



(43) 申请公布日 2021.10.15

权利要求书1页 说明书10页 附图5页

1. 一种合金,其包括:
组合物,所述组合物包含:
占组合物至少2重量%的镁 (Mg) ;
占组合物至多12.5重量%的锰 (Mn) ;
占组合物至多4重量%的硅 (Si) ;和
为组合物余量的铝 (Al) 。
2. 根据权利要求1所述的合金,其中所述组合物包含:
占组合物5-12重量%的Mg;
占组合物0.1-2重量%的Mn;
占组合物0.3-3重量%的Si。
3. 根据权利要求1所述的合金,其中所述组合物进一步包含下面的至少一种:铁 (Fe) ,
钛 (Ti) ,
锆 (Zr) ,
铬 (Cr) ,或
钇 (Y) 。
4. 根据权利要求3所述的合金,其中所述组合物包含:
占组合物至多1重量%的Fe;
占组合物0-1重量%的Ti;
占组合物0.15-5重量%的Zr;
占组合物至少1重量%的Cr;和
占组合物至少0.1重量%的Y。
5. 根据权利要求3所述的合金,其中所述组合物包含至多0.25重量%的Fe。
6. 根据权利要求5所述的合金,其中所述组合物包含至少0.05重量%的Fe。
7. 根据权利要求3所述的合金,其中所述组合物包含至多0.6重量%的Ti。
8. 根据权利要求7所述的合金,其中所述组合物包含至少0.1重量%的Ti。
9. 根据权利要求3所述的合金,其中所述组合物包含至多2.0重量%的Zr。
10. 根据权利要求9所述的合金,其中所述组合物包含至少0.3重量%的Zr。
11. 根据权利要求3所述的合金,其中所述组合物包含至多5重量%的Cr。
12. 根据权利要求11所述的合金,其中所述组合物包含至少1重量%的Cr。
13. 根据权利要求3所述的合金,其中所述组合物包含至多4重量%的Y。
14. 根据权利要求13所述的合金,其中所述组合物包含至少0.1重量%的Y。
15. 根据权利要求1所述的合金,其中所述组合物余量的Al包括至多0.1重量%的微量杂质。

铝合金

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2019年1月18日提交的题为“HIGH-PERFORMANCE ALUMINIUM ALLOY”的美国临时申请序列号62/794509和于2019年7月30日提交的题为“ALUMINIUM ALLOYS”的美国专利申请号16/526,691的权益,其全部内容通过引用明确并入本文。

技术领域

[0003] 本公开大体上涉及合金,并且更具体地涉及铝合金。

背景技术

[0004] 增材制造(AM)工艺涉及使用存储的几何模型在“构建板”上积累分层材料,以生产具有模型定义的特征的三维(3-D)物体。AM技术能够使用多种材料打印复杂的组件。基于计算机辅助设计(CAD)模型制造3-D物体。AM工艺可以直接从CAD模型制造实体的3D物体,无需额外的工具。

[0005] AM工艺的一个实例是粉末床融合(PBF),它使用激光、电子束或其他能源来烧结或熔化沉积在粉末床中的金属粉末,从而将粉末颗粒在目标区域凝聚在一起以产生具有所需几何形状的3-D结构。可以在PBF中使用不同的材料或材料的组合,例如金属、塑料和陶瓷,以创建3-D物体。其他更先进的AM技术,包括下面进一步讨论的那些,也是可用的或正在开发中,并且每一种都可以适用于本公开内容。

[0006] AM工艺的另一个实例为Binder Jet (BJ) 工艺,该工艺使用粉末床(类似于PBF),其中金属粉末分层散布并使用有机粘合剂粘合。所得部件是生坯部件,需要烧掉粘合剂并烧结以将各层固结成全密度。金属粉末材料可以具有与PBF粉末相同的化学组成和相似的物理特性。

[0007] AM工艺的另一个实例为定向能量沉积(DED)。DED是一种AM技术,它使用激光、电子束、等离子体或其他能量供应方法,例如钨惰性气体(TIG)或金属惰性气体(MIG)焊接中的那些方法来熔化金属粉末或金属线材和棒材,从而将其转化为固体金属物体。与许多AM技术不同,DED不是基于粉末床。相反,DED使用进料喷嘴来推动粉末或机械进料系统将线材和棒材输送到激光束、电子束、等离子体束或其他能量流中。粉末状金属或线材和棒材随后被相应的能量束融合。虽然在某些情况下可以使用支撑体或自由形式的基材来维护正在构建的结构,但DED中几乎所有的原材料(粉末、线材或棒材)都转化为固体金属,因此几乎没有废粉留下以待回收利用。使用逐层策略,由能量束或能量流和原材料进料系统组成的打印头可以扫描基材,直接从CAD模型沉积连续的层。

[0008] PBF、BJ、DED和其他AM工艺可使用各种原材料,例如金属粉末、线材或棒材。原材料可以由各种金属材料制成。金属材料可包括例如铝或铝合金。使用具有在AM工艺中改进功能的特性的铝合金可能是有利的。例如,颗粒形状、粉末尺寸、堆积密度、熔点、流动性、刚度、孔隙率、表面纹理、静电荷密度以及其他物理和化学特性可能会影响铝合金作为AM用材料的性能。类似地,AM工艺的原材料可以是线材和棒材的形式,其化学组成和物理特性可能

会影响材料的性能。某些合金可能会影响这些或其他特性的一种或多种，它们影响AM用合金性能。

[0009] 可以在相关技术的背景下描述本公开的一个或多个方面。本文描述的任何方面都不应被解释为对现有技术的承认，除非本文明确说明。

发明内容

[0010] 本文描述了一种或多种合金和合金组合物，以及制造和/或使用它们的方法的几个方面。例如，一种或多种合金或其组合物可以是铝合金。所述一种或多种合金可用于三维(3-D)打印和/或增材制造以用所述一种或多种合金生产增材制造的结构。说明性地，合金可包括含有多材料(例如元素、金属等)的组合物。

[0011] 根据本公开的一些配置，合金可以包括：组合物，该组合物包括：占组合物约5重量%至12重量%的镁(Mg)；占组合物约0.3重量%至3重量%的硅(Si)；占组合物约0.1重量%至2重量%的锰(Mn)；和为组合物余量的铝(Al)。在一种配置中，该组合物还可包括铁(Fe)；铬(Cr)；钛(Ti)；锆(Zr)；和钇(Y)中的至少一种。在一种配置中，该组合物包括至高约5重量%的Cr。在一种配置中，该组合物包括至高约0.25重量%的Fe。在一种配置中，该组合物包括至少0.05重量%的Fe。在一种配置中，该组合物包括至少约1重量%的Cr。在一种配置中，该组合物包括至少约0.1重量%的Ti。在一种配置中，该组合物包括至高0.6重量%的Ti。在一种配置中，该组合物包括至高约2重量%的Zr。在一种配置中，该组合物包括至少0.3重量%的Zr。在一种配置中，该组合物包括至少约0.1重量%的Y。在一种配置中，该组合物包括至多4重量%的Y。在一种配置中，该组合物包括以上列出的所有元素(Al、Mg、Mn、Si、Fe、Cr、Ti、Zr和Y)。在一种配置中，该组合物余量的Al包括累计至多约0.1重量%且以单种计0.01%的微量杂质。

