

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

C22F 3/00 (2006.01)
B22D 27/20 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710148290.4

[43] 公开日 2008年2月6日

[11] 公开号 CN 101117698A

[22] 申请日 2004.3.1

[21] 申请号 200710148290.4

分案原申请号 200480008420.9

[30] 优先权

[32] 2003.3.4 [33] US [31] 60/451,748

[32] 2003.6.6 [33] US [31] 60/476,438

[32] 2004.1.21 [33] US [31] 10/761,911

[71] 申请人 布勒王子公司

地址 美国密执安州

[72] 发明人 詹姆斯·A·于尔科

罗杰·W·布劳尔

劳尔·A·马蒂内兹

默顿·C·弗莱明斯

保罗·贝尔泰利

[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 蒋旭荣

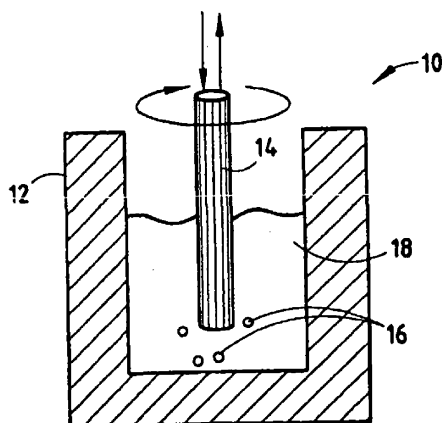
权利要求书1页 说明书13页 附图1页

[54] 发明名称

制备金属部件的装置

[57] 摘要

一种用于由非枝状半固态金属合金浆生产金属部件的装置，其涉及功能上等同于常规的金属棒搅拌器的石墨搅拌器的应用，所述石墨搅拌器具有很低的表面润湿性的附加优点，因而，与在将搅拌器从金属浆中取出之后所形成的金属合金表皮移除相关的劳动和花费被消除了或大大减少了。本发明还提供一种由非枝状半固态金属浆生产金属部件的改进的方法和装置，其利用搅拌在第一容器中形成所述浆之后，通过将所述浆转移到冷却容器以在不搅拌的情况下进行随后的冷却和提高固体含量，从而获得所述浆的快速冷却和生产率的增加。



1. 一种由液态直接生产非枝状半固态金属合金浆进而形成金属部件的装置，其包括：

用于存放金属合金成分的容器；以及

石墨搅拌器，其用于在快速冷却所述金属成分以使其开始凝固并在金属合金成分中形成非枝状固体颗粒时产生对流。

2. 如权利要求 1 所述的装置，其还包括一个单独的冷却容器。

3. 一种由液态生产非枝状半固态金属合金浆进而形成金属部件的装置，其包括：

用于存放金属合金成分的容器；

搅拌器，其用于在快速冷却所述金属成分以使其开始凝固并在金属合金成分中形成非枝状固体颗粒时产生对流；以及

进一步冷却所述浆并提高其固体含量的冷却容器。

4. 如权利要求 2 或 3 所述的装置，其特征在于：所述冷却容器具有从钢和不锈钢中选择出的一种材料制成的壁。

5. 如权利要求 2 或 3 所述的装置，其特征在于：所述冷却容器具有由石墨制成的壁。

6. 如权利要求 4 所述的装置，其特征在于：冷却容器的内壁具有非润湿性或低润湿性的涂层。

7. 如权利要求 6 所述的装置，其特征在于：所述的涂层为氮化硼涂层。

制备金属部件的装置

本分案申请是基于申请号为 200480008420.9（其国际申请号为 PCT/US2004/006224）、申请日为 2004 年 3 月 1 日、发明名称为“制备金属合金的方法和装置”的中国专利申请的分案申请。

根据美国法典第 35 篇第 119(e) 条，本申请要求 James A Yurko 等于 2003 年 3 月 4 日申请的、名称为“PROCESS AND APPARATUS FOR PREPARING A METAL ALLOY”（制备金属合金的方法和装置）、申请号为 60/451,748 的优先权，本申请引用这一优先权文本的全部公开内容作为参考，根据美国法典第 35 篇第 119(e) 条，本申请还要求 James A Yurko 等于 2003 年 6 月 6 日、名称为“PROCESS AND APPARATUS FOR PREPARING A METAL ALLOY”（制备金属合金的方法和装置）、申请号为 60/476,438 的优先权，本申请引用这一优先权文本的全部公开内容作为参考。

