

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200680020557.5

[51] Int. Cl.

C22C 21/00 (2006.01)

C22B 9/10 (2006.01)

[43] 公开日 2008 年 6 月 25 日

[11] 公开号 CN 101208443A

[22] 申请日 2006.5.1

[21] 申请号 200680020557.5

[30] 优先权

[32] 2005.4.29 [33] US [31] 11/119,002

[32] 2006.4.28 [33] US [31] 11/413,884

[86] 国际申请 PCT/US2006/016714 2006.5.1

[87] 国际公布 WO2006/119234 英 2006.11.9

[85] 进入国家阶段日期 2007.12.10

[71] 申请人 美铝公司

地址 美国宾夕法尼亚州

[72] 发明人 J·D·布赖恩特

J·卡利维亚里尔 M·D·克劳利

J·R·吉尼托 D·M·威廉米

W·E·小博伦 D·亨特

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商
标事务所

代理人 李 帆

权利要求书 6 页 说明书 21 页 附图 13 页

[54] 发明名称

使用碳酸盐生产泡沫铝的方法

[57] 摘要

用于生产铝泡沫产品的方法，其中在受控的条件下向铝合金熔体中引入产生反应气体的颗粒，并进行搅拌以引起产生泡沫稳定的副产物(20)，并且在特定条件下，产生自身用于产生熔融金属泡沫的气体(15)。通过这种方法生产的泡沫产品具有分散在其中的内部形成的金属氧化物(20)和其它固体颗粒，并且无需大量外部添加通常用于铝泡沫生产的稳定陶瓷添加物。本发明要求保护使用低成本的前体材料生产孕育的可发泡熔体的迅速、简单步骤的方法。

1. 制造泡沫铝的方法，包括：

提供在大气压力下具有约 350-约 850℃分解温度的产生反应气体的颗粒；

将产生反应气体的颗粒与包含铝的熔融金属合金结合；

搅拌包含所述产生反应气体的颗粒的熔融金属合金以便使至少部分产生反应气体的颗粒分解为反应气体，其中反应气体与熔融金属合金剧烈结合以产生金属氧化物相和气泡的悬浮体；

在可发泡的悬浮体中分散化学发泡剂以产生孕育的可发泡悬浮体；

使孕育的可发泡悬浮体发泡以产生液体金属泡沫；和

固化该液体金属泡沫以产生泡沫铝产品。

2. 权利要求 1 的方法，其中产生反应气体的颗粒包括碳酸镁、碳酸钙、白云石或它们的混合物。

3. 权利要求 2 的方法，其中产生反应气体的颗粒是碳酸钙。

4. 权利要求 1 的方法，其中化学发泡剂包括碳酸镁、碳酸钙、白云石、氢化钛、氢化锆或它们的混合物。

5. 权利要求 4 的方法，其中化学发泡剂是碳酸钙。

6. 权利要求 1 的方法，其中熔融金属合金包括商用等级纯度铝、废铝、含有硅和镁的铝、或它们的混合物。

7. 权利要求 3 的方法，其中碳酸钙具有小于 40 微米的平均直径。

8. 权利要求 3 的方法，其中碳酸钙占熔融金属合金的 0.5-4 重量 %。

9. 权利要求 5 的方法，其中碳酸钙构成熔融金属合金的 0.5-4 重量 %。

10. 权利要求 1 的方法，其中熔融金属合金包含 0.5-8 重量 % 镁。

11. 权利要求 1 的方法，其中使孕育的可发泡悬浮体固化，并在孕育的可发泡悬浮体发泡前再次熔化以产生液体金属泡沫。

12. 权利要求 1 的方法, 其中使孕育的可发泡悬浮体发泡的步骤还包括加热该可发泡的孕育悬浮体以增加化学发泡剂的分解速率。

13. 权利要求 12 的方法, 包括加热可发泡的孕育悬浮体到约 670-740°C 温度。

14. 制备泡沫铝的方法, 包括:

提供在大气压力下具有约 350-约 850°C 分解温度的产生反应气体的颗粒;

将产生反应气体的颗粒与包含铝的熔融金属合金结合;

搅拌含有所述产生反应气体的颗粒的熔融金属合金以使产生反应气体的颗粒的第一部分分解为反应气体, 并保持产生反应气体的颗粒的第二部分为未反应状态, 其中反应气体与熔融金属合金剧烈结合产生金属氧化物相和气泡的悬浮体, 而处于未反应状态的产生反应气体的颗粒的第二部分在孕育的可发泡悬浮体中作为化学发泡剂;

使孕育的可发泡悬浮体发泡以产生液体金属泡沫; 和

固化该液体金属泡沫以产生泡沫铝产品。

15. 权利要求 14 的方法, 其中产生反应气体的颗粒包括碳酸镁、碳酸钙、白云石或它们的混合物。

16. 权利要求 15 的方法, 其中产生反应气体的颗粒是碳酸钙。

17. 权利要求 14 的方法, 其中熔融金属合金包括商用等级纯度铝、废铝、含有硅和镁的铝、或它们的混合物。

18. 权利要求 16 的方法, 其中碳酸钙具有小于 40 微米的平均直径。

19. 权利要求 15 的方法, 其中碳酸钙占熔融金属合金的 2-16 重量 %。

20. 权利要求 17 的方法, 其中熔融金属合金包含 0.5-8 重量 % 镁。

21. 权利要求 14 的方法, 其中使孕育的可发泡悬浮体固化, 并在孕育的可发泡悬浮体发泡之前再次熔化以产生液体金属泡沫。

22. 在熔融铝中制造可发泡的液体 + 气体 + 固体悬浮体的方法, 包括:

提供在大气压力下具有约 350-约 850°C 分解温度的产生反应气体

的颗粒；

将产生反应气体的颗粒和包含铝的熔融金属合金结合；

搅拌含有产生反应气体的颗粒的熔融金属合金以便使至少一部分产生反应气体的颗粒分解为反应气体，其中反应气体与熔融金属合金剧烈结合在熔融金属合金中产生气泡和金属氧化物相的可发泡悬浮体。

23. 权利要求 22 的方法，进一步包括在搅拌含有产生反应气体的颗粒的熔融金属合金步骤之后，可发泡悬浮体的体积膨胀为约 5-约 50 %。

24. 根据权利要求 22 的方法，其中熔融金属合金包含 0.5-8.0 重量 % Mg。

25. 制备可发泡悬浮体的设备，包括：

用于提供产生反应气体的颗粒和熔融金属合金的进料系统，其中以预先选择的流速提供熔融金属合金；

与进料系统连接的反应器单元，包括

混合单元，其用于将产生反应气体的颗粒与熔融金属合金结合成孕育的可发泡悬浮体，该混合单元具有包含在其中的搅拌器，并且具有设定的容积以提供通过该混合单元的通过时间以便在混合单元中在预先选择的流速下分解至少一部分产生反应气体的颗粒；反应器单元中的至少一个排放口，该至少一个排放口用于排放气态副产物；和容纳该反应器单元的炉；以及

与反应器单元连接的端部。

26. 权利要求 25 的设备，其中所述端部包括具有用于铝泡沫产品的几何形状的模具。

27. 权利要求 25 的设备，包括传送系统，该传送系统用以将孕育的可发泡悬浮体从反应器单元传送到所述端部。

28. 权利要求 25 的设备，还包括容积式泵，用于将孕育的可发泡悬浮体从反应器单元传送到所述端部。

29. 权利要求 26 的设备，其中所述的容积式泵是旋转齿轮泵或旋

转凸轮泵。

30. 权利要求 25 的设备，其中对端部进行电加热或燃气加热。

31. 制备泡沫铝的设备，包括：

用于提供产生反应气体的颗粒和熔融金属合金的进料系统，其中以预先选择的流速提供熔融金属合金；

与进料系统连接的反应器单元，包括

混合单元，其用于将产生反应气体的颗粒与熔融金属合金结合成可发泡悬浮体，该混合单元具有包含在其中的搅拌器并且具有设定的容积以便提供通过混合单元的通过时间，该通过时间适于在混合单元中在预先选择的流速下分解至少一部分产生反应气体的颗粒；反应器单元中的至少一个排放口，该至少一个排放口用以排放气态副产物；和容纳该反应器单元的炉；以及

与反应器单元连接的分散单元，包括：

用于接收可发泡悬浮体的发泡剂混合腔；

进料系统，放置该进料系统用于将化学发泡剂提供到发泡剂混合腔中的可发泡悬浮体中；

搅拌器，其位于发泡剂混合腔中用以分散化学发泡剂以产生孕育的可发泡悬浮体；和

传送系统，以将孕育的可发泡悬浮体从分散单元传送到端部。

32. 权利要求 31 的设备，其中设置熔融金属的预先选择的流速或混合单元的容积以便完全分解产生反应气体的颗粒产生可发泡悬浮体。

33. 权利要求 31 的设备，其中传送系统是容积式泵。

34. 权利要求 33 的设备，其中容积式泵是旋转齿轮泵或旋转凸轮泵。

35. 权利要求 31 的设备，其中对所述端部进行电加热或燃气加热。

36. 权利要求 31 的设备，其中所述端部包括具有用于铝泡沫产品的几何形状的模具。

37. 铝泡沫材料，包括：

铝合金基体, 该铝合金基体包含约 0.5-8 重量%镁和 0.5-约 16 重量%细金属氧化物的分布; 其中该细金属氧化物的平均尺寸小于 1.0 微米; 和

所述铝合金基体中的孔隙分布, 该孔隙分布包括大多数平均直径在约 200-约 1500 微米范围内的封闭孔隙; 其中所述铝合金基体中的所述孔隙分布提供了 $0.30-0.70\text{g/cm}^3$ 的产品密度。

38. 权利要求 37 的铝泡沫材料, 其中所述金属氧化物包含氧化铝、氧化镁、氧化钙或其组合。

39. 铝泡沫材料, 包括:

包含有效量镁的铝合金基体;

细金属碳酸盐的分布;

铝合金基体中的孔隙分布;

并且基本上不含直径大于 5 微米的稳定陶瓷颗粒。

40. 权利要求 39 的铝泡沫材料, 其中镁的有效量为 0.5-8 重量%。

41. 权利要求 39 的铝泡沫材料, 其中所述细金属碳酸盐包括碳酸钙、碳酸镁或其组合。

42. 权利要求 39 的铝泡沫材料, 其中孔隙分布包括平均直径为约 200-约 1500 微米的孔隙。

43. 权利要求 39 的铝泡沫材料, 其中孔隙分布占铝泡沫材料泡沫体积的 70-90%。

44. 权利要求 39 的铝泡沫材料, 其中金属碳酸盐的百分比为 0.5-约 16 重量%。

45. 权利要求 39 的铝泡沫材料, 其中细金属碳酸盐的分布包括平均尺寸小于 100 微米的碳酸盐。

46. 用于建筑、汽车或航空航天应用的结构材料, 包含权利要求 39 的铝泡沫材料。

47. 权利要求 44 的结构材料, 其中所述结构材料是平板。

48. 铝泡沫材料, 包括:

具有平均壁厚约 5-约 100 微米的铝合金基体; 和

铝合金基体中的孔隙分布，该孔隙分布具有的平均孔隙直径为约200-约1500微米并且构成铝泡沫材料的70-90体积%。

49. 权利要求48的材料，其中平均孔直径小于1000微米。

使用碳酸盐生产泡沫铝的方法

相关申请的交叉参考

本申请是于2005年4月29日提交的美国专利申请11/119,002的部分连续并且要求其权益，这里通过引用将其全部内容并入本文。

发明领域

本申请大体涉及可发泡金属，且更具体涉及用于形成金属泡沫产品的方法，其中反应颗粒在金属熔体中分解以产生泡沫稳定副产物和适于使金属泡沫化的气体。

发明背景

低密度多孔产品提供了独特的机械和物理性能。在聚合物类型的基体中产生的泡沫产品的高比强度、结构刚性和绝缘性能是众所周知的。这样的封闭孔胞（cell）聚合物泡沫被广泛用于宽广范围的应用中，包括建筑、包装和运输。

