



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112041766 B

(45) 授权公告日 2024. 10. 15

(21) 申请号 201980028552.4

(22) 申请日 2019.04.23

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112041766 A

(43) 申请公布日 2020.12.04

(30) 优先权数据
102018110294.1 2018.04.27 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2020.10.27

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2019/060392 2019.04.23

(87) PCT国际申请的公布数据
W02019/206919 DE 2019.10.31

(73) 专利权人 EOS有限公司电镀光纤系统
地址 德国克赖灵

(72) 发明人 T·马特斯 A·阿加贾尼-塔莱什
P·霍尔费尔德

(74) 专利代理机构 北京市磐华律师事务所
11336
专利代理师 董巍

(51) Int.Cl.
G05B 19/4099 (2006.01)
B29C 64/153 (2006.01)
G02B 27/09 (2006.01)

(56) 对比文件
US 2018029126 A1, 2018.02.01

审查员 李思思

权利要求书3页 说明书23页 附图9页

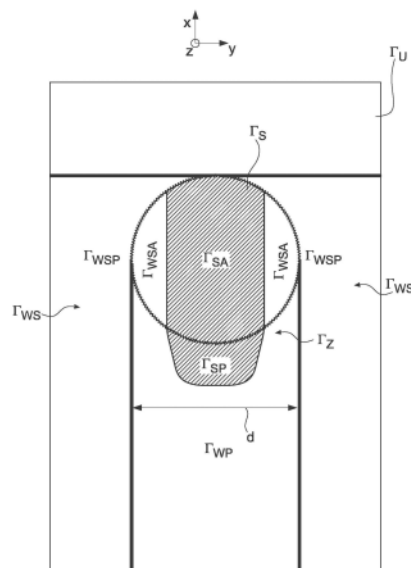
(54) 发明名称

生成用于增材制造的装置的控制数据的方法和装置

(57) 摘要

描述了生成用于增材制造的装置(1)的控制数据(BSD、PSD)的方法和控制数据生成机构(54、54'),其中,构建构建材料(13)并选择性地固化。为此在构建区(8)上用至少一个能量射束(AL)照射构建材料(13),其中,能量射束(AL)的照射面(22)在构建区(8)上运动,以使在照射面(22)中或其周围的目标区中的构建材料(13)熔化。为了生成控制数据(BSD、PSD)确定在构建材料(13)的目标区域(Γ_z)中局部目标温度分布(TV)的优化标准(OK)和/或辅助和/或边界条件(WB),从而以导热焊接引起构建材料(13)熔化。在此基础上确定能量射束(AL)的优化的强度分布曲线(IO),该强度分布曲线在构建区(8)上的照射面(22)处基本上为非旋转对称的。借助具有所确定的优化的强度分布曲线(IO)的能量射束(AL)照射构建材料(13)。还描述了一种用于控制增材制造装置(1)的方法和控制机构(50)以及相应的增材制造

装置(2)。



1. 一种用于在制造工艺中为制造产品 (2) 进行增材制造的装置 (1) 生成控制数据 (BSD、PSD) 的方法, 其中, 在所述制造工艺中构建构建材料 (13) 并且选择性地固化, 其中, 为了在构建区 (8) 上进行固化, 用至少一个能量射束 (AL) 照射所述构建材料 (13), 其中, 所述能量射束 (AL) 的照射面 (22) 在所述构建区 (8) 上运动, 以使构建材料 (13) 在所述照射面 (22) 中或其周围的目标区域 (Γ_z) 中熔化, 其中, 为了给至少一个照射模式生成所述控制数据 (BSD、PSD), 确定在所述构建材料 (13) 的目标区域 (Γ_z) 中局部目标温度分布 (TV) 的优化标准 (OK) 和/或辅助和/或边界条件 (WB), 其中作为导热焊接在所述目标区域 (Γ_z) 内引起所述构建材料 (13) 熔化并且基于所述优化标准 (OK) 和/或辅助和/或边界条件 (WB) 在优化工艺的范围内确定所述能量射束 (AL) 的至少一个优化的强度分布曲线 (IO), 其中, 在所述构建区 (8) 上的所述照射面 (22) 处的所述能量射束 (AL) 相应于所确定的优化的强度分布曲线 (IO) 或除了特定的公差之外至少尽可能好地接近所确定的优化的强度分布曲线 (IO), 从而实现期望的局部目标温度分布 (TV), 并且其中, 所述能量射束 (AL) 的照射面 (22) 在所述构建区 (8) 上的优化的强度分布曲线 (IO) 关于与所述能量射束 (AL) 的入射方向同轴伸延的射束轴线 (R) 基本上是非旋转对称的, 以及其中, 生成所述控制数据 (BSD、PSD), 使得在操控增材制造的装置 (1) 时在所述照射模式中用基本上具有所确定的、优化的强度分布曲线 (IO) 的能量射束 (AL) 照射所述构建材料 (13)。

2. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 基于所述优化标准 (OK) 和/或辅助和/或边界条件 (WB) 还确定以下工艺参数 (WP) 中的至少一个:

- 辐射强度;
- 至少一个射束扩展 (d) 和/或所述能量射束 (AL) 的照射面 (22) 在所述构建区 (8) 上的形状;
- 所述能量射束 (AL) 的照射面 (22) 在所述构建区 (8) 上的运动速度;
- 层厚度;
- 照射策略。

3. 根据权利要求1或2所述的方法, 其中, 将所述目标区域 (Γ_z) 以及可选地将所述目标区域 (Γ_z) 的周边 (Γ_U) 分成多个工艺区 (PZ、 Γ_S 、 Γ_{SA} 、 Γ_{SP} 、 Γ_{WS} 、 Γ_{WP} 、 Γ_{WSA} 、 Γ_{WSP} 、 Γ_{WPA} 、 Γ_{WPP}), 其中, 所述工艺区 (PZ、 Γ_S 、 Γ_{SA} 、 Γ_{SP} 、 Γ_{WS} 、 Γ_{WP} 、 Γ_{WSA} 、 Γ_{WSP} 、 Γ_{WPA} 、 Γ_{WPP}) 彼此在空间上的相对布置参考关于所述能量射束 (AL) 固定的坐标系 (x、y、z) 来定义, 并且其中, 为不同的工艺区 (PZ、 Γ_S 、 Γ_{SA} 、 Γ_{SP} 、 Γ_{WS} 、 Γ_{WP} 、 Γ_{WSA} 、 Γ_{WSP} 、 Γ_{WPA} 、 Γ_{WPP}) 配备不同的优化标准 (OK) 和/或辅助和/或边界条件 (WB)。

4. 根据权利要求1或2所述的方法, 其中, 在针对局部目标温度分布 (TV) 确定所述优化标准 (OK) 和/或辅助和/或边界条件 (WB) 时考虑所述构建材料 (13) 的至少一个材料特征值 (MK)。

5. 根据权利要求1或2所述的方法, 其中, 在针对局部目标温度分布 (TV) 确定所述优化标准 (OK) 和/或辅助和/或边界条件 (WB) 时考虑以下参数中的至少一个:

- 用于描述所述构建材料的相变的特征值;
- 冷却速率和温度停止点;
- 空间上的温度梯度;
- 导热系数;

- 热容量;
- 密度;
- 热传导率;
- 表面应力;
- 相变焓;
- 沸腾或蒸发温度;
- 熔化温度。

6. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,至少一个优化标准(OK)涉及以下参数中的至少一个:

- 局部温度;
- 局部的温度梯度;
- 冷却速度;
- 能量射束的功率;
- 所述能量射束的照射面在所述构建区上的运动速度。

7. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,为了针对局部的目标温度分布(TV)确定所述优化标准(OK)和/或辅助和/或边界条件(WB)确定以下目标变量(ZG)中的至少一个:

- 时间上的温度变化;
- 局部的目标温度梯度;
- 目标熔融池深度;
- 目标表面质量;
- 目标构建率;
- 最大温度的偏差;
- 目标熔融池形状。

8. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,至少一个辅助和/或边界条件(WB)涉及维持以下参数或规定中的至少一个:

- 最大温度;
- 最小温度;
- 在两个相邻工艺区之间的区域边界处的连续温度走向;
- 最小的熔融池深度。

9. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,所述强度分布曲线在所述构建区(8)上的所述照射面(22)的区域中具有最大区域。

10. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,所述强度分布曲线在所述构建区(8)上的所述照射面(22)的区域中具有沿所述能量射束(AL)在所述构建区(8)上的运动方向(s)从所述射束轴线(R)开始向前移动的最大区域。

11. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,所述能量射束(AL)的照射面(22)在所述构建区(8)上具有至少400 μm 射束宽度(b)。

12. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,所述能量射束(AL)的照射面(22)在所述构建区(8)上具有至少600 μm 射束宽度(b)。

13. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,所述能量射束(AL)的照射面(22)在所述构建

区(8)上具有至少800 μm 射束宽度(b)。

14.根据权利要求1或2所述的方法,其中,在另一照射模式中生成所述能量射束(AL),使得以深层焊接在所述目标区域(Γ_z)内引起所述构建材料(13)熔化。

15.一种用于控制对制造产品(2)进行增材制造的装置(1)的方法,其中,基于根据权利要求1至14中任一项所述的方法为所述装置(1)生成控制数据(BSD、PSD)并且使用所述控制数据(BSD、PSD)控制所述装置(1)。

16.一种用于为在制造工艺中对制造产品(2)进行增材制造的装置(1)生成控制数据(BSD、PSD)的控制数据生成机构(54、54'),在该制造工艺中构建构建材料(13)并且选择性地固化,其中,为了在构建区(8)上进行固化,用至少一个能量射束(AL)照射所述构建材料(13),其中,所述能量射束(AL)的照射面(22)在所述构建区(8)上运动,以使在所述照射面(22)中或其周围的目标区域(Γ_z)中的构建材料(13)熔化,其中,所述控制数据生成机构(54、54')构造成,为了给至少一个照射模式生成所述控制数据(BSD、PSD)确定所述构建材料(13)在所述目标区域(Γ_z)中的局部目标温度分布(TV)的优化标准(OK)和/或辅助和/或边界条件(WB),其中以导热焊接在所述目标区域(Γ_z)内引起所述构建材料(13)熔化并且基于所述优化标准(OK)和/或辅助和/或边界条件(WB)在优化工艺中确定所述能量射束(AL)的至少一个优化的强度分布曲线(IO),其中,在所述构建区(8)上的所述照射面(22)处的所述能量射束(AL)相应于所确定的优化的强度分布曲线(IO)或除了特定的公差之外至少尽可能好地接近所确定的优化的强度分布曲线(IO),从而实现期望的局部目标温度分布(TV),并且其中,所述能量射束(AL)的照射面(22)在所述构建区(8)上的优化的强度分布曲线(IO)关于与所述能量射束(AL)的入射方向同轴伸延的射束轴线(R)是基本上非旋转对称的,以及其中,生成所述控制数据(BSD、PSD),使得在操控增材制造的装置(1)时在所述照射模式中用基本上具有所确定的强度分布曲线的能量射束(AL)照射所述构建材料(13)。

17.一种用于在制造工艺中对制造产品(2)进行增材制造的装置(1)的控制机构(50),在该制造工艺中构建构建材料(13)并且选择性地固化,其中,为了在构建区(8)上进行固化,用至少一个能量射束(AL)照射所述构建材料(13),其中,使所述能量射束(AL)的照射面(22)在所述构建区(8)上运动,从而使在所述照射面(22)中或其周围的目标区域(Γ_z)中的构建材料(13)熔化,其中,所述控制机构(50)具有根据权利要求16所述的控制数据生成机构(54)或至根据权利要求16所述的控制数据生成机构(54')的端口以提供控制数据(BSD、PSD),并且构造成通过使用所述控制数据(BSD、PSD)用所述能量射束(AL)来操控用于照射所述构建材料(13)的装置(1)。

18.一种在增材制造工艺中对制造产品(2)进行增材制造的装置(1),具有至少一个用于将构建材料(13)引入工艺空间(3)中的输入机构(16)、用于通过借助能量射束(AL)的照射使所述构建材料(13)选择性地固化的照射机构(20)以及根据权利要求17所述的控制机构(50)。

19.一种具有计算机程序的计算机程序产品,其能将所述计算机程序直接下载到对制造产品(2)进行增材制造的装置(1)的控制机构(50)的存储装置中,所述计算机程序具有程序段,以便当所述计算机程序在控制机构(50)中执行时,执行根据权利要求1至14中任一项所述的方法的所有步骤。

生成用于增材制造的装置的控制数据的方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及用于为在制造工艺中对制造产品进行增材制造的装置生成控制数据的方法,在该制造工艺中构建构建材料并且选择性地固化,其中,为了在构建区上进行固化,用至少一个能量射束照射构建材料并同时使能量射束的照射面在构建区上运动,以使在照射面中或其周围的目标区中的构建材料熔化。本发明还涉及通过使用控制数据控制用于对制造产品进行增材制造的装置的方法。本发明还涉及用于生成控制数据的相应的控制数据生成机构以及具有这种控制数据生成机构或至这种控制数据生成机构的端口的控制机构,以接收控制数据。

背景技术

[0002] 在制造原型时以及在批量制造中增材制造工艺越来越重要。通常“增材制造工艺”可理解为一般基于数字3D结构数据通过堆放材料(“构建材料”)构建制造产品(下面也称为“构件”)。在此构建是指(但是不强制一定是)逐层地进行。增材制造的同义词通常也使用术语“3D打印”,借助增材制造工艺制造模型、图案和原型常常称为“快速原型”并且模具的制造也称为“快速制模”。如本文开头所述,核心点是对构建材料的选择性固化,其中,在多个制造过程中可借助用辐射能量,例如电磁辐射、尤其是光和/或热辐射照射,但是必要时也可借助粒子辐射,例如电子辐射进行固化。使用照射工作的方法例如有“选择性激光烧结”或“选择性激光熔融”。在此使得大多为粉末状的构建材料的薄层反复地叠置施加并且在每层中都在“焊接工艺”中通过空间受限地照射在制造之后应属于待制造的制造产品的部位选择性地固化,即借助通过在该部位处辐射局部引入的能量部分地或完全地熔化构建材料的粉末颗粒。在冷却之后,粉末颗粒彼此连接成固体。

