



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110446792 A

(43)申请公布日 2019. 11. 12

(21)申请号 201880018645.4

(22)申请日 2018.02.20

(30)优先权数据

62/460,287 2017.02.17 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2019.09.16

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2018/018841 2018.02.20

(87)PCT国际申请的公布数据

W02018/152540 EN 2018.08.23

(71)申请人 南线有限责任公司

地址 美国乔治亚州

(72)发明人 K·S·吉尔 M·C·鲍威尔

V·F·伦德奎斯特

V·K·曼奇拉朱 R·E·古菲

(74)专利代理机构 北京市中伦律师事务所
11410

代理人 钟锦舜 姜香丹

(51)Int.Cl.

G21B 7/10(2006.01)

G21B 11/10(2006.01)

G21B 13/12(2006.01)

G21C 5/52(2006.01)

G21C 5/54(2006.01)

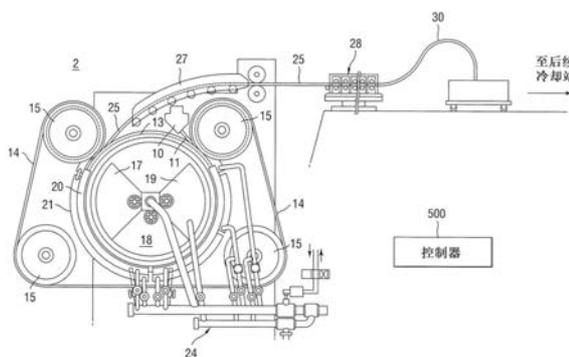
权利要求书3页 说明书37页 附图17页

(54)发明名称

用于包括增强的振动耦合的金属铸造的超声晶粒细化和脱气程序和系统

(57)摘要

一种将能量耦合到熔融金属中的能量耦合装置。能量耦合装置包括空化源，该空化源供应能量通过冷却介质并通过与熔融金属接触的接收器。空化源包括设置在冷却通道中的探头。探头具有至少一个注射口，以用于在探头的底部和接收器之间注射冷却介质。探头在操作中在冷却介质中产生空化。空化被引导通过冷却介质到达接收器。



1. 一种用于将能量耦合到熔融金属中的能量耦合装置,包括:
振动源,其向与所述熔融金属接触的接收器供应能量,所述振动源包括探头,所述探头具有至少一个注射口,
其中所述探头在操作中产生被引导到所述接收器的振动和/或空化。
2. 根据权利要求1所述的装置,其中所述探头设置在冷却通道中,并且在操作中被配置为在所述探头的底部和所述接收器之间注射冷却介质。
3. 根据权利要求2所述的装置,其中所述至少一个注射口包括通孔,以用于使所述冷却介质穿过所述探头。
4. 根据权利要求1至3中任一项所述的装置,还包括组装件,所述组装件将所述振动源安装在铸造机上或中间罐上,所述中间罐将熔融金属供应到所述铸造机。
5. 根据权利要求4所述的装置,其中与所述熔融金属接触的所述接收器包括带。
6. 根据权利要求1至5中任一项所述的装置,其中所述振动源包括向所述探头提供所述能量的至少一个压电或磁致伸缩超声换能器。
7. 根据权利要求1至6中任一项所述的装置,其中所述振动源包括至少一个机械振动源。
8. 根据权利要求1至7中任一项所述的装置,其中提供给所述探头的所述能量在最高400kHz的频率范围内。
9. 根据权利要求1至8中任一项所述的装置,其中所述至少一个注射口包括所述探头中的中心通孔和外围通孔。
10. 根据权利要求2所述的装置,其中所述冷却介质包括水、气体、液态金属、液态氮或油中的至少一种。
11. 根据权利要求1至10中任一项所述的装置,其中所述接收器包括铌、铌合金、钛、钛合金、钽、钽合金、铜、铜合金、铄、铄合金、钢、钼、钼合金、不锈钢、陶瓷、复合材料或金属中的至少一种或多种。
12. 根据权利要求5所述的装置,其中所述带包括不锈钢。
13. 根据权利要求1至12中任一项所述的装置,其中所述探头包括钛。
14. 根据权利要求1至13中任一项所述的装置,其中所述振动源附接到包括所述熔融金属的壳体,并且
所述壳体包括耐火材料。
15. 根据权利要求14所述的装置,其中所述耐火材料包括铜、铌、铌和钼、钽、钨和铄以及所述铜、铌、铌和钼、钽、钨和铄的合金中的至少一种。
16. 根据权利要求15所述的装置,其中所述耐火材料包括硅、氧或氮中的一种或多种。
17. 根据权利要求1至16中任一项所述的装置,其中所述探头的尖端在接触所述接收器的5mm内。
18. 根据权利要求1至17中任一项所述的装置,其中所述探头的尖端在接触所述接收器的2mm内。
19. 根据权利要求1至18中任一项所述的装置,其中所述探头的尖端在接触所述接收器的1mm内。
20. 根据权利要求1至19中任一项所述的装置,其中所述探头的尖端在接触所述接收器

的0.5mm内。

21. 根据权利要求1至20中任一项所述的装置,其中所述探头的尖端在接触所述接收器的0.2mm内。

22. 一种形成金属产品的方法,包括:

将熔融金属提供到容纳结构中;

通过将冷却介质注射到与所述熔融金属接触的接收器的5mm内的区域,用冷却介质冷却所述容纳结构中的所述熔融金属;以及

经由振动探头在所述冷却介质中产生振动和/或空化,将能量耦合到所述容纳结构中的所述熔融金属中,

其中在所述耦合期间,在所述探头的底部和与在所述容纳结构中的所述熔融金属接触的接收器之间注射冷却介质。

23. 根据权利要求22所述的方法,其中提供熔融金属包括将所述熔融金属浇注到铸造轮中的通道中。

24. 根据权利要求22至23中任一项所述的方法,其中耦合能量包括从超声换能器或磁致伸缩换能器中的至少一个向所述探头供应所述能量。

25. 根据权利要求24所述的方法,其中供应所述能量包括提供从5kHz到400kHz频率范围内的所述能量。

26. 根据权利要求22至25中任一项所述的方法,其中冷却包括从所述探头中的至少一个注射孔注射所述冷却介质。

27. 根据权利要求26所述的方法,其中冷却包括向所述接收器注射所述冷却介质并且在所述冷却介质中包括振动和/或空化。

28. 根据权利要求22至27中任一项所述的方法,其中冷却包括通过将水、气体、液态金属、液态氮和发动机油中的至少一种施加到保持所述熔融金属的限制结构来冷却所述熔融金属。

29. 根据权利要求22至28中任一项所述的方法,其中提供熔融金属包括将所述熔融金属输送到模具中。

30. 根据权利要求22至29中任一项所述的方法,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、水平模具、竖直铸造模具或双辊铸造模具中。

31. 一种铸造机,包括:

铸造模具,其被配置为冷却熔融金属,以及

振动源,其向与所述熔融金属接触的接收器供应能量,所述振动源包括探头,所述探头具有至少一个注射口,

其中所述探头在操作中产生被引导到所述接收器的振动和/或空化。

32. 根据权利要求31所述的铸造机,其中所述模具包括连续铸造模具、水平模具、竖直铸造模具或双辊铸造模具。

33. 一种熔融金属加工装置,包括:

熔融金属的源;

超声脱气器,其包括插入所述熔融金属中的超声探头;

铸件,其用于接收所述熔融金属;

组装件,其安装在所述铸件上,所述组装件包括,

具有集成冷却剂注射器的振动和/或空化源,所述集成冷却剂注射器被配置为将冷却介质注射到所述振动和/或空化源和与在所述容纳结构中的所述熔融金属接触的接收器之间的区域中。

用于包括增强的振动耦合的金属铸造的超声晶粒细化和脱气程序和系统

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请是2017年2月17日提交的美国序列号62/460,287 (其全部内容通过引用并入本文)的延续。

[0003] 本申请涉及2016年8月9日提交的题为“用于金属铸造的超声晶粒细化和脱气程序和系统(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)。本申请涉及2016年2月15日提交的题为“用于金属铸造的超声晶粒细化和脱气(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)。本申请涉及2015年12月15日提交的题为“熔融金属的超声晶粒细化和脱气(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)。本申请涉及2015年2月9日提交的题为“超声晶粒细化(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)。本申请涉及2015年9月10日提交的题为“连续铸造带上的超声晶粒细化(ULTRASONIC GRAIN REFINING ON A CONTINUOUS CASTING BELT)”的美国序列号62/216,842 (其全部内容通过引用并入本文)。本申请涉及2016年9月9日提交的题为“用于金属铸造的超声晶粒细化和脱气程序和系统(ULTRASONIC GRAIN REFINING AND DEGASSING PROCEDURES AND SYSTEMS FOR METAL CASTING)”的PCT/2016/050978 (其全部内容通过引用并入本文)。本申请涉及2016年10月28日提交的题为“用于金属铸造的超声晶粒细化和脱气程序和系统(ULTRASONIC GRAIN REFINING AND DEGASSING PROCEDURES AND SYSTEMS FOR METAL CASTING)”的美国序列号15/337,645 (其全部内容通过引用并入本文)。

技术领域

[0004] 本发明涉及一种产生具有受控晶粒尺寸的金属铸件的方法、一种用于产生该金属铸件的系统、以及由该金属铸件获得的产品。

背景技术

[0005] 在冶金领域已经花费了相当大的努力来开发将熔融金属铸造成连续金属杆或铸造产品的技术。批量铸造和连续铸造两者都良好发展。尽管连续铸造和批量铸件都在工业中得到突出使用,但连续铸造比批量铸件有许多优点。

[0006] 在金属铸造的连续产生中,熔融金属从保温炉进入一系列流槽并进入铸造轮的模具中,在该模具中将熔融金属铸造成金属棒。将凝固的金属棒从铸造轮中移除并引导到辊轧机,在辊轧机中将金属棒辊轧成连续的杆。取决于金属杆产品和合金的预期最终用途,杆可以在辊轧期间经受冷却,或者杆可以在从辊轧机退出后立即冷却或淬火,以赋予其期望机械和物理性能。诸如Cofor等人的美国专利号3,395,560 (其全部内容通过引用并入本文)中所述的那些技术已用于连续加工金属杆或棒产品。

[0007] Sperry等人的美国专利号3,938,991(其全部内容通过引用并入本文)表明,铸造“纯”金属产品存在长期公认的问题。对于“纯”金属铸件,该术语是指金属或金属合金,该金属合金由设计用于特定的电导率或拉伸强度或延展性的主要金属元素形成,而不包括为了晶粒控制而添加的单独杂质。

[0008] 晶粒细化是通过化学或物理/机械方式降低新形成的相的晶体尺寸的工艺。通常将晶粒细化剂添加到熔融金属中或在凝固工艺或液相到固相转变工艺期间显着减小凝固结构的晶粒尺寸。

[0009] 实际上,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)描述了“晶粒细化剂”的具体用途。‘750申请在其背景部分中描述,在铝工业中,通常将不同的晶粒细化剂掺入铝中以形成中间合金。用于铝铸件的典型中间合金包括1%至10%的钛和0.1%至5%的硼或碳,余量基本上由铝或镁组成,TiB₂或TiC的颗粒分散在整个铝基质中。根据‘750申请,含有钛和硼的中间合金可以通过将所需量的钛和硼溶解在铝熔体中来产生。这是通过使熔融铝与KBF₄和K₂TiF₆在超过800°C的温度下反应来实现的。这些复杂的卤化盐与熔融铝快速反应,并为熔体提供钛和硼。

[0010] ‘750申请还描述了,截至2002年,几乎所有的晶粒细化剂制造公司使用这种技术来产生商业中间合金。目前仍在使用的经常被称为成核试剂的晶粒细化剂。例如,TIBOR中间合金的商业供应商描述了铸造结构的紧密控制是产生高质量铝合金产品的主要要求。

[0011] 在本发明之前,晶粒细化剂被认为是提供精细和均匀的铸态晶粒结构的最有效方式。以下参考文献(其全部内容通过引用并入本文)提供了该背景工作的细节:

[0012] Abramov,O.V.,(1998)“高强度超声”,Gordon和Breach科学出版社,荷兰阿姆斯特丹,第523-522页。(Abramov,O.V.,(1998),“High-Intensity Ultrasonics,”Gordon and Breach Science Publishers,Amsterdam,The Netherlands,pp.523-552.)

[0013] Alcoa,(2000)，“铝的晶粒细化新工艺”，能源部项目最终报告,合同编号DE-FC07-98ID13665,2000年9月22日。(Alcoa,(2000),“New Process for Grain Refinement of Aluminum,”DOE Project Final Report,Contract No.DE-FC07-98ID13665,September 22,2000.)

[0014] Cui,Y.,Xu,C.L.和Han,Q.,(2007)，“使用超声振动、先进的工程材料的焊接金属的微观结构改善”第9卷第3期,第161-163页(Cui,Y.,Xu,C.L.and Han,Q.,(2007),“Microstructure Improvement in Weld Metal Using Ultrasonic Vibrations,Advanced Engineering Materials,”v.9,No.3,pp.161-163.)

[0015] Eskin,G.I.,(1998)，“轻合金熔体的超声处理”,Gordon和Breach科学出版社,荷兰阿姆斯特丹(Eskin,G.I.,(1998),“Ultrasonic Treatment of Light Alloy Melts,”Gordon and Breach Science Publishers,Amsterdam,The Netherlands.)

[0016] Eskin,G.I.(2002)，“超声空化处理熔体对铝合金铸锭凝固工艺中组织演变的影响”，冶金学报/材料研究和先进技术,第93卷第6期,2002年6月,第502-507页(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,v.93,n.6,June,2002,pp.502-507)

- [0017] Greer, A.L., (2004), “铝合金的晶粒细化”, Chu, M.G., Granger, D.A. and Han, Q., (编辑), “铝合金的凝固”, 由TMS (矿产、金属和材料学会) 主办的研讨会论文集, TMS, Warrendale, PA15086-7528, 第131-145页 (Greer, A.L., (2004), “Grain Refinement of Aluminum Alloys,” in Chu, M.G., Granger, D.A., and Han, Q., (eds.), “Solidification of Aluminum Alloys,” Proceedings of a Symposium Sponsored by TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), TMS, Warrendale, PA 15086-7528, pp.131-145.)
- [0018] Han, Q., (2007), 功率超声在材料加工中的应用, “Han, Q., Ludtka, G. and Zhai, Q., (编辑), (2007), “外部领域影响下的材料加工”, 由TMS (矿产、金属和材料学会) 主办的研讨会论文集, TMS, Warrendale, PA 15086-7528, 第97-106页 (Han, Q., (2007), The Use of Power Ultrasound for Material Processing,” Han, Q., Ludtka, G., and 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, PA15086-7528, pp.97-106.)
- [0019] Jackson, K.A., Hunt, J.D., 和Uhlmann, D.R., 和Seward, T.P., (1966), “论铸造中等轴区的源”, Trans. Metall. Soc. AIME, 第236卷第149-159页 (Jackson, K.A., Hunt, J.D., and Uhlmann, D.R., and Seward, T.P., (1966), “On Origin of Equiaxed Zone in Castings,” Trans. Metall. Soc. AIME, v.236, pp.149-158.)
- [0020] Jian, X., Xu, H., Meek, T.T., 和Han, Q., (2005), “功率超声对铝A356合金凝固的影响”, 材料快报, 第59卷第2-3期, 第190-193页 (Jian, X., Xu, H., Meek, T.T., and Han, Q., (2005), “Effect of Power Ultrasound on Solidification of Aluminum A356 Alloy,” Materials Letters, v.59, no.2-3, pp.190-193.)
- [0021] Keles, O. 和Dundar, M., (2007). “铝箔: 典型的质量问题及其原因”, 材料加工技术杂志, 第186卷, 第125-137页 (Keles, O. and Dundar, M., (2007). “Aluminum Foil: Its Typical Quality Problems and Their Causes,” Journal of Materials Processing Technology, v.186, pp.125-137.)
- [0022] Liu, C., Pan, Y., 和Aoyama, S., (1998) 第五届合金和复合材料半固态加工国际会议论文集, 编辑: Bhasin, A.K., Moore, J.J., Young, K.P. 和Madison, S., Colorado School of Mines, Golden, CO, 第439-447页 (Liu, C., Pan, Y., and 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., and Madison, S., Colorado School of Mines, Golden, CO, pp.439-447.)
- [0023] Megy, J., (1999), “熔融金属处理”, 美国专利号No.5,935,295, 1999年8月 (Megy, J., (1999), “Molten Metal Treatment,” US Patent No.5,935,295, August, 1999)
- [0024] Megy, J., Granger, D.A., Sigworth, G.K., 和Durst, C.R., (2000), “原位铝晶粒细化工艺的有效性”, 轻金属, 第1-6页 (Megy, J., Granger, D.A., Sigworth, G.K., and Durst, C.R., (2000), “Effectiveness of In-Situ Aluminum Grain Refining Process,” Light Metals, pp.1-6.)
- [0025] Cui 等“使用超声振动改善焊接金属的微观结构”, 高级工程材料, 2007, 第9卷第3期, 第161-163页 (Cui et al., “Microstructure Improvement in Weld Metal Using

Ultrasonic Vibrations,”Advanced Engineering Materials,2007,vol.9,no.3,pp.161-163.)

[0026] Han等,“纯铝的晶粒细化”,轻金属,2012,第967-971页(Han et al.,“Grain Refining of Pure Aluminum,”Light Metals 2012,pp.967-971.)

[0027] 在本发明之前,美国专利号8,574,336和8,652,397(每个专利的全部内容通过引用并入本文)描述了用于例如通过将吹扫气体引入到靠近超声装置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)。这些专利在下文中称为‘336专利和‘397专利。

发明内容

[0028] 在本发明的一个实施例中,提供了一种用于将能量耦合到熔融金属中的能量耦合装置。能量耦合装置包括空化源,该空化源供应能量通过冷却介质并通过与熔融金属接触的接收器。空化源包括设置在冷却通道中的探头。探头具有至少一个注射口,以用于在探头的底部和接收器之间注射冷却介质。操作中的探头在冷却介质中产生空化。空化被引导通过冷却介质到达接收器。

[0029] 在本发明的一个实施例中,提供了一种形成金属产品的方法。该方法将熔融金属提供到容纳结构中,通过将冷却介质注射到与熔融金属接触的接收器的5mm内的区域中,用冷却介质冷却容纳结构中的熔融金属,并且经由振动探头在冷却介质中产生空化,将能量耦合到容纳结构中的熔融金属中。在耦合期间,该方法在探头的底部和与容纳结构中的熔融金属接触的接收器之间注射冷却介质。

[0030] 在本发明的一个实施例中,提供了一种铸造机。铸造机包括:熔融金属容纳结构,其被配置为冷却熔融金属;以及空化源,其被配置为将具有空化的冷却介质注射在空化源和与容纳结构中的熔融金属接触的接收器之间的区域中。

[0031] 应理解,本发明的前述一般描述和以下详细描述都是示例性的,而不是对本发明的限制。

附图说明

[0032] 当结合附图考虑时,通过参考以下详细描述,本发明的更完整的理解及其许多伴随的优点将更容易获得,也同样变得更容易理解,其中:

[0033] 图1是根据本发明的一个实施例的连续铸造机的示意图;

[0034] 图2是根据本发明的一个实施例的铸造轮配置的示意图,该铸造轮配置利用至少一个超声振动能量源;

[0035] 图3A是根据本发明的一个实施例的铸造轮配置的示意图,该铸造轮配置具体地利用至少一个机械驱动的振动能量源;

[0036] 图3B是根据本发明的一个实施例的铸造轮混合配置的示意图,该铸造轮混合配置利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;

[0037] 图3C是根据本发明的一个实施例的铸造轮配置的示意图,该铸造轮配置利用具有增强的振动能量耦合的振动能量源;

[0038] 图3D是具有冷却剂注射口的超声探头的示意图;

- [0039] 图3E是具有多个冷却剂注射口的超声探头的示意图；
- [0040] 图3F是超声探头的示意图,其示出与带的分离距离；
- [0041] 图4是根据本发明的一个实施例的铸造轮配置的示意图,其示出振动探头装置直接耦接到铸造轮中铸造的熔融金属；
- [0042] 图5是利用本发明的振动能量源的固定模具的示意图；
- [0043] 图6A是竖直铸造机的所选部件的横截面示意图；
- [0044] 图6B是竖直铸造机的其他部件的横截面示意图；
- [0045] 图6C是竖直铸造机的其他部件的横截面示意图；
- [0046] 图6D是竖直铸造机的其他部件的横截面示意图；
- [0047] 图7是用于本文描述的控制和控制器的说明性计算机系统的示意图；
- [0048] 图8是描述根据本发明的一个实施例的方法的流程图；
- [0049] 图9是描述利用超声脱气和超声晶粒细化的本发明实施例的示意图；
- [0050] 图10是ACSR线工艺流程图；
- [0051] 图11是ACSS线工艺流程图；
- [0052] 图12是铝条带工艺流程图；
- [0053] 图13是根据本发明的一个实施例的铸造轮配置的示意性侧视图,该铸造轮配置利用用于至少一个超声振动能量源的磁致伸缩元件；
- [0054] 图14是图13的磁致伸缩元件的截面示意图；
- [0055] 图15是利用本发明的振动能量源的双辊连铸辊设计的示意图；并且
- [0056] 图16是利用本发明的振动能量源的双辊连铸带设计的示意图。

具体实施方式

[0057] 金属和合金的晶粒细化出于很多原因是很重要的,这些原因包括最大化铸锭率、改善抗热撕裂性、最小化元素偏析、增强机械性能,特别是延展性、改善锻造产品的精加工特性和增加模具填充特性、以及降低熔制合金的孔隙率。通常,晶粒细化是产生金属和合金产品的第一个加工步骤之一,该合金产品尤其是铝合金和镁合金,该铝合金和镁合金是航空航天、国防、汽车、建筑和封装行业中越来越多地使用的两种轻质材料。晶粒细化对于通过消除柱状晶粒和形成等轴晶粒来制作可铸造的金属和合金也是重要的加工步骤。

[0058] 晶粒细化是凝固加工步骤,通过该步骤,通过化学、物理或机械方式减小固相的晶体尺寸,以便制作可铸造的合金并减少缺陷形成。目前,使用TIBOR对铝产生进行晶粒细化,导致在凝固的铝中形成等轴晶粒结构。在本发明之前,使用杂质或化学“晶粒细化剂”是解决金属铸件中的柱状晶粒形成的金属铸件工业中长期公认问题的唯一方法。另外,在本发明之前,1) 超声脱气以从熔融金属中移除杂质(在铸造之前)连同2) 上述超声晶粒细化(即,至少一个振动能量源)的组合还没有进行。然而,由于将这些变质剂输入熔体中,存在与使用TIBOR相关联的大量成本以及机械限制。一些限制包括延展性、机械加工性和导电性。