尽管聚合物型泡沫已经获得广泛的市场成功，但泡沫金属产品仅具有有限的应用。对于许多轻重量的应用，封闭孔胞的金属泡沫提供了聚合物泡沫的许多吸引人的属性。此外，与聚合物相比，金属固有较高的体积模量提供了较高的比刚度。这种较高的体积模量使得金属泡沫成为一种用于叠层板中的芯部材料的吸引人的候选材料，在该叠层板的芯部材料中刚度和抗弯性是重要的性能量度。此外，由泡沫金属生产的板材耐火并耐烟，并且非常适合于建筑应用。铝泡沫芯部夹层复合产品提供了另外的环境益处：可重复利用；这曾经是限制金属包覆聚合物泡沫应用的问题。

尽管在科学和专利文献中已经描述了生产泡沫金属的方法，但这些材料存在诸如高成本、大的孔胞尺寸、孔胞尺寸可变和结构完整性

不足的问题。许多这些问题与熔融金属的流变性有关。在基本上所有的生产金属泡沫的铸造冶金方法中，在金属熔体中都需要一些稳定作用。泡沫是亚稳定的，因此不但易于孔胞合并而且易于孔胞壁脱液(drainage)。

通常，为了实现生产金属泡沫所需的稳定作用，向熔体中引入例如陶瓷颗粒的微粒。这些微粒可通过增加熔体的有效粘度和/或降低液体的有效表面张力，有效地改变熔体的性质。与所需的泡沫孔胞壁厚度相比，这些微粒必须小。通常使用内部或外部方法，向熔体中引入小的微粒，其中每一种方法都具有限制它们效用的缺点。

在内部颗粒形成中，通过涡流机械搅拌器和/或穿过熔体的气体鼓泡(直接气体注入)，将气体搅拌到熔融金属中。气体与熔体反应形成包括氧化物、尖晶石和/或其它独特颗粒的小颗粒。控制形成的颗粒的尺寸、几何形状和体积分数来产生稳定、可发泡的基体是特别困难的。

形成的颗粒的尺寸受注入或携带的气泡尺寸影响。在液体金属中产生小气泡是出名的困难。此外，熔体温度、在熔融温度下的时间、气体组成、搅拌速率和熔体组成均影响颗粒的比率、量和性质以及它们的分布。此外，在铝熔体中，通常需要添加高活性的碱金属以促进这些氧化反应。

在提供泡沫金属中，直接气体注入和/或搅拌的一个缺点是产生稳定的可发泡基体所需的时间。即使对于少量熔融金属通常也需要大约20分钟至几小时的时间范围，而较大量的熔融金属通常需要更长时间以获得产生稳定金属泡沫所需的流变学性能。

外部颗粒添加作为一种使发泡金属稳定的方法，也存在许多限制其效用的缺点。在外部颗粒添加中，将小的惰性颗粒直接加入并混合到熔体中。外部颗粒添加的一个缺点是外部添加的微粒必须被润湿从而它们可以在熔体中保持悬浮。

为了润湿外部添加的颗粒，现有方法是利用特殊的熔体合金化和/或颗粒涂层；熔化合金浓度和/或微粒添加的顺序；对颗粒品质/表面组成的严格要求；和复杂的设备以便通过在真空或惰性环境中施加高

剪切力来控制 and 促进微粒与熔融金属之间的润湿过程。这些技术难题转化成特殊的 (exotic) 处理设备以及对所用外来颗粒的尺寸和纯度的限制。这些障碍已经阻碍了通过外部稳定的熔体制备的金属泡沫的经济生产。

Ridgeway Jr. 的美国专利 3,297,431 (“Ridgeway Jr.”) 要求使用稳定剂粉末来在冷却时维持和保持铝泡沫的孔胞结构。如 Ridgeway Jr. 专利中描述的, 这些稳定颗粒是细分的惰性粉末, 被熔融金属润湿并且在熔融金属中是稳定的。在 Jin 等人的美国专利 5,112,697 (“Jin 等人”) 中也描述了稳定剂颗粒的使用, 其中 Jin 等人规定了对这些“细分的稳定剂颗粒”的尺寸和体积分数的精确限制。此外, (分别属于 Crowley 等人和 Bryant 等人的) 美国专利申请公布 2004/0163492A1 和 2004/0079198A1 公开了在使铝发泡中, 在这些粘度控制剂上使用表面涂层。所有这些公开文献均具有它们自身的缺点。

由于上述的阻碍和缺点, 需要提供具有更大商业吸引力的金属泡沫生产方法。

发明概述

本发明提供了一种经济的金属发泡方法, 该方法使用最少的前体, 最小数目的处理步骤, 并且可在适于铝加工的温度和压力下操作。概括的, 本发明提供了一种制造泡沫铝的方法, 包括步骤:

提供在大气压力下具有约 350-约 850℃ 分解温度的产生反应气体的颗粒;

将产生反应气体的颗粒与包含铝的熔融金属合金结合;

搅拌包含所述产生反应气体的颗粒的熔融金属合金以便使产生反应气体的颗粒的第一部分分解为反应气体, 并保持产生反应气体的颗粒的第二部分为未反应状态, 其中反应气体与熔融金属合金剧烈结合产生金属氧化物相和气泡的悬浮体, 而处于未反应状态的产生反应气体的颗粒的第二部分在孕育 (inoculated) 的可发泡熔体中作为化学发泡剂;

使孕育的可发泡熔体发泡以便产生液体金属泡沫；和
固化该液体金属泡沫以便产生泡沫铝产品。

包含铝的熔融金属合金可以是商用等级纯度的铝；废铝；含有硅和镁的铝；以及它们的混合物。在一些实施方案中，镁可以以约 0.5-约 8 重量%的范围存在于熔融金属合金的溶体中。

产生反应气体的颗粒可选自碳酸钙、碳酸镁、碳酸镁钙(白云石)或它们的混合物。碳酸钙作为产生反应气体的颗粒和/或作为发泡剂是特别有效的。在本方法中，使用碳酸钙，该碳酸盐在熔融金属中分解并形成 CaO 固体和反应气体 CO₂。在剧烈搅拌的条件下，在熔融金属中形成的气泡破裂和分裂，向熔融金属释放出更多的反应气体。这种气体与熔融铝剧烈反应形成 CO 气体并原位形成 Al₂O₃。CO 和 CO₂ 气泡以及 Al₂O₃、CaO 和其它金属氧化物相可通过调节熔融金属的粘度和表面能，稳定液体金属悬浮体。术语“剧烈的”表示反应的放热性质以及可燃气体的产生。

在铝合金熔体中，也可能形成其它金属氧化物作为反应气体分解的副产物。例如在 Al-Mg 合金中，反应气体 CO₂ 分解形成 CO 和金属氧化物 MgO 和 Al₂O₃ 及多种混合金属氧化物。其它常规铝合金化元素在搅拌的熔体中形成类似的细微分散的金属氧化物。与 Al₂O₃ 和 CaO 相似，MgO 是金属氧化物相的一个例子，当其与小气泡一同被引入熔融金属中时，调节熔融金属的粘度和表面能以产生可发泡的液体金属悬浮体。将术语“可发泡的”定义为具有稳定液体泡沫的能力，从而能够抵抗合并与脱液。合并是接触的两个气泡间边界的消失，导致液体泡沫结构的粗化。脱液是由于重力液体泡沫中增加的密度梯度，导致液体泡沫中结构均匀性的丧失。

由产生反应气体的颗粒的分解非常迅速地产生细气泡和混合金属氧化物相，并且在最佳条件下在 2-8 分钟内完成。合金组成、颗粒尺寸分布、温度和搅拌程度均影响分解动力学。令人惊讶的是，在铝熔体中存在足够量的镁能大大加速产生反应气体的颗粒的分解速率。在搅拌的熔体中，添加 0.5-8 重量%Mg 显著减少使产生反应气体的颗粒

分解所需的时间。这种镁的添加不仅显示出使产生反应气体的碳酸盐的分解速率增加至两倍以上 (more the double)，提供更高的处理速度，而且通过改变孔胞尺寸、脱液速率和壁厚显著影响所产生的泡沫产品的结构。

在本发明的一个实施方案中，通过产生反应气体的颗粒的分解产生的反应气体与它们分解的气态产物一起用于在液体泡沫中产生气泡。更具体的，在本发明的这个实施方案中，在一部分产生反应气体的颗粒分解后，有目的地停止熔融金属合金的搅拌以便在熔融金属合金中留下产生反应气体的颗粒的未反应部分。之后，产生反应气体的颗粒的未反应部分充当发泡剂以便产生液体金属泡沫，其中利用小气泡以及由反应气体与熔融金属合金的剧烈结合产生的金属氧化物相的分散来稳定泡沫。在一个实施方案中，向熔融金属合金中单一添加约 2.0-约 16.0 重量%碳酸钙足以提供产生可发泡悬浮体所需的小气泡和金属氧化物相的分散以及孕育该悬浮体以产生孕育的可发泡悬浮体所需的化学发泡剂。在本发明的一个实施方案中，上述方法可进一步包括使孕育的可发泡悬浮体固化、然后在发泡前使孕育的可发泡悬浮体再次熔化的步骤。

在本发明的另一方面，提供了用于实施上述方法的设备。在最为简单的实施方式中，本发明的设备仅需要一个容器腔，用于分批或连续产生充当可发泡进料的孕育的可发泡悬浮体。概括而言，形成泡沫铝产品的本发明设备包括：

用于提供产生反应气体的颗粒和熔融金属合金的进料系统，其中以预先选择的流速提供熔融金属合金；

与进料系统连接的反应器单元，包括：

混合单元，其用于将产生反应气体的颗粒与熔融金属合金结合成孕育的可发泡悬浮体，该混合单元具有包含于其中的搅拌器，并且具有设定的容积以提供通过该混合单元的通过时间，该通过时间适合于在混合单元中在预先选择的流速下分解至少一部分产生反应气体的颗粒，

反应器单元中的至少一个排放口，该至少一个排放口用于排放气态副产物，和

容纳反应器单元的炉；以及

与反应器单元连接的端部（tip）。

选择含有产生气体的颗粒的熔融金属合金通过混合单元的通过时间以便在离开反应器单元时提供孕育的可发泡悬浮体。可考虑到产生反应气体的颗粒通过调节进入反应器单元的流速以及混合单元的有效体积来调节通过时间。更具体的，在调节反应器单元中产生反应气体的颗粒的组成、分解温度和颗粒尺寸都必须进行考虑。最后，还必须考虑通过搅拌器提供的搅拌程度。在一个实施方案中，设置传送系统例如泵或通道来将孕育的可发泡悬浮体从反应器单元传送到端部。在一个实施方案中，容积式泵（positive displacement pump）例如旋转齿轮泵或旋转凸轮泵将孕育的可发泡悬浮体从反应器单元传送到端部。在一个实施方案中，加热端部到高于进入的孕育可发泡悬浮体温度的温度以增加发泡剂的分解速率。优选的，可将端部电加热或燃气加热到 670-740℃ 的温度。

在本发明的另一实施方案中，允许产生反应气体的颗粒的分解在搅拌下进行直到完成。在这种情况下，通过单独添加化学发泡剂来提供化学发泡剂，该化学发泡剂可与产生反应气体的颗粒在化学上相同或不同。概括的，本发明提供了一种形成铝泡沫的方法，包括：

提供在大气压力下具有约 350-约 850℃ 分解温度的产生反应气体的颗粒；

将产生反应气体的颗粒与包含铝的熔融金属合金结合；

搅拌含有产生反应气体的颗粒的熔融金属合金以便使至少一部分产生反应气体的颗粒分解为反应气体，其中该反应气体与熔融金属合金剧烈结合产生小气泡和金属氧化物相的可发泡悬浮体；

向可发泡悬浮体中分散化学发泡剂以产生孕育的可发泡熔体；

使孕育的可发泡悬浮体发泡以产生液体金属泡沫；和

固化该液体金属泡沫以产生泡沫铝产品。

在本发明的这个实施方案中，向熔融金属合金中添加约 0.5-约 4.0 重量%碳酸钙足以提供小气泡和金属氧化物相的充分悬浮体来稳定液体金属泡沫。小气泡和金属氧化物的这种悬浮体导致熔体的体积膨胀，其中在搅拌后初始体积膨胀在 5-50%范围内。在另一实施方案中，可向可发泡悬浮体中分散约 0.5-约 4.0 重量%碳酸钙作为发泡剂以产生孕育的可发泡悬浮体。在本发明的一个实施方案中，上述方法可进一步包括使孕育的可发泡熔体固化，然后在发泡前再次熔化孕育的泡沫熔体的步骤。

