



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114871418 B

(45) 授权公告日 2025. 01. 10

(21) 申请号 202210049283.3

R.E.古菲

(22) 申请日 2016.09.09

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114871418 A

专利代理师 刘子豪 万欣

(43) 申请公布日 2022.08.09

(51) Int.Cl.

(30) 优先权数据

B22D 27/20 (2006.01)

62/216842 2015.09.10 US

B22D 11/11 (2006.01)

62/267507 2015.12.15 US

62/295333 2016.02.15 US

62/372592 2016.08.09 US

(62) 分案原申请数据

201680065872.3 2016.09.09

(73) 专利权人 南线有限责任公司
地址 美国乔治亚州

(56) 对比文件

CN 101230431 A, 2008.07.30

CN 102990046 A, 2013.03.27

JP 2004277756 A, 2004.10.07

US 2004086417 A1, 2004.05.06

US 6322644 B1, 2001.11.27

US 6342180 B1, 2002.01.29

审查员 张瑛

(72) 发明人 K.S.吉尔 M.C.鲍威尔
V.F.伦奎斯特 V.K.曼基拉朱

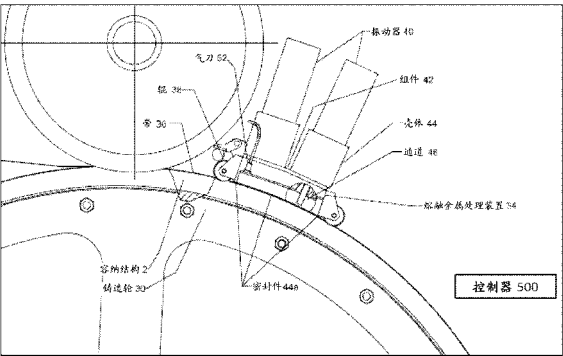
权利要求书1页 说明书35页 附图14页

(54) 发明名称

熔融金属处理装置、形成金属产品的方法、
系统和铸造机

(57) 摘要

本发明涉及一种用于金属铸造的超声晶粒细化和脱气程序及系统,具体地,一种熔融金属处理装置包括安装在铸造轮上的组件,包括在铸造轮中的熔融金属冷却的同时将振动能量供应至铸造轮中铸造的熔融金属的至少一个振动能量源,以及保持振动能量源的支承装置。一种用于形成金属产品的相关联的方法,其将熔融金属提供到包括作为铸造机的一部分的容纳结构中,冷却容纳结构中的熔融金属,且将振动能量耦合至容纳结构中的熔融金属中。



1. 一种金属产品, 包括:

具有亚毫米粒径且其中包括小于0.1%的晶粒细化剂的等轴晶粒结构且具有以下性质中至少一者的铸造金属成分:

在100磅/in²的伸展力下范围从10到30%的伸长率,

范围从50到300MPa的拉伸强度; 和

范围从IAC的45到75%的电导率, 其中IAC是电导率关于标准退火铜导体的百分比单位, 其中, 所述产品由一种用于形成金属产品的方法来形成, 所述方法包括:

将熔融金属提供到铸造机的铸造轮中;

冷却所述铸造轮中的熔融金属, 以及

经由通过支承装置保持的至少一个振动能量源在所述冷却期间将振动能量耦合到所述铸造轮中的熔融金属中,

其中, 所述支承装置包括壳体, 所述壳体包括用于将冷却介质输送穿过其间的冷却通道, 并且所述至少一个振动能量源构造成通过所述冷却介质将所述振动能量耦合至在所述铸造轮中的熔融金属。

2. 根据权利要求1所述的产品, 其中, 所述成分其中不包括晶粒细化剂。

3. 根据权利要求1所述的产品, 其中, 所述成分包括铝、铜、镁、锌、铅、金、银、锡、青铜、黄铜和它们的合金中的至少一者。

4. 根据权利要求1所述的产品, 其中, 所述成分被形成为条材、棒材、片材、线材、坯料和丸粒中的至少一者。

5. 根据权利要求1所述的产品, 其中, 所述伸长率范围从15到25%, 或所述拉伸强度范围从100到200MPa, 或所述电导率范围从IAC的50到70%。

6. 根据权利要求1所述的产品, 其中, 所述伸长率范围从17到20%, 或所述拉伸强度范围从150到175MPa, 或所述电导率范围从IAC的55到65%。

7. 根据权利要求1所述的产品, 其中, 所述伸长率范围从18到19%, 或所述拉伸强度范围从160到165MPa, 或所述电导率范围从IAC的60到62%。

8. 根据权利要求1、5、6和7中任一项所述的产品, 其中, 所述成分包括铝或铝合金。

9. 根据权利要求8所述的产品, 其中, 所述铝或所述铝合金包括钢增强的绞线。

10. 根据权利要求8所述的产品, 其中, 所述铝或所述铝合金包括钢支承的绞线。

熔融金属处理装置、形成金属产品的方法、系统和铸造机

[0001] 本申请是申请日为2016年9月9日、题为“用于金属铸造的超声晶粒细化和脱气程序及系统”的中国专利申请201680065872.3的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请涉及2016年8月9日提交的题为ULTRASONIC GRAIN REFINING AND DEGASSING PROCEDURES AND SYSTEMS FOR METAL CASTING的美国序列号62/372,592(其全部内容通过引用并入本文中)。本申请涉及2016年2月15日提交的题为ULTRASONIC GRAIN REFINING AND DEGASSING FOR METAL CASTING的美国序列号62/295,333(其全部内容通过引用并入本文中)。本申请涉及2015年12月15日提交的题为ULTRASONIC GRAIN REFINING AND DEGASSING OF MOLTEN METAL的美国序列号62/267,507(其全部内容通过引用并入本文中)。本申请涉及2015年2月9日提交的题为ULTRASONIC GRAIN REFINING的美国序列号62/113,882(其全部内容通过引用并入本文中)。本申请涉及2015年9月10日提交的题为ULTRASONIC GRAIN REFINING ON ACONTINUOUS CASTING BELT的美国序列号62/216,842(其全部内容通过引用并入本文中)。

技术领域

[0004] 本发明涉及一种用于生产具有受控粒径的金属铸件的方法、用于生产金属铸件的系统,以及由金属铸件获得的产品。

背景技术

[0005] 冶金领域中已经花费了很大的努力来开发将熔融金属铸造成连续金属棒或铸造产品的技术。批量铸造和连续铸造两者得到了较好发展。尽管行业中主要使用了这两者,但连续铸造存在优于批量铸造的许多优点。

[0006] 在金属铸件的连续生产中,熔融金属从保温炉进入一系列流槽,且进入在该处其铸造成金属条的铸造轮的模具中。凝固的金属条从铸造轮除去,且引导到轧机(rolling mill)中,在该处其轧制成连续的棒。取决于金属棒产品和合金的预期最终使用,棒材可在轧制期间经历冷却,或棒材可在从轧机退出时立即冷却或骤冷,以给予其期望的机械和物理性质。诸如授予Cofer等人的美国专利号3,395,560(其全部内容通过引用并入本文中)中描述那些的技术已经用于连续处理金属棒或条产品。

[0007] 授予Sperry等人的美国专利号3,938,991(其全部内容通过应用并入本文中)示出了“纯”金属产品的铸造中存在的一直认识到的问题。“纯”金属铸件的此用语表示由针对特定传导性或拉伸强度或延展性设计的主要金属元素形成的金属或金属合金,而不包括出于晶粒控制目的加入的单独的杂质。

[0008] 晶粒细化是新形成的相的晶体尺寸通过化学或物理/机械手段减小的过程。晶粒细化剂通常加入熔融金属中,以在凝固过程或液相到固相转变过程期间显著减小凝固结构的粒径。

[0009] 实际上,授予Boily等人的WIP0专利申请W0/2003/033750(其全部内容通过引用并

入本文中)描述了“晶粒细化剂”的具体使用。’750申请在其背景段中描述了在铝工业中,不同的晶粒细化剂大体上结合到铝中来形成母合金(master alloy)。用于铸铝中的典型母合金包括从1%到10%的钛,以及从0.1%到5%的硼或碳,其余基本上由铝或镁构成,其中TiB₂或TiC的颗粒分散到铝基质的各处。根据’750申请,含有钛和硼的母合金可通过将所需量的钛和硼溶解在铝熔体中来产生。这通过在超过800℃的温度下使熔融铝与KBF₄和K₂TiF₆反应来达成。这些复杂的卤盐与熔融的铝很快反应,且将钛和硼提供至熔体。

[0010] ’750申请还描述了,如同2002那样,该技术由几乎所有晶粒细化剂制造公司用于生产商业母合金。现今仍在使用的通常称为成核剂的晶粒细化剂。例如,TIBOR母合金的一个商业供应商称铸造结构的紧密控制是生产高质量铝合金产品的主要要求。

[0011] 在本发明之前,认为晶粒细化剂是提供细且均匀的铸态(as-cast)晶粒结构的最有效方式。以下参考文献(其所有内容通过引用并入本文中)提供了该背景工作的细节: Abramov, O.V., (1998), "High-Intensity Ultrasonics" Gordon and Breach Science Publishers (Amsterdam, The Netherlands) 523到552页。

[0012] Alcoa, (2000), "New Process for Grain Refinement of Aluminum", DOE Project Final Report, 合同号DE-FC07-98ID13665, 2000年9月22日。

[0013] Cui, Y., Xu, C.L. 和 Han, Q., (2007), "Microstructure Improvement in Weld Metal Using Ultrasonic Vibrations, Advanced Engineering Materials", 第9章, 3号, 161到163页。

[0014] Eskin, G.I., (1998), "Ultrasonic Treatment of Light Alloy Melts", Gordon and Breach Science Publishers (Amsterdam, The Netherlands)。

[0015] Eskin, G.I. (2002) "Effect of Ultrasonic Cavitation Treatment of the Melt on the Microstructure Evolution during Solidification of Aluminum Alloy Ingots", Zeitschrift Fur Metallkunde/Materials Research and Advanced Techniques, 第9章, 6号, 2002年6月, 502到507页。

[0016] Chu, M.G., Granger, D.A., 和 Han, Q., (eds.) 的 "Solidification of Aluminum Alloys" 中的 Greer, A.L., (2004), "Grain Refinement of Aluminum Alloys", Proceedings of a Symposium Sponsored by TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), TMS (Warrendale, PA 15086-7528), 131到145页。

[0017] Han, Q., (2007), "The Use of Power Ultrasound for Material Processing", Han, Q., Ludtka, G. 和 Zhai, Q., (eds), (2007), "Materials Processing under the Influence of External Fields", Proceedings of a Symposium Sponsored by TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), TMS (Warrendale, PA 15086-7528), 97到106页。

[0018] Jackson, K.A., Hunt, J.D. 和 Uhlmann, D.R. 和 Seward, T.P., (1966), "On Origin of Equiaxed Zone in Castings", Trans. Metall. Soc. AIME, 236章, 149到158页。

[0019] Jian, X., Xu, H., Meek, T.T. 和 Han, Q., (2005), "Effect of Power Ultrasound on Solidification of Aluminum A356 Alloy", Materials Letters, 59章, 2到3号, 190到193页。

[0020] Keles, O. 和 Dundar, M., (2007), "Aluminum Foil: Its Typical Quality Problems and Their Causes", Journal of Materials Processing Technology, 186章,

125到137页。

[0021] Liu,C.,Pan,Y.和Aoyama,S.,(1998),Proceedings of the 5th International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites,Eds.:Bhasin,A.K.,Moore,J.J.,Young,K.P.和Madison,S.,Colorado School of Mines(Golden,CO),439到447页。

[0022] Megy,J.,(1999),“Molten Metal Treatment”,美国专利号5,935,295,1999年8月。

[0023] Megy,J.,Granger,D.A.,Sigworth,G.K.和Durst,C.R.,(2000)“Effectiveness of In-Situ Aluminum Grain Refining Process”,Light Metals,1到6页。

[0024] Cui等人,“Microstructure Improvement in Weld Metal Using Ultrasonic Vibrations”,Advanced Engineering Materials,2007,9章,3号,161到163页。

[0025] Han等人的“Grain Refining of Pure Aluminum”,Light Metals,2012,967到971页。

[0026] 在本发明之前,美国专利号8,574,336和8,652,397(各个专利的全部内容通过引用并入本文中)描述了例如通过将吹扫气体引入超声装置附近的熔融金属浴中来减少熔融金属浴中的溶解气体(和/或各种杂质)的量的方法(例如,超声脱气)。这些专利将在下文中称为’336专利和’397专利。

发明内容

[0027] 在本发明的一个实施例中,提供了一种用于附接到铸造机上的铸造轮的熔融金属处理装置。该装置包括安装在铸造轮上的组件,包括在铸造轮中的熔融金属冷却的同时将振动能量供应至铸造轮中铸造的熔融金属的至少一个振动能量源,且包括保持振动能量源的支承装置。

[0028] 在本发明的一个实施例中,提供一种用于形成金属产品的方法。该方法将熔融金属提供到包括在内而作为铸造机的一部分的容纳结构中。该方法冷却容纳结构中的熔融金属,且将振动能量耦合至容纳结构中的熔融金属中。

[0029] 在本发明的一个实施例中,提供了一种用于形成金属产品的系统。该系统包括1)上文所述的熔融金属处理装置,以及2)控制器,其包括数据输入和控制输出,且编程为具有允许上述方法步骤的操作的控制算法。

[0030] 在本发明的一个实施例中,提供了一种熔融金属处理装置。该装置包括熔融金属源、包括插入熔融金属中的超声探头的超声脱气器、用于接收熔融金属的铸模、安装在铸模上的组件,包括在冷却铸模中的熔融金属的同时将振动能量供应至铸模中铸造的熔融金属的至少一个振动能量源,以及保持至少一个振动能量源的支承装置。

[0031] 将理解的是,本发明的以上总体描述和以下详细描述是示例性的,但不限制本发明。

附图说明

[0032] 本发明和其许多伴随的优点的更完整的认识将容易获得,因为其在连同附图考虑时,通过参照以下详细描述变得更好理解,在附图中:

- [0033] 图1为根据本发明的一个实施例的连续铸造机的示意图；
- [0034] 图2为使用至少一个超声振动能量源的根据本发明的一个实施例的铸造轮构造的示意图；
- [0035] 图3为特别使用至少一个机械驱动的振动能量源的根据本发明的一个实施例的铸造轮构造的示意图；
- [0036] 图3A为使用至少一个超声振动能量源和至少一个机械驱动的振动能量源两者的根据本发明的一个实施例的铸造轮混合构造的示意图；
- [0037] 图4为示出直接地联接到铸造轮中铸造的熔融金属的振动探头装置的根据本发明的一个实施例的铸造轮构造的示意图；
- [0038] 图5为使用本发明的振动能量源的固定模具的示意图；
- [0039] 图6A为垂直铸造机的选择构件的截面示意图；
- [0040] 图6B为垂直铸造机的其它构件的截面示意图；
- [0041] 图6C为垂直铸造机的其它构件的截面示意图；
- [0042] 图6D为垂直铸造机的其它构件的截面示意图；
- [0043] 图7为用于本文所绘的控制和控制器的示范性计算机系统的示意图；
- [0044] 图8为绘出根据本发明的一个实施例的方法的流程图；
- [0045] 图9为绘出使用超声脱气和超声晶粒细化两者的本发明的一个实施例的示意图；
- [0046] 图10为ACSR线工艺流程图；
- [0047] 图11为ACSS线工艺流程图；
- [0048] 图12为铝条工艺流程图；
- [0049] 图13为针对至少一个超声振动能量源使用磁致伸缩元件的根据本发明的一个实施例的铸造轮构造的示意性侧视图；
- [0050] 图14为图13的磁致伸缩元件的示意性截面；
- [0051] 图15为示出没有化学晶粒细化剂、具有晶粒细化剂和仅具有超声晶粒细化的铸件的晶粒结构的铝1350EC合金的显微照相比较；
- [0052] 图16为常规1350EC铝合金棒(具有化学晶粒细化剂)与1350EC铝合金棒(具有超声晶粒细化)的表格比较；
- [0053] 图17为常规ACSR铝线0.130"直径(具有化学晶粒细化剂)与ACSR铝线0.130"直径(具有超声晶粒细化)的表格比较；
- [0054] 图18为常规8176EEE铝合金棒(具有化学晶粒细化剂)与8176EEE铝合金棒(具有超声晶粒细化)的表格比较；
- [0055] 图19为常规5154铝合金棒(具有化学晶粒细化剂)与5154铝合金棒(具有超声晶粒细化)的表格比较；
- [0056] 图20为常规5154铝合金带(具有化学晶粒细化剂)与5154铝合金带(具有超声晶粒细化)的表格比较；以及
- [0057] 图21为5356铝合金棒(具有超声晶粒细化)的性质的表格图。

具体实施方式

- [0058] 金属和合金的晶粒细化出于许多原因很重要,包括最大化锭铸造速率、改善抗热

撕裂、最小化元素偏析、提高机械性能(具体是延展性)、改善锻造产品的精整特征,以及提高模具填充特征,以及减小铸造合金的孔隙度。通常,晶粒细化是用于生产金属和合金产品(尤其是铝合金和镁合金)的第一处理步骤中的一个,所述铝合金和镁合金是航空、国防、汽车、建筑和包装行业中越来越多使用的轻量材料中的两种。晶粒细化也是用于制作可通过消除柱状晶粒且形成等轴晶粒铸造的金属和合金的重要处理步骤。

[0059] 晶粒细化是凝固处理步骤,通过该步骤,固相的晶体尺寸由化学、物理或机械手段来减小,以便使合金可铸造且减少缺陷形成。目前,使用TIBOR来对铝生产进行晶粒细化,导致了在凝固的铝中形成等轴晶粒结构。在本发明之前,杂质或化学“晶粒细化剂”的使用是解决金属铸件中的柱状晶粒形成的金属铸造行业中一直认识到的问题的唯一方式。此外,在本发明之前,并未进行1)从熔融金属除去杂质(铸造之前)的超声脱气与2)上述超声晶粒细化(即,至少一个振动能量源)的组合。然而,由于那些孕育剂输入到熔体中,故与使用TIBOR和机械限制相关联的成本很高。限制中的一些包括延展性、机械加工性和导电性。

[0060] 不管成本,在进一步处理成片材、板材、挤压型材或箔材之前,在美国生产的大约68%的铝首先铸成锭。直冷(DC)半连续铸造工艺和连续铸造(CC)工艺主要由于其稳健性质和相对简单而成为铝工业中的支柱。DC和CC工艺的一个问题在于锭凝固期间的热撕裂形成或裂纹形成。基本上,几乎所有锭将在未使用晶粒细化的情况下开裂(或不可铸造)。

[0061] 尽管如此,这些现代工艺的生产率由避免形成裂纹的条件限制。晶粒细化是减小合金热撕裂趋势且因此提高生产率的有效方式。结果,大量努力集中于开发可产生尽可能小的粒径的较强的晶粒细化剂。如果粒径可减小到亚微米水平,则可达到超塑性,这允许合金不但在更快的速率下铸造,而且以比现今处理的锭更快的速率在较低温度下轧制/挤制,带来了显著的成本节省和能源节省。

[0062] 目前,世界上来自一次(大约200亿kg)或二次和内部废料(250亿kg)铸造的几乎所有铝都以大约几微米直径的不可溶 TiB_2 核的异质核心来晶粒细化,这在铝中成核成细晶粒结构。关于化学晶粒细化剂的使用的一个问题是有限的晶粒细化能力。实际上,使用化学晶粒细化剂引起铝粒径从具有有些超过 $2,500\mu m$ 的线性晶粒大小的柱状结构到小于 $200\mu m$ 的等轴晶粒的有限减小。铝合金中的 $100\mu m$ 的等轴晶粒表现为可使用市售的化学晶粒细化剂获得的限制。

[0063] 如果晶粒可进一步减小,则生产力可显著提高。亚微米水平的粒径导致了使铝合金在室温下更容易形成的超塑性。

[0064] 关于使用化学晶粒细化剂的另一个问题在于与使用晶粒细化剂相关联的缺陷形成。尽管在现有技术中认作是晶粒细化所需的,但不可溶的外来颗粒在其它情况下是铝中非期望的,特别是颗粒聚集体(“群集”)的形式。以铝基母合金中的化合物形式存在的当前的晶粒细化剂由复杂的一系列采矿、选矿和制造工艺制造。目前使用的母合金通常包含氟化钾铝(KAIF)盐和氧化铝杂质(渣滓),其从铝晶粒细化剂的常规制造过程中出现。这引起了铝中的局部缺陷(例如,饮料罐中的“漏点”和薄箔片中的“针孔”)、机械工具磨损,以及铝中的表面精整问题。来自铝线公司中的一家的数据指出,25%的生产缺陷归因于 TiB_2 颗粒聚集体,而另外25%的缺陷归因于在铸造过程期间捕集到铝中的渣滓。 TiB_2 颗粒聚集体经常在挤制期间断开线,尤其是在线的直径小于8mm时。