[0003] 在实际应用中或在至今已知的用于增材制造的机器或装置中通常使用具有基本上旋转对称的强度分布(也称为强度分布曲线)的能量射束进行选择性地固化。这种旋转对称的强度分布通常相应于(圆对称的)高斯分布曲线。即,强度在能量射束的中间最高并且根据高斯分布曲线沿所有方向沿径向向外横向于能量射束的扩散方向或当前的光路方向(下面也简称“射束方向”或“射束轴线”)变弱。该分布曲线无需其他措施就可从至今使用的能量射束源、例如普通的激光器中获得。但是最新的认识或研究表明,能量射束的强度分布或强度分布曲线的精确形状对整个制造工艺并没有显著的影响,尤其是例如对能量消耗和/或制造产品的品质,例如其微结构。在具有高斯强度曲线的激光束和非旋转对称的强度分布、即椭圆形强度分布的激光束之间的比较例如在Tien T. Röhling等人的论文“Modulating laser intensity profile ellipticity for microstructural control during metal additive manufacturing”,in Acta Materialia,128(2017),pp.197-206(“在金属增材制造工艺中调节激光强度轮廓椭圆率以进行微结构控制”(材料学报)2017年128期,第197-206页)中进行了描述。

[0004] 此外,目前在实践中在对金属进行激光烧结过程中大多用所谓的“深层焊接工艺”(“穿透型焊接法”)工作。焊接工艺在形成也称为“锁孔”的蒸气毛细管时定义为深层焊接工

艺。射出的能量射束、尤其是激光束在此产生由熔融的材料或金属构成的海洋。如果材料的海平面达到其沸点温度,蒸气气泡侧向地并且向下将熔体压离并且由此产生蒸气毛细。锁孔的直径小于能量射束或激光束的直径。在此蒸气毛细也与能量射束的运动速度相关地产生,激光器通常自强度为 $2\text{MW}/\text{cm}^2$ 开始处于 $1\text{m}/\text{Min}$ 。锁孔越深,力越大,此时希望能够萎缩的力越大,并且已经吸收越多的能量射束功率,从而最终在与某些参数相关的特定深度处出现平衡。

[0005] 该深层焊接工艺的优点为大的深度效果。即,可通过在焦点直径处测量实现比没有发生这种蒸发时明显更大的进入深度。下面将没有蒸发的焊接过程也称为“导热焊接”(也称为“传导模式焊接”或“传导激光焊接”)。

[0006] 但是这种深层焊接工艺也具有多处缺点:

[0007] 第一,通过能量射束提供相对高的蒸发焓,蒸发焓例如处于熔化焓之上的数量级并且从工艺的生产部分中抽出。虽然蒸发焓在金属蒸气冷凝时再次发生,但是只有在相对远离待制造的几何结构的位置处。蒸发焓由于该空间分离不可用于工件。该能量消耗提高了能量射束的成本。

[0008] 第二,蒸发的物质大多损失了,这在高成本的金属粉末方面显著增加了构件费用并且会影响构件价格。

[0009] 第三,在蒸发时材料体积(在正常条件下)增大约1000倍。这导致在缩孔内的金属蒸气中的高压,这又会带来缩孔中的金属蒸气的高流出速度(处于0.3马赫数量级)。高速气体射流会带走相邻的固体颗粒和/或液滴,其以高的速度离开熔融池并由此引起能量和材料损耗。这些颗粒和/或液滴大多称为“飞溅物”。

[0010] 第四,在离开锁孔后不久再次冷凝的金属气体通常恰好与能量射束的入射方向相反地流动,因此冷凝物会不受控地通过吸收和散射与能量射束相互作用。为了尽可能避免与工艺相关的干扰,可使金属气体的流动方向尽可能快且高效地转向。这可以由与粉末床相切的由保护气体构成的流动幕帘实现,但是其速度必须足够高,以足够降低不期望的效应。但是这样会使流动速度通常高到可将大量的粉末状材料从粉末床中带走,就像强风也可以将灰尘从地板上带走(风蚀)一样。借助工艺气体循环系统,通常工艺副产品或杂质,例如从工艺腔中排出的金属冷凝物或原料粉末可在工艺腔下游被收集在过滤器中以及必要时废气系统的分离器中。该材料通常会丢失,还必须复杂且昂贵地进行处理。

[0011] 上面说明的各种损失源造成的材料损失的总和可能是被构建的构件的重量的数倍。因此避免使用其或显著降低其使用会大大降低成本。

[0012] 在实际中有时尝试通过设置可变的焦点来控制工艺。在此使用可变的散光镜(Aufweiter),该散光镜使得激光束的焦点向下移动,从而射束在其具有更大直径的腰部射在加工平面上。但是随着激光功率的增加,该方案越来越容易发生强度波动,该强度波动通过沿激光束的纵向方向移动而出现。此外使用这种方法只能将焦点直径选择为如此大,使得仍然实现了要求的工艺细节分辨率,其主要由焦点直径、层厚度和粉末粒度确定。如果此时为了提高生产率尝试提高曝光速度,即激光束在表面上的进给速度,但是同时没有提高焦点直径,因为这由于要求的细节分辨率不可被增大,由此这导致强度提高。而强度提高加剧了上述深层焊接工艺的不期望的不良现象。然后锁孔变得更深并且由此更加不稳定。萎缩的锁孔出现在熔融池中,熔融池不可控制地硬化、在极端情况下甚至会引起材料缺陷,例

如多孔。最后,该方法限制每个激光束能耦合入到材料中的能量。因为使用的能量射束的数量也不是任意的并且仅能以很小的范围增加,该方法由此限制了总的系统生产率,因此也限制了用于降低生产成本的调节变量。

发明内容

[0013] 本发明的目的是提供用于生成控制数据或用于对制造产品进行增材制造的方法以及对此合适的装置,它们解决了上述问题。

[0014] 该目的通过根据权利要求1的用于生成控制数据的方法、根据权利要求11的用于控制对制造产品进行增材制造的装置的方法、根据权利要求12的控制数据生成机构、根据权利要求13的用于对制造产品进行增材制造的装置的控制机构和根据权利要求14的对制造产品进行增材制造的装置实现。

[0015] 在根据本发明的方法中,如开头所述的在制造工艺中为对制造产品进行增材制造的装置生成控制数据。在该制造工艺中在该装置的工艺腔中优选逐层地构建构建材料,优选对粉末借助能量照射、尤其是在相应的层中选择性地固化。为此在构建区上如所述地用能量射束照射构建材料。在此能量射束的照射面在构建区上运动。在此“运动”可理解为例如通过检流计镜使能量射束一般性偏转,但是也可理解为例如呈二极管排、尤其是激光二极管排的形式完整辐射输出单元或通过运动的射束成型。

[0016] 通过借助能量射束引入的能量,在照射面中以及周围的目标区域中的构建材料熔化。“目标区域”在此一方面理解为照射面,即能量射束照射在表面上的区域,也可理解为进入材料的或层的深度的区域、必要时也包括能量射束例如通过在构建材料中的热传导起作用的照射面的周边。仅为了完整还应提及的是,能量射束既可是粒子辐射也可是电磁辐射,例如光辐射或优选激光辐射。

[0017] 因此控制数据优选可为曝光控制数据,例如扫描数据,扫描数据定义或预先给定能量射束在表面上的运动;用于设置能量大小或激光强度的控制数据;关于射束的“形状”或射束分布和/或焦点或垂直于辐射方向的射束扩展的控制数据。但是这些控制也可如后面还将详细阐述地包括其他的控制信息,例如涂装控制数据,涂装控制数据预先给定当前层厚度、用于控制借助其他的能量引入机构进行预热或再次加热的信息、用于注入惰性气体的信息。

[0018] 在此还应提及的是,控制数据一方面可用于“简单地”控制工艺,也可用于调节工艺,例如通过使控制数据预先给定用于进一步调节工艺的理论数据。换句话说借助根据本发明的方法也可推导出调节器所需的变量,调节器例如获得实际数据以用于反馈,该实际数据通过熔池监控或时间解析的光学层析成像确定。

[0019] 根据本发明,为了生成至少一个照射模式的控制数据确定关于在构建材料的目标区域中的局部目标温度分布或目标温度分布曲线的优化标准和/或辅助条件和/或边界条件,其中作为导热焊接使得构建材料在目标区域内熔化。换句话说,以如下方式确定目标温度分布的标准和条件,即在目标区域内由此定义的目标温度处于上述导热焊接的工艺窗口中并且避免“翻转”或转变到深层焊接工艺或不确定的或不稳定的焊接方式中。基于该优化标准和/或辅助和/或边界条件,此时优选在稍后还将更详细阐述的优化工艺的范围中确定能量射束的至少一个优化的强度分布曲线或强度分布。在此根据本发明使得在构建区上的

照射面处的能量射束的优化的强度分布曲线相对于与能量射束同轴伸延的射束轴线(或假想的旋转轴线)基本上是非旋转对称的。因此可将表述“在照射面处”理解为涉及在照射面之前不久在垂直于入射方向的假想平面中的强度分布曲线,该照射面在大多数情况下与直接在构建区的表面上或工作平面中的强度分布曲线不相应,因为能量射束大多倾斜地照射到构建区上。但是这不排除在确定优化的强度分布曲线时也同时考虑相应的倾斜位置,因为在构建区上的入射方向的位置也决定了优化的强度分布曲线对局部目标温度分布的影响。

[0020] 至此,如前所述地生成能量射束,使得能量射束通常关于与能量射束的辐射方向同轴的辐射轴线旋转对称,即具有高斯强度分布。术语“基本非旋转对称”在此是指这样的能量射束,即,其强度分布有意地以显著程度生成为非旋转对称的或通过有针对性地修改射束被相应地改变(这种强度分布在本发明中也看作是“非旋转对称”)。而不应理解为本身应具有常见的旋转对称的、例如高斯强度分布并且与旋转对称仅具有不期望的偏差,例如由于用于生成能量射束和/或使能量射束运动的系统的意外变形或其他缺陷或在常见的公差范围中。例如如果按期望生成的输出能量射束的强度分布在数学上描述为极坐标 r 和 ϕ (在垂直于射束方向的平面中)的位置的函数 $I(r, \phi)$,则在强度分布内找不到原点时此时强度分布优选可称为或定义为“非旋转对称”,该原点对于在条件 $m \geq 2$ 的情况下任意的 m 以及任意的 r 满足以下特性:

$$[0021] \quad \left| 1 - \left(\frac{I(r, \phi_0)}{I(r, \phi_0 + 360^\circ/m)} \right) \right| < \varepsilon$$

[0022] 其中, $\varepsilon \leq 0.01$,优选 $\varepsilon \leq 0.05$,更优选地 $\varepsilon \leq 0.1$,还进一步优选地 $\varepsilon \leq 0.2$ 。

[0023] 优选地,将强度分布选择为,其也是非均匀的,即除了常见的公差之外不是在整个横截面面积上基本具有相同的强度。

[0024] 以这种方式为相关照射模式生成的控制数据用于在相关的照射模式中操控并且如所述地可选地也用于调节增材制造的装置,由此用能量射束照射构建材料基本上以确定的优化的强度分布曲线来实现。即为此使得在构建区上的照射面处的能量射束相应于确定的强度分布曲线或除了特定的公差之外至少尽可能好地接近确定的强度分布曲线,从而由此也实现期望的局部的目标温度分布(如后面还将所述地在维持照射工艺的其他工艺参数的情况下)

[0025] 可应用在根据本发明的方法中的优选的照射模式是所谓的“核心模式(Core-Modus)”,其中构件在内部被固化。此外在多个生产方法中还有其他的固化模式,例如轮廓模式,在轮廓模式中固化构件的(外)轮廓,或用于固化支撑结构的模式,支撑结构不是构件的实际组成部分,等等。但是这不排除在期望时根据本发明的方法也可应用在其他模式中。

[0026] 此处应强调的是,“边界条件”在此以及通常理解为仅可通过复杂工作来影响、甚至不可被影响,因此必须在确定优化的强度分布曲线时或在优化过程中用作给定的变量。而“辅助条件”大多是指与实际的主要条件、即实际的优化标准不同的条件,但是必须额外地满足且同时通常可限制需要主要达到的满足优化标准的参数方案集。而优化标准理解为包含待优化参数作为函数参数的一个函数或多个函数。该函数形成在优化工艺中应被优化

的数学关系,即,应为其找到一个最佳的参数值或多个最佳的参数值以及在此需要实现的目标变量或设定值。

[0027] 借助根据本发明的方法可控制制造过程,使得通过在照射面周围的表面处或目标区域中实现近似理想的表面温度,例如均匀的温度分布可避免本文开头所述的由于深层焊接工艺所引起的问题。由此一方面可使能量引入最大化而另一方面不同于至今常见的常规旋转对称的高斯工艺可以考虑其他的工艺相关方面。如果中间强度最大且朝边缘成钟形地且旋转对称地下降的高斯激光束照射到金属熔融池上,这引起在表面上在中间区域的某处具有温度分布的最大值。在此随着功率逐渐提高不可避免地在某时刻开始蒸发。通过使热量流过熔融池进入材料中,即进入当前表面的深度中,处于熔融池表面以下的温度此时通常低于表面的温度。此外,金属熔体的表面应力(如大多流体一样)尤其是也与温度相关。局部变化的表面应力使得材料从具有低的表面应力的区域朝具有较高表面应力的区域流动。该效应称为热毛细对流(thermokapillare Konvektion)(也称为马朗戈尼效应(Marangoni-Effekt))。如果例如表面应力随着升高的温度而降低(其中表面应力的温度相关性与材料和使用的保护气体相关),则材料从液体表面的热区域流向冷区域。因此在所述的高斯强度分布曲线的情况下形成从其中间朝其边缘的流动。该流动在熔融池边缘处向下转向到熔融池的更深的区域中,在熔融池的底部处再次位于其中间,在此从中央再次向上升高到表面并且重新开始循环。这种热毛细对流的速度在熔融池中可达到直至100m/s。通过考虑材料处于液体相中的时间,在普通的曝光参数中模拟实现了在金属再次硬化之前该环形流动大约循环两次。根据马朗戈尼数的符号(即相应的温度/表面应力梯度),热能与材料一起被输送到熔融池的较冷的、外部的或较深的区域中。该流动也是湍流的来源,其出现在非静止的硬化表面中和/或甚至在从熔融池喷出的液滴中。

[0028] 在根据本发明的过程的范围,即在目标区域中、尤其是在构建区上的温度分布曲线的优化中借助优化的强度分布曲线可通过合适的预先给定的温度分布曲线或通过预先给定为此相应所需的优化标准和/或辅助和/或边界条件在熔融池表面处甚至有针对性地利用温度相关性的影响,以控制熔融池中的对流。由此例如可有针对性地设置温度分布曲线,温度分布曲线使得热毛细对流相对于上述常见的方向转向,由此通过对流强制将质量运输以及热运输到深度中。由此可提高“有效的进入深度”或“熔融池深度”或“焊接深度”,由此可熔化更厚的层并且同时可降低“硬化宽度”(“熔池宽度”),这将有利于细节精确性,其中将“硬化宽度”理解为在构建区上垂直于能量射束运动方向的最大扩展。此外可在期望时通过使表面温度均匀化来完全防止或至少大大降低热毛细对流,由此实现较光滑的构件表面。