技术领域

本发明涉及工业用金属成形领域，尤其是涉及一种由非树枝状、半固态金属浆形成金属部件的装置和方法。

背景技术

众所周知，多数金属合金成分呈树枝状固结。在合金成分冷却到液相温度之下时，其由晶核开始逐渐形成枝状或树状颗粒。同样众所周知，分割枝状颗粒或在固结期间阻止枝状生长以形成大体为球形或椭球形的非枝状的或退化的枝状颗粒具有某种优点。特别是，人们已经发现各种方法和物理性质优点可通过浇铸或者其它方法由非枝状、半固态的金属浆形成金属部件而获得。与含有枝状颗粒的半固态金属合金成分相比，半固态金属浆中的非枝状金属颗粒大大地降低了特定固体部分的粘度。粘度上的差别通常为几个数量级。

非枝状半固态金属成形的优点包括：较高速度的部件成形、高速的连续浇铸、较低的模具腐蚀、较少的能量损耗、改进的填模、减少的氧化物（其改善了最终金属部件的可加工性）、较少的滞留气体（从而降低其孔隙度）。由半固态浆浇铸或以其它方法形成金属部件的其它优点包括在形成金属部件期间具有较小的收缩、在成形金属部件中具有较少的孔隙和较小的孔隙度、较低和宏观偏析和较均匀的机械性质（如强度）。在浇铸或其它成形工艺中使用非枝状半固态合金成分形成较复杂的部件也是可能的。例如可形成具有较薄的外壁并提高了强度特性的部件。

通过在液态金属合金成分冷却到合金成分的液相温度以下的期间使用机械混合，已经制备了用于工业浇铸和其它金属成形工艺的非枝状半固态浆。现已使用的其它技术包括在冷却期间进行电磁搅拌（通常用于连续浇铸工艺）、在液态金属成分经过曲折的通道时冷却液态金属成分、在半固态温度区域进行长时热处理等。这些工艺是众所周知的并已经被很好地应用于各种工业上重要应用中。

最近，通过将过热的熔融合金倾注到相对较凉的容器（如熔炉或者模铸机的冷却室）中，产生了非枝状半固态浆。这些工艺依赖于在倾注过程中当合金接触容器壁时将合金成分从液相温度以上冷却到液相温度以下。这种工艺在形成非枝状半固态金属浆时是有效的；然而其具有工艺限制。首先，该工艺依赖于容器壁的排热。由于容器壁温度的改变和不连续的圆筒表面积使得利用这一技术来控制热量的去除变得困难。其次，通过倾注会发生对流；因此，如果在太高的温度下注入合金，对流力就会在合金通过液相而进行冷却之前消散，阻止了非枝状浆的形成。

工业品包括各种用于汽车应用的铝镁合金部件，如主制动气缸，以及用于转向和悬架系统的各种部件。其它实际或潜在的应用包括摇臂、发动机活塞、车轮、传动部件、燃料系统部件以及空调部件。

使用机械搅拌形成非枝状半固态金属浆的已知工艺存在一个问题，即搅拌器的表面会被金属浆中液态金属弄湿。因此，当将搅拌器

从金属浆中移出时，一些金属浆中的液态金属会粘在搅拌器的表面。一些湿润或粘在搅拌器和/或容器表面的液态金属快速凝固并形成金属涂层，该涂层必须在搅拌器和/或容器再次用于制备更多的非枝状半固态金属液浆之前被去除。从搅拌器表面去除金属沉积物常常是困难的、耗时且成本较高，并且会导致较低的成品率。具有较低润湿性的材料通常不适用于处理液态金属合金成分（如因为它们在高温时缺少足够的与非枝状半固态金属浆的生产相关的机械性质）和/或不具有足够高的适于快速从非枝状半固态金属浆中快速除热的热传导率。通过在金属搅拌器的表面应用低润湿性的涂层可获得较低的润湿性。氮化硼涂层已经被用在搅拌器和/或容器表面以成功地降低润湿性而不降低其热传导率。然而，氮化硼涂层缺少结构强度并需要周期性地更换。

利用常规的工艺来制备具有相对较高的固体含量（如约大于10%）的非枝状半固态金属合金成分的另一问题为常常需要大量的时间来冷却金属浆以获得所需的固体含量。通常在陶瓷容器或预热容器中搅拌合金成分以防止在容器（搅拌就在其内完成）壁形成晶核和固体。因此，相对较慢地进行冷却，从而较长的处理时间和较低的产量。通过使用具有足够质量、热传导率和热容量的凉容器可获得快速冷却。然而，这能产生不可接受的不利于形成非枝状半固态金属浆的高温度梯度，和/或将合金成分冷却到不适于将合金成分构造成所需部件的温度。