[0065] 关于化学晶粒细化剂的使用的另一个问题在于晶粒细化剂的成本。这对于使用Zr

晶粒细化剂的镁锭的生产极为正确。使用Zr晶粒细化剂的晶粒细化成本大约是铸造生产的每千克镁多了\$1。用于铝合金的晶粒细化剂成本大约是\$1.50每千克。

[0066] 关于化学晶粒细化剂的使用的另一个问题在于降低的导电性。化学晶粒细化剂的使用在铝中引起过量的Ti,引起用于线应用的纯铝的导电性的较大降低。为了保持一定的传导性,公司必须支付额外的金钱来使用更纯的铝来制作线和丝。

[0067] 过去的世纪已经开发了除化学方法外的许多其它晶粒细化方法。这些方法包括使用物理场,如,磁场和电磁场,以及使用机械振动。高强度、低振幅的超音振动是证实用于金属和合金的晶粒细化而不使用外来颗粒的物理/机械机制中的一种。然而,诸如上文提到的在2007年的来自Cui等人的实验结果在经历短时间段的超音振动的达到几磅的金属的小锭中获得。使用高强度超音振动对CC或DC铸锭/坯锭的晶粒细化产生的效果很小。

[0068] 用于晶粒细化的本发明中解决的一些技术挑战在于(1)将超声能量耦合至熔融金属经过延长的时间,(2)在升高温度下保持系统的固有振动频率,以及(3)在超声波导的温度很热时提高超声晶粒细化的晶粒细化效率。用于超声波导和锭两者的加强冷却(如下文所述)是这里针对解决这些挑战提出的途径中的一种。

[0069] 此外,本发明中解决的另一个技术挑战涉及如下事实,即,铝越纯,则凝固过程期间获得的等轴晶粒越硬。即使在纯铝(如,1000,1100和1300系列的铝)中使用外部晶粒细化剂(如,TiB(硼化钛)),仍很难获得等轴晶粒结构。然而,使用本文所述的新颖晶粒细化技术,已经获得了显著晶粒细化。

[0070] 在本发明的一个实施例中,本发明部分地抑制柱状晶粒形成,而不需要引入晶粒细化剂。在熔融金属倒入铸模中时将振动能量施加到熔融金属允许了实现与利用现有技术的晶粒细化剂如TIBOR母合金获得的相当或更小的粒径。

[0071] 如本文使用的,本发明的实施例将使用本领域的技术人员通常使用的用语来描述他们的工作。这些用语应符合材料科学、冶金学、金属铸造和金属加工领域的普通技术人员所理解的普通含义。以下实施例中描述了一些具有更专业含义的用语。然而,用语“构造成”在本文中理解为描绘了适当的结构(在此示出或从本领域已知或隐含的),从而允许其目标执行遵循“构造成”用语的功能。用语“联接到”意思是联接到第二对象上的一个对象具有所需的结构来在关于第二对象的位置中支承第一对象(例如,抵接、附接、从其位移预定距离、相邻、连续、连结在一起、与彼此分离、从彼此拆卸、固定在一起、处于滑动接触、处于滚动接触),具有或没有第一和第二对象在一起的直接附接。

[0072] 授予Chia等人的美国专利号4,066,475(其全部内容通过引用并入本文中)描述了连续铸造工艺。大体上,图1绘出了连续铸造系统,其具有包括倾倒入口的铸造机2,该倾倒入口11将熔融金属引导至旋转模具环13上包含的外周凹槽。循环柔性金属带14环绕模具环13的一部分和一组带定位辊15的一部分两者,使得连续铸造模具由模具环13中的凹槽和上覆的金属带14限定。提供了一种冷却系统,其用于冷却设备,以及在其在旋转模具环13上输送期间实现熔融金属的受控凝固。冷却系统包括设置在模具环13的侧部上的多个侧集管17,18和19,以及分别设置在其环绕模具环的位置处的金属带14的内侧和外侧上的内带集管20和外带集管21。具有适合的阀的导管网络24连接来供应和排出冷却剂至各种集管,以便控制设备的冷却和熔融金属的凝固速率。

[0073] 通过这样构造,熔融金属从倾倒入口11给送到铸造模具中,且在其输送期间由穿过

冷却系统的冷却剂循环来凝固和部分冷却。固体铸造条25从铸造轮取得,且给送到传送器27,该传送器27将铸造条传送至轧机28。应当注意的是,铸造条25仅冷却足以凝固条的量,且条保持在升高温度下来允许在其上执行即刻的轧制操作。轧机28可包括滚轧机架的串联阵列,其将条连续地轧制成连续长度的线棒30,该线棒30具有大致一致的圆形截面。

[0074] 图1和2示出了控制器500,如下文更详细所述,其控制本文所示的连续铸造系统的各种部分。控制器500可包括带有编程指令(即,算法)的一个或多个处理器,以控制连续铸造系统及其构件的操作。

[0075] 在本发明的一个实施例中,如图2中所示,铸造机2包括具有熔融金属倒入(例如,铸入)其中的容纳结构32(例如,铸造轮30中的槽或通道)的铸造轮30,以及熔融金属处理装置34。带36(例如,钢柔性金属带)将熔融金属限制在容纳结构32(即,通道)中。当熔融金属在铸造轮的通道中凝固且传送远离熔融金属处理装置34时,辊38允许熔融金属处理装置34保持在旋转铸造轮上的静止位置中。

[0076] 在本发明的一个实施例中,熔融金属处理装置34包括安装在铸造轮30上的组件42。组件42包括至少一个振动能量源(例如,振动器40)、保持振动能量源42的壳体44(即,支承装置)。组件42包括用于输送冷却介质穿过其间的至少一个冷却通道46。柔性带36由附接到壳体的下侧上的密封件44a密封到壳体44上,从而允许冷却介质从冷却通道沿与铸造轮的通道中的熔融金属相对的柔性带的一侧流动。气刀(air wipe)52引导空气(作为安全预防措施),使得从冷却通道泄漏的任何水都将沿远离熔融金属的铸造源的方向引导。密封件44a可由许多材料制成,包括乙烯丙烯、氟橡胶、丁腈橡胶(腈类)、氯丁橡胶、硅橡胶、氨基甲酸酯、氟硅酮、聚四氟乙烯以及其它已知的密封剂材料。在本发明的一个实施例中,引导装置(例如,辊38)相对于旋转的铸造轮30引导熔融金属处理装置34。冷却介质向容纳结构32和/或至少一个振动能量源40中的熔融金属提供冷却。在本发明的一个实施例中,包括壳体的熔融金属处理装置34的构件可由金属如钛、不锈钢合金、低碳钢或H13钢、其它高温材料、陶瓷、复合物或聚合物制成。熔融金属处理装置34的构件可由铌、铌合金、钛、钛合金、钽、钽合金、铜、铜合金、镍、镍合金、钢、钼、钼合金、不锈钢和陶瓷中的一种或多种制成。陶瓷可为氮化硅陶瓷,例如,如,氧化硅氮化铝或SIALON。

[0077] 在本发明的一个实施例中,在熔融金属在振动器40下方的金属带36下方通过时,振动能量在金属开始冷却和凝固时供应至熔融金属。在本发明的一个实施例中,振动能量由超声换能器给予,例如,由压电装置超声换能器生成。在本发明的一个实施例中,振动能量由超声换能器给予,例如,由磁致伸缩换能器生成。在本发明的一个实施例中,振动能量由机械驱动的振动器(随后论述)给予。在一个实施例中,振动能量允许多个小晶种的形成,从而产生细晶粒金属产品。

[0078] 在本发明的一个实施例中,超声晶粒细化涉及施加超声能量(和/或其它振动能量)来细化粒径。尽管本发明不限于任何特定理论,但一个理论是将振动能量(例如,超声能量)注入到熔融或凝固的合金中可引起非线性效果,如,空化、声流和辐射压力。这些非线性效果可用于使新晶粒成核,且在合金的凝固过程期间破碎枝晶。

[0079] 在此理论下,晶粒细化过程可分成两个阶段:1)成核,以及2)来自液体的新形成的固体的生长。球形核在成核阶段期间形成。这些核在生长阶段期间发展成枝晶。枝晶的单向生长导致柱状晶粒的形成,有可能引起热撕裂/裂纹和第二相的非均匀分布。这继而又可导

致较差的可铸性。另一方面,沿所有方向的枝晶的均匀生长(如,在本发明中可能)导致等轴晶粒的形成。含有小且等轴的晶粒的铸件/铸锭具有优异的成形性。

[0080] 在此理论下,在合金中的温度低于液相线温度时;在固体晶坯的尺寸大于以下方程给出的临界尺寸时,可发生成核:

$$[0081] \quad r^* = -\frac{2\sigma_{sl}}{\Delta G_v}$$

[0082] 其中 r^* 是临界尺寸, σ_{sl} 是与固液界面相关联的界面能,且 ΔG_v 是与将单位体积的液体转化成固体相关联的吉布斯自由能。

[0083] 在此理论下,吉布斯自由能 ΔTG_v 在其尺寸大于 r^* 时随固体晶坯的尺寸增大而减小,表明固体晶坯的生长是热力学有利的。在此情况下,固体晶坯变为稳定的核。然而,尺寸大于 r^* 的固相的均相成核仅在熔体中需要较大的过冷的极端条件下才发生。

[0084] 在此理论下,在凝固期间形成的核可生长成已知为枝晶的固体晶粒。枝晶还可通过施加振动能量来破碎成多个小碎片。形成的枝晶碎片可生长成新晶粒,且导致小晶粒的形成;因此产生等轴晶粒结构。

[0085] 尽管不限于任何特定理论,但在铸造轮30的通道的顶部处(例如,抵靠带36的下侧)的熔融金属的相对少量的过冷(例如,小于2,5,10或15°C)导致纯铝(或其它金属或合金)的小核的层抵靠钢带形成。振动能量(例如,超声或机械驱动)释放这些核,其然后在凝固期间用作成核剂,导致了均匀的晶粒结构。因此,在本发明的一个实施例中,使用的冷却方法确保了抵靠钢带的铸造轮30的通道的顶部处的少量过冷在熔融金属继续冷却时导致处理成熔融金属的材料的小核。作用于带36的振动用于将这些核分散到铸造轮30的通道中的熔融金属中,且/或可用于破碎形成在过冷层中的枝晶。例如,在其冷却时给予到熔融金属中的振动能量可通过空化(见下文)来破碎枝晶以形成新核。这些核和枝晶的碎片然后可用于在凝固期间在模具中形成(促进)等轴晶粒,导致均匀的晶粒结构。

[0086] 换言之,输送到过冷液体金属中的超声振动在金属或金属合金中产生成核部位来细化粒径。成核部位可经由如上文所述作用的破碎熔融金属中产生的枝晶的振动能量来生成,不依赖外来杂质的多个核。一方面,铸造轮30的通道可为耐火金属或其它高温材料,如铜、铁和钢、铌、铌和钼、钽、钨、和铼,以及其合金,包括可延伸这些材料的熔点的一种或多种元素如硅、氧或氮。

[0087] 在本发明的一个实施例中,用于振动能量源40的超声振动源提供20kHz的声频率下的1.5kW的功率。本发明不限于那些功率和频率。相反,可使用很宽范围的功率和超声频率,尽管以下范围是所关心的。

[0088] 功率:大体上,取决于超声发生器或探头的大小,对于各个超声发生器,功率在50和5000W之间。这些功率通常施加到超声发生器,以确保超声发生器的端部处的功率密度高于100W/cm²,这取决于熔融金属的冷却速率、熔融金属类型和其它因素可认作是引起熔融金属中的空化的阈值。该区域处的功率可范围从50到5000W、100到3000W、500到2000W、1000到1500W、或任何中间或重叠范围。用于较大的探头/超声发生器的较高功率和用于较小探头的低功率是可能的:在本发明的各种实施例中,施加的振动能量功率密度可范围从10W/cm²到500W/cm²、或20W/cm²到400W/cm²、或30W/cm²到300W/cm²、或50W/cm²到200W/cm²、或70W/cm²到150W/cm²、或其任何中间或重叠的范围。

[0089] 频率:大体上,可使用5到400kHz(或任何中间范围)。作为备选,可使用10和30kHz(或任何中间范围)。作为备选,可使用15和25kHz(或任何中间范围)。施加的频率可范围从5到400kHz、10到30kHz、15到25kHz、10到200kHz或50到100kHz、或其任何中间或重叠范围。

[0090] 在本发明的一个实施例中,至少一个振动器40设置成联接到冷却通道46上,该振动器40在超声换能器的超声波探头(或超声波发生器、压电换能器或超声发射器或磁致伸缩元件)的情况下经由冷却介质以及经由组件42和带36将超声振动能量提供到液体金属中。在本发明的一个实施例中,超声能量从换能器供应,其能够将电流转换成机械能,因此产生高于20kHz(例如,达到400kHz)的振动频率,其中超声能量从压电元件或磁致伸缩元件中的一者或两者供应。

[0091] 在本发明的一个实施例中,超声波探头插入到冷却通道46中来与液体冷却介质接触。在本发明的一个实施例中,从超声波探头的末梢到带36的分离距离(如果有)是可变的。分离距离例如可小于1mm、小于2mm、小于5mm、小于1cm、小于2cm、小于5cm、小于10cm、小于20cm或小于50cm。在本发明的一个实施例中,一个以上的超声波探头或超声波探头的阵列可插入到冷却通道46中来与液体冷却介质接触。在本发明的一个实施例中,超声波探头可附接到组件42的壁上。

[0092] 在本发明的一个方面中,供应振动能量的压电换能器可由陶瓷材料形成,该陶瓷材料夹在提供用于电接触的附接点的电极之间。一旦电压经由电极施加到陶瓷上,则陶瓷在超声频率下膨胀和收缩。在本发明的一个实施例中,用作振动能量源40的压电换能器附接到将振动传递至探头的增强器上。美国专利号9,061,928(其全部内容通过引用并入本文中)描述了一种超声换能器组件,包括超声换能器、超声增强器、超声探头和增强器冷却单元。'928专利中的超声增强器连接到超声换能器上,以放大由超声换能器生成的声能,且将放大的声能传递至超声探头。'928专利的增强器构造可在此在本发明中用于提供能量至与上文所论述的液体冷却介质直接或间接接触的超声探头。

[0093] 实际上,在本发明的一个实施例中,超声增强器在超声领域中用于放大或增强由压电换能器产生的振动能量。增强器不会增大或减小振动的频率,其增大振动的幅度。(在增强器反向安装时,其也压缩振动能量)。在本发明的一个实施例中,增强器在压电换能器与探头之间连接。在使用增强器用于超声晶粒细化的情况下,以下是示出使用具有压电振动能量源的增强器的示例性数目的方法步骤:

[0094] 1) 电流供应至压电换能器。一旦施加电流,则换能器内的陶瓷件膨胀和收缩,这 will 将电流转换成机械能。

[0095] 2) 在一个实施例中,那些振动然后传递至增强器,这放大或增强该机械振动。

[0096] 3) 在一个实施例中,来自增强器的放大或增强的振动然后传播至探头。探头然后在超声频率下振动,因此产生空化。

[0097] 4) 来自振动探头的空化影响铸造带,在一个实施例中,该铸造带与熔融金属接触。

[0098] 5) 在一个实施例中,空化破碎枝晶且产生等轴晶粒结构。

[0099] 参看图2,探头联接到流过熔融金属处理装置34的冷却介质。通过探头在超声频率下振动在冷却介质中产生的空化影响与容纳结构32中的熔融铝接触的带36。

[0100] 在本发明的一个实施例中,振动能量可由用作振动能量源40的磁致伸缩换能器供应。在一个实施例中,用作振动能量源40的磁致伸缩换能器具有连同图2中的压电换能器单

元使用的相同布置,其中唯一差别是驱动表面在超声频率下振动的超声源是至少一个磁致伸缩换能器,替代了至少一个压电元件。图13绘出了针对至少一个超声振动能量源使用磁致伸缩元件的根据本发明的一个实施例的铸造轮构造。在本发明的该实施例中,(多个)磁致伸缩换能器40a在例如30kHz的频率下振动联接到冷却介质上的探头(在图13的侧视图中未示出),尽管其它频率可如下文所述那样使用。在本发明的另一个实施例中,磁致伸缩换能器40a振动熔融金属处理装置34内的图14的示意性截面图中所示的底板40b,其中底板40b联接到冷却介质(图14中所示)。

[0101] 磁致伸缩换能器通常由大量材料板构成,一旦施加电磁场,则材料板将膨胀和收缩。更具体而言,在一个实施例中,适用于本发明的磁致伸缩换能器可包括布置成与附接到待振动的处理容器或其它表面的底部上的各个叠层的一个边缘平行的大量镍(或其它磁致伸缩材料)板或叠层。线圈围绕磁致伸缩材料放置来提供磁场。例如,当电流的流经由线圈供应时,产生了磁场。该磁场引起磁致伸缩材料收缩或伸长,从而将声波引入到与膨胀和收缩的磁致伸缩材料接触的流体中。适用于本发明的来自磁致伸缩换能器的典型超声频率范围从20kHz到200kHz。较高或较低的频率可取决于磁致伸缩元件的固有频率来使用。

[0102] 对于磁致伸缩换能器,镍是最常使用的材料中的一种。当电压施加到换能器上时,镍材料在超声频率下膨胀和收缩。在本发明的一个实施例中,镍板直接银钎焊到不锈钢板上。参看图2,磁致伸缩换能器的不锈钢板是在超声频率下振动的表面,且是直接地联接至流过熔融金属处理装置34的冷却介质的表面(或探头)。在冷却介质中经由超声频率下振动的板产生的空化然后影响与容纳结构32中的熔融铝接触的带36。

[0103] 美国专利号7,462,960(其全部内容通过引用并入本文中)描述了具有巨磁致伸缩元件的超声换能器驱动器。因此,在本发明的一个实施例中,磁致伸缩元件可由基于稀土合金的材料制成,如,Terfenol-D及其复合物,其相比于早期的过渡金属(如,铁(Fe)、钴(Co)和镍(Ni)),具有异常大的磁致伸缩效应。作为备选,在本发明的一个实施例中,磁致伸缩元件可由铁(Fe)、钴(Co)和镍(Ni)制成。

[0104] 作为备选,在本发明的一个实施例中,磁致伸缩元件可由以下合金中的一种或多种制成:铁和铽;铁和镨;铁、铽和镨;铁和镱;铁、铽和镱;铁、镨和镱;铁、铽、镨和镱;铁和钆;铁和钐;铁、钆和钐;铁、钐和镱;铁、钐和钆;铁、钐和镱;铁、钐和钆;铁、钐和镱;铁、钐和钆;或其混合物。

[1015] 美国专利号4,158,368(其全部内容通过引用并入本文中)描述了一种磁致伸缩换能器。如本文所述且适用于本发明,磁致伸缩换能器可包括呈现出设置在壳体内部的负磁致伸缩的材料的柱塞。美国专利号5,588,466(其全部内容通过引用并入本文中)描述了一种磁致伸缩换能器。如本文所述且适用于本发明,磁致伸缩层施加到柔性元件上,例如,柔性梁。柔性元件由外部磁场偏转。如'466专利中所示且适用于本发明,薄磁致伸缩层可用于由 $Tb(1-x)Dy(x)Fe_2$ 构成的磁致伸缩元件。美国专利号4,599,591(其全部内容通过引用并入本文中)描述了一种磁致伸缩换能器。如本文所述且适用于本发明,磁致伸缩换能器可使用磁致伸缩材料和连接到具有相位关系的多个电流源上的多个绕组,以便在磁致伸缩材料内形成旋转磁感应矢量。美国专利号4,986,808(其全部内容通过引用并入本文中)描述了一种磁致伸缩换能器。如本文所述且适用于本发明,磁致伸缩换能器可包括磁致伸缩材料的多个长形条,各个条均具有近端、远端和大致V形的截面,其中V的各个臂由条的纵向长度形成,且各个条均在近端和远端两者处附接到相邻的条上,以形成和整体结合具有中心轴线

的大致刚性的柱,其中翼(fin)关于该轴线沿径向延伸。

[0106] 图3为示出用于将低频振动能量供应至铸造轮30的通道中的熔融金属的机械振动构造的本发明的另一个实施例的示意图。在本发明的一个实施例中,振动能量来自换能器或其它机械搅动器生成的机械振动。如本领域中已知,振动器是生成振动的机械装置。振动通常由在其传动轴上具有不平衡质量的电动机生成。一些机械振动器由电磁驱动器和搅拌器轴构成,该搅拌器轴通过垂直往复运动来搅动。在本发明的一个实施例中,振动能量从振动器(或其它构件)供应,该振动器能够使用机械能来产生达到但不限于20kHz的振动频率,且优选地在5-10kHz的范围中。