[0059] 尽管有这些成本,但美国产生的大约68%的铝在进一步加工成片材、板材、挤出物或箔片之前首先被铸造成铸锭。直接冷淬(DC)半连续铸造工艺和连续铸造(CC)工艺一直是铝工业的支柱,这主要归功于其稳健的性质和相对简单性。DC和CC工艺的一个问题是在铸锭凝固期间的热撕裂形成或裂缝形成。基本上,在不使用晶粒细化的情况下,几乎所有的铸

锭都会破裂(或不可铸造)。

[0060] 尽管如此,这些现代工艺的产生率受到避免裂缝形成的条件的限制。晶粒细化是降低合金的热撕裂倾向的有效方法,并且因此提高了产生率。因此,大量的努力集中在开发能够产生尽可能小的晶粒尺寸的强力晶粒细化剂上。如果晶粒尺寸可以降低到亚微米级别,则可以实现超塑性,这允许合金不仅以更快的速度铸造,而且以比目前加工的铸锭快得多的速度在更低的温度下轧制/挤压,从而导致显著节省成本和节省能源。

[0061] 目前,世界上几乎所有的铝铸件(无论是初级(约200亿千克)还是二次和内部废料(250亿千克)均采用直径约为几微米的不溶性 TiB_2 核的异质核进行晶粒细化,这使铝中的精细晶粒结构成核。与使用化学晶粒细化剂有关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导致铝晶粒尺寸的有限减小,其从具有超过 $2,500\mu m$ 的线性晶粒尺寸的柱状结构到小于 $200\mu m$ 的等轴晶粒。铝合金中 $100\mu m$ 的等轴晶粒似乎是使用商业可获得的化学晶粒细化剂可以获得的极限。

[0062] 如果可以进一步减小晶粒尺寸,则可以显著增加产率。亚微米级的晶粒尺寸导致超塑性,这使得在室温下更容易形成铝合金。

[0063] 与使用化学晶粒细化剂有关的另一个问题是与使用晶粒细化剂相关的缺陷形成。尽管在现有技术中认为对于晶粒细化是必要的,但是不溶性的外来颗粒在铝中是不合需要的,特别是以颗粒附聚物(“簇”)的形式。以铝基中间合金中的化合物形式存在的目前的晶粒细化剂是通过一系列复杂的采矿、选矿和制造工艺产生的。现在使用的中间合金通常含有氟化铝钾(KAlF₃)盐和氧化铝杂质(渣滓),这些来自铝晶粒细化剂的常规制造工艺。这些导致铝的局部缺陷(例如饮料罐中的“泄漏”和薄箔中的“针孔”)、机床磨损和铝中的表面光洁度问题。来自其中一家铝电缆公司的数据表明,25%的产生缺陷是由于 TiB_2 颗粒附聚物造成的,另外25%的缺陷是由于在铸造工艺期间被捕集到铝中的渣滓造成的。 TiB_2 颗粒附聚物经常在挤出工艺期间使线断裂,特别是当线的直径小于8mm时。

[0064] 与使用化学晶粒细化剂有关的另一个问题是晶粒细化剂的成本。这对于使用Zr晶粒细化剂产生镁铸锭而言是非常正确的。使用Zr晶粒细化剂进行晶粒细化每产生一千克的Mg铸件需要额外花费约1美元。用于铝合金的晶粒细化剂的成本约为每千克1.50美元。

[0065] 与使用化学晶粒细化剂有关的另一个问题是电导率降低。化学晶粒细化剂的使用在铝中引入过量的Ti,导致用于电缆应用的纯铝的电导率显著降低。为了保持一定的电导率,公司必须支付额外的钱才能使用更纯的铝来制造电缆和电线。

[0066] 除了化学方法之外,在过去的一个世纪中还探索了许多其他晶粒细化方法。这些方法包括使用物理场,诸如磁场和电磁场、以及使用机械振动。高强度低振幅超声振动是已被证明在不使用外来颗粒的情况下用于金属和合金的晶粒细化的物理/机械机构之一。然而,实验结果(诸如来自上文提到的Cui等人,2007年)在经受短时间段超声振动的最高几磅金属的小铸锭中获得。使用高强度超声振动对CC或DC铸锭/坯料的晶粒细化进行了很少的努力。

[0067] 本发明中解决的用于晶粒细化的技术挑战中的一些是(1)超声能量与熔融金属的耦合达延长的时间,(2)在升高的温度下保持系统的固有振动频率,和(3)增加当超声波导的温度热时的超声晶粒细化的晶粒细化效率。超声波导和铸锭两者的增强冷却(如下所述)是本文提出的解决这些挑战的解决方案之一。

[0068] 此外,本发明解决的另一个技术挑战涉及这样的事实,即铝越纯,在凝固工艺期间越难以获得等轴晶粒。即使在诸如1000、1100和1300系列铝的纯铝中使用诸如TiB(硼化钛)的外部晶粒细化剂,也仍然难以获得等轴晶粒结构。然而,使用本文所述的新型晶粒细化技术,已经获得了实质的晶粒细化。

[0069] 在一个实施例中,部分抑制柱状晶粒形成而无需引入晶粒细化剂。当熔融金属被浇注到铸件中时将振动能量施加到熔融金属允许实现与使用现有技术的晶粒细化剂(诸如TiBOR中间合金)获得的晶粒尺寸相当或更小的晶粒尺寸。

[0070] 如本文所用,将使用本领域技术人员通常采用的术语来描述本发明的实施例以呈现他们的工作。这些术语应符合材料科学、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含义。在下面的实施例中描述了一些采取更专业含义的术语。尽管如此,术语“被配置为”在本文中被理解为描绘了允许其对象执行“被配置为”术语之后的功能的适当结构(本文示出或者从本领域已知或暗示的)。术语“耦接到”意味着耦接到第二对象的一个对象具有在相对于第二对象的位置(例如,邻接、附接、从其移位预定距离、邻近、接近、连结在一起、彼此可拆卸、彼此可分离、固定在一起、滑动接触、滚动接触)支撑第一对象的必要结构,其中第一对象和第二对象附接在一起或不附接在一起。

[0071] 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)描述了连续铸造工艺。通常,图1描绘了具有铸造机2的连续铸造系统,该铸造机2具有输送装置10(诸如中间罐),输送装置10向浇注槽11提供熔融金属,浇注槽11将熔融金属引导到包括在旋转模具环13上的周边凹槽。环形柔性金属带14环绕模具环13的一部分以及一组带定位辊15的一部分两者,使得连续铸造模具由模具环13中的凹槽和上覆金属带14限定。提供冷却系统,以用于冷却设备并在熔融金属在旋转模具环13上运输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的一侧的多个侧集管17、18和19以及在金属带14围绕模具环的位置处分别设置在金属带14的内侧和外侧上的内带集管20和外带集管21。具有合适阀门的管道网络24经连接以将冷却剂供应并排出到各个集管,以便控制设备的冷却和熔融金属的凝固速率。

[0072] 通过这种构造,熔融金属从浇注槽11馈送到铸造模具中,并在熔融金属的运输期间通过将冷却剂循环通过冷却系统而将熔融金属凝固和部分冷却。从铸造轮中取出固态铸造棒25并将固态铸造棒25馈送到递送器27,递送器27将铸造棒递送到辊轧机28。应该注意的是,铸造棒25仅被冷却足以使棒凝固的量,并且棒保持在升高的温度下,以允许在其上执行立即的辊轧操作。辊轧机28可以包括连续地将棒辊轧成连续长度的线材30的辊轧机架串联阵列,线材30具有基本均匀的圆形横截面。

[0073] 图1和图2示出控制器500,其控制其中所示的连续铸造系统的各个部分,如下面更详细地讨论的。控制器500可以包括具有编程指令(即算法)的一个或多个处理器,以控制连续铸造系统及其部件的操作。

[0074] 在本发明的一个实施例中,如图2所示,铸造机2包括铸造轮30,铸造轮30具有浇注(例如,铸造)熔融金属的容纳结构32(例如,铸造轮30中的沟槽或通道)和熔融金属加工装置34。带36(例如,钢柔性金属带)将熔融金属限制到容纳结构32(即,通道)。当熔融金属在铸造轮的通道中凝固并且从熔融金属加工装置34向外递送时,辊38允许熔融金属加工装置34保持在旋转铸造轮上的固定位置。

[0075] 在本发明的一个实施例中,熔融金属加工装置34包括安装在铸造轮30上的组装件42。组装件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,支撑装置)。组装件42包括至少一个冷却通道46,以用于通过其运输冷却介质。柔性带36通过附接到壳体下侧的密封件44a密封到壳体44,从而允许来自冷却通道的冷却介质沿着柔性带的与铸造轮的通道中的熔融金属相对的一侧流动。

[0076] 在本发明的一个实施例中,铸造带(即,振动能量的接收器)可以由铬、铌、铌合金、钛、钛合金、钽、钽合金、铜、铜合金、镍、镍合金、铈、铈合金、钢、钼、钼合金、铝、铝合金、不锈钢、陶瓷、复合材料、或金属或合金和以上的组合中的至少一种或多种制成。

[0077] 在本发明的一个实施例中,铸造带的宽度范围在25mm至400mm之间。在本发明的另一个实施例中,铸造带的宽度范围在50mm至200mm之间。在本发明的另一个实施例中,铸造带的宽度范围在75mm至100mm之间。

[0078] 在本发明的一个实施例中,铸造带的厚度范围在0.5mm至10mm之间。在本发明的另一个实施例中,铸造带的厚度范围在1mm至5mm之间。在本发明的另一个实施例中,铸造带的厚度范围在2mm至3mm之间。

[0079] 如图2所示,空气擦拭器(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将沿远离熔融金属的铸造源的方向被引导。密封件44a可以由多种材料制成,包括乙烯丙烯、氟橡胶、丁腈橡胶(丁腈橡胶)、氯丁橡胶、硅橡胶、氨基甲酸乙酯、氟硅氧烷、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,导引装置(例如,辊38)相对于旋转铸造轮30导引熔融金属加工装置34。冷却介质为容纳结构32中的熔融金属和/或至少一个振动能量源40提供冷却。在本发明的一个实施例中,熔融金属加工装置34的部件(包括壳体)可以由诸如钛的金属、不锈钢合金、低碳钢或H13钢、其他高温材料、陶瓷、复合材料或聚合物制成。熔融金属加工装置34的部件可以由铌、铌合金、钛、钛合金、钽、钽合金、铜、铜合金、铈、铈合金、钢、钼、钼合金、不锈钢和陶瓷中的一种或多种制成。陶瓷可以是氮化硅陶瓷,诸如硅石氮化铝或SIALON。

[0080] 在本发明的一个实施例中,当熔融金属在振动器40下方的金属带36下通过时,随着金属开始冷却和凝固,振动能量被供应到熔融金属。在本发明的一个实施例中,通过例如由压电装置超声换能器生成的超声换能器赋予振动能量。在本发明的一个实施例中,通过例如由磁致伸缩换能器产生的超声换能器赋予振动能量。在本发明的一个实施例中,用机械驱动的振动器赋予振动能量(将在后面讨论)。在一个实施例中的振动能量允许形成多个小籽晶,从而产生精细晶粒金属产品。

[0081] 在本发明的一个实施例中,超声晶粒细化包括施加超声能量(和/或其他振动能量)以细化晶粒尺寸。虽然本发明不受任何特定理论的束缚,但是一种理论是将振动能量(例如,超声功率)注射到熔融或凝固合金中可以引起非线性效应,诸如空化(cavitation)、声流和辐射压力。这些非线性效应可以用于使新晶粒成核,并且在合金凝固工艺期间破坏枝晶。

[0082] 在该理论下,晶粒细化工艺可以分为两个阶段:1)成核和2)从液体中生长新形成的固体。在成核阶段形成球形核。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,潜在地引起热撕裂/裂缝和第二相的不均匀分布。这进而可以导致可铸造性差。另一方面,枝晶在所有方向上均匀生长(诸如通过本发明可能的)导致形成等轴晶粒。

含有小而等轴晶粒的铸件/铸锭具有优异的可成形性。

[0083] 在该理论下,当合金中的温度低于液相线温度时;当固体晶胚的尺寸大于以下等式给出的临界尺寸时,可能发生成核:

$$[0084] \quad r^* = -\frac{2\sigma_{sl}}{\Delta G_V}$$

[0085] 其中 r^* 是临界尺寸, σ_{sl} 是与固液界面相关联的界面能,并且 ΔG_V 是与单位体积液体到固体的转换相关联的吉布斯自由能。

[0086] 在该理论下,当固体晶胚的尺寸大于 r^* 时,吉布斯自由能 ΔG_V 随着固体晶胚的尺寸增加而减小,表明固体晶胚的生长在热力学上是有利的。在这样的条件下,固体晶胚变成稳定的核。然而,具有大于 r^* 的尺寸的固相的均相成核仅在需要熔体中大量过冷的极端条件下发生。

[0087] 在该理论下,凝固期间形成的核可以生长成称为枝晶的固体晶粒。枝晶也可以通过施加振动能量而破裂成多个小碎片。由此形成的枝晶碎片可以生长成新的晶粒并且导致小晶粒的形成;从而创建等轴晶粒结构。

[0088] 虽然不受任何特定理论的束缚,但是在铸造轮30的通道顶部(例如,抵靠带36的下侧)对熔融金属的相对少量的过冷(例如,小于 2°C 、 5°C 、 10°C 或 15°C)导致抵靠钢带形成一层小的纯铝(或其他金属或合金)核。振动能量(例如,超声或机械驱动的振动)释放这些核,然后这些核在凝固期间用作成核试剂,从而产生均匀的晶粒结构。因此,在本发明的一个实施例中,采用的冷却方法确保当熔融金属继续冷却时,抵靠钢带的铸造轮30的通道顶部处的少量过冷导致材料的小核被加工成熔融金属。作用在带36上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并/或可以用于破坏在过冷层中形成的枝晶。例如,当熔融金属冷却时可以通过空化赋予熔融金属的能量(见下文)破坏枝晶以形成新的核。然后,这些核和枝晶的碎片可以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。

[0089] 换句话说,传输到过冷液态金属中的超声振动在金属或金属合金中创建成核位点以细化晶粒尺寸。成核位点通过如上所述用于将在熔融金属中创建的枝晶破坏成多个核的振动能量而生成,这些核不依赖于外来杂质。在一个方面,铸造轮30的通道可以是难熔金属或其他高温材料,诸如铜、铁和钢、铌、铌和钼、钽、钨和铪,以及包括一种或多种元素的合金,这些元素为诸如可以延长这些材料的熔点的硅、氧或氮。

[0090] 在本发明的一个实施例中,振动能量源40的超声振动源在20kHz的声频率下提供1.5kW的功率。本发明不限于那些功率和频率。相反,可以使用宽范围的功率和超声频率,尽管以下范围是令人感兴趣的。

[0091] 功率:通常,每个超声发生器的功率在50到5000W之间,这取决于超声发生器或探头的尺寸。这些功率通常应用于超声发生器,以确保超声发生器末端处的功率密度高于 $100\text{W}/\text{cm}^2$,这可以被视为熔融金属中造成空化的阈值,这取决于熔融金属的冷却速率、熔融金属类型和其他因素。该区域处的功率的范围可以从50至5000W、从100至3000W、从500至2000W从1000至1500W或任何中间或重叠范围。更大探头/超声发生器的更高功率和更小探头的更低功率是可能的。在本发明的各种实施例中,施加的振动能量功率密度的范围可以从 $10\text{W}/\text{cm}^2$ 至 $500\text{W}/\text{cm}^2$,或从 $20\text{W}/\text{cm}^2$ 至 $400\text{W}/\text{cm}^2$,或从 $30\text{W}/\text{cm}^2$ 至 $300\text{W}/\text{cm}^2$,或从 $50\text{W}/\text{cm}^2$ 至

200W/cm², 或从70W/cm²至150W/cm², 或其任何中间或重叠范围。

[0092] **频率**: 通常, 可以使用5至400kHz (或任何中间范围)。可替代地, 可以使用10和30kHz (或任何中间范围)。可替代地, 可以使用15和25kHz (或任何中间范围)。施加的频率的范围可以从5至400kHz、从10至30kHz从15至25kHz、从10至200kHz, 或从50至100kHz或其任何中间或重叠范围。

[0093] 在本发明的一个实施例中, 设置成耦接到冷却通道46的是至少一个振动器40, 在作为超声换能器的超声波探头 (或超声发生器、压电换能器、或超声辐射器或磁致伸缩元件) 的情况下, 振动器40提供超声振动能量通过冷却介质以及通过组装件42和带36进入液态金属。在本发明的一个实施例中, 从换能器供应超声能量, 该换能器能够将电流转换成机械能, 从而创建高于20kHz (例如, 最高400kHz) 的振动频率, 其中超声能量由压电元件或磁致伸缩元件中的任一个或两个供应。

[0094] 在本发明的一个实施例中, 超声波探头插入冷却通道46中以与液体冷却介质接触。在本发明的一个实施例中, 从超声波探头的尖端到带36的间隔距离 (如果有的话) 是可变的。间隔距离可以是例如小于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, 可以将多于一个的超声波探头或超声波探头的阵列插入冷却通道46中以与液体冷却介质接触。在本发明的一个实施例中, 超声波探头可以附接到组装件42的壁。

[0095] 在本发明的一个方面, 供应振动能量的压电换能器可以由夹在电极之间的陶瓷材料形成, 该电极提供用于电接触的附接点。一旦通过电极向陶瓷施加电压, 陶瓷就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增强器 (booster), 增强器将振动转移到探头。美国专利号9,061,928 (其全部内容通过引用并入本文) 描述了一种超声换能器组装件, 其包括超声换能器、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, 以放大由超声换能器生成的声能, 并将放大的声能转移到超声探头。'928专利的增强器配置在本发明中可以向用于直接或间接与上述液体冷却介质接触的超声探头提供能量。

[0096] 实际上, 在本发明的一个实施例中, 超声增强器用于超声范围, 以放大或增强由压电换能器创建的振动能量。增强器不增加或减小振动的频率, 其增加振动的振幅。(当后向安装增强器时, 其也可以压缩振动能量。) 在本发明的一个实施例中, 增强器连接在压电换能器和探头之间。在使用用于超声晶粒细化的增强器的情况下, 下面是示出使用具有压电振动能量源的增强器的示例性的多个方法步骤:

[0097] 1) 向压电换能器供应电流。一旦施加电流, 换能器内的陶瓷件就膨胀和收缩, 这将电能转换成机械能。

[0098] 2) 然后将一个实施例中的那些振动转移到增强器, 增强器放大或增强该机械振动。

[0099] 3) 然后, 在一个实施例中来自增强器的放大或增强的振动传播到探头。然后探头在超声频率下振动, 从而创建空化。

[0100] 4) 来自振动探头的空化撞击铸造带, 在一个实施例中, 铸造带与熔融金属接触。

[0101] 5) 在一个实施例中, 空化破坏枝晶并创建等轴晶粒结构。

[0102] 参考图2, 探头耦接到流过熔融金属加工装置34的冷却介质。经由在超声频率下振

动的探头在冷却介质中产生的空化撞击与容纳结构32中的熔融铝接触的带36。

[0103] 在本发明的一个实施例中,振动能量可以由用作振动能量源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和与图2的压电换能器单元一起使用的换能器的相同的布置,唯一的区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而不是至少一个压电元件。图13描绘了根据本发明的一个实施例的铸造轮配置,该铸造轮配置利用用于至少一个超声振动能量源的磁致伸缩元件70。在本发明的该实施例中,(多个)磁致伸缩换能器70使耦接到冷却介质的探头(图13的侧视图中未示出)以例如30kHz的频率振动,然而如下所述可以使用其他频率。在本发明的另一个实施例中,磁致伸缩换能器70使熔融金属加工装置34内的图14截面示意图中所示的底板71振动,其中底板71在下方耦接到冷却通道中的冷却介质(如图14所示)。

[0104] 磁致伸缩换能器通常由大量材料板组成,一旦施加电磁场,这些材料板就会膨胀和收缩。更具体地,适用于本发明的磁致伸缩换能器可以在一个实施例中包括平行布置的大量镍(或其他磁致伸缩材料)板或叠片,其中每个叠片的一个边缘附接到加工容器的底部或待振动的其它表面。围绕磁致伸缩材料放置线圈以提供磁场。例如,当通过线圈供应电流时,创建磁场。该磁场使磁致伸缩材料收缩或伸长,从而将声波引入与膨胀和收缩的磁致伸缩材料接触的流体中。适用于本发明的磁致伸缩换能器的典型超声频率的范围从20至200kHz。可以使用更高或更低的频率,这取决于磁致伸缩元件的固有频率。

[0105] 对于磁致伸缩换能器,镍是最常用的材料之一。当向换能器施加电压时,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。参考图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,并且是直接耦接到流过熔融金属加工装置34的冷却介质的表面(或探头)。经由在超声频率下振动的板在冷却介质中产生空化,然后空化撞击与容纳结构32中的熔融铝接触的带36。

[0106] 美国专利号7,462,960(其全部内容通过引用并入本文)描述了一种具有超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,磁致伸缩元件可以由稀土合金基材料制成,诸如Terfenol-D及其复合材料,这些材料与早期过渡金属(诸如铁(Fe)、钴(Co)和镍(Ni))相比具有异常大的磁致伸缩效应。可替代地,本发明的一个实施例中的磁致伸缩元件可以由铁(Fe)、钴(Co)和镍(Ni)制成。

[0107] 可替代地,本发明的一个实施例中的磁致伸缩元件可以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;铁和铪;铁和钆;铁、铪和钆;铁、钆和镱;铁和钆;铁、钆和钆;或其混合物。

[0108] 美国专利号4,158,368(其全部内容通过引用并入本文)描述了一种磁致伸缩换能器。如其中所述并且适用于本发明的,磁致伸缩换能器可以包括设置在壳体内部的呈现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)描述了一种磁致伸缩换能器。如其中所述并且适用于本发明的,磁致伸缩层应用于柔性元件,例如柔性梁。柔性元件被外部磁场偏转。如'466专利中所述并且适用于本发明的,薄的磁致伸缩层可以用于由 $Tb(1-x)Dy(x)Fe_2$ 组成的磁致伸缩元件。美国专利号4,599,591(其全部内容通过引用并入本文)描述了一种磁致伸缩换能器。如其中所述并且适用于本发明的,磁致伸缩换能器可以利用磁致伸缩材料和连接到具有相位关系的多个电流源的多个绕组,以便在磁致伸缩材料内建立旋转磁感应矢量。美国专利号4,986808(其全部内容通过引用并入本文)描

述了一种磁致伸缩换能器。如其中所述并且适用于本发明的，磁致伸缩换能器可以包括多个磁致伸缩材料的细长条带，每个条带具有近端、远端和大致V形的横截面，其中V的每个臂由条带的纵向长度形成，并且每个条带在近端和远端两者处都附接到相邻条带，以形成整体的基本上刚性的柱，该柱具有中心轴线，其中翅片相对于该轴线径向延伸。