美国专利 US6,645,323 公开了一种无表层（skinless）金属合金成分，其不含有封闭气体并包括在次生相均匀分布的初生相固体不连续退化枝状晶体。所公开的合金是通过某一工艺形成的，该工艺在容器内加热金属合金直至使其变为液态。之后，快速冷却液体，同时尽力搅拌，该搅拌是在避免在形成均布在液体中的固体晶核时将气体封闭在其内的条件下进行的。利用伸入液体的冷却旋转式探测器可完成所述的冷却和搅拌。当液体中含有少量固体或者从搅拌源去除液固合金时停止搅拌，同时继续进行冷却从而在液态的次生相形成初生相固体不连续退化枝状晶体。例如通过浇铸而在之后形成固液混合物。

US6,645,323 所公开的工艺的一个问题是用于冷却和搅拌的冷却旋转探测器易于涂敷有液态金属，所述液体金属粘着在搅拌器的表面。因此，这一专利所述的搅拌器需要经常清洗和/或更换。此外，需要改进对由铝合金成分排出的热量的控制。在本发明的某些方面，提供了克服这些缺陷的方法和装置。

发明内容

本发明提供一种用于生产非枝状半固态合金浆的改进方法，所述的合金浆用于形成金属部件。尤其是，本发明提供一种促进非枝状半固态金属浆快速冷却和/或消除或减少以下问题的装置和方法，即该问题与接触金属浆的装置表面上金属的积聚和去除有关。

根据本发明的一个方面，其提供一种利用石墨搅拌器制备非枝状半固态金属合金浆的方法和装置。所述石墨搅拌器具有合适的高温强度性质和热传导率，其有助于液态合金成分的快速冷却，并且其还表现出较低的润湿性，因而，消除或大大减少了在将搅拌器从金属浆中取出之后将金属从搅拌器表面移除的需要，并且积聚在搅拌器上的任何金属可容易地被去除。因此，石墨搅拌器可用于同时从合金成分去除热量，并且还可促进产生有助于非枝状半固态合金成分的形成的对流，并且还可避免金属浆冻结或沉积在搅拌器上。

根据本发明的另一方面，根据铝合金成分在与搅拌器接触之前的初始温度和搅拌器排热的速度，从铝合金成分中排出热量的数量可通过使铝合金成分与搅拌器接触一预设的时间段而得以控制。

又一方面，其提供一种快速冷却非枝状半固态金属合金浆的方法和装置，其将金属合金浆含有较低固体含量（如重量百分比从约 1% 到约 10%）时的温度冷却到金属合金浆含有较高固体含量（如重量百分比从约 10% 到约 65%）时的温度。所述的方法和装置涉及一容器的使用，该容器具有由高热传导率的材料制成的壁，所述的壁有助于金属合金浆的快速冷却。风扇或鼓风机可用于在容器壁周围导入冷空气。

结合下面的说明、权利要求和附图，本领域的技术人员可进一步理解和认识本发明的这些和其它特征、优点及目的。

附图说明

图 1 为根据本发明实施例中装置的示意图。

图 2 为根据本发明的另一实施例的示意图。

具体实施方式

如图 1 所示，其中示出了根据本发明的实施例的用于制备非枝状半固态金属合金成分的装置 10。一种非枝状半固态金属成分为含有液态金属的成分和分布在液态金属中的不连续的固态非枝状合金颗粒。非枝状颗粒为这样一种颗粒，其一般为球形或椭球形，并且其在合金成分的液相温度之下液体形成晶核和冷却期间由液相中的对流所产生。一种公认的理论认为非枝状的颗粒是由对流产生的，所述的对流使正在生长的枝状晶臂断裂，随后的成熟有助于使颗粒平滑为特有的球形和/或椭球形。由于这个原因，非枝状的颗粒有时指的是退化的枝状颗粒。