[0012] 应当理解，根据以下具体实施方式，合金的其他方面对本领域技术人员来说将变得显而易见，其中仅通过说明的方式示出和描述了几个实施方案。本领域技术人员将意识到，所制造的结构和用于制造这些结构的方法能够有其他不同的实施方案，并且其若干细节能够在各种其他方面进行修改，所有这些都不背离本发明。因此，附图和具体实施方式应被视为本质上是说明性的而不是限制性的。

附图说明

[0013] 可用于增材制造的合金的各个方面，例如在汽车、航空航天和/或其他工程环境中，在具体实施方式中通过示例而非限制的方式呈现在附图中，其中：

[0014] 图1A-1B是说明合金特性的曲线图。

[0015] 图2A-2D图示了示例性3-D打印机系统的相应侧视图。

具体实施方式

[0016] 下面结合附图阐述的具体实施方式旨在提供对铝合金的各种示例性实施方案的描述，并不旨在代表可以实施本发明的仅有实施方案。本公开中通篇使用的术语“示例性”表示“用作示例、实例或说明”，并且不必解释为优选于或优于本公开中呈现的其他实施方案。具体实施方式包括具体细节，目的是提供充分且完整的公开，其将本发明的范围完全传

达给本领域技术人员。然而,可以在没有这些具体细节的情况下实践本公开的技术和方法。在一些情况下,众所周知的结构和元件可以以框图形式示出或整体省略,以避免混淆贯穿本公开呈现的各种构思。

[0017] 金属合金,例如铝合金,经常用于各种工程应用,例如汽车和航空航天。在许多应用中,这些工程应用可以受益于提供高性能和可持续性的合金。此外,经济的合金可能更有利,例如,当包括稀有元素和/或昂贵元素的合金对于相对大规模和/或商业应用可能是不切实际时。

[0018] 虽然存在满足上述条件的一些合金,但这些现有合金大多不适合增材制造(AM)应用,例如选择性激光熔化(SLM)和/或粉末床融合(PBF)。例如,使用通常用于传统制造(即,非AM制造)的合金的AM工艺可能导致这些合金的不可接受的微观结构和/或其他特性(例如,导致有缺陷和/或不安全的产品)。

[0019] 例如,与传统制造工艺相比,AM工艺可包括非常小的熔池和/或合金从液态到固态的非常高的冷却速率。因此,AM工艺中使用的合金可预期会发展出微观结构和/或其他特性(例如,通过相对小的熔池和/或相对高的冷却速率),从而产生高的强度、延展性、断裂韧性、疲劳强度、耐腐蚀性和/或高温强度,因此产生令人满意的产品。

[0020] 鉴于上述情况,需要对于各种汽车、航空航天和/或其他工程应用中的AM用高性能且经济可行的合金。本公开描述了可以在AM工艺中实施的合金,例如SLM、PBF、DED等。以这种方式,例如,可以生产本发明中公开的合金的增材制造结构。本公开的合金可为汽车、航空航天和/或其他工程应用中的AM提供改进的性能。合金可在AM环境中产生改进的性能,例如高强度(例如屈服强度)、延展性、断裂韧性、疲劳强度、耐腐蚀性、高温强度、伸长率和/或其任何组合中的一种或多种。此外,本公开的合金的应用在经济上是可行的,例如,在汽车、航空航天和/或其他工程应用中的AM的商业环境和/或生产规模中。

[0021] 一方面,描述了高性能铝合金。耐撞性是构成材料碰撞性能的抗拉、剪切和压缩强度的组合。分析和实验数据被各种行业(例如汽车)在设计和工程结构结合材料时使用。

[0022] 用常规技术(例如,非AM工艺)加工的高性能铝合金可以通过以下工艺之一或组合获得各种性能:固溶强化、应变硬化、沉淀强化和/或分散强化。固溶强化、应变硬化、沉淀强化、晶粒或相界强化和/或分散强化的过程可以在固结、随后的热处理、中间冷加工或它们的一些组合期间发生。

[0023] AM中的固结过程和随后的固态冷却可能不同于通过传统技术发生的那些过程。例如,PBF加工中的固结发生在微观尺度上,逐层进行,每一层都经历一次或多次熔化、固结和冷却循环。在这样的过程中,熔化可以在约610°C开始并且可以在约696°C结束。由于熔池尺寸小,冷却速度相对于传统技术来说非常高(例如,冷却速度可以是约 10^3 °C/秒(s)到约 10^6 °C/s)。因此,非平衡热力学和相变动力学可能成为AM过程中的主要驱动因素,从而使合金表现出与AM不同的性能,例如通过继承元素过饱和和合金分配。

[0024] 并非所有合金(例如AA 4046等)都适合通过AM进行快速固结,这可能包括相对小的熔池(并且可能包括约 10^3 °C/s至约 10^6 °C/s的速率)。本公开描述了利用AM可以提供高性能的合金,例如,与当前可用的合金相比。在印刷状态下,例如在经历热处理之后(AM后),或者在印刷状态下和在经历热处理之后两者的某种组合的情况下,本公开的这些合金的性能可以得到改善。

[0025] 在一种示例性配置中,本公开的一种或多种合金可被定制用于优异的强化,其中所述一种或多种合金在室温和高温下将具有高极限强度和抗拉强度。在另一示例性配置中,本公开的一种或多种合金可被设计用于优异的延展性,其中所述一种或多种合金在室温和高温下将具有高伸长率。

[0026] 本公开的一种或多种合金可被专门设计以适应合金在AM(例如PBF工艺)中经历的快速熔化、固结和/或冷却。例如,合金元素及其浓度可以被配置为使得可以在快速冷却期间与其他合金元素形成金属间化合物。此外,合金元素及其浓度可以基于合金元素在铝基质中的液体和/或固体溶解度来配置。合金元素及其浓度可以被配置为使得合金元素在AM(例如,PBF工艺)期间快速固结和冷却之后可以形成过饱和固溶体和/或纳米沉淀物。合金元素及其浓度可被配置为在后续热处理(例如包括沉淀热处理和/或热等静压(HIP))期间,形成金属间化合物及其相。最后,合金元素及其浓度可以被配置为在快速固结和冷却期间形成目标特定金属间化合物,使得由此形成的相可以增强本公开的一种或多种合金的性能。此外,合金元素及其浓度的配置可导致在随后的热处理期间形成相,这改进了本公开的一种或多种合金的机械性能。