[0109] 图3A是本发明另一实施例的示意图，其示出用于向铸造轮30的通道中的熔融金属供应较低频率振动能量的机械振动配置。在本发明的一个实施例中，振动能量来自换能器或其他机械摇动器生成的机械振动。如本领域所公知的，振动器是生成振动的机械装置。振动通常由电动马达生成，在电动马达的驱动轴上具有不平衡质量。一些机械振动器由电磁驱动器和搅拌器轴组成，搅拌器轴通过竖直往复运动来搅动。在本发明的一个实施例中，振动能量从振动器(或其他部件)供应，该振动器能够使用机械能来创建最高但不限于20kHz并且优选地在5-10kHz的范围内的振动频率。

[0110] 无论振动机构如何，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意味着振动能量可以转移到组装件42下方的通道中的熔融金属。

[0111] 可用于本发明的机械振动器可以从每分钟8,000次至每分钟15,000次振动操作，但是可以使用更高和更低的频率。在本发明的一个实施例中，振动机构被配置为在每秒565至5,000次振动之间进行振动。在本发明的一个实施例中，振动机构被配置为以甚至更低的频率振动，最低每秒不到一次振动，最高每秒565次振动。适用于本发明的机械驱动振动的范围包括例如每分钟6,000至9,000次振动、每分钟8,000至10,000次振动、每分钟10,000至12,000次振动、每分钟12,000至15,000次振动，以及每分钟15,000至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范围包括例如范围从133至250Hz、200Hz至283Hz(每分钟12,000至17,000次振动)和4至250Hz。此外，通过周期性驱动的简单的音槌或柱塞装置可以在铸造轮30或壳体44中施加各种机械驱动的振动以冲击铸造轮30或壳体44。通常，机械振动可以是最高10kHz的范围。因此，适用于本发明中使用的机械振动的范围包括：0至10KHz、10Hz至4000Hz、20Hz至2000Hz、40Hz至1000Hz、100Hz至500Hz，以及其中间和组合范围，包括565至5,000Hz的优选范围。

[0112] 虽然上面关于超声和机械驱动的实施例进行了描述，但是本发明不限于这些范围中的一个或另一个，而是可以用于最高400KHz的广谱振动能量，包括单频和多频源。另外，可以使用源(超声和机械驱动源，或不同超声源，或下面将描述的不同机械驱动源或声能源)的组合。

[0113] 如图3A所示，铸造机2包括铸造轮30，铸造轮30在铸造轮30中具有容纳结构32(例如，沟槽或通道)，熔融金属被浇注在容纳结构32中，并且铸造轮30具有熔融金属加工装置34。带36(例如，钢带)将熔融金属限制在容纳结构32(即通道)中。如上所述，当熔融金属1)在铸造轮的通道中凝固时，以及2)从熔融金属加工装置34被递送出去时，辊38允许熔融金属加工装置34保持固定。

[0114] 冷却通道46在其中运输冷却介质。如前所述，空气擦拭器(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沿着远离熔融金属的铸造源的方向被引导。如前所述，辊轧装置(例如，辊38)相对于旋转铸造轮30导引熔融金属加工装置34。冷却介质为熔融金属和至少一个振动能量源40(在图3A中示出为机械振动器40)提供冷却。

[0115] 当熔融金属在机械振动器40下方的金属带36下经过时，随着金属开始冷却和凝

固,机械驱动的振动能量被供应到熔融金属。在一个实施例中的机械驱动的振动能量允许形成多个小核,从而产生精细晶粒金属产品。

[0116] 在本发明的一个实施例中,设置成耦接到冷却通道46的是至少一个振动器40,在机械振动器的情况下,振动器40通过冷却介质以及通过组装件42和带36将机械驱动的振动能量提供到液态金属中。在本发明的一个实施例中,机械振动器的头部插入冷却通道46中以与液体冷却介质导电。在本发明的一个实施例中,可以将多于一个的机械振动器头或机械振动器头的阵列插入冷却通道46中以与液体冷却介质接触。在本发明的一个实施例中,机械振动器头可以附接到组装件42的壁。

[0117] 虽然不受任何特定理论的束缚,但是在铸造轮30的通道的底部处的相对少量的过冷(例如,小于10°C)导致形成一层较小的较纯铝(或其他金属或合金)的核。机械驱动的振动创建这些核,然后在凝固期间将这些核用作成核试剂,产生均匀的晶粒结构。因此,在本发明的一个实施例中,所采用的冷却方法确保在通道底部的少量过冷导致被加工材料的一层小核。来自通道底部的机械驱动的振动使这些核分散和/或可以用于破坏在过冷层中形成的枝晶。然后这些核和枝晶的碎片在凝固期间在模具中形成等轴晶粒,从而产生均匀的晶粒结构。

[0118] 换句话说,在本发明的一个实施例中,传输到液态金属中的机械驱动的振动在金属或金属合金中创建成核位点以细化晶粒尺寸。如上所述,铸造轮30的通道可以是难熔金属或其他高温材料,诸如铜、铁和钢、铌、铈和钼、钽、钨和铪,以及包括一种或多种元素(诸如硅,氧或氮)的合金,这些元素可以延长这些材料的熔点。

[0119] 图3B是根据本发明的一个实施例的铸造轮混合配置的示意图,该铸造轮混合配置利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。与图3A的元件共同示出的元件是执行如上所述的类似功能的类似元件。例如,图3B中所示的容纳结构32(例如,沟槽或通道)位于所描绘的铸造轮中,熔融金属浇注到容纳结构32中。如上所述,带(图3B中未示出)将熔融金属限制在容纳结构32中。本文中,在本发明的该实施例中,超声振动能量源和机械驱动的振动能量源两者都选择性地可激活并且可以单独驱动或者彼此结合以提供振动,该振动在传输到液态金属中后在金属或金属合金中产生成核位点以细化晶粒尺寸。在本发明的各种实施例中,可以布置和利用超声振动能量源和机械驱动的振动能量源的不同组合。

[0120] 图3C是根据本发明的一个实施例的铸造轮配置的示意图,该铸造轮配置利用具有增强的振动能量耦合和/或增强的冷却的振动能量源。图3C所示的超声晶粒细化剂描绘了集成的振动能量/冷却系统,该系统设置在铸造轮30上,并通过从例如振动器40中的一个(或两个)的底部(并且优选地,但不是必须地,从中心底部区域)朝向铸造带36(即,与熔融金属接触的接收器)注射冷却介质和/或流体来向铸造带36提供冷却和增强的振动能量耦合。图3D是示出图3C中的圆形区域的放大截面的示意图。图3D示出具有冷却剂注射口40b的振动器40(例如,超声探头)。如图3D所示,在振动器从探头尖端40a弹出后,振动器插入含有冷却介质的冷却通道46中。

[0121] 在本发明的一个实施例中,每个探头可以具有一个或多个冷却介质注射口,以用于在相应探头或振动器40的尖端40a下方提供水。在本发明的一个实施例中,从源馈送的冷却介质经过振动器的轴向长度并从探头尖端40a射出到探头的尖端和与熔融金属接触的接

收器(例如带36)之间的区域中。图3E是具有多个冷却剂注射口40b的超声探头的示意图,其提供增强的振动能量耦合和/或冷却。在图3E所示的实施例中,冷却剂在从探头尖端的中心径向移位的位置处被供应。图3E中仅示出两个冷却剂注射口。然而,可以使用两个以上的注射口。通常,本发明提供在探头尖端40a的底部或紧邻探头尖端40a的底部的中心和/或径向移位的冷却剂注射。例如,冷却剂注射管线(与探头40分开和/或与探头尖端40a分开)可以附加地或替代地在探头的尖端和与熔融金属接触的接收器(例如,带36)之间提供/注射冷却剂。

[0122] 在本发明的一个示例性实施例中,冷却介质/流体存在于探头的尖端处或附近,使得超声振动可以与冷却介质耦合并创建空化(液体冷却介质中的气泡)。在优选的实施例中,液态的水被雾化以含有小的蒸气泡。这些小气泡充当空化并且当这些小气泡塌陷时将能量赋予带36以分解铸造带上的水/金属界面处的任何蒸汽边界层,从而增加热转移。在本发明的一个示例性实施例中,气泡在带36(即,接收器)上或附近塌陷,并且将振动能量赋予与熔融金属接触的带或接收器,该能量可以破坏熔融金属侧上的任何凝固的颗粒,破坏的颗粒可以用作核以形成等轴晶粒结构。在本发明的一个实施例中,气泡的塌陷将大量能量释放到铸造带的表面,该能量耦合到铸造带的熔融金属侧,在该熔融金属侧处,能量破坏任何凝固的颗粒。在本发明的一个实施例中,破坏的颗粒用作熔融金属内的核,以在所得金属铸件中形成等轴晶粒结构。

[0123] 虽然水是方便的冷却介质,但也可以使用其他冷却剂。在本发明的一个实施例中,冷却介质是超冷淬液体(例如,在0°C下或低于0°C的液体至-196°C的液体,即在冰和液态氮的温度之间的液体)。在本发明的一个实施例中,诸如液态氮的超冷淬液体与超声或其他振动能量源耦合。净效应是凝固速率的增加,从而允许更快的加工。在本发明的一个实施例中,离开探头的冷却介质不仅会创建空化,而且还会使熔融金属雾化和过冷却。在优选实施例中,这导致铸造轮的区域中的热转移增加。

[0124] 在本发明的一个实施例中,探头的尖端和带36(接收器)之间的间隔距离D(如图3F所示)通常小于接触接收器的5mm、小于接触接收器的2mm、小于接触接收器的1mm、小于接触接收器的0.5mm、小于接触接收器的0.22mm。

[0125] 在本发明的一个实施例中,来自超声探头的水从超声探头的底表面上一个或多个流体注射口注射到铸造带上。在本发明的另一个实施例中,水流保持在高速率下以确保破坏对铸造带的蒸汽屏障。通常,水流倾向于破坏铸造带的表面或熔融金属容器的壁处的任何蒸汽边界层。通过探头的流速可能因设计而异。任何设计的流速可以是恒定的或可变的。在示例性实施例中,对于1mm直径的液体注射孔,水的流速将为每分钟1加仑的量级。

[0126] 在本发明的另一个实施例中,铸造带在面向水的表面上和/或在面向熔融金属的表面上具有纹理。优选实施例中的纹理用于破坏蒸汽屏障。无论如何,铸造带表面可以是光滑的、粗糙的、凸起的、锯齿状的,纹理的和/或抛光的。铸造带可以镀或覆盖有铬、镍、铜、钛和/或碳纤维。

[0127] 在本发明的一个实施例中,由集成的振动/冷却探头提供的增强的振动能量耦合和/或增强的冷却允许下列中的一个或多个1)在不使用TiBor的化学添加的情况下获得等轴晶粒结构,2)增加的带寿命,导致产率提高,3)由于冷却介质离开探头的尖端而增加了空化。在本发明的一个实施例中,由集成的振动/冷却探头提供的增强的振动能量耦合和/或

增强的冷却允许修改和/或增加可能潜在地导致合成功能化合金的凝固热力学。

[0128] 本发明的方面

[0129] 在本发明的一个方面,振动能量(来自低频机械驱动的振动器,以每分钟8,000至15,000次振动的范围或最高10KHz和/或5至400kHz范围内的超声频率)可以在冷却期间应用于熔融金属抑制。在本发明的一个方面,振动能量可以以多中不同的频率施加。在本发明的一个方面,振动能量可以应用于各种金属合金,包括但不限于下面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;包括下列项的金属合金: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)),和包括下列项的标准等级的铝合金:1100、1350、2024、2224、5052、5154、5356、5183、6101、6201、6061、6053、7050、7075、8XXX系列;包括下列项的铜合金:青铜(如上所述)和与锌、锡、铝、硅、镍、银的组合合金化的铜;与下列项合金化的镁:铝、锌、锰、硅、铜、镍、锆、铍、钙、铈、钆、铈、锡、钇、稀土;铁和与下列项合金化的铁:铬、碳、硅铬、镍、钾、钪、铈、铈、钛、铅、镁、锡、钨;以及其他合金及其组合。

[0130] 在本发明的一个方面,振动能量(来自低频机械驱动的振动器,以每分钟8,000至15,000次振动的范围或最高10KHz和/或5至400kHz范围内的超声频率)通过与带接触的液体介质耦合到在熔融金属加工装置34下的凝固的金属中。在本发明的一个方面,振动能量机械地耦合在565和5,000Hz之间。在本发明的一个方面中,振动能量在甚至更低的频率下被机械驱动,最低每秒钟不到一次振动,最高每秒565次振动。在本发明的一个方面,振动能量在5kHz范围至400kHz的频率下被超声驱动。在本发明的一个方面,振动能量被耦合通过含有振动能量源40的壳体44。壳体44连接到其他结构元件,诸如与通道的壁接触或直接与熔融金属接触的带36或辊38。在本发明的一个方面,当金属冷却时,该机械耦合将振动能量从振动能量源传输到熔融金属中。

[0131] 在一个方面,冷却介质可以是液体介质,诸如水。在一个方面,冷却介质可以是气态介质,诸如压缩空气或氮气之一。在一个方面,冷却介质可以是相变材料。优选的是冷却介质以足够的速率提供以使与带36相邻的金属过冷却(高于合金的液相温度的量小于5至10°C或甚至低于液相线温度)。

[0132] 在本发明的一个方面中,获得铸造产品内的等轴晶粒,而无需向金属或金属合金中添加诸如硼化钛的杂质颗粒以增加晶粒的数量并改善均匀的异质凝固。在本发明的一个方面,代替使用成核试剂,振动能量可以用于创建成核位点。

[0133] 在操作期间,在远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的通道中并在熔融金属加工装置34下方通过,在熔融金属加工装置34处熔融金属暴露于振动能量(即,超声或机械驱动的振动)。流入铸件的通道的熔融金属的温度取决于所选合金的类型、浇注速率、铸造轮通道的尺寸等。对于铝合金,铸造温度的范围可以从1220°F至1350°F,优选范围介于其之间,诸如1220至1300°F、1220至1280°F、1220至1270°F、1220至1340°F、1240至1320°F、1250至1300°F、1260至1310°F、1270至1320°F、1320至1330°F,其中重叠和中间范围以及+/-10华氏度的变化也是合适的。冷却铸造轮30的通道以确保通道中的熔融金属接近亚液相线温度(例如,高于合金的液相温度的量小于5至10°C或甚至低于液相线温度,虽然浇注温度可以远高于10°C)。在操作期间,可以通过护罩(未示出)控制熔融金属周围的大气,该护罩例如用惰性气体(诸如氩气、氦气或氮气)填充或吹扫。铸造轮30上

的熔融金属通常处于热停滞状态,在该状态下熔融金属从液体转变为固体。

[0134] 由于接近亚液相线温度的过冷却,凝固速率不够慢以允许通过固-液界面的平衡,这进而导致整个铸棒的组合物的变化。化学组合物的不均匀性导致分离。此外,偏析量与熔融金属中各种元素的扩散系数以及热转移速率直接相关。另一种类型的分离是熔点较低的组分首先冻结的地方。

[0135] 在本发明的超声或机械驱动的振动实施例中,振动能量在熔融金属冷却时摇动熔融金属。在该实施例中,振动能量被赋予能量,该能量摇动并有效地搅拌熔融金属。在本发明的一个实施例中,机械驱动的振动能量用于在熔融金属冷却时连续搅拌熔融金属。在各种铸造合金工艺中,希望使高浓度的硅进入铝合金中。然而,在较高的硅浓度下,可以形成硅沉淀物。通过将这些沉淀物“再混合”回到熔融状态,元素硅可以至少部分地回到溶液中。可替代地,即使沉淀物残留,混合也不会导致硅沉淀物分离,从而在下游金属冲模和辊上引起更多的磨料磨损。

[0136] 在各种金属合金体系中,在合金的一种组成部分(通常是较高熔点组成部分)以纯净形式沉淀,实际上用纯组成部分的颗粒“污染”合金的情况下,发生相同类型的效应。通常,当铸造合金时,发生偏析,由此在整个铸造中溶质的浓度不恒定。这可能是由各种工艺引起的。在与枝晶臂间距的尺寸相当的距离上发生的微观偏析被认为是由于以低于最终平衡浓度的浓度形成的第一固体导致的,这导致多余的溶质分裂到液体中,因此随后形成的固体具有更高的浓度。在与铸件尺寸相似的距离上发生宏观偏析。这可能是由于铸件凝固时涉及收缩效应的许多复杂工艺以及当溶质被分裂时液体密度的变化引起的。期望在铸造期间防止偏析,以提供始终具有均匀性质的固体坯料。

[0137] 因此,将受益于本发明的振动能量处理的一些合金包括上述那些合金。

[0138] 其他配置

[0139] 本发明不限于仅将振动能量的使用应用于上述通道结构。一般来说,振动能量(来自低频机械驱动的振动器,范围最高10KHz和/或范围为5到400kHz的超声频率)可以在铸造工艺中熔融金属开始从熔融状态冷却并进入固态(即热停滞状态)的点处引起成核。换言之,在各种实施例中,本发明将来自各种源的振动能量与热管理相结合,使得与冷却表面相邻的熔融金属接近合金的液相线温度。在这些实施例中,通道中的或抵靠铸造轮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),而振动能量产生核和/或破坏可能在铸造轮30中的通道的表面上形成的枝晶。

[0140] 在本发明的一个实施例中,可以在不激励或不连续激励振动能量源的情况下获得与铸造工艺相关的有益方面。在本发明的一个实施例中,可以在编程的开/关循环期间通过控制到振动能量源的功率来激励振动能量源,其中占空比的范围为0至100%、10-50%、50-90%、40至60%、45%至55%的百分比,以及介于其之间的所有中间范围。

[0141] 在本发明的另一个实施例中,在带36接触熔融金属之前,将振动能量(超声或机械驱动的)直接注射到铸造轮中铸造的熔融铝中。振动能量的直接施加导致熔体中的交替压力。将超声能量作为振动能量直接施加到熔融金属可以在熔融熔体中引起空化。

[0142] 虽然不受任何特定理论的束缚,但是空化由下列项组成:在液体中形成微小的不连续或空腔,然后是它们的生长、脉动和塌陷。空腔出现的原因是稀疏阶段中声波产生的拉伸应力。如果在形成空腔后拉伸应力(或负压)持续存在,则空腔将膨胀至初始尺寸的数倍。

在超声场中的空化期间,许多空腔同时出现在小于超声波长的距离处。在这种情况下,空腔气泡保持其球形。空化气泡的后续行为是高度可变的:一小部分气泡聚结以形成大气泡,但几乎所有气泡都在压缩阶段被声波塌陷。在压缩期间,这些空腔中的一些可能由于压缩应力而塌陷。因此,当这些空化塌陷时,熔体中会发生高冲击波。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坏枝晶和其他生长核,从而生成新的核,这进而导致等轴晶粒结构。另外,在本发明的另一个实施例中,连续超声振动可以有效地使形成的核均匀化,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以有效地使形成的核均匀化,进一步有助于等轴结构。

[0143] 图4是根据本发明的一个实施例的铸造轮配置的示意图,具体地其中振动探头装置66具有直接插入铸造轮60中铸造的熔融金属的探头(未示出)。探头将是与现有技术中已知的用于超声脱气相似的结构。图4描绘了将带68压在铸造轮60的边缘上的辊62。振动探头装置66将振动能量(超声或机械驱动的能量)直接或间接地耦合到铸造轮60的通道(未示出)中的熔融金属铸件中。当铸造轮60逆时针旋转时,熔融金属在辊62下方经过并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的组装件42,但没有振动器40。该装置64可以类似于图3A的熔融金属加工装置34,但没有机械振动器40。

[0144] 在该实施例中,如图4所示,用于铸造机的熔融金属加工装置利用至少一个振动能量源(即,振动探头装置66),在冷却铸造轮中的熔融金属时,该振动能量源通过插入铸造轮中铸造的熔融金属中(优选但不一定直接插入铸造轮中铸造的熔融金属中)的探头供应振动能量。支撑装置将振动能量源(振动探头装置66)保持在适当位置。

[0145] 在本发明的另一个实施例中,可以在熔融金属冷却时通过使用声振荡器通过空气或气体作为介质将振动能量耦合到熔融金属中。声振荡器(例如,音频放大器)可以用于生成声波并将声波传输到熔融金属中。在该实施例中,上面讨论的超声或机械驱动的振动器将由声振荡器代替或补充。适用于本发明的音频放大器将提供1至20,000Hz的声振荡。可以使用高于或低于该范围的声振荡。例如,可以使用从0.5到20Hz;10至500Hz、200至2,000Hz、1,000至5,000Hz、2,000至10,000Hz、5,000至14,000Hz、以及10,000至16,000Hz、14,000至20,000Hz和18,000至25,000Hz的声振荡。电声换能器可用于生成和传输声能。

[0146] 在本发明的一个实施例中,声能可以通过气态介质直接耦合到熔融金属中,其中声能使熔融金属振动。在本发明的一个实施例中,声能可以通过气态介质间接地耦合到熔融金属中,其中声能使带36或含有熔融金属的其他支撑结构振动,这进而使熔融金属振动。

[0147] 除了在上述连续轮式铸造系统中使用本发明的振动能量处理之外,本发明还在固定模具和竖直铸造机具有实用性。

[0148] 对于固定机,熔融金属将被浇注到固定铸件62中,诸如图5中所示的铸件,固定铸件62本身具有熔融金属加工装置34(示意性地示出)。通过这种方式,振动能量(来自低频机械驱动的振动器,其以最高10kHz和/或范围为5至400kHz的超声频率操作)可以在固定铸件中熔融金属开始从熔融状态冷却并进入固态(即热停滞状态)的点处引起成核。

[0149] 图6A-图6D描绘了竖直铸造机的所选部件。竖直铸造机的这些部件和其他方面的更多细节可以在美国专利号3,520,352(其全部内容通过引用并入本文)中找到。如图6A-图6D所示,竖直铸造机包括熔融金属铸造空腔213,该空腔213在所示实施例中为大致方形,但可以是圆形、椭圆形、多边形或任何其他合适的形状,并且通过位于模具顶部的垂直的、相

互交叉的第一壁部分215和第二或角壁部分217限定。流体保持封套219围绕与其间隔开的铸造空腔的壁215和拐构件217。封套219适于经由入口导管221接收诸如水的冷却流体,并且经由出口导管223排出冷却流体。

[0150] 虽然第一壁部分215优选地由诸如铜的高导热材料制成,但是第二或壁角部分217由较低导热材料(诸如例如陶瓷材料)构成。如图6A-图6D所示,角壁部分217具有大致L形或有角度的横截面,并且每个角的竖直边缘向下并且朝向彼此会聚地倾斜。因此,角部件217终止于位于横向部分之间的模具的排出端上方的模具中的某个方便的水平。

[0151] 在操作中,熔融金属从中间罐245流入竖直往复运动的铸造模具中,并且从模具中连续地取出金属的铸造线股。熔融金属首先在可以被认为是第一冷却区域中接触冷却器模具壁后在模具中冷却。在该区域中从熔融金属中迅速移除热量,并且认为材料表层完全围绕熔融金属的中心池形成。