在本发明的另一方面中，提供了一种设备用于实施上述方法，其中在已产生可发泡悬浮体后，将化学发泡剂单独分散到可发泡悬浮体中。在其最为简单的实施方式中，该设备需要至少两个阶段，其中第一阶段将产生反应气体的颗粒引入到熔融合金中，而第二阶段分散化学发泡剂。第一阶段在结构上可与上述的其中通过未反应部分的产生反应气体的颗粒提供发泡剂的反应器单元相似。第二阶段分散化学发泡剂并且与第一阶段相连。概括的，制备泡沫铝的设备包括：

提供产生反应气体的颗粒和熔融金属合金的进料系统，其中以预先选择的流速提供熔融的金属合金；

与进料系统连接的反应器单元，包括

混合单元，其用于将产生反应气体的颗粒和熔融金属合金结合为可发泡悬浮体，该混合单元具有包含在其中的搅拌器并且具有设定的容积以便提供通过混合单元的通过时间，该通过时间适于在混合单元中在预先选择的流速下分解至少一部分产生反应气体的颗粒，反应器单元中的至少一个排放口用以排放气态副产物，以及容纳反应器单元的炉；

与反应器单元连接的分散单元，包括：

用于接收可发泡悬浮体的发泡剂混合腔；

进料系统，设置该进料系统用以将化学发泡剂提供到发泡剂混合腔中的可发泡悬浮体中；

搅拌器，其位于发泡剂混合腔中用以分散化学发泡剂以便产生孕

育的可发泡悬浮体；和

传送系统，其将孕育的可发泡悬浮体从分散单元传送到端部。

在一个实施方案中，传送系统可以包括容积式泵例如旋转齿轮泵或旋转凸轮泵。或者，传送系统可以是设置用于将孕育可发泡悬浮体从反应器单元传送到端部的通道。

在本发明的另一方面，提供了一种制备可发泡的液体 + 气体 + 固体悬浮体的方法。概括的，该方法包括步骤：

提供在大气压力下具有约 350-约 850℃分解温度的产生反应气体的颗粒；

将产生反应气体的颗粒与包含铝的熔融金属合金结合；

搅拌含有产生反应气体的颗粒的熔融金属合金以便使至少一部分产生反应气体的颗粒分解为反应气体，其中反应气体与熔融金属合金剧烈结合在熔融铝中产生气泡和金属氧化物相的可发泡悬浮体。

另外值得注意的是，用于生成反应气体的产生反应气体的颗粒产生小气泡和混合金属氧化物的均匀分布，该分布远优于通过将气体直接鼓入熔体或通过其它粗糙方法如涡流形成的分布。通过产生反应气体的颗粒分解形成的小气泡和混合金属氧化物的分布还似乎比通过外部添加向铝熔体中引入稳定颗粒的常规方法更为有效。在本发明方法中这种液体 + 气体 + 固体悬浮体的产生大大优于仅依赖于液体 + 固体悬浮体的当前 (incumbent) 方法。当通过小气泡和金属氧化物的精细分布稳定可发泡悬浮体时，形成颗粒的反应气体引起的体积膨胀比颗粒本身的体积大许多倍。本发明允许在比现有外部稳定金属泡沫中所需的固体体积分数显著更低的固体体积分数下的熔体稳定。在一个实施方案中，在搅拌后可发泡悬浮体发生约 5-50% 的体积膨胀。

如 Jin 等人的美国专利 5,112,697 (“Jin 等人”) 所描述的，现有技术教导，当使用最细的微粒时需要 5% 的稳定颗粒最小有效体积分数，因此重点在于难以在熔融金属中分散这样的细颗粒。在本发明中，令人惊讶并且意想不到的，在低得多的体积分数下，低至 0.5%，小于当使用稳定的外部添加稳定颗粒时先前认为所需的 1/10，产生反应气

体的颗粒已经显示是有效的。

尽管碳酸盐的最少水平为或者接近 0.5 重量%以便有效产生能够在合理时间段内保持泡沫的铝熔体，然而更高重量分数的碳酸盐导致更快速地获得所需的熔体稳定性。使用多至 16 重量%的碳酸盐水平已经生产出低密度的铝泡沫。增加粘度的碳酸盐的这种高水平显著减少了达到有效稳定水平所需的时间。

本发明的另一方面，提供了一种泡沫铝产品。在一个实施方案中，该泡沫铝产品包括铝合金基体和 0.5-约 16 重量%细金属氧化物的分布，该铝合金基体包括约 0.5-8 重量%的镁；其中该细金属氧化物的平均尺寸小于 1.0 微米；所述铝合金基体中的孔隙分布包括大多数平均直径约 200-约 1500 微米范围的封闭孔隙；其中所述铝合金基体中的所述孔隙分布提供了 $0.30-0.70\text{g/cm}^3$ 的产品密度。

金属氧化物可包括氧化铝、氧化镁和氧化钙和它们的混合氧化物。此外，上述铝泡沫可基本上不含大于 5 微米的稳定陶瓷颗粒。铝合金基体可具有约 5-约 100 微米的平均壁厚和铝合金基体中的构成铝泡沫材料 70-90 体积%的孔隙分布。

通过本发明方法制造的泡沫铝产品表现出改良的性能，例如低密度和高刚度、降低的热导率和良好的抗拉强度、耐冲击性、能量吸收和消音性能。

该泡沫铝产品可用于多种应用，例如高性能轻重量汽车技术、薄片材料、建筑材料、浮力应用和需要有效利用能量吸收、高比刚度和低密度的任何领域。

在本发明的另一实施方案中，提供了一种铝泡沫材料，其包括含有有效量镁的铝合金基体；细金属碳酸盐的分布；所述铝合金中的孔隙分布；并且基本上不含尺寸大于 5 微米的稳定陶瓷颗粒。平均孔直径可小于约 1000 微米。

对于本公开，术语“有效量的镁”是适于提供稳定金属泡沫的镁浓度。细金属碳酸盐可包括碳酸钙、碳酸镁或其组合。

在一个实施方案中，细金属碳酸盐具有等于或小于 100 微米的直

径。在一个实施方案中，术语稳定陶瓷颗粒表示在低于 750℃ 的温度下对于熔融铝主要是惰性的并不与其发生反应的陶瓷物质。

附图简述

当结合附图阅读时，由下面的优选实施方案的描述可以充分理解本发明，其中：

图 1 是对于本发明最为优选的添加剂碳酸钙 (CaCO_3)，温度随时间单调增加时重量%变化的曲线图，显示环境压力下在空气中的分解温度为约 600-650℃。

图 2 是对于本发明的优选添加剂白云石 ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)，温度随时间单调增加时重量%变化的曲线图，显示在环境下在空气中的分解温度为约 600-700℃。

图 3 是对于碳酸镁 (MgCO_3)，温度随时间单调增加时重量%变化的曲线图，显示在环境下在空气中的分解温度为约 350-450℃。

图 4 是对于水滑石 ($\text{Mg}_4\text{Al}_2(\text{OH})_{12}\text{CO}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$)，温度随时间单调增加时重量%变化的曲线图，显示在环境下在空气中的分解温度为约 175-200℃。

图 5 说明了在包含铝和镁的熔融金属中碳酸钙剧烈分解的反应演变中的化学反应以及金属氧化物和气体产物的形成。

图 6 是表示在包含铝和镁的熔融金属中碳酸钙分解的反应演变以及金属氧化物形成的图示。

图 7(横截面视图)描绘了用于生产铝泡沫的设备，其中通过单独添加产生反应气体的颗粒来提供粘度剂和发泡剂。

图 8(横截面视图)描绘了适合于图 7 中所示设备的化学发泡剂分散设备。

图 9a(分解图) 描绘了容积式凸轮泵。

图 9b(透视图) 描绘了图 9a 中所示的容积式凸轮泵。

图 9c(横截面侧视图) 描绘了容积式齿轮泵。

图 10 描绘了表明产生反应气体的颗粒对铝合金泡沫稳定性影响的坐标图。

图 11 描绘了表明碳酸钙颗粒尺寸对铝合金泡沫结构影响的坐标图。

图 12 描绘了表明向用于生产铝泡沫的熔融金属合金添加镁的影响的坐标图。

图 13 描绘了表明混合时间对单次添加产生反应气体的颗粒用于稳定剂和作为发泡剂的影响的坐标图。

图 14 描绘了当单次添加产生反应气体的颗粒用于稳定剂和作为发泡剂时，表明增加产生反应气体的颗粒的重量%的影响的坐标图。

发明详述

本发明提供了铝泡沫和生产泡沫铝产品的方法，其中所述方法向熔融金属合金中引入具有约 350-约 850℃分解温度的产生反应气体的颗粒，其中至少一部分产生反应气体的颗粒分解以提供金属氧化物相和气泡的可发泡悬浮体并且具有最小的对熔融金属合金压力和温度改变。本发明还提供了用于实施本发明方法的设备，该设备包括反应器单元，该单元具有设置的流速和容积用以提供足够的通过时间以便在产生可发泡悬浮体中分解至少一部分产生反应气体的颗粒，使用发泡剂孕育可发泡悬浮体，将孕育的可发泡悬浮体传送到模具中，使孕育的可发泡悬浮体发泡以产生液体金属泡沫，并使液体金属泡沫固化以产生泡沫金属产品。现在参照本发明的附图更为详细的讨论本发明。在附图中，用相同的附图标记表示相同和/或相应的部件。

图 1-4 显示了多种材料的 TGA(热重分析)曲线图以说明当在控制分解开始和动力学(速率)的特定工艺条件(温度历程、颗粒尺寸、周围环境等)下样品分解时，以质量损失(重量%损失)相对于时间表示的产生反应气体的颗粒的分解范围。在图 1-4 中，显示了分解曲线 10 以及优选的分解范围 14 和热稳定范围 12。

发现在泡沫铝生产中实用且有效的产生反应气体的颗粒是碳酸盐，其不但有效并且廉价，具有如图 1、2 和 3 中绘出的 TGA(热重分析)曲线所示的分解温度。更具体的，产生反应气体的颗粒优选是具

有约 350-约 850℃分解温度，更优选具有约 550-850℃分解温度的碳酸盐。

优选的碳酸盐是碳酸钙 (CaCO_3) 和/或白云石 ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)，其中图 1 显示了碳酸钙的分解范围而图 2 显示了白云石的分解范围。在无需将熔融铝合金的温度或压力升高到与常规铝处理不一致的温度或压力的温度下，这些产生反应气体的颗粒发生分解形成金属氧化物相和二氧化碳。在一个优选的实施方案中，碳酸钙具有小于约 40 微米的平均直径。

纯铝在约 660℃熔融。商用铝合金典型在低于纯铝的温度下熔化。更具体的，商用铝合金在约 560-约 650℃的温度下熔化，其中商用铝合金的熔融温度可根据合金中的元素添加而变化。用于本发明的熔融金属合金可以是例如商用等级/纯度熔融铝、废铝或含有 Si 和/或 Mg 的铝等中的至少一种。

如图 1 所示，碳酸钙在高于 550℃的温度开始分解，白云石在略高于碳酸钙的温度分解，其中白云石的分解在大约 575℃的温度下开始。当用作产生反应气体的颗粒时，这些化合物均具有约 550-约 650℃的分解温度，证实是剧烈的但并不是过度高能的分解，允许在产生反应气体的颗粒耗尽其气体生成能力前，由产生反应气体的颗粒与熔融合金熔体反应产生的氧化铝相的充分分散。

参照图 5 和 6 最好地描述了熔融金属合金中的碳酸钙分解。包含铝和镁的熔融金属合金中的碳酸钙分解包括下列反应：

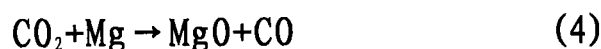
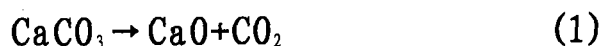
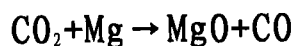
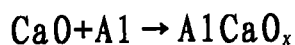
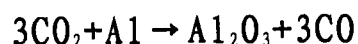