[0027] 本公开的一种或多种合金配置有余量的Al。在一些方面,余量可包括至多0.1重量%的微量元素。Al可以与一组其他材料例如一种或多种元素合金化。在某些配置中可用于形成铝合金的示例元素可包括镁(Mg)、锰(Mn)、硅(Si)、铬(Cr)、钛(Ti)、锆(Zr)、钇(Y)、和/或上述元素组的全部或子集的某种组合。

[0028] 本公开的一种或多种合金可以是包括Mg、Mn、Si和Al的组合物。根据各种配置,Mg可以是组合物的约5重量%至12重量%,Mn可以是组合物的约0.1重量%至2重量%,Si可以是组合物的约0.3重量%至3重量%,并且Al可以是组合物的余量。根据一些进一步的配置,本公开的一种或多种合金的组成可以包括Fe、Cr、Ti、Zr和/或Y中的至少一种。

[0029] 在合金化中,可以通过不同的元素(例如,当包含在含有Al的固溶体中时)获得各种特性。例如,当Mg和/或Mn包含在含有Al的固溶体中时,可以通过Mg和/或Mn获得增强性能。然而,由于基于Mg和/或Mn的溶解度的金属间化合物的形成,Mg和/或Mn的添加可能降低延展性。表1说明了铝合金中各种合金化元素的固溶增强能力。如所示,最大的固溶增强能力可以通过Mg和Mn获得,例如,当Mg和Mn以每平方英寸千磅力或每平方英寸千磅(ksi)的数量级进行测量时。

	合金化元素	原子半径差%	强度增加/重量 %	
			屈服(ksi)	抗拉(ksi)
[0030]	Cu	-10.70	2.00	6.25
	Mn	-11.30	4.40	7.80
	Si	-3.80	1.33	5.75
	Mg	+11.8	2.70	7.30
	Zn	-6.00	0.42	2.20

[0031] 表1

[0032] 通过常规加工生产的一些现有铝合金(例如,3000和5000系列的铝合金)是基于在Al中添加Mg和Mn。3000系列铝合金中的Mn含量可以在0.2%到1.2%之间,5000系列铝合金中的Mg含量可以在0.5%到5.51%之间。作为另一种现有合金,铝合金(AA)6061可以具有高强度和延展性,例如用于航空航天工程中的应用。但是,AA 6061可能不适合AM应用。特别

是,使用AA 6061的PBF工艺可能会产生不良结果。

[0033] 如本文所述,例如与常规或非AM加工技术相比,AM可与相对高温的熔化和相对快速的冷却相关联。与AM相关的快速冷却速率可增加包含在本文所述的一种或多种合金中的各种元素的溶解度极限,从而导致与常规或非AM加工技术的微观结构相比相对更精细的微观结构。

[0034] 如上所述,除了Al之外,本公开的一种或多种合金可以包括占合金5重量%至12重量%的Mg,包括端点值,其可以与Mn一起合金化以获得相对高的强度和/或延展性(例如,与3000和5000系列的铝合金相比)。例如,本公开的一种或多种合金可以包括占合金至少7重量%的Mg。

[0035] 图1A和1B示出了与Mg和Mn合金化的Al的性质的两个曲线图100、120。参考图1A,第一曲线图100显示了与各种重量百分比的Mg和Mn合金化的Al的屈服强度(以兆帕(MPa)计)和抗拉强度(以ksi计)。如图所示,至少对于约2%Mg和超过7%Mg之间的重量百分比(其可以与重量百分比约0.0%Mn至0.9%Mn合金化),Al合金的屈服强度和抗拉强度都增加。

[0036] 参考图1B,第二个曲线图120显示了与各种重量百分比的Mg和Mn合金化的Al的百分比伸长率(以50毫米(mm)/≈2英寸(in)计)。如图所示,至少对于约2%Mg和超过7%Mg之间的重量百分比(其可以与约重量百分比0.0%Mn至0.9%Mn合金化),Al合金的百分比伸长率可以保持相对高(例如,大于20%,但可以小于40%)。因此,如图1A和1B所示,Al可以与约7重量%的Mg(例如,可能小于和/或可能大于7重量%的Mg)合金化,以配置本公开的具有相对高的强度和延展性的一种或多种合金。如表2所示,示出了具有高强度和高延展性的合金的示例性配置。

[0037]	合金	Mg (重量%)	Mn (重量%)	Al
	Al-Mg-Mn	5.2-11.5	0.2-1.2	余量

[0038] 表2

[0039] 虽然与Mg和/或Mn合金化的Al可提供相对高的强度和/或高延展性,但相对高的强度可通过固溶增强获得,但这样的合金可能不可热处理。因此,本公开的一种或多种合金可以被配置用于固溶增强并且另外用于沉淀硬化。这样做时,本公开的一种或多种合金可适用于AM应用,包括3-D打印。例如,除了Mg和Mn之外,本公开的一种或多种合金可以被配置为具有一种或多种其他元素,余量为Al。通过添加一种或多种其他元素,本文所述的一种或多种合金可适用于AM应用,例如3-D打印,同时仍提供相对高的强度、延展性和/或耐久性。

[0040] 本公开的一种或多种合金被配置为具有Si可有助于所述一种或多种合金的沉淀硬化。例如,在Al-Mg-Mn合金中可以包括Si。具有Si的配置可有助于沉淀硬化。作为说明,表3显示了可适用于AM的Al-Mg-Mn-Si合金的各种实施例。根据一些配置,表3中所示的一种或多种合金可以与一种或多种其他元素(例如,如本文所述)合金化。

[0041]	合金	Mg (重量%)	Mn (重量%)	Si (重量%)	Al
	Al-Mg-Mn-Si 1	5.0-7.0	0.8-1.2	0.8-1.2	余量
	Al-Mg-Mn-Si 2	6.0-8.0	1.0-1.1	1.0-1.2	余量
	Al-Mg-Mn-Si 3	8.0-10.0	0.2-0.5	0.8-1.2	余量
	Al-Mg-Mn-Si 4	8.0-10.0	0.2-0.5	1.4-2.0	余量
	Al-Mg-Mn-Si 5	7.0-9.0	0.4-0.8	1.4-2.0	余量

Al-Mg-Mn-Si 6	6.0-8.0	0.9-1.1	0.8-1.2	余量
---------------	---------	---------	---------	----

[0042] 表3

[0043] 根据各种配置,本公开的一种或多种合金可包括一组主要元素:Al、Mg、Mn和Si。表4示出了一种或多种主要元素的重量百分比范围,本公开的一种或多种合金可以被配置为具有所述一种或多种主要元素。