所述的装置包括第一保持容器 12，其用于容纳和保持液态合金成分，搅拌器 14 插入到液态合金成分中并进行旋转以在液态合金成分中产生对流。所述的搅拌器还传导来自合金成分的热量并形成晶核。由于冷却使液态金属合金从刚好高于液相温度的温度降低到低于液相温度的温度，随着对所述成分的搅拌，非枝状固体颗粒 16 逐渐从液体中析出，从而形成半固态金属浆 18。理想地是，所述的搅拌器由某种材料制成并具有一定质量，随着合金成分从略微高于液相温度的温度降低到低于液相温度几度的温度，所述搅拌器能够快速地将热量从合金成分移走。也就是说，想要将搅拌器 14 设计成能够快速排出形成非枝状半固态金属合金成分所需的热量，所述的金属合金成分通常含有重量约为 1% 到 20% 的固体含量。利用搅拌器进行搅拌的持续时间控制了从铝合金成分中排出的热量。因此，如果初始金属温度存在变化，则控制搅拌的持续时间以产生同一温度的产品。所述金属的温度可利用各种设备的任一种进行控制，如光学高温计、热电偶等。

例如，搅拌器 14 可为圆柱形。因而，搅拌器 14 可明显不同于常规的搅拌器，常规的搅拌器在晶体形成时就会物理破坏所述的枝状晶

体。然而，能够获得快速冷却的圆柱形搅拌器产生了晶核或由搅拌运动所产生的对流而分布的退化的枝状晶体。因而，使用常规机械搅拌来形成非枝状金属浆是不必要的，所述的机械搅拌物理地破碎了枝状晶臂。

根据本发明的优选实施例，所述的搅拌器由具有相对较高的热传导率（优选可与铜的热传导率相比）和存在铝的情况下具有相对较低的润湿性（优选可与氮化硼相比）的材料制成。一种公认的搅拌器可为涂敷有氮化硼的铜搅拌器。然而更需要提供一种无涂层的搅拌器，该搅拌器具有所需的热扩散系数以快速去掉热量，这对于防止搅拌器表面接近合金成分的液相温度是重要的，并且还具有所需的低润湿性以防止当将其从金属浆中移出时金属积聚或者聚集在搅拌器的表面上。已经发现，用于制造搅拌器 14 的一种非常有用的材料为石墨。石墨具有相对较高的热扩散系数（如可与铜相比），并且具有相对较低的润湿性（如可与氮化硼涂层相比）。已经发现，石墨搅拌器具有在功能上等同于通常用于形成非枝状半固态金属合金浆的搅拌器的强度和热性质，并且还增加了对液态金属合金基本上无润湿性的优点。因此，在多个单独周期内重复使用石墨搅拌器而不用从搅拌器表面去除金属合金是可能的。然而，棒表面必须处于低于合金液相温度的温度以快速地从熔融的合金将热量移走。此外，任意积聚的金属可轻易地被去除，例如通过使石墨搅拌器的表面靠着套筒经过。

本发明的方法包括形成金属合金液体成分的第一步骤。所述的液体合金成分位于容器 12 内，并在尽力搅拌要冷却合金时使其冷却，例如通过在某种条件下的搅拌，以形成固体晶核颗粒，同时避免了将气体封闭在所搅拌的合金成分内。在合金冷却的同时以某种方式尽力搅拌所述合金，所述的方式为使固体晶核基本上均匀地分布在金属液体合金成分内。可以在一个温度范围内使用快速冷却的速度范围进行一段短时间的搅拌，所述的短时间如在约 1 秒与约 1 分钟之间，优选在约 1 秒与 30 秒之间，该温度范围相应于固体重量百分比在约 1% 与约 20% 之间的合金的凝固百分比，优选固体重量百分比在约 3% 与

约 7%之间。可使用凉的搅拌器以任何方式实现所述的搅拌，其避免了在液体表面产生过多的空穴，从而避免了将气体封闭在液体内。经过热交换流体（如水）可使所述的搅拌器冷却。代表性的合适的搅拌装置包括一个或多个设有内冷却装置的圆柱杆、螺旋搅拌器或者类似的装置，这些装置优选伸过液体的深度。所述搅拌器伸入液体的深度基本上达到了 100%的液体深度，以有助于晶核均匀分布。然后，在一次批量生产中停止搅拌，或在连续生产中将液固合金从搅拌源中移走。之后，在容器内冷却所形成的液固金属合金成分，以使球形固体颗粒在固体晶核颗粒周围形成并达到一定浓度，其中，非枝状球形和/或椭球形固体颗粒增加了整个液固成分的粘度，其中可将该液固成分移动到成形步骤中，如浇铸步骤。通常，非枝状初生相固体的上部重量百分比在约 40%与约 65%之间，并优选含有液固成分的总重量的 10%到 50%。在不搅拌的情况下，球形和/或椭球形固体颗粒的形成可通过粗化实现而不形成相互交联的枝状网状物。由于所述的搅拌只是在短时间内受到影响，所以避免了将气体封闭在合金成分内。此外，已经发现，通过这种方式操作，在整个所生产金属合金产品的整个批量中消除或最小化元件的宏观偏析。之后，例如通过浇铸使所述的液固成分成形。