图 5 描绘了熔融金属合金中的碳酸钙的分解反应以及分解产物与熔融金属合金中存在的铝和镁相互作用产生气体产物(也称为气泡)和稳定产物的精细分散。通过与熔融金属合金的铝和镁剧烈结合产生氧化铝相例如氧化铝 (Al_2O_3) 和氧化镁 (MgO) 的反应气体来提供气体产物

的精细分散，其中气泡和氧化铝相一起的精细分散是有助于形成可发泡悬浮体的稳定产物。不希望被束缚，但为了进一步描述本发明的某些方面，认为熔融金属合金的自稳定性质主要是由所产生的气体产物的精细分散提供的。

图 6 是表示在熔融金属合金中产生反应气体的产物分解产生气泡 15 和金属氧化物相 20 的精细分散的图示。不希望限制本发明，但为了进一步描述本发明的某些方面，认为基于可发泡悬浮体的破坏 (collapse) 速率、铝的体粘度、浮力和 Stoke' s 定律，气泡的平均直径大约是小於 100 微米。值得注意的是，尽管在上述实施例中包括镁，但也可以不在熔融金属合金中引入镁来实施本发明。还值得注意的是，在一个优选的实施方案中，当以有效量提供时，镁能有利的提供稳定作用。在一个实施方案中，术语有效量的镁表示镁含量足以提供稳定的泡沫。在一个实施方案中，镁的有效量大于 0.5 重量%，优选约 0.5-约 8.0 重量%，优选约 1-约 2 重量%。此外，熔融金属合金可以是例如商用等级/纯度熔融铝、废铝或含有 Si 和/或 Mg 的铝等中的至少一种。

当向熔融金属合金中加入白云石作为产生反应气体的颗粒时的分解反应包括：



尽管碳酸钙和白云石是本发明非常优选的实施方案，然而其它碳酸盐也被考虑并因此在本发明的范围之内。

例如参照描述碳酸镁 (MgCO_3) 的 TGA 曲线的图 3，考虑将碳酸镁用作产生反应气体的颗粒。由于碳酸镁的低分解温度，在碳酸钙和白云石分解开始之前碳酸镁更难以分散，因此尽管碳酸镁有用，但不优选单独使用。

现在参照描述在环境中在空气中具有约 175-200℃ 分解温度的水

滑石 ($\text{Mg}_4\text{Al}_2(\text{OH})_{12}\text{CO}_3\text{H}_2\text{O}$) 的 TGA 曲线的图 4, 水滑石不适于作为产生反应气体的颗粒, 因为当其被引入包含铝的熔融金属合金中时导致过早的分解。

尽管分解温度高于 CaCO_3 和白云石的碳酸盐选择不适于生产铝泡沫, 但可以理想地适合于具有较高熔融温度的金属, 例如铜、钛、钢或黄铜。类似的, 分解温度显著低于选择用于铝的分解温度的碳酸盐可理想地适合于低熔融金属体系, 例如铅、锡和镁合金。

表 1 显示了在约 0.01 大气压的 CO_2 分压 (近似为环境气氛中的 CO_2 分压) 下、自然界中丰富的碳酸盐的碳酸盐热力学平衡温度。这是热力学平衡总结, 不是动力学总结, 但有助于显示碳酸盐的相对分解顺序, 以及提供在熔融金属中分解温度的估计。这些也暗示了不适合用于铝的碳酸盐的实例, 因为它们的分解温度位于 $350\text{--}850^\circ\text{C}$ 范围之外。

表 1-在 0.01atm 分压 CO_2 下各种碳酸盐的热力学平衡温度

碳酸盐	$^\circ\text{C}$
NaHCO_3	52
ZnCO_3	61
Ag_2CO_3	122
CdCO_3	231
MnCO_3	249
MgCO_3	283
CaCO_3	656
SrCO_3	865
Li_2CO_3	1016
Ba_2CO_3	1088

因此, 使用表 1 仅用于筛选可能无效的碳酸盐, 显然对于铝泡沫的商业生产, Na 、 Zn 、 Ag 、 Cd 和 Mn 的碳酸盐具有过低的分解温度, 因为它们在分解中过于迅速而不能容许充分分散。或者, Sr 、 Li 和 Ba

的碳酸盐具有过高的分解温度，从而不能分解或将以非常慢的速率分解从而不适于可行的商用方法。值得注意的是，在这些分压下， CaCO_3 和 MgCO_3 的平衡温度并不与它们各自的 TGA 分解温度不同。

返回其中选择碳酸钙作为产生反应气体的颗粒的本发明实施方案，当添加碳酸钙来制备粘度提高的熔融铝时，碳酸钙的颗粒尺寸可以是约 0.5-40 微米。添加量是全部铝熔体质量的 0.5-16 重量%，且优选 0.5-2 重量%。已确定小体积分数的碳酸钙对于控制熔体粘度和/或表面能以维持稳定的泡沫非常有效。

或者，碳酸钙的颗粒尺寸可以大至 40-150 微米。在这种尺寸下，反应速率显著更低，并且在 10 分钟后碳酸盐的分解不完全。然而，将产生充分的气泡精细分散来稳定铝熔体。然后残留的未反应碳酸盐可以在熔体中用作发泡剂。因此，根据产品和工艺要求，可以在多个步骤中添加具有多种颗粒尺寸分布的碳酸盐，以便获得各种水平的粘度提高和各种水平的发泡。

如果在一次添加中加入以稳定熔体并使其发泡，那么颗粒尺寸可以是约 0.5-150 微米。颗粒尺寸的最佳混合物取决于所需的混合时间，因为较小颗粒首先分解并且在增加粘度时更为有效，留下较大的颗粒以提供用于最后发泡的气体。

必须选择发泡剂以便在低温下具有良好的稳定性，以及在金属合金熔点的温度或高于金属合金熔点的温度分解以产生发泡气体。可以基于所需的泡沫产生速率以及所需的泡沫结构对引入熔融金属或合金中的发泡剂尺寸进行选择。在铸造泡沫铝中，引入熔体的发泡剂的尺寸和组成会影响产生的气泡的尺寸和数密度。通过控制泡沫铝主体中产生的气泡的尺寸，可以以净密度为目标，从而能够控制诸如热导率、强度或碰撞能量吸收的性质。

用于铝泡沫生产的适宜的实用化学发泡剂的实例包括碳酸镁、碳酸钙、白云石和金属氢化物如氢化钛和氢化锆，以及它们的混合物。发泡剂可以具有任何需要的形貌。可以在工艺中的一个或多个阶段中将它们加入。在一个实施方案中，发泡剂具有约 0.5-约 40 微米的颗

粒尺寸。在另一实施方案中，发泡剂具有约 40-约 150 微米的平均尺寸。

现在参照图 7，在本发明的另一方面，提供了使用上述产生反应气体的颗粒生产泡沫铝产品的设备 25。该设备包括用于引入熔融金属合金的装置 28 和用于将产生反应气体的颗粒 33 引入到反应器单元 30 的供料系统 35，其中，产生反应气体的颗粒 33 在熔融金属合金 31 中剧烈分解以提供可发泡的悬浮体。用于引入熔融金属合金 28 的装置以预先选择的流速提供熔融金属合金 31。

反应器单元 30 包括内含搅拌器 32 的混合单元，其中混合单元由炉 34 容纳。混合单元和搅拌器 32 将产生反应气体的颗粒 33 与熔融金属合金 31 结合以增加铝熔体的粘度/调节铝熔体的表面能。选择混合单元和搅拌器 32 的尺寸和几何形状以提供有效容积，使得当与预先选择的流速结合使用时，提供包含产生反应气体的颗粒的熔融金属合金的通过时间，该通过时间足以使至少一部分产生反应气体的颗粒在混合单元中分解以便提供可发泡悬浮体。此外，可以对通过搅拌器提供的搅拌、产生反应气体的颗粒的组成和/或颗粒尺寸、以及熔融金属合金的组成进行设置以调节该通过时间。

反应器单元 30 可进一步包括至少一个排放口用于排放产生反应气体的颗粒分解的气态产物的未反应部分，以及反应本身的气态产物。在产生反应气体的颗粒是碳酸钙的优选情况下， CO_2 气体的未反应部分可随通过 CO_2 与铝合金熔体反应产生的 CO 反应产物一起排出。由于 CO 是可燃气体，因此这种副产物可以在反应器单元 30 的表面被安全的燃烧掉。

在本发明的一个实施方案中，选择通过时间和混合单元的几何形状以便仅分解部分产生反应气体的颗粒 33，并留下剩余部分的产生反应气体的颗粒未反应。在本发明的这个实施方案中，产生反应气体的颗粒的未反应部分充当可发泡悬浮体 47 中的发泡剂。

在本发明的另一实施方案中，选择通过时间和混合单元的几何形状以便完全分解产生反应气体的颗粒 33。如图 8 所示，然后粘度提高

的合金熔体可流入具有搅拌器 44 的发泡剂分散单元 42，在这里添加发泡剂 46 以便产生孕育的可发泡熔融铝原料 48。尽管在提供的图中没有描绘，然而在本发明的另一实施方案中，可将孕育的可发泡熔融铝原料传送到可选的浇铸机类型设备以便形成随后可在添加发泡剂前在炉中再次熔融的铸块。另一气体排放口 37 能够可选地从发泡剂分散单元 42 排出过量的气体。

然后可将孕育的可发泡熔融铝原料 48 传送到发泡单元以形成连续的产品(板材、片材、棒材、挤压件等)或进行处理，例如通过带式连铸机、辊压机、立式连铸机等(没有显示)以便提供液体泡沫/多孔片材，在冷却后可以使用该片材本身或者将其层压到其它材料。

参照图 9a-9c，设备 25 的另一方面是旋转容积式泵，其用于将铝从反应器单元或分散单元传送到端部。现有的熔融金属泵典型依靠离心或往复设计并且需要严密的公差以减少金属渗漏。与现有的熔融金属应用相反，由于孕育和发泡开始引起的增加的铝熔体固着粘度(约 700cp)允许应用容积式泵设计。在一个实施方案中，该泵可以是如图 9a 和 9b 所示的凸轮泵，或如图 9c 所示的齿轮泵，其允许至皮带或到端部的泡沫熔体的精确计量。

参照图 9a 和 9b，在优选的实施方案中，使用凸轮泵，其中凸轮 50 及泵壳 51 由高温材料形成。在一个实施方案中，泵壳 51 包括入口面 52、出口表面 32、第一侧壁 54、第二侧壁 55 和中间泵表面 56。中间泵表面 56 具有相应于凸轮 50 的几何形状以便提供泵腔。第一侧壁、中间泵表面和第二侧壁通过多个螺栓和螺钉连接，其中对螺钉进行设计以容纳由于铝泡沫处理温度引起的热膨胀。凸轮 50 具有的几何形状可以在泵腔内旋转时提供泵送作用。在优选的实施方案中，泵壳 51 和凸轮 50 由包含氮化硼的可机加工陶瓷形成。值得注意的是，也考虑了可替换的材料，只要泵壳 51 和凸轮 50 的材料具有能防止渗漏的热膨胀，并且该材料能经受与铝泡沫制备一致的温度而没有明显的材料物理性能劣化。

本发明的一个方面是该设备能够在发泡大量开始前泵送孕育的可

发泡熔融铝。在一个实施例中，只要膨胀不大于 250%，优选小于 200%，就可以对可发泡的熔融铝进行泵送。值得注意的是，更大或更小的膨胀程度也被考虑并且在本发明的范围内，只要铝泡沫的膨胀程度没有以不可修复的方式使结构变形。

在一个实施方案中，设备 25 可进一步包括加热的模具或端部。在一个实施方案中，端部被加热到高于进入的孕育可发泡悬浮体的温度以增加发泡剂的分解速率。优选的，端部被加热到 670-740℃ 的温度。在一个实施例中，通过增加孕育可发泡铝合金的温度，可将发泡速率从 6 分钟减少到 30 秒。

在另一实施方案中，可以在发生显著的发泡前将孕育的可发泡熔融铝原料 48 非常迅速的传送到凝固单元以产生用于其它产品应用的可发泡固体前体。令人惊讶的是，由再次熔融的可发泡固体前体生产的铝泡沫导致泡沫孔胞尺寸的粗化。该方法可用于生产适合于许多最终应用的具有较大孔胞尺寸的金属泡沫。

