
3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法,其特征在于,将铸模温度控制为 160℃ -300℃范围内的温度。
4. 根据权利要求 3 所述的方法,其特征在于,将铸模温度控制为 200℃ -270℃范围内的温度。
5. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法,其特征在于,用毫秒表示的充模时间等于部件的用毫米表示的平均厚度乘以 2 至 200 之间的某一数值的乘积。
6. 根据权利要求 5 所述的方法,其特征在于,用毫秒表示的充模时间等于部件的用毫米表示的平均厚度乘以 3-50 之间的某一数值的乘积。
7. 根据权利要求 5 所述的方法,其特征在于,用毫秒表示的充模时间等于部件的用毫米表示的平均厚度乘以 3-20 之间的某一数值的乘积。
8. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法,其特征在于,在铸造期间将所述静态金属压力保持为 30MPa-70MPa。
9. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法,其特征在于,铸造之后的冷却速率为 10℃ / 秒 -1000℃ / 秒。
10. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法,其特征在于,铝含量为 10.00 重量% -12.00 重量%,且 Zn 含量为 0.00 重量% -10.00 重量%。
11. 根据权利要求 10 所述的方法,其特征在于,铝含量为 10.00 重量% -12.00 重量%,且 Zn 含量为 0.00 重量% -4.00 重量%。
12. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法,其特征在于,铝含量为 6.00 重量% -12.00 重量%,且 Zn 含量为 10.00 重量% -18.00 重量%。

铸造方法和合金成分的结合

[0001] 本发明涉及一种铸造镁合金的方法,该镁合金包含铝、锌和锰,并且余量为镁和不可避免的杂质,其杂质总量低于给定的重量%。

[0002] 镁基合金在汽车工业中被广泛用作铸件,并且在 3C 部件(3C:计算机、照相机和通信)中也越来越重要。镁基合金铸件可通过常规的铸造方法制造,所述方法包括压铸法、砂型铸造法、金属型和半金属型铸造法、石膏型铸造法和熔模铸造法。

[0003] 镁基合金表现出许多特别有利的性质,这些性质促使汽车工业对镁基合金铸件的需求增加。这些性质包括:低密度、高的强度-重量比、优良的铸造性能、良好的机械加工性以及优良的阻尼特性。最常见的压铸镁合金是(例如)Mn 含量小于 0.5%的 Mg-Al 合金或 Mg-Al-Zn 合金,其主要为 Mg-9% Al-1% Zn(命名为 AZ91)、Mg-6% Al(AM60)和 Mg-5% Al(AM50)。

[0004] 专利文献 WO 2006/000022A1 中描述了这样一种镁基合金,其含有锌、铝、钙和/或铍或可有可无的锰,其中提供该合金是为了改善铸镁部件的表面光洁度。然而,该 WO 专利文献没有具体涉及合金的铸造性。

[0005] 本发明是为了提供一种成本相对较低的镁基合金,并且该镁基合金具有改善的表面光洁度和改善的铸造性。

[0006] 本发明的特征在于这样一种合金,该合金含有:

[0007] 10.00 重量%-13.00 重量%的铝,

[0008] 0.00 重量%-10.00 重量%的锌;以及

[0009] 5.00 重量%-13.00 重量%的铝,

[0010] 10.00 重量%-22.00 重量%的锌;

[0011] 该合金还包含:

[0012] 0.10 重量%-0.5 重量%的锰,

[0013] 并且余量是镁和不可避免的杂质,其中杂质总量低于 0.1 重量%,由此,

[0014] ■在温度被控制于 150°C-340°C 的铸模中铸造该合金,

[0015] ■在以下时间内填充铸模,该时间用毫秒表示,并且等于 2 至 300 之间的某一数值乘以用毫米表示的部件平均厚度的乘积,

[0016] ■在铸造期间将静态金属压力保持为 20MPa-70MPa,并且随后可将其增加到 180MPa,如所附的独立权利要求 1 所限定。

[0017] 从属权利要求 2-11 限定了本发明的优选实施方案。

[0018] 通过利用如上文所述的规定的 Mg-Al-Zn 合金和特定的铸造方法的组合,可以制造出具有优异的表面光洁度、合理的韧性以及可接受的机械特性和抗腐蚀性的产品。

[0019] 优选的是,铝含量为 5.00 重量%-13.00 重量%。如果 Al 含量少于 10.00%,则 Zn 含量被限制为 10.00 重量%-22.00 重量%。Zn 含量较低会产生铸造性和表面光洁度的较差组合。

[0020] 如果 Al 含量超过 10.00%,则 Zn 的含量范围可被扩展到 0.00%-22.00%,而仍然获得令人满意的铸造性和表面光洁度。

[0021] 对于要求满足最低韧性的应用来说,以这样的方式选择合金的组成,即,使得铝含量为 10.00 重量% -12.00 重量%,并且 Zn 含量为 0.00% -4.00 重量%。如果合金的组成是:铝含量为 6.00 重量% -12.00 重量%,并且 Zn 含量为 10.00 重量% -22.00 重量%,则可以制得具有均衡的铸造性和表面光洁度的合金。这些合金表现出铸造温度低的优点。

[0022] 下文通过实施例、并参照附图对本发明进一步进行描述,其中:

[0023] 图 1A、B 分别示意性地示出冷室压铸机和热室压铸机。

[0024] 图 2 是示出铸镁合金的凝固速度和显微组织(晶粒尺寸和二次枝晶臂间距(secondary dendrite arm spacing))的关系的图。

[0025] 图 3 是示出 Mg 合金的晶粒尺寸与韧性的关系的图。

[0026] 图 4 是示出 Mg 合金的晶粒尺寸与拉伸屈服强度的关系的图。

[0027] 图 5 示出得自现有技术文献的图表,所述文献为 G.S Foerster,“New developments in magnesium die casting”(镁压铸工艺的新进展),IMA proceedings, 1976 年,第 35-39 页,该文献的作者将组成范围分成可铸造区域、脆性区域和热裂区域。