[0107] 不论振动机构如何,将振动器(压电换能器、磁致伸缩换能器或机械驱动的振动器)附接到壳体44上意味着振动能量可传递至组件42下方的通道中的熔融金属。

[0108] 用于本发明的机械振动器可每分钟进行8,000到15,000次振动,尽管可使用更高和更低的频率。在本发明的一个实施例中,振动机构构造成每秒振动565到5,000次振动之间。在本发明的一个实施例中,振动机构构造成在每秒几分之一次振动到每秒565次振动的甚至更低的频率下振动。适用于本发明的机械驱动的振动的范围例如包括每分钟6,000到9,000次振动、每分钟8,000到10,000次振动、每分钟10,000到12,000次振动、每分钟12,000到15,000次振动,以及每分钟15,000到25,000次振动。来自文献报告的适用于本发明的机械驱动的振动的范围例如包括从133到250Hz、200Hz到283Hz(每分钟12,000到17,000次振动)和4到250Hz的范围。此外,很多种机械驱动的振荡可通过定期驱动的简单的锤或柱塞装置来传递在铸造轮30或壳体44中,以撞击铸造轮30或壳体44。大体上,机械振动可范围达到10kHz。因此,适用于本发明中使用的机械振动的范围包括:1到10KHz、10Hz到4000Hz、20Hz到2000Hz、40Hz到1000Hz、100Hz到500Hz,以及其中间和组合的范围,包括565到5,000Hz的优选范围。

[0109] 尽管上文参照超声和机械驱动的实施例进行了描述,但本发明并未如此限于这些范围中的一个或另一个,而是可用于达到400KHz的振动能量的较宽谱图,包括单频率和多频率源。此外,可使用源(下文将描述的超声和机械驱动的源或不同超声源,或不同机械驱动的源和声能源)的组合。

[0110] 如图3中所示,铸造机2包括铸造轮30,其具有熔融金属倒入其中的铸造轮30中的容纳结构32(例如,槽或通道),以及熔融金属处理装置34。带36(例如,钢带)将熔融金属限制在容纳结构32(即,通道)中。如上文所述,辊38允许熔融金属处理装置34在熔融金属1)凝固在铸造轮的通道中和2)传送远离熔融金属处理装置34时保持静止。

[0111] 冷却通道46将冷却介质传送穿过其间。如前文所述,气刀52引导空气(作为安全预防措施),使得从冷却通道泄漏的任何水都沿远离熔融金属的铸造源的方向引导。如前文所述,轧制装置(例如,辊38)相对于旋转的铸造轮30引导熔融金属处理装置34。冷却介质向熔融金属和至少一个振动能量源40(图3中示为机械振动器40)提供冷却。

[0112] 当熔融金属在机械振动器40下方的金属带36下方通过时,机械驱动的振动能量在金属开始冷却和凝固时供应至熔融金属。在一个实施例中,机械驱动的振动能量允许多个小晶种的形成,从而产生细晶粒金属产品。

[0113] 在本发明的一个实施例中,至少一个振动器40设置成联接到冷却通道46,该振动器40在机械振动器的情况下经由冷却介质,以及经由组件42和带36将机械驱动的振动能量

提供到液体金属中。在本发明的一个实施例中,机械振动器的头插入到冷却通道46中来与液体冷却介质接触。在本发明的一个实施例中,一个以上的机械振动器头或机械振动器头阵列可插入到冷却通道46中来与液体冷却介质接触。在本发明的一个实施例中,机械振动器头可附接到组件42的壁。

[0114] 尽管不限于任何具体理论,但铸造轮30的通道的底部处的相对少量的过冷(例如,小于10°C)导致较纯的铝(或其它金属或合金)的小核层形成。机械驱动的振动产生这些核,其然后在凝固期间用作成核剂,导致均匀的晶粒结构。因此,在本发明的一个实施例中,使用的冷却方法确保了通道的底部处的少量过冷,导致处理材料的小核层。来自通道的底部的机械驱动的振动分散这些核,且/或可用于破碎形成在过冷层中的枝晶。这些核和枝晶的碎片然后用于在凝固期间形成模具中的等轴晶粒,导致了均匀的晶粒结构。

[0115] 换言之,在本发明的一个实施例中,传送至液体金属的机械驱动的振动在金属或金属合金中产生成核部位来细化粒径。如上文所述,铸造轮30的通道可为耐火金属或其它高温材料,如铜、铁和钢、铌、铌和钼、钽、钨、和铼,以及其合金,包括可延伸这些材料的熔点的一种或多种元素如硅、氧或氮。

[0116] 图3A为使用至少一个超声振动能量源和至少一个机械驱动的振动能量源(例如,机械驱动的振动器)两者的根据本发明的一个实施例的铸造轮混合构造的示意图。与图3中的那些共同示出的元件是执行如上文所述的相似功能的相似元件。例如,图3A中提到的容纳结构32(槽或通道)在熔融金属倒入其中的绘出的铸造轮中。如上文,带(图3A中未示出)将熔融金属限于容纳结构32。这里,在本发明的该实施例中,(多个)超声振动能量源和(多个)机械驱动的振动能量源两者可有选择地触动,且可单独地或与彼此协同驱动,以提供振动,振动在输送至液体金属中时,在金属或金属合金中产生成核部位来细化粒径。在本发明的各种实施例中,可布置和使用(多个)超声振动能量源和(多个)机械驱动的振动能量源的不同组合。

[0117] 发明方面

[0118] 在本发明的一个方面中,振动能量(来自低频机械驱动的振动器,在每分钟8,000到15,000次振动的范围中或达到10KHz和/或在5到400kHz的范围中的超声频率)可在冷却期间施加到熔融金属容纳结构。在本发明的一个方面中,振动能量可在多个不同频率下施加。在本发明的一个方面中,振动能量可施加到多种金属合金,包括但不限于下文列出的那些金属和合金:铝、铜、金、铁、镍、铂、银、锌、镁、钛、铌、钨、锰、铁及其合金和组合;金属合金包括-黄铜(铜/锌)、青铜(铜/锡)、钢(铁/碳)、铬合金(铬)、不锈钢(钢/铬)、工具钢(碳/钨/锰)、钛(铁/铝)和标准等级的铝合金,包括-1100,1350,2024,2224,5052,5154,5356.5183、6101,6201,6061,6053,7050,7075,8XXX系列;铜合金、包括青铜(上所述)和铜与锌、锡、铝、硅、镍、银的组成的合金;镁与-铝、锌、锰、硅、铜、镍、钴、铍、钙、钪、钆、铈、锡、钇、稀土的合金;铁和铁与铬、碳、硅、镍、钼、钨、钽、钨、钛、铅、镁、锡、钨的合金;和其它合金及其组合。

[0119] 在本发明的一个方面中,振动能量(来自低频机械驱动的振动器,在每分钟8,000到15,000次振动的范围中或达到10KHz和/或在5到400kHz的范围中的超声频率)经由与带接触的液体介质耦合至熔融金属处理装置34下的凝固金属中。在本发明的一个方面中,振动能量在565到5,000Hz之间机械地耦合。在本发明的一个方面中,振动能量在低到每秒几分之一次振动到每秒565次振动的甚至更低的频率下机械地驱动。在本发明的一个方面中,

振动能量在从5kHz范围到400kHz的频率下超声地驱动。在本发明的一个方面中,振动能量经由容纳振动能量源40的壳体44来耦合。壳体44连接到其它结构元件如带46或辊38,其与通道的壁或直接与熔融金属接触。在本发明的一个方面中,在金属冷却时,该机械耦合将振动能量从振动能量源传输至熔融金属中。

[0120] 一方面,冷却介质可为液体介质如水。一方面,冷却介质可为气态介质,如,压缩空气或氮中的一者。一方面,冷却介质可为相变材料。优选的是,冷却介质在足够的速率下提供以使带36附近的金属过冷(小于合金的液相线温度以上5到10℃或甚至低于液相线温度)。

[0121] 在本发明的一个方面中,获得了铸造产品内的等轴晶粒,而不需要将不纯的颗粒如硼化钛加入到金属或金属合金中来增加晶粒数和改善均匀异质凝固。替代使用成核剂,在本发明的一个方面中,振动能量可用于产生成核部位。

[0122] 在操作期间,在大致高于合金的液相线温度的温度下的熔融金属通过重力流入铸造轮30的通道中,且在熔融金属处理装置34下方通过,在该处,其暴露于振动能量(即,超声或机械驱动的振动)。流入铸模的通道中的熔融金属的温度取决于选择的合金的类型、倾倒速率、铸造轮通道的尺寸,以及其它。对于铝合金,铸造温度可范围从1220F到1350F的范围,其中优选范围例如在1220到1300F、1220到1280F、1220到1270F、1220到1340F、1240到1320F、1250到1300F、1260到1310F、1270到1320F、1320到1330F之间,其中重叠和中间范围和±10华氏度的变化也适合。铸造轮30的通道冷却来确保通道中的熔融金属接近亚液相线温度(例如,小于合金的液相线温度以上5到10℃或甚至低于液相线温度,尽管倾倒温度可远高于10℃)。在操作期间,熔融金属周围的气氛可通过护罩(未示出)控制,该护罩例如填充或倾倒有惰性气体如Ar、He或氮。铸造轮30上的熔融金属通常在熔融金属从液体转变成固体的热稳定状态中。

[0123] 由于接近亚液相线温度的过冷,故凝固速率并非慢到足以允许穿过固液界面的平衡,这继而又导致越过铸造棒材的成分中的变化。化学成分的不均匀导致了偏析。此外,偏析量直接关于熔融金属中的各种元素的扩散系数以及传热速率。另一个偏析类型是熔点较低的组分将首先凝结的地方。

[0124] 在本发明的超声或机械驱动的振动实施例中,振动能量在其冷却时搅动熔融金属。在该实施例中,振动能量以搅动且有效搅拌熔融金属的能量来给予。在本发明的一个实施例中,机械驱动的振动能量用于在其冷却时连续地搅拌熔融金属。在各种铸造合金过程中,期望铝合金中含有高浓度的硅。然而,在较高的硅浓度下,可形成硅沉淀。通过将这些沉淀“再混合”回到熔融状态,元素硅可至少部分地回到溶液中。作为备选,即使留下沉淀,但混合将不会导致硅沉淀偏析,从而引起下游的金属模具和辊上的更有磨蚀作用的磨损。

[0125] 在各种金属合金系统中,出现了一些类型的效果,其中合金的一个成分(通常是高熔点成分)以纯形式沉淀,实际上以纯成分的颗粒“污染”合金。大体上,在铸造合金时,发生偏析,由此贯穿铸造,溶质的浓度不是恒定的。这可由多种过程引起。发生在与枝晶臂间隙的尺寸相当的距离上的微观偏析被认为是第一固体形成的浓度低于最终平衡浓度的结果,导致了过量的溶质分离到液体中,以便随后形成的固体具有较高的浓度。宏观偏析发生在与铸件尺寸相似的距离上。这可由许多复杂的过程引起,涉及在铸件凝固时的收缩效应,以及液体密度随着溶质分离的变化。期望在铸造期间防止偏析,以给予始终具有统一性质

的固体坯料。

[0126] 因此,将受益于本发明的振动能量处理的一些合金包括上文提到的那些合金。

[0127] 其它构造

[0128] 本发明不限于振动能量仅用到上文所述的通道结构的应用。大体上,振动能量(来自低频机械驱动的振动器,在达到10KHz的范围中和/或在5到400kHz的范围中的超声频率)可包括铸造过程中的点处的成核,在该处,熔融金属开始从熔融状态冷却且进入固态(即,热稳定状态)。不同看来,在各种实施例中,本发明使来自多种源的振动能量与热管理组合,使得冷却表面附近的熔融金属接近合金的液态温度。在这些实施例中,通道中的或相对于铸造轮30的带36的熔融金属的温度足够低,以引起成核和晶体生长(枝晶形成),同时振动能量产生核,且/或破碎可形成在铸造轮30中的通道的表面上的枝晶。

[0129] 在本发明的一个实施例中,与铸造过程相关联的有利方面可在没有激励的或连续激励的振动能量源的情况下得到。在本发明的一个实施例中,振动能量源可在编程的开/关循环期间激励,其中关于工作循环的幅度的百分比范围从0到100%、10-50%、50-90%、40-60%、45-55%,以及通过控制至振动能量源的功率在两者之间的所有中间范围。

[0130] 在本发明的另一个实施例中,振动能量(超声或机械驱动)在带36接触熔融金属之前直接地注入到铸造轮中的熔融铝铸模中。直接施加振动能量引起熔体中的交替压力。超声能量作为振动能量直接施加至熔融金属可引起熔融的熔体中的空化。

[0131] 尽管并未界定于任何特定理论,但空化由微小不连续或腔在液体中的形成构成,随后它们生长、脉动和崩溃。腔由于声波在稀疏阶段中产生的张应力出现。如果张应力(或负压力)在腔形成之后持续,则腔将膨胀到初始尺寸的数倍。在超声场中的空化期间,许多腔在小于超声波长的距离处同时地出现。在该情况中,腔气泡保持其球形形状。空化气泡的后续行为是高度可变的:小部分气泡聚结以形成大气泡,但几乎所有都通过压缩相中的声波而崩溃。在压缩期间,这些腔中的一些可由于压缩应力而崩溃。因此,在这些空穴崩溃时,高冲击波出现在熔体中。因此,在本发明的一个实施例中,振动能量引起的冲击波用于破碎枝晶和其它生长的核,因此生成新核,这继而又导致等轴晶粒结构。此外,在本发明的另一个实施例中,连续超声振动可有效地均化形成的核,进一步有助于等轴结构。在本发明的另一个实施例中,不连续的超声或机械驱动的振动可有效地均化形成的核,进一步有助于等轴结构。

[0132] 图4为特别连同振动探头装置66的根据本发明的一个实施例的铸造轮构造的示意图,该振动探头装置66具有直接地插入铸造轮60中铸造的熔融金属的探头(未示出)。探头将具有类似于用于本领域中已知的用于超声脱气的构造。图4绘出了将带68压到铸造轮60的边沿上的辊62。振动探头装置66将振动能量(超声或机械驱动的能量)直接地或间接地耦合至铸造轮60的通道(未示出)中铸造的熔融金属中。当铸造轮60反时针旋转时,熔融金属在辊62下转变,且与可选的熔融金属冷却装置64接触。该装置64可类似于图2和3的组件42,但没有振动器40。该装置64可类似于图3中的熔融金属处理装置34,但没有机械振动器40。

[0133] 在该实施例中,如图4中所示,用于铸造机的熔融金属处理装置使用至少一个振动能量源(即,振动探头装置66),其通过插入到铸造轮中铸造的熔融金属中(优选但不一定直接到铸造轮中铸造的熔融金属中)的探头供应振动能量,同时冷却铸造轮中的熔融金属。支承装置将振动能量源(振动探头装置66)保持就位。

[0134] 在本发明的另一个实施例中,振动能量可耦合至熔融金属中,同时其通过使用声振荡器来通过作为介质的空气或气体冷却。声振荡器(例如,音频放大器)可用于生成和传输声波到熔融金属中。在该实施例中,上文所论述的超声或机械驱动的振动器将由声振荡器替换或补充。适用于本发明的音频放大器将提供从1到20,000Hz的声振荡。可使用高于或低于该范围的声振荡。例如,可使用从0.5到20Hz;10到500Hz、200到2,000Hz、1,000到5,000Hz、2,000到10,000Hz、5,000到14,000Hz、以及10,000到16,000Hz、14,000到20,000Hz、以及18,000到25,000Hz的声振荡。电声换能器可用于生成和传输声能。

[0135] 在本发明的一个实施例中,声能可经由气态介质直接地耦合至熔融金属中,在该处,声能振动熔融金属。在本发明的一个实施例中,声能可经由气态介质直接地耦合至熔融金属中,其中声能振动带36或容纳熔融金属的其它支承结构,这继而又振动熔融金属。

[0136] 除使用上文所述的连续轮型铸造系统中的本发明的振动能量处理之外,本发明还具有固定模具(stationary mold)和垂直铸造机中的用途。

[0137] 对于固定机,熔融金属将倾倒入定模(stationary cast)62,如,图5中所示的一个,其自身具有熔融金属处理装置34(示意性示出)。以此方式,振动能量(来自低频机械驱动的振动器,达到10KHz操作和/或在5到400kHz的范围中的超声频率)可引起定模中的点处的成核,在该处,熔融金属开始从熔融状态冷却且进入固态(即,热稳定状态)。

[0138] 图6A-6D绘出了垂直铸造机中的选择的构件。这些构件和垂直铸造机的其它方面的更多细节在美国专利号3,520,352(其全部内容通过引用并入本文中)中找到。如图6A-6D中所示,垂直铸造机包括熔融金属铸造腔213,其在所示实施例中大体上是正方形,但其可为圆形、椭圆形、多边形或任何其它适合的形状,且其由垂直的相互交叉的第一壁部分215与第二或转角壁部分217界定,位于模具的顶部中。流体保持封壳219包绕壁215和与其成间隔开的关系的铸造腔的转角部件217。封壳219适于经由入口导管221接收冷却流体,如水,且经由出口导管223排出冷却流体。

[0139] 尽管第一壁部分215优选地由极为导热的材料如铜制成,但第二或转角壁部分217由不太导热的材料(例如,如,陶瓷材料)构成。如图6A-6D中所示,转角壁部分217具有大体上L形或成角的截面,且各个转角的垂直边缘向下且朝彼此收敛地倾斜。因此,转角部件217终止于在横向区段之间的模具的排放端上方的模具中的一些方便的水平处。

[0140] 在操作中,熔融金属从中间包(tundish,有时也称为中间罐)245流入铸造模具中,该模具垂直地往复,且金属的铸流(cast strand)从模具连续地取得。熔融金属首先在接触可认作是第一冷却区的较冷的模具壁时在模具中冷却。热从该区中的熔融金属快速除去,且认为材料的表皮围绕熔融金属的中心池完全形成。

[0141] 在本发明的一个实施例中,振动能量源(为了简单起见仅在图6D上示意性示出的振动器40)将关于流体保持封壳219设置,且优选地到在流体保持封壳219中循环的冷却介质中。振动能量(来自低频机械驱动的振动器,在每分钟8,000到15,000次的范围中和/或在5到400kHz的范围中的超声频率,和/或上述声振荡器)将引起铸造过程中的点处的成核,在该处,熔融金属开始从熔融状态冷却,且在熔融金属从液体转变成固体时和在金属的铸流从金属铸造腔213连续取得时进入固态(即,热稳定状态)。

[0142] 在本发明的一个实施例中,上述超声晶粒细化与上述超声脱气组合来在金属铸造之前从熔融浴(molten bath)除去杂质。图9为绘出使用超声除气和超声晶粒细化两者的本

发明的一个实施例。如本文所述,炉是熔融金属源。熔融金属在流槽(laundry)中从炉输送。在本发明的一个实施例中,超声脱气器在熔融金属提供到包含超声晶粒细化器(未示出)的铸造机器(例如,铸造轮)中之前设置在流槽的路径中。在一个实施例中,铸造机器中的晶粒细化剂不需要在超声频率下发生,而是可在别处所论述的其它机械驱动的频率中的一个或多个下发生。

[0143] 尽管不限于以下特定的超声脱气器,但'336专利描述了适用于本发明的不同实施例的脱气器。一个适合的脱气器将是超声装置,其具有超声换能器;长形探头,其包括第一端和第二端,第一端附接到超声换能器上且第二端包括末梢;以及吹扫气体输送系统,其中吹扫气体输送系统可包括吹扫气体入口和吹扫气体出口。在一些实施例中,吹扫气体出口可在长形探头的末梢的大约10cm(或5cm,或1cm)内,而在其它实施例中,吹扫气体出口可在长形探头的末梢处。此外,超声装置可包括每个超声换能器的多个探头组件和/或多个探头。

[0144] 尽管不限于以下特定的超声脱气器,但'397专利描述了适用于本发明的不同实施例的脱气器。一种适合的脱气器将是超声装置,其具有超声换能器;附接到超声换能器上的探头,探头包括末梢;以及气体输送系统,气体输送系统包括气体入口、穿过探头的气流通路、以及探头的末梢处的气体出口。在一种实施例中,探头可为包括第一端和第二端的长形探头,第一端附接到超声换能器上,且第二端包括末梢。此外,探头可包括不锈钢、钛、铌、陶瓷和类似物,或这些材料中的任何的组合。在另一个实施例中,超声探头可为具有穿过其间的整体结合的气体输送系统的单一SIALON探头。在又一个实施例中,超声装置可包括每个超声换能器的多个探头组件和/或多个探头。

[0145] 在本发明的一个实施例中,例如使用上文所论述的超声探头的超声除气补充了超声晶粒细化。在超声除气的各种实施例中,吹扫气体加入熔融金属,例如,通过上文所论述的探头,在从大约1到大约50L/min的范围中的速率下。通过公开,流速在从大约1到大约50L/min的范围中,流速可为大约1、大约2、大约3、大约4、大约5、大约6、大约7、大约8、大约9、大约10、大约11、大约12、大约13、大约14、大约15、大约16、大约17、大约18、大约19、大约20、大约21、大约22、大约23、大约24、大约25、大约26、大约27、大约28、大约29、大约30、大约31、大约32、大约33、大约34、大约35、大约36、大约37、大约38、大约39、大约40、大约41、大约42、大约43、大约44、大约45、大约46、大约47、大约48、大约49或大约50L/min。此外,流速可在从大约1到大约50L/min(例如,该速率可在大约2到大约20L/min的范围中)的任何范围内,且这还包括大约1和大约50L/min之间的范围的任何组合。中间范围是可能的。同样,本文公开的所有其它范围应当以类似的方式理解。