[0152] 在本发明的一个实施例中,振动能量源(为简单起见仅在图6D中示意性地示出振动器40)将相对于流体保持封套219设置并且优选地设置在流体保持封套219中循环的冷却介质中。当熔铸金属从液体转变为固体时并且当金属铸造线股从金属铸造空腔213连续取出时,振动能量(来自低频机械驱动振动器,在每分钟8,000至15,000次振动的范围和/或5至400kHz范围内的超声频率和/或上述声振荡器)将在铸造工艺中熔融金属开始从熔融状态冷却并进入固态(即热停滞状态)的点处引入成核。

[0153] 本发明还可以应用于各种其他铸造方法,包括但不限于连续铸造、直接冷淬铸造和固定模具。本文概述的主要实施例将振动应用于连续铸造轮和带配置,其中轮是容纳结构。然而,还有其他连续铸造方法,诸如双辊铸造,其使用辊或带设计作为容纳结构,如图15和16所示。在双辊铸造方法中,熔融金属经由流槽系统75供应到铸造机进入容纳结构。容纳结构可以具有各种宽度,最高但不限于22826mm,并且长度最高但不限于2.03m。在这些配置中,熔融金属供应在模具的一侧上,并在冷却时沿模具的长度连续移动;因此,作为凝固金属以片材形式78离开。例如,当熔融金属在容纳结构中凝固时,振动(超声、机械或其组合)可以通过振动供应装置77(直接地或通过冷却介质)施加到带78或辊76的与熔融金属相对的一侧。

[0154] 在本发明的一个实施例中,将上述超声晶粒细化与上述超声脱气相结合,以在铸造金属之前从熔融浴中除去杂质。图9是描绘利用超声脱气和超声晶粒细化的本发明实施例的示意图。如图所示,炉是熔融金属的源。熔融金属从炉运输在流槽中。在本发明的一个实施例中,在将熔融金属提供到含有超声晶粒细化剂(未示出)的铸造机器(例如,铸造轮)之前,将超声脱气器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不需要在超声频率下发生,而是可以在其他地方讨论的其他机械驱动频率中的一个或多个下发生。

[0155] 虽然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。一种合适的脱气器将是超声装置,该超声装置具有:超声换能器;细长探头,其包括第一端和第二端,第一端附接到超声换能器,并且第二端包括尖端;以及吹扫气体输送系统,其中吹扫气体输送系统可以包括吹扫气体入口和吹扫气体出口。在一些实施例中,吹扫气体出口可以在细长探头的尖端的约10cm(或5cm,或1cm)内,而在其他实施例中,吹扫气体出口可以在细长探头的尖端处。另外,超声装置可以针对每个超声换能器包括多个探头

组装件和/或多个探头。

[0156] 虽然不限于以下特定的超声脱气器,但‘397专利描述了也适用于本发明的不同实施例的脱气器。一种合适的脱气器将是超声装置,该超声装置具有:超声换能器;探头,其附接到超声换能器,探头包括尖端;以及气体输送系统,气体输送系统包括气体入口、通过探头的气体流动路径,以及探头的尖端处的气体出口。在一个实施例中,探头可以是包括第一端和第二端的细长探头,第一端附接到超声换能器,并且第二端包括尖端。此外,探头可以包括不锈钢、钛、铌、陶瓷等、或这些材料中任何一种的组合。在另一个实施例中,超声探头可以是整体SIALON探头,其中集成的气体输送系统穿过该整体SIALON探头。在又一个实施例中,超声装置可以针对每个超声换能器包括多个探头组装件和/或多个探头。

[0157] 在本发明的一个实施例中,使用例如上面讨论的超声探头的超声脱气补充了超声晶粒细化。在超声脱气的各种示例中,例如通过上述探头以从约1L/min至约50L/min的范围的速率向熔融金属添加吹扫气体。通过公开流速在从约1L/min至约50L/min的范围内,流速可以是约1L/min、约2L/min、约3L/min、约4L/min、约5L/min、约6L/min、约7L/min、约8L/min、约9L/min、约10L/min、约11L/min、约12L/min、约13L/min、约14L/min、约15L/min、约16L/min、约17L/min、约18L/min、约19L/min、约20L/min、约21L/min、约22L/min、约23L/min、约24L/min、约25L/min、约26L/min、约27L/min、约28L/min、约29L/min、约30L/min、约31L/min、约32L/min、约33L/min、约34L/min、约35L/min、约36L/min、约37L/min、约38L/min、约39L/min、约40L/min、约41L/min、约42L/min、约43L/min、约44L/min、约45L/min、约46L/min、约47L/min、约48L/min、约49L/min或约50L/min。另外,流速可以在从约1L/min至约50L/min的任何范围内(例如,速率在约2L/min至约20L/min的范围内),并且这还包括约1L/min和约50L/min之间的范围的任何组合。中间范围是可能的。同样地,本文公开的所有其他范围应以类似方式解释。

[0158] 与超声脱气和超声晶粒细化有关的本发明的实施例可以提供用于熔融金属的超声脱气的系统、方法和/或装置,熔融金属包括但不限于铝、铜、钢、锌、镁等、或这些和其他金属(例如合金)的组合。从熔融金属加工或铸造制品可能需要含有熔融金属的浴,并且熔融金属的这种浴可以保持在升高的温度下。例如,熔融铜可以保持在约1100°C的温度下,而熔融铝可以保持在约750°C的温度下。

[0159] 如本文所用,术语“浴”、“熔融金属浴”等意味着包括可能含有熔融金属的任何容器:包括容器、坩埚、沟槽、流槽、炉、浇包等。浴和熔融金属浴术语用于包括批量、连续、半连续等操作,并且例如,其中熔融金属通常是静态的(例如,通常与坩埚相关联)并且其中熔融金属是通常在运动中(例如,通常与流槽相关)。

[0160] 许多仪器或装置可以用于监视、测试或改变浴中的熔融金属的条件、并且用于期望金属制品的最终产生或铸造。需要这些仪器或装置更好地承受熔融金属浴中遇到的升高的温度,有利地具有更长的寿命并且限于与熔融金属没有反应性,无论金属是铝、还是铜、还是钢、还是锌、还是镁等(或金属包括铝、或铜、或钢、或锌、或镁等)。

[0161] 此外,熔融金属可以具有溶解在其中的一种或多种气体,并且这些气体可能对期望金属制品的最终产生和铸造和/或金属制品本身的所得物理性质产生负面影响。例如,溶解在熔融金属中的气体可以包括氢气、氧气、氮气、二氧化硫等、或其组合。在某些情况下,去除气体或减少熔融金属中的气体量可能是有利的。作为示例,溶解的氢气在铸造铝(或

铜、或其他金属或合金)时可能是有害的,因此,由铝(或铜、或其他金属或合金)产生的成品制品的性能可以通过以下方式改善:减少铝(或铜、或其他金属或合金)的熔融浴中夹带的氢气量。超过0.2ppm、超过0.3ppm或超过0.5ppm(基于质量)的溶解的氢气可能对铸造速率和所得铝(或铜、或其他金属或合金)杆和其他制品的质量具有不利影响。氢气可以通过其存在于含有熔融铝(或铜、或其他金属或合金)的浴上方的大气中而进入熔融铝(或铜、或其他金属或合金)浴,或者氢气可以存在于在熔融铝(或铜、或其他金属或合金)浴中使用的铝(铜、或其他金属或合金)原料起始材料。

[0162] 尝试减少熔融金属浴中溶解气体的量尚未完全成功。通常,过去的这些工艺涉及额外且昂贵的设备以及潜在的危险材料。例如,在金属铸造工业中用于降低熔融金属的溶解气体含量的工艺可以由转子组成,该转子由诸如石墨的材料制成,并且这些转子可以放置在熔融金属浴内。另外,可以在与熔融金属浴内的转子相邻的位置处将氯气加入到熔融金属浴。虽然在某些情况下氯气加入可以成功地减少例如熔融金属浴中溶解的氢气的量,但是这种常规工艺具有明显的缺点,其中最重要的是成本、复杂性以及潜在危险且潜在地对环境有害的氯气的使用。

[0163] 另外,熔融金属可能在其中具有杂质,并且这些杂质可能负面影响期望金属制品的最终产生和铸造,并/或金属制品本身的所得物理性质。例如,熔融金属中的杂质可以包括在熔融金属中既不需要也不期望存在的碱金属或其他金属。小百分比的某些金属存在于各种金属合金中,并且这些金属不会被认为是杂质。作为非限制性示例,杂质可以包括锂、钠、钾、铅等、或其组合。各种杂质可以通过它们存在于熔融金属浴中使用的进入金属原料起始材料而进入熔融金属浴(铝、铜或其他金属或合金)。

[0164] 与超声脱气和超声晶粒细化有关的本发明的实施例可以提供用于减少熔融金属浴中的溶解气体的量的方法,或者换句话说,用于使熔融金属脱气的方法。一种这样的方法可以包括:在熔融金属浴中操作超声装置;以及紧邻超声装置将吹扫气体引入熔融金属浴中。溶解气体可以是或可以包括氧气、氢气、二氧化硫等、或其组合。例如,溶解气体可以是或可以包括氢气。熔融金属浴可以包括铝、铜、锌、钢、镁等、或其混合物和/或组合(例如,包括铝、铜、锌、钢、镁等的各种合金)。在与超声脱气和超声晶粒细化有关的一些实施例中,熔融金属浴可以包括铝,而在其他实施例中,熔融金属浴可以包括铜。因此,浴中的熔融金属可以是铝,或者可替代地,熔融金属可以是铜。

[0165] 此外,本发明的实施例可以提供用于减少熔融金属浴中存在的杂质的量的方法,或者换句话说,用于去除杂质的方法。与超声脱气和超声晶粒细化有关的一种这样的方法可以包括:在熔融金属浴中操作超声装置;以及紧邻超声装置将吹扫气体引入熔融金属浴中。杂质可以是或可以包括锂、钠、钾、铅等、或其组合。例如,杂质可以是或可以包括锂,或者可替代地可以是或可以包括钠。熔融金属浴可以包括铝、铜、锌、钢、镁等、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,熔融金属浴可以包括铝,而在其他实施例中,熔融金属浴可以包括铜。因此,浴中的熔融金属可以是铝,或者可替代地,熔融金属可以是铜。

[0166] 与本文公开的脱气的方法和/或除去杂质的方法中使用的超声脱气和超声晶粒细化有关的吹扫气体可以包括氮气、氦气、氖气、氩气、氪气和/或氙气中的一种或多种,但不限于此。预期任何合适的气体可用作吹扫气体,条件是气体不会明显地与熔融金属浴中

的特定金属反应或溶解在熔融金属浴中的特定金属中。另外,可以使用气体的混合物或组合。根据本文公开的一些实施例,吹扫气体可以是或可以包括惰性气体;可替代地,吹扫气体可以是或可以包括稀有气体;可替代地,吹扫气体可以是或可以包括氦气、氖气、氩气或其组合;可替代地,吹扫气体可以是或可以包括氦气;可替代地,吹扫气体可以是或可以包括氖气;可替代地,吹扫气体可以是或可以包括氩气。另外,申请人预期了,在一些实施例中,常规脱气技术可以与本文公开的超声脱气方法结合使用。因此,在一些实施例中,吹扫气体可进一步包括氯气,诸如单独使用氯气作为吹扫气体或者氯气与氮气、氦气、氖气、氩气、氪气和/或氙气中的至少一种组合使用。

[0167] 然而,在本发明的其他实施例中,与用于脱气或用于减少熔融金属浴中的溶解气体的量的超声脱气和超声晶粒细化有关的方法可以在基本不存在氯气或没有氯气存在的情况下进行。如本文所用,基本上不存在意味着基于所用的吹扫气体的量,可以使用不超过5%的重量的氯气。在一些实施例中,本文公开的方法可以包括引入吹扫气体,并且该吹扫气体可选自由氮气、氦气、氖气、氩气、氪气、氙气及其组合组成的组。

[0168] 引入熔融金属浴中的吹扫气体的量可以根据许多因素而变化。通常,与根据本发明的实施例引入熔融金属的脱气方法(和/或从熔融金属中除去杂质的方法)的超声脱气和超声晶粒细化有关的吹扫气体的量可以落入从约0.1至约150标准升/分钟(L/min)的范围。在一些实施例中,引入的吹扫气体的量的范围可以从约0.5至约100L/min、从约1至约100L/min、从约1至约50L/min、从约1至约35L/min、从约1至约25L/min、从约1至约10L/min、从约1.5至约20L/min、从约2至约15L/min、或从约2至约10L/min。这些体积流速以标准升/分钟为单位,即在标准温度(21.1°C)和压力(101kPa)下。

[0169] 在连续或半连续熔融金属操作中,引入熔融金属浴的吹扫气体的量可以基于熔融金属输出或产生速率而变化。因此,根据与超声脱气和超声晶粒细化有关的这些实施例引入熔融金属的脱气方法(和/或从熔融金属中除去杂质的方法)的吹扫气体的量可以落在对于每kg/hr的熔融金属从约10至约500mL/hr的吹扫气体(mL吹扫气体/kg熔融金属)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的比率的范围可以从约10至约400mL/kg;可替代地,从约15至约300mL/kg;可替代地,从约20至约250mL/kg;可替代地,从约30至约200mL/kg;可替代地,从约40至约150mL/kg;可替代地,从约50至约125mL/kg。如上所述,吹扫气体的体积流量处于标准温度(21.1°C)和压力(101kPa)。

[0170] 符合本发明的实施例并且与超声脱气和超声晶粒细化有关的用于对熔融金属脱气的方法可以有效地除去熔融金属浴中存在的大于约10%的重量的溶解气体,即熔融金属浴中的溶解气体的量可以从使用脱气工艺之前存在的溶解气体的量减少大于约10%的重量。在一些实施例中,存在的溶解气体的量可以从使用脱气工艺之前存在的溶解气体的量减少大于约15%的重量、大于约20%的重量、大于约25%的重量、大于约35%的重量、大于约50%的重量、大于约75%的重量,或大于约80%的重量。例如,如果溶解气体是氢气,则含有铝或铜的熔融浴中的氢气的水平大于约0.3ppm或0.4ppm或0.5ppm(基于质量)可能是有害的,并且通常熔融金属中的氢气含量可以是约0.4ppm、约0.5ppm、约0.6ppm、约0.7ppm、约0.8ppm、约0.9ppm、约1ppm、约1.5ppm、约2ppm,或大于2ppm。预期采用本发明的实施例中公开的方法可以将熔融金属浴中溶解气体的量减少至小于约0.4ppm;可替代地,减少至小于约0.3ppm;可替代地,减少至小于约0.2ppm;可替代地,减少至在从约0.1至约0.4ppm的范围

内;可替代地,减少至在从约0.1至约0.3ppm的范围内;可替代地,减少至在从约0.2至约0.3ppm的范围内。在这些和其他实施例中,溶解气体可以是或可以包括氢气,并且熔融金属浴可以是或可以包括铝和/或铜。

[0171] 与超声脱气和超声晶粒细化有关并且涉及脱气(例如,减少包括熔融金属的浴中的溶解气体的量)的方法或者去除杂质的方法的本发明的实施例可以包括在熔融金属浴中操作超声装置。超声装置可以包括超声换能器和细长探头,并且探头可以包括第一端和第二端。第一端可以附接到超声换能器,并且第二端可以包括尖端,并且细长探头的尖端可以包括铌。下面描述可以在本文公开的工艺和方法中采用的超声装置的说明性和非限制性示例的细节。

[0172] 由于涉及超声脱气工艺或除去杂质的工艺,可以例如在超声装置附近的位置处将吹扫气体引入熔融金属浴中。在一个实施例中,可以在超声装置的尖端附近的位置处将吹扫气体引入熔融金属浴中。在一个实施例中,可以在超声装置的尖端的约1米内(例如,在超声装置的尖端的约100cm内、约50cm内、约40cm内、约30cm、约25cm内、或约20cm内)将吹扫气体引入熔融金属浴中。在一些实施例中,可以在超声装置的尖端的约15cm内;可替代地,在大约10cm内;可替代地,在约8cm内;可替代地,在约5cm内;可替代地,在约3cm内;可替代地,在约2cm内;可替代地,在约1cm内,将吹扫气体引入熔融金属浴中。在一个特定实施例中,可以与超声装置的尖端相邻或穿过超声装置的尖端,将吹扫气体引入熔融金属浴中。

[0173] 虽然不旨在受该理论的束缚,但使用超声装置和紧密接近地掺入吹扫气体导致含有熔融金属的浴中的溶解气体的量的显着减少。由超声装置产生的超声能量可在熔体中创建空化气泡,溶解气体可以扩散到该空化气泡中。然而,在不存在吹扫气体时,许多空化气泡可能在到达熔融金属浴的表面之前塌陷。吹扫气体可以减少在到达表面之前塌陷的空化气泡的量,并/或可以增加含有溶解气体的气泡的尺寸,并/或可以增加熔融金属浴中的气泡数量,并/或可以增加含有溶解气体的气泡到熔融金属浴表面的运输速度。超声装置可以在紧密接近超声装置的尖端内创建空化气泡。例如,对于具有直径为约2至5cm的尖端的超声装置,空化气泡可在塌陷前处于超声装置尖端的约15cm、约10cm、约5cm、约2cm或约1cm内。如果在距离超声装置的尖端太远的距离处添加吹扫气体,则吹扫气体可能不能扩散到空气泡中。因此,在与超声脱气和超声晶粒细化有关的实施例中,在超声装置的尖端的约25cm或约20cm内,并且更有利地,在超声装置的尖端的约15cm内、约10cm内、约5cm内、约2cm内、或约1cm内,将吹扫气体引入熔融金属浴中。

[0174] 根据本发明实施例的超声装置可以与诸如铝或铜的熔融金属接触,例如,如美国专利公开号2009/0224443中所公开的,该专利公开通过引用整体并入本文。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,铌或其合金可以在其暴露于熔融金属时用作装置的保护屏障,或者作为直接暴露于熔融金属的装置的部件。

[0175] 与超声脱气和超声晶粒细化有关的本发明的实施例可以提供用于增加直接与熔融金属接触的部件的寿命的系统和方法。例如,本发明的实施例可以使用铌来减少与熔融金属接触的材料降解,从而导致最终产品的显着质量改善。换言之,通过使用铌作为保护屏障,本发明的实施例可以增加与熔融金属接触的材料或部件的寿命或保护该材料或部件。铌可以具有例如其高熔点的性质,这可以有助于提供本发明的前述实施例。此外,当暴露于约200°C或更高的温度时,铌也可形成保护氧化物屏障。

[0176] 此外,与超声脱气和超声晶粒细化有关的本发明的实施例可以提供用于增加直接与熔融金属接触或接合的部件的寿命的系统和方法。由于铌与某些熔融金属的反应性低,因此使用铌可以防止基板材料降解。因此,与超声脱气和超声晶粒细化有关的本发明的实施例可以使用铌来减少基板材料的降解,从而导致最终产品的显着质量改善。因此,与熔融金属相关联的铌可以将铌的高熔点和与熔融金属(诸如铝和/或铜)的低反应性结合。

[0177] 在一些实施例中,铌或其合金可用于包括超声换能器和细长探头的超声装置中。细长探头可以包括第一端和第二端,其中第一端可以附接到超声换能器,并且第二端可以包括尖端。根据该实施例,细长探头的尖端可以包括铌(例如,铌或其合金)。如上所述,超声装置可用于超声脱气工艺。超声换能器可以生成超声,并且附接到换能器的探头可以将超声波传输到包括熔融金属的浴中,所述熔融金属为诸如铝、铜、锌、钢、镁等、或者其混合物和/或组合(例如,包括各种铝、铜、锌、钢、镁等的合金)。

[0178] 在本发明的各种实施例中,使用超声脱气和超声晶粒细化的组合。超声脱气和超声晶粒细化的组合的使用提供了单独和组合两者的优点,如下所述。虽然不限于以下讨论,但是以下讨论提供了超声脱气和超声晶粒细化的组合伴随的独特效果的理解,导致铸造产品的整体质量的改善,这些改善在任何一个单独使用时将不是期望的。这些效果已经由发明人在他们开发这种组合的超声加工中实现。

[0179] 在超声脱气中,从金属铸造工艺中消除了氯化学品(在不使用超声脱气时使用)。当作为化学品的氯存在于熔融金属浴中时,氯可以与浴中的其他外来元素(诸如可能存在的碱)反应并形成强的化学键。当存在碱时,在熔融金属浴中形成稳定的盐,这可能导致铸造金属产品中的夹杂物,这会降低其导电性和机械性能。在没有超声晶粒细化的情况下,使用化学晶粒细化剂,诸如硼化钛,但这些材料通常含有碱。

[0180] 因此,通过超声脱气除去作为工艺元素的氯并且通过超声晶粒细化消除晶粒细化剂(碱源),在铸造金属产品中的稳定盐形成和所得夹杂物形成的可能性显着降低。此外,消除这些作为杂质的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,因为消除了两种主要杂质源而没有用一种外来杂质替代另一种杂质。

[0181] 通过超声脱气和超声晶粒细化的组合提供的另一个优点涉及超声脱气和超声晶粒细化两者均有效地“搅拌”熔融浴,使熔融材料均匀化的事实。当金属的合金熔化并且然后冷却至凝固时,由于不同合金比例的熔点各自不同,可能存在合金的中间相。在本发明的一个实施例中,超声脱气和超声晶粒细化两者均搅拌并将中间相混合回熔融相。

[0182] 所有这些优点允许获得小晶粒的产品,与当使用超声脱气或超声晶粒细化时或使用常规氯加工或化学晶粒细化剂代替其中之一或两者时将预期的相比,该产品具有:具有较少的杂质、较少的夹杂物、较好的导电性、较好的延展性和较高的拉伸强度。

[0183] 超声晶粒细化的论证

[0184] 已经使用图2和图3和图3B中所示的容纳结构,该结构具有的深度为10cm,宽度为8cm,在铸造轮30中形成矩形沟槽或通道。柔性金属带的厚度为6.35mm。柔性金属带的宽度为8cm。用于该带的钢合金是1010钢。在120W(每个探头)的功率下使用20KHz的超声频率供应到一个或两个换能器,该换能器具有与冷却介质中的水接触的振动探头。一段铜合金铸造轮用作模具。作为冷却介质,水在接近室温下被供应并以约15升/分钟流过通道46。

[0185] 以40kg/min的速率浇注熔融铝,从而产生示出与等轴晶粒结构一致的性能的连续铝铸件,尽管没有添加晶粒细化剂。实际上,使用这种技术,已经铸造了超过3亿磅的铝杆并将其拉成最终尺寸,以用于电线和电缆应用。

[0186] 金属制品

[0187] 在本发明的一个方面,包括铸造金属组合物的产品可以在铸造轮的通道中或在上面对应的铸造结构中形成,而不需要晶粒细化剂并且仍然具有亚毫米的晶粒尺寸。因此,铸造金属组合物可以用少于5%的包括晶粒细化剂的组合物制成,并且仍然获得亚毫米的晶粒尺寸。铸造金属组合物可以用少于2%的包括晶粒细化剂的组合物制成,并且仍然获得亚毫米的晶粒尺寸。铸造金属组合物可以用少于1%的包括晶粒细化剂的组合物制成,并且仍然获得亚毫米的晶粒尺寸。在优选的组合物中,晶粒细化剂小于0.5%或小于0.2%或小于0.1%。铸造金属组合物可以用不含晶粒细化剂的组合物制成,并且仍然获得亚毫米级的晶粒尺寸。