[0028] 图 6 示出具有液相等温线的 Mg-Al-Zn 相图的富 Mg 角。

[0029] 图 7 示出三种不同的 Mg 合金的固体分数(用重量%表示,在水平轴上)与温度(°C,在垂直轴上)的关系的图。

[0030] 图 8-10 示出利用三种不同的铸模铸造出的三种不同的 Mg 合金部件。

[0031] 图 11 是以示图的方式将采用图 8 的盒式铸模(box die)时的铸造缺陷(裂纹和缺陷筋条的平均数量)绘制为缺陷等量线(line of equal number of defects)的图,其中,Zn 含量沿 x 轴绘制,Al 含量沿 y 轴绘制。

[0032] 图 12 是以示图的方式将采用图 8 的盒式铸模时的以 1-5 级表示的表面光洁度绘制为等级别线的图,其中,Zn 含量沿 x 轴绘制,Al 含量沿 y 轴绘制。

[0033] 图 13 是 z 轴表示拉伸强度(用 MPa 表示)、而 x 轴和 y 轴分别表示 Al 含量和 Zn 含量的图,在该图中,韧性以等延伸率线来表示。

[0034] 图 14 是示出以重量损失计的腐蚀速率的图,该重量损失被表示为等腐蚀速率($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{天}$)线,其中,Zn 含量沿 y 轴绘制,Al 含量沿 x 轴绘制。

[0035] 在图 1A 和 1B 中,分别示意性地示出冷室压铸机和热室压铸机,各压铸机具有分别设置有液压夹紧系统 11、21 的铸模 10、20。

[0036] 通过分别设置有活塞 13、23 的压射缸 12、22 将熔融的金属引入铸模内。在图 1A 所示的冷室系统内,需要具有用于将金属计量供入水平压射缸内的辅助系统。然而,如图 1B 所示,热室压铸机采用直接位于熔融的合金内的垂直活塞系统 12、23。

[0037] 为了获得具有优异性能的 Mg-Al-Zn 合金,必须在非常快的冷却条件下铸造合金。高压压铸工艺就是这样的情况。钢模 10、20 分别配置有油(或水)冷系统,以将铸模温度控制在 200°C - 300°C 。要得到高质量的合金,前提是充模时间短,以避免填充过程中金属凝固。建议充模时间处于 10^{-2} 秒 $\times$ 平均厚度(mm)的数量级。这可通过驱使合金高速(其通常是 30 米/秒 -300 米/秒)通过浇口而获得。使用直径足够大、且速度最高达到 10 米/秒的柱塞来使压射缸内获得期望的体积流量,以达到填充时间短的需要。通常使用的静态金属压力是 20MPa-70MPa,随后可以将压力增加到 180MPa,对于壁较厚的铸件尤其是如此。在采用这种铸造方法的情况下,根据被铸造部件的厚度,结果,部件的冷却速率通常为

10℃ / 秒 -1000℃ / 秒。

[0038] 在图 2 中示出铸造合金的凝固速度和显微组织之间的关系。在水平轴上示出以℃ / 秒表示的凝固速度,左手边的垂直刻度示出二次枝晶臂间距(以 μm 表示),而右手边的垂直刻度示出晶粒直径(以 μm 表示)。线 30 表示所获得的晶粒尺寸,而线 31 是获得的二次枝晶臂间距的值。

[0039] 在进行压铸的情况下,通过冷却速率来实现晶粒细化。如上文所述,通常达到的冷却速率为 10℃ / 秒 -1000℃ / 秒。这通常使得晶粒尺寸为 $5\mu\text{m}$ - $100\mu\text{m}$ 。

[0040] 众所周知,细小的晶粒尺寸对合金的韧性是有利的。在附图 3 中示出了这种关系,该图中示出晶粒尺寸和相对延伸率之间的关系。在水平轴上示出平均晶粒尺寸(以 μm 表示),而垂直轴示出相对延伸率(以%表示)。在图中示出两种不同的组成,一种是纯镁(线 35),另一种是命名为 AZ91(Mg-9% Al,1% Zn) 的 Mg 合金(线 36)。

[0041] 众所周知,细小的晶粒尺寸对合金的拉伸屈服强度是有利的。这种关系(Hall-Petch) 在附图 4 中示出。在水平轴上示出晶粒直径(表示为 $d^{(-0.5)}$),其中,d 用 μm 表示,而垂直轴示出拉伸屈服强度(以 MPa 表示)。

[0042] 因此,显而易见的是,为了获得拉伸强度和韧性,需要通过极快的冷却速率来得到细小的晶粒尺寸,通过压铸工艺容易获得极快的冷却速率。

[0043] 术语“铸造性”表示合金被铸造成为具有所需功能和特性的最终产品的能力。其一般包含 3 类:(1) 形成具有全部期望的几何特征和尺寸的部件的能力;(2) 产生具有期望特性的致密部件的能力;(3) 对压铸模具、铸造设备和压铸工艺效率的影响。

[0044] 在 3C 工业中,需要铸造通常小于 0.5mm 的极薄的薄壁部件,例如笔记本电脑和手机的外壳。这对合金填充铸模、同时提供光滑而有光泽的表面的能力提出了很高的要求。对于这些应用,AZ91 是最常用的合金,这主要是因为其与 AM50 和 AM60 相比具有较好的铸造性。然而,AZ91 薄壁部件的表面常常不令人满意。通常,要在这些部件上施加转化涂层。对于光泽性差的表面(有时包括元素偏析区域)而言,必须采用多层涂层。通常,表面质量越好,需要的涂层就越少。

[0045] 在 20 世纪 70 年代,对含有 0-10 重量%的 Al 和 0-35 重量%的 Zn 的 Mg-Al-Zn 合金进行了检测(文献 G. S, Foerster: “New developments in magnesium die casting”(镁压铸工艺的新进展), IMA proceedings, 1976 年, 第 35-39 页)。图 5 示出的图表(得自 Foerster 的论文)将组成范围分为可铸造区域、脆性区域和热裂区域。在澳大利亚专利 WO 2006/000022A1 中描述的合金主要是在图 5 的可铸造区域内,其中该专利提供了试图改善表面光洁度的方法。本发明的合金组成主要是在现有技术(图 5)所描述的组成范围之外,而且完全在专利 WO 2006/000022A1 中所描述的组成范围之外。在测试期间(将在下文说明),显而易见的是,与以前描述的合金相比,本发明的合金在充模、粘模(die sticking)和热裂方面都表现出相当大的改善。这些在复杂的薄壁部件的压铸过程中都是关键的特征。