Al	Mg	Mn	Si
余量	5-12%	0.1-2%	0.3-3%

[0045] 表4

[0046] 作为对Si的补充或替代,本公开的一种或多种合金可以配置具有一组以下次要元素中的一种或多种:Fe、Ti、Zr、Cr和/或Y。表5示出了一种或多种次要元素的重量百分比范围,本公开的一种或多种合金可以被配置为具有所述一种或多种次要元素。本公开的一种或多种合金可以被配置为不具有所述次要元素组或具有所有的所述次要元素组或其子集。

	Fe	Ti	Zr	Cr	Y
[0047]	0.05 – 0.25%	0.1 – 0.6%	0.3 – 2.0%	1 – 5%	0.1 – 4%

[0048] 表5

[0049] 根据第一实施例,该组合物的一种配置可以包括余量的Al、前述重量百分比的Mg、Mn和Si,并且可以进一步包括至多约0.25重量%的Fe。在另一个配置中,第一实施例的组合物可以包括至少约0.05重量%的Fe。

[0050] 铁是在铝中最常见的杂质。铁在熔融铝中具有高溶解度,并且因此很容易地在生产的各个熔融阶段溶解。铁在固态下的溶解度非常低,并且取决于冷却速度,它可以通过形成 FeAl_3 ,和更复杂的 AlFeMgSi ,沉淀在合金中,如果控制在组合物中所公开的水平的话,提供另外的强度。

[0051] 根据第二实施例,该组合物的一种配置可以包括余量的Al、前述重量百分比的Mg、Mn和Si,并且可以进一步包括至多约0.6重量%的Ti。在另一个配置中,第二实施例的组合物可以包括至少约0.1重量%的Ti。钛可主要用作铝合金的晶粒细化剂。当单独使用时,钛的该作用随着保持在熔融状态下的时间和重复再熔化而降低。然而,钛降低电导率,因此可以与铬一起使用,铬对铝合金的电阻率有很大影响。

[0052] 根据第三实施例,该组合物的一种配置可以包括余量的Al、前述重量百分比的Mg、Mn和Si,并且可以进一步包括至多约2.0重量%的Zr。在另一个配置中,第三实施例的组合物可以包括至少约0.3重量%的Zr。

[0053] 根据第四实施例,该组合物的一种配置可以包括余量的Al、前述重量百分比的Mg、Mn和Si,并且可以进一步包括至多约5重量%的Cr。在另一个配置中,第四实施例的组合物可以包括至少约1重量%的Cr。铬在固溶体中增加弹性模量并在亚微米沉淀形式时增加组合物的强度。由于铬具有缓慢的扩散速度,铬可以在组合物中形成极细的分散相,并且可以保留在组合物的固溶体中以增加弹性模量和强度。铬还可以降低应力腐蚀敏感性并提高韧性。

[0054] 根据第五实施例,该组合物的一种配置可以包括余量的Al、前述重量百分比的Mg、

Mn和Si,并且可以进一步包括至多约4重量%的Y。在另一个配置中,第五实施例的组合物可以包括至少约0.1重量%的Y。

[0055] 就锆和钇而言,当少量可用时,这两种元素都可能形成复杂但纳米级的沉淀物。然而,本公开描述了相对较高量的锆和钇,其可以增加合金的固溶强度和韧性,从而降低在高冷却速率下开裂的敏感性。钇可能比锆更有效(例如,在增加固溶增强和/或韧性方面),并且以本文公开的量包含两种元素中的一种或两种可以平衡它们的效果与它们的成本(例如,在生产一种或更多种本公开的合金中)。

[0056] 在一些示例性应用中,本公开的所述一种或多种合金可用于汽车工程中的AM。例如,本文所述的一种或多种合金可以增材制造用于结点、接头和/或其他结构的生产,它们可以应用于车辆(例如,轿车、卡车等)中。例如,本文所述的一种或多种合金可以进行增材制造以生产车辆的底盘、车架、车身等的全部或一部分。

[0057] 本文所述的一种或多种合金的特性可有助于由本文所述的一种或多种合金制成的结构的耐撞性。此外,本公开的一种或多种合金可以配置有本文所述的材料(例如元素),使得使用所述一种或多种合金的至少一部分增材制造的产品可以在合适的插入点处减轻车辆的重量(例如,与现有的车辆制造方法相比)。

[0058] 本公开的一种或多种合金呈现的特征和/或特性可以超过各种现有合金的相应特性和/或特性,例如,在AM应用的背景下。例如,表6显示了本公开中描述的合金的示例性组合物,列举的元素的图示值为每个对应元素的重量百分比。这些值包括印刷零件的机械特性,没有任何后续加工或后处理操作。表4-6的合金可以包括超过常规锻造AA 6061-T6的机械性能。例如,表6所示合金的屈服强度可以是266MPa,表6所示合金的抗拉强度可以是391MPa,表6所示合金的伸长率可以是11.3%。

	铝合金	组合物, 重量%					强度, MPa		伸长率
		Mg	Si	Mn	Fe	Al	屈服	抗拉	%
[0059]	合金 1	5.64	1.21	1.02	0.16	余量	251	385	11.3
	合金 2	5.29	1.23	0.9	0.1	余量	235	370	10.1
[0060]	合金 3	6.19	1.07	1.1	0.06	余量	266	391	9.5
	合金 4	7.13	1.09	0.57	0.15	余量	262	403	9

[0061] 表6

[0062] 本公开AM工艺可以使用各种金属粉末,例如本公开的一种或多种合金。图2A-2D图示了示例性3-D打印机系统的相应侧视图。在该实施例中,3-D打印机系统是粉末床融合(PBF)系统200。图2A-2D示出了不同操作阶段期间的PBF系统200。还应当注意的是图2A-2D的元素和本公开中的其他图不一定按比例绘制,而是为了更好地说明本文描述的构思的目的可以绘制得较大或较小。

[0063] 图2A-2D中所示的具体实施方案是采用本公开的原理的PBF系统的一些合适实施例。具体地,本文所述的一种或多种铝合金可用于图2A-2D中所述的至少一种PBF系统200。虽然本公开中描述的一种或多种铝合金可能适用于各种AM工艺(例如,使用PBF系统,如图2A-2D中所示),但应当理解,本公开中的一种或多种铝合金可以也适用于其他应用。例如,在不脱离本公开的范围的情况下,本文所述的一种或多种铝合金可用于其他制造场合或领域。因此,采用本公开的所述一种或多种铝合金的AM工艺被认为是说明性的,并不旨在限制

本公开的范围。

[0064] 根据本公开的一些实施例,在PBF系统200中使用的铝合金可以是组合物,其包括余量Al,占组合物至少2重量%的Mg、占组合物至多2.5重量%的Mn和占组合物至多4重量%的Si。在特定配置中,Mg可以是组合物的5至12重量%,Mn可以是组合物的0.1至2重量%,Si可以是组合物的0.3至3重量%。