[0188] 铸造金属组合物可以具有各种亚毫米晶粒尺寸,这取决于许多因素,包括“纯”或合金金属的组分、浇注速率、浇注温度、冷却速率。可用于本发明的晶粒尺寸列表包括以下。对于铝和铝合金,晶粒尺寸的范围从200至900微米、或300至800微米、或400至700微米、或500至600微米。对于铜和铜合金,晶粒尺寸的范围从200至900微米、或300至800微米、或400至700微米、或500至600微米。对于金、银或锡或其合金,晶粒尺寸的范围从200至900微米、或300至800微米、或400至700微米、或500至600微米。对于镁或镁合金,晶粒尺寸的范围从200至900微米、或300至800微米、或400至700微米、或500至600微米。虽然以范围形式给出,但本发明也能够是中间值。在本发明的一个方面,可以加入小浓度(小于5%)的晶粒细化剂,以进一步将晶粒尺寸减小到100和500微米之间的值。铸造金属组合物可以包括铝、铜、镁、锌、铅、金、银、锡、青铜、黄铜及其合金。

[0189] 铸造金属组合物可以拉制或以其他方式形成棒股、杆、线股、片股、线、坯料和粒料。

[0190] 计算机化控制

[0191] 图1、图2、图3和图4中的控制器500可以通过图7中所示的计算机系统1201实现。计算机系统1201可以用作控制器500以控制上述铸造系统或采用本发明的超声处理的任何其他铸件系统或设备。虽然在图1、图2、图3和图4中单独描述为一个控制器,但是控制器500可以包括彼此通信和/或专用于特定控制功能的离散和独立处理器。

[0192] 特别地,控制器500可以专门地用控制算法编程,该控制算法执行图8中的流程图所描绘的功能。

[0193] 图8描绘了流程图,其元素可以编程或存储在计算机可读介质中或下面讨论的数据存储装置之一中。图8的流程图描绘了本发明的用于在金属产品中引入成核位点的方法。在步骤元素1802处,编程元件将指导将熔融金属浇注到熔融金属容纳结构中的操作。在步骤元素1804处,编程元件将指导例如通过使液体介质穿过熔融金属容纳结构附近的冷却通路冷却熔融金属容纳结构的操作。在步骤元素1806处,编程元件将指导将振动能量耦合到熔融金属中的操作。在该元素中,振动能量将具有在熔融金属中引入成核位点的频率和功率,如上所述。

[0194] 诸如熔融金属温度、浇注速率、通过冷却通道通路的冷却流以及模具冷却等元素

以及与通过轧机控制和拉制铸造产品(包括控制振动能源的功率和频率)有关的元素将用标准软件语言(下面讨论)编程,以产生包括指令的专用处理器,该指令用以应用本发明的方法来在金属产品中引入成核位点。

[0195] 更具体地,图7中所示的计算机系统1201包括总线1202或用于传送信息的其他通信机构、以及与总线1202耦接以处理信息的处理器1203。计算机系统1201还包括主存储器1204,诸如随机存取存储器(RAM)或其他动态存储装置(例如,动态RAM(DRAM)、静态RAM(SRAM)和同步DRAM(SDRAM)),主存储器1204耦接到总线1202以用于存储由处理器1203执行的信息和指令。另外,主存储器1204可以用于在处理器1203执行指令期间存储临时变量或其他中间信息。计算机系统1201还包括耦接到总线1202的只读存储器(ROM)1205或其他静态存储装置(例如,可编程只读存储器(PROM)、可擦除PROM(EPROM)和电可擦除PROM(EEPROM)),以用于存储处理器1203的静态信息和指令。

[0196] 计算机系统1201还包括耦接到总线1202的磁盘控制器1206,以控制用于存储信息和指令的一个或多个存储装置,诸如磁性硬盘1207、以及可移除介质驱动器1208(例如,软盘驱动器、只读光盘驱动器、读/写光盘驱动器、光盘自动点唱机、磁带驱动器和可移除磁光驱动器)。可以使用适当的装置接口(例如,小型计算机系统接口(SCSI)、集成装置电子器件(IDE)、增强型IDE(E-IDE)、直接存储器访问(DMA)或超DMA)将存储装置添加到计算机系统1201。

[0197] 计算机系统1201还可以包括专用逻辑装置(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))。

[0198] 计算机系统1201还可以包括耦接到总线1202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,诸如阴极射线管(CRT)或液晶显示器(LCD)。计算机系统包括输入装置,诸如键盘和指示装置,以用于与计算机用户(例如,与控制器500接口连接的用户)交互并向处理器1203提供信息。

[0199] 计算机系统1201响应于处理器1203执行包括在存储器(诸如主存储器1204)中的一个或多个指令的一个或多个序列,执行本发明的部分或全部加工步骤(诸如,例如关于在热停滞状态下向液态金属提供振动能量所描述的那些)。此类指令可以从另一计算机可读介质(诸如硬盘1207或可移除介质驱动器1208)读入主存储器1204。还可以采用多处理布置中的一个或多个处理器来执行包括在主存储器1204中的指令序列。在替代实施例中,可以使用硬连线电路代替软件指令或与软件指令组合。因此,实施例不限于硬件电路和软件的任何特定组合。

[0200] 计算机系统1201包括至少一个计算机可读介质或存储器,以用于保存根据本发明的教导编程的指令并用于包括本文所述的数据结构、表格、记录或其他数据。计算机可读介质的示例是光盘、硬盘、软盘、磁带、磁光盘、PROM(EPROM、EEPROM、闪速EPROM)、DRAM、SRAM、SDRAM或任何其他磁介质、光盘(例如,CD-ROM)、或任何其他光学介质、或其他物理介质、载波(下面描述)、或计算机可以读取的任何其他介质。

[0201] 存储在计算机可读介质中的任何一个或组合上,本发明包括用于控制计算机系统1201、用于驱动一个或多个装置以实现本发明、以及用于使计算机系统1201能够与人类用户交互的软件。这种软件可以包括但不限于装置驱动器、操作系统、开发工具和应用程序软

件。这种计算机可读介质还包括用于执行在实现本发明时执行的加工的全部或部分(如果加工是分布的)的本发明的计算机程序产品。

[0202] 本发明的计算机代码装置可以是任何可解释的或可执行的代码机构,包括但不限于脚本、可解释的程序、动态链接库(DLL)、Java类和完整的可执行程序。此外,可以分布本发明的加工的部分以获得更好的性能、可靠性和/或成本。

[0203] 本文使用的术语“计算机可读介质”是指参与向处理器1203提供指令以用于执行的任何介质。计算机可读介质可以采用许多形式,包括但不限于非易失性介质、易失性介质和传输介质。非易失性介质包括例如光盘、磁盘和磁光盘,诸如硬盘1207或可移除介质驱动器1208。易失性介质包括动态存储器,诸如主存储器1204。传输介质包括同轴电缆、铜线和光纤,包括构成总线1202的电线。传输介质也可以采用声波或光波的形式,诸如在无线电波和红外数据通信期间生成的声波或光波。

[0204] 计算机系统1201还可以包括耦接到总线1202的通信接口1213。通信接口1213提供耦接到网络链路1214的双向数据通信,网络链路1214连接到例如局域网(LAN)1215,或者连接到诸如因特网的另一通信网络1216。例如,通信接口1213可以是附接到任何分组交换LAN的网络接口卡。作为另一示例,通信接口1213可以是非对称数字订户线路(ADSL)卡、综合业务数字网(ISDN)卡或调制解调器,以提供与相应类型的通信线路的数据通信连接。还可以实现无线链路。在任何这种实施方式中,通信接口1213发送和接收携带表示各种类型的信息的数字数据流的电信号、电磁信号或光信号。

[0205] 网络链路1214通常通过一个或多个网络向其他数据装置提供数据通信。例如,网络链路1214可以通过本地网络1215(例如,LAN)或通过由服务提供商操作的设备提供到另一计算机的连接,该服务提供商通过通信网络1216提供通信服务。在一个实施例中,该能力允许本发明将多个上述控制器500联网在一起,以用于诸如工厂广泛自动化或质量控制之类的目的。本地网络1215和通信网络1216使用例如携带数字数据流的电信号、电磁信号或光信号、以及相关的物理层(例如,CAT 5电缆、同轴电缆、光纤等)。通过各种网络的信号和网络链路1214上的信号以及通过通信接口1213的信号(这些信号将数字数据传送到计算机系统1201并从计算机系统1201传送数字数据)可以在基带信号或基于载波的信号中实现。基带信号将数字数据作为描述数字数据比特流的未调制电脉冲进行递送,其中术语“比特”应广义地解释为表示符号,其中每个符号递送至少一个或多个信息比特。数字数据还可以用于调制载波,诸如利用在导电介质上传播的振幅、相位和/或频率移位键控信号,或者数字数据作为电磁波通过传播介质传输。因此,数字数据可以作为未调制的基带数据通过“有线”通信信道作发送和/或通过调制载波在不同于基带的预定频带内发送。计算机系统1201可以通过网络1215和1216、网络链路1214和通信接口1213传输和接收包括程序代码的数据。此外,网络链路1214可以通过LAN 1215提供到移动设备1217的连接,该移动设备1217为诸如个人数字助理(PDA)膝上型计算机或蜂窝电话。

[0206] 更具体地,在本发明的一个实施例中,提供了一种连续铸造和轧制系统(CCRS),其可以在连续的基础上直接从熔融金属产生纯导体级铝杆和合金导体级铝杆线圈。CCRS可以使用计算机系统1201中的一个或多个(如上所述)来实现控制、监视和数据存储。

[0207] 在本发明的一个实施例中,旨在提高高质量铝杆的产量,先进的计算机监视和数据采集(SCADA)系统监视和/或控制轧制机(即CCRS)。可以显示、绘制、存储和分析该系统的

附加变量和参数以进行质量控制。

[0208] 在本发明的一个实施例中,在数据采集系统中捕获以下后期制作测试工艺中的一个或多个。

[0209] 涡流裂痕检测器可以在线使用,以连续监视铝杆的表面质量。因为基质夹杂物充当不连续的缺陷,所以如果夹杂物位于杆的表面附近,则可以检测到夹杂物。在铝杆的铸造和轧制期间,成品中的缺陷可以来自工艺中的任何地方。不正确的熔融化学和/或金属中的过量氢气会在轧制工艺期间产生裂痕。涡流系统是非破坏性测试,并且CCRS的控制系统可以警告操作者上述缺陷中的任何一个。涡流系统可以检测表面缺陷,并将缺陷分类为小型、中型或大型。涡流结果可记录在SCADA系统中,并且跟踪到大量铝(或正在加工的其他金属)以及其何时产生。

[0210] 一旦杆在工艺结束时盘绕,铸铝的整体机械性能和电气性能就可以被测量并被记录在SCADA系统中。产品质量测试包括:拉伸、伸长率和电导率。拉伸强度是材料的强度的量度,并且是材料在断裂前在张力下可以承受的最大力。伸长率值是材料的延展性的量度。电导率测量通常报告为“国际退火铜标准”(IACS)的百分比。这些产品质量指标可以记录在SCADA系统中,并跟踪到大量的铝以及其何时产生。

[0211] 除了涡流数据,还可以使用扭曲测试进行表面分析。铸铝杆经受受控的扭转试验。与在轧制工艺期间创建的不适当的凝固、夹杂物和纵向缺陷相关联的缺陷在扭曲的杆上被放大并显露出来。通常,这些缺陷表现为与滚动方向平行的接缝形式。在杆顺时针和逆时针扭转之后的一系列平行线指示样品是均匀的,而在铸造工艺中的非均匀性将导致线波动。扭曲测试的结果可以记录在SCADA系统中,并跟踪到大量的铝以及其何时产生。

[0212] 样品和产品制备

[0213] 样品和产品可以利用上面详述的增强的振动能量耦合和/或增强的冷却技术用上述CCR系统制成。铸造和轧制工艺开始于来自熔融和保温炉的系统的连续熔融铝流,通过耐火衬里流槽系统输送到上面讨论的在线化学晶粒细化系统或超声晶粒细化系统。另外,CCR系统可以包括上面讨论的超声脱气系统,该超声脱气系统使用超声波和吹扫气体以便从熔融铝中除去溶解的氢气或其他气体。从脱气器中,金属将流到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。然后,流槽系统将熔融铝运输到中间罐。从中间罐中,熔融铝将被浇注到模具中,该模具如上所述由铜铸造环和钢带的周边凹槽形成,并且包括上述冷却剂注射口,以用于在振动能量探头的底部处或底部附近提供冷却剂流。通过来自多区域水歧管的喷嘴分配的水将熔融铝冷却成固态铸造棒,其中磁流量计用于关键区域。连续铝铸造棒从铸造环离开到棒提取递送机上,到达轧机。

[0214] 轧机可以包括单独驱动的轧机架,其减小了棒的直径。将杆发送到拉丝机,在拉丝机中将杆拉到预定的直径,然后盘绕。一旦棒在该工艺结束时盘绕,就将测量铸铝的整体机械性能和电气性能。质量测试包括:拉伸、伸长率和电导率。拉伸强度是材料的强度的量度,并且是材料在断裂前在张力下可以承受的最大力。伸长率值是材料的延展性的量度。电导率测量通常被报告为“国际退火铜标准”(IACS)的百分比。

[0215] 1) 拉伸强度是材料的强度的量度,是材料在断裂前在张力下可以承受的最大力。拉伸和伸长率测量在相同样品上进行。选择10英寸标距长度样品用于拉伸和伸长率测量。将杆样品插入拉伸机中。把夹具放在10英寸标距处。拉伸强度=破裂力(磅)/横截面积(π

r^2), 其中 r (英寸)是杆的半径。

[0216] 2) %伸长率 = $(L_1 - L_2) / L_1 \times 100$ 。 L_1 是材料的初始标距长度, 并且 L_2 是通过将来自张力测试的两个破裂样品放在一起并测量发生的失效而获得的最终长度。通常, 材料的延展性越大, 样品在拉伸中观察到的缩颈越多。

[0217] 3) 电导率: 电导率测量通常被报告为“国际退火铜标准”(IACS)的百分比。使用开尔文电桥进行电导率测量, 并且细节在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的单位; IACS值为100%是指在20°C下电导率为 5.80×10^7 西门子/米(58.0MS/m)。

[0218] 如上所述的连续杆工艺不仅可以用于产生电气级铝导体, 而且还可以用于利用超声晶粒细化和超声脱气的机械铝合金。为了测试和质量控制超声晶粒细化工艺, 铸棒样品将被收集和蚀刻。

[0219] 图10是ACSR线工艺流程图。其示出纯熔融铝转化为将用于ACSR线的铝线。转化工艺的第一步是将熔融铝转化为铝杆。在下一步骤中, 杆被拉过若干冲模, 并且根据端部直径, 这可以通过一次或多次拉动来完成。一旦将杆拉到最终直径, 就将线缠绕到重量范围在200和500磅之间的卷轴上。这些单独的卷轴将围绕钢股线电缆被成股为ACSR电缆, ACSR电缆含有若干单独的铝股线。股线的数量和每个股线的直径将取决于例如客户要求。

[0220] 图11是ACSS线工艺流程图。其示出纯熔融铝转化为将用于ACSS线的铝线。转化工艺的第一步是将熔融铝加工成铝杆。在下一步骤中, 杆被拉过若干冲模, 并且根据端部直径, 这可以通过一次或多次拉动来完成。一旦将杆拉到最终直径, 就将线缠绕到重量范围在200和500磅之间的卷轴上。这些单独的卷轴将围绕钢股线电缆被成股为ACSS电缆, ACSS电缆含有若干单独的铝股线。股线的数量和每个股线的直径将取决于客户要求。ACSR电缆和ACSS电缆之间的一个区别是, 一旦铝在围绕钢缆成股, 整个电缆在炉中进行热处理, 使铝处于极软状态。重要的是注意, 在ACSR中, 电缆的强度源自于由于铝和钢电缆的强度组合, 而在ACSS电缆中, 大部分强度来自ACSS电缆内的钢。

[0221] 图12是铝条带工艺流程图, 其中条带最终被加工成金属包层电缆。其示出, 第一步是将熔融铝转化为铝杆。在此之后, 将杆通过若干辊轧冲模进行辊轧以将其转化成条带, 通常宽约0.375英寸, 厚为约0.015-0.018英寸。将辊轧的条带加工成重约600磅的环形垫。重要的是要注意也可以使用辊轧工艺产生其他宽度和厚度, 但0.375英寸宽度和0.015至0.018英寸厚度是最常见的。然后在炉中对这些垫进行热处理, 以使垫达到中间退火状态。在这种情况下, 铝既不是完全硬的也不处于极软状态。然后将条带用作保护套, 该保护套组装成互锁金属带(条带)的盔甲, 该盔甲包封一个或多个绝缘电路导体。

[0222] 可以使用上述工艺将利用上述增强的振动能量耦合的本发明的超声晶粒细化材料制造成上述电线和电缆产品。

[0223] 本发明的一般陈述

[0224] 本发明的以下陈述提供了本发明的一个或多个特性, 并且不限制本发明的范围。

[0225] 陈述1、一种用于铸造机上的铸造轮的熔融金属加工装置, 包括: 组装件, 其安装在(或耦接到)铸造轮上, 该组装件包括至少一个振动能量源, 当铸造轮中的熔融金属被冷却时, 该振动能量源将振动能量(例如, 超声, 机械驱动和/或声能直接或间接供应)供应(例如, 具有进行供应的配置)到铸造轮中铸造的熔融金属; 支撑装置, 其保持至少一个振动能

量源;以及可选地,导引装置,其相对于铸造轮的移动导引组装件。在该熔融金属加工装置的一个方面,提供了一种用于将能量耦合到熔融金属中的能量耦合装置。熔融金属加工装置可选地包括在陈述106-128中的任何能量耦合装置。

[0226] 陈述2、根据陈述1所述的装置,其中支撑装置包括壳体,该壳体包括冷却通道以用于通过该冷却通道运输冷却介质。

[0227] 陈述3、根据陈述2所述的装置,其中冷却通道包括所述冷却介质,所述冷却介质包括水、气体,液态金属和发动机油中的至少一种。

[0228] 陈述4、根据陈述1、2、3或4所述的装置,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其组合。

[0229] 陈述5、根据陈述4所述的装置,其中超声换能器(例如,压电元件)被配置为提供最高400kHz的频率范围内的振动能量,或者其中超声换能器(例如,磁致伸缩元件)被配置为提供20至200kHz频率范围内的振动能量。

[0230] 陈述6、根据陈述1、2或3所述的装置,其中机械驱动的振动器包括多个机械驱动的振动器。

[0231] 陈述7、根据陈述4所述的装置,其中机械驱动的振动器被配置为提供最高10KHz的频率范围内的振动能量,或者其中机械驱动的振动器被配置为提供从每分钟8,000次至15,000次振动的频率范围的振动能量。

[0232] 陈述8a、根据陈述1所述的装置,其中铸造轮包括将熔融金属限制在铸造轮的通道中的带。

[0233] 陈述8b、根据陈述1-7中任一项所述的装置,其中组装件位于铸造轮的上方,并且在壳体中具有通路,用于将熔融金属限制在熔融金属从中穿过的铸造轮的所述通道中的带。

[0234] 陈述9、根据陈述8所述的装置,其中所述带沿着壳体被导引以允许来自冷却通道的冷却介质沿着带的与熔融金属相对的一侧流动。

[0235] 陈述10、根据陈述1-9中任一项所述的装置,其中支撑装置包括铌、铌合金、钛、钛合金、钽、钽合金、铜、铜合金、铍、铍合金、钢、钼、钼合金、不锈钢、陶瓷、复合材料、聚合物或金属中的至少一种或多种。。

[0236] 陈述11、根据陈述10所述的装置,其中陶瓷包括氮化硅陶瓷。

[0237] 陈述12、根据陈述11所述的装置,其中氮化硅陶瓷包括SIALON。

[0238] 陈述13、根据陈述1-12中任一项所述的装置,其中壳体包括耐火材料。

[0239] 陈述14、根据陈述13所述的装置,其中耐火材料包括铜、铌、铌和钼、钽、钨和铍、以及它们的合金中的至少一种。

[0240] 陈述15、根据陈述14所述的装置,其中耐火材料包括硅、氧或氮中的一种或多种。

[0241] 陈述16、根据陈述1-15中任一项所述的装置,其中至少一个振动能量源包括与冷却介质接触(例如,与流过支撑装置或导引装置的冷却介质接触)的多于一个的振动能量源。

[0242] 陈述17、根据陈述16所述的装置,其中至少一个振动能量源包括插入支撑装置中的冷却通道中的至少一个振动探头。

[0243] 陈述18、根据陈述1-3和6-15中任一项所述的装置,其中至少一个振动能量源包括

与支撑装置接触的至少一个振动探头。

[0244] 陈述19、根据陈述1-3和6-15中任一项所述的装置,其中至少一个振动能量源包括在支撑装置的基部处与带接触的至少一个振动探头。

[0245] 陈述20、根据陈述1-19中任一项所述的装置,其中至少一个振动能量源包括分布在支撑装置中的不同位置处的多个振动能量源。

[0246] 陈述21、根据陈述1-20中任一项所述的装置,其中导引装置设置在铸造轮的轮缘上的带上。

[0247] 陈述22、一种用于形成金属产品的方法,包括:将熔融金属提供到铸造机的容纳结构中;冷却容纳结构中的熔化金属,并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。用于形成金属产品的方法可以可选地包括陈述129-138中所述的任何步骤元素。

[0248] 陈述23、根据陈述22所述的方法,其中提供熔融金属包括将熔融金属浇注到铸造轮中的通道中。

[0249] 陈述24、根据陈述22或23所述的方法,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个供应所述振动能量。陈述25、根据陈述24所述的方法,其中供应所述振动能量包括提供从5到40kHz频率范围内的振动能量。陈述26、根据陈述22或23所述的方法,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。

[0250] 陈述27、根据陈述26所述的方法,其中供应所述振动能量包括提供从每分钟8,000次至15,000次振动的频率范围内或最高10KHz的频率范围的振动能量。

[0251] 陈述28、根据陈述22-27中任一项所述的方法,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种施加到保持熔融金属的容纳结构来冷却熔融金属。

[0252] 陈述29、根据陈述22-28中任一项所述的方法,其中提供熔融金属包括将所述熔融金属输送到模具中。

[0253] 陈述30、根据陈述22-29中任一项所述的方法,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。