包括非枝状固体金属合金颗粒和液相的金属合金成分可由多种金属或合金构成，当其不用搅拌由液态冻结时其可形成枝状网状结构。所述的非枝状颗粒可由一种初生相构成，其具有一种平均成分，该平均成分不同于周围次生相（取决于温度的液相或固相）的平均成分，所述的次生相本身根据进一步地凝固可包括初生相和次生相。

所述的非枝状固体（退化的枝状结晶）的特征在于具有平滑的表面和很少的分支结构，其比通常的枝状结晶更接近球形结构并且不具有枝状结构，在枝状结构中，初生相颗粒的相互连接受到影响以形成枝状网状结构。此外，初生相固体基本上不是共晶体。这里所用的术语“次生相固体”意思是由存在于金属浆中的液体在比形成非枝状固体颗粒的温度低的温度下凝固形成的相态。通常，凝固的合金具有在凝

固的早期阶段相互分离的枝状晶体，所述的早期阶段也就是固体的重量百分比达到 15 到 20，并且在温度降低和固体的重量百分比增加时其形成相互连接的网状。另一方面，通过保持相互分离的不连续非枝状颗粒，本发明含有初生相、非枝状固体的成分防止了相互连接的网状结构的形成，所述的分离是固体部分甚至达到 65%（重量百分比）的情况下通过液相而得到的。

在形成非枝状固体之后，在由凝固作用形成了液相期间，所形成的次生相固体含有一种或多种类型的相态，其可在凝固期间通过常规的成形方法获得。也就是说，次生相包括固体溶液，或者枝状晶体、化合物和/或固体溶液的混合物。

非枝状颗粒的大小取决于所用合金或金属成分、固液混合物的温度、以及在固液温度范围内合金花费的时间。一般情况下，初生相颗粒的尺寸取决于金属浆的成分和热机历史、所形成的晶核数量、冷却速度，并且其在约 1 微米到约 10,000 微米的范围内并且在全部金属合金成分内尺寸均匀。优选地是，因为这些成分具有促进易于浇铸或成形的粘度，所述的成分包括 10%到 50%（重量百分比）的初生相固体。

本发明的成分可由任意金属合金系统形成，当由液态冻结形成时，其形成枝状结构。即使某一温度下的纯金属和共晶体熔融，它们可用于形成本发明的成分，这是因为通过控制向熔融物输入或输出净热量可使它们在熔点存在液固平衡，以便金属或共熔物在熔点含有足够的热量用于仅熔化一部分金属或共晶液体。这种情况的出现是因为完全移走本发明的浇铸过程所用的金属浆内的熔化热量不能通过使供应的热量与由周围环境的冷却装置去除的热量相等而获得。典型的合适的合金包括但并不局限于铅合金、镁合金、锌合金、铝合金、铜合金、铁合金、钴合金。这些合金的示例为铅锡合金、锌铝合金、锌铜合金、镁铝合金、镁铝锌合金、镁锌合金、镁硅合金、铝铜锌镁合金、铜锡青铜、黄铜、铝青铜、钢、铸铁、工具钢、不锈钢、超耐热不锈钢、以及钴铬合金，或纯金属，如铁、铜或铝。

图 2 示出了本发明的一个可选择的实施例，其包括装置 10，该装

置基本上类似于图 1 所示的实施例，但是其包括一个冷却容器 20，在保持容器 12 中搅拌完成并且固体含量达到了约 1% 到约 20% 之后，将金属浆 18 倒入到冷却容器 20 中。冷却容器 20 具有由高热传导率的材料制成的壁 22。容器壁 22 具有允许壁 22 与给定量的金属浆 18 快速达到温度平衡的总热容（壁的比热容乘以壁的质量），以在容器壁 22 与金属浆接触前维持在相对较低的预设温度时能使金属浆快速冷却，从而获得所需的固体含量。风扇或鼓风机 24 可用于产生从通过壁 22 金属浆和从壁 22 中将热量移到周围空气中的高速度，因而使金属浆 18 快速冷却。这就允许更高的生产速度。