[0029] 具体使用哪种策略或为此如何定义相应的优化标准和/或辅助和/或边界条件与相应的使用目的相关,例如涉及何种照射模式,制造哪种构件,应实现哪些条件和期望的构件特性,使用哪些材料等。根据每种情况可借助根据本发明的方法预先给定需要在熔融池表面处设置的温度分布曲线的理论状态,由此优化整个生产过程。

[0030] 在根据本发明的用于控制对制造产品进行增材制造的生产装置的方法中,首先将以根据本发明的方式生成控制数据,然后利用这些控制数据来控制装置。在此可提前生成控制数据并作为完整的包或以“控制协议”的形式传输给装置,然后装置执行生产工艺。但是原则上也可在已经运行的过程期间为后续的工艺步骤确定控制数据,例如在层固化期

间,为下一层确定控制数据并在固化另一层时使用。

[0031] 在此控制数据的输出基础尤其是给出在工艺空间或构建区之内的哪些部位处应固化材料的数据,即稍后哪些部分应属于构件或属于可能的支撑结构等以及哪些区域不属于的数据。这些数据例如可从待制造物体和/或支撑结构的3D数字模型中获得。如果存在该数据和其他的所需信息,例如使用哪些材料、提供哪种固化机构、尤其何种能量射束或可在哪些参数的范围中设置等,由此可借助预先给定的优化标准和/或辅助条件和/或边界条件确定期望的优化的强度分布曲线以定义局部的目标温度分布,并且因此可相应地确定控制数据。

[0032] 根据本发明的生成用于对制造产品进行增材制造的装置的控制数据的控制数据生成机构构成,可确定关于构建材料在目标区域中的局部目标温度分布的优化标准和/或辅助和/或边界条件以为至少一个照射模式生成控制数据,其中作为导热焊接在目标区域内使构建材料熔融。例如经由用户端口或通过上一级的控制协议等预先给定优化标准和/或辅助条件和/或边界条件。

[0033] 控制数据生成机构还构成,控制数据生成机构基于优化标准和/或辅助条件和/或边界条件确定能量射束的至少一个优化的强度分布曲线,其中,如所述地,能量射束的优化的强度分布曲线在构建区上的照射面处基本上为非旋转对称的。在此生成控制数据,使得在(必要时稍后)在照射模式中操控增材制造装置时用基本上具有确定的强度分布曲线的能量射束照射构建材料,使得创建控制数据,借助控制数据通过使用控制数据可相应地操控增材制造装置。

[0034] 控制数据生成机构例如可为这种对制造产品进行增材制造的生产装置的控制机构的一部分。但是控制数据生成机构也可独立地在另一计算机上实现,以便随后将数据转交给控制机构。

[0035] 因此,根据本发明的用于这种对制造过程的增材制造的装置的控制机构具有根据本发明的控制数据生成机构或与这种控制数据生成机构的端口以提供相关的控制数据或以便由控制数据生成机构接收控制数据,并且该控制机构构成通过使用控制数据操控用能量射束照射构建材料的机构。

[0036] 根据本发明的在增材制造工艺中对制造产品进行增材制造的装置除了常见的部件,例如用于在工艺空间中以构建材料层的形式引入构建材料的输入机构并且用于通过借助能量射束照射选择性固化构建材料的照射机构具有至少一个这种控制机构。

[0037] 此处应指出的是,根据本发明的装置也可具有多个照射机构,多个照射机构此时与控制数据相应协调地被操控,从而实现局部的目标温度分布。还应再次说明的是,优化能量射束的强度分布曲线,也可由多个叠加的能量射束构成,因此使得叠加的子能量射束共同地具有优化的强度分布曲线,然后强度分布曲线最佳地引起期望的目标温度分布或使得维持用于局部的目标温度分布的辅助和/或边界条件并且就此尽可能地满足优化标准。

[0038] 根据本发明的控制数据生成机构可以具有合适软件的计算单元的形式实现。计算单元例如可为此具有一个或多个共同作用的微型处理器等。控制数据生成机构尤其是在根据本发明的生产装置的控制机构的计算单元中的合适的软件程序部件的形式实现。基本上以软件实现具有的优点是,至今为止使用的计算单元、尤其是用于增材制造的生产装置的控制机构以简单的方式通过软件或硬件升级可被加装,从而以根据本发明的方式工

作。就此而言,该目的也通过具有计算机程序的相应计算机程序产品实现,计算机程序可直接下载到计算单元的存储机构中、尤其控制机构中,该计算机程序具有程序段,以便在计算单元或控制机构中执行该程序时执行根据本发明的方法的所有步骤。这种计算机程序产品除了计算机程序以外必要时也可包括额外的组成部分,例如文件汇编和/或额外的部件以及硬件部件,例如使用软件的硬件密匙(加密狗等)。为了运输至计算单元或控制机构和/或为了存储在计算单元或控制机构中可使用计算机可读介质,例如记忆棒、硬盘或其他的可运输的或固定装入的数据载体,在数据载体上存储计算机程序的可由计算单元、尤其控制机构读取的并且可执行的程序段。

[0039] 本发明的特别有利的其他设计方案和改进方案由从属权利要求以及下面的描述中给出,其中,一权利要求类别中的独立权利要求也可与另一权利要求类别的从属权利要求和实施例类似地改进并且尤其也可将不同实施例或变型方案的各个特征组合成新的实施例或变型方案。

[0040] 为了生成具有确定的优化的强度分布曲线的能量射束,有各种方案。例如在生成能量射束时就已实现期望的射束成型。

[0041] 由此例如可使激光器构造有多个激光通道,激光通道可内聚地组合,从而激光通道一起用作各个内聚的激光源并且作为激光源起作用。这本身可提供以下可能性:在相和幅度方面额外地动态地调制每个激光通道,以便实现期望的可变的射束成型,尤其是期望的强度分布曲线。

[0042] 此外由能量射束源生成的任意的、即首先旋转对称的能量射束只能此后在射束成型机构内“成型”或修改,以便获得期望的射束分布曲线。这种射束成型机构也可以不同的方式实现。

[0043] 优选地,射束成型机构可具有至少一个可通过控制机构操控的微光学元件。在此特别优选的是所谓的衍射光学元件(英语也作为“Diffractive Optical Element”、DOE已知)。

[0044] DOE可通过反射或透射工作并且射入的射束的波前可通过局部地调制反射的或透射的分射束的相和/或幅度而改变。

[0045] 而主动的DOE可理解为以上所述的多个原则上内聚的激光源的组件,其中每个单个的激光束的相和/或幅度彼此相关,但是可相对彼此控制,由此也使得在远场中实现由单个激光束的叠加所产生的强度分布的操作成为可能。

[0046] 而DOE尤其适用在需要修改已经生成的进入的能量射束(之后)的射束成型机构中。

[0047] 优选地,射束成型机构包括至少一个射束分配器,射束分配器例如也可构造成DOE,以便将“输入能量射束”分成至少两个射束。射束分配器优选可包括薄层偏振器(Dünnschicht-Polarisator)。这种薄层偏振器产生两个线性极化的分射束,对于分射束又有用于修改强度分布的不同方案。

[0048] 射束成型机构为此例如可具有至少一个射束成型元件。优选地,射束成型机构具有多个这种射束成型元件,例如分配给不同分射束、尤其线性极化分射束的射束成型元件。但是这不排除也可为一个分射束配备多个射束成型机构。

[0049] 特别优选地其中至少一个射束成型元件、非常特别优选地所有射束成型元件包括

或是LCoS显示器(LCoS=Liquid Crystal on Silicon硅上液晶,也称为LCoS微型显示器)。借助这种LCoS显示器可相对简单地以期望的方式成型线性极化的射束或使得其在垂直于射束轴线的平面中的强度分布改变。LCoS显示器是上述内容中的被动DOE的另一示例。

[0050] 射束成型机构优选还具有射束组合器,以便重组至少两个能量射束。

[0051] 射束组合器优选也可包括偏振器、特别优选地包括薄层偏振器。借助这种射束组合器例如可使两个线性极化的分射束在其修改之后通过射束成型元件再次组合并由此再次产生输出能量射束,其强度分布曲线以期望的方式被动态地修改。

[0052] 为了借助射束成型机构生成具有期望的、基本上非旋转对称的强度分布的能量射束,射束成型机构优选具有至少一个控制端口并且更优选地构造成,借助控制机构至少可以以一定的带宽动态地修改能量射束的强度分布。这使得非旋转对称的强度分布经由控制机构永久地近似“实时地”匹配当前需求,因此在每个固化区域中都可实现最佳的结构效果。

[0053] 在此,输入能量射束可来自任意的射束源。原则上输入能量射束也可如所述地包括一束彼此叠加的分射束。优选地、不是必须地,在此涉及激光束。

[0054] 同样也可在具有非旋转对称的强度分布的能量射束中还在射束成型机构中改变强度分布,即组合多个方法。

[0055] 优选地,基于优化标准和/或辅助和/或边界条件额外地确定以下其他工艺参数中的至少一个、优选其中的多个工艺参数(其中,在此部分地可为其他的照射工艺参数,但是也可为其他的工艺参数):

[0056] -能量射束的辐射强度。在此例如可确定射束分布曲线的绝对值,例如辐射强度具有哪个最大值或最小值,其中实现了确定其中一个值,因为另一值就通过射束分布曲线确定。在此尤其也一起确定能量射束的功率;

[0057] -沿横向于入射方向的至少一个方向的至少一个射束扩展,即例如射束直径或射束宽度,其中,射束宽度始终理解为垂直于构建区上的照射面的当前运动方向的扩展。替代地或额外地,也可确定能量射束在构建区上的照射面处的整个形状。射束扩展例如可通过聚焦调节机构来影响;

[0058] -能量射束在构建区上的照射面的运动速度,即也可与位置相关地被修改、即无需恒定的扫描速度;

[0059] -各个施加或固化的构建材料层的层厚度;

[0060] -用于确定照射策略的参数。能量射束在构建区上的照射面的选择性照射或运动大多根据合适的“照射策略”来进行。由此通常在固化工艺期间照射较大的二维区域、即构建区上的较大的面。不管如何生成能量射束以及构建区上的照射点具体如何移动,证明有利的是首先将这种较大的待照射区域根据选出的图案虚拟地“划分”成例如虚拟的“条纹”、菱形图案、棋盘图案等。然后以能量射束大多以所谓的“阴影线”的形式(通常以及下面也称为“填充(Hatch)”)扫过该图案的各个面、即定义的分区、例如几何结构标准化的表面块,例如条纹或区。在条纹图案中从宏观上看构建材料沿着彼此平行的条纹依次被固化并且具体来说从微观来看在此能量射束在构建区上的照射面沿着彼此紧挨的阴影线运动,阴影线横向于相应的照射条纹的延伸方向在照射条纹的边界中来回伸延。在此作为照射策略参数例如可选择照射图案和/或填充方向(交替地照射)或以保持不变的填充方向(单向照射,即在照射条纹中具有从填充端部至接下来相邻填充起始部的回缩)工作。

[0061] 在此,其他的工艺参数可考虑为可变的,即在优化工艺内考虑例如可优化的输入变量。这在多种情况下也是有利的,尤其是在涉及辐射强度和射束扩展度,因为其最终与射束分布曲线一起最大程度地影响温度分布。但是其他参数也可预先确定,例如作为固定的目标变量,例如层厚度或照射策略。在这种情况下可提供,在边界条件需要强制维持时,相关参数本身变成边界条件。

[0062] 有各种方案用于确定优化标准和/或辅助和/或边界条件:

[0063] 在该方法的优选实施方式中将目标区域以及可选地将目标区域的限定周边、优选最大约照射面的扩展部的五倍、特别优选最大约三倍的周边本身虚拟地分成空间上不同的工艺区,其中,将照射面的扩展部定义为在照射面之内出现能量射束在构建区上的辐射功率的99%。在此工艺区彼此的相对空间布置参考相对于能量射束固定的坐标系定义,即坐标系随着能量射束在构建区表面上运动并且在运动改变时也随着能量射束旋转。在此优选地,z坐标在射束轴线与构建区表面或工作平面的交点处竖直地位于构建区上并且x坐标和y坐标与其垂直,例如x坐标始终在能量射束在构建区上的照射面的运动方向上并且y坐标与其垂直。

[0064] 空间上不同的工艺区例如可为熔融区和围绕其的热影响区,能量射束直接地作用到该熔融区上并且在此使构建材料熔化。例如在热影响区中温度可比还未加热或已经冷却的材料更高,例如为绝对固体温度的0.3倍。这些区又可被分成子区,这例如还将在后面根据多个实施例更详细地描述。

[0065] 在此优选地,为各个工艺区,即在目标区域和周边中的不同分区分配不同的优化标准和/或辅助和/或边界条件。为此也提供示例。通过分成不同的工艺区可非常精确地调节优化标准或辅助和/或边界条件并由此确定更好的优化的强度分布,该强度分布进一步推进生产工艺。

[0066] 如所述地,关于局部目标温度分布的优化标准和/或辅助和/或边界条件与材料相关。由此例如对于在导热焊接的工艺窗口中尽可能高效地执行工艺需要注意的是,虽然该温度接近使用材料的蒸发温度或在使用材料组合(例如合金)时材料组分的最低蒸发温度,但是没有超过。

[0067] 因此优选地,在关于局部的目标温度分布确定优化标准和/或辅助和/或边界条件时考虑构建材料的至少一个材料特征值。特别优选地考虑以下参数中的至少一个、优选考虑其中多个参数:

[0068] -用于描述构建材料的相变的特征值。为此例如包括核形成率和/或核增长率;

[0069] -冷却速率和温度停止点,例如以便形成和/或避免构建材料的相变;

[0070] -空间温度梯度、尤其允许的空间温度梯度以避免通过在工艺中引发的固有应力产生的损伤;

[0071] -构建材料的导热系数;

[0072] -构建材料的热容量;

[0073] -构建材料的密度;

[0074] -热传导率。其由导热系数与构建材料的热容量和密度的乘积的商算出;

[0075] -构建材料的表面应力。

[0076] -构建材料的相变焓,即用于触发相所需或在形成相时释放的能量;

[0077] -构建材料或其部件中的至少一个(如果构建材料具有多个部件)的沸腾或蒸发温度、优选最低的沸腾或蒸发温度。

[0078] -构建材料或其部件中的至少一个(如果构建材料具有多个部件)的熔化温度、优选最低的熔化温度。

[0079] 在与温度和相相关的材料特征值中,原则上也可预先给定多个相应的材料特征值或表格或函数,其根据温度和相定义相应的材料特征值。这例如涉及导热系数、热容量、密度或导热率以及表面应力。

[0080] 原则上在给定材料特征值的情况下也可考虑所述参数由于与保护气体氛围的反应而可能改变。即,相应地、例如以合适的校正函数校正特征值或提供可用于根据保护气体等找出合适值的表格。