[0046] 具有本发明中规定的 Al 和 Zn 含量的 Mg-Al-Zn 合金将在 600℃ 左右开始凝固,凝固温度取决于 Al 和 Zn 的含量。图 6 表明了这一点,其中图 6 示出了 Mg-Al-Zn 相图的 Mg 角中的液相等温线。结果,铸造温度(通常比液相线高 70℃)可以显著低于常规的 AM50、AM60 和 AZ91 合金的铸造温度。由于共晶 $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 相在 420℃ 左右熔融,因此,常规的 Mg-Al

合金（如 AM50、AM60 和 AZ91）具有将近 200℃的凝固范围，这在附图 7 中示出，其中该图示出三种不同合金的固体分数（以重量%表示，在水平轴上）与温度（℃，在垂直轴上）的关系。具体而言，AZ91 在 600℃开始凝固并且在 420℃完全凝固。当 Al 含量增加到 14%（如合金 AZ141）时，合金在 570℃左右开始发生凝固，而在 420℃完全凝固。由于 Zn 的显著存在，合金 AZ85 在 590℃-350℃的范围内凝固。这是由于 Mg-Al-Zn 合金中的 Zn 改变了共晶 $Mg_{17}Al_{12}$ 相，因此，该合金在明显低于 420℃的温度下才完全凝固，而常规的合金 AM50、AM60 和 AZ91 在 420℃就完全凝固。

[0047] 一般来说，提高 Mg-Al 压铸合金中的铝含量可改善压铸性。这是因为 Mg-Al 合金的凝固范围宽，从而使其必然难以铸造，除非在凝固结束时存在足够多的共晶。这可以解释 AZ91D 的优良的铸造性与图 7 示出的冷却曲线一致的原因。在本发明的合金除了含有 Al 之外还含有大量的 Zn 时，在凝固结束时甚至存在更多的（改性的）共晶，这解释了本发明的 Mg-Al-Zn 合金的铸造性得到改善的原因。

[0048] 在熔融状态时，镁合金容易着火和氧化（燃烧），除非用保护气体保护，所述保护气体例如为 SF_6 和含有或不含有 CO_2 的干气（dryair）、以及 SO_2 和干气。随着温度的升高，氧化加剧。通常，还要加入少量的铍（按重量计为 10-15ppm）以减少氧化。已知铍会形成有毒的物质，因此应该谨慎地使用。特别是，由于在废渣/沉淀物中富集含铍化合物，因此，在对清理坍塌而产生的废渣和沉淀物进行处理时需要采取大量的安全措施。本发明的一个优点是：可以在明显低于常规合金的铸造温度下铸造合金，从而减少了对保护气体的需求。由于同样的原因，可以将铍的添加量保持在最低水平。

[0049] 与常规的合金相比，铸造温度较低还具有诸如使计量系统、压射缸和铸模的寿命均得到改善之类的显著优点。特别是在热室压铸的情况下，鹅颈管的寿命会得到显著延长。铸造温度较低的合金还有可能缩短循环时间，从而提高压铸操作的生产率。

[0050] 实施例 1

[0051] 为了评价合金元素的影响，制备了多种 Mg 合金，并且在三个不同的铸模中进行铸造：

[0052] ●带有筋条的盒式铸模，图 8

[0053] ●板/杆式铸模，图 9

[0054] ●三板式铸模，图 10

[0055] 合金组成和铸造温度在下表 1 中示出。

[0056] 表 1

[0057]

	Al (重量%)	Zn (重量%)	铸造温 度 (℃)
AM20	2	0	710
AZ21	2	1	710
AZ22	2	2	705
AZ2-3.5	2	3.5	700
AM40	4	0	700
AZ41	4	1	695
AZ42	4	2	695
AZ4-3.5	4	3.5	690
AZ45	4	5	680
AZ4-14	4	14	650
AZ4-18	4	18	630
AM60	6	0	680
AZ61	6	1	680
AZ62	6	2	680
AZ63	6	3	680
AZ6-3.5	6	3.5	680
AZ65	6	5	670
AZ66	6	6	670
AZ6-12	6	12	640
AZ6-18	6	18	610
AZ71	7	1	680
AZ72	7	2	680
AM80	8	0	680
AZ81	8	1	680
AZ82	8	2	670
AZ8-3.5	8	3.5	670

[0058]

	Al (重量%)	Zn (重量%)	铸造温 度 (℃)
AZ85	8	5	670
AM90	9	0	670
AZ91	9	1	670
AZ96	9	6	650
AZ99	9	9	640
AZ9-12	9	12	620
AZ9-18	9	18	585
AZ9-22	9	22	560
AM100	10	0	660
AZ10-1	10	1	660
AZ10-2	10	2	660
AZ10-3.5	10	3.5	650
AZ10-5	10	5	650
AM120	12	0	650
AZ12-1	12	1	650
AZ12-2	12	2	640
AZ12-3.5	12	3.5	640
AZ12-5	12	5	630
AZ12-6	12	6	630
AZ12-12	12	12	590
AZ12-18	12	18	550
AM140	14	0	640
AZ14-1	14	1	630
AZ14-2	14	2	630
AZ14-3.5	14	3.5	620
AZ14-5	14	5	610

[0059] 下表 2 中给出铸造参数的细节。

[0060] 表 2

[0061]

		速度 1 (米/秒)	速度 2 (米/秒)	制动 (米/秒)	计算出的 填充时间 (毫秒)
铸模 1	拉伸试样	0.5	5	3	50
铸模 2	三板式	0.5	5	2.5	53
铸模 3	盒式	0.5	5	3	40