[0065] 在某些进一步的配置中,该组合物还可包括选自由Fe、Ti、Zr、Cr和/或Y组成的组中的至少一种元素。在一个实施例中,组合物可包括占组合物至多1重量%的Fe(例如,组合物可包括占组合物0.05重量%至0.25重量%的Fe,包括端点值)。在另一个实施例中,组合物可包括占组合物0至1重量%的Ti(例如,组合物可包括占组合物0.1重量%至0.6重量%的Ti,包括端点值)。在另一个实施例中,组合物可包括占组合物0.15至5重量%的Zr(例如,组合物可包括占组合物0.3重量%至2重量%的Zr,包括端点值)。在又一个实施例中,组合物可包括占组合物至少1重量%的Cr(例如,组合物可包括占组合物1重量%至5重量%的Cr,包括端点值)。在又一个实施例中,组合物可包括占组合物至少0.1重量%的Y(例如,组合物可包括占组合物0.1重量%至4重量%的Y,包括端点值)。在一种配置中,该组合物包括以上列出的所有元素(Al、Mg、Mn、Si、Fe、Cr、Ti、Zr和Y)。在一种配置中,组合物包括累计至多约0.1重量%且以单种计(例如,以与余量的Al合金化的每个单种元素计)0.01%的微量杂质。

[0066] 在用于PBF系统200之前,可以将铝合金元素组合成根据本文描述的实施例/配置之一的组合物。例如,当元素熔化时,可以组合在本公开的实施例/配置之一中描述的各个浓度的元素。可以在元素熔化的同时混合该组合物,例如,以促进各元素与余量Al的均匀分布。熔化的组合物可以被冷却和雾化。组合物的雾化可以产生包括本公开的实施例/配置之一的元素的金属粉末,并且可以用于增材制造系统,例如PBF系统200。

[0067] PBF系统200可包括可沉积每层金属粉末的沉积器201、可产生能量束的能量束源203、可施加能量束以融合粉末材料的偏转器205、以及可以支撑一个或多个构建件例如构建件209的构建板207。PBF系统200还可以包括位于粉末床容器内的构建底板211。粉末床容器的壁212通常限定粉末床容器的边界,粉末床容器从侧面夹在壁212之间并在下方邻接构建底板211的一部分。构建底板211可以逐渐降低构建板207,使得沉积器201可以沉积下一层。整个机构可置于腔室213中,该腔室可封闭其他部件,从而保护设备,实现大气和温度调节并减轻污染风险。沉积器201可包括包含粉末217(例如金属粉末)的料斗215和可平整每层沉积粉末的顶部的平整器219。

[0068] 具体参考图2A,该图显示了在一片构建件209已经融合之后但在已经沉积下一层粉末之前的PBF系统200。事实上,图2A示出了PBF系统200已经沉积和融合多层(例如150层)切片以形成构建件209(例如由150个切片形成)的当前状态的时间。已经沉积的多个层形成了粉末床221,其包括已沉积但未融合的粉末。

[0069] 图2B示出了处于构建底板211可以降低粉末层厚度223的阶段的PBF系统200。构建底板211的降低导致构建件209和粉末床221下降粉末层厚度223,使得构建件和粉末床的顶部低于粉末床容器壁212的顶部的量等于粉层厚度。以这种方式,例如,可以在构建件209和粉末床221的顶部上方创建具有等于粉末层厚度223的一致厚度的空间。

[0070] 图2C示出了处于这样一个阶段的PBF系统200,在该阶段沉积器201被放置以将粉

末217沉积在构建件209和粉末床221的顶表面226上方产生并且以粉末床容器壁212为边界的空间中。在该实施例中,沉积器201在从料斗215释放粉末217的同时在限定的空间上逐渐移动。平整器219可以整平释放的粉末以形成粉末层225,其厚度基本上等于粉末层厚度223(例如参见图2B)。因此,PBF系统中的粉末可由粉末材料支撑结构支撑,该粉末材料支撑结构可包括例如构建板207、构建底板211、构建件209、壁212等。应当注意,所示的粉末层225的厚度(即,粉末层厚度223(图2B))大于用于上面参考图2A讨论的涉及150个预先沉积的层的实施例的实际厚度。

[0071] 图1D示出了处于这样阶段的PBF系统200,在该阶段中,在沉积粉末层225(图2C)之后,能量束源203产生能量束227并且偏转器205施加能量束以融合构建件209中的下一个切片。在各种示例性实施方案中,能量束源203可以是电子束源,在这种情况下,能量束227构成电子束。偏转器205可以包括偏转板,该偏转板可以产生电场或磁场,该电场或磁场选择性地偏转电子束以使得电子束扫描指定要融合的区域。在各种实施方案中,能量束源203可以是激光器,在这种情况下,能量束227是激光束。偏转器205可以包括光学系统,该光学系统使用反射和/或折射来操纵激光束以扫描选定的待融合区域。

[0072] 在各种实施方案中,偏转器205可包括可旋转和/或平移能量束源以定位能量束的一个或多个万向节和致动器。在各种实施方案中,能量束源203和/或偏转器205可以调制能量束,例如,在偏转器扫描时打开和关闭能量束,使得能量束仅施加在粉末层的适当区域中。例如,在各种实施方案中,能量束可以由数字信号处理器(DSP)调制。

[0073] 合金可以由两种或多种材料(例如,金属或非金属)组成的物质。该两种或更多种材料可以通过合并在一起(例如,当熔化时)而结合在一起。

[0074] 在一些配置中,本公开的一种或多种合金可以是组合物,其可以混合以包括余量的Al和以下材料:(1)占组合物约5至12重量%的Mg;(2)占组合物约0.1至2重量%的Mn;(3)占组合物0.3至3重量%的Si。在一些配置中,余量的Al可包括至多0.1%的微量元素。

[0075] 在一些其他配置中,本公开的一种或多种合金可以是Al、Mg、Mn和Si的上述组合物,并且该组合物可以包括以下其他材料中的至少一种:Fe、Ti、Zr、Cr和/或Y。当本公开的合金是包含Fe的组合物时,Fe可以是组合物的0.05-0.25重量%。当本公开的合金是包含Ti的组合物时,Ti可以是组合物的0.1-0.6重量%。当本公开的合金是包含Zr的组合物时,Zr可以是组合物的0.3-2重量%。当本公开的合金是包含Cr的组合物时,Cr可以是组合物的1-5重量%。当本公开的合金是包含Y的组合物时,Y可以是组合物的0.1-4重量%。在各种配置中,本公开的所述一种或多种合金可以包括全部,不包括,或包括部分其他材料Fe、Ti、Zr、Cr和/或Y。