[0081] 优选地,至少一个优化标准涉及以下参数中的至少一个:

[0082] -在构建区上的相应位置处的局部温度。该温度应优选尽可能接近蒸发温度或在包括多种组分的材料中处于最低的蒸发温度,但是没有超过。以这种方式能可靠实现,该工艺保留在导热焊接的工艺窗口中,因此非常高效,因为可引入高的能量。

[0083] -在构建区上的相应位置处的局部温度梯度。该温度梯度应尽可能接近局部的目标温度梯度。

[0084] -冷却速度。冷却速度应尽可能地接近目标冷却率。

[0085] -能量射束的功率。该功率应尽可能低,以便节省能量。

[0086] -能量射束在构建区上的照射面的运动速度,即扫描速度。运动速度又应该尽可能高,以便实现高的生产率。因为相对于可引入的能量禁止了能量射束的尽可能低的功率和同时能量射束的高的扫描速度,优选在优化方法中找出帕累托最优(Pareto optimum)。

[0087] 对于属于不同的优化标准的目标变量,下面还给出示例。

[0088] 优选地,为了确定局部的目标温度分布的优化标准和/或辅助和/或边界条件确定以下目标变量中的至少一个,优选确定这些目标变量中的多个:

[0089] -允许的时间上的温度变化。例如为此可预先给定目标冷却速率和/或特定的温度停止点。在此可注意到,用于不同工艺区的温度变化如上所述可为不同的。尤其在熔融区中的温度变化大多不同于相邻的热影响区中的温度变化。

[0090] -局部的目标温度梯度。这也可为不同的工艺区确定为不同的。

[0091] -目标熔融池深度,即力求的熔融池深度或焊入深度,其尤其又可与层厚度相关。

[0092] -目标表面质量。例如作为目标变量可通过热毛细对流预先给定避免的效应和/或最大允许的表面局部曲率。

[0093] -目标构建率。在这种情况下可优化成,使得在生产中实现期望的速度。目标构建率尤其与上述能量射束功率和扫描速度相关。

[0094] - (允许的)最大温度的允许偏差,尤其是在熔融区中。

[0095] -目标熔融池形状,例如力求达到的形状,以便填充已经固化的填充结构。

[0096] 如所述地,同样也可提供多个辅助和/或边界条件,以便定义或限定局部的目标温度分布。优选地,至少一个辅助和/或边界条件涉及维持以下参数或规定中的至少一个:

[0097] -最大温度。一般来说,这如所述地,材料或材料组分的蒸发温度即为最大允许的温度,由此保留在导热焊接的工艺窗口中。最大温度通过使用的材料或材料组分预先给定

并且在材料没有变化的情况下也没有改变。因此涉及边界条件。

[0098] -最小温度。在此通常预先给定相应使用材料的熔化温度或相应使用合金的液相温度。在预先给定材料时这也可作为边界条件。

[0099] -在两个相邻工艺区之间的区域边界处的连续温度走向。优选地,该温度走向应至少一次可连续微分。特别有利地,该温度走向近似为平滑的,即可至少三次连续微分。连续的温度走向最后是指,在两个相邻的工艺区之间的区域边界或过渡部处没有突变,这也是不实际的。该规定可在优化工艺内作为辅助或边界条件预先给定。即例如条件“至少一次可连续微分”作为边界条件预先固定给出并且要求作为辅助条件来实现尽可能平滑的温度走向。

[0100] -最小的熔融池深度。在此可为力求达到的熔融池深度或焊入深度,以便确保连接在先前固化的层上。这也可作为辅助或边界条件确定,即特定的最小熔融池深度,但是尽可能实现最佳的值,例如在特定的区域边界中。

[0101] 所述的所有参数或规定也可在优化中组合地预先给定并且维持,或仅部分地预先给定并且维持。尤其根据策略也可将不同的参数或参数值确定为优化标准或目标变量、辅助条件和/或边界条件。

[0102] 可被考虑或优选应考虑的另一边界条件是在工艺中获得能量的条件。因为原则上引入的能量必须流走,因此优选也可在优化工艺中注意可引入的能量不可大于流走的能量。

[0103] 作为边界条件也可考虑射束成型机构或射束生成机构的最大可能的局部(光学)的分辨率或在形成强度分布曲线时在特定的射束特性之间转换时的转换时间或转换频率以及考虑辅助条件,使得扫描速度应始终大于零,由此能量射束在该部位处没有失真。

[0104] 根据材料的不同,选择的能量射束和其他的工艺条件、如允许的扫描速度,使用的保护气体、需要实现的目标构建类型和表面质量等,能量射束的确定的优化的强度分布曲线具有完全不同的形状。即,不管如何以及何处实现了非旋转对称的强度分布都可想到非旋转对称的强度分布或强度分布曲线的任意形状。

[0105] 首先的尝试已经显示出,尤其是首先(例如用于第一轨道或第一填充)强度分布可为最佳的,在构建区上强度分布具有轴对称性,轴对称性的对称轴线沿着构建区上的照射面的运动矢量伸延,即例如沿扫描方向轴对称的强度分布,其中能量射束在从射束轴线开始向前移动的区域中比在后部的区域中具有更高的强度(其中,名称“向前”和“后部”涉及当前的运动方向)。这种形状例如可通过两个高斯分布的叠加实现,两个高斯分布相对彼此移动,即沿扫描方向位于前面的更强的高斯分布和更大的高斯分布,其中点反向于扫描方向朝更高的高斯分布移动。在特别优选的优化的强度分布曲线中,该强度分布曲线在构建区上的照射面的区域中具有最大区域,即最高强度的区域。如所述地,该最大区域此时优选在能量射束在构建区上的运动方向上、即扫描方向上向前移动更多。

[0106] 如果轨道在已经固化的区域附近行进,这可被考虑并且因此与轴对称的强度分布有偏差可为是有利的。

[0107] 能量射束在构建区上的照射面的强度分布曲线以及尺寸、即能量射束在构建区上的射束扩展部可与强度分布曲线一起被确定或优化。特别优选地,能量射束在构建区上的照射面具有至少400 μm 、优选至少600 μm 、特别优选至少800 μm 、例如约1mm的射束宽度(垂直

于扫描方向)。

[0108] 如开头所述,应在至少一个照射模式中、优选在核心模式中使用导热焊接工艺,在该核心模式中制成构件内部。如所述地,在该模式中大多以填充结构工作。

[0109] 与此相对地,在轮廓模式中大多借助能量射束并且在没有填充结构的情况下工作,其中,能量射束在相应的层平面中一次性地穿过待制造的构件的整个结构。类似的过程在构件的内部中、例如在孔的区域中可为是期望的。在这种特殊的照射模式中导热焊接过程可能不是期望的。

[0110] 因此,在该方法的优选变型方案中在制造工艺中在另一照射模式中、特别优选在轮廓模式中可选地生成能量射束,使得在目标区域内构建材料的熔化作为深层焊接起作用。

[0111] 例如为了使能量射束能够良好地驶过构件横截面中的角部,相对小的射束直径可为是有利的。但是因为在导热焊接工艺中工作时在层厚度恒定的情况下借助小的射束直径不能始终实现足够的进入深度,切换到另一模式中,例如深层焊接工艺中可以是有益的。

附图说明

[0112] 下面参考附图根据实施例再次详细描述本发明。在此在不同的附图中对相同的部件采用相同的附图标记。其中示出:

[0113] 图1示出了具有根据本发明的控制数据生成机构的增材制造装置的实施例的部分以剖面示出的示意图,

[0114] 图2示出了根据本发明的制造方法的实施例的可能的方法过程的流程图,

[0115] 图3至图7示出了用于将目标区域和其周边分成不同的过程区的实施例的示意图,

[0116] 图8示出了在根据本发明的生产方法中的优化方法的实施例的可能的方法过程的流程图,

[0117] 图9示出了射束成型机构的实施例的部件的功能性布置示意图,以便为输入能量射束提供期望的强度分布曲线。

具体实施方式

[0118] 下面的实施例参考呈激光烧结或激光熔融装置1形式的用于对制造产品进行增材制造的装置1来描述,其中,在此明确指出本发明不限于激光烧结或激光熔融装置。因此在下面不限于一般性地将装置简称为“激光烧结装置”。

[0119] 这种激光烧结装置1在图1中示意性地示出。装置具有包括腔壁4的工艺腔3或工艺空间3,制造过程基本上在工艺腔中进行。在工艺腔3中有包括容器壁6的向上打开的容器5。容器5的上部开口形成当前的工作平面7。工作平面7的位于容器5的开口内的区域可用于构建物体2,因此称为构建区8。

[0120] 容器5具有可在垂直方向V上运动的基板11,基板布置在载体10上。基板11使得容器5向下被闭合并且由此形成容器的底部。基板11可与载体10形成为一体,但是基板也可与载体10分开形成的平板并且固定在载体10上或简单地支承在载体上。根据具体构建材料的类型、即例如使用的粉末类型和制造工艺类型可在基板11上安装构建平台12作为构建基础,在构建平台上可构建物体2。但是原则上也可在基板11本身上构建物体,该基板此后形

成构建基础。

[0121] 通过首先将一层构建材料13施加到构建平台12上,然后如后面将阐述地借助激光器AL在需要形成待制造物体2的部分的点上选择性地固化构建材料13,然后借助载体10使基板11以及构建平台12下沉并且施加新的一层构建材料13且选择性地固化等原则性地构建物体2。在图1中在容器中构建在构建平台12上的物体2在工作平面7之下以中间状态示出。物体已经具有多个固化的层,被未余留未固化的构建材料13包围。可使用不同的材料作为构建材料13,优选使用粉末,尤其金属粉末、塑料粉末、陶瓷粉末、砂子、经填充或混合的粉末或膏状材料。

[0122] 新鲜的构建材料15位于激光烧结装置1的备用容器14中。借助可在水平方向H上运动的涂装机16可在工作平面7中或在构建区8内以薄层的形式施加构建材料。

[0123] 可选地,在工艺腔3中有额外的辐射加热机构17。辐射加热机构可用于加热施加的构建材料13,从而用于选择性固化的照射机构无需引入过多的能量。即,例如借助辐射加热机构17就可将大量的基础能量引入构建材料13中,基础能量自然还低于使构建材料13熔融或烧结所需的能量。例如可使用红外线辐射器作为辐射加热机构17。

[0124] 为了选择性地固化,激光烧结装置1具有照射机构20或具体来说具有激光器21的曝光机构20。激光器21生成激光束EL,激光束EL首先被输送给射束成型机构30(作为输入能量射束EL)。射束成型机构30如后面将根据图9详细所述地构建,使得射束成型机构由输入能量射束EL生成用于照射构建材料13的(输出)能量射束AL或输出激光束AL,从而能量射束或输出激光束具有关于围绕能量射束AL的射束方向R旋转基本上非旋转对称的强度分布。于是能量射束AL经由后续的转向机构23(扫描仪23)转向,由此在需要相应选择性固化的层中使根据曝光策略设置的曝光路径或轨迹开启并且选择性地引入能量。即,借助扫描仪23使能量射束AL的照射面22在构建区8上运动,其中,照射面22的当前的运动矢量或运动方向S(扫描方向)在构建区8上可频繁地且快速地改变。在此,激光束AL通过聚焦机构24以合适的方式聚焦到工作平面7上。照射机构20在此优选位于工艺腔3之外并且激光束AL经由安装在工艺腔3的上侧的腔壁4中的耦合窗口25导入工艺腔3中。

[0125] 照射机构20例如不仅仅包括一个、而是包括多个激光器。优选地,在此可为气体激光器或固体激光器或任意其他类型的激光器,例如激光二极管,尤其是VCSEL(垂直腔面发射激光器)或VECSEL(垂直外腔面发射激光器)或一系列这种激光器。非常特别优选地,在本发明中可使用一个或多个非极化的单模激光器,例如3kW的具有1070nm波长的纤维激光器。

[0126] 激光烧结装置1还包括传感器组件18,传感器组件适用于检测在激光束22照射到构建材料上期间在工作平面中发出的工艺辐射。在此传感器组件18以位置分辨的方式工作,即传感器组件能够检测相应层的一种发射图像。优选地使用图像传感器或摄像机18作为传感器组件18,摄像机在发射辐射的区域中足够敏感。替代地或额外地,也可使用用于检测光学和/或热的工艺辐射的一个或多个传感器,例如检测由射出的激光束AL之下的熔融池发出的电磁辐射的光电二极管或用于检测发出的热辐射的热敏元件(所谓的熔融池监控)。本身不可分辨位置的传感器的信号与坐标的对应是可能的,使得用于操控激光束的坐标分别在时间上对应于传感器信号。在图1中传感器组件18布置在工艺腔3之内。但是传感器组件也可位于工艺腔3之外并且此时通过工艺腔3中的另一窗口检测工艺辐射。

[0127] 通过传感器组件18检测的信号作为工艺空间传感器数据组或层图像SB在此转交

给激光烧结装置1的控制机构50,控制机构也用于操控激光烧结装置1的不同部件以总体上控制增材制造工艺。

[0128] 为此,控制机构50具有控制单元51,控制单元经由照射控制端口53操控照射机构20的部件,即在此给激光器21发送激光器控制数据LS,给射束成型机构30发送强度分布控制数据VS,给转向机构23发送扫描控制数据SD并且给聚焦机构24发送聚焦控制数据FS。

[0129] 控制单元51也借助合适的加热控制数据HS操控辐射加热机构17,借助涂装控制数据ST操控涂装机16并且借助载体控制数据TS操控载体10的运动,因此控制层厚度。

[0130] 附加地,控制机构50在此具有品质数据确定机构52,品质数据确定机构获得工艺空间传感器数据组SB并且基于该工艺空间传感器数据组确定品质数据QD,品质数据例如可被转交给控制单元51,以能够调节地干预到增材制造工艺中。

[0131] 控制机构50在此例如经由总线55或另一数据连接件与具有显示器等的终端56耦联。操作人员可经由终端控制控制机构50以及整个激光烧结装置1,例如通过传输过程控制数据PSD。

[0132] 为了优化生产过程,借助控制数据生成机构54、54' 以根据本发明的方式生成或修改控制数据,使得在至少一个特定的照射模式(下面基于物体的内部应被固化的核芯模式)中操控装置1,使得一方面该过程作为导热焊接工艺并且不是作为深层焊接工艺来进行并且另一方面能量射束AL在构建区上的照射面22处具有优化的、基本上非旋转对称的强度分布曲线。

[0133] 控制数据生成机构54例如可为控制机构50的一部分并且在此例如以软件组件来实现。这种集成在控制机构50中的控制数据生成机构54例如可接收工艺控制数据PSD并且相应地修改,使得生成具有优化的射束分布曲线的能量射束AL并且然后将相应修改的控制数据PSD继续传输给控制单元51。在此,修改的控制数据PSD包括尤其修改的曝光控制数据BSD,但是必要时也还包括修改的其他控制数据,例如改变的涂装控制数据ST或载体控制数据TS,以便选择合适的层厚度。但是替代地,也可在控制数据生成机构54中仅修改曝光控制数据BSD并且转交给控制单元51,由此照射控制端口53以修改的曝光控制数据BSD工作。