[0062] 没有使用增强的压力。

[0063] 所进行的测试如下：

[0064] 铸造缺陷的评定

[0065] 针对每种合金中对 10 个任意的盒子进行目视检查。

[0066] 缺陷被分为：

[0067] ●包括不完全填充和冷隔的缺陷筋条

[0068] ●在结点上的热裂纹

[0069] ●端部的裂纹

[0070] 表面光洁度的评定

[0071] 表面光洁度由多人独立地目视检查,并分为 1-5 级(5 级为最好)。

[0072] 拉伸强度和韧性

[0073] 制备根据 ASTM B557M 的直径为 6mm 的测试棒,并使用下面的测试条件：

[0074] ●10kN Instron 测试机

[0075] ●室温

[0076] ●至少 10 个平行测试

[0077] ●应变速率

[0078] -1.5mm/分钟,直到应变达到 0.5%,

[0079] -应变超过 0.5%以后为 10mm/分钟。

[0080] ●根据 ISO 6892 测试

[0081] 抗腐蚀性

[0082] 根据 ASTM B117 进行腐蚀测试。

[0083] 实施例 2

[0084] 在图 11 中,以示图的方式将裂纹和缺陷筋条这两种铸造缺陷的平均数绘制为缺陷等量线,其中,Zn 含量沿 x 轴绘制,A1 含量沿 y 轴绘制。可以看出,在 Zn 含量低(<3%)和 Zn 含量高(>10%)的区域中,裂纹数量最少。可以看出,就铸造缺陷而言,A1 含量为 8 重量%-10 重量%且 Zn 含量<2 重量%的合金尤为优良;Zn 含量越低效果就越好。此外,含有 7 重量%-12 重量%的 A1 和 12 重量%-18 重量%的 Zn 的合金也表现出极少的铸造缺陷。

[0085] 实施例 3

[0086] 在图 12 中,以示图的方式把用 1-5 级表示的表面光洁度绘制为等级线,其中,Zn 含量沿 x 轴绘制,A1 含量沿 y 轴绘制。可以看出,就表面光洁度的等级而言,A1 含量>11 重量%并且 Zn 含量<3 重量%的区域是最好的;Zn 含量越低效果就越好。此外,大致由 A1 含量为 8 重量%-12 重量%且 Zn 含量>10 重量%所限定的区域也提供了表面光洁度优异

的合金。

[0087] 实施例 4

[0088] 在室温下针对多种组成对强度和延伸率进行了测量。结果在图 13 中示出。在此，z 轴表示拉伸强度（用 MPa 表示），而 x 轴和 y 轴分别表示 Al 和 Zn 的含量。在同一图中将韧性表示为等延伸率线。总体上可以看到，拉伸强度（用 MPa 表示）随合金元素含量的增加而提高。增加 Al（重量%）的效果比增加 Zn 的效果更明显。图 13 也表明，以延伸率表示的韧性随合金元素含量的增加而降低。例如，表示延伸率为 3% 的这条线从 12 重量%的 Al 和 0% 的 Zn 这一位置大体上线性地延伸到 0% 的 Al 和 18 重量%的 Zn 这一位置。

[0089] 实施例 5

[0090] 针对多种组成根据 ASTM B117 来确定抗腐蚀性。在该测试中，为了确定 Zn 含量与 Al 含量的关系所带来的影响而引入了大量的数据。结果在图 14 中示出。

[0091] 在该图中，将以重量损失计的腐蚀速率表示为等腐蚀速率线（ $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{天}$ ），其中，Zn 含量沿 y 轴绘制，Al 含量沿 x 轴绘制。可以看出，在 Zn 含量低于大约 8 重量%时，腐蚀速率随 Al 含量的增加而降低，并且几乎与 Zn 含量无关，然而，当 Zn 含量超过约 12 重量%时，腐蚀速率随 Zn 含量的增加而略微地增加，并且几乎与 Al 含量无关。由 8 重量%–12 重量%的 Zn 限定的区域表示过渡区域。具体而言，在 Zn 含量为 0% 时，腐蚀速率由大约 $0.09\text{mg}/\text{cm}^2/\text{天}$ （Al 含量为 4 重量%）降低到大约 $0.03\text{mg}/\text{cm}^2/\text{天}$ （Al 含量为 9 重量%）。在 Al 含量恒定为 9 重量%时，腐蚀速率增加到 $0.05\text{mg}/\text{cm}^2/\text{天}$ （Zn 含量为 8 重量%）以及 $0.11\text{mg}/\text{cm}^2/\text{天}$ （Zn 含量为 14 重量%）。