[0146] 本发明的实施例关于超声除气,且超声晶粒细化可提供系统、方法和/或装置用于熔融金属的超声除气,包括但不限于铝、铜、钢、锌、镁和类似物,或这些和其它金属(例如,合金)的组合。来自熔融金属的处理或铸造制品可能需要含有熔融金属的浴,熔融金属的该浴可保持在升高的温度下。例如,熔融的铜可保持在大约1100℃的温度下,而熔融的铝可保持在大约750℃的温度下。

[0147] 如本文使用的,用语“浴”、“熔融金属浴”和类似的意思是包含可能包含熔融金属的任何容器,包括器皿、坩埚、槽、流槽、炉、浇包等。浴和熔融金属浴用语用于包含批量、连续、半连续等的操作,且例如,在熔融金属大体上静止(例如,通常与坩埚相关联)的情况下

和在熔融金属大体上运动(例如通常与流槽相关联)的情况下。

[0148] 许多仪器或装置可用于监测、测试或改变浴中的熔融金属的状态,以及用于期望的金属制品的最终生产或铸造。需要这些仪器或装置更好地经受熔融金属浴中遇到的升高温度,有利的是具有较长寿命且限制为不与熔融金属反应,而不论金属是(或金属包括)铝、或铜、或钢、或锌、或镁等。

[0149] 此外,熔融金属可具有溶解于它们中的一种或多种气体,且这些气体可不利地影响期望的金属制品的最终生产和铸造,且/或金属制品自身的所得的物质性质。例如,溶解在熔融金属中的气体可包括氢、氧、氮、二氧化硫和类似物,或它们的组合。在一些情形中,可能有利的是,除去气体或减少熔融金属中的气体量。作为实例,溶解的氢可不利于铝(或铜、或其它金属或合金)的铸造,且因此,由铝(或铜、或其它金属或合金)生产的最终制品的性质可通过减少铝(或铜、或其它金属或合金)的熔融浴中携带的氢量来改善。基于质量高于0.2ppm、高于0.3ppm、或高于0.5ppm的溶解氢可对铸造速率和所得的铝(或铜、或其它金属或合金)棒和其它制品的质量有不利效果。氢可通过其存在于容纳熔融铝(或铜、或其它金属或合金)的浴上方的大气中,或其可存在于熔融铝(或铜、或其它金属或合金)浴中使用的铝(或铜、或其它金属或合金)给料初始材料中而进入熔融铝(或铜、或其它金属或合金)中。

[0150] 减少熔融金属浴中的溶解气体量的尝试并未完全成功。通常,过去的这些工艺涉及附加和昂贵的设备,以及可能危险的材料。例如,用于金属铸造行业中来减少熔融金属的溶解气体含量的过程可由诸如石墨的材料制成的转子构成,且这些转子可置于熔融金属浴内。此外,氯气可在熔融金属浴内的转子附近的位置处加至熔融金属浴。尽管加入氯气可成功减少例如一些情形中的熔融金属浴中的溶解氢的量,但该常规过程具有可注意到的缺陷,其中最重要的缺陷是成本、复杂性和可能危险且可能对环境有害的氯气的使用。

[0151] 此外,熔融金属可具有存在于它们中的杂质,且这些杂质可不利地影响期望的金属制品的最终生产和铸造,和/或金属制品自身的所得的物理性质。例如,熔融金属中的杂质可包括不需要或不期望存在于熔融金属中的碱金属或其它金属。小百分比的某些金属存在于各种金属合金中,且此金属将不认作是杂质。作为非限制性实例,杂质可包括锂、钠、钾、铅和类似物,或它们的组合。各种杂质可通过其存在于熔融金属浴中使用的到来的金属给料初始材料中而进入熔融金属浴(铝、铜或其它金属或合金)。

[0152] 涉及超声除气和超声晶粒细化的本发明的实施例可提供用于减少熔融金属浴中的溶解气体的量的方法,或换言之,用于使熔融金属脱气的方法。一个此类方法可包括在熔融金属浴中操作超声装置,以及将吹扫气体引入紧邻超声装置的熔融金属浴中。溶解气体可为或可包括氧、氢、二氧化硫和类似物,或它们的组合。例如,溶解气体可为或可包括氢。熔融金属浴可包括铝、铜、锌、钢、镁和类似物,或其混合物和/或组合(例如,包括铝、铜、锌、钢、镁等的各种合金)。在涉及超声除气和超声晶粒细化的一些实施例中,熔融金属浴可包括铝,而在其它实施例中,熔融金属浴可包括铜。因此,浴中的熔融金属可为铝,或作为备选,熔融金属可为铜。

[0153] 此外,本发明的实施例可提供用于减少熔融金属浴中存在的杂质的量的方法,或换言之,用于除去杂质的方法。涉及超声除气和超声晶粒细化的一个此类方法可包括在熔融金属浴中操作超声装置,以及将吹扫气体引入紧邻超声装置的熔融金属浴中。杂质可为

或可包括锂、钠、钾、铅和类似物,或它们的组合。例如,杂质可为或可包括锂或作为备选,钠。熔融金属浴可包括铝、铜、锌、钢、镁和类似物,或其混合物和/或组合(例如,包括铝、铜、锌、钢、镁等的各种合金)。在一些实施例中,熔融金属浴可包括铝,而在其它实施例中,熔融金属浴可包括铜。因此,浴中的熔融金属可为铝,或作为备选,熔融金属可为铜。

[0154] 本文公开的涉及在脱气方法和/或除去杂质方法中使用的超声除气和超声晶粒细化的吹扫气体可包括氮、氦、氖、氩、氪和/或氙中的一种或多种,但不限于此。可构想出,任何适合的气体都可用作吹扫气体,提供了气体不明显地与熔融金属浴中的(多个)特征金属反应或溶解在其中。此外,可使用气体的混合物或组合。根据本文公开的一些实施例,吹扫气体可为或可包括惰性气体;作为备选,吹扫气体可为或可包括稀有气体;作为备选,吹扫气体可为或可包括氦、氖、氩或它们的组合;作为备选,吹扫气体可为或可包括氪;作为备选,吹扫气体可为或可包括氙;或作为备选,吹扫气体可为或可包括氩。此外,申请人构想出,在一些实施例中,常规的脱气技术可连同本文公开的超声脱气过程来使用。因此,在一些实施例中,吹扫气体还可包括氯气,如,氯气单独用作吹扫气体或与氮、氦、氖、氩、氪和/或氙中的至少一者组合使用。

[0155] 然而,在本发明的一些实施例中,涉及用于脱气或用于减少熔融金属浴中溶解气体的量的超声除气和超声晶粒细化的方法可在大致没有氯气或没有氯气存在的情况下进行。如本文使用的,大致不存在意味着基于使用的吹扫气体量,可使用不大于5%重量的氯气。在一些实施例中,本文公开的方法可包括引入吹扫气体,且该吹扫气体可选自氮、氦、氖、氩、氪、氙和它们的组合构成的集合。

[0156] 引入到熔融金属浴中的吹扫气体量可取决于许多因素变化。通常,根据本发明的实施例的涉及使熔融金属脱气的方法(和/或从熔融金属除去杂质的方法)中引入的超声除气和超声晶粒细化的吹扫气体的量可落入大约0.1到大约150标准升/分钟(L/min)的范围内。在一些实施例中,引入的吹扫气体的量可在从大约0.5到大约100L/min、从大约1到大约100L/min、从大约1到大约50L/min、从大约1到大约35L/min、从大约1到大约25L/min、从大约1到大约10L/min、从大约1.5到大约20L/min、从大约2到大约15L/min、或从大约2到大约10L/min的范围中。这些体积流速以每分钟标准升为单位,即,在标准温度(21.1℃)和压力(101kPa)下。

[0157] 在连续或半连续的熔融金属操作中,引入到熔融金属浴中的吹扫气体的量可基于熔融金属输出或生产速率改变。因此,涉及超声除气和超声晶粒细化的根据此实施例的使熔融金属脱气的方法(和/或从熔融金属除去杂质的方法)中引入的吹扫气体量可落入每kg/hr熔融金属(mL吹扫气体/kg熔融金属)的大约10到大约500mL/hr吹扫气体的范围内。在一些实施例中,吹扫气体的体积流速与熔融金属的输出速率之比可在从大约10到大约400mL/kg;作为备选,从大约15到大约300mL/kg;作为备选,从大约20到大约250mL/kg;作为备选,从大约30到大约200mL/kg;作为备选,从大约40到大约150mL/kg;或作为备选,从大约50到大约125mL/kg的范围中。如上文所述,吹扫气体的体积流速在标准温度(21.1℃)和压力(101KPa)下。

[0158] 按照本发明的实施例且涉及超声除气和超声晶粒细化的用于使熔融金属脱气的方法可有效除去熔融金属浴中存在的溶解气体的大于大约百分之10重量,即,熔融金属浴中的溶解气体的量可从使用脱气过程之前存在的溶解气体量减少大约百分之10的重量。在

一些实施例中,存在的溶解气体量可从使用脱气方法之前存在的溶解气体量减少大于大约百分之15重量、大于大约百分之20重量、大于大约百分之25重量、大于大约百分之35重量、大于大约百分之50重量、大于大约百分之75重量、或大于大约百分之80重量。例如,如果溶解气体是氢,则大于大约0.3ppm或0.4ppm或0.5ppm(基于质量)的含有铝或铜的熔融金属浴中的氢水平可为不利的,且通常熔融金属中的氢含量可为大约0.4ppm、大约0.5ppm、大约0.6ppm、大约0.7ppm、大约0.8ppm、大约0.9ppm、大约1ppm、大约1.5ppm、大约2ppm或大于2ppm。可构想出,使用本发明的实施例中公开的方法可将熔融金属浴中的溶解气体量减少到小于大约0.4ppm;作为备选,到小于大约0.3ppm;作为备选,到小于大约0.2ppm;作为备选,在从大约0.1到大约0.4ppm的范围内;作为备选,在从大约0.1到大约0.3ppm的范围内;或作为备选,在大约0.2到大约0.3ppm的范围内。在这些和其它实施例中,溶解的气体可为或可包括氢,且熔融金属浴可为或可包括铝和/或铜。

[0159] 涉及超声除气和超声晶粒细化且针对脱气的方法(例如,减少包括熔融金属的浴中的溶解气体的量)或除去杂质的方法的本发明的实施例可包括操作熔融金属浴中的超声装置。超声装置可包括超声换能器和长形探头,且探头可包括第一端和第二端。第一端可附接到超声换能器上,且第二端可包括末梢,且长形探头的末梢可包括铌。下文描述了可用于本文公开的过程和方法的超声装置的示范性和非限制性实例的细节。

[0160] 由于其属于超声脱气过程或用于除去杂质的过程,故吹扫气体可例如在超声装置附近的位置处引入熔融金属浴中。在一个实施例中,吹扫气体可在超声装置的末梢附近的位置处引入熔融金属浴中。在一个实施例中,吹扫气体可在超声装置的末梢的大约1米内引入熔融金属浴中,例如,如,在超声装置的末梢的大约100cm内、大约50cm内、大约40cm内、大约30cm内、大约25cm内、或大约20cm内。在一些实施例中,吹扫气体可在超声装置的末梢的大约15cm内引入熔融金属浴中;作为备选,在大约10cm内;作为备选,在大约8cm内;作为备选,在大约5cm内;作为备选,在大约3cm内;作为备选,在大约2cm内;或作为备选,在大约1cm内。在一个特定实施例中,吹扫气体可在超声装置的末梢附近或穿过其引入熔融金属浴中。

[0161] 尽管不旨在由此理论界定,但超声装置的使用和结合紧邻的吹扫气体导致了含有熔融金属的浴中的溶解气体的量的急剧减少。由超声装置产生的超声能量可在熔体中产生空化气泡,溶解气体可扩散到其中。然而,在没有吹扫气体的情况下,许多空化气泡可在到达熔融金属浴的表面之前崩溃。吹扫气体可减少到达表面之前崩溃的空化气泡量,且/或可增加含有溶解气体的气泡的尺寸,且/或可增加熔融金属浴中的气泡的数量,且/或可增加含有溶解气体的气泡输送至熔融金属浴的表面的速率。超声装置可在紧邻超声装置的末梢内产生空化气泡。例如,对于具有大约2到5cm的直径的末梢的超声装置,空化气泡在崩溃之前可在超声装置的末梢的大约15cm、大约10cm、大约5cm、大约2cm或大约1cm内。如果吹扫气体在离超声装置的末梢太远的距离处加入,则吹扫气体可能不能扩散到空化气泡中。因此,在涉及超声除气和超声晶粒细化的实施例中,吹扫气体引入到超声装置的末梢的大约25cm到大约20cm内的熔融金属浴中,且更有利的是,超声装置的末梢的大约15cm内、大约10cm内、大约5cm内、大约2cm内、或大约1cm内。

[0162] 根据本发明的实施例的超声装置可与熔融金属如铝或铜接触,例如,如美国专利公开号2009/0224443中公开,其通过引用以其整体并入本文中。在用于减少熔融金属中的溶解气体含量(例如,氢)的超声装置中,铌或其合金可在其暴露于熔融金属时用作装置的

保护隔层,或作为直接暴露于熔融金属的装置的构件。

[0163] 涉及超声除气和超声晶粒细化的本发明的实施例可提供用于延长与熔融金属直接接触的构件的寿命的系统和方法。例如,本发明的实施例可使用铌来减少与熔融金属接触的材料退化,导致了最终产品中的显著的质量改善。换言之,本发明的实施例可通过将铌用作保护隔层来延长与熔融金属接触的材料或构件的寿命或保护其。铌可具有例如其高熔点的性质,这可有助于提供本发明的前述实施例。此外,铌还可在暴露于大约200℃和更高的温度时形成保护氧化物隔层。

[0164] 此外,涉及超声除气和超声晶粒细化的本发明的实施例可提供用于延长与熔融金属直接接触或对接的构件的寿命的系统和方法。由于铌具有与某些熔融金属的较低反应性,故使用铌可防止基底材料退化。因此,涉及超声除气和超声晶粒细化的本发明的实施例可使用铌来减少基底材料的脱气,导致最终产品中的显著质量改善。因此,与熔融金属相关联的铌可将铌的高熔点和其与熔融金属如铝和/或铜的低反应性组合。

[0165] 在一些实施例中,铌或其合金可用于包括超声换能器或长形探头的超声装置中。长形探头可包括第一端和第二端,其中第一端可附接到超声换能器上,且第二端可包括末梢。根据本发明,长形探头的末梢可包括铌(例如,铌或其合金)。如上文所论述的,超声装置可用于超声脱气过程。超声换能器可生成超声波,且附接到换能器上的探头可将超声波输送至包括熔融金属的浴中,如,铝、铜、锌、钢、镁和类似物,或其混合物和/或组合(例如,包括铝、铜、锌、钢、镁等的各种合金)。

[0166] 在本发明的各种实施例中,使用了超声脱气和超声晶粒细化的组合。如下文所述,超声脱气和超声晶粒细化的组合的使用单独地和组合地提供了优点。尽管不限于以下论述,但以下论述提供了伴随超声脱气和超声晶粒细化的组合的独特效果的理解,带来了在单独使用时将不会被预计的铸造产品的总体质量的(多项)改善。这些效果由发明人在此组合超声处理的开发中实现。

[0167] 在超声脱气中,从金属铸造过程中消除了氯化学物质(在未使用超声脱气时使用)。当氯作为化学物质存在于熔融金属浴中时,其可反应,且与浴中的其它外来元素(如,可能存在的碱)形成强化学键。在碱存在时,稳定的盐形成在熔融金属浴中,这可导致铸造金属产品中的夹杂物,其恶化了其导电性和机械性能。在无超声晶粒细化的情况下,使用化学晶粒细化剂如硼化钛,但这些材料通常含有碱。

[0168] 因此,在超声脱气消除作为处理元素的氯的情况下,以及在消除晶粒细化剂(碱源)的超声晶粒细化的情况下,明显降低了铸造金属产品中的稳定盐形成和所得的夹杂物形成的可能性。此外,消除作为杂质的这些外来元素改善了铸造金属产品的导电性。因此,在本发明的一个实施例中,超声脱气和超声晶粒细化的组合意味着所得的铸造产品具有优异的机械和导电性能,因为消除了主要的杂质来源中的两个,而不用一种外来杂质替换另一种。

[0169] 由超声脱气和超声晶粒细化的组合提供的另一个优点涉及以下事实,即,超声脱气和超声晶粒细化两者有效地“搅拌”熔融浴,使熔融材料均匀化。当金属的合金熔化且然后冷却来凝固时,由于不同合金比例的熔点中的相应差异,故合金的中间相可存在。在本发明的一个实施例中,超声脱气和超声晶粒细化两者将中间相搅拌和混合回熔融相中。

[0170] 所有这些优点允许获得与在使用超声脱气或超声晶粒细化时或在用常规氯处理

替换一者或两者时或在使用化学晶粒细化剂时所预期的相比具有小粒度、具有更少杂质、更少夹杂物、更好的导电性、更好的延展性和更高的张力强度的产品。

[0171] 示范超声晶粒细化

[0172] 使用了图2和3和3A中所示的容纳结构,其具有10cm的深度和8cm的宽度,形成了铸造轮30中的矩形槽或通道。柔性金属带的厚度是6.35mm。柔性金属带的宽度是8cm。用于带的钢合金是1010钢。20KHz的超声频率在120W(每个探头)的功率下使用,其供应至具有与冷却介质中的水接触的振动探头的一个或两个换能器。铜合金铸造轮的一段用作模具。作为冷却介质,水在接近室温下供应,且以大约15升/分钟流过通道46。

[0173] 熔融铝在40kg/min的速率下倒入,产生连续铝铸件,其示出了与等轴晶粒结构一致的性质,但并未加入晶粒细化剂。实际上,大约9百万磅的铝棒使用此技术铸造和拉制成用于线和线缆应用的最终大小。

[0174] 金属产品

[0175] 在本发明的一个方面中,包括铸造金属成分的产品可形成在铸造轮的通道中,或在上面论述的铸造结构中,而不需要晶粒细化剂且仍具有亚毫米粒径。因此,铸造金属成分可利用少于5%的包括晶粒细化剂的成分制作,且仍获得亚毫米粒径。铸造金属成分可利用少于2%的包括晶粒细化剂的成分制作,且仍获得亚毫米粒径。铸造金属成分可利用少于1%的包括晶粒细化剂的成分制作,且仍获得亚毫米粒径。在一种优选成分中,晶粒细化剂小于0.5%、或小于0.2%、或小于0.1%。铸造金属成分可利用不包括晶粒细化剂的成分制作,且仍获得亚毫米粒径。

[0176] 铸造金属成分可取决于许多因素而具有多种亚毫米粒径,包括“纯”或合金金属的组分、倾倒速率、倾倒温度和冷却率。本发明可用的粒径的清单包括以下。对于铝和铝合金,粒径范围从200到900微米、或300到800微米、或400到700微米、或500到600微米。对于铜或铜合金,粒径范围从200到900微米、或300到800微米、或400到700微米、或500到600微米。对于金、银、或锡或其合金,粒径范围从200到900微米、或300到800微米、或400到700微米、或500到600微米。对于镁或镁合金,粒径范围从200到900微米、或300到800微米、或400到700微米、或500到600微米。尽管以范围给出,但本发明也能够有中间值。在本发明的一个方面中,小浓度(小于5%)的晶粒细化剂可加入来将粒径进一步减小到100到500微米之间的值。铸造金属成分可包括铝、铜、镁、锌、铅、金、银、锡、青铜、黄铜或它们的合金。

[0177] 铸造金属成分可控制或另外形成为条料、棒、料、板料、线、坯料和芯块。

[0178] 计算机化控制

[0179] 图1,2,3和4中的控制器500可通过图7中所示的计算机系统1201来实施。计算系统1201可用作控制器500,以控制上文所述的铸造系统,或使用本发明的超声处理的任何其它铸造系统或设备。尽管图1,2,3和4中单独绘为一个控制器,但控制器500可包括与彼此通信且/或专用于特定控制功能的离散且单独的处理器。

[0180] 具体而言,控制器500可特殊地编程为具有执行由图8中的流程图所示的功能的控制算法。

[0181] 图8绘出了流程图,其元件可编程或储存在计算机可读介质或下文所论述的数据储存装置中的一个中。图8的流程图绘出了用于将成核部位引入金属产品中的本发明的方法。在步骤元件1802处,编程的元件可指示将熔融金属倒入熔融金属容纳结构中的操作。在

步骤元件1804处,编程的元件例如通过使液体介质通过熔融金属容纳结构附近的冷却通道来指示熔融金属容纳结构的冷却的操作。在步骤元件1806处,编程的元件将指示将振动能量耦合至熔融金属中的操作。在该元件处,如上文所论述,振动能量将具有引起熔融金属中的成核部位的频率和功率。