具有高热传导率的合适的材料可用于制造容器 20 的壁，所述材料包括钢、不锈钢和石墨。石墨非常适于低成本下的高产量，这是因为与金属相比其具有很高的热传导率，并且其表面对于各种所关心的金属合金（如铝和镁的合金）都显示出低润湿性。因此，从较低固体含量（如从约 1% 到约 20%）到较高固体含量（如从约 10% 到约 65%）的合金浆的相对快速冷却是可能的，而容器 20 的表面可重复使用而不用进行随后的清洗以将金属沉积物清除掉和/或能较容易地将金属沉积物清除掉，所以以低成本进行高速生产是可能的。当容器 20 由相对于金属浆具有可润湿表面的金属或其它材料制成时，与合金浆接触的容器的内壁优选涂敷有低润湿性的涂层，如氮化硼涂层。

冷却容器 20 可通过使热传输流体穿过冷却通道而进行冷却，所述的冷却通道形成或设置在位于冷却容器的壁内。同样，冷却容器可具有合适的表面积、质量和热容以在静止状态下使从较低的固体含量到所需的较高的固体含量的金属浆快速冷却，而不会将金属浆冷却到适于形成所需金属部件之下的温度。

在不用搅拌的情况下（即静止状态下）金属浆 18 冷却到所需的较高固体含量之后，金属浆可形成所需的金属部件，如通过浇铸。

石墨搅拌器的第一个示例

一批熔融铝合金保持在一个容器内。所述的铝合金具有如下性质：
温度（ T_1 ）=640℃

熔化潜热 (H_f) = 400,000 J/kg (其中 J 为焦耳, 能量单位)

铝的热容 (C_p) \approx 1,000 J/(kg $^\circ$ C)

铝合金量 (m) \approx 4 kg

为了将部分凝固的铝合金冷却到 610 $^\circ$ C 并且固体百分率为 0.10, 如下数量的热量必须被移走:

固体含量 (Δf_s) = 0.10

温度 (T_f) = 610 $^\circ$ C

$$\Delta H = m \cdot \Delta f_s \cdot H_f + m \int_{T_i}^{T_f} C_p dT$$

$$\Delta H = 4(\text{kg}) \cdot 0.10 \cdot 400,000 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right) + 4(\text{kg}) \cdot (30^\circ\text{C}) \cdot 1,000 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) = 280,000 \text{ J}$$

为了移走 280,000 焦耳的能量, 所述棒必须具有足够的质量和热容以吸收这一数量的能量。所述棒还必须具有足够高的热扩散系数 α 以允许从表面将棒内热量移走, 保持表面温度在合金的液体温度之下。

石墨圆柱状搅拌器:

外径 (R_o) = 0.025 m

圆柱高度 (H) = 0.25 m

圆柱体积 = $V = \pi R_o^2 H = 4.91 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

石墨密度 \approx 1,800 kg/m 3

石墨质量 = 0.88 kg

如果棒的初始温度为 100 $^\circ$ C 并被升高到 500 $^\circ$ C, 那么所述的棒可移走下述数量的热量:

棒的温度 = 100 $^\circ$ C

石墨容器的质量 = 0.88 kg

石墨的热容 \approx 800 J/(kg $^\circ$ C)

$$\Delta H = m \int_{T_i}^{T_f} C_p dT = 0.88 \text{ kg} \cdot 400^\circ\text{C} \cdot 800 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \approx 280,000 \text{ J}$$

所述棒具有足够的质量和热容以吸收铝的热量, 从而将合金从其液相温度以上冷却到液相温度以下。

热扩散系数

根据下述的传热公式,所述棒通过其表面从熔融的铝合金中排热:

$$q(W) = hA\Delta T$$

传热系数 (h) $\approx 1,500 \text{ W (m}^2\text{°C)}$, 其中 W 为瓦特 (J/s).