[0092] 从这些测试结果明显看出，本发明提供了一种铸造镁合金的方法，由此获得了高温蠕变特性、韧性和腐蚀性能优异地结合在一起的产品。

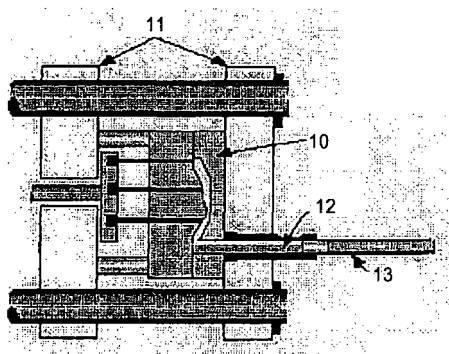


图 1A

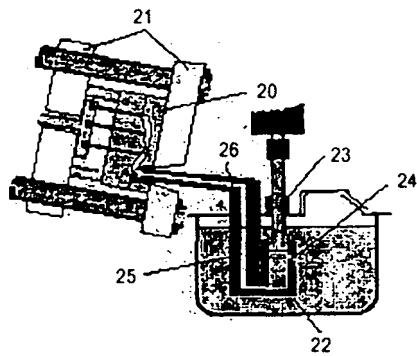


图 1B

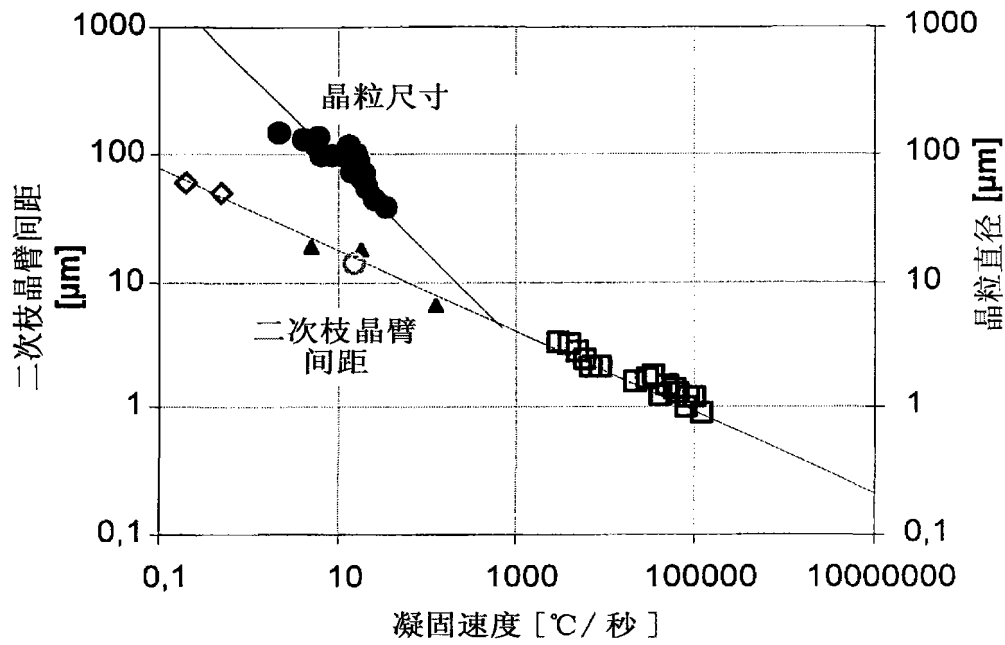


图 2