[0076] 本公开的示例合金可以用L-PBF法处理成打印测试条。从示例合金可以获得抗拉性能。

[0077] AM原材料可以通过粉末制造工艺以及其他方法制造,例如铸锭冶金(I/M),其中通过将金属与添加的合金元素一起熔化并在模具例如铸锭中固结来制造固体铸锭。然后通过各种锻造材料生产方法,例如轧制、挤压、拉拔等,使模制的固体或铸锭变形。将铸锭、线材和棒材熔化和雾化制成粉末,或直接送入激光、电子、等离子束或电弧(如TIG、MIG)中,逐层熔化金属层以制造AM产品。

[0078] 粉末特性对于在诸如PBF和/或DED的AM机器中成功融合可能很重要。可能有利于

与AM一起使用的合金粉末的一些方面可以包括但不限于良好的流动性、颗粒的紧密堆积和球形颗粒形状。这些方面可能导致一致和可预测的层。

[0079] 提供先前的描述以使本领域的任何技术人员能够实践本文描述的各个方面。本领域技术人员将容易明白本公开中通篇呈现的这些示例性实施方案的各种修改,并且本文公开的概念可以应用于铝合金。因此,权利要求书并不旨在限于整个公开内容中呈现的示例性实施方案,而是符合与语言权利要求一致的全部范围。对本领域普通技术人员来说是已知的或后来变得已知的本公开通篇描述的示例性实施方案的元素的所有结构和功能等效物,都旨在被权利要求书所涵盖。此外,无论权利要求书中是否明确记载了此类公开,本文所公开的任何内容均不旨在专供公众使用。任何权利要求要素不根据35USC. §112(f) 或适用司法管辖区的类似法律的规定解释,除非要素使用短语“用于...的装置”明确表述,或者在方法权利要求的情况下,使用短语“用于...的步骤”表述要素。