可对本发明的铝泡沫进行处理以提供用于建筑、汽车或航空航天应用的结构材料。在一些实施方案中，可对铝泡沫进行处理以提供平板，其中该平板可用于建筑中使用的地板、屋顶和墙壁。

可选的，可以将孕育的可发泡熔融铝原料 48 传送到模具或者中空零件中，可以在这里使该原料发泡并冷却以便形成模制产品、或者零件的内部或外部。

提供下面的实施例以进一步说明本发明，并且证明从本发明产生的一些优点。并不意图将本发明限制于所公开的具体实施例。

实施例 1：产生反应气体的颗粒对铝合金泡沫稳定性的影响

制备一系列铝合金熔体以确定碳酸钙对铝泡沫稳定性的影响和在泡沫结构中重力脱液的倾向。对包含 100gm 的铝-2 重量%镁合金的样品进行熔融并剧烈搅拌不同时间，同时添加各种重量分数的碳酸钙粉末。在搅拌后，加入单独的化学发泡剂并分散 30 秒。在这些测试中，化学发泡剂是碳酸钙。然后使各种样品发泡，并监控铝泡沫的升高。

在发泡后，使样品迅速冷却，并对泡沫样品进行切割、称重、照相并计算密度。在图 10 中显示了这些测试的结果。这些结果清楚的显示了碳酸钙在产生稳定铝熔体中的作用和碳酸盐分解产物对结构的影响。

在样品 S-787295 中，其中不添加产生反应气体的颗粒 (CaCO_3)，并且熔体仅在空气中简单搅拌 6 分钟，随后化学发泡剂的分散和发泡操作导致品质特别差的泡沫。(与铝比较的)相对密度是基体金属的 77%。从泡沫产品顶部到底部截取样品组得到的标准偏差处在这个相同的水平，这表明样品发生大的重力脱液。这些数据清楚的显示了在空气中简单搅拌(当前方法)对稳定用于发泡的铝熔体是无效的。

在样品-787293(再次如图 9 所示)中，其中向熔体中添加 2 重量%碳酸钙，但仅搅拌 2 分钟，该样品显示产生反应气体的颗粒的不充分分解对于稳定铝泡沫是无效的。在此，缩短的搅拌时间(2 分钟搅拌)导致产生具有不充分水平金属氧化物相的铝基体。随后添加并分散化学发泡剂、接着进行起泡、之后进行冷却产生相对密度为 54%的泡沫产品，其相对密度太高而不被认为是具有吸引力的泡沫产品。泡沫的不同部分间的标准偏差等于约 34%，可以清楚的是，该泡沫产品遭受严重的重力脱液。该结果可以与样品 S-787296 的结果相比较，其中除搅拌时间延长到 6 分钟以外所有的实验参数均相同。这时获得了具有吸引力的 24%的相对密度，并且泡沫部分之间的标准偏差显著下降到 7%，这表明了泡沫产品中高度均匀的密度。

较高水平的产生气体的颗粒，例如对于样品 S-787291、S-787294、S-787299 分为为 4 重量%、8 重量%、10 重量%碳酸钙，显示了泡沫密度和抵抗重力脱液的轻微变化。对于这种特别的合金组成和碳酸钙颗粒尺寸分布，需要最小 2 重量%的添加和 6 分钟的搅拌时间以稳定熔体。

实施例 2: CaCO_3 颗粒尺寸分布对泡沫结构的影响

制备一系列铝合金熔体以确定碳酸钙(产生反应气体的颗粒)的尺寸和重量分数对铝泡沫稳定性和泡沫结构中重力脱液倾向的影响。包

含 100gm 的铝-2 重量%镁合金的样品进行熔融并在添加各种重量分数的碳酸钙粉末后剧烈搅拌 6 分钟。图 11 中显示了该实验的结果，其中标注为“粗”的颗粒对应于 150 微米的体积平均直径，而标注为“细”的那些颗粒对应于 40 微米的体积平均直径。较细的碳酸盐清楚表明在稳定铝熔体中的更大效力。在 2 重量%的碳酸盐添加情况下，“粗”颗粒的添加导致 25%的平均泡沫密度，而“细”颗粒导致 17%的密度。这种较细碳酸盐添加允许粘度增加的有效重量分数降低到 1%，如图 10 所示。这些数据暗示甚至更细的碳酸盐分布将导致更低水平的粘度添加。

实施例 3：镁添加对铝泡沫稳定的影响

制备一系列铝合金熔体以确定镁水平对铝泡沫的稳定性和泡沫结构中重力脱液倾向的影响。包含 100gm 的铝和各种水平镁的样品进行熔融，并在添加 20 重量%碳酸钙粉末后剧烈搅拌。图 12 中显示了结果。在添加 2 重量%Mg (对于这种特定的碳酸盐尺寸和重量分数)时观察到明显的效果，泡沫产品的相对密度从接近真实密度下降到 25 重量%。更高 Mg 添加对于泡沫密度本身具有有限的影响。

实施例 4：使用未耗尽的稳定剂作为发泡剂的铝泡沫单一步骤生产

制备一系列铝合金熔体以便确定在单一搅拌步骤中产生反应气体的颗粒的搅拌时间对铝泡沫密度和稳定性以及对产生孕育的(这里将孕育定义为熔体加上未反应的发泡剂)可发泡进料可能性的影响。图 13 显示了 100gm 的铝-2 重量%镁合金样品的结果，将该样品熔融并在添加碳酸盐后剧烈搅拌不同时间。对于这些碳酸盐的尺寸，结果显示最佳的搅拌时间是约 6 分钟以获得最低的泡沫相对密度——18%。

更短的搅拌时间显示出不足稳定水平的影响，表现为密度从泡沫顶部向底部的增加。然而在搅拌 10 分钟的情况下，留下未反应的碳酸盐不足以在发泡步骤期间驱动泡沫的膨胀，导致相对密度的升高。因

此 10 分钟的搅拌, 尽管提供了(通过密度读数间的低标准偏差判断的)最高的稳定程度, 但是没有提供稳定作用和残留泡沫功效之间的最好平衡。

实施例 5: 使用未耗尽的稳定剂作为发泡剂铝泡沫单一步骤生产制备一系列铝合金熔体以确定搅拌时间和产生反应气体的颗粒的重量分数对铝泡沫的密度和稳定性以及对在单一搅拌步骤中产生孕育可发泡进料可能性的影响。图 14 显示了 100gm 的铝-2 重量%镁合金样品的结果, 将该样品熔融并在添加碳酸盐后剧烈搅拌不同时间。对于这些碳酸盐的尺寸, 结果显示增加搅拌时间或增加碳酸盐水平可以提高稳定性, 同样通过取自从顶部到底部的密度标准偏差判断。单独添加碳酸盐, 从 8 重量%增加到 14 重量%, 并且搅拌时间从 2 分钟至 8 分钟不等, 具有低达 17%的最终密度。

尽管关于优选实施方案对本发明进行了具体显示和描述, 然而本领域的技术人员清楚, 可进行上述和其它细节形式的变化而不背离本发明的主旨和范围。因此意图是本发明不局限于所描述和说明的确切形式和细节, 而是落在所附的权利要求的范围内。