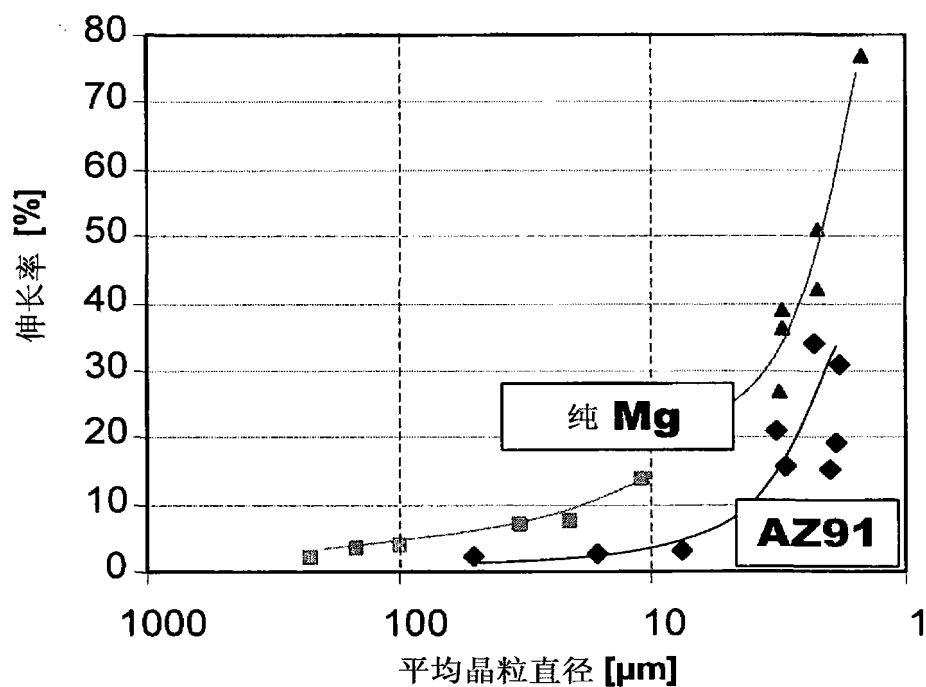


图 3

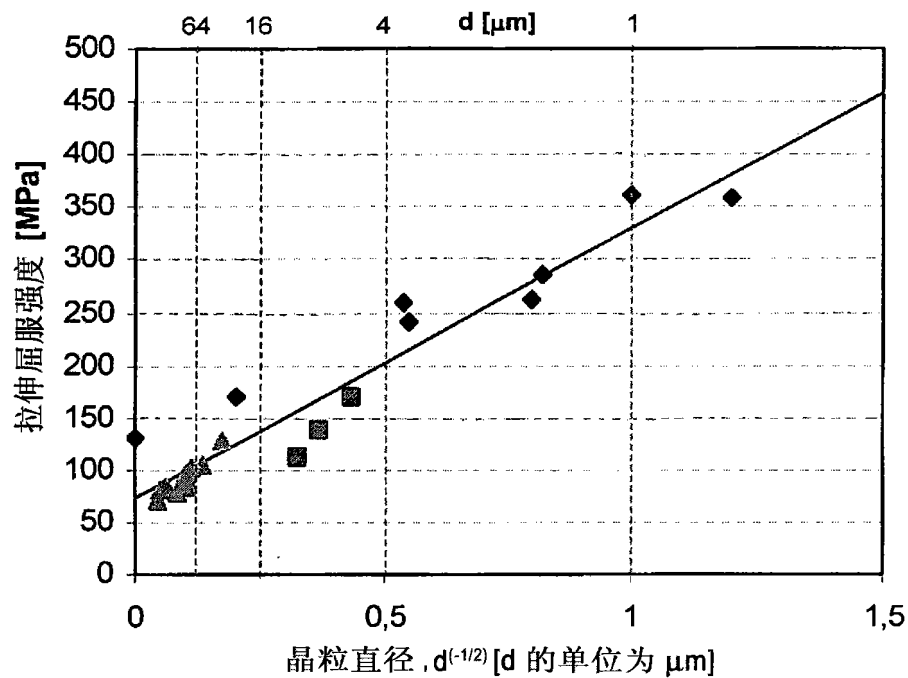


图 4

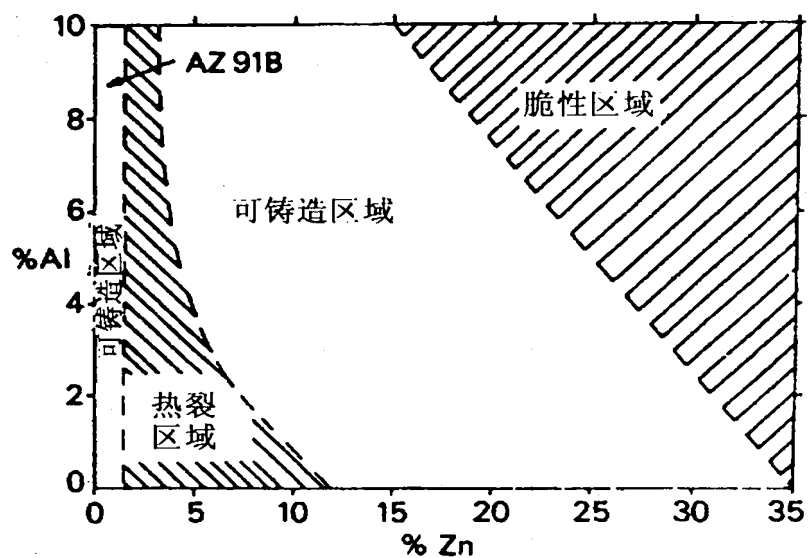


图 5

G. S Foerster: "New developments in magnesium die casting" (镁压铸工艺的新进展), IMA proceedings, 1976 年, 第 35-39 页