棒的表面积 $= 0.0393 \text{ m}^2$

平均温度差 $= 250 \text{ °C}$

$$q(W) = hA\Delta T = 1,500 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}} \right) \cdot 0.0393 (\text{m}^2) \cdot 250 (\text{°C}) \approx 15,000 \text{ W}$$

所述棒必须移走 $280,000 \text{ J}$ 的热量, 并且传热速度为 $15,000 \text{ W}$, 因此, 去掉热量转移所需的时间约为 19 秒。根据合金的热物理性质、合金的初始温度以及棒的质量和热物理性质, 这一持续时间将会改变。

热扩散系数 (α) 被限定为导热系数 (k) 除以材料的密度 (ρ) 与热容 (C_p) 乘积:

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$$

对于具有较低导热系数和高密度的材料来说, 如陶瓷材料, 其热扩散系数较低。所述材料不能将热量从其表面转移到其内部, 因此, 表面温度与合金相均衡, 并且其不能进一步降低合金的温度。

除具有足够大的质量以从合金吸收能量之外, 所述棒的材料还必须具有合适的热扩散系数以将热量从棒的表面转移到其内部。

如果传热流体用于随着搅拌和排热将热量从棒中移走, 具有高热扩散系数的棒可具有比通常所需的更小的质量以在合金内吸收足够的能量从而开始凝固。

石墨搅拌器的第二个示例

连续批量熔融铝合金保存在一个容器内。所述的铝合金具有如下过程:

第一批的温度 (T_1) $= 640 \text{ °C}$

第二批的温度 (T_1) $= 657 \text{ °C}$

熔化潜热 (H_f) $= 400,000 \text{ J/kg}$ (其中 J 为焦耳, 能量单位)

铝的热容 (C_p) $\approx 1,000 \text{ J/(kg°C)}$

铝合金量 (m) $\approx 4 \text{ kg}$

为了将部分凝固的铝合金冷却到 610°C 并且固体含量为 0.10, 如下数量的热量必须被移走:

$$\text{固体含量 } (\Delta f_s) = 0.10$$

$$\text{温度 } (T_f) = 610^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta H = m \cdot \Delta f_s \cdot H_f + m \int_{T_i}^{T_f} C_p dT$$

第一批:

$$\Delta H = 4(\text{kg}) \cdot 0.10 \cdot 400,000 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right) + 4(\text{kg}) \cdot (30^{\circ}\text{C}) \cdot 1,000 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}\right) = 280,000\text{J}$$

第二批:

$$\Delta H = 4(\text{kg}) \cdot 0.10 \cdot 400,000 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right) + 4(\text{kg}) \cdot (47^{\circ}\text{C}) \cdot 1,000 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}\right) = 348,000\text{J}$$

这一示例中的棒可移走 15000W。在第一批中, 所述棒必须移走 280,000J, 而在第二批中所述棒必须移走 348,000J。从第一批和第二批移走热量所需的时间分别为 19 秒和 23 秒。

在利用搅拌器进行冷却和搅拌之前通过测量熔体的温度, 半固态浆内温度的变化可被消除。搅拌持续的时间可由运算方法确定, 该运算方法基于加入的金属温度、棒的温度和时间延迟 (损失到周围能量) 等。

筒状容器 (冷却杯) 的示例

一批部分凝固的铝合金保存在一个容器内。所述的铝合金具有如下性质:

$$\text{温度 } (T_l) = 610^{\circ}\text{C}$$

$$\text{固体含量 } (f_s) = 0.10$$

$$\text{熔化潜热 } (H_f) = 400,000\text{J/kg} \text{ (其中 J 为焦耳, 能量单位)}$$

$$\text{铝的热容 } (C_p) \approx 1,000\text{J}/(\text{kg}^{\circ}\text{C})$$

$$\text{铝合金量 } (m) \approx 4\text{kg}$$

为了将部分凝固的铝合金冷却到 590°C 并且固体含量为 0.30, 如下数量的热量必须被移走:

$$\text{固体含量差 } (\Delta f_s) = 0.20$$

温度 (T_f) = 590°C

$$\Delta H = m \cdot \Delta f_s \cdot H_f + m \int_{T_i}^{T_f} C_p dT$$

$$\Delta H = 4(\text{kg}) \cdot 0.20 \cdot 400,000 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right) + 4(\text{kg}) \cdot (20^\circ\text{C}) \cdot 1,000 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) = 400,000\text{J}$$

为了移走 400,000 焦耳的能量，所述容器设计为能够吸收这一数量的热量。具有如下性质的薄壁石墨容器可移走这一热量。

石墨圆柱状容器：

内径 (R_i) = 0.0508m

外径 (R_o) = 0.0568m

圆柱高度 (H) = 0.2346m

壁厚 (t) = 0.006m

$$\text{圆柱体积} = V = \pi R_o^2 t + 2\pi R_o \cdot (H - t) \cdot t = 5.38 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