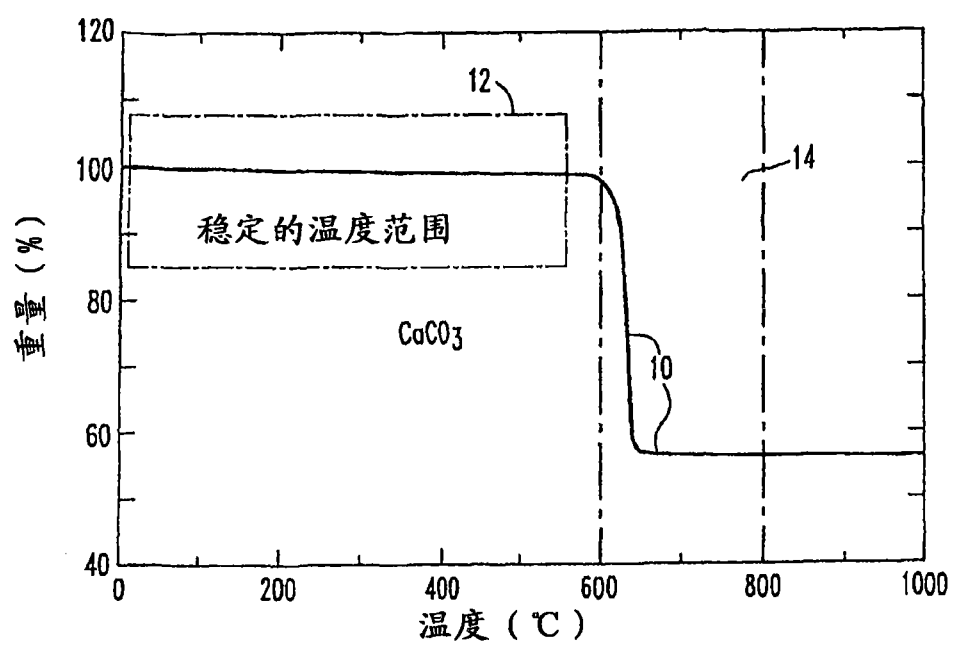


图 1

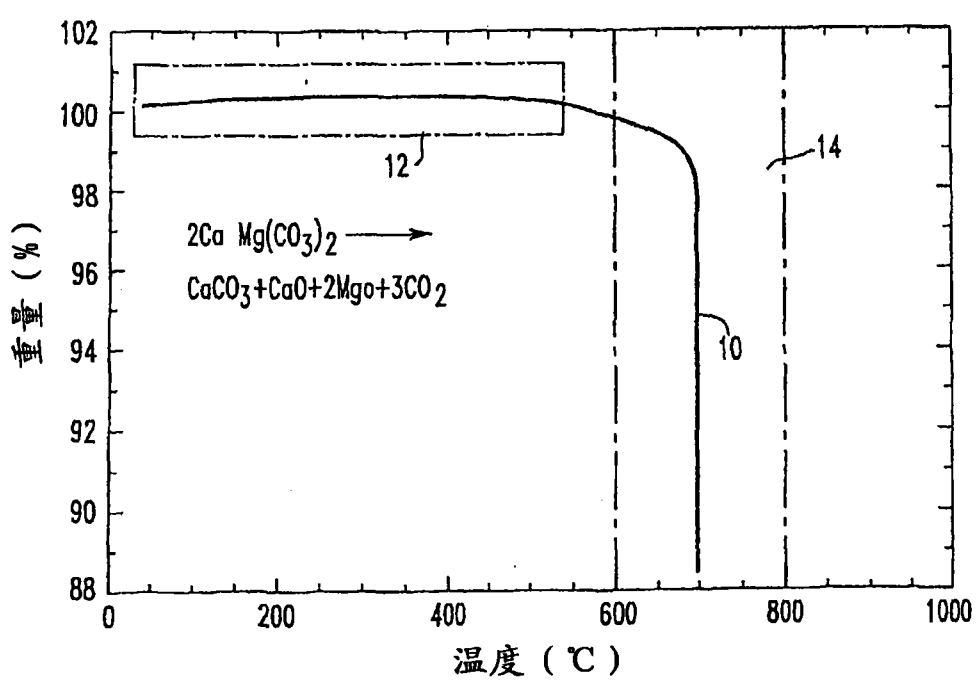


图 2

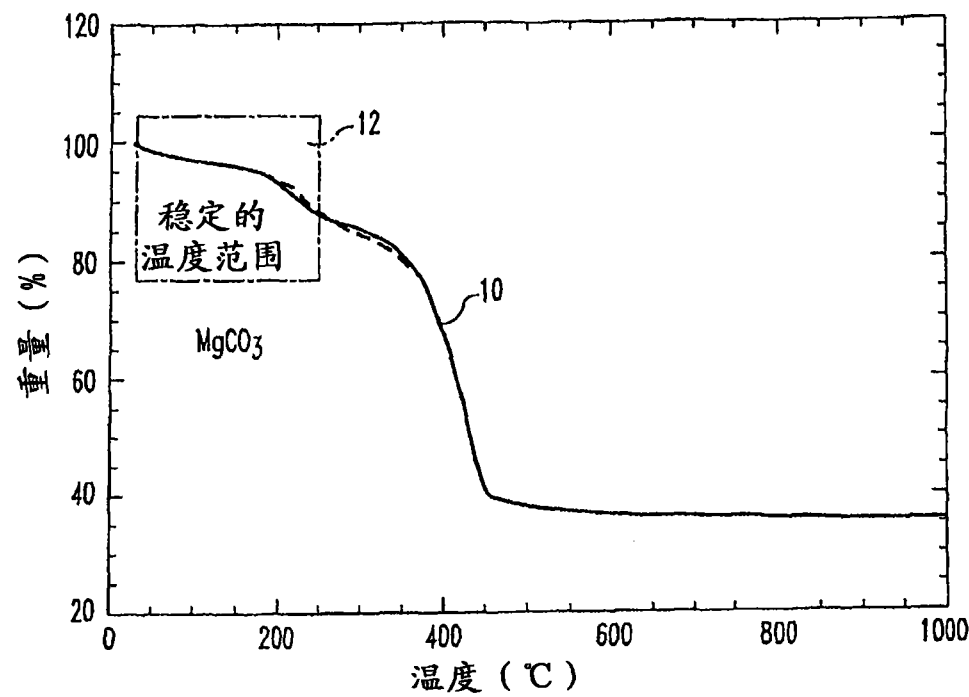


图 3

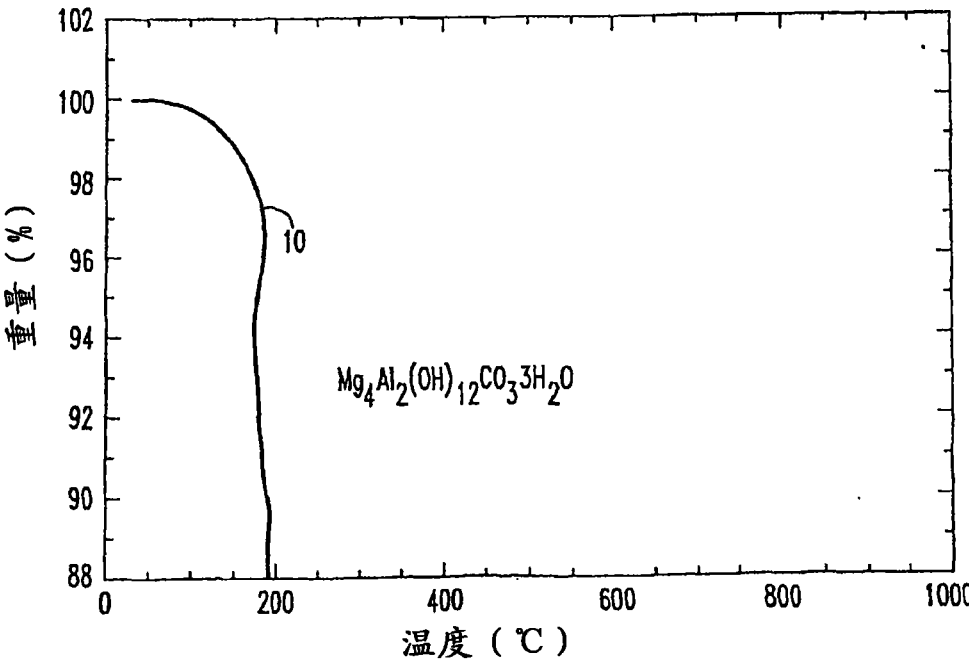


图 4

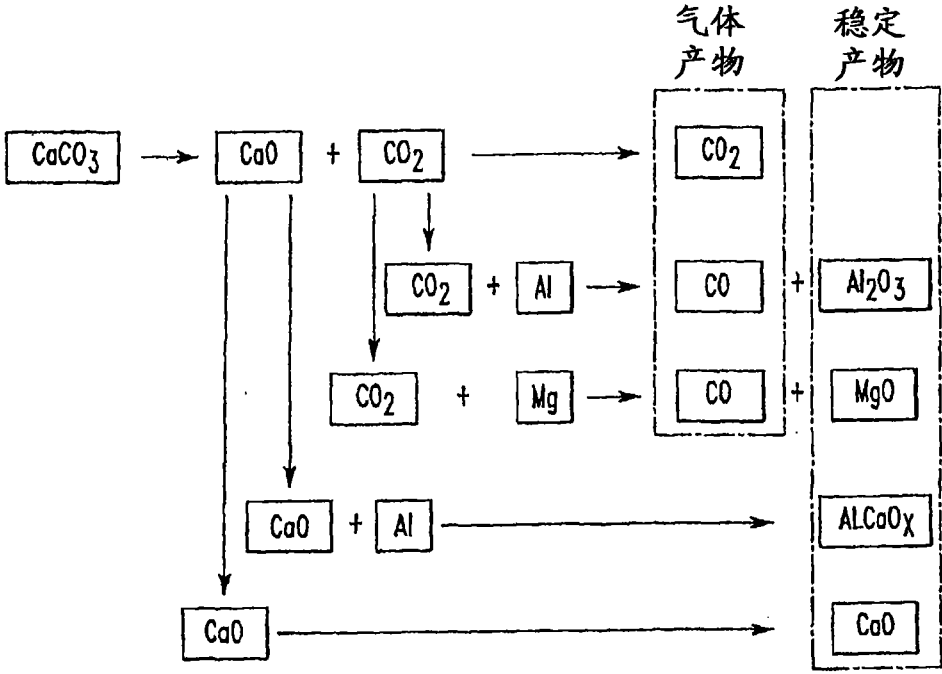


图 5

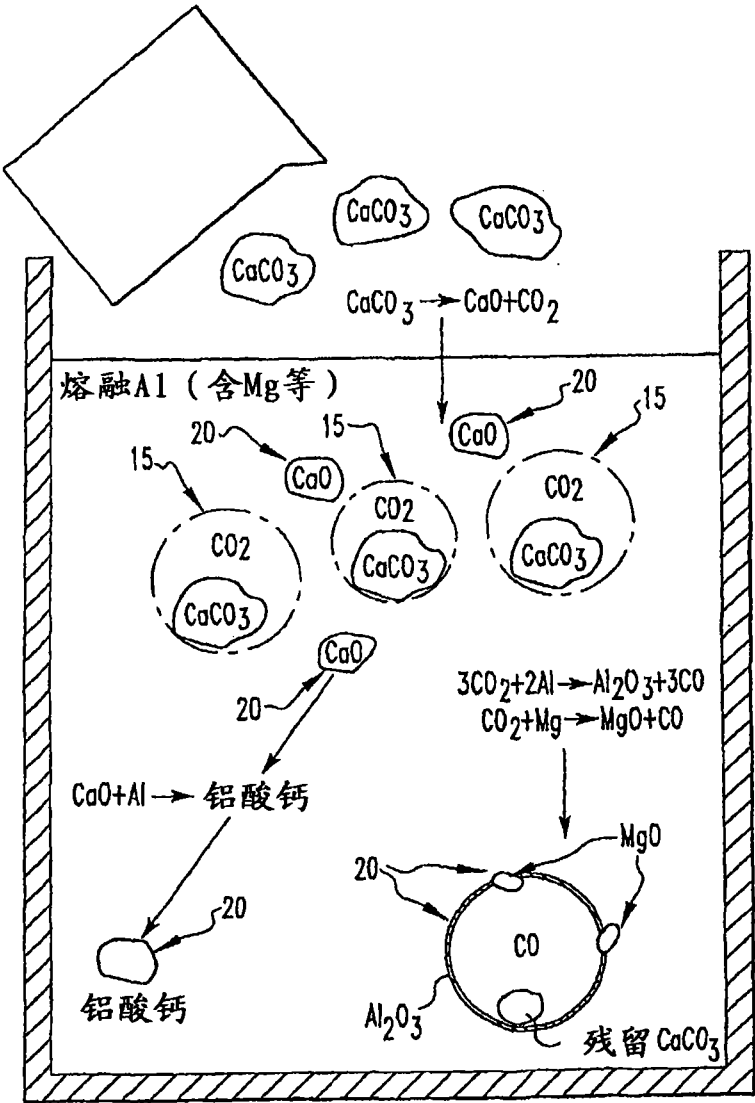


图 6

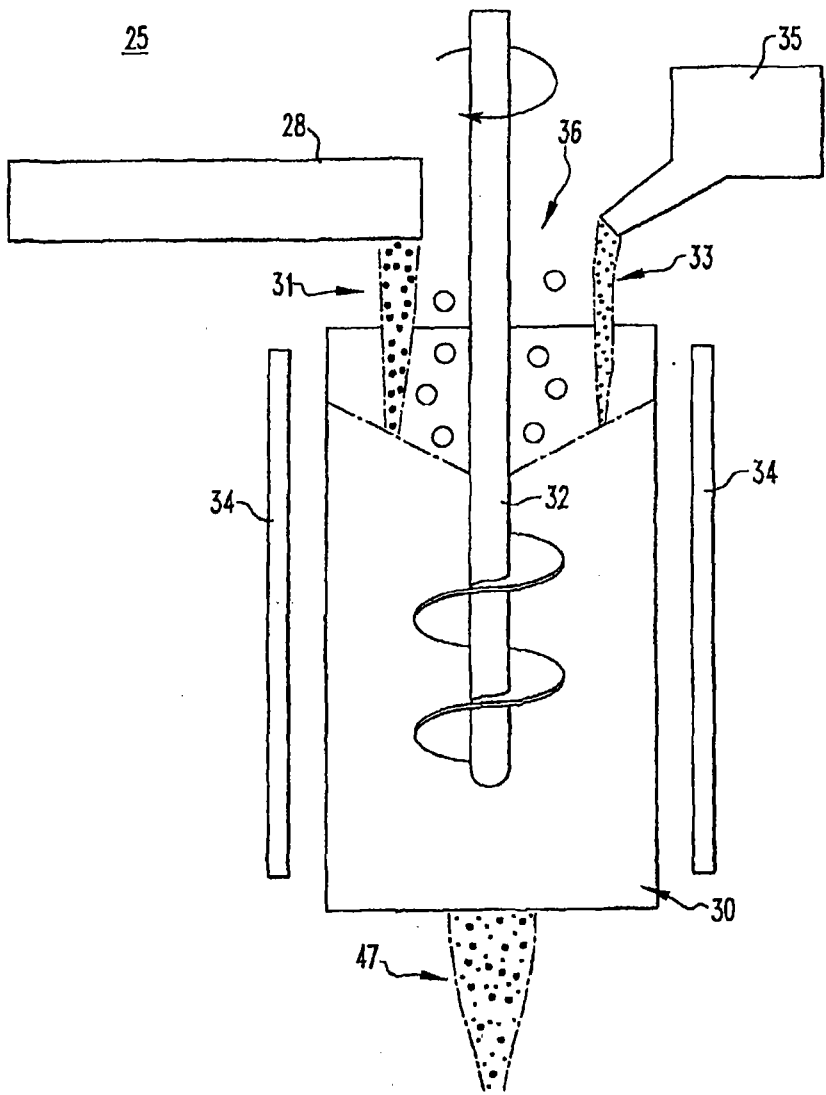


图 7

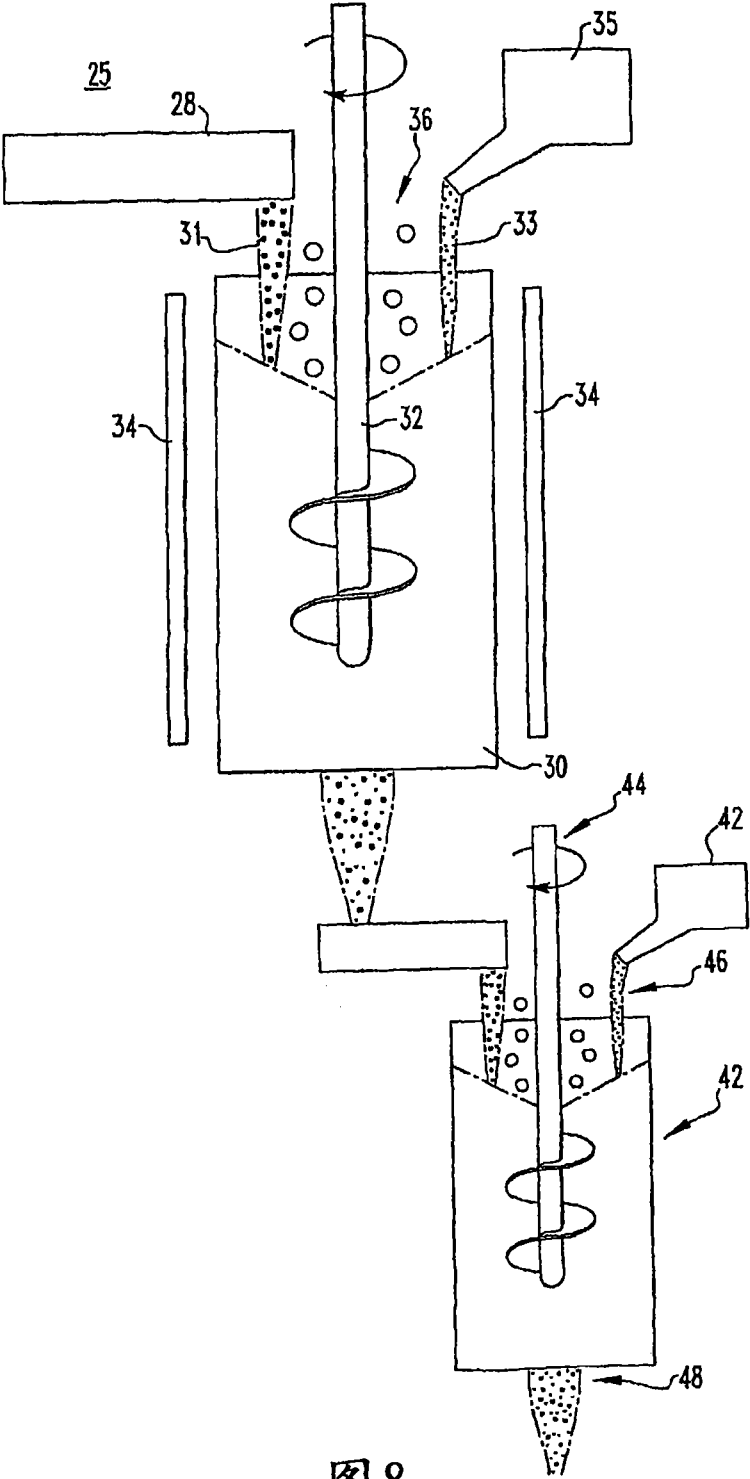


图 8

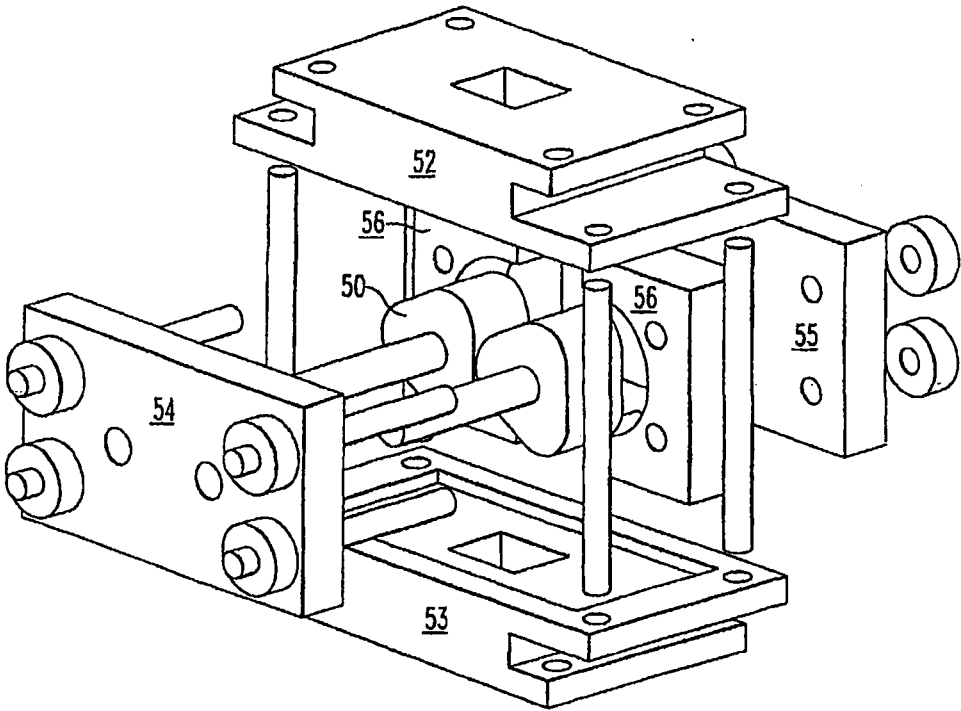


图9A

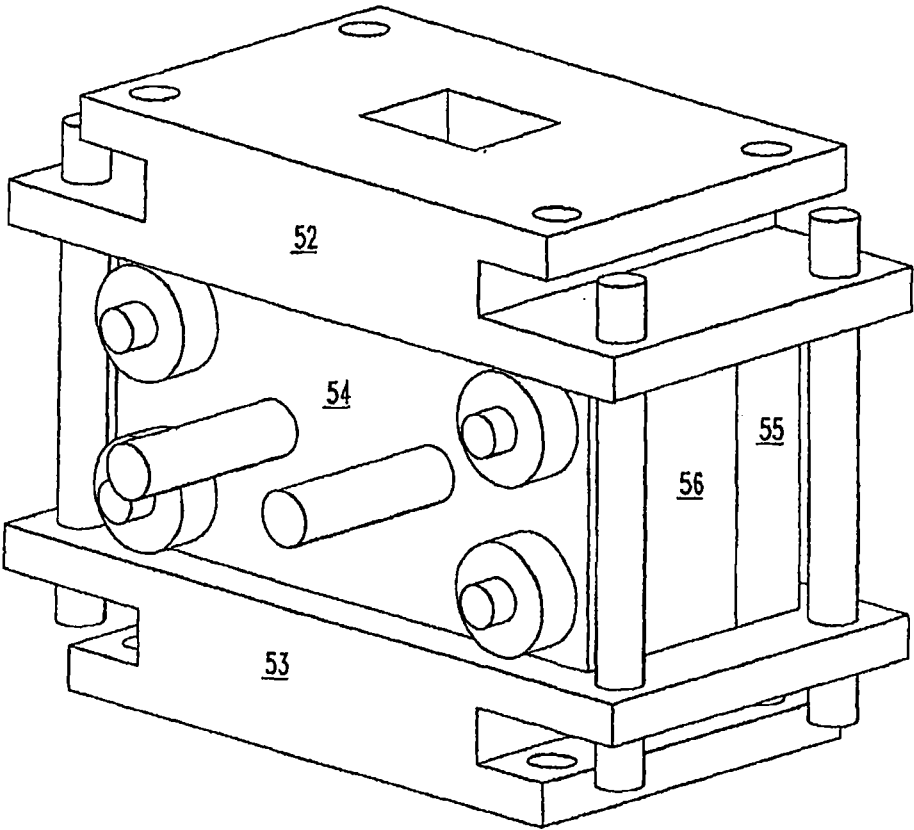


图9B

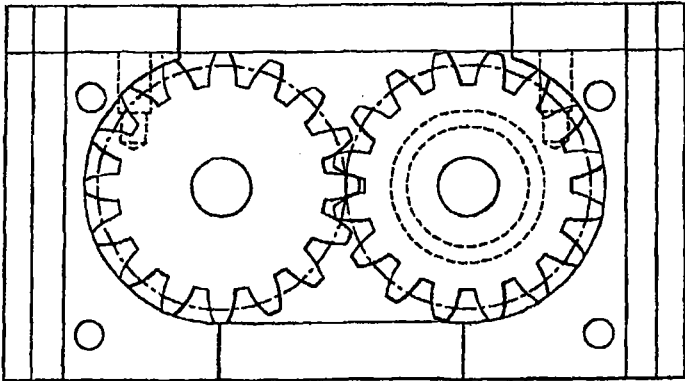


图9C

2 步法: 粘度剂添加+发泡剂添加
Al-2wt% Mg // VA: ATF 40 CaCO3 // FA: ATF 40 CaCO3

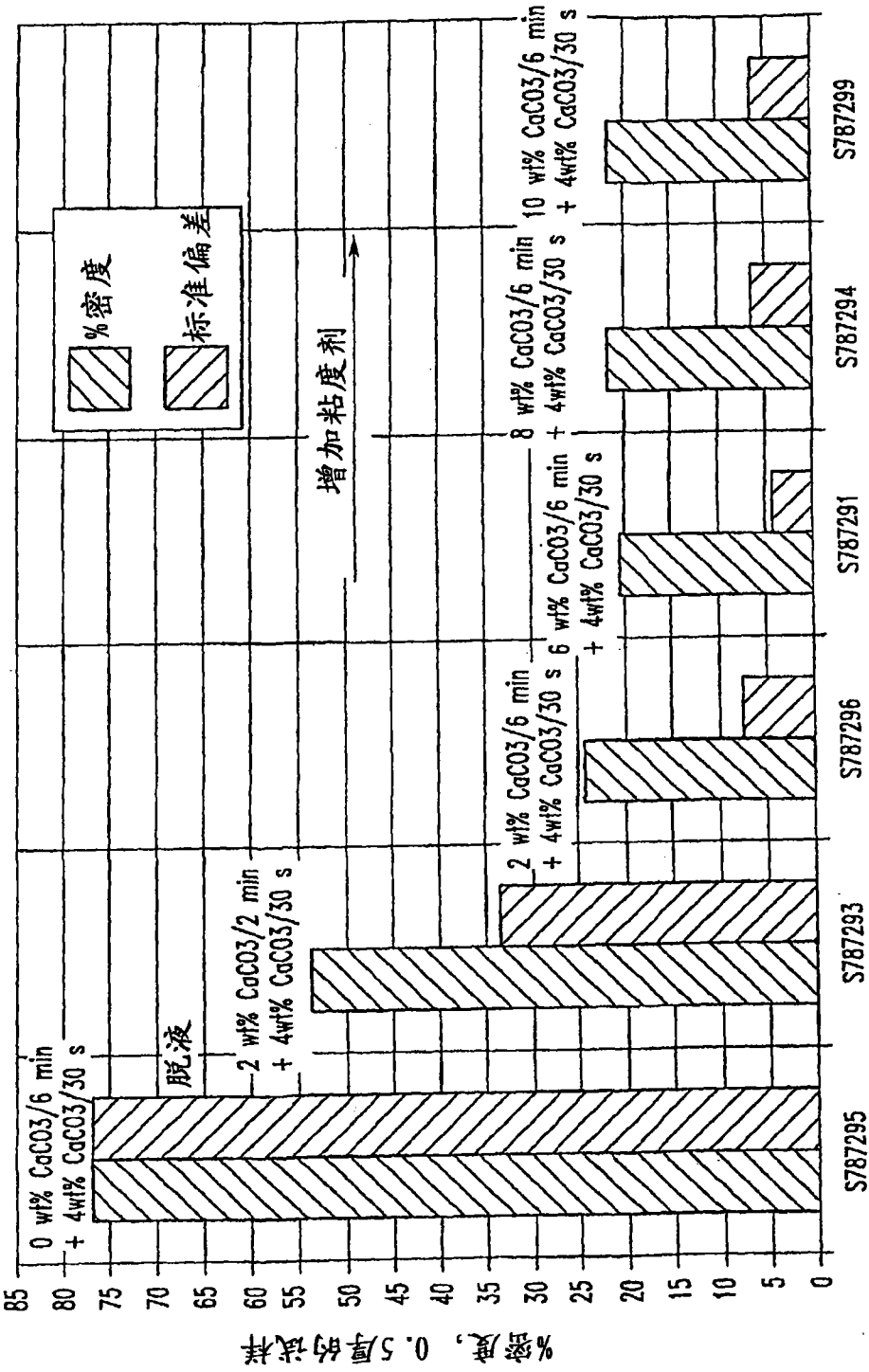


图10

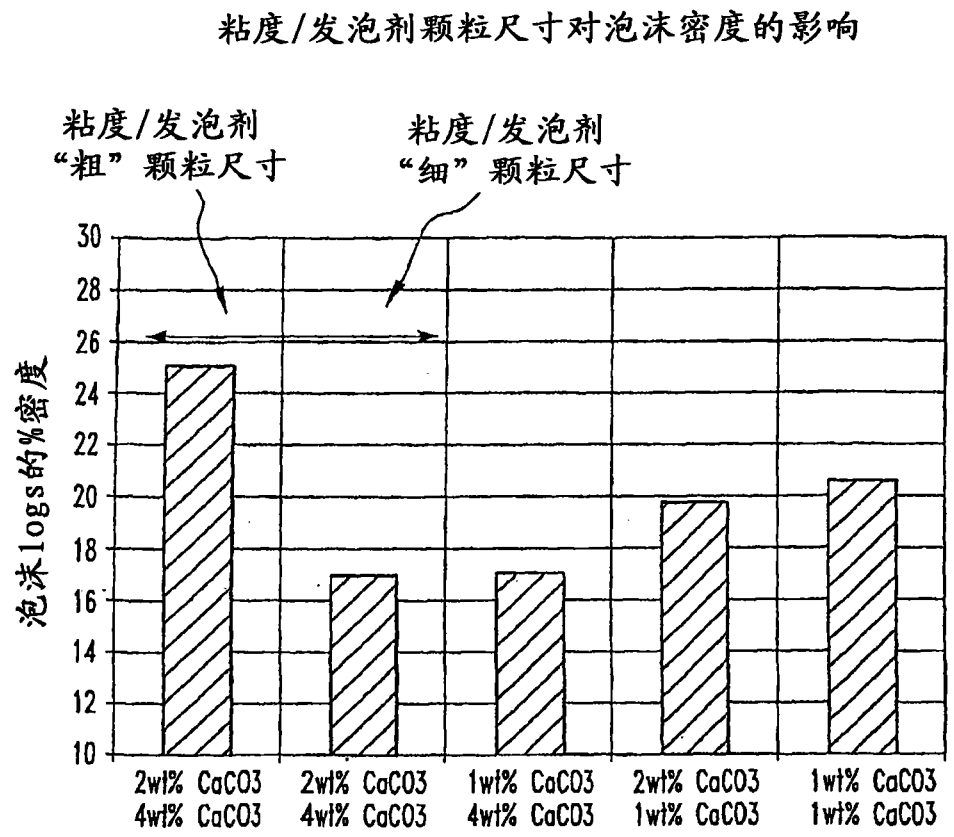


图 11

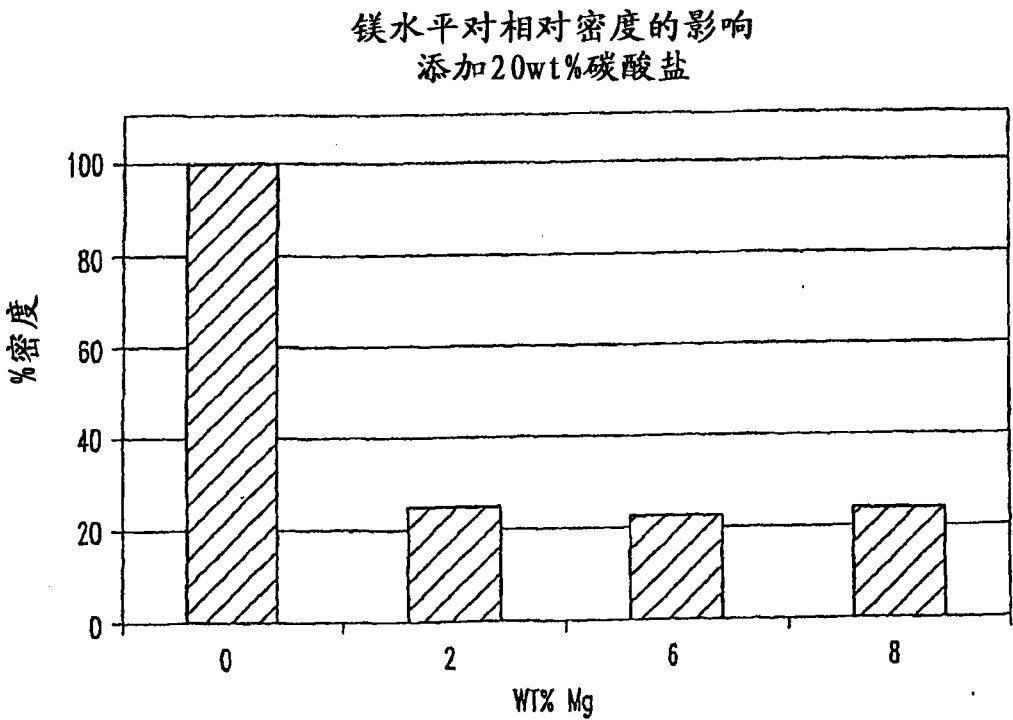


图12

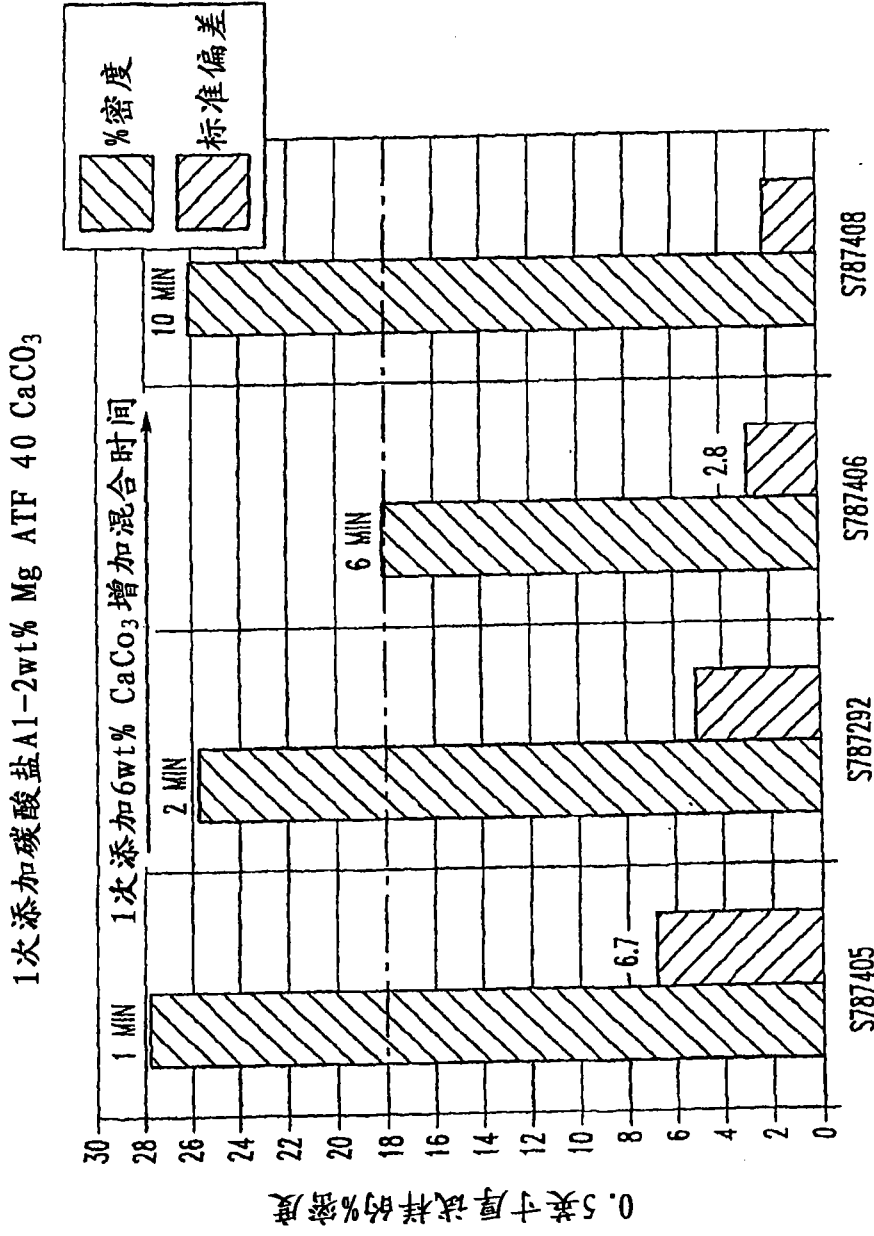


图13

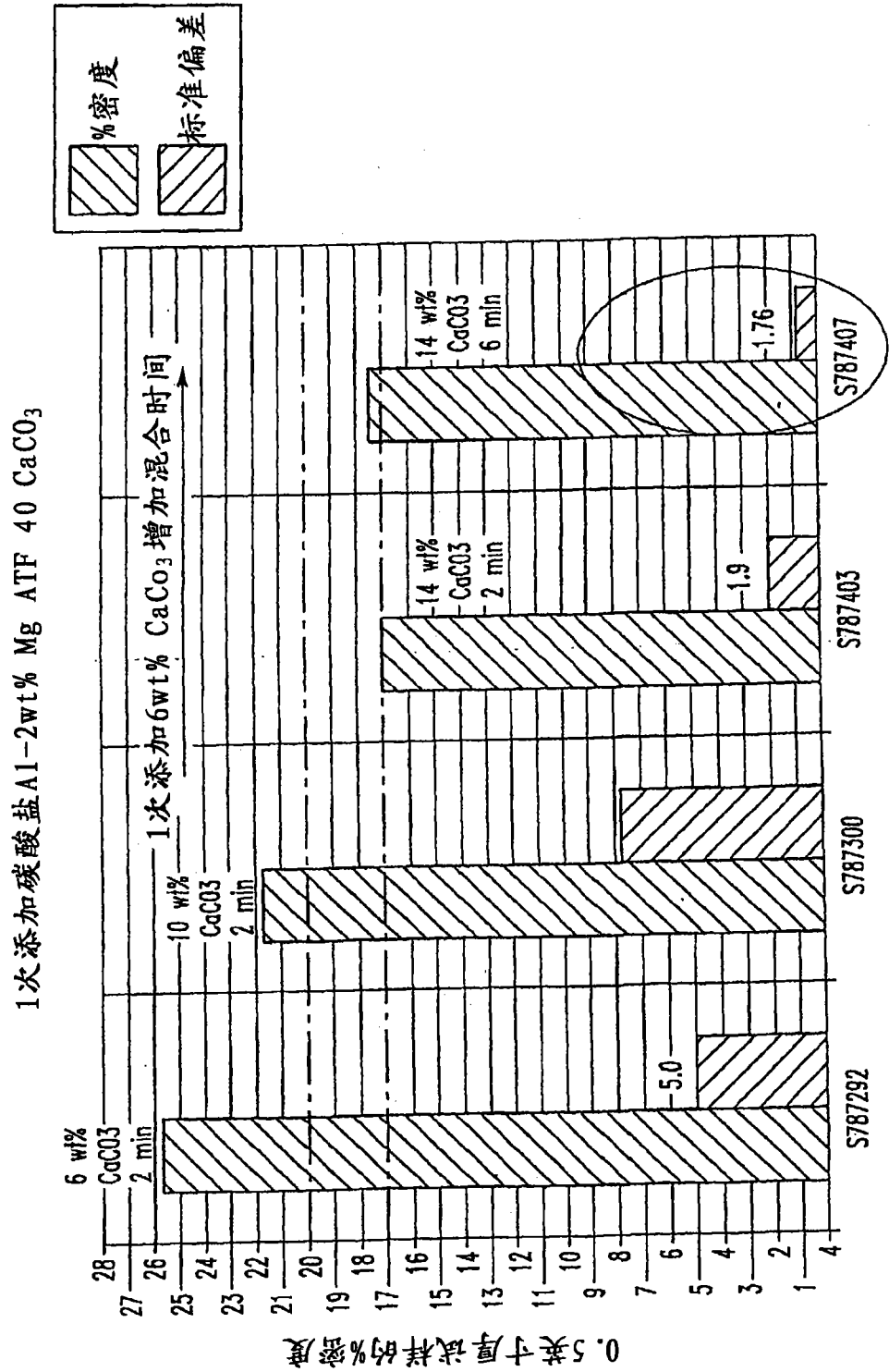


图14