[0182] 诸如熔融金属温度、倾倒速率、穿过冷却通道通路的冷却流,以及模具冷却的元件,和涉及经由机器控制和拉制铸造产品的元件(包括控制振动能量源的功率和频率)将以标准软件语言(下文所论述)编程,以产生包含指令的专用处理器,来将本发明的方法用于在金属产品中引起成核部位。

[0183] 更具体而言,图7中所示的计算机系统1201包括总线1202或用于通信信息的其它通信机构,以及与总线1202联接来用于处理信息的处理器1203。计算机系统1201还包括联接到总线1202上来储存将由处理器1203执行的信息和指令的主存储器1204,如,随机存取存储器(RAM)或其它动态储存装置(例如,动态RAM(DRAM)、静态RAM(SRAM)和同步DRAM(SDRAM))。此外,主存储器1204可用于在指令由处理器1203执行期间储存临时变量或其它中间信息。计算机系统1201还包括联接到总线1202上来储存用于处理器1203的静态信息和指令的只读存储器(ROM)1205或其它静态储存装置(例如,可编程只读存储器(RAM)、可擦写PROM(EPROM)和电可擦写PROM(EEPROM))。

[0184] 计算机系统1201还包括联接到总线1202上的盘控制器1206,以控制用于储存信息和指令的一个或多个储存装置,如,磁硬盘1207和可除去的介质驱动器1208(例如,软盘驱动器、只读光盘驱动器、读/写光盘驱动器、光盘库、带驱动器和可除去的磁光驱动器)。储存装置可使用适合的装置接口(例如,小型计算机系统接口(SCSI)、集成装置电子器件(IDE)、增强IDE(E-IDE)、直接存储器访问(DMA)或高速DMA)加入计算机系统1201。

[0185] 计算机系统1201还可包括专用逻辑装置(例如,专用集成电路(ASIC))或可配置逻辑装置(例如,简单可编程逻辑装置(SPLD)、复杂可编程逻辑装置(CPLD)和现场可编程门阵列(FPGA))。

[0186] 计算机系统1201还可包括联接到总线1202上的显示控制器1209,以控制用于向计算机用户显示信息的显示器,如,阴极射线管(CRT)或液晶显示器(LCD)。计算机系统包括输入装置,如键盘和指示装置,以用于与计算机用户(例如,与控制器500交互的用户)交互,且将信息提供至处理器1203。

[0187] 计算机系统1201响应于执行存储器如主存储器1204中包含的一个或多个指令的一个或多个序列的处理器1203,执行本发明的处理步骤中的一部分或全部(例如,如,关于将振动能量提供至热稳定状态下的液态金属所述的那些)。此指令可从另一个计算机可读介质如硬盘1207或可除去的介质驱动器1208来读入到主存储器1204中。多处理布置中的一个或多个处理器还可用于执行主存储器1204中包含的指令序列。在备选实施例中,硬接线电路可替代或组合软件指令来使用。因此,实施例不限于硬件电路和软件的任何特定组合。

[0188] 计算机系统1201包括至少一个计算机可读介质或存储器来用于保持根据本发明的教导内容编程的指令,且用于容纳本文所述的数据结构、表格、记录或其它数据。计算机可读介质的实例是光盘、硬盘、软盘、带、磁光盘、PROM(EPROM、EEPROM、闪速EPROM)、DRAM、SRAM、SDRAM,或任何其它磁介质、光盘(例如,CD-ROM),或任何其它光介质,或其它物理介质,载波(下文所述),或计算机可从其读取的任何其它介质。

[0189] 本发明包括储存在计算机可读介质中的任一个或组合上的软件,其用于控制计算机系统1201,用于驱动用于实施本发明的一个或多个装置,以及用于允许计算机系统1201与人类使用者交互。此类软件可包括但不限于装置驱动器、操作系统、开发工具和应用软件。此类计算机可读介质还包括本发明的计算机程序产品,以用于执行实施本发明中执行的所有或部分(如果处理是分布式的)处理。

[0190] 本发明的计算机代码装置可为任何可转译或可执行的代码机制,包括但不限于脚本、可转译程序、动态链接库(DDL)、JAVA类、以及完整可执行程序。此外,本发明的处理的部分可为了更好的性能、可靠性和/或成本而分配。

[0191] 如本文使用的用语“计算机可读介质”是指参与将指令提供至处理器1203来运行的任何介质。计算机可读介质可采用许多形式,包括但不限于非易失性介质、易失性介质和传输介质。例如,易失性介质包括光盘、磁盘和磁光盘,如,硬盘1207和可除去的介质驱动器1208。易失性介质包括动态存储器,如,主存储器1204。传输介质包括同轴线缆、铜线或光纤,包括构成总线1202的线。传输介质也可采用声波或光波的形式,如,在无电线波或红外数据传输期间生成的那些。

[0192] 计算机系统1201还可包括联接到总线1202的通信接口1213。通信接口1213提供了联接到网络链路1214的双向数据通信,该网络链路1214例如连接到局域网(LAN)1215或另一通信网络1216如因特网。例如,通信接口1213可为附接到任何分组交换LAN的网络接口卡。作为另一个实例,通信接口1213可为非对称数字用户线(ADSL)卡、综合业务数字网络(ISDN)卡或调制解调器,以提供至对应类型的通信线的数据通信连接。无线链路也可实施。在任何此类实施方式中,通信接口123发送和接收电、电磁或光信号,其承载代表各种类型的信息的数字数据流。

[0193] 网络链路1214通常经由一个或多个网络将数据通信提供至其它数据装置。例如,网络链路1214可经由局域网1215(例如,LAN)或经由由服务提供商运营的设备提供至另一个计算机的连接,该服务提供商经由通信网络1216提供通信服务。在一个实施例中,该能力允许本发明具有网络连接在一起的多个上述控制器500来用于诸如厂内自动化或质量控制的目的。局域网1215和通信网络1216例如使用电、电磁或光信号,其承载数字数据流,以及相关物理层(例如,CAT5线缆、同轴线缆、光纤等)。穿过各种网络的信号,以及网络链路1214上和穿过承载数字数据往返于计算机系统1201的通信接口1213的信号可在基带信号或基于载波的信号中实施。基带信号传送作为未调制的电脉冲的数字信号,其描述了数字数据比特流,其中用语“比特”宽泛地理解为意指符号,其中各个符号传送至少一个或多个信息比特。数字数据还可用于调制载波,如,以振幅、相位和/或频率转换键控信号,其在传导介质上传播,或作为电磁波传输穿过传播介质。因此,数字数据可作为未调制的基带数据发送穿过“有线”通信通道,且/或通过调制载波来在不同于基带的预定频带内发送。计算机系统1201可经由(多个)网络1215和1216、网络链路1214和通信接口1213传输和接收数据,包括程序代码。此外,网络链路1214可经由LAN1215提供至移动装置1217(如,个人数字助理(PDA)、笔记本计算机或蜂窝电话)的连接。

[0194] 更具体而言,在本发明的一个实施例中,提供了连续铸造和轧制系统(CCRS),其可直接由熔融金属连续地生产纯电导体等级的铝棒和合金导体等级的铝棒线圈。CCRS可使用一个或多个计算机系统1201(上文所述)来实施控制、监测和数据储存。

[0195] 在本发明的一个实施例中,为了促进高质量铝棒的产量,先进的计算机监测和数据采集(SCADA)系统监测和/或控制轧机(即,CCRS)。本系统的附加变量和参数可针对质量控制来显示、绘制、储存和分析。

[0196] 在本发明的一个实施例中,在数据采集系统中捕获以下后生产测试过程中的一个或多个。

[0197] 涡流探伤仪可在产线中用于连续监测铝棒的表面质量。如果位于棒的表面附近,则可检测到夹杂物,因为基质夹杂物起到不连续缺陷的作用。在铝棒的铸造和轧制期间,成品中的缺陷可出自过程中的任何位置。金属中的不正确的熔体化学成分和/或过高的氢可在轧制过程期间引起缺陷。涡流系统是非破坏性测试,且用于CCRS的控制系统可警告(多个)操作者上文所述的缺陷中的任何一个。涡流系统可检测表面缺陷,且将缺陷归类为小、中或大。涡流结果可在SCADA系统中记录,且追踪到铝(或处理其它金属)的批组,以及其何时生产。

[0198] 一旦棒在过程结束时卷绕,则铸铝的大部分机械和电气性质可在SCADA系统中测量和记录。产品质量测试包括:拉伸、伸长率和传导率。拉伸强度是材料强度的量度,且是材料在破裂之前在张力下可经得起的最大力。伸长率值是材料的延展性的量度。传导率测量结果大体上报告为“国际退火铜标准”(IACS)的百分比。这些产品质量量度可在SCADA系统中记录,且追踪至铝的批组和其何时生产。

[0199] 除涡流数据外,可使用扭曲测试来执行表面分析。铸铝棒经历受控的扭曲测试。与不适当的凝固、夹杂物和轧制过程期间产生的纵向缺陷相关联的缺陷在扭曲棒上放大和显露。大体上,这些缺陷以平行于轧制方向的接缝形式显露。在棒顺时针和反时针扭曲之后的一系列平行线指出样品是均匀的,同时铸造过程中的非均匀性将导致波动的线。扭曲测试的结果可在SCADA系统中记录,且追踪至铝的批组和其何时生产。

[0200] 样品分析

[0201] 下文所论述的样品以上述CCR系统来制作。生产样品的铸造和轧制过程始于熔化和保持炉系统的熔融铝的连续流,通过耐火衬里流槽系统输送至连线化学晶粒细化系统或上述超声晶粒细化系统。此外,CCR系统包括上述超声脱气系统,其使用超声波和吹扫气体以便从熔融铝除去溶解的氢或其它气体。金属从脱气器流至具有多孔陶瓷元件的熔融金属过滤器,这进一步减少了熔融金属中的夹杂物。流槽系统然后将熔融铝输送至中间包。如上文所述,从中间包,熔融铝倒入由铜铸造环和钢带的外周凹槽形成的模具中。通过多区水歧管的喷嘴分配的水利用用于关键区的磁流量计将熔融铝冷却成固体铸造棒。连续的铝铸造条推出铸造环到条提取传送机上,直至轧机。

[0202] 轧机包括减小条的直径的独立地驱动的轧制机架。棒材然后发送至拉拔机,在该处,棒材拉制成预定直径,且然后卷绕。一旦棒材在过程结束时卷绕,则测量铸铝的机械和电气性质。质量测试包括:拉伸、伸长率和传导率。拉伸强度是材料强度的量度,且是材料在破裂之前在张力下可经得起的最大力。伸长率值是材料的延展性的量度。传导率测量结果大体上报告为“国际退火铜标准”(IACS)的百分比。

[0203] 1) 拉伸强度是材料强度的量度,且是材料在破裂之前在张力下可经得起的最大力。拉伸和伸长率测量在同一样品上执行。选择10”标准长度的样品进行拉伸和伸长率测量。棒材样品插入到拉伸机中。把手放置在10”刻度标记处。拉伸强度=断裂力(磅)/截面面

积(πr^2),其中r(英寸)是棒材的半径。

[0204] 2) % 伸长率 = $((L_1 - L_2) / L_1) \times 100$ 。 L_1 是材料的初始标准长度,且 L_2 是通过将来自拉伸试验的两个破碎样品放在一起并测量发生的故障而获得的最终长度。大体上,材料的延展性越高,则拉伸样品就将观察到更多的颈缩。

[0205] 3) 传导率:传导率测量结果大体上报告为“国际退火铜标准”(IACS)的百分比。传导率测量使用开尔文电桥(Kelvin Bridge)来执行,且细节在ASTM B193-02中提供。IACS是金属和合金相对于标准退火铜导体的电导率单位;100%的IACS值是指20℃下的 5.80×10^7 西门子/米(58.0MS/m)的电导率。

[0206] 如上文所述的连续棒过程不但用于生产电气级铝导体,而且可用于使用超声晶粒细化剂和超声脱气的机械铝合金。对于测试超声晶粒细化过程,收集和蚀刻铸造棒样品。

[0207] 对使用超声晶粒细化工艺铸造的棒材和使用传统TIBOR晶粒细化剂铸造的棒材之间的棒材特性进行了比较分析。表1示出了使用超声晶粒细化器处理的棒材的结果对使用TIBOR晶粒细化剂处理的棒材的结果。

[0208] 表1:质量测试:超声晶粒细化对化学晶粒细化

超声晶粒细化过程			
进行的测试	数据范围	平均值 ^d	标准偏差
拉伸 ^a (KSI)	16.6-18.6	17.76	0.81
伸长率 ^b	5-8	6	1.36
传导率 ^c	61.7-61.9	61.76	0.09

[0209]

化学晶粒细化剂(TiBor)添加			
进行的测试	范围	平均值 ^d	标准偏差
拉伸 ^a (KSI)	18-18.7	18.29	0.29
伸长率 ^b	5-7	6.23	0.53
传导率 ^c	61.5-61.7	61.67	0.08

[0210] a:1000磅每平方英寸;b:伸长率百分比;c:报告为% IACS;d:13个棒线圈的平均值与不适当的凝固、夹杂物和轧制过程期间产生的纵向缺陷相关联的缺陷在扭曲棒上放大和显露。大体上,这些缺陷以平行于轧制方向的接缝形式显露。在棒材顺时针和反时针扭曲之后的一系列平行线指出样品是均匀的,同时铸造过程中的非均匀性将导致波动的线。

[0211] 以下表2中的数据表示使用超声产生的缺陷很少。尽管没有得出明确的结论,但至少从这组数据点来看,由涡流测试仪观察到的表面缺陷的数目比使用超声处理的材料要低。

[0212] 表2:缺陷分析:超声晶粒细化对化学晶粒细化

超声晶粒细化过程			
缺陷尺寸	范围	平均值	标准偏差
大	0-0	0	0
中	0-3	0.23	0.80
小	0-6	2.15	1.87

[0213]

化学晶粒细化剂(TiBor)添加			
缺陷尺寸	范围	平均值	标准偏差
大	1-8	1.46	2.44
中	0-17	3.62	4.43
小	0-22	6.92	6.75

[0214] 扭曲测试结果表明,超声晶粒细化的棒材的表面质量与使用化学晶粒细化剂生产的棒材的表面质量一样好。在超声晶粒细化器安装在连续棒(CR)过程上之后,化学晶粒细化剂减少至零,同时产生高质量的铸造棒。热轧制棒然后拉制成范围从0.1053”到0.1878”的各种线尺寸。线然后处理成架空传输线缆。

[0215] 存在两种单独的导体,产品可用于:铝导体钢支承的(ACSS)或铝导体钢增强的(ACSR)。制作导体的两个过程之间的唯一差别在于ACSS铝线在绞合之后退火。

[0216] 图10为ACSR线流程图。其示出了纯熔融铝转化成将用于ACSR线中的铝线。转化过程中的第一步骤是将熔融铝转化成铝棒。在下一个步骤中,棒穿过若干模具拉制,且取决于端部直径,这可通过一次或多次拉制来完成。一旦棒拉制成最终直径,则线卷绕到重量范围在200到500磅之间的卷轴上。这些单独的卷轴在钢绞线周围绞合成ACSR线缆,其包含若干独立的铝绞线。绞线的数目和各个绞线的直径将取决于客户要求。

[0217] 图11为ACSS线工艺流程图。其示出了纯熔融铝转化成将用于ACSS线中的铝线。转化过程中的第一步骤是将熔融铝处理成铝棒。在下一个步骤中,棒材穿过若干模具拉制,且取决于端部直径,这可通过一次或多次拉制来完成。一旦棒拉制成最终直径,则线卷绕到重量范围在200到500磅之间的卷轴上。这些单独的卷轴在钢绞线周围绞合成ACSS线缆,其包含若干独立的铝绞线。绞线的数目和各个绞线的直径将取决于客户要求。ACSR和ACSS线缆之前的一个差别在于,一旦铝围绕钢线缆绞合,则整条线缆在炉中热处理来将铝带到极软状态。重要的是注意,在ACSR中,线缆的强度由于铝线缆和钢线缆而源自强度的组合,而在ACSS线缆中,大部分强度来自ACSS线缆内的钢。

[0218] 图12是铝条工艺流程图,其中条最终处理成金属包覆线缆。其示出了第一步骤是将熔融铝转化成铝棒。在此之后,棒材通过若干轧制模具轧制来将其转换成条,其大体上大约0.375”宽和大约0.015到0.018”厚。轧制的条处理成环形垫,其重量大约600磅。重要的是注意,其它宽度和厚度也可使用轧制过程产生,但0.375”宽和0.015到0.018”的厚度是最常见的。这些垫然后在炉中热处理来将垫带到中间退火状态。在此状态中,铝不是全硬也不是在极软状态。条然后用作组装为联锁金属带(条)的护套,其包围一个或多个绝缘电路导体。

[0219] 基于这些过程的下文所示的比较分析在以超声晶粒细化工艺处理的铝拉制线和使用常规TIBOR晶粒细化剂处理铝线上完成。拉制样品满足针对1350电导体线的ASTM标准中提出的所有规格。

[0220] 包括TIBOR化学晶粒细化剂的常规棒材的性质

1350*EC 棒材.375"直径				
	拉伸 ^A KSI	拉伸 ^B Mpa	伸长率 ^C	IACS% ^D
平均值	14.41	99.2849	20.2	61.98
标准偏差	0.364554523	2.511780661	1.805547009	0.09798
最小值	13.6	93.704	17	61.8
最大值	14.9	102.661	25	62.1

[0221]

8176*EEE 棒材.375"直径				
	拉伸 ^A KSI	拉伸 ^B Mpa	伸长率 ^C	IACS% ^D
平均值	17.875	123.15875	17.05	59.79
标准偏差	0.719635324	4.958287385	0.217944947	0.099499
最小值	16.2	111.618	17	59.7
最大值	18.9	130.221	18	59.9

5154*棒材.375"直径				
	拉伸 ^A KSI	拉伸 ^B Mpa	伸长率 ^C	IACS% ^D
平均值	32.915	226.78435	18.7	N/A
标准偏差	0.358154994	2.467687911	0.698212002	N/A
最小值	32.1	221.169	18	N/A
最大值	33.5	230.815	20	N/A

[0222]

5356*棒材.375"直径				
	拉伸 ^A KSI	拉伸 ^B Mpa	伸长率 ^C	IACS% ^D
平均值	43.97	302.9533	18.5	N/A
标准偏差	0.613269924	4.225429778	0.5	N/A
最小值	43.4	299.026	18	N/A
最大值	45.2	311.428	19	N/A

[0223] 超声处理的棒材的性质

1350*EC 棒材.375"直径				
	拉伸 ^A KSI	拉伸 ^B Mpa	伸长率 ^C	IACS% ^D
平均值	13.93	95.9777	21.1	62.17
标准偏差	0.401372645	2.765457523	2.3	0.130767
最小值	13.2	90.948	17	62
最大值	14.5	99.905	25	62.3

8176*EEE 棒材.375"直径				
	拉伸 ^A KSI	拉伸 ^B Mpa	伸长率 ^C	IACS% ^D
平均值	16.63	114.5807	19.35	60.86
标准偏差	0.815536633	5.619047402	1.38834434	0.04899
最小值	15.1	104.039	17	60.8
最大值	18.5	127.465	23	60.9

5154*棒材.375"直径				
	拉伸 ^A KSI	拉伸 ^B Mpa	伸长率 ^C	IACS% ^D
平均值	33.97	234.0533	18.9	N/A
标准偏差	0.491019348	3.383123307	0.99498744	N/A
最小值	33.2	228.748	18	N/A
最大值	34.7	239.083	22	N/A

5356*棒材.375"直径				
	拉伸 ^A KSI	拉伸 ^B Mpa	伸长率 ^C	IACS% ^D
平均值	41.5	285.937	19.2	N/A
标准偏差	0.761577311	5.24726767	0.87177979	N/A
最小值	40.1	276.289	18	N/A
最大值	42.6	293.514	20	N/A

[0224]

[0225] 对于超声处理的棒材的处理条件

[0226]

合金标号	铸造速率	超声脱气 幅度	超声脱气 频率	超声晶粒 细化幅度	超声晶粒 细化频率
1350(EC)	15 吨每小 时	60%	20KHz	80%	20KHz
8176(EEE)	15 吨每小 时	60%	20KHz	80%	20KHz
5154	4 吨每小 时	60%	20KHz	80%	20KHz
5356	4 吨每小 时	60%	20KHz	80%	20KHz