[0254] 陈述31、根据陈述22-30中任一项所述的方法,其中提供熔融金属包括将所述熔融金属输送到水平或竖直铸造模具或双辊铸造模具中。

[0255] 陈述32、一种铸造机,其包括配置成冷却熔融金属的铸造模具、以及陈述1-21和/或陈述106-128中任一项的熔融金属加工装置。

[0256] 陈述33、根据陈述32所述的铸造机,其中模具包括连续铸造模具。

[0257] 陈述34、根据陈述32或33所述的铸造机,其中模具包括水平或竖直铸造模具。

[0258] 陈述35、一种铸造机,其包括:熔融金属容纳结构,其被配置为冷却熔融金属;以及振动能量源,其附接到熔融金属容器容纳件,并且被配置为将最高400kHz的频率范围下的振动能量耦合到熔融金属中。铸造机可以可选地包括陈述106-128中的能量耦合装置中的任何一个。

[0259] 陈述36、一种铸造机,其包括:熔融金属容纳结构,其配置成冷却熔融金属;以及机械驱动的振动能源,其附接到熔融金属容纳件,并且被配置为将最高10kHz的频率范围(包括每分钟0次到15,000次振动的范围和每分钟8,000次到15,000次振动的范围)下的振动能量耦合到熔融金属中。铸造机可以可选地包括陈述106-128中的能量耦合装置中的任何一个。

[0260] 陈述37、一种用于形成金属产品的系统,包括:用于将熔融金属浇注到熔融金属容纳结构中的装置;用于冷却熔融金属容器结构的装置;用于将最高400kHz的频率范围(包括每分钟0次到15,000次振动的范围、每分钟8,000次到15,000次振动的范围、最高10kHz的范围、15到40kHz的范围、或20到200kHz的范围)下的振动能量耦合到熔融金属的装置;以及控制器,其包括数据输入和控制输出,并且用控制算法编程,该控制算法允许陈述22-31和/或陈述129-138中记载的步骤元素中的任何一个的操作。

[0261] 陈述38、一种用于形成金属产品的系统,包括:陈述1-21和/或陈述106-128中任一项的熔融金属加工装置;控制器,其包括数据输入和控制输出,并且用控制算法编程,该控制算法允许陈述22-31和/或陈述129-138中记载的步骤元素中的任何一个的操作。

[0262] 陈述39、一种用于形成金属产品的系统,包括:组装件,其耦接到铸造轮,该组装件包括保持冷却介质的壳体,使得铸造轮中铸造的熔融金属由冷却介质冷却;以及装置,其相对于铸造轮的移动导引组装件。系统可以可选地包括陈述106-128中的能量耦合装置中的任何一个。

[0263] 陈述40、根据陈述38所述的系统,包括陈述2-3、8-15和21中限定的元素中的任何一个。

[0264] 陈述41、一种用于铸造机的熔融金属加工装置,包括:至少一个振动能量源,其在铸造轮中的熔融金属被冷却时将振动能量供应到铸造轮中铸造的熔融金属;以及支撑装置,其保持所述振动能量源。熔融金属加工装置可以可选地包括陈述106-128中的能量耦合装置中的任何一个。

[0265] 陈述42、根据陈述41所述的装置,包括陈述4-15中限定的元素中的任何一个。

[0266] 陈述43、一种用于铸造机上的铸造轮的熔融金属加工装置,包括:组装件,其耦接到铸造轮,该组装件包括:1)至少一个振动能量源,其在铸造轮中的熔融金属被冷却时向铸造轮中铸造的熔融金属供应振动能量,2)支撑装置,其保持所述至少一个振动能量源,以及3)可选的导引装置,其相对于铸造轮的移动导引组装件。熔融金属加工装置可以可选地包括陈述106-128中的能量耦合装置中的任何一个。

[0267] 陈述44、根据陈述43所述的装置,其中至少一个振动能量源将振动能量直接供应到铸造轮中铸造的熔融金属中。

[0268] 陈述45、根据陈述43所述的装置,其中至少一个振动能量源间接地将振动能量供应到铸造轮中铸造的熔融金属中。

[0269] 陈述46、一种用于铸造机的熔融金属加工装置,包括:至少一个振动能源,其在冷却铸造轮中的熔融金属时通过插入铸造轮中铸造的熔融金属中的探头供应振动能量;以及支撑装置,其保持所述振动能量源,其中当金属凝固时,振动能量减少熔融金属偏析。熔融金属加工装置可以可选地包括陈述106-128中的能量耦合装置中的任何一个。

[0270] 陈述47、根据陈述46所述的装置,包括陈述2-21中限定的元素中的任何一个。

[0271] 陈述48、一种用于铸造机的熔融金属加工装置,包括:至少一个振动能源,其在冷却铸造轮中的熔融金属时将声能供应到铸造轮中铸造的熔融金属中;以及支撑装置,其保持所述振动能量源。熔融金属加工装置可以可选地包括陈述106-128中的能量耦合装置中的任何一个。

[0272] 陈述49、根据陈述48所述的装置,其中至少一个振动能量源包括音频放大器。

[0273] 陈述50、根据陈述49所述的装置,其中音频放大器通过气态介质将振动能量耦合到熔融金属中。

[0274] 陈述51、根据陈述49所述的装置,其中音频放大器通过气态介质将振动能量耦合到保持熔融金属的支撑结构中。

[0275] 陈述52、一种用于细化晶粒尺寸的方法,包括:在熔融金属冷却时向熔融金属供应振动能量;破裂在熔融金属中形成的枝晶,以在熔融金属中生成核源。用于细化晶粒尺寸的方法可以可选地包括陈述129-138中记载的步骤元素中的任何一个。

[0276] 陈述53、根据陈述52所述的方法,其中振动能量包括超声振动、机械驱动的振动和声振动中的至少一种或多种。

[0277] 陈述54、根据陈述52所述的方法,其中熔融金属中的核源不包括外来杂质。

[0278] 陈述55、根据陈述52所述的方法,其中熔融金属的一部分被过冷却以产生所述枝晶。

[0279] 陈述56、一种熔融金属加工装置,包括:熔融金属源;超声脱气器,其包括插入熔融金属中的超声探头;用于接收熔融金属的铸件;安装在铸件上的组装件,该组装件包括:至少一个振动能源,其在铸件中的熔融金属冷却时向铸件中铸造的熔融金属供应振动能量;以及支撑装置,其保持所述至少一个振动能源。熔融金属加工装置可以可选地包括陈述106-128中的能量耦合装置中的任何一个。

[0280] 陈述57、根据陈述56所述的装置,其中铸件包括铸造机的铸造轮的部件。

[0281] 陈述58、根据陈述56所述的装置,其中支撑装置包括壳体,该壳体包括用于通过其运输冷却介质的冷却通道。

[0282] 陈述59、根据陈述58所述的装置,其中冷却通道包括所述冷却介质,所述冷却介质包括水、气体、液态金属和发动机油中的至少一种。

[0283] 陈述60、根据陈述56所述的装置,其中至少一个振动能源包括超声换能器。

[0284] 陈述61、根据陈述56所述的装置,其中至少一个振动能源包括机械驱动的振动器。

[0285] 陈述62、根据陈述61所述的装置,其中机械驱动的振动器被配置为提供最高10KHz的频率范围内的振动能量。

[0286] 陈述63、根据陈述56所述的装置,其中铸件包括将熔融金属限制在铸造轮的通道中的带。

[0287] 陈述64、根据陈述63所述的装置,其中组装件位于铸造轮的上方,并且在壳体中具有通路,用于将熔融金属限制在熔融金属从中穿过的铸造轮的所述通道中的带。

[0288] 陈述65、根据陈述64所述的装置,其中所述带沿着壳体被导引以允许来自冷却通道的冷却介质沿着带的与熔融金属相对的一侧流动。

[0289] 陈述66、根据陈述56所述的装置,其中支撑装置包括铌、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、复合材料、聚合物或金属中的至少一种或多种。

[0290] 陈述67、根据陈述66所述的装置,其中陶瓷包括氮化硅陶瓷。

[0291] 陈述68、根据陈述67所述的装置,其中氮化硅陶瓷包括SIALON。

[0292] 陈述69、根据陈述64所述的装置,其中壳体包括耐火材料。

[0293] 陈述70、根据陈述69所述的装置,其中耐火材料包括铜、铌、铈和钼、钽、钨和铼、以及它们的合金中的至少一种。

[0294] 陈述71、根据陈述69所述的装置,其中耐火材料包括硅、氧或氮中的一种或多种。

[0295] 陈述72、根据陈述56所述的装置,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的振动能量源。

[0296] 陈述73、根据陈述72所述的装置,其中至少一个振动能量源包括插入支撑装置中的冷却通道中的至少一个振动探头。

[0297] 陈述74、根据陈述56所述的装置,其中至少一个振动能量源包括与支撑装置接触的至少一个振动探头。

[0298] 陈述75、根据陈述56所述的装置,其中至少一个振动能量源包括在支撑装置的基部处与带接触的至少一个振动探头。

[0299] 陈述76、根据陈述56所述的装置,其中至少一个振动能量源包括分布在所述支撑装置中的不同位置处的多个振动能量源。

[0300] 陈述77、根据陈述57所述的装置,还包括导引装置,该导引装置相对于铸造轮的移动导引组装件。

[0301] 陈述78、根据陈述72所述的装置,其中导引装置设置在所述铸造轮的轮缘上的带上。

[0302] 陈述79、根据陈述56所述的装置,其中超声脱气器包括:细长探头,其包括第一端和第二端,第一端附接到超声换能器,并且第二端包括尖端;以及吹扫气体输送机,其包括吹扫气体入口和吹扫气体出口,所述吹扫气体出口设置在细长探头的尖端处,以用于将吹扫气体引入熔融金属中。

[0303] 陈述80、根据陈述56所述的装置,其中细长探头包括陶瓷。

[0304] 陈述81、一种金属产品,其包括:铸造金属组合物,其具有亚毫米晶粒尺寸并且在其中包括小于0.5%的晶粒细化剂并且具有以下性质中的至少一种:在1001bs/in²的拉伸力下范围从10%至30%的拉伸率,范围从50至300MPa的拉伸强度;或者范围为IAC的45%至75%的电导率,其中IAC是相对于标准退火铜导体的电导率的百分比单位。

[0305] 陈述82、根据陈述81所述的产品,其中组合物在其中包括少于0.2%的晶粒细化剂。

[0306] 陈述83、根据陈述81所述的产品,其中组合物在其中包括少于0.1%的晶粒细化剂。

[0307] 陈述84、根据陈述81所述的产品,其中组合物在其中不包括晶粒细化剂。

[0308] 陈述85、根据陈述81所述的产品,其中组合物包括铝、铜、镁、锌、铅、金、银、锡、青铜、黄铜及其合金中的至少一种。

[0309] 陈述86、根据陈述81所述的产品,其中组合物被形成为棒股、杆、股线、片股、线、坯料和粒料中的至少一种。

[0310] 陈述87、根据陈述81所述的产品,其中伸长率的范围从15至25%,或拉伸强度的范围从100至200MPa,或电导率的范围为IAC的50至70%。

[0311] 陈述88、根据陈述81所述的产品,其中伸长率的范围从17至20%,或拉伸强度的范围从150至175MPa,或电导率的范围为IAC的55至65%。

- [0312] 陈述89、根据陈述81所述的产品,其中伸长率的范围从18至19%,或拉伸强度的范围从160至165MPa,或电导率的范围为IAC的60至62%。
- [0313] 陈述90、根据陈述81、87、88和89中任一项所述的产品,其中组合物包括铝或铝合金。
- [0314] 陈述91、根据陈述90所述的产品,其中铝或铝合金包括钢加强的线股。
- [0315] 陈述91A、根据陈述90所述的产品,其中铝或铝合金包括钢支撑的线股。
- [0316] 陈述92、一种金属产品,其由陈述52-55或陈述129-138中阐述的工艺步骤中的任何一个或多个制成,并且包括铸造金属组合物。
- [0317] 陈述93、根据陈述92所述的产品,其中铸造金属组合物具有亚毫米晶粒尺寸并且在其中包括小于0.5%的晶粒细化剂。
- [0318] 陈述94、根据陈述92所述的产品,其中金属产品具有下列性质中的至少一种:在100lbs/in²的拉伸力下范围从10至30%的拉伸率,范围从50至300MPa的拉伸强度;或者范围为IAC的45至75%的电导率,其中IAC是相对于标准退火铜导体的电导率的百分比单位。
- [0319] 陈述95、根据陈述92所述的产品,其中组合物在其中包括少于0.2%的晶粒细化剂。
- [0320] 陈述96、根据陈述92所述的产品,其中组合物在其中包括少于0.1%的晶粒细化剂。
- [0321] 陈述97、根据陈述92所述的产品,其中组合物在其中包括不包括晶粒细化剂。
- [0322] 陈述98、根据陈述92所述的产品,其中组合物包括铝、铜、镁、锌、铅、金、银、锡、青铜、黄铜及其合金中的至少一种。
- [0323] 陈述99、根据陈述92所述的产品,其中组合物形成为棒股、杆、股线、片股、线、坯料和粒料中的至少一种。
- [0324] 陈述100、根据陈述92所述的产品,其中伸长率的范围从15至25%,或拉伸强度的范围从100至200MPa,或电导率的范围为IAC的50至70%。
- [0325] 陈述101、根据陈述92所述的产品,其中伸长率的范围从17至20%,或拉伸强度的范围从150至175MPa,或电导率的范围为IAC的55至65%。
- [0326] 陈述102、根据陈述92所述的产品,其中伸长率的范围从18至19%,或拉伸强度的范围从160至165MPa,或电导率的范围为IAC的60至62%。
- [0327] 陈述103、根据陈述92所述的产品,其中组合物包括铝或铝合金。
- [0328] 陈述104、根据陈述103所述的产品,其中铝或铝合金包括钢加强的线股。
- [0329] 陈述105、根据陈述103所述的产品,其中铝或铝合金包括钢支撑的线股。
- [0330] 陈述106、一种用于将能量耦合到熔融金属中的能量耦合装置,包括:空化源,其供应能量通过冷却介质并通过与熔融金属接触的接收器;所述空化源包括一个设置在冷却通道中的探头;所述探头具有至少一个注射口,以用于在探头的底部和接收器之间注射冷却介质;并且所述探头在操作时在冷却介质中产生空化,其中所述空化被引导通过冷却介质到达接收器。在本发明的一个方面,具有注射口的空化源提供对熔融金属的增强的振动能量耦合和/或熔融金属的增强的冷却。
- [0331] 陈述107、根据陈述106所述的装置,其中所述至少一个注射口包括用于使冷却介质通过探头的通孔。

- [0332] 陈述108、根据陈述106所述的装置,还包括组装件,该组装件将所述空化源安装在铸造机的铸造轮上或者安装在将熔融金属供应到铸造轮的中间罐上。
- [0333] 陈述109、根据陈述108所述的装置,其中组装件在壳体中具有通路,用于将熔融金属限制在熔融金属从中穿过的铸造轮的所述通道中的带。
- [0334] 陈述110、根据陈述109所述的装置,其中所述带包括与熔融金属接触的所述接收器。
- [0335] 陈述111、根据陈述106所述的装置,其中空化源包括向所述探头提供所述能量的超声换能器或磁致伸缩换能器中的至少一个。
- [0336] 陈述112、根据陈述111所述的装置,其中提供给所述探头的能量在最高400kHz的频率范围内。
- [0337] 陈述113、根据陈述106所述的装置,其中所述至少一个注射口包括用于冷却介质的通过的探头中的通孔。
- [0338] 陈述114、根据陈述106所述的装置,其中所述至少一个注射口包括探头中的中心通孔和外围通孔。
- [0339] 陈述115、根据陈述106所述的装置,其中所述冷却介质包括水、气体、液态金属、液态氮和发动机油中的至少一种。
- [0340] 陈述116、根据陈述106所述的装置,其中接收器包括铌、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、陶瓷、复合材料或金属中的至少一种或多种。
- [0341] 陈述117、根据陈述116所述的装置,其中陶瓷包括氮化硅陶瓷。
- [0342] 陈述118、根据陈述117所述的装置,其中氮化硅陶瓷包括硅石氮化铝。
- [0343] 陈述119、根据陈述106所述的装置,其中空化源附接到含有熔融金属并且包括冷却通道的壳体,并且壳体包括耐火材料。
- [0344] 陈述120、根据陈述119所述的装置,其中耐火材料包括铜、铌、铌和钼、钽、钨和镍、以及它们的合金中的至少一种。
- [0345] 陈述121、根据陈述119所述的装置,其中耐火材料包括硅、氧或氮中的一种或多种。
- [0346] 陈述122、根据陈述106所述的装置,其中空化源包括多于一个空化源。
- [0347] 陈述123、根据陈述106所述的装置,其中探头包括至少一个振动探头。
- [0348] 陈述124、根据陈述106所述的装置,其中探头的尖端在接触接收器的5mm内。
- [0349] 陈述125、根据陈述106所述的装置,其中探头的尖端在接触接收器的2mm内。
- [0350] 陈述126、根据陈述106所述的装置,其中探头的尖端在接触接收器的1mm内。
- [0351] 陈述127、根据陈述106所述的装置,其中探头的尖端在接触接收器的0.5mm内。
- [0352] 陈述128、根据陈述106所述的装置,其中探头的尖端在接触接收器的0.2mm内。
- [0353] 陈述129、一种用于形成金属产品的方法,包括:将熔融金属提供到容纳结构中;通过将冷却介质注射到与熔融金属接触的接收器5mm内的区域,用冷却介质冷却容纳结构中的熔融金属;经由振动探头在冷却介质中产生空化,将能量耦合到容纳结构中的熔融金属中,其中在所述耦合期间,在探头的底部和与容纳结构中的熔融金属接触的接收器之间注射冷却介质。

[0354] 陈述130、根据陈述129所述的方法,其中提供熔融金属包括将熔融金属浇注到铸造轮中的通道中。

[0355] 陈述131、根据陈述129所述的方法,其中耦合能量包括从超声换能器或磁致伸缩换能器中的至少一个向所述探头供应所述能量。

[0356] 陈述132、根据陈述131所述的方法,其中供应所述能量包括提供5和400kHz频率范围内的能量。

[0357] 陈述133、根据陈述129所述的方法,其中冷却包括从探头中的至少一个注射孔注射所述冷却介质。

[0358] 陈述134、根据陈述129所述的方法,其中冷却包括朝向接收器注射冷却介质并且在冷却介质中包括空化。

[0359] 陈述135、根据陈述129所述的方法,其中冷却包括通过将水、气体、液态金属、液态氮和发动机油中的至少一种施加到保持熔融金属的容纳结构来冷却熔融金属。

[0360] 陈述136、根据陈述129所述的方法,其中提供熔融金属包括将所述熔融金属输送到模具中。

[0361] 陈述137、根据陈述129所述的方法,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。

[0362] 陈述138、根据陈述129所述的方法,其中提供熔融金属包括将所述熔融金属输送到水平或竖直铸造模具中。

[0363] 陈述139、一种铸造机,其包括:配置成冷却熔融金属的铸造模具、以及陈述106-128中任一项的能量耦合装置。

[0364] 陈述140、根据陈述139所述的铸造机,其中所述模具包括连续铸造模具。

[0365] 陈述141、根据陈述139所述的铸造机,其中所述模具包括水平或竖直铸造模具。

[0366] 陈述142、一种铸造机,其包括:熔融金属容纳结构,其被配置为冷却熔融金属;以及空化源,其具有集成的冷却剂注射器,该冷却剂注射器被配置为将冷却介质注射在空化源和与容纳结构中的熔融金属接触的接收器之间的区域中。

[0367] 陈述143、一种铸造机,其包括:熔融金属容纳结构,其被配置为冷却熔融金属;以及空化泡沫发生器,其具有集成的冷却剂注射器,该冷却剂注射器被配置为将冷却介质注射在空化泡沫发生器和与容纳结构中的熔融金属接触的接收器之间的区域中。

[0368] 陈述144、一种用于形成金属产品的系统,包括:用于将熔融金属浇注到熔融金属容纳结构中的装置;用于冷却熔融金属容器结构的装置;通过将冷却介质注射到与容纳结构中的熔融金属接触的接收器的5mm内的区域中来冷却熔融金属容纳结构的装置;以及控制器,其包括数据输入和控制输出,并且用控制算法编程,该控制算法允许权利要求24-33中记载的步骤元素中的任何一个的操作。

[0369] 陈述145、一种用于形成金属产品的系统,包括:权利要求106-128中任一项的能量耦合装置;以及控制器,其包括数据输入和控制输出,并且用控制算法编程,该控制算法允许权利要求129-138中记载的步骤元素中的任何一个的操作。

[0370] 陈述146、一种用于形成金属产品的系统,包括:组装件,其耦接到铸造轮,该组装件包括保持冷却介质的壳体,使得铸造轮中铸造的熔融金属被冷却介质冷却;空化源,其具有集成的冷却剂注射器,冷却剂注射器被配置为将冷却介质注射到空化源和与容纳结构中

的熔融金属接触的接收器之间的区域中;以及装置,其相对于铸造轮的移动导引组装件。

[0371] 陈述147、一种用于铸造机的熔融金属加工装置,包括:空化源,其具有集成的冷却剂注射器,该冷却剂注射器被配置为将冷却介质注射到空化源和与容纳结构中的熔融金属接触的接收器之间的区域中;以及支撑装置,其保持所述振动能量源。

[0372] 陈述148、一种用于铸造机上的铸造轮的熔融金属加工装置,包括:组装件,其耦接到铸造轮,该组装件包括具有集成的冷却剂注射器的空化源,该冷却剂注射器被配置为将冷却介质注射到空化源和与容纳结构中的熔融金属接触的接收器之间的区域中;支撑装置,其保持所述至少一个振动能量源;以及导引装置,其相对于铸造轮的移动导引组装件。

[0373] 陈述149、根据陈述148所述的装置,其中空化源供应空化气泡,该空化气泡的塌陷在所述冷却介质中产生冲击波。

[0374] 陈述150、根据陈述148所述的装置,其中空化源供应空化气泡,该气泡在与熔融金属接触的接收器上的塌陷在冷却介质中产生冲击波。

[0375] 陈述151、一种用于铸造机的熔融金属加工装置,包括:空化气泡发生器,其将空化气泡供应到与容纳结构中的熔融金属接触的接收器,并且将冷却介质注射到空化气泡发生器和接收器之间的区域中,其中空化气泡向熔融金属提供能量。

[0376] 陈述152、一种用于铸造机的熔融金属加工装置,包括:空化气泡发生器,其在铸造轮中的熔融金属由冷却介质冷却时向铸造轮中铸造的熔融金属供应能量,并且将具有空化气泡的冷却介质供应到空化气泡发生器和与容纳结构中的熔融金属接触的接收器之间的区域中;以及支撑装置,其将所述空化气泡发生器保持在冷却介质中。

[0377] 陈述153、一种熔融金属加工装置,包括:熔融金属源;超声脱气器,其包括插入熔融金属中的超声探头;铸件,其用于接收熔融金属;组装件,其安装在铸件上,该组装件包括具有集成的冷却剂注射器的空化源,该冷却剂注射器被配置为将冷却介质注射到空化源和与容纳结构中的熔融金属接触的接收器之间的区域中;以及支撑装置,其保持所述至少一个振动能量源。