[0134] 但是也可能的是,控制数据生成机构54' 实现在外部的计算机单元上、例如在此实现在终端56上并且先前已经创建了具有相应合适的曝光控制数据BSD的工艺控制数据PSD,借助该曝光控制数据操控装置1,使得实现优化的强度分布曲线,以便使该工艺作为导热焊接工艺来执行。在这种情况下也可取消在此存在于控制机构50中的内部控制数据生成机构54。

[0135] 如所述地,通过控制数据生成机构54、54' 生成的或修改的工艺控制数据PSD、尤其是曝光控制数据BSD也可看作为额定值,额定值此后在控制单元51中用于调节过程,其中,例如(作为一种可行性)可将品质数据QD作为实际值一同考虑。

[0136] 在此还应再次强调,本发明不限于这种激光烧结装置1。该激光烧结装置可应用任意的通过尤其逐层地施加和选择性地固化构建材料的用于生成或增材制造三维物体的其他方法,其中,为了固化将能量射束输出到待固化的构建材料上。因此照射机构不仅仅如此处所述也可为激光器,而是可使用能将能量作为波或粒子辐射选择性地带到构建材料上或带入构建材料中的任意机构。例如代替激光器可使用另一光源、电分射束等。

[0137] 即使在图1中仅示出了单一的物体2,可以并且通常也可在工艺腔3中或容器5中并

行地制造多个物体。为此后面还将给出示例。对此,通过能量射束在相应于物体在各个层中的横截面的部位处逐层地扫描构建材料。

[0138] 下面根据图2描述用于创建优化的强度分布曲线I0以及优化的其他工艺参数WP,例如可通过控制数据生成机构54、54' 确定的例如扫描速度、聚焦、层厚度等的过程。

[0139] 在第一步骤I中,首先确定特定的优化标准OK以及辅助条件和边界条件WB。

[0140] 作为输入值在此例如可提供构建材料的材料特征值MK,例如用于描述构建材料的相变、冷却速率和温度停止点、导热系数、热容量、密度、导热性能、表面应力、相变焓、沸腾或蒸发温度、融化温度等的上述特征值。这些特征值可以函数和/或表格的形式或作为单个值被预先给定。原则上也可接收包含例如使用材料的类型或产品名称这样的信息的工艺数据并因此自动地选出合适的材料特征值。也可能的是,经由用户端口输入材料和/或材料特征值。

[0141] 此外,在该步骤中可定义工艺区PZ,例如通过用户一方定义或通过从预先定义的控制记录中提取等。稍后还将根据图3至图7详细阐述可能的工艺区PZ。

[0142] 此外,可预先给定目标变量ZG,例如目标冷却率或最佳的温度停止点、对于不同工艺区的期望的局部的目标温度梯度、目标熔融池深度、目标表面特性、目标构建率、与还被允许的最大温度的偏差和目标熔融池形状等。

[0143] 最后也可根据期望直接地预先给定特定的边界和/或辅助条件WB。也可例如从预制的或存在的控制记录中提取这些数据。

[0144] 然后在下一步骤II中在优化工艺中引入关于最佳的局部温度分布TV(目标温度分布)的在步骤I中确定的优化标准OK和边界和/或辅助条件WB,在该优化工艺中确定优化的强度分布曲线I0以及其他的工艺参数WP,在维持该强度分布曲线和工艺参数的情况下目标温度分布TV在构建材料的相应当前目标区域中尽可能好地达到优化标准并且也尽可能好地维持辅助条件和决定性地也维持边界条件。在优化工艺中确定的其他工艺参数WP例如可包括扫描速度和层厚度,扫描速度和层厚度与优化的强度分布曲线I0组合是理想的。这种优化工艺的一个示例稍后还将根据图8阐述。

[0145] 然后在步骤III中使用优化的强度分布曲线I0和其他的工艺参数WP来生成控制数据PSD、BSD,或如果已经存在一部分该控制数据,相应地修改该控制数据,使得能量射束以优化的强度分布曲线I0相应地发射到构建区8上的照射面22处并且在照射时或在构建层时维持其他的工艺参数WP。

[0146] 下面仅示例性地描述优化的强度分布曲线I0的可能的计算,强度分布曲线在激光焊接工艺中使得该焊接工艺根据导热焊接原理来进行。在此应强调的是,整个方法也可类似地用于其他的能量射束。

[0147] 为此首先定义一个平面,在该平面中存在运动的正交的坐标系x、y、z,坐标系的原点始终位于运动的激光束AL的中心。坐标系的z方向在此垂直于工作平面伸延。x和y坐标相应地垂直于z方向布置。该坐标系定义为,其以激光束AL旋转,从而激光束始终朝正x方向运动,即坐标x在构建区8上的投影相应于扫描方向S。

[0148] 在该坐标系中定义的(x-/y-)平面在能量射束AL在构建区8上的照射面22周围的区域中、即在目标区域 Γ_z 中以及在目标区域 Γ_z 的一定的周边 Γ_U 中虚拟地被分成空间上不同的工艺区。然后关于该工艺区定义优化标准OK和/或辅助和/或边界条件WB。

[0149] 第一区域或第一工艺区 Γ_S 可称为熔融区 Γ_S 。这可为物质或构建材料处于熔融状态中的区域。熔融区 Γ_S 可在需要时被再次分成主动的熔融区 Γ_{SA} 和被动的熔融区 Γ_{SP} (作为不同的第一工艺区和第二工艺区) (为此参见图3和图4)。主动区域分别通过激光束AL加热, 被动区域则没有。

[0150] 此外可定义第三区域或第三工艺区 Γ_{WS} , 其在激光束旁边侧向地或垂直于相应的运动方向x地包括热影响区 Γ_{WS} 。也可定义直接接在激光束之后的第四热影响区作为跟随的热影响区 Γ_{WP} 。

[0151] 代替仅一个侧向的热影响区 Γ_{WS} 和/或一个跟随的热影响区 Γ_{WP} , 可分别类似于熔融区那样根据期望也可分别定义主动的热影响区 Γ_{WSA} 、 Γ_{WSP} 和相应的被动的热影响区 Γ_{WPA} 、 Γ_{WPP} , 如在图5至图7中示例性示出的。

[0152] 留下的区域, 尤其是沿扫描方向在激光束AL之前的区域仅称为周边 Γ_U 。如尤其从图5至图7中可看出, 激光束AL的射束扩展度d无需与主动的熔融区 Γ_{SA} 一致并且例如在热影响区也希望主动影响, 即在此为工艺区 Γ_{WSA} 或 Γ_{WPA} 时, 可更大。由此在这些区域中例如可更精确地确定冷却速率和温度梯度。但是激光束AL应覆盖所有的“被主动影响”的区域。

[0153] 对于例如在图4中所示的划分成工艺区 Γ_{SA} 、 Γ_{SP} 、 Γ_{WS} 、 Γ_{WP} 的变型方案, 下面稍微更具体地描述可能的优化。对于其他的划分使用相应合适的类似定义和过程。

[0154] 首先可由现有工件的材料数据中确定或预先给定以下用于优化的变量:

[0155] - 冷却速率 T 。冷却速率与材料、即期望的材料特性, 例如粒度、马氏体相变 (martensitische Phasenumwandlung) 等相关。

[0156] - 最大可接受温度 T_V 。这通常是使用材料的蒸发温度或如所述在多种材料的混合物中最低的蒸发温度。

[0157] - 熔化温度 T_M 。在此, 在材料混合时也必须提供最低的熔化温度。

[0158] - 在熔融区 Γ_S 中的目标温度梯度, 目标温度梯度例如可以如下数学方式定义:

$$[0159] \quad \nabla T_S(x, y) = \begin{pmatrix} \nabla T_{Sx}(x, y) \\ \nabla T_{Sy}(x, y) \end{pmatrix} \quad (1)$$

[0160] $T_S(x, y)$ 在此相应于在构建区8上的部位 (x, y) 处在激光束AL的目标区域中的温度, $\nabla T_S(x, y)$ 在此相应于在构建区8上的部位 (x, y) 处在激光束AL的目标区域中的温度的导数, 以及 $\nabla T_{Sx}(x, y)$ 、 $\nabla T_{Sy}(x, y)$ 分别为在x和y方向上的导数。

[0161] - 在侧向的热影响区 Γ_S 中的目标温度梯度, 其可以如下数学方式定义:

$$[0162] \quad \nabla T_{WS}(x, y) = \begin{pmatrix} \nabla T_{WSx}(x, y) \\ \nabla T_{WSy}(x, y) \end{pmatrix} \quad (2)$$

[0163] $T_{WS}(x, y)$ 在此相应于在构建区8上的部位 (x, y) 处在激光束AL的目标区域中的温度, $\nabla T_{WS}(x, y)$ 在此相应于在构建区8上的部位 (x, y) 处在激光束AL的目标区域中的温度的导数, 以及 $\nabla T_{WSx}(x, y)$ 、 $\nabla T_{WSy}(x, y)$ 分别为在x和y方向上的导数。

[0164] 类似于侧向的热影响区 Γ_{WS} 的该目标温度梯度也可为跟随的热影响区 Γ_{WP} 定义目标温度梯度。

[0165] 上面定义的温度梯度分别为预先给定的期望参数。例如可根据材料提供最大的温度梯度,因为相应的温度梯度确定热毛细对流。

[0166] 尤其是在确定目标温度梯度时也可考虑以下方面:原则上通过温度梯度在固体和焊缝之间在焊缝硬化和冷却之后产生应力。该应力可如此大,以致于该应力会使得构件的品质显著变差、甚至在极端情况下会导致裂缝。对应力大小和分布施加影响以充分降低应力,例如通过调节曝光和射束参数可提高构件品质。在此可为目标方向的是,降低温度梯度或使温度梯度保持足够小。因为对于给定的材料在熔体/固体的边界面处的温度确定,这可通过至少局部地、即在需要结合焊缝(连接区)处预先或并行地适当提高固体温度实现。这也可通过修改强度分布曲线实现,即将强度分布曲线设计为使得连接区也被照射,确切地说恰好以此处产生期望的温度分布的能量照射。为此例如可使用主动的热影响区 Γ_{WSA} ,如在图5和图6中所示,即专门地定义该工艺区。

[0167] 下面作为用于定义工艺区的变型方案的示例根据图4说明可定义优化目标或优化标准和辅助条件以及边界条件的数学方程式。在此方程式(3)至(6)示出可能的优化目标或辅助条件并且方程式(7)至(13)给出辅助条件或边界条件,其应满足:

[0168] 例如对于熔融区 Γ_s 内的所有点 x, y 可定义以下优化目标:

$$[0169] \quad \min \left(w_1(x,y) (T_v - T(I, x, y)) + w_2(x,y) \sqrt{\left(\frac{\partial T(x,y)}{\partial x} - \nabla T_{sx}(x,y) \right)^2 + \left(\frac{\partial T(x,y)}{\partial y} - \nabla T_{sy}(x,y) \right)^2} \right) \quad (3)$$

[0170] 方程式(3)描述对熔融区 Γ_s 中的目标温度分布 $T(I, x, y)$ 的优化。在关系 $T(I, x, y)$ 中的参数 I 在此象征目标温度分布 $T(I, x, y)$ 与能量射束的实际需要优化的强度分布 $I(x, y)$ 相关。在 $T(I, x, y)$ 和 $I(x, y)$ 之间的关系例如可通过两个变量的耦合条件来定义,如后面将在方程式(10)中给出。原则上方程式(3)或其他的优化目标也可直接换算为与强度分布 $I(x, y)$ 相关而不是与目标温度分布 $T(I, x, y)$ 相关,但是这将导致该公式非常复杂。根据选择的优化方法也可在一个模拟步骤中(该模拟步骤可模拟哪个强度分布 $I(x, y)$ 与哪些其他参数将引起哪种目标温度分布 $T(I, x, y)$) 以迭代工作的优化过程考虑该关系。就此而言下面即使始终给出目标温度分布 $T(x, y)$ 和强度分布 $I(x, y)$ 的关系也不会始终称为目标温度分布 $T(x, y)$ 中的参数 I 。

[0171] 在方程式(3)的第一项中,在蒸发温度 T_v 和熔融池表面处的待优化的局部温度 $T(x, y)$ 之间的差是需要最小化的目标函数。这使得在熔融区 Γ_s 中的温度 $T(x, y)$ 尽可能地接近蒸发温度 T_v 。但是还应通过在方程式(3)中未描述的边界条件确保,在熔融池表面处的温度 $T(x, y)$ 各处都保持低于蒸发温度 T_v , 由此也可维持导热焊接的工艺窗口(参见后面的方程式(7))。

[0172] 方程式(3)中的第二部分将熔融池表面处的温度 $T(x, y)$ 的空间波动定义为目标函数。在此应使引起期望的空间波动的错误最小,即根据方程式(1)预先给定期望温度梯度 $\nabla T_{s(x,y)}$, 该期望温度梯度应被维持。在例如目标为需要抑制熔融池表面中的热毛细对流时,由此可将温度梯度 $\nabla T_{s(x,y)}$ 的矢量设置为零。而如果应在熔融池中引起期望的流动以及引起大量的热传导,则引起该流动所需的在熔融区中的每个点 x, y 处的温度梯度 $\nabla T_{s(x,y)}$ 都可经由表面应力的温度相关性确定。这例如可借助数字计算来解算纳维-斯托

克斯方程。在此处使用的数学模型中会考虑到热毛细对流。此外在这种模型中也模拟热传导。这些模型例如可以迭代工作的优化过程应用在上述模拟步骤中。

[0173] 借助方程式 (3) 中的速度因数 w_1 、 w_2 例如可预先给定材料敏感度与温度梯度的相关性, 是否更多的值使当前温度接近蒸发温度, 即熔体尽可能热, 或温度梯度应被更多地考虑。

[0174] 在侧向的热影响区 Γ_{WS} 中的温度分布的优化可通过以下方程式定义:

$$[0175] \quad \min \left(\sqrt{\left(\frac{\partial T(x,y)}{\partial x} - \nabla T_{WSx}(x,y) \right)^2 + \left(\frac{\partial T(x,y)}{\partial y} - \nabla T_{WSy}(x,y) \right)^2} \right) \quad (4)$$

[0176] 在该热影响区 Γ_{WS} 中也可经由温度梯度 $\nabla T_{WS(x,y)}$ 预先给定期望的温度分布曲线。期望的分布曲线可选择为使得由于局部温度梯度过大会形成的固有应力降低。由用于降低固有应力的允许的温度梯度确定在每个点 x 、 y 和侧向的热影响区 Γ_{WS} 处的温度梯度 $\nabla T_{WS(x,y)}$ 的矢量。