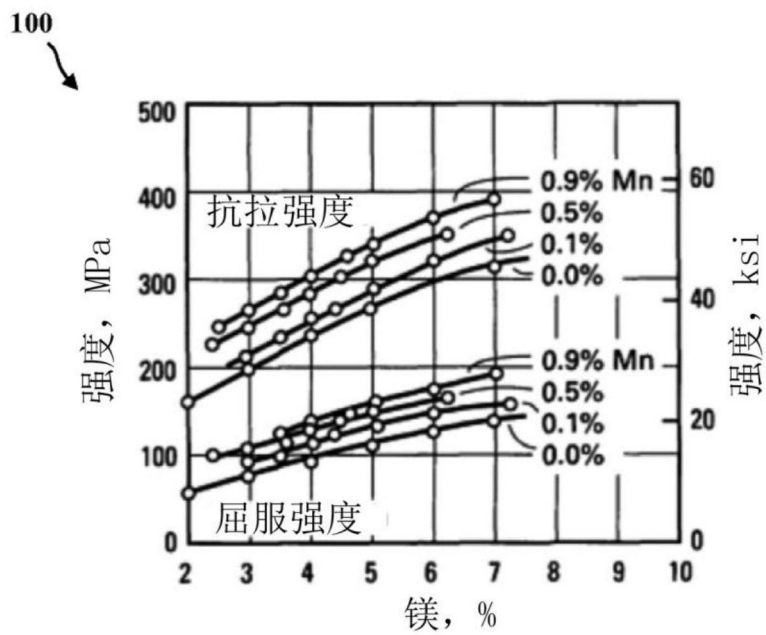


图1A

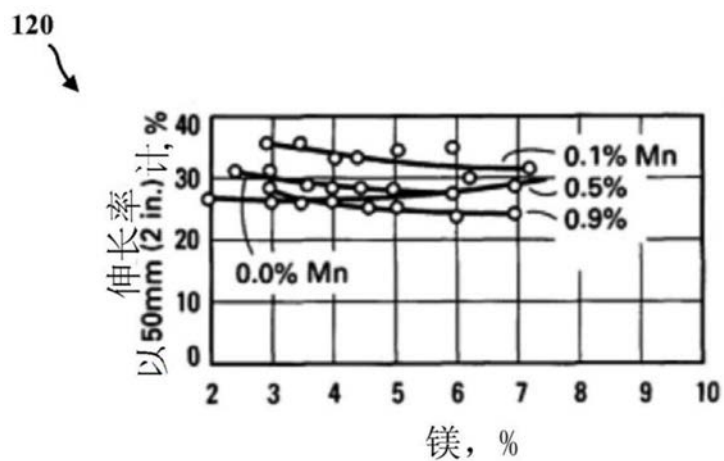


图1B

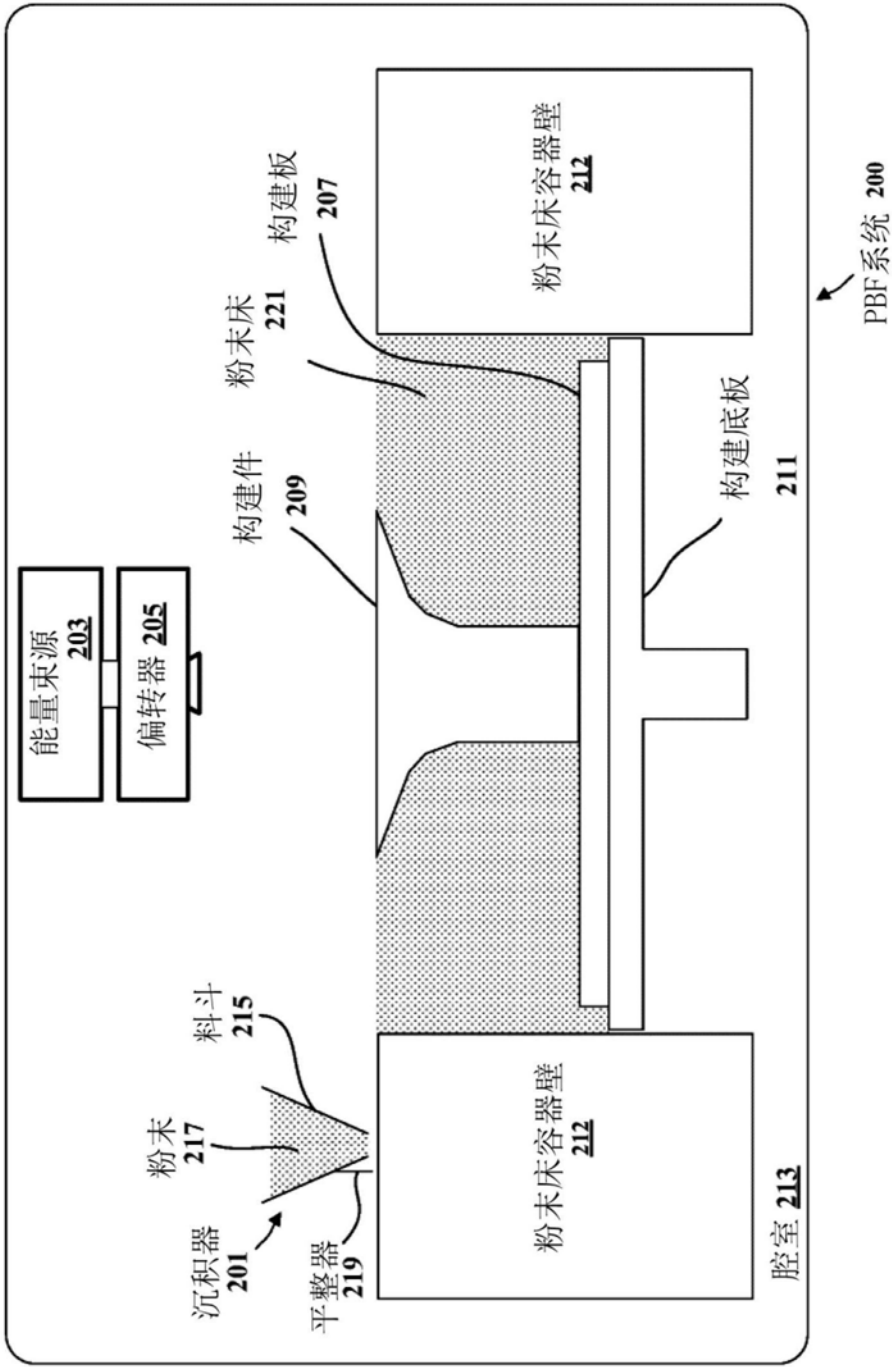


图2A