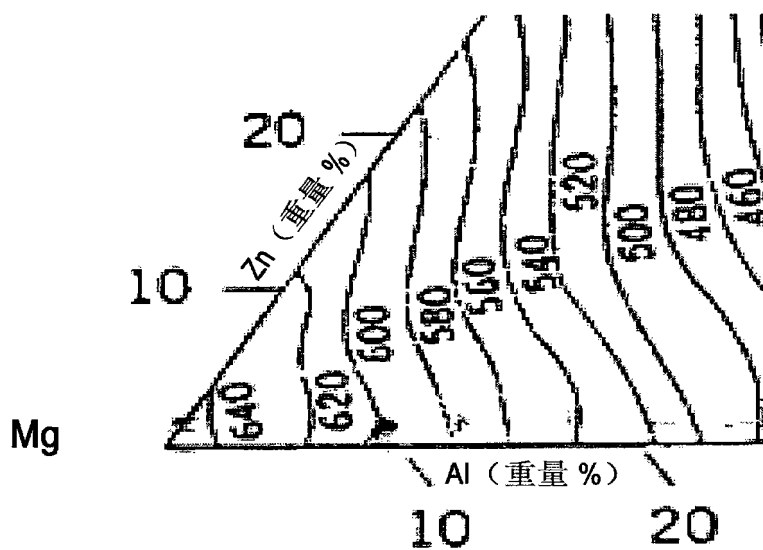


图 6

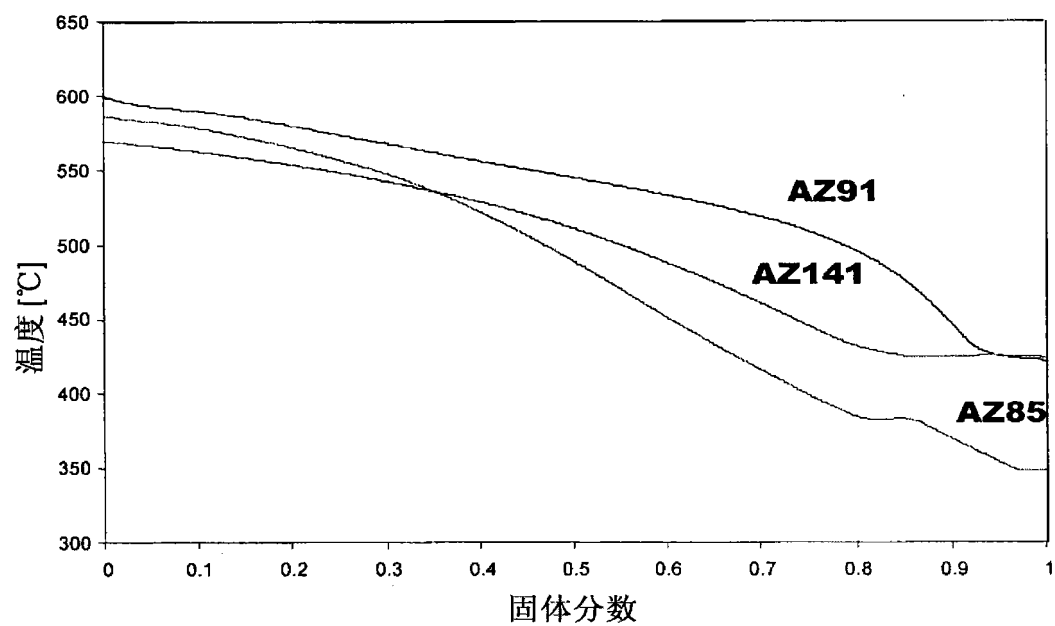


图 7

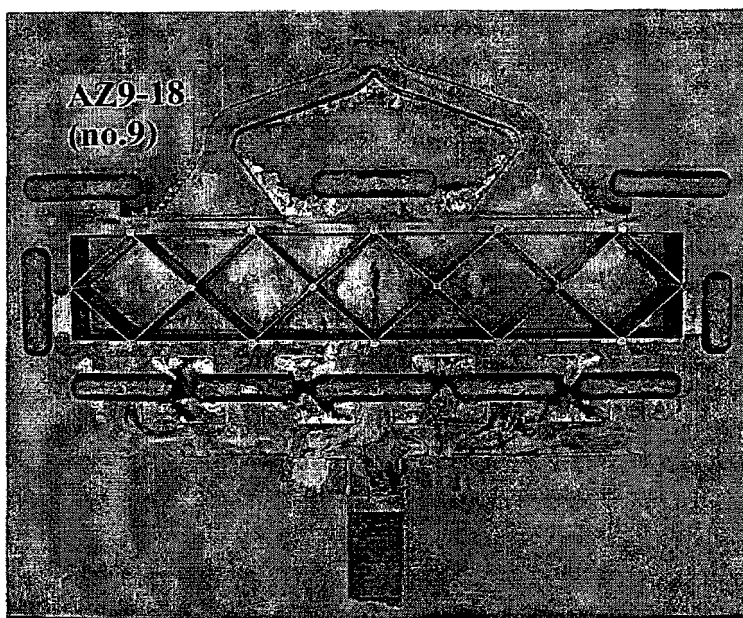


图 8

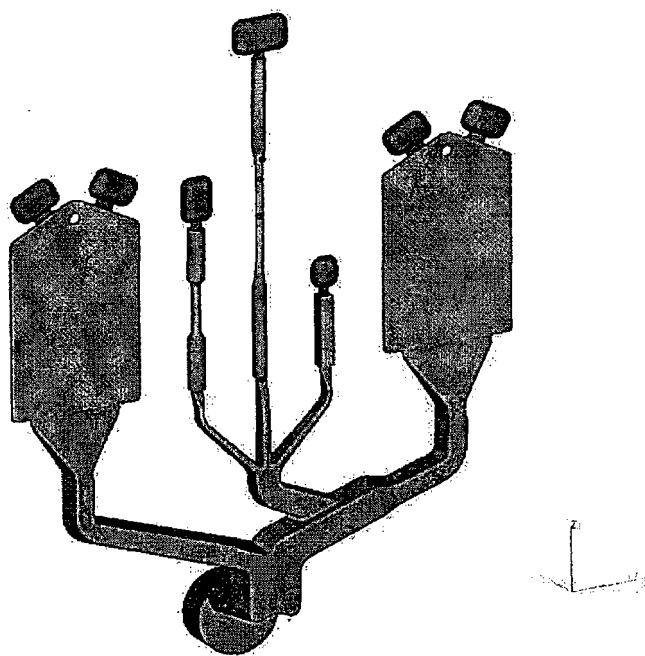


图 9