[0378] 鉴于上述教导,本发明的许多修改和变化都是可能的。因此,应理解,在所附权利要求的范围内,本发明可以以不同于本文具体描述的方式实践。

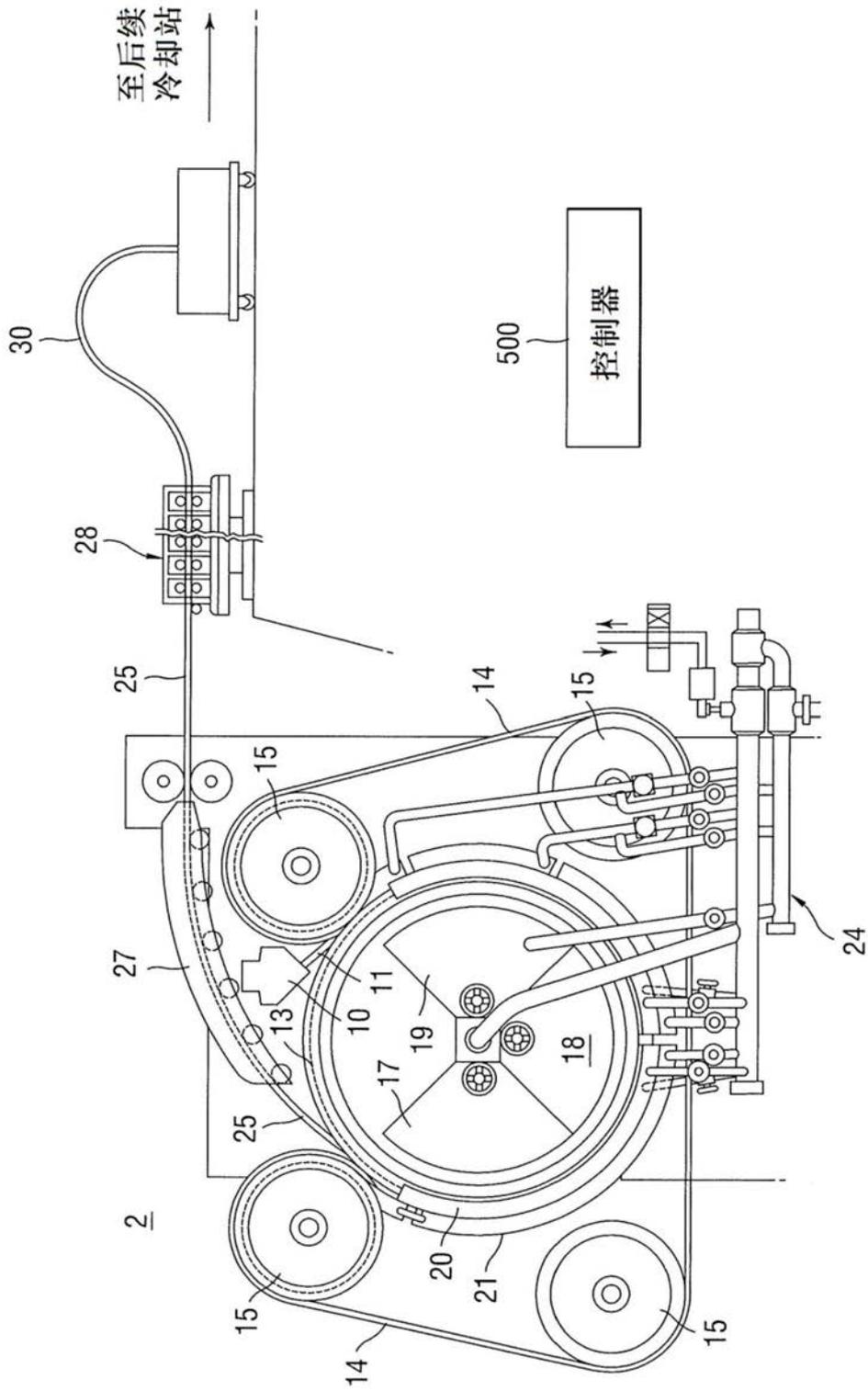


图1

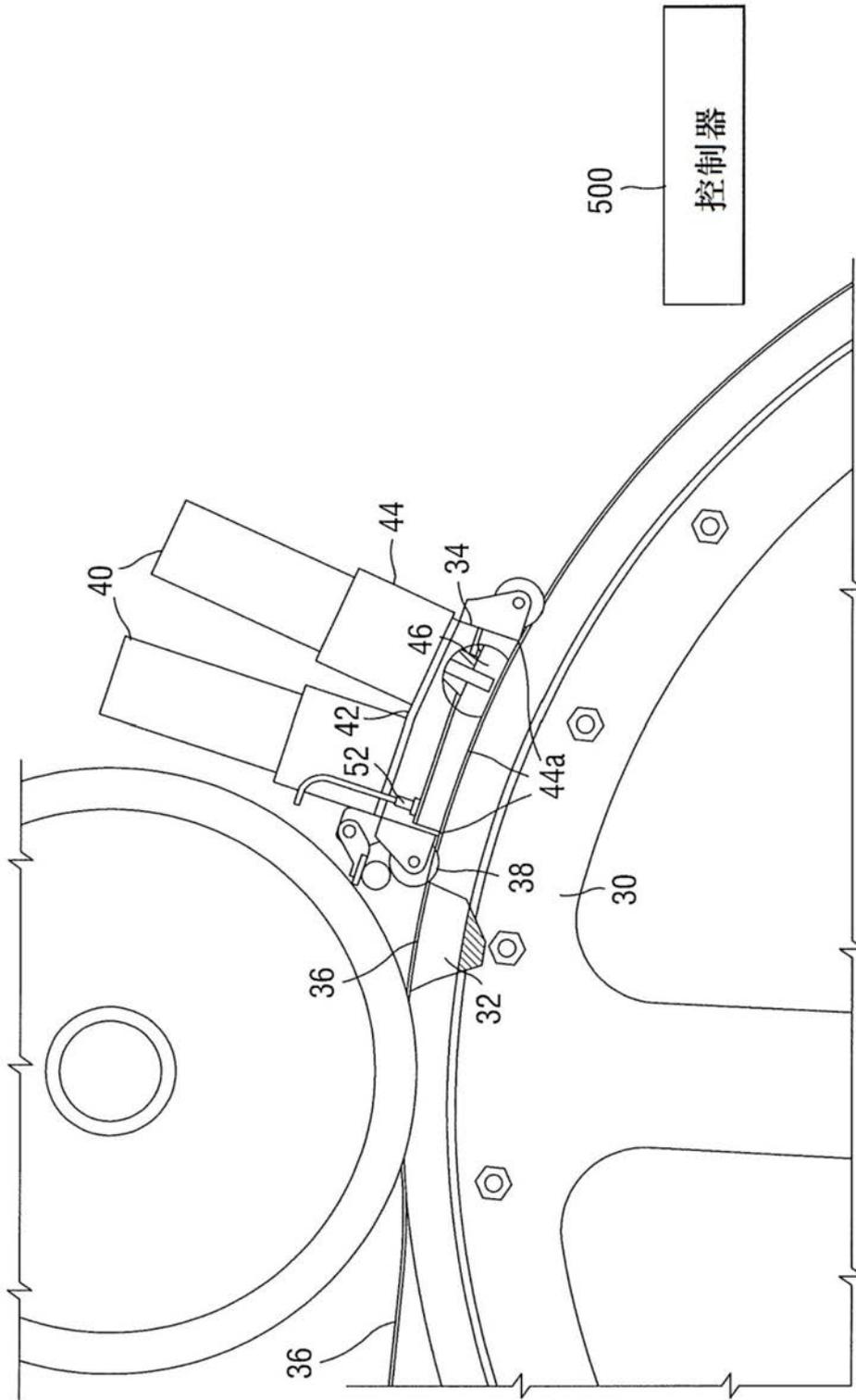


图2

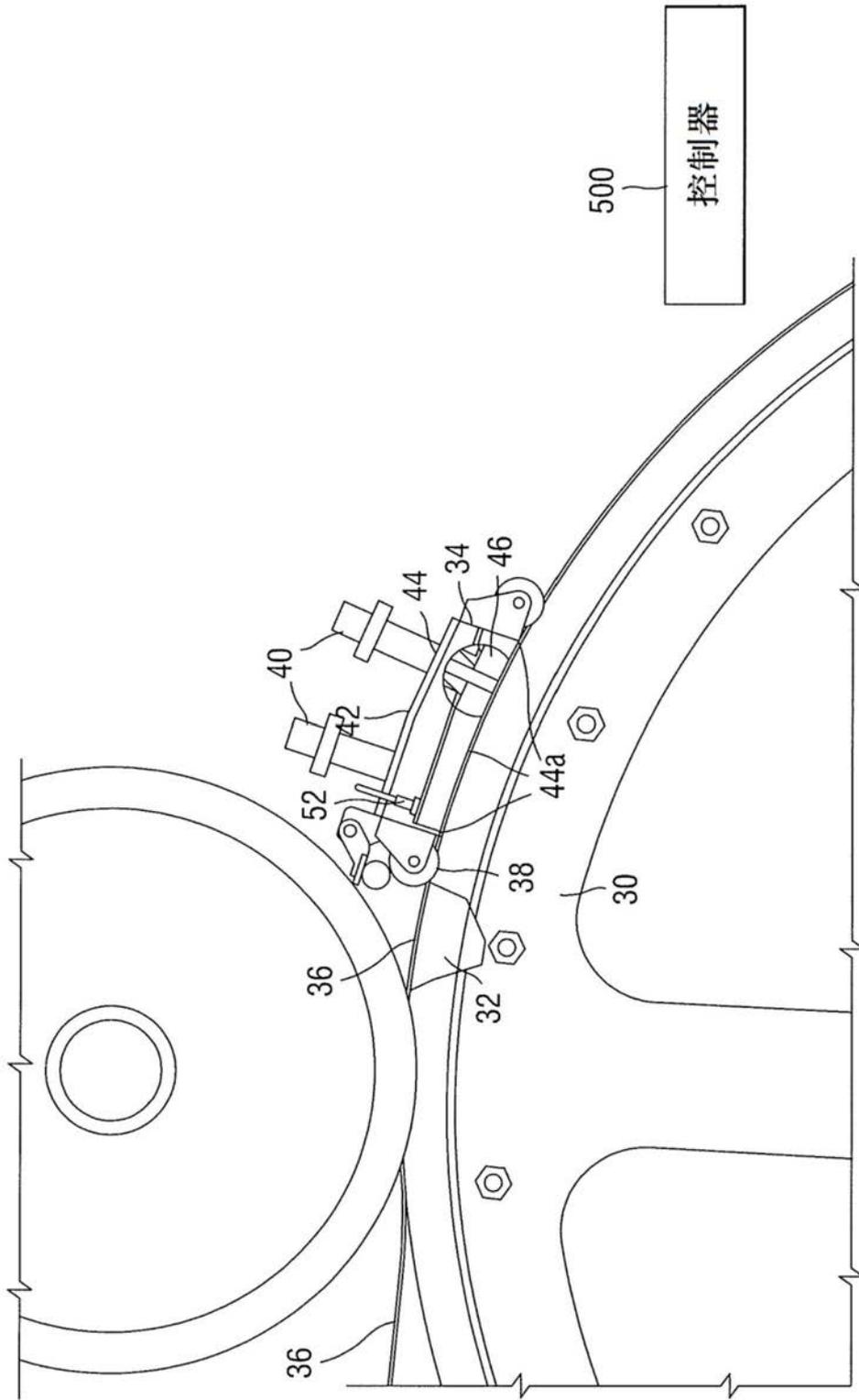


图3A

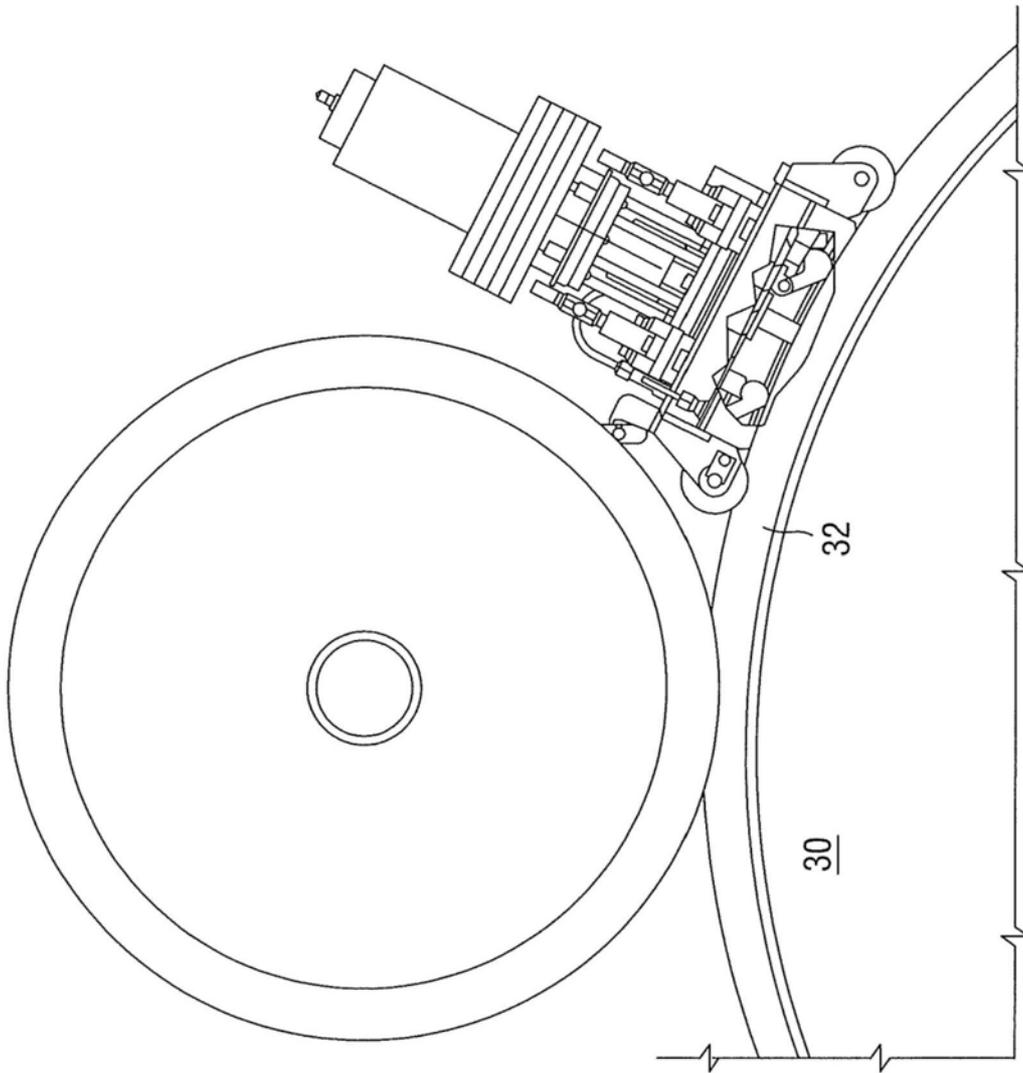


图3B

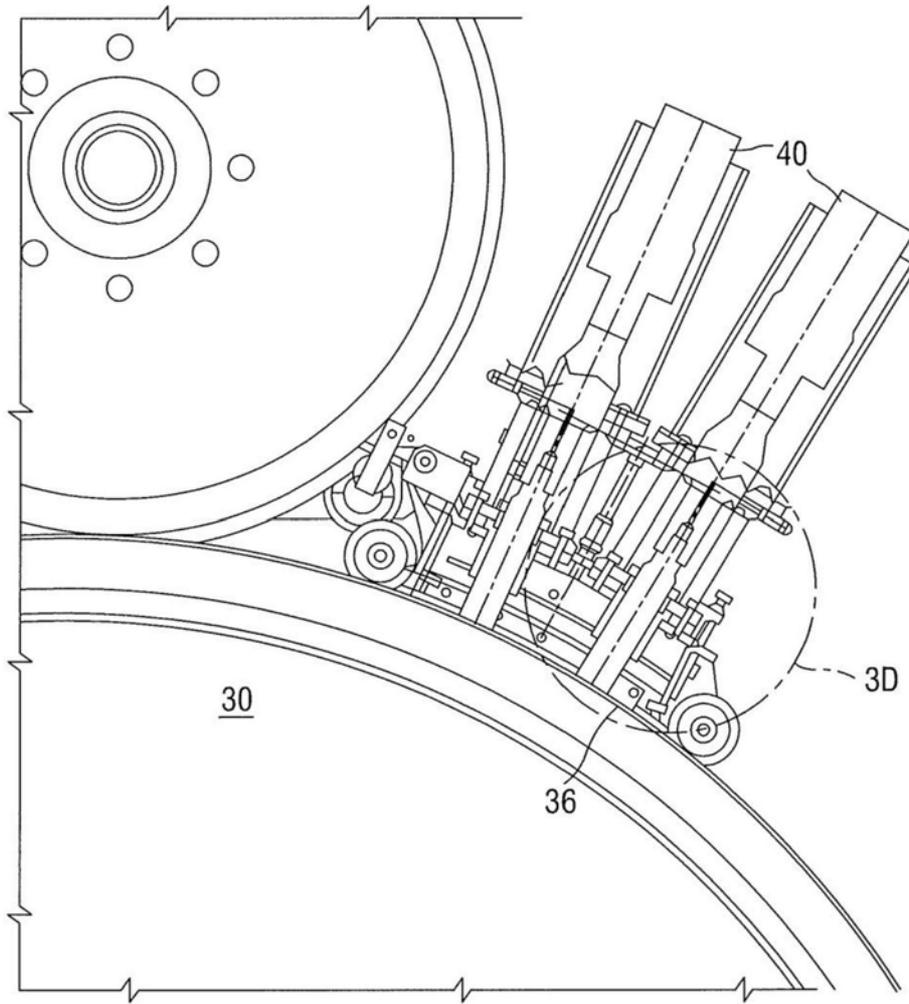


图3C

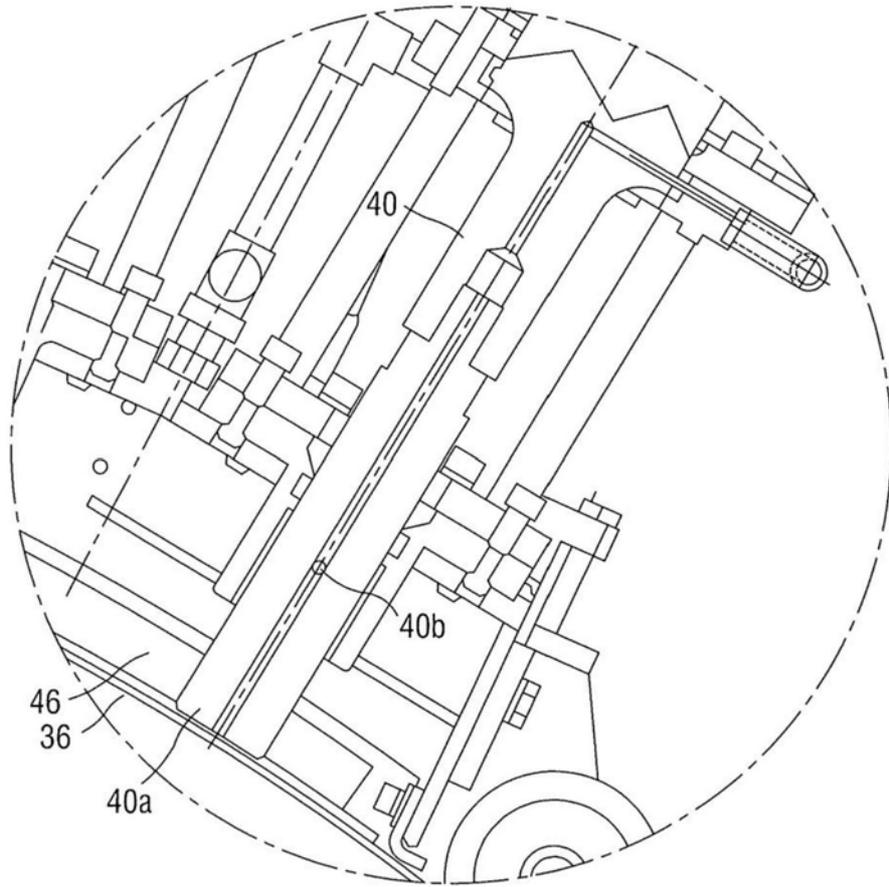


图3D

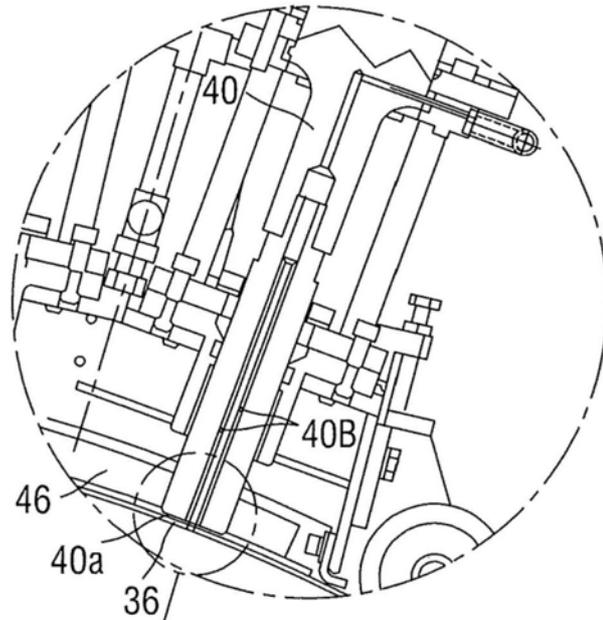


图 3E

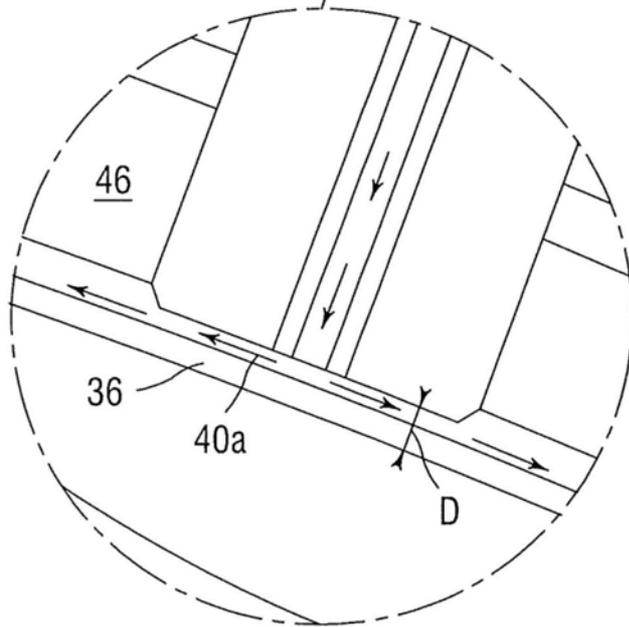


图 3F

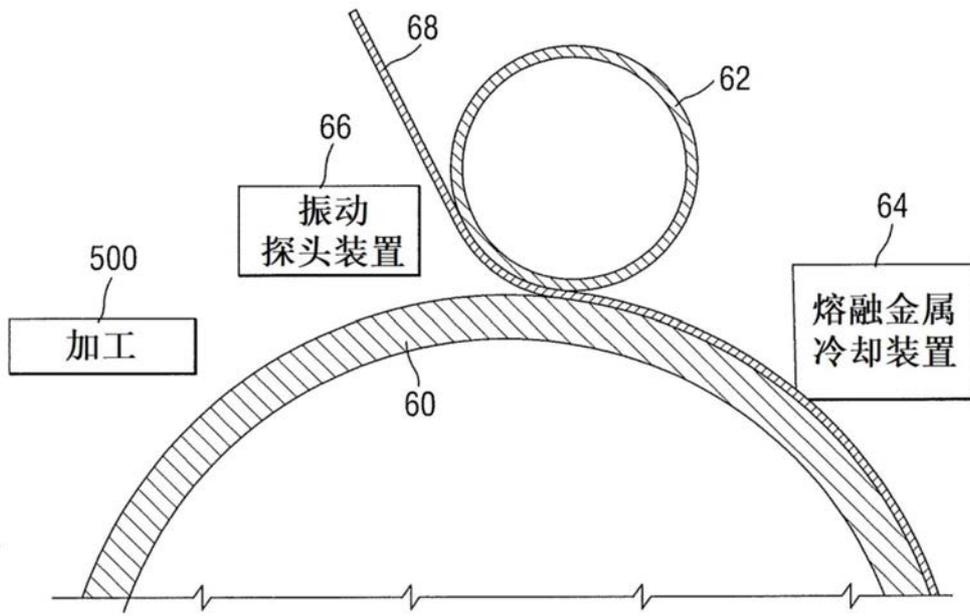


图4

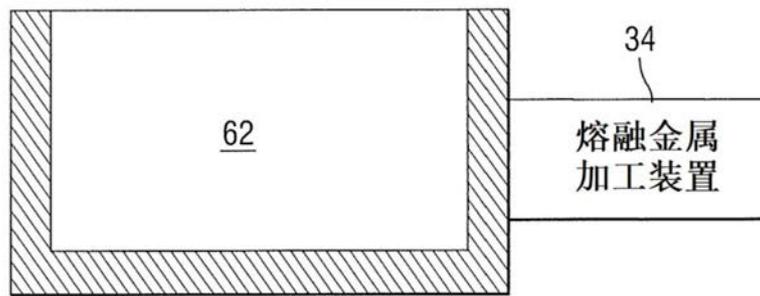


图5

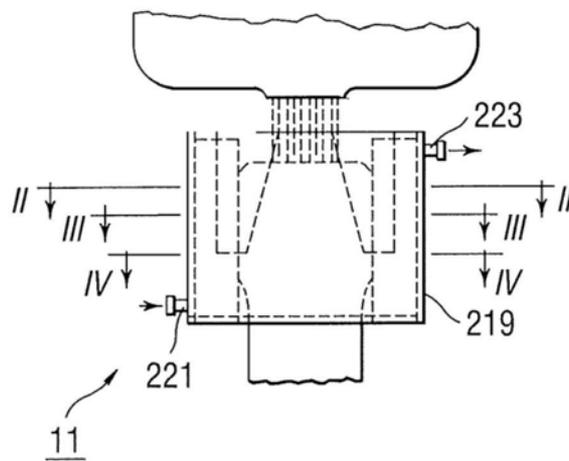


图6A