[0177] 用于跟随的热影响区 Γ_{WP} 中的位置 x 、 y 的温度梯度 $T(x,y)$ 的优化标准例如可通过以下方程式定义:

$$[0178] \quad \min \left(\frac{\partial T(x,y)}{\partial x} v - \dot{T} \right) \quad (5)$$

[0179] 在此, 冷却速度 \dot{T} 经由沿运动方向在空间上的温度梯度 $\frac{\partial T(x,y)}{\partial x}$ 和扫描速度 v 的乘积表示。如果假设在特定的时间点在激光器中央的一点, 则该点对于外部的未一起运动的观察者以冷却速度 \dot{T} 冷却。该冷却速度与从一起运动的观察者角度来看的冷却速度不同, 从一起运动的观察者角度来看的冷却速度可通过空间的或局部的梯度 $\frac{\partial T(x,y)}{\partial x}$ 乘以扫描速度 v 表示。

[0180] 此外, 扫描速度 v 可为优化标准, 因为由此建立工件的时间如同该工艺所需的功率一样可确定, 该功率由激光束的目标强度分布 (或优化的强度分布) $I(x,y)$ 的积分得出。例如在所需最小功率变成优化参数时, 该系统可设计得更加能效高的。

[0181] 为此可为所有的工艺区或区域确定激光束的强度分布 $I(x,y)$ 必须满足以下条件:

$$[0182] \quad \min(w_3 \iint I(x,y) dy dx - w_4 v) \quad (6)$$

[0183] 在此, 运行关于所有 x 坐标值的外部积分和关于所有 y 坐标值的内部积分, 即双积分为能量射束的功率。换句话说使强度 $I(x,y)$ 的积分、即能量射束的功率最小并且使扫描速度 v 最大, 以在能量消耗最小的情况下实现尽可能高的构建率。因为两个条件矛盾, 借助优化条件 (6) 找到帕累托最优, 其中, 根据需要借助速度系数 w_3 、 w_4 可将权重更多地放在一个或另一目标上。例如可更为有利的是, 以更大的功率运行激光器, 由此可实现尽可能高的速度以及实现较短的构建时间。整体考虑是有意义的。

[0184] 在本文中应指出的是, 该方程式仅为极其简化的版本。在此例如还可有利地同时考虑其他因数, 例如描述机器运行成本的因数。

[0185] 此外对于优化方法可定义以下的辅助条件:

$$[0186] \quad T_v - T(x, y) \geq 0 \quad (7)$$

[0187] 这是如上所述的辅助条件,使得当前局部温度 $T(x, y)$ 绝不会高于最低的蒸发温度 T_v ,从而留在导热焊接工艺中。

$$[0188] \quad T(x, y) - T_M \geq 0 \quad (8)$$

[0189] 由此以类似的方式定义,温度 $T(x, y)$ 应始终大于或等于熔化温度 T_M 。

[0190] 对于熔融区 Γ_S 中以及侧向的热影响区 Γ_{WS} 中的位置 x, y 还可(对于在 y 方向上的剖面示例性地)定义为:

$$[0191] \quad \lim_{y \in \Gamma_S} T(y) - \lim_{y \in \Gamma_{WS}} T(y) > 0 \quad (9)$$

[0192] 通过辅助条件确保,在两个工艺区的边界处、在此在熔化区 Γ_S 和热影响区 Γ_{WS} 之间温度应尽可能相等,因为在表面中确实没有温度突变。可类似地为其他的工艺区过渡部定义边界条件。

[0193] 另一辅助条件可保证,进入工艺中的所有能量也向下流走:

$$[0194] \quad \alpha l(x, y) - \lambda(T(x, y, z)) \frac{\partial T(x, y, z)}{\partial z} = 0 \quad (10)$$

[0195] 这通过项

$$[0196] \quad \lambda(T(x, y, z)) \frac{\partial T(x, y, z)}{\partial z} \quad (11)$$

[0197] 来确保,其定义流入表面之下的区域 Ω 中的能量。 α 在此是构建材料的吸收能力并且 λ 是构建材料的导热性。

[0198] 条件(10)只要被确定就应适用于主动区中的所有位置 x, y ,即在熔化区 Γ_S 以及必要时也在“主动的”热影响区 Γ_{WSA} 、 Γ_{WPA} (例如如在图6中对工艺区的定义)。

[0199] 对于体积 Ω 中的所有位置 x, y, z ,例如可通过解导热方程式

$$[0200] \quad c_{p,eff}(T(x, y, z)) \rho(T(x, y, z)) \dot{T}(x, y, z) = \nabla \cdot (\lambda(T(x, y, z)) \cdot \nabla T(x, y, z)) \quad (12)$$

[0201] 确定方程式(10)和(11)的所需变量,其中, $\dot{T}(x, y, z)$ 是 $T(x, y, z)$ 的时间导数。在此 $c_{p,eff}(T(x, y, z))$ 是与温度相关的有效热容量,有效热容量也可考虑所有相变的转变热量, $\rho(T(x, y, z))$ 表示与温度相关的密度,并且与温度相关的导热性通过 $\lambda(T(x, y, z))$ 提供。在此 $\nabla T(x, y, z)$ 相应于温度 $T(x, y, z)$ 的导数。

[0202] 最后优选地也可预先给定最小的焊入深度 t_{min} ,最小的焊入深度必须被实现以将一层安装到前一层上。这可通过方程式

$$[0203] \quad t_{min} - t_{igt} < 0 \quad (13)$$

[0204] 来定义,其中, t_{igt} 是当前的焊入深度。另一辅助条件可为扫描速度 v 始终大于0。

[0205] 因此可为其他的划分工艺区定义优化标准和辅助条件以及边界条件。上述条件中的哪些作为优化标准、作为辅助条件或作为边界条件进行或是否还要加入其他的条件,分别与具体的制造任务(例如与使用的机器、构建材料、制造产品和其要求等)相关。通常,尤其上述边界条件必须根据此时也执行该工艺的相应机器或对产品增材制造的装置来选择。

[0206] 也可通过数字或经验分析来解方程式12。在适配控制或调节中也可比较方程式与

现场测量(例如借助监控)并且在该过程期间通过重新解决优化问题再调节分布曲线。

[0207] 下面根据图8阐述合适的优化方法的优选示例。迭代的方法例如可在根据图2的方法的步骤II中执行。

[0208] 首先在第一步骤II.1中估计(起始)强度分布 $I(x, y)$ 的起始值。

[0209] 然后在下一步骤II.2中解导热方程式(12),其中,需要满足根据方程式(10)的辅助条件。在此方程式(10)包括项 $\alpha I(x, y)$,即步骤II.1中的(起始)强度分布 $I(x, y)$ 。导热方程式(12)描述在通过激光器将给定的强度分布 $I(x, y)$ 引入材料中时的热能从照射面被导入周围材料中。因此通过解方程式获得在激光器的相关强度分布 $I(x, y)$ 中出现在构建区上的材料中的温度分布曲线 $T(x, y, z)$ 。由此在迭代的第一周期中基本上由激光器的(起始)强度分布 $I(x, y)$ 算出材料中的起始温度分布曲线 $T(x, y, z)$ 。

[0210] 然后在步骤II.3中进行温度分布曲线 $T(x, y, z)$ 的(第一)优化进程,其中,为温度分布曲线 $T(x, y, z)$ 寻找“校正值”,借助校正值使得温度分布曲线 $T(x, y, z)$ 尤其是最大程度地满足上面根据方程式(3)至(9)定义的优化标准和条件。

[0211] 然后在步骤II.4中检查,步骤II.2和步骤II.3至少进行两次并且然后检查中断标准,其中例如涉及收敛性判别标准,在当前的迭代进程中温度分布曲线 $T(x, y, z)$ 和/或强度分布 $I(x, y)$ 相对于先前的进程(其中用“当前”描述进程 n 并且用“先前”描述进程 $n-1$)改变先前定义的公差值(残留物)。如果不是这种情况或步骤II.2和II.3才进行了一次,则跳回到步骤II.2并且以当前的强度分布 $I(x, y)$ 重新进行另一次迭代循环。

[0212] 否则在步骤II.5中结束优化方法并且存在寻找的最优的强度分布 $I(x, y)$ 。

[0213] 在前面描述的过程中可如所述地预先给定尤其热影响区的密度、有效的热容量、导热性、最大可接受温度、熔化温度、温度梯度和冷却速率作为固定的参数。此外在此将最小的焊入深度作为工艺参数,最小的焊入深度通过该工艺的预先给定的层高度确定。在优化时在此尤其使系统所需的功率最小并且使每时间单位再熔化的体积最大。自由的变量在此是强度分布和扫描速度。但是根据期望也可加入任意其他的标准和输入值,这分别与使用的机器、使用的材料和其他的条件和要求相关。原理性地,例如也可在优化时将相应的材料规格内的合金组分作为待优化的参数来考虑,因为合金组分影响材料特征值和成本,因此仅描述一个示例。

[0214] 借助上述方法至少可实现蒸发的显著降低、甚至完全消除蒸发。由此可使每激光束耦入材料中的功率提高约一个数量级,但是在细节解析中没有增加损失。在此实现了类似的构建品质,但是可显著降低构件成本。另一优点是,该方法在已知系统中也可借助仅一个或少量的曝光机构或扫描仪/激光束来使用。

[0215] 下面借助图9所描述的射束成型机构30不仅可以装备用于增材制造制造产品的新机器或新设备,而且也可用于改装已有的具有常规的产生基本上旋转对称的高斯形能量射束的曝光装置的机器或设备。

[0216] 在图9中示出的用于合适的射束成型机构30的实施例接收输入能量射束EL,例如上面与图1相关描述的激光器21的激光束。输入能量射束EL具有基本上旋转对称的强度分布,例如高斯分布曲线。然后在射束成型机构30中修改输入能量射束EL的强度分布,使得在离开射束成型机构30之后强度分布关于射束轴线R或射束方向的旋转基本上是非旋转对称的。在此例如可实现椭圆形的强度分布,该椭圆形的强度分布在一侧比另一侧具有更高的

强度。优选地,能量射束AL的强度分布具有轴对称性,其轴对称线沿着构建区8上的能量射束AL的照射面22的运动矢量伸延。椭圆形的强度分布的一个相应示例也在开头所述的Tien T. Röhling等人的文献中示出。但是也可借助该射束成型机构30实现每个其他的基本上非旋转对称的强度分布。

[0217] 首先射束成型机构30在输入侧具有呈薄层偏振器32形式的射束分配器32,射束分配器将输入能量射束EL分成两个线性极化的分射束TL1、TL2。每个这种线性极化的分射束TL1、TL2都被引导至各自的射束成型元件34、35,其中,分别涉及LCoS微型显示器34、35。LCoS微型显示器34、35主要用于合适的射束成型。在此涉及被动的DOE,其以反射的方式工作并且射入的分射束TL1、TL2的波前通过局部地调制相和/或幅度而改变。为此以相应的子形状控制信号FS1、FS2操控LCoS微型显示器34、35,子形状控制信号经由控制端口31被转交给两个LCoS微型显示器34、35。控制端口31在输入侧从控制机构50的照射控制端口53接收如与图1结合描述的强度分布控制数据VS。

[0218] 然后两个相应调制的分射束TL1、TL2重新结合在一个射束组合器33中,其中在此如射束分配器32一样也为薄层偏振器33。然后在射束组合器33的输出部有按已知方式关于强度分布成型的输出激光射束AL,其又随机地被极化。

[0219] 在两个LCoS微型显示器34、35上设置的分射束的强度分布曲线或相分布曲线优选为相同的。但是为了实现特定的光学辅助标准,例如在射束成型机构的光学元件上的最大强度也可设置为不同的,使得尽管如此在目标平面中出现期望的强度分布曲线。

[0220] 通过射束成型机构30以这种方式修改的、即设有未旋转对称的优化的强度分布曲线I0的激光束AL如图1中示意性示出地传导给扫描仪23并且从此处传导到构建区8上。

[0221] 最后还应强调的是,前面描述的装置仅为本领域技术人员能以不同方式修改、而不会离开本发明范围的实施例。例如在使用其他的热源时除了能量射束、例如面加热机构和/或其他的热影响变量,例如冷却机构等之外还在优化时考虑由此引入的或抽走的能量。此外,不定冠词“一个”的使用不排除涉及特征也可多次存在。术语“单元”也不排除该单元由多个共同作用的子部件构成,子部件也同样可在空间上分布。

[0222] 附图标记列表

- [0223] 1 增材制造装置/激光烧结装置
- [0224] 2 制造产品/物体/构件
- [0225] 3 工艺空间/工艺腔
- [0226] 4 腔壁
- [0227] 5 容器
- [0228] 6 容器壁
- [0229] 7 工作平面
- [0230] 8 构建区
- [0231] 10 载体
- [0232] 11 基板
- [0233] 12 构建平台
- [0234] 13 (在容器5中的) 构建材料
- [0235] 14 备用容器

- [0236] 15 (在备用容器14中的) 构建材料
- [0237] 16 涂装机
- [0238] 17 辐射加热机构
- [0239] 18 传感器组件/摄像机
- [0240] 20 照射机构/曝光机构
- [0241] 21 激光器
- [0242] 22 (激光射束的) 照射面
- [0243] 23 转向机构/扫描仪
- [0244] 24 聚焦机构
- [0245] 25 耦入窗口
- [0246] 30 射束成型机构
- [0247] 31 控制端口
- [0248] 32 射束分配器/薄层偏振器
- [0249] 33 射束组合器/薄层偏振器
- [0250] 34 射束成型元件/LCoS微型显示器
- [0251] 35 射束成型元件/LCoS微型显示器
- [0252] 50 控制机构
- [0253] 51 控制单元
- [0254] 52 品质数据确定机构
- [0255] 53 照射控制端口
- [0256] 54、54' 控制数据生成机构
- [0257] 55 总线
- [0258] 56 终端
- [0259] AL (输出) 能量射束/激光束
- [0260] BSD 控制数据/曝光控制数据
- [0261] EL 输入能量射束/激光束
- [0262] FS 焦点控制数据
- [0263] FS1、FS2 子形状控制信号
- [0264] H 水平方向
- [0265] HS 加热控制数据
- [0266] LS 激光器控制数据
- [0267] PSD 工艺控制数据
- [0268] QD 品质数据
- [0269] R 射束轴线/射束方向
- [0270] S 扫描方向/照射面的运动方向
- [0271] SB 工艺空间传感器数据组/层图案
- [0272] SD 扫描控制数据
- [0273] ST 曝光控制数据
- [0274] TL1、TL2 分射束