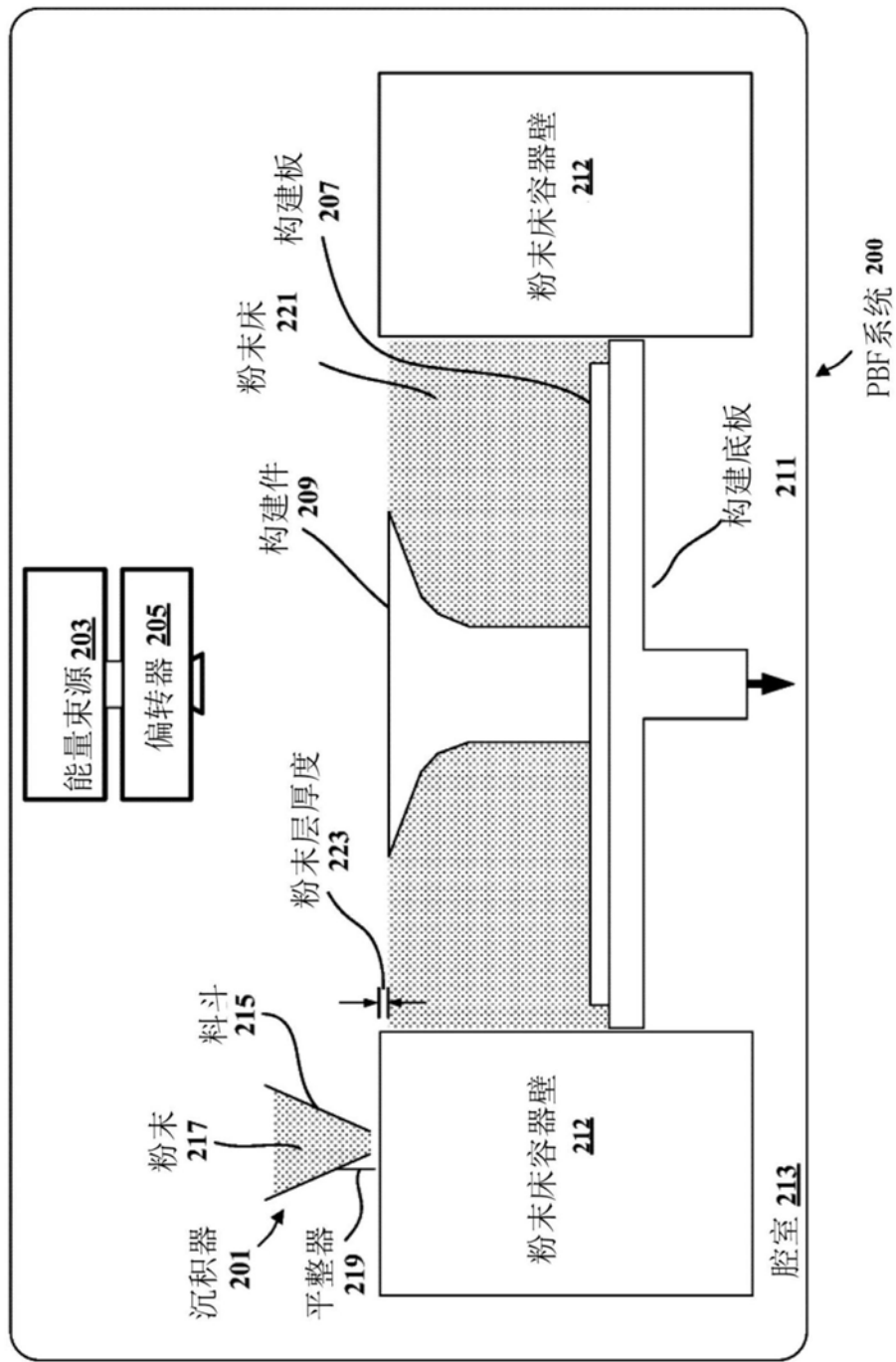


图2B

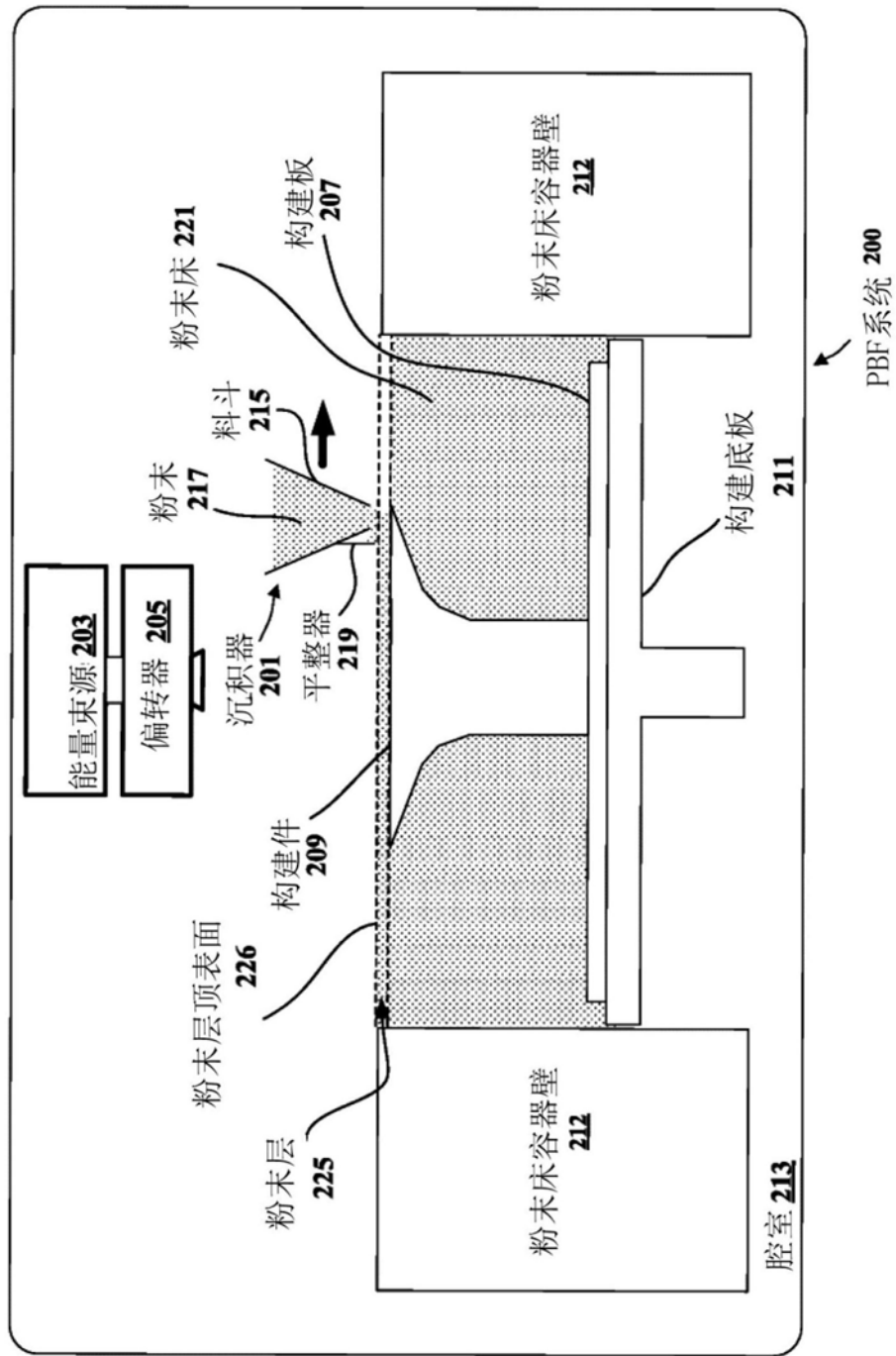


图2C

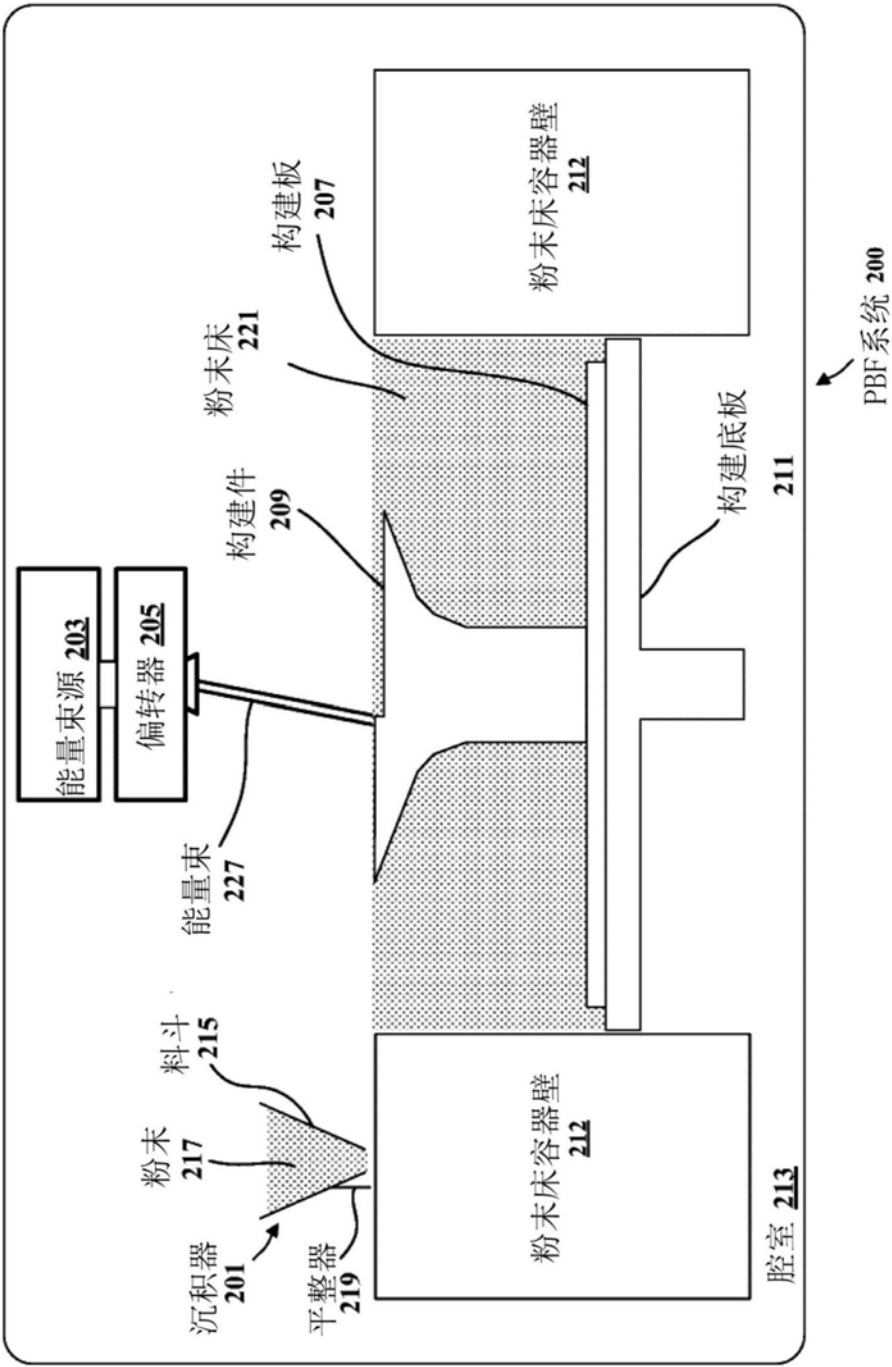


图2D