[0227] *合金标号是按铝业协会规格

[0228] **铝导体钢支承

[0229] ***铝导体钢增强

[0230] A.1000磅每平方英寸

[0231] B.以兆帕为单位的拉伸强度

[0232] C.百分比伸长率

[0233] D.国际退火铜标准

[0234] *所有长度尺寸均以英寸为单位。

[0235] 图15为示出没有化学晶粒细化剂、具有晶粒细化剂和仅具有超声晶粒细化的铸件的晶粒结构的铝1350EC合金的显微照相比较。

[0236] 图16为常规1350EC铝合金棒(具有化学晶粒细化剂)与1350EC铝合金棒(具有超声晶粒细化)的表格比较。

[0237] 图17为常规ACSR铝线0.130”直径(具有化学晶粒细化剂)与ACSR铝线0.130”直径(具有超声晶粒细化)的表格比较。

[0238] 图18为常规8176EEE铝合金棒(具有化学晶粒细化剂)与8176EEE铝合金棒(具有超声晶粒细化)的表格比较。

[0239] 图19为常规5154铝合金棒(具有化学晶粒细化剂)与5154铝合金棒(具有超声晶粒细化)的表格比较。

[0240] 图20为常规5154铝合金条(具有化学晶粒细化剂)与5154铝合金条(具有超声晶粒细化)的表格比较。

[0241] 图21为5356铝合金棒(具有超声晶粒细化)的性质的表格图。

[0242] 本发明的概述

[0243] 本发明的以下陈述提供了本发明的一个或多个特征,且未限制本发明的范围。

[0244] 陈述1.一种用于铸造机上的铸造轮的熔融金属处理装置,包括:安装在(或联接)铸造轮的组件,包括至少一个振动能量源,其在铸造轮中的熔融金属冷却的同时供应

(例如,其具有其供应的构造)振动能量(例如,直接或间接供应的超声、机械驱动和/或声能)至铸造轮中铸造的熔融金属,保持至少一个振动能量源的支承装置,以及可选地,相对于铸造轮的移动引导组件的引导装置。

[0245] 陈述2.陈述1中的装置,其中支承装置包括壳体,其包括用于将冷却介质输送穿过其间的冷却通道。

[0246] 陈述3.陈述2中的装置,其中冷却通道包括所述冷却介质,其包括水、气体、液态金属和发动机油中的至少一者。

[0247] 陈述4.陈述1,2,3或4中的装置,其中至少一个振动能量源包括至少一个超声换能器、至少一个机械驱动的振动器或它们的组合。

[0248] 陈述5.陈述4中的装置,其中超声换能器(例如,压电元件)构造成提供达到400kHz的频率范围中的振动能量,或其中所述换能器(例如,磁致伸缩元件)构造成提供频率在20到200kHz的范围中的振动能量。

[0249] 陈述6.陈述1,2或3中的装置,其中机械驱动的振动器包括多个机械驱动的振动器。

[0250] 陈述7.陈述4中的装置,其中机械驱动的振动器构造成提供频率达到10KHz的范围中的振动能量,或其中所述机械驱动的振动器构造成每分钟提供频率在8,000到15,000的范围中的振动能量。

[0251] 陈述8a.陈述1中的装置,其中铸造轮包括将熔融金属限制在铸造轮的通道中的带。

[0252] 陈述8b.陈述1-7中任一项的装置,其中组件定位在铸造轮上方,且具有用于带的壳体中的通路,以将熔融金属限制在铸造轮的通道中来穿过其间。

[0253] 陈述9.陈述8中的装置,其中所述带沿壳体引导来允许冷却介质从冷却通道沿与熔融金属相对的带的一侧流动。

[0254] 陈述10.陈述1-9任一项的装置,其中支承装置包括铌、铌合金、钛、钛合金、钽、钽合金、铜、铜合金、锗、锗合金、钢、钼、钼合金、不锈钢、陶瓷、复合物、聚合物或金属中的至少一种或多种。

[0255] 陈述11.陈述10中的装置,其中陶瓷包括氮化硅陶瓷。

[0256] 陈述12.陈述11中的装置,其中氮化硅陶瓷包括SIALON。

[0257] 陈述13.陈述1-12中任一项的装置,其中壳体包括耐火材料。

[0258] 陈述14.陈述13中的装置,其特征在于,耐火材料包括铜、铌、铌和钼、钽、钨、和锆,以及它们的合金中的至少一者。

[0259] 陈述15.陈述14中的装置,其中耐火材料包括硅、氧或氮中的一种或多种。

[0260] 陈述16.陈述1-15中任一项的装置,其中至少一个振动能量源包括与冷却介质接触的多于一个振动能量源;例如,与流过支承装置或引导装置的冷却介质接触。

[0261] 陈述17.陈述16中的装置,其中至少一个振动能量源包括插入支承装置中的冷却通道中的至少一个振动探头。

[0262] 陈述18.陈述1-3和6-15中任一项的装置,其中至少一个振动能量源包括与支承装置接触的至少一个振动探头。

[0263] 陈述19.陈述1-3和6-15中任一项的装置,其中至少一个振动能量源包括与支承装

置的底座处的带接触的至少一个振动探头。

[0264] 陈述20.陈述1-19中任一项的装置,其中至少一个振动能量源包括分布在支承装置中的不同位置处的多个振动能量源。

[0265] 陈述21.陈述1-20中任一项的装置,其中引导装置设置在铸造轮的边沿上的带上。

[0266] 陈述22.一种用于形成金属产品的方法,包括:

[0267] 将熔融金属提供到铸造机的容纳结构中;

[0268] 冷却容纳结构中的熔融金属,以及

[0269] 在所述冷却期间将振动能量耦合到容纳结构中的熔融金属中。

[0270] 陈述23.陈述22中的方法,其中提供熔融金属包括将熔融金属倒入铸造轮中的通道。

[0271] 陈述24.陈述22或23中的方法,其中耦合振动能量包括从超声换能器或磁致伸缩换能器中的至少一者供应所述振动能量。

[0272] 陈述25.陈述24中的方法,其中供应所述振动能量包括提供频率从5到40kHz的范围中的振动能量。

[0273] 陈述26.陈述22或23中的方法,其中耦合振动能量包括从机械驱动的振动器供应所述振动能量。

[0274] 陈述27.陈述26中的方法,其中供应所述振动能量包括提供每分钟8,000到15,000次振动的或达到10KHz的频率范围的振动能量。

[0275] 陈述28.陈述22-27中任一项的方法,其中冷却包括通过将水、气体、液态金属和发动机油中的至少一者施加至容纳熔融金属的容纳结构来冷却熔融金属。

[0276] 陈述29.陈述22-28中任一项的方法,其中提供熔融金属包括将所述熔融金属输送到模具中。

[0277] 陈述30.陈述22-29中任一项的方法,其中提供熔融金属包括将所述熔融金属输送到连续铸造模具中。

[0278] 陈述31.陈述22-30中任一项的方法,其中提供熔融金属包括将所述熔融金属输送到水平或垂直铸造模具中。

[0279] 陈述32.一种铸造机,包括构造成冷却熔融金属的铸造模具,以及陈述1-21中任一项的熔融金属处理装置。

[0280] 陈述33.陈述32中的机器,其中模具包括连续铸造模具。

[0281] 陈述34.陈述32或33中的机器,其中模具包括水平或垂直铸造模具。

[0282] 陈述35.一种铸造机,包括:构造成冷却熔融金属的熔融金属容纳结构;以及振动能量源,其附接到熔融金属容纳结构上且构造成在范围达到400kHz的频率下将振动能量耦合至熔融金属。

[0283] 陈述36.一种铸造机,包括:构造成冷却熔融金属的熔融金属容纳结构;以及机械驱动的振动能量源,其附接到熔融金属容纳结构,且构造成将范围达到10KHz(包括范围从每分钟0到15,000次振动和每分钟8,000到15,000次振动)的频率的振动能量耦合至熔融金属。

[0284] 陈述37.一种用于形成金属产品的系统,包括:用于将熔融金属倒入熔融金属容纳结构中的器件;用于冷却熔融金属容纳结构的器件;用于在范围达到400KHz(包括范围从每

分钟0到15,000次振动,每分钟8,000到15,000次振动、达到10KHz、15到40KHz,或20到200kHz)的频率下将振动能量耦合至熔融金属的器件;以及控制器,其包括数据输入和控制输出,且编程为具有允许陈述22-31中叙述的任一个步骤元件的操作的控制算法。

[0285] 陈述38.一种用于形成金属产品的系统,包括:陈述1-21中任一项的熔融金属处理装置;以及控制器,其包括数据输入和控制输出,且编程为具有控制算法,其允许陈述22-31中所述的步骤元件中的任一个。

[0286] 陈述39.一种用于形成金属产品的系统,包括:联接到铸造轮上的组件,其包括容纳冷却介质的壳体,使得在铸造轮中铸造的熔融金属由冷却介质冷却,以及相对于铸造轮的移动引导组件的装置。

[0287] 陈述40.陈述38中的系统,包括陈述2-3、8-15和21中限定的任何元件。

[0288] 陈述41.一种用于铸造机的熔融金属处理装置,包括:至少一个振动能量源,其在铸造轮中的熔融金属冷却的同时将振动能量供应到铸造轮中铸造的熔融金属的至少一个振动能量源;以及保持所述振动能量源的支承装置。

[0289] 陈述42.陈述41中的装置,包括陈述4-15中限定的任何元件。

[0290] 陈述43.一种用于铸造机上的铸造轮的熔融金属处理装置,包括:联接到铸造轮上的组件,包括1)至少一个振动能量源,其在铸造轮中的熔融金属冷却的同时将振动能量供应至铸造轮中铸造的熔融金属,2)保持所述至少一个振动能量源的支承装置,以及3)相对于铸造轮的移动引导组件的可选的引导装置。

[0291] 陈述44.陈述43中的装置,其中所述至少一个振动能量源将振动能量直接地供应到铸造轮中铸造的熔融金属中。

[0292] 陈述45.陈述43中的装置,其中所述至少一个振动能量源将振动能量间接地供应到铸造轮中铸造的熔融金属中。

[0293] 陈述46.一种用于铸造机的熔融金属处理装置,包括:至少一个振动能量源,其在铸造轮中的熔融金属冷却的同时通过插入的探头将振动能量供应到铸造轮中铸造的熔融金属的至少一个振动能量源;以及保持所述振动能量源的支承装置,其中振动能量在金属凝固时减少熔融金属偏析。

[0294] 陈述47.陈述46中的装置,包括陈述2-21中限定的任何元件。

[0295] 陈述48.一种用于铸造机的熔融金属处理装置,包括:至少一个振动能量源,其在铸造轮中的熔融金属冷却的同时将声能供应到铸造轮中铸造的熔融金属的至少一个振动能量源;以及保持所述振动能量源的支承装置。

[0296] 陈述49.陈述48中的装置,其中至少一个振动能量源包括音频放大器。

[0297] 陈述50.陈述49中的装置,其中音频放大器经由气态介质将振动能量耦合至熔融金属。

[0298] 陈述51.陈述49中的装置,其中音频放大器经由气态介质将振动能量耦合至容纳熔融金属的支承结构。

[0299] 陈述52.一种用于细化粒径的方法,包括:在冷却熔融金属的同时将振动能量供应至熔融金属;破碎形成在熔融金属中的枝晶来生成熔融金属中的核源。

[0300] 陈述53.陈述52中的方法,其中振动能量包括超声振动、机械驱动的振动或声振动中的一种或多种。

- [0301] 陈述54.陈述52中的方法,其中熔融金属中的核源不包括外来杂质。
- [0302] 陈述55.陈述52中的方法,其中熔融金属的一部分过冷来产生所述枝晶。
- [0303] 陈述56.一种熔融金属处理装置,包括:
- [0304] 熔融金属源;
- [0305] 包括插入熔融金属中的超声探头的超声脱气器;
- [0306] 用于接收熔融金属的铸模;
- [0307] 安装在铸模上的组件,包括:
- [0308] 至少一个振动能量源,其在铸模中的熔融金属冷却的同时将振动能量供应至铸造轮中铸造的熔融金属,以及
- [0309] 保持所述至少一个振动能量源的支承装置。
- [0310] 陈述57.陈述56中的装置,其中铸模包括铸造机的铸造轮的构件。
- [0311] 陈述58.陈述56中的装置,其中支承装置包括壳体,其包括用于将冷却介质输送穿过其间的冷却通道。
- [0312] 陈述59.陈述58中的装置,其中冷却通道包括所述冷却介质,其包括水、气体、液态金属和发动机油中的至少一者。
- [0313] 陈述60.陈述56中的装置,其中至少一个振动能量源包括超声换能器。
- [0314] 陈述61.陈述56中的装置,其中至少一个振动能量源包括机械驱动的振动器。
- [0315] 陈述62.陈述61中的方法,其中机械驱动的振动器构造成提供达到10Khz的频率范围中的振动能量。
- [0316] 陈述63.陈述56中的装置,其中铸模包括将熔融金属限制在铸造轮的通道中的带。
- [0317] 陈述64.陈述63中的装置,其中组件定位在铸造轮上方,且具有用于带的壳体中的通路,以将熔融金属限制在铸造轮的通道中来穿过其间。
- [0318] 陈述65.陈述64中的装置,其中所述带沿壳体引导来允许冷却介质从冷却通道沿与熔融金属相对的带的一侧流动。
- [0319] 陈述66.陈述56中的装置,其中支承装置包括铌、铌合金、钛、钛合金、钽、钽合金、铜、铜合金、铯、铯合金、钢、钼、钼合金、不锈钢、陶瓷、复合物、聚合物或金属中的至少一种或多种。
- [0320] 陈述67.陈述66中的装置,其中陶瓷包括氮化硅陶瓷。
- [0321] 陈述68.陈述67中的装置,其中氮化硅陶瓷包括SIALON。
- [0322] 陈述69.陈述64中的装置,其中壳体包括耐火材料。
- [0323] 陈述70.陈述69中的装置,其特征在于,耐火材料包括铜、铌、铌和钼、钽、钨、和铯,以及它们的合金中的至少一者。
- [0324] 陈述71.陈述69中的装置,其中耐火材料包括硅、氧或氮中的一种或多种。
- [0325] 陈述72.陈述56中的装置,其中至少一个振动能量源包括与冷却介质接触的多于一个振动能量源。
- [0326] 陈述73.陈述72中的装置,其中至少一个振动能量源包括插入支承装置中的冷却通道中的至少一个振动探头。
- [0327] 陈述74.陈述56中的装置,其中至少一个振动能量源包括与支承装置接触的至少一个振动探头。

[0328] 陈述75.陈述56中的装置,其中至少一个振动能量源包括与支承装置的底座处的带直接接触的至少一个振动探头。

[0329] 陈述76.陈述56中的装置,其中至少一个振动能量源包括分布在支承装置中的不同位置处的多个振动能量源。

[0330] 陈述77.陈述57中的装置,还包括相对于铸造轮的移动引导组件的引导装置。

[0331] 陈述78.陈述72中的装置,其中引导装置设置在铸造轮的边沿上的带上。

[0332] 陈述79.陈述56中的装置,其中超声脱气器包括:

[0333] 包括第一端和第二端的长形探头,第一端附接到超声换能器上,且第二端包括末梢,以及包括吹扫气体入口和吹扫气体出口的吹扫气体输送,所述吹扫气体出口设置在长形探头的末梢处,以用于将吹扫气体引入熔融金属中。

[0334] 陈述80.陈述56中的装置,其中长形探头包括陶瓷。

[0335] 陈述81.一种金属产品,包括:

[0336] 具有亚毫米粒径且其中包括少于0.5%的晶粒细化剂且具有以下性质中的至少一个的铸造金属成分:

[0337] 在100磅/in²的伸展力下范围从10%到30%的伸长率,

[0338] 范围从50到300MPa的拉伸强度;或

[0339] 范围从45%到75%的IAC的电导率,其中IAC是电导率关于标准退火铜导体的百分比单位。

[0340] 陈述82.陈述81中的产品,其中成分其中包括少于0.2%的晶粒细化剂。

[0341] 陈述83.陈述81中的产品,其中成分其中包括少于0.1%的晶粒细化剂。

[0342] 陈述84.陈述81中的产品,其中成分其中不包括晶粒细化剂。

[0343] 陈述85.陈述81中的产品,其中成分包括铝、铜、镁、锌、铅、金、银、锡、青铜、黄铜和它们的合金中的至少一者。

[0344] 陈述86.陈述81中的产品,其中成分形成成为条材、棒材、杆材、片材、线材、坯料和丸粒中的至少一者。

[0345] 陈述87.陈述81中的产品,其中伸长率范围从15%到25%,或拉伸强度范围从100到200MPa,或电导率范围从IAC的50%到70%。

[0346] 陈述88.陈述81中的产品,其中伸长率范围从17%到20%,或拉伸强度范围从150到175MPa,或电导率范围从IAC的55%到65%。

[0347] 陈述89.陈述81中的产品,其中伸长率范围从18%到19%,或拉伸强度范围从160到165MPa,或电导率范围从IAC的60%到62%。

[0348] 陈述90.陈述81,87,88和89中任一项的产品,其中成分包括铝或铝合金。

[0349] 陈述91.陈述90中的产品,其中铝或铝合金包括钢增强的绞线。

[0350] 陈述92.陈述90中的产品,其中铝或铝合金包括钢支承的绞线。

[0351] 陈述92.一种金属产品,由陈述52-55中提出的过程步骤中的一个或多个制作且包括铸造金属成分。

[0352] 陈述93.陈述92中的产品,其中铸造金属成分具有亚毫米的粒径,且其中包括小于0.5%的晶粒细化剂。

[0353] 陈述94.陈述92中的产品,其中金属产品具有以下性质中的至少一者:

- [0354] 在100磅/in²的伸展力下范围从10%到30%的伸长率,
- [0355] 范围从50到300MPa的拉伸强度;或
- [0356] 范围从45%到75%的IAC的电导率,其中IAC是导电率关于标准退火铜导体的百分比单位。
- [0357] 陈述95.陈述92中的产品,其中成分其中包括少于0.2%的晶粒细化剂。
- [0358] 陈述96.陈述92中的产品,其中成分其中包括少于0.1%的晶粒细化剂。
- [0359] 陈述97.陈述92中的产品,其中成分其中不包括晶粒细化剂。
- [0360] 陈述98.陈述92中的产品,其中成分包括铝、铜、镁、锌、铅、金、银、锡、青铜、黄铜和它们的合金中的至少一者。
- [0361] 陈述99.陈述92中的产品,其中成分形成成为条材、棒材、杆材、片材、线材、坯料和丸粒中的至少一者。
- [0362] 陈述100.陈述92中的产品,其中伸长率范围从15%到25%,或拉伸强度范围从100到200MPa,或电导率范围从IAC的50%到70%。
- [0363] 陈述101.陈述92中的产品,其中伸长率范围从17%到20%,或拉伸强度范围从150到175MPa,或电导率范围从IAC的55%到65%。
- [0364] 陈述102.陈述92中的产品,其中伸长率范围从18%到19%,或拉伸强度范围从160到165MPa,或电导率范围从IAC的60%到62%。
- [0365] 陈述103.陈述92中的产品,其中成分包括铝或铝合金。
- [0366] 陈述104.陈述103中的产品,其中铝或铝合金包括钢增强的绞线。
- [0367] 陈述105.陈述103中的产品,其中铝或铝合金包括钢支承的绞线。
- [0368] 鉴于以上教导内容,本发明的许多改型和变型是可能的。因此,将理解的是,在所附权利要求的范围内,本发明可除本文具体所述外那样实施。