- [0275] TS 载体控制数据
- [0276] V 垂直方向
- [0277] VS 强度分布控制数据
- [0278] MK 材料特征值
- [0279] PZ 工艺区
- [0280] ZG 目标变量
- [0281] OK 优化标准
- [0282] WB 边界和/或辅助条件
- [0283] TV 局部温度分布/目标温度分布
- [0284] IO 优化的强度分布曲线
- [0285] WP 其他的工艺参数
- [0286] x、y、z 坐标轴
- [0287] Γ_U 周边
- [0288] Γ_Z 目标区域
- [0289] d 射束扩展
- [0290] Γ_S 熔融区/工艺区
- [0291] Γ_{SA} 主动的熔融区/工艺区
- [0292] Γ_{SP} 被动的熔融区/工艺区
- [0293] Γ_{WS} 侧向的热影响区/工艺区
- [0294] Γ_{WP} 跟随的热影响区
- [0295] Γ_{WSA} 、 Γ_{WSP} 主动的热影响区
- [0296] Γ_{WPA} 、 Γ_{WPP} 被动的热影响区。

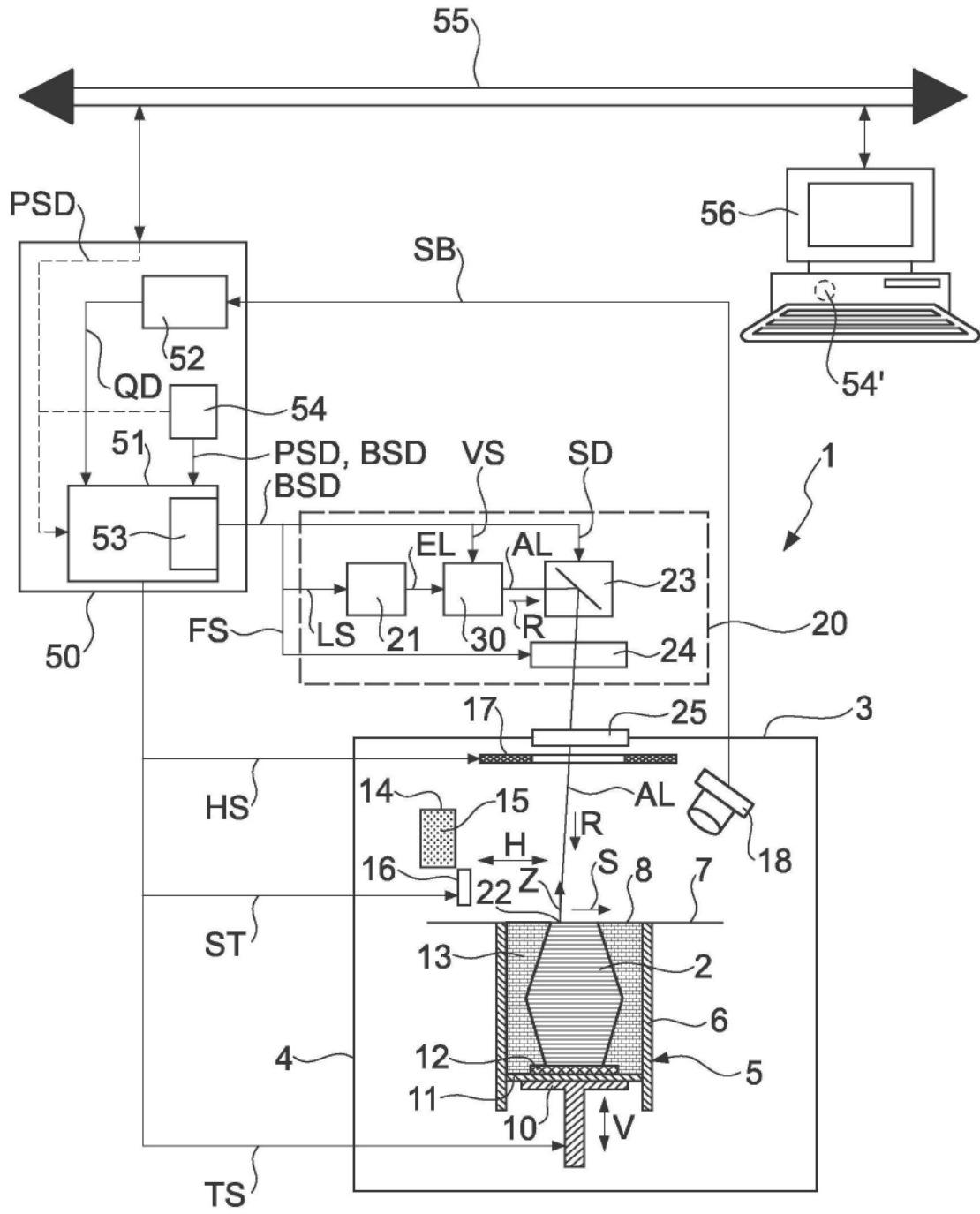


图1

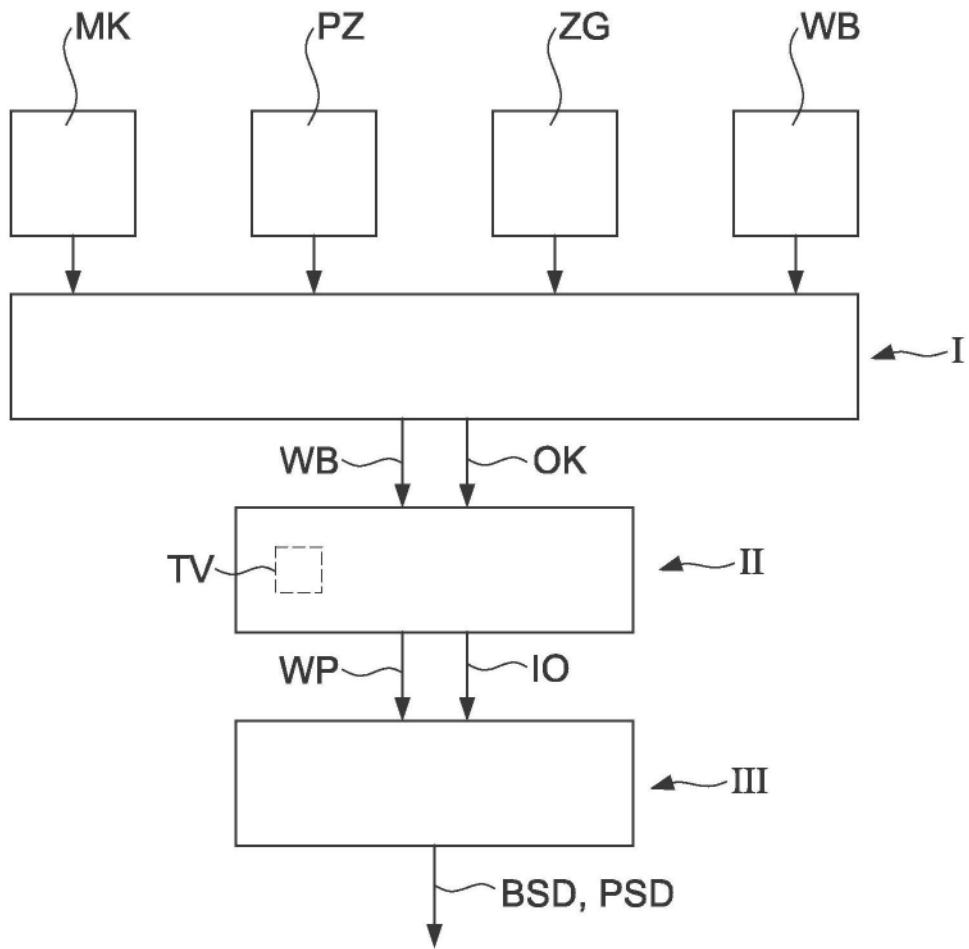


图2

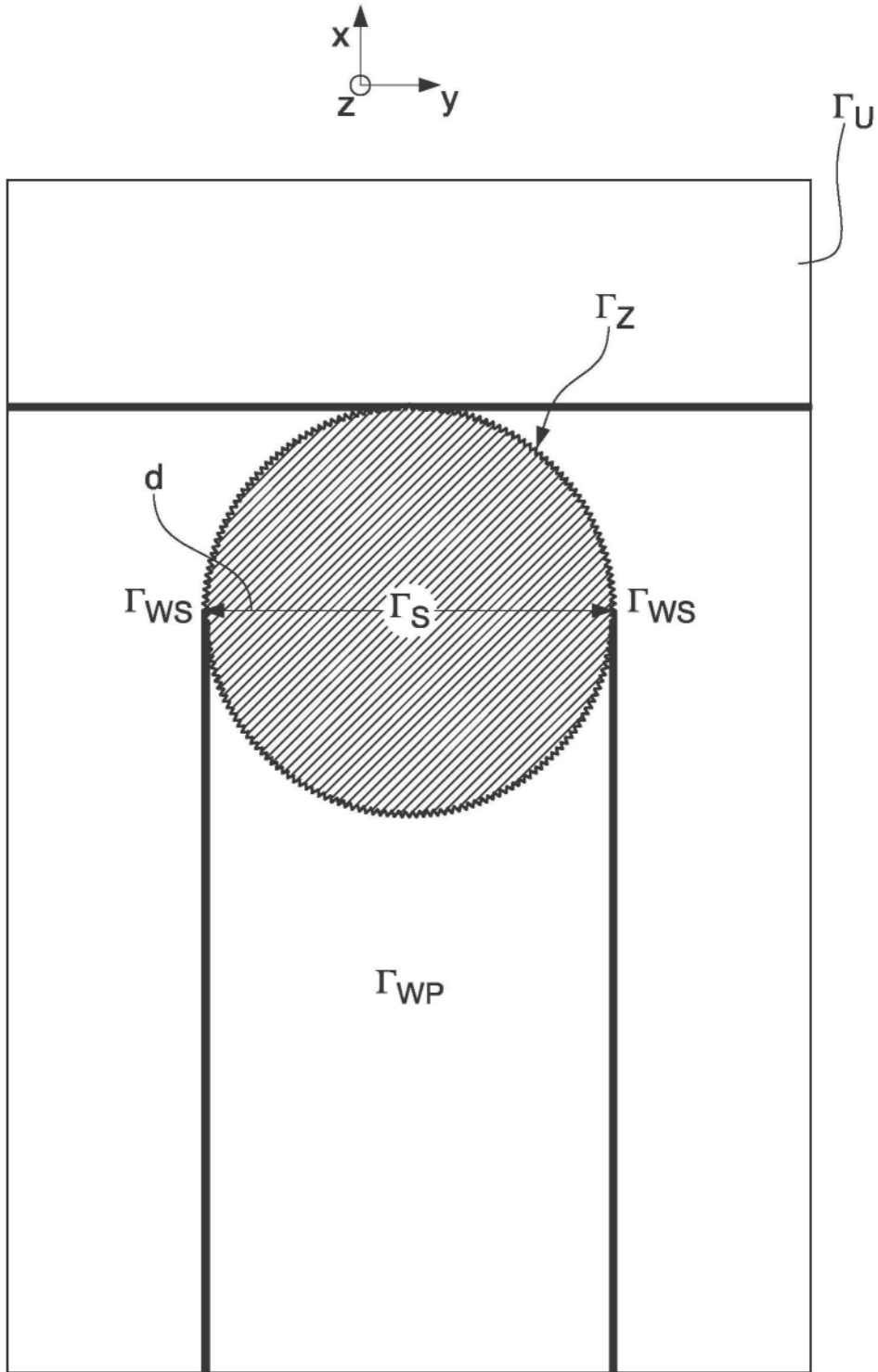


图3

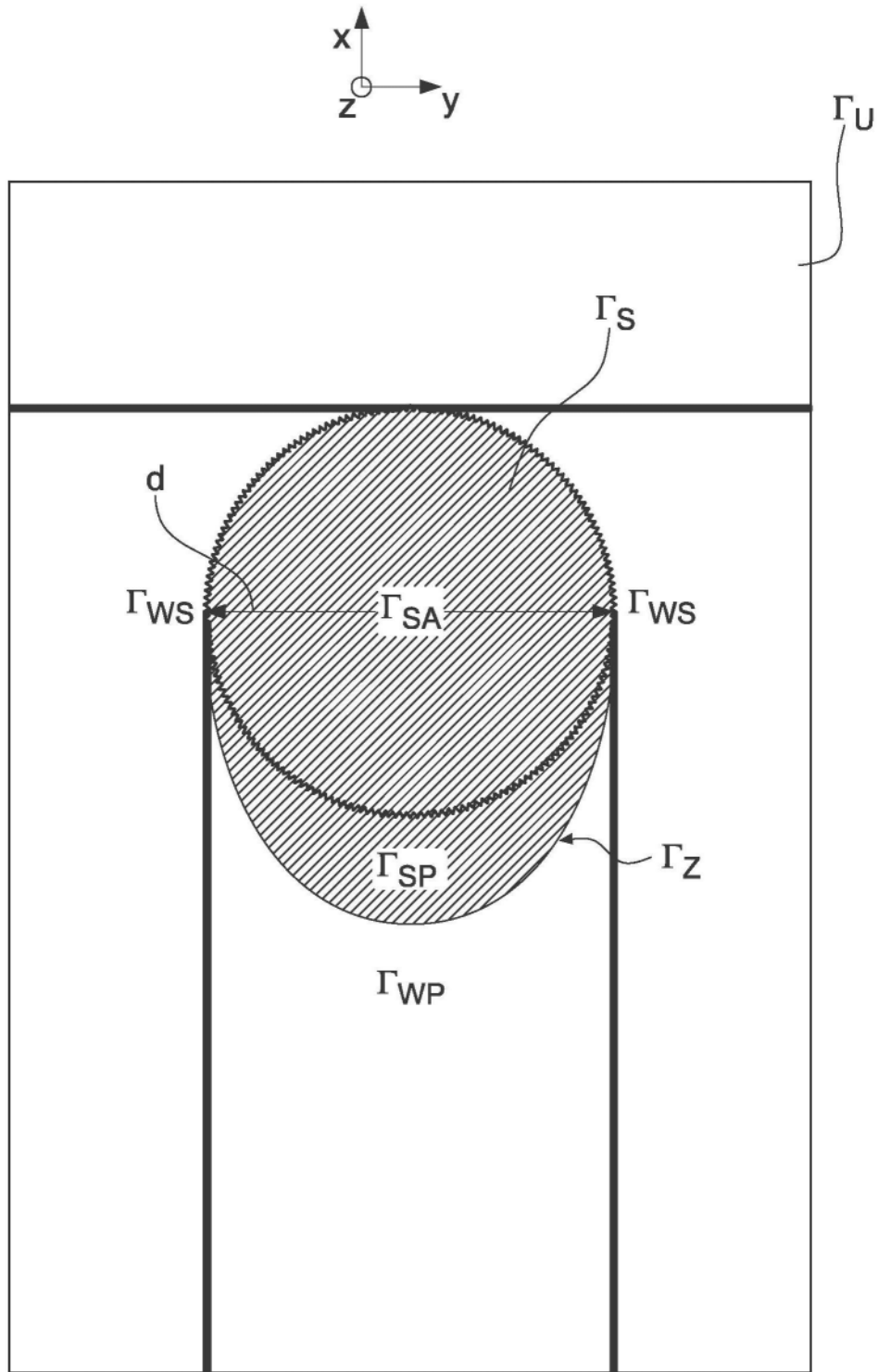


图4

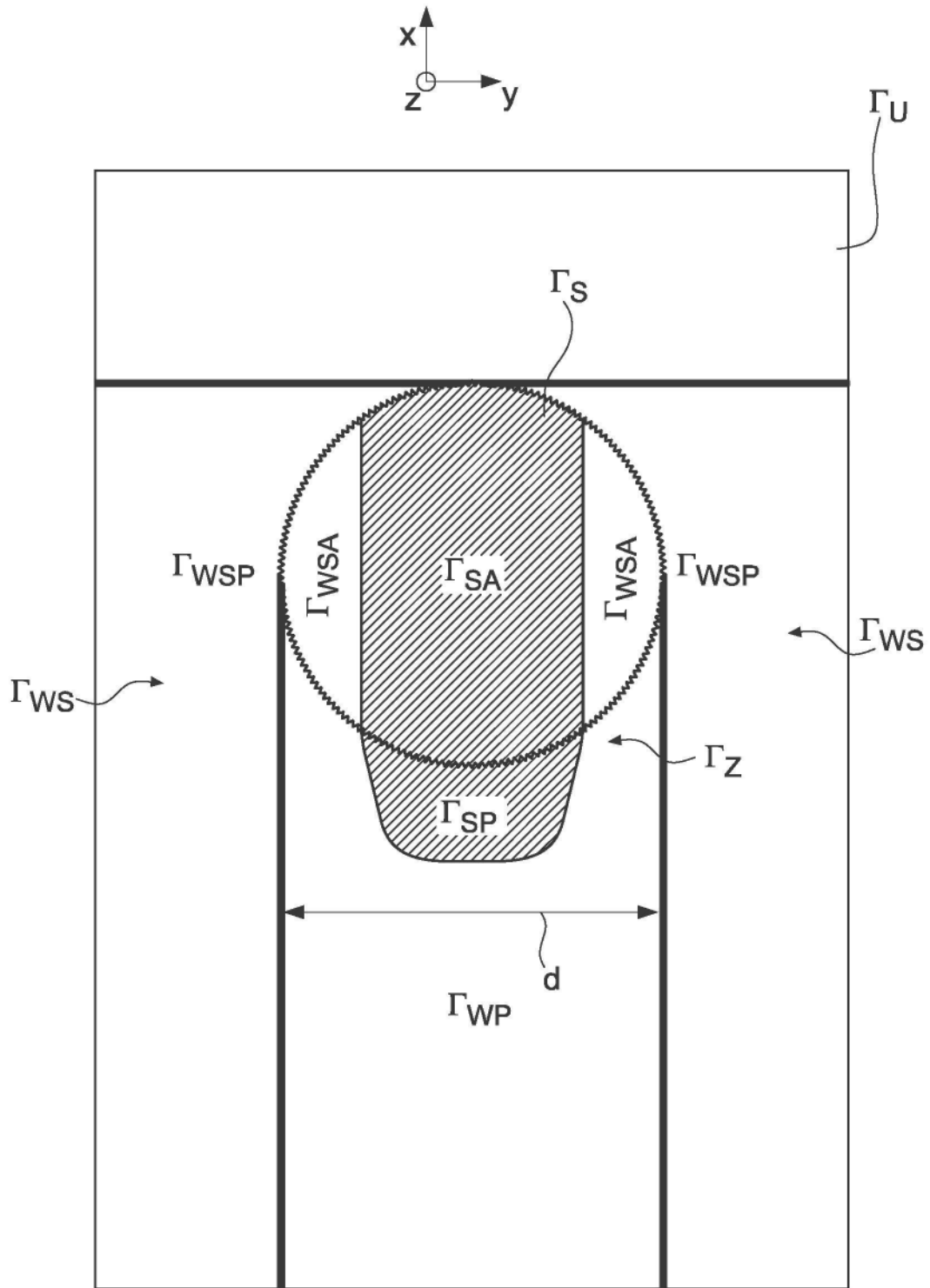


图5

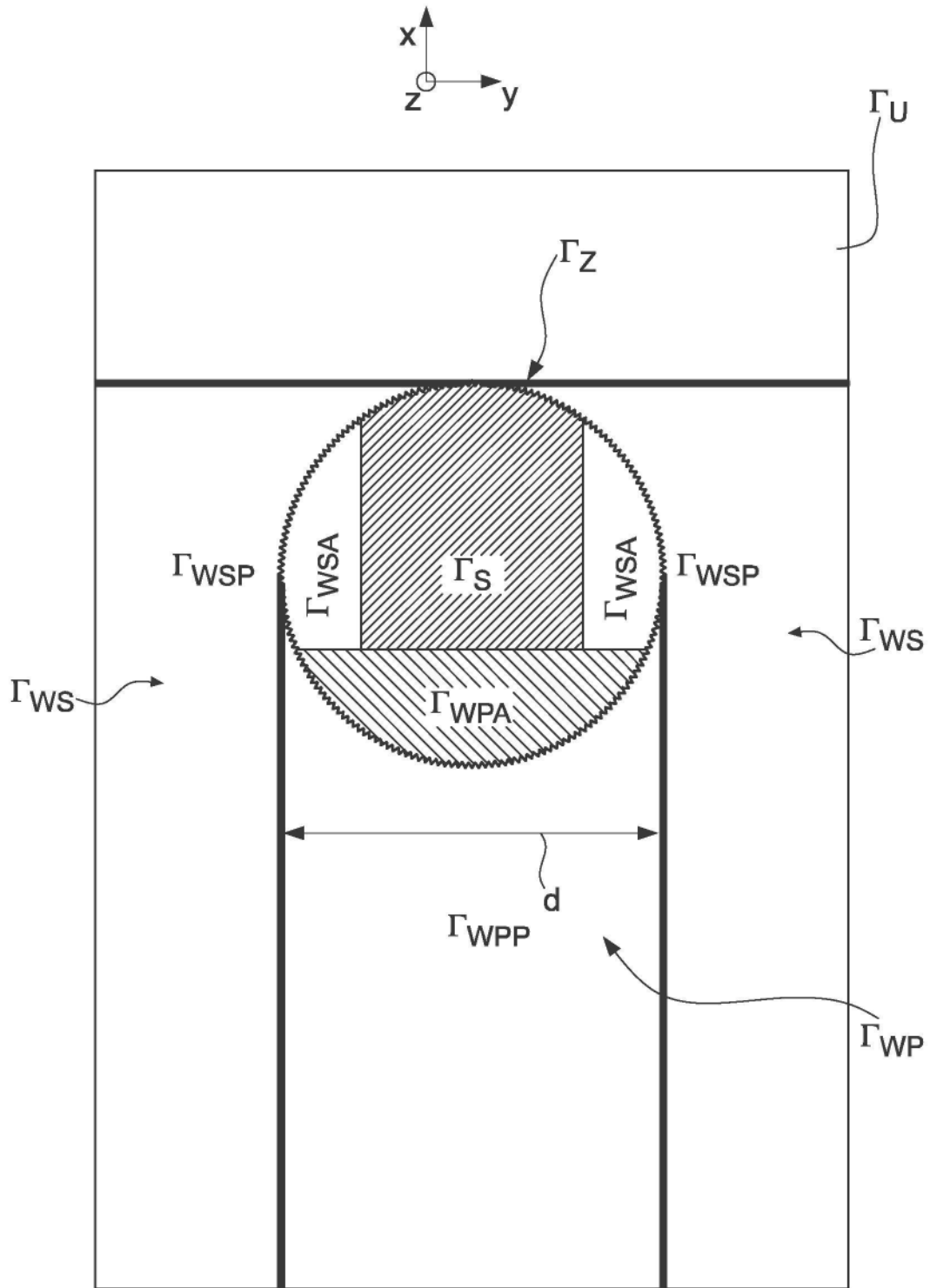


图6

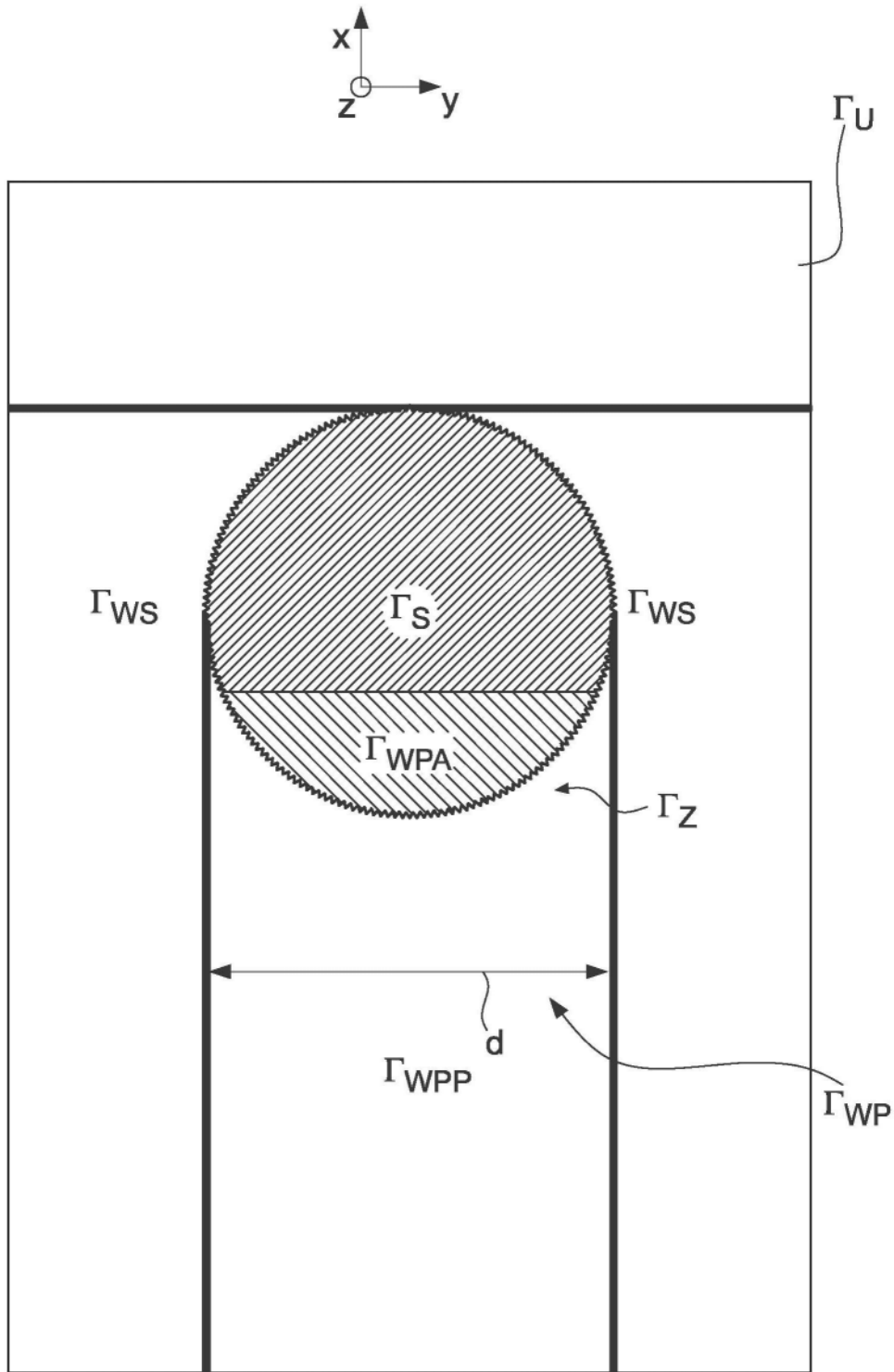


图7

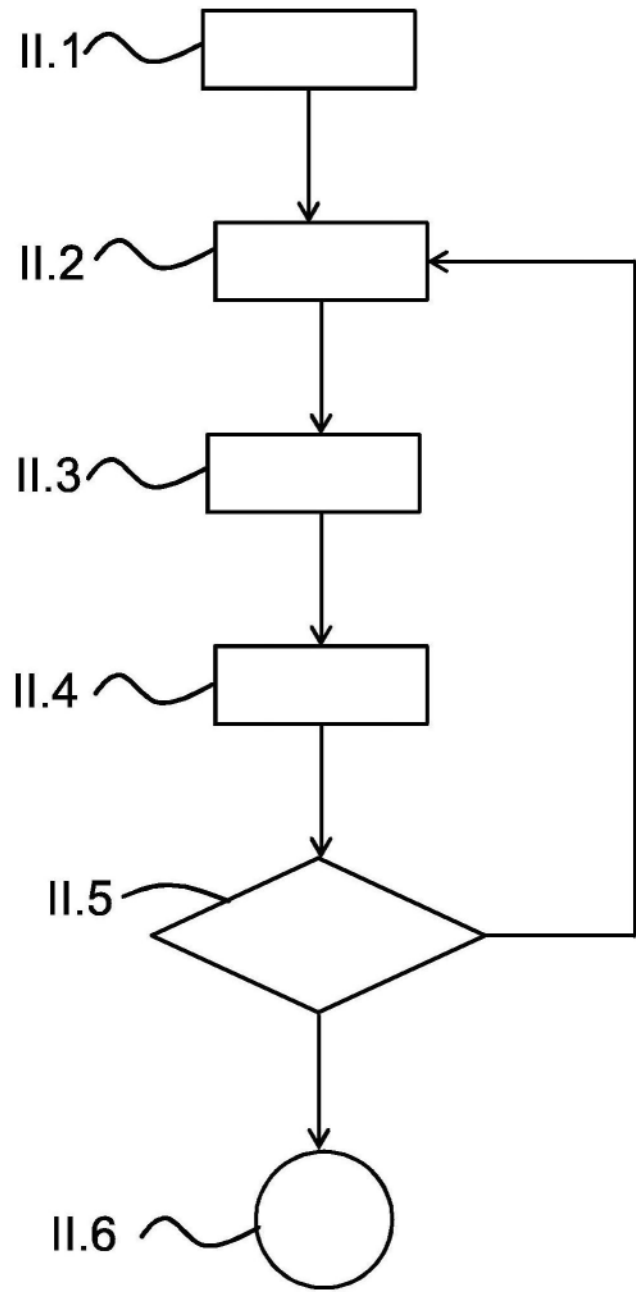


图8