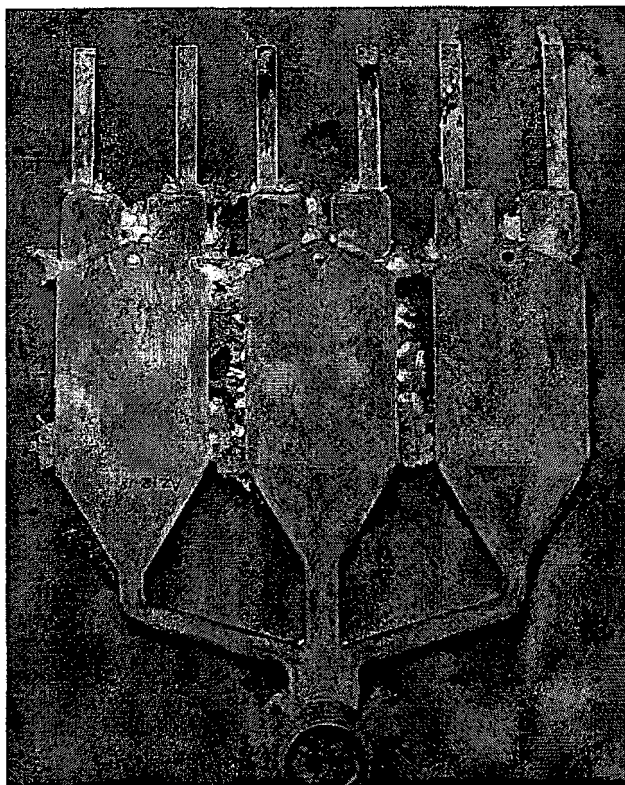


图 10

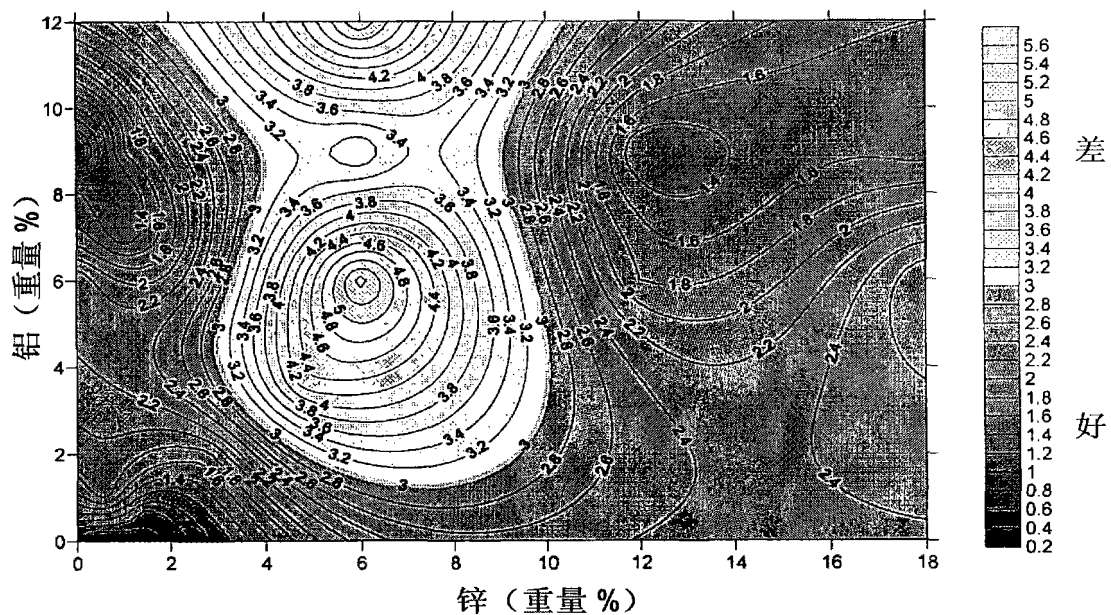


图 11

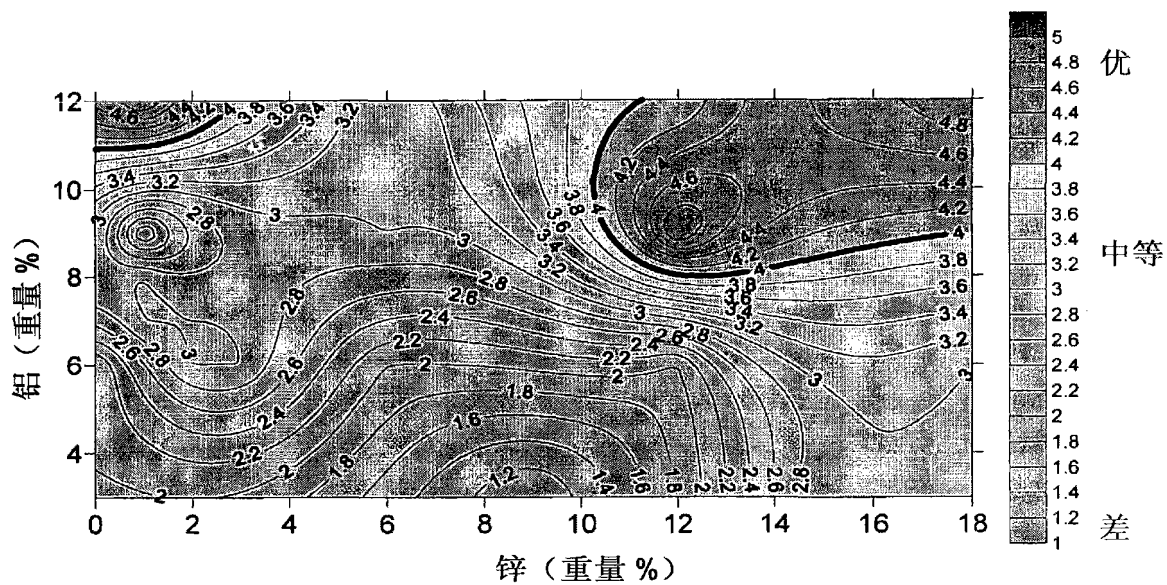


图 12

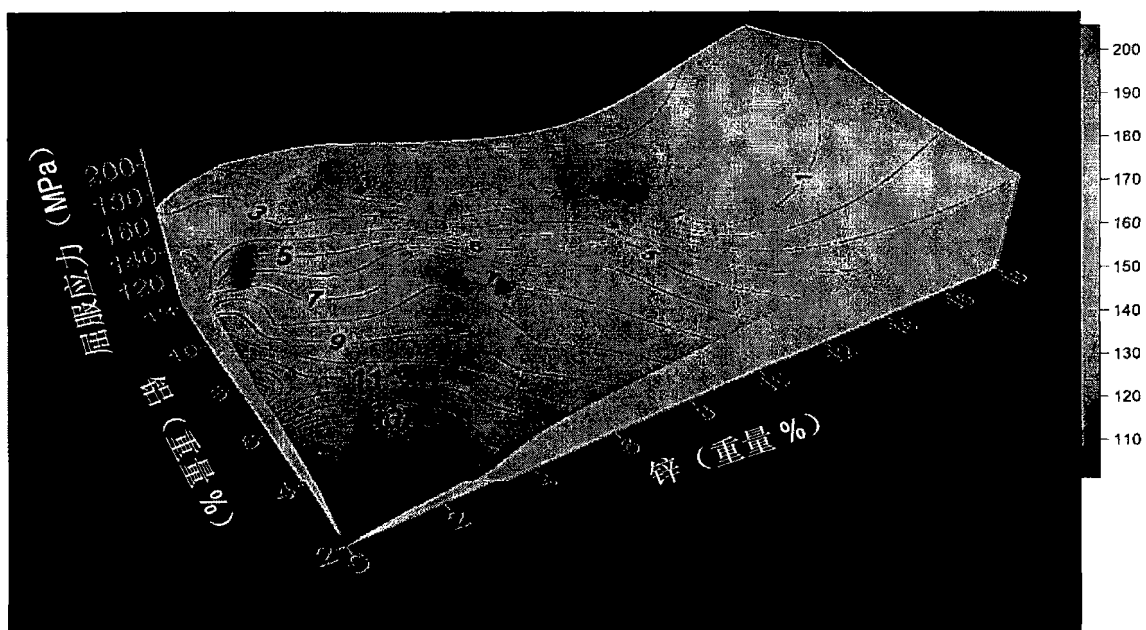


图 13

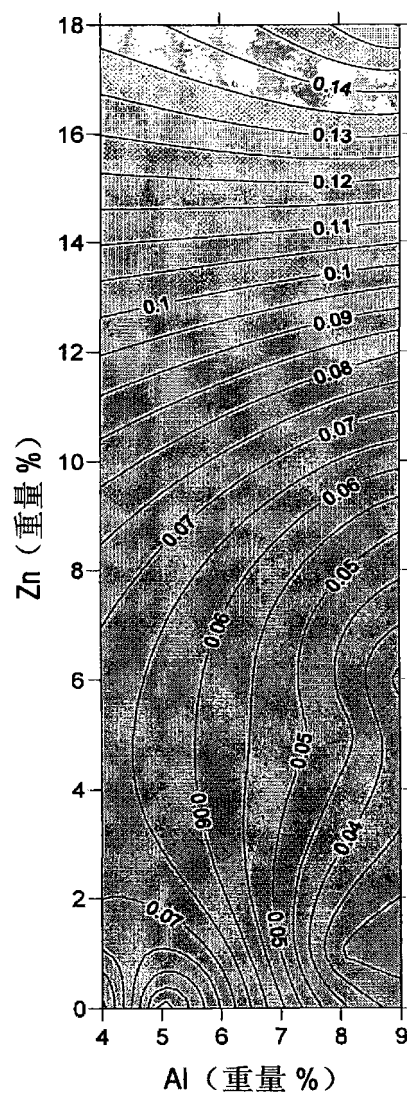


图 14