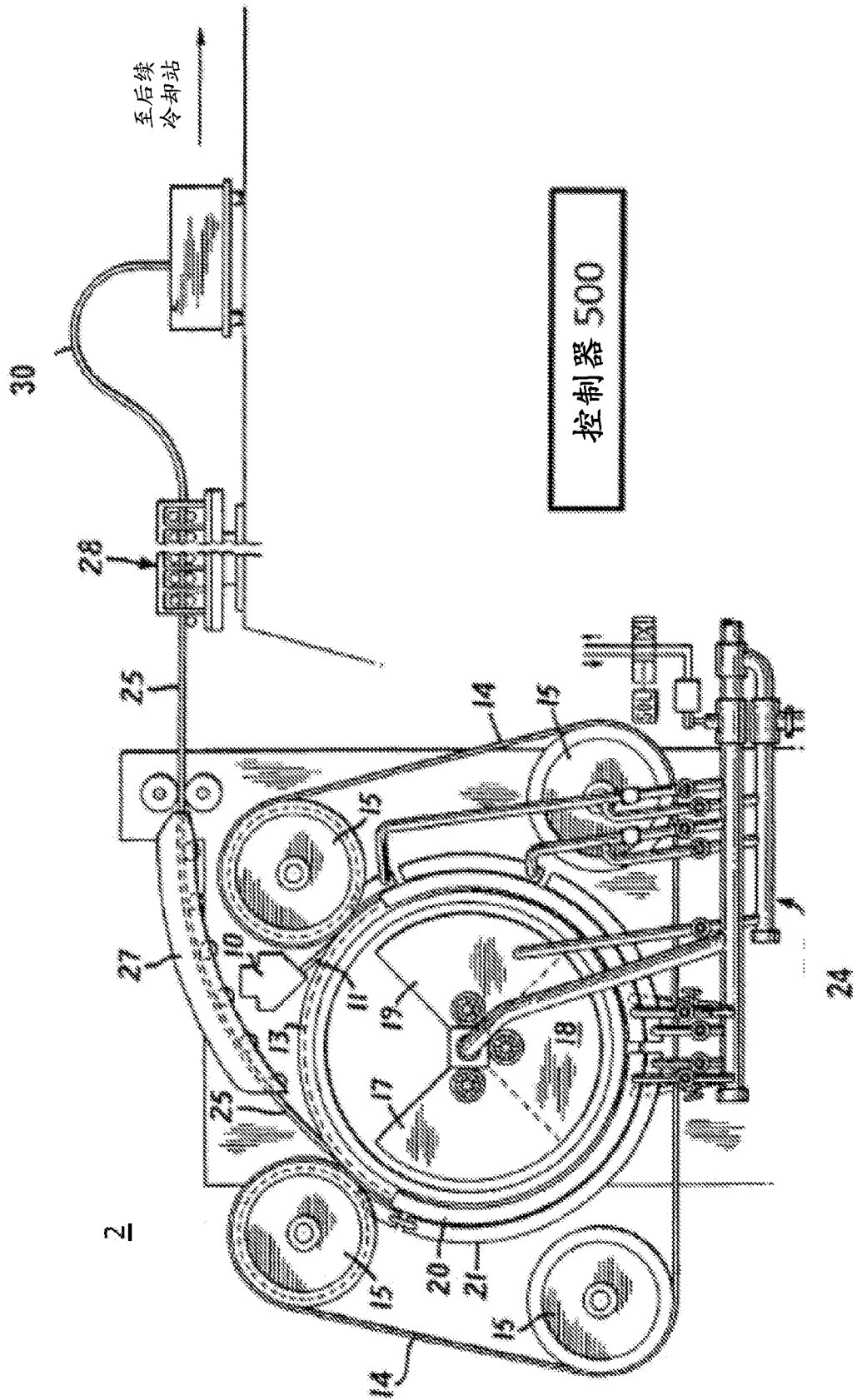


图 1

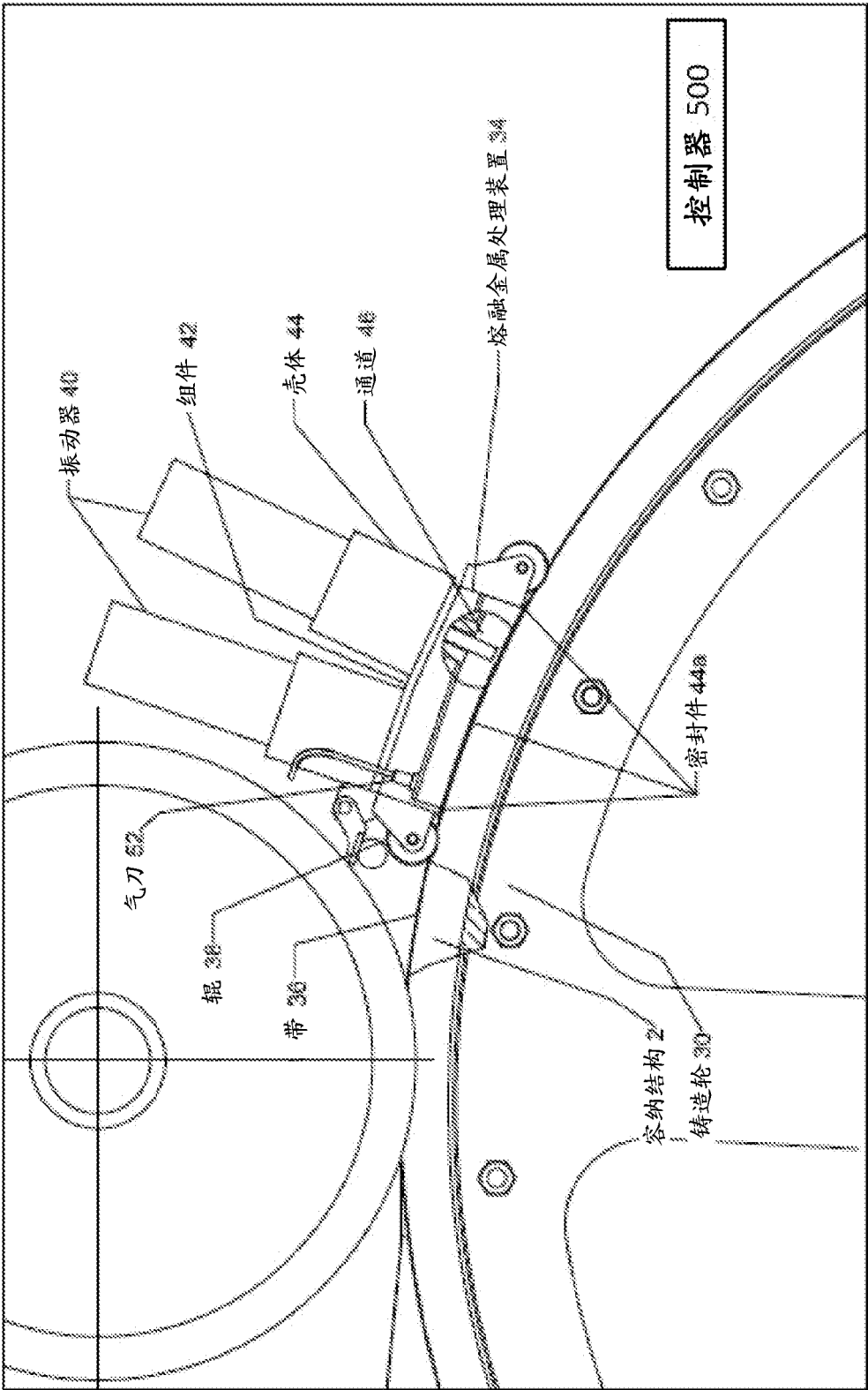


图 2

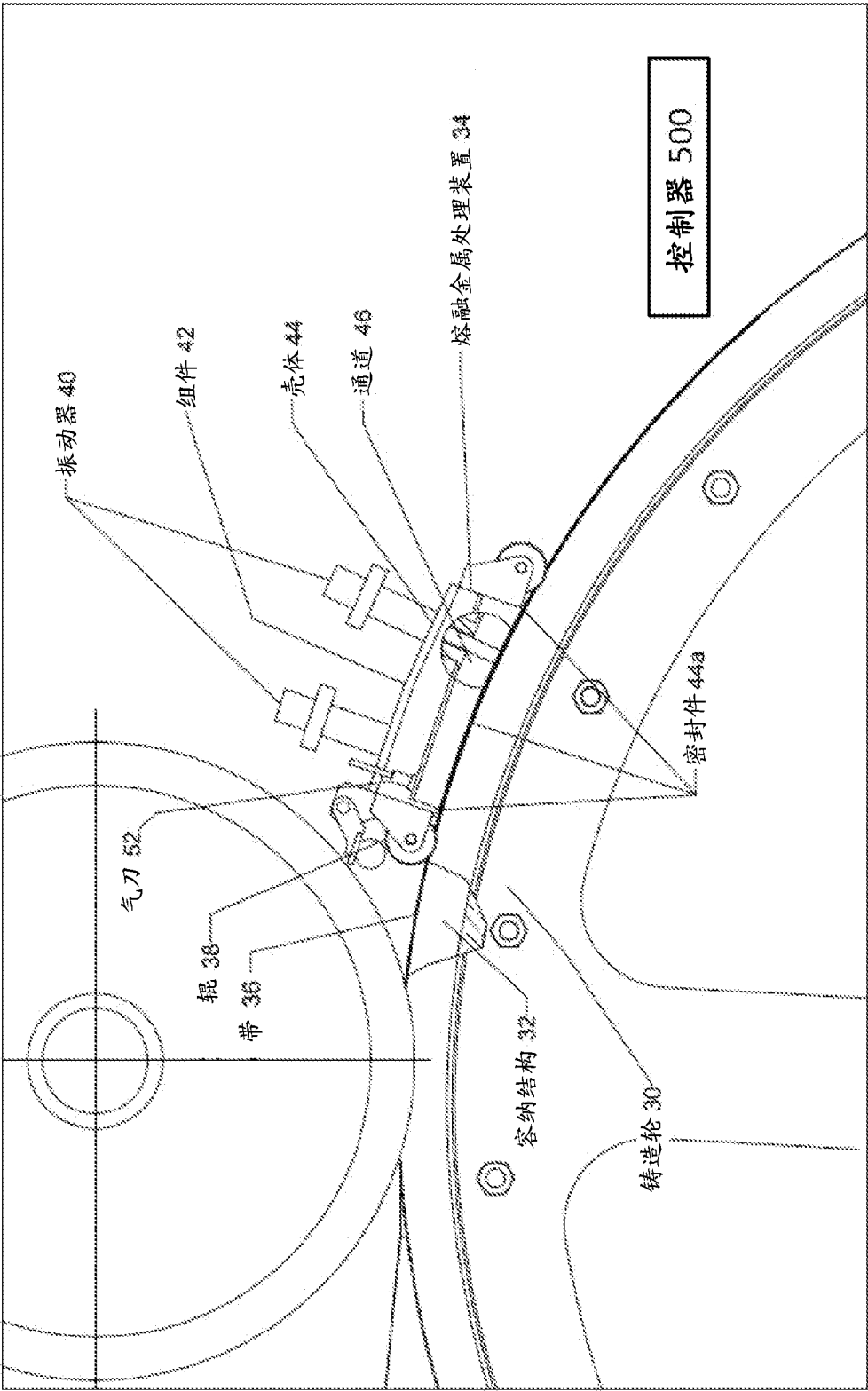


图 3

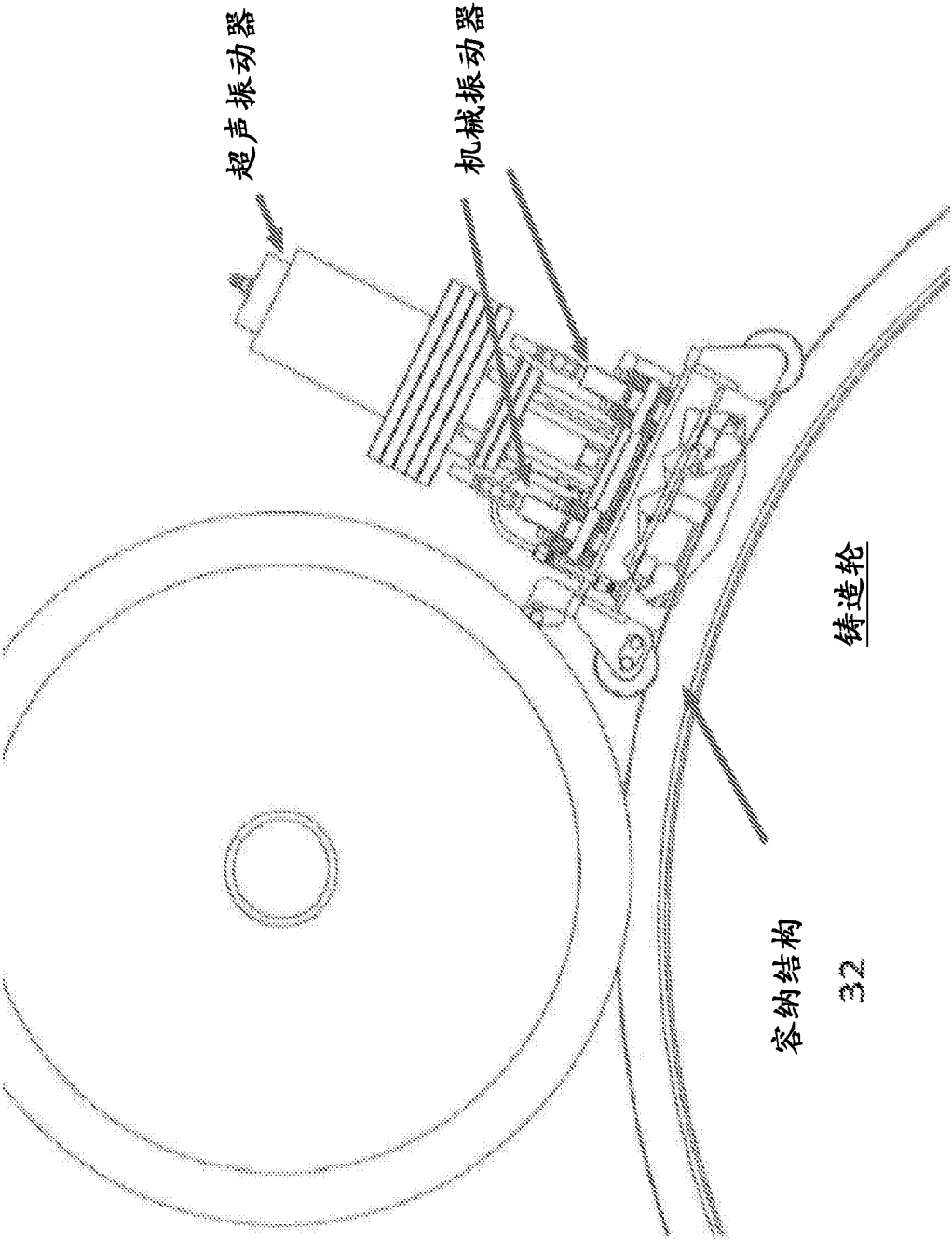


图 3A

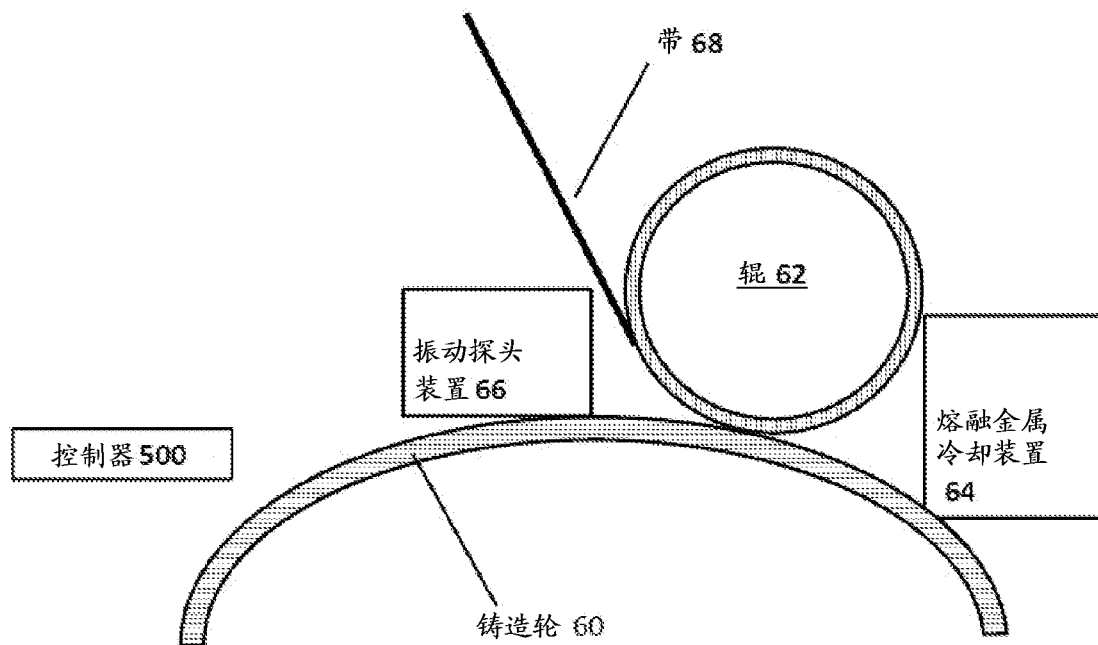


图 4

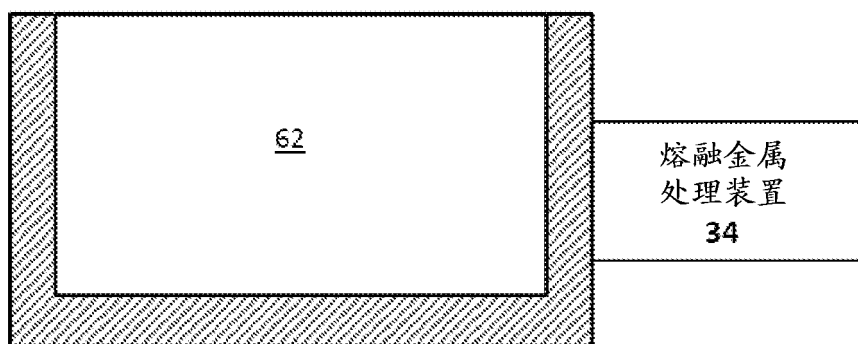


图 5

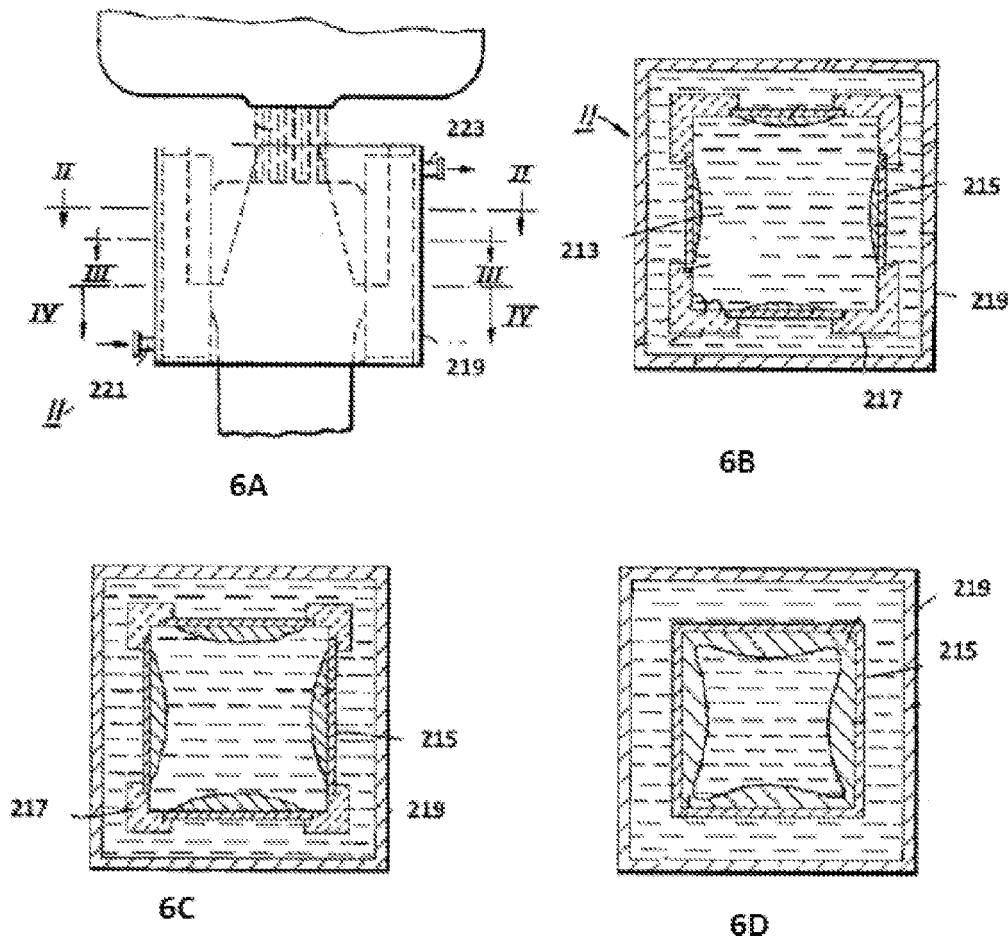


图 6A-6D

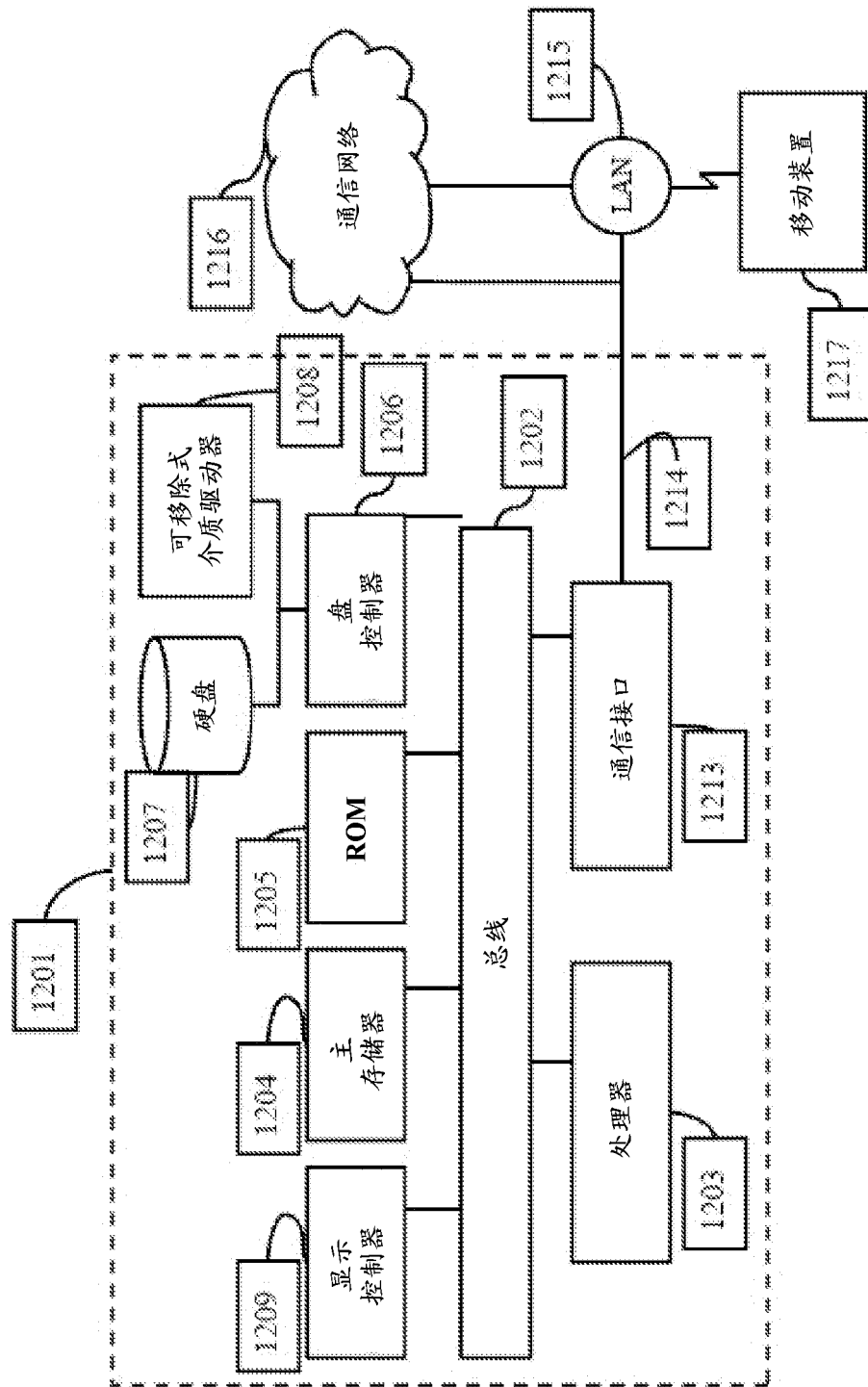


图 7

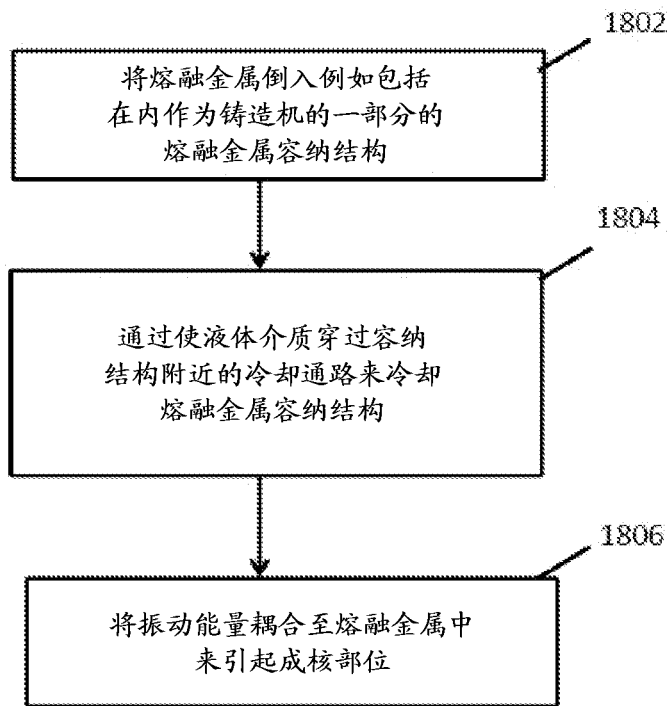


图 8

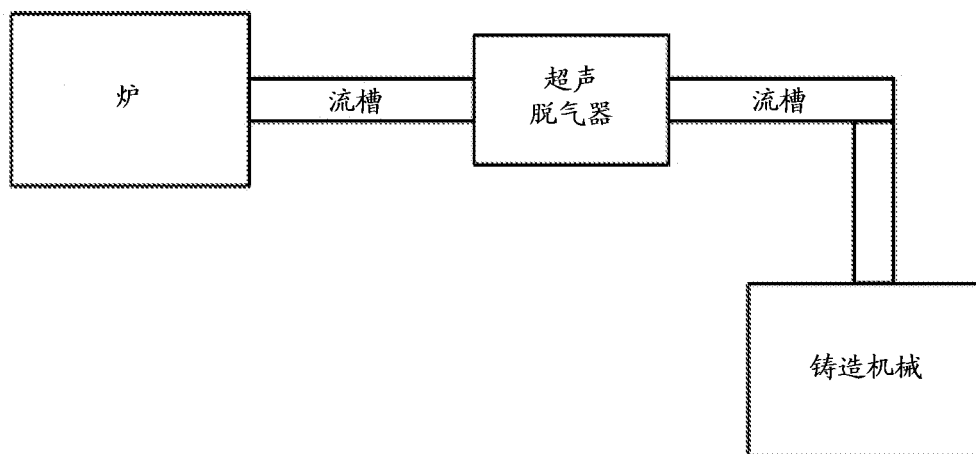


图 9

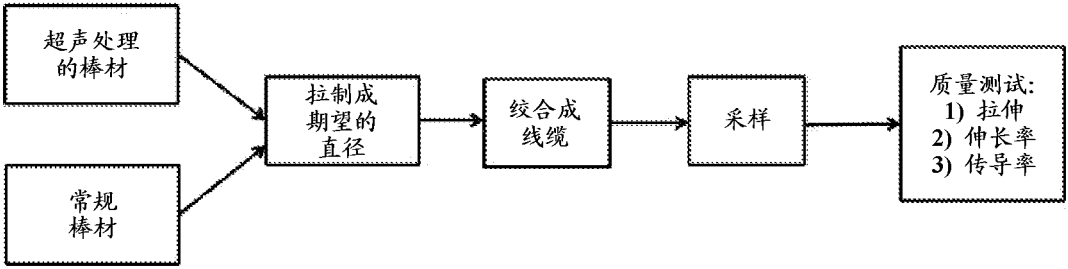


图 10

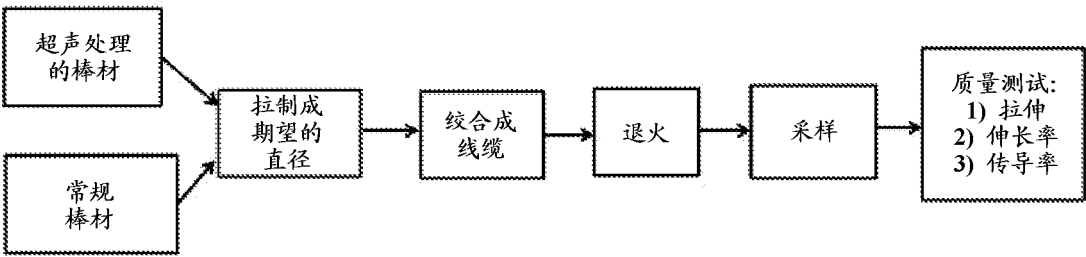


图 11

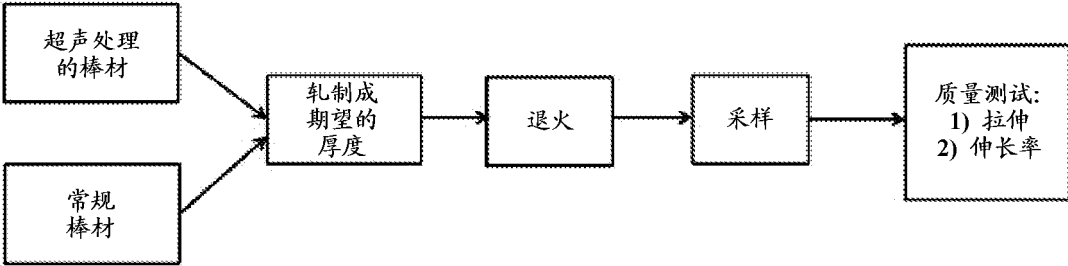


图 12

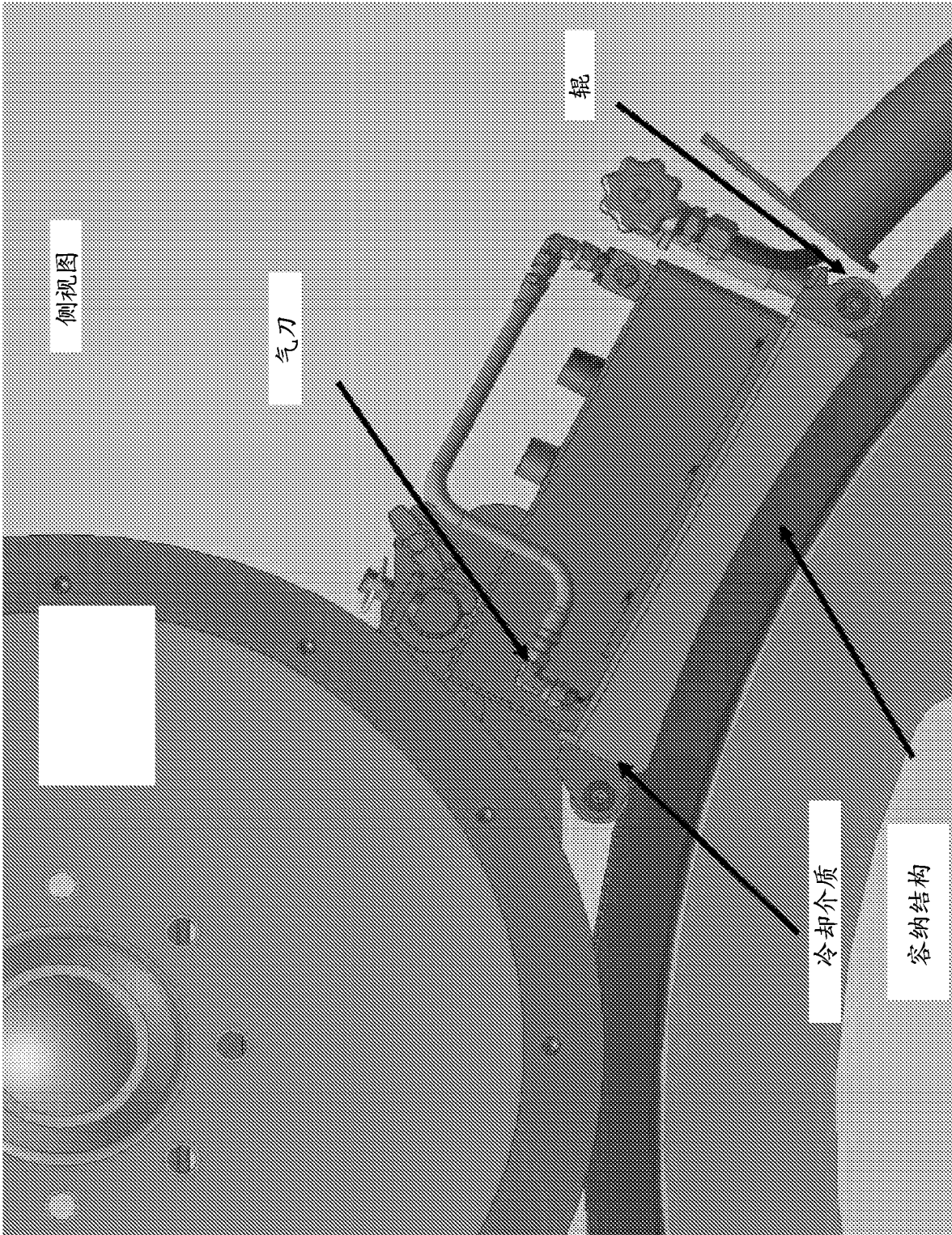


图 13

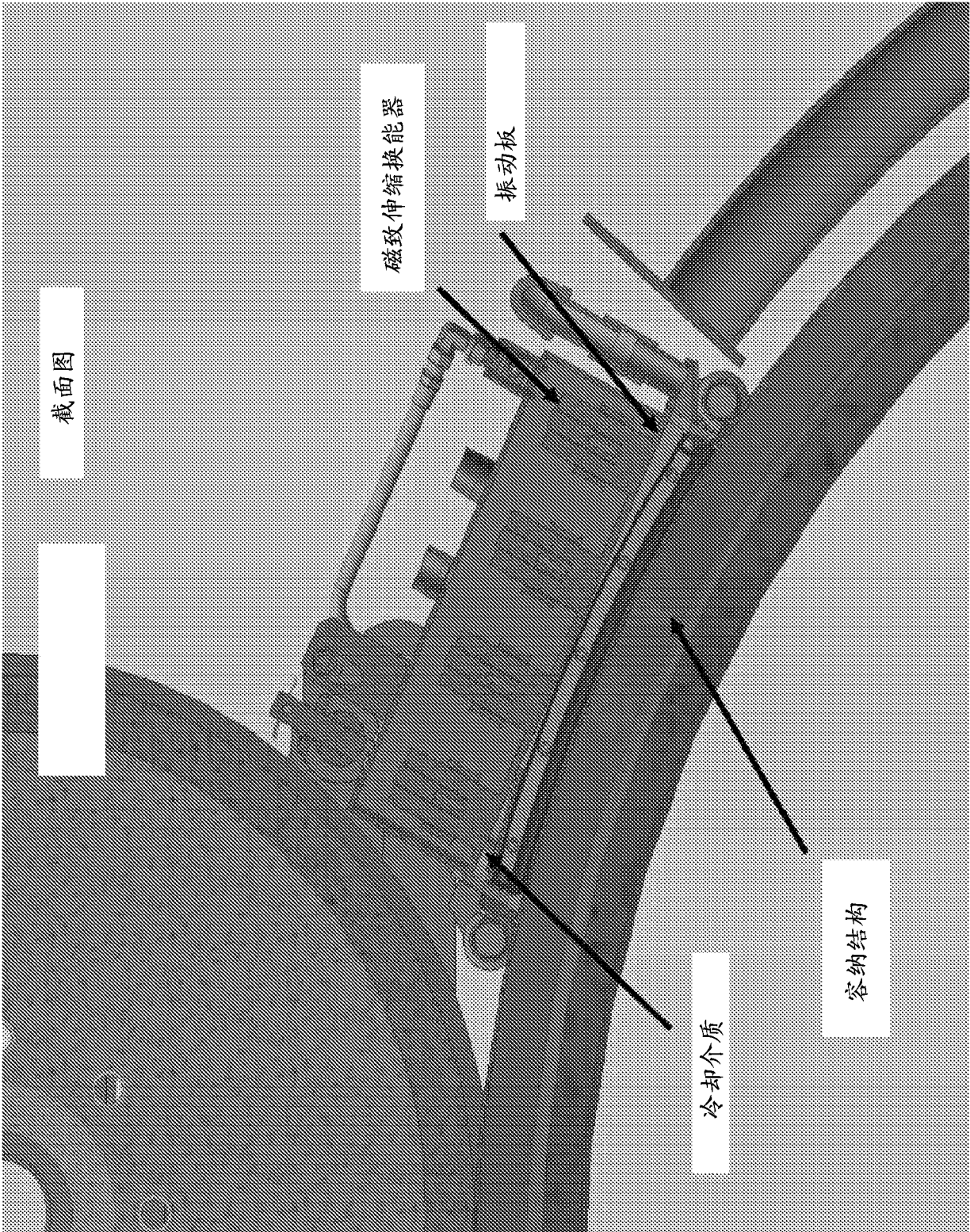


图 14

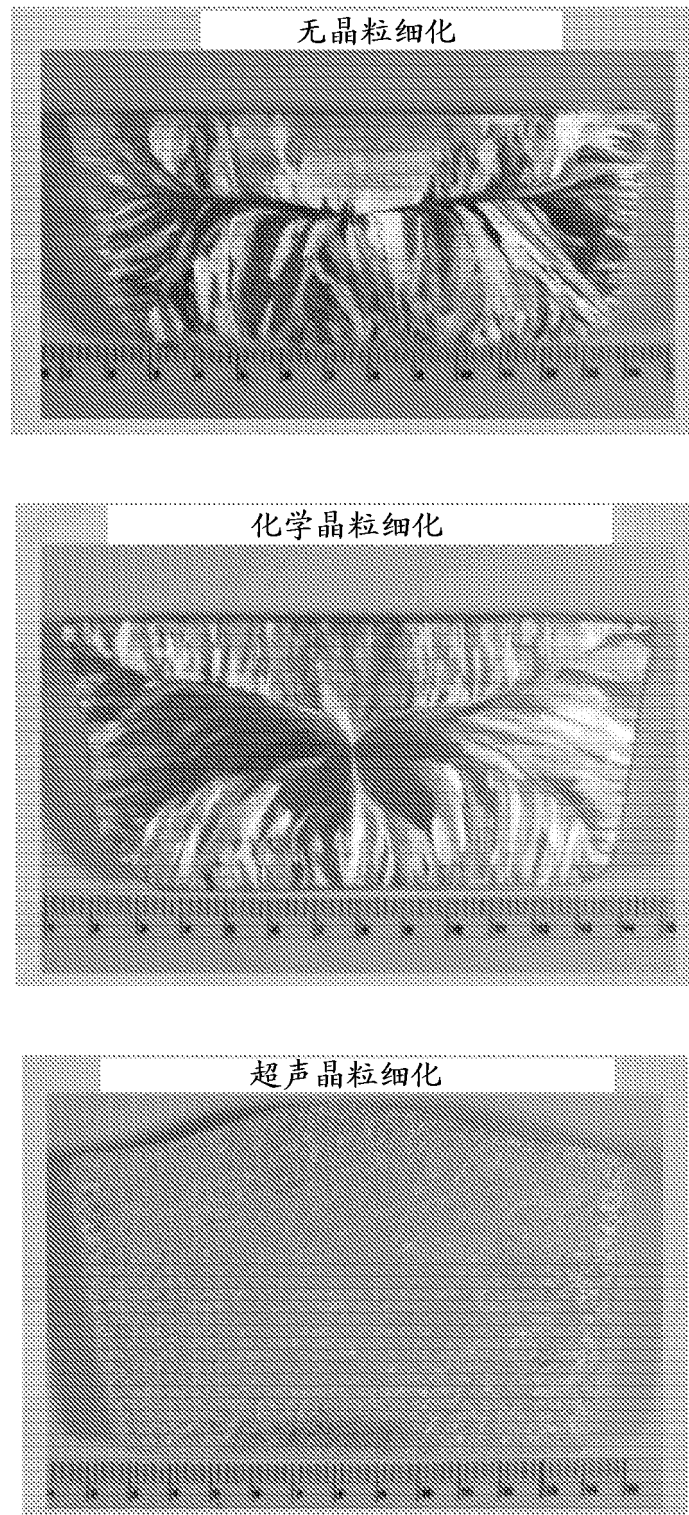


图 15

1350 EC 棒材 0.375" 直径					
	拉伸 (KSI)	伸长率 %	传导率范围 (IACS%)	传导率 (IACS%)	传导率 标准偏差