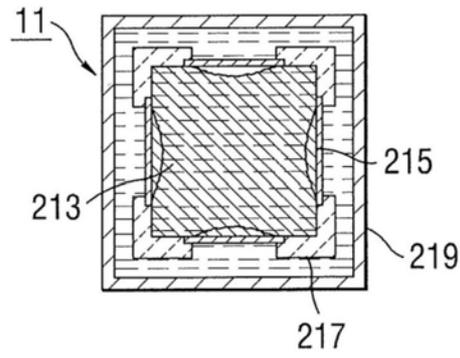


图6B

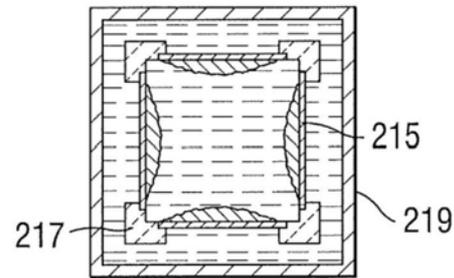


图6C

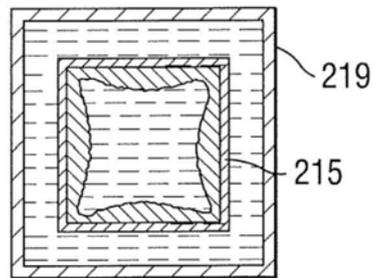


图6D

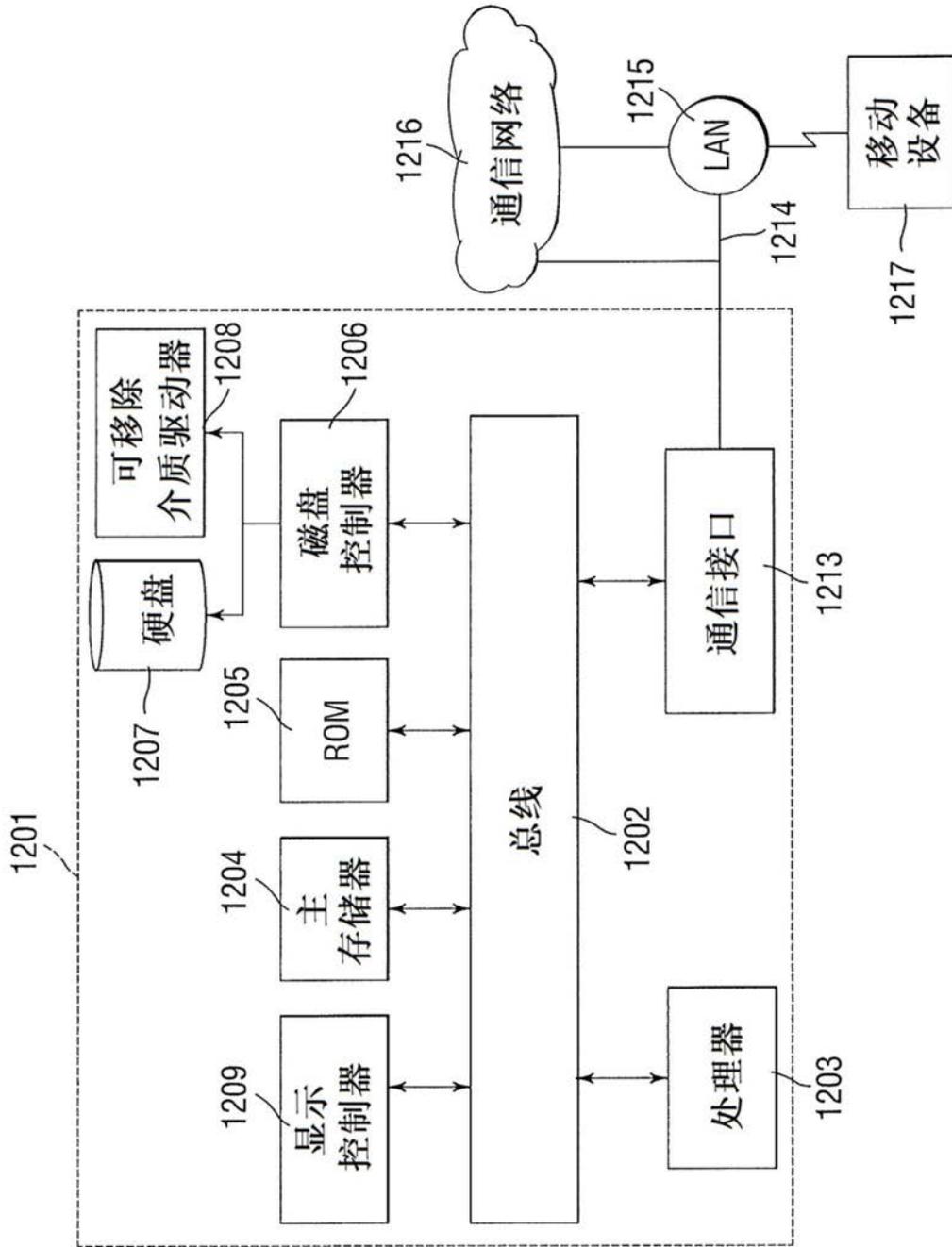


图7

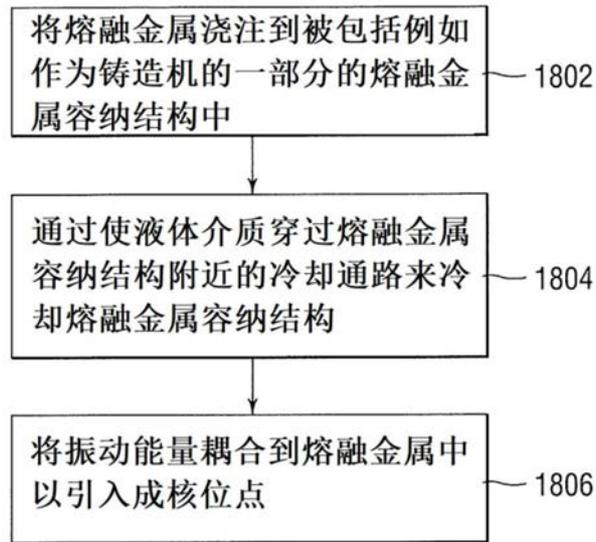


图8

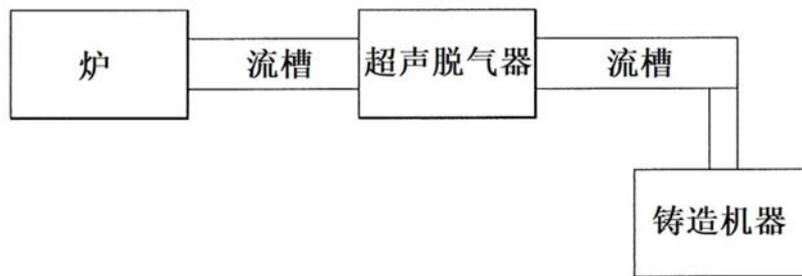


图9

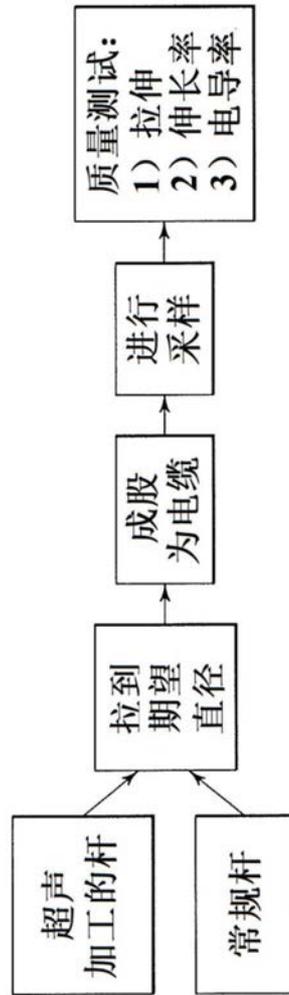


图10

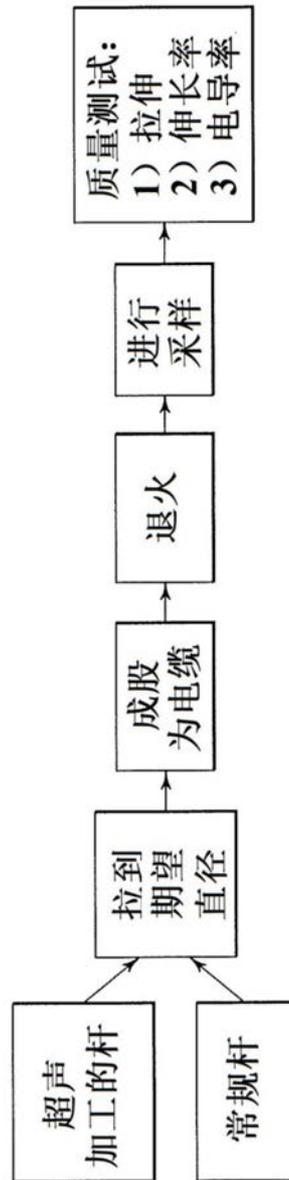


图11

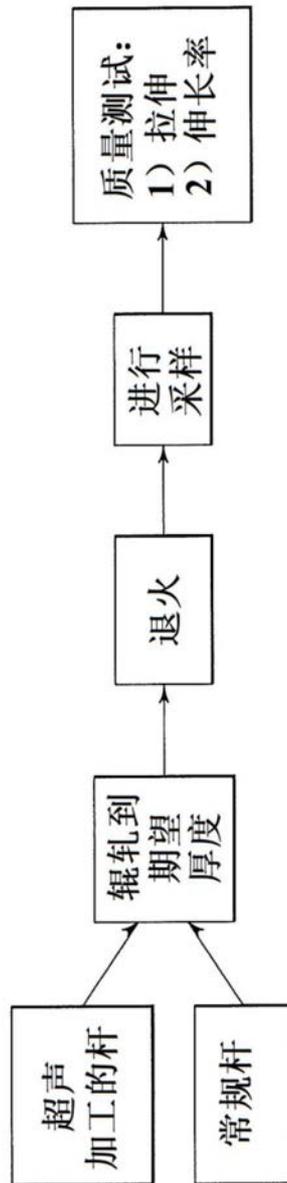


图12

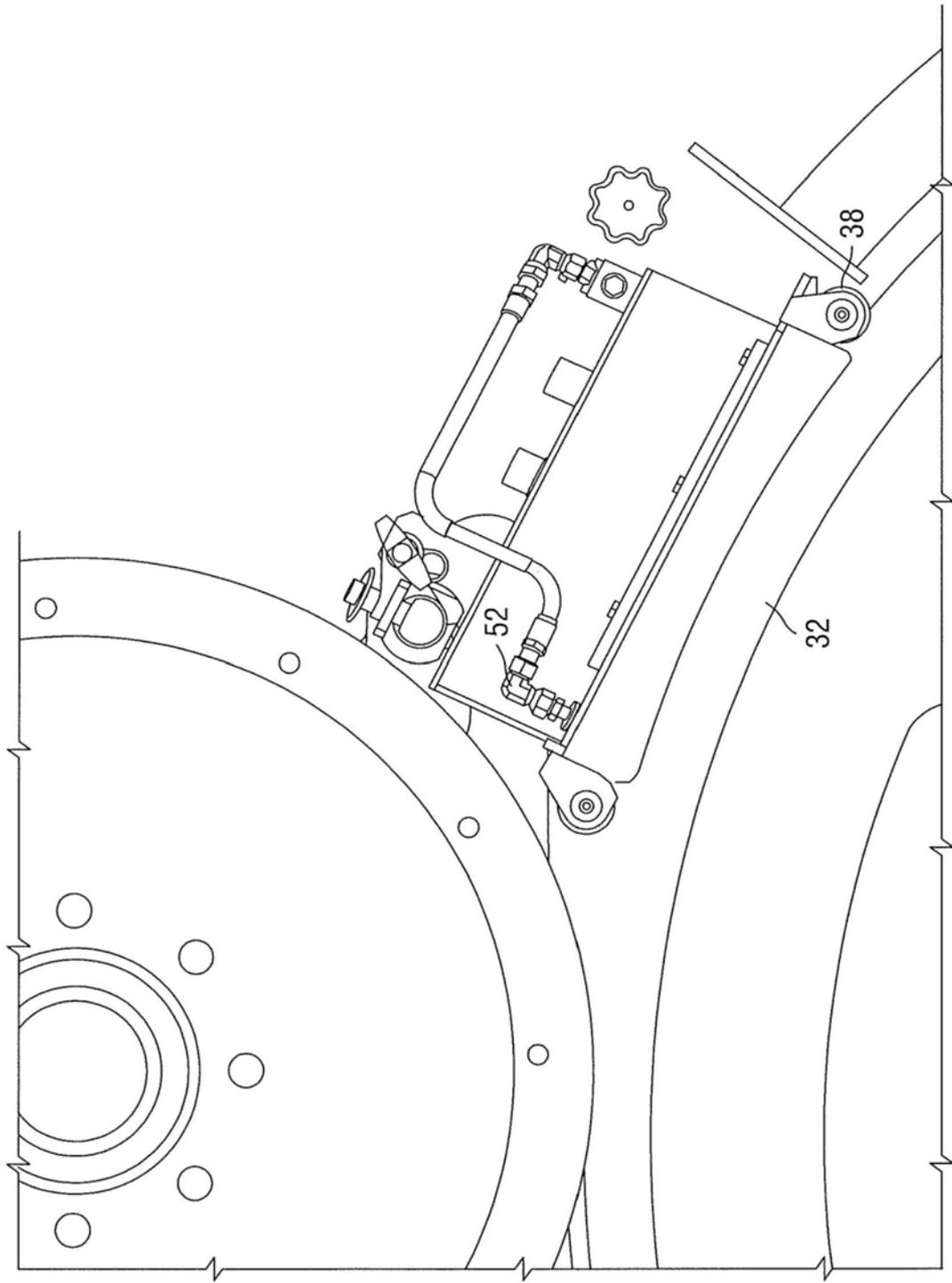


图13

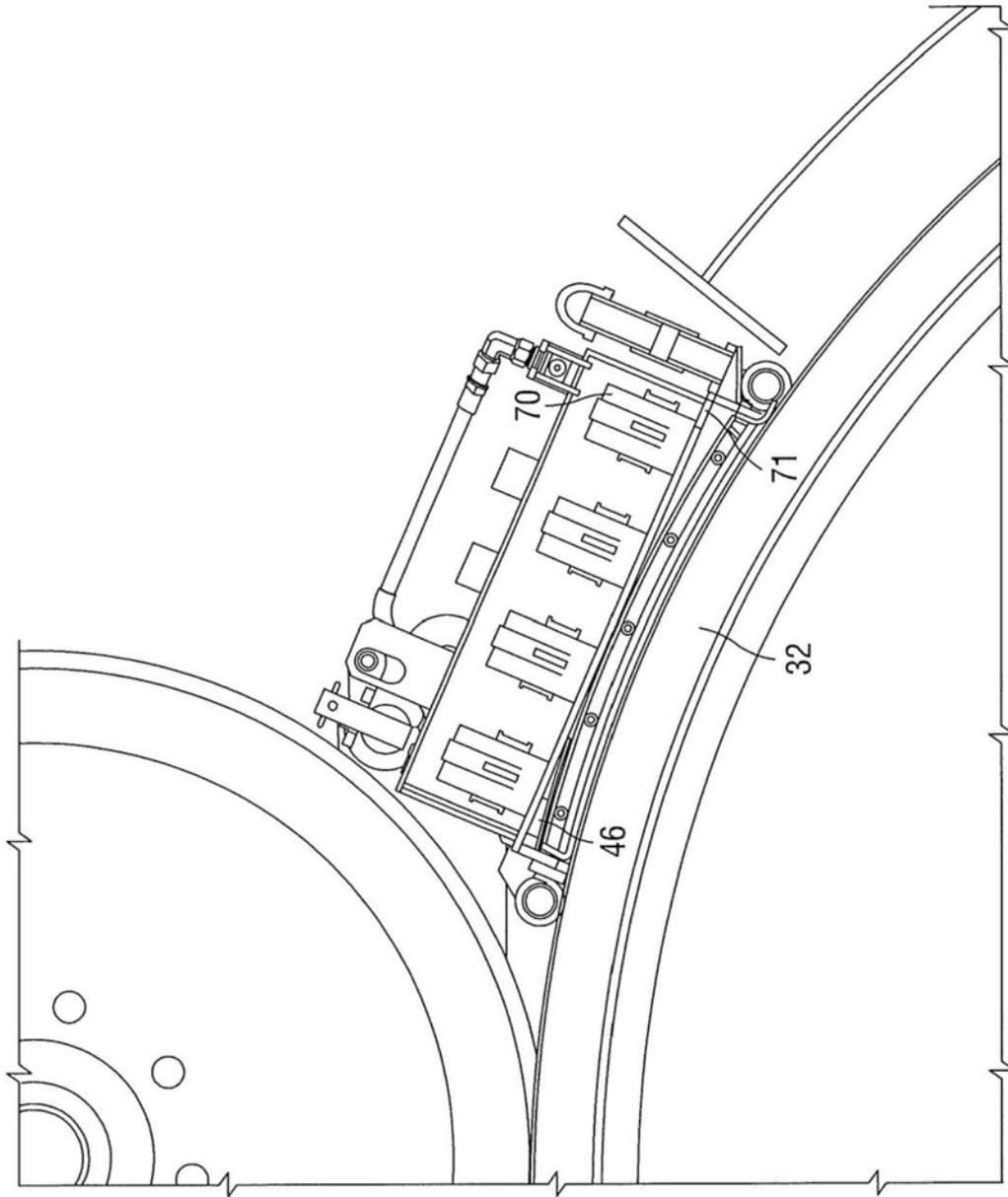


图14

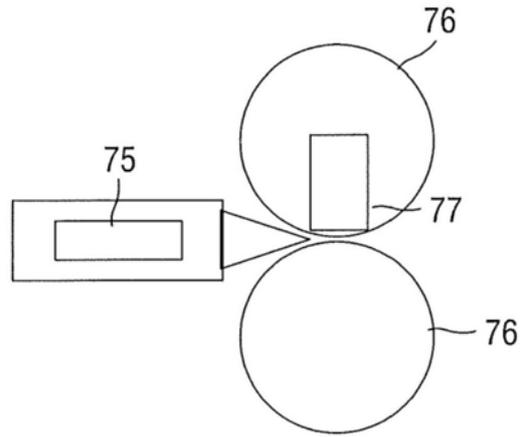


图15

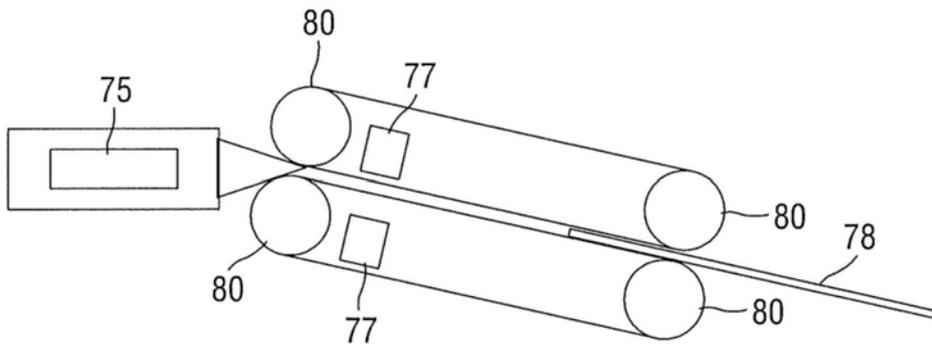


图16