石墨密度 $\approx 1,800 \text{ kg/m}^3$

石墨质量 = 0.97kg

如果其初始温度为 90°C 并在 590°C 与铝平衡，那么所述的石墨可移走下述数量的热量：

石墨的温度 = 90°C

石墨容器的质量 = 0.97kg

石墨的热容 $\approx 800 \text{ J/(kg}^\circ\text{C)}$

$$\Delta H = m \int_{T_i}^{T_f} C_p dT = 0.97 \text{ kg} \cdot 500^\circ\text{C} \cdot 800 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cong 400,000\text{J}$$

所述的石墨容器需要同样数量的热量以达到 590°C 的温度。因而，石墨容器被设计为能够快速移走预定数量的热量以便从约 1% 到约 10% (重量百分比) 范围内的第一数值到约 10% 到 65% (重量百分比) 范围内的第二数值，快速地增加固体含量。

上述的内容仅仅被认为是优选实施例。对本领域的技术人员和制造或使用本发明的人来说，可以对本发明进行多种改变。因此，可以理解，上述的实施例仅仅做为示例性的目的，并不用于限制本发明的范围，根据专利法的原则包括等价的学说进行解释时，本发明的范围由下面的权利要求书进行限定。

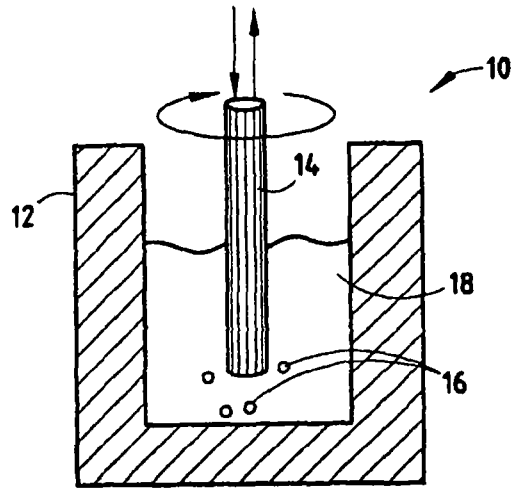


图 1

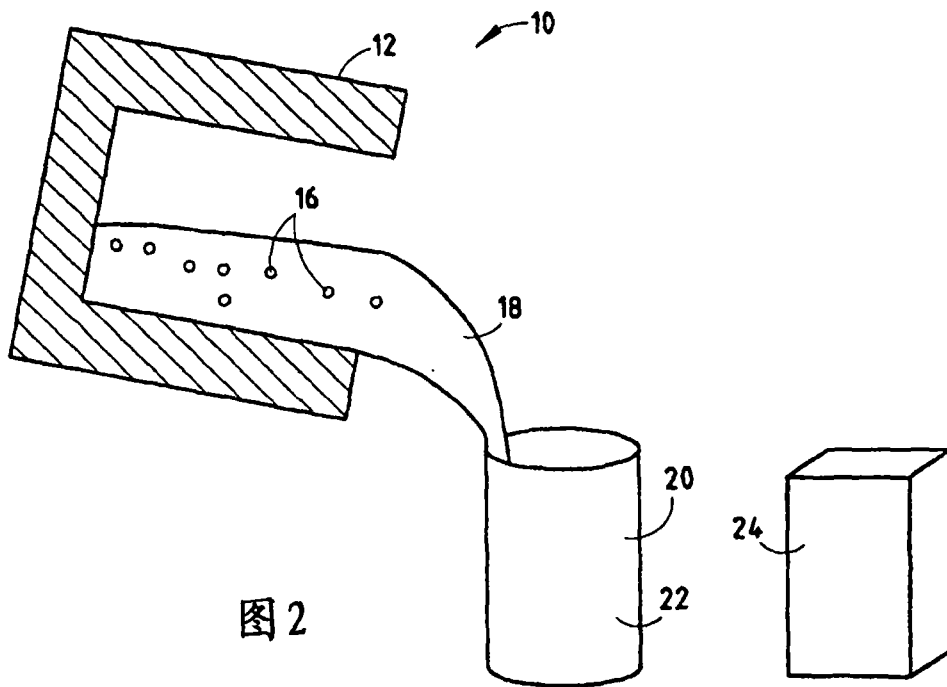


图 2