常规棒材	14.41	20.2	61.8 - 62.1	61.98	0.09
超声处理的棒材	13.93	21.1	62.0 - 62.3	62.17	0.13

图 16

ACSR 线材 0.130" 直径					
	拉伸 (KSI)	拉伸 标准偏差	传导率范围 (IACS%)	传导率 (IACS%)	传导率 标准偏差
常规棒材	25.37	0.61	61.1 - 61.7	61.49	0.18
超声处理的棒材	27.66	0.36	61.6 - 62.0	61.78	0.16

图 17

8176 EEE 棒材 0.375" 直径					
	拉伸 (KSI)	伸长率 %	传导率范围 (IACS%)	传导率 (IACS%)	传导率 标准偏差
常规棒材	17.87	17.06	59.7 - 59.9	59.79	0.09
超声处理的棒材	16.63	19.35	60.8 - 60.9	60.86	0.04

图 18

5154 铝棒 0.375" 直径				
	拉伸范围 (KSI)	拉伸 (KSI)	伸长率 % 范围	伸长率 %
常规棒材	32.1 - 33.5	32.91	18 - 20	18.75
超声处理的棒材	33.2 - 34.7	33.97	18 - 22	18.90

图 19

5154 铝带 0.016"厚度				
	拉伸范围 (KSI)	拉伸 (KSI)	伸长率 % 范围	伸长率 %
常规棒材	38.18 - 39.02	37.32	8.90 - 11.00	9.13
超声处理的棒材	38.8 - 39.6	37.94	8.40 - 9.95	9.10

图 20

5356 铝棒 0.375"直径				
	拉伸范围 (KSI)	拉伸 (KSI)	伸长率 % 范围	伸长率 %
超声处理的棒材	40.1 - 42.8	41.5	18 - 20	19.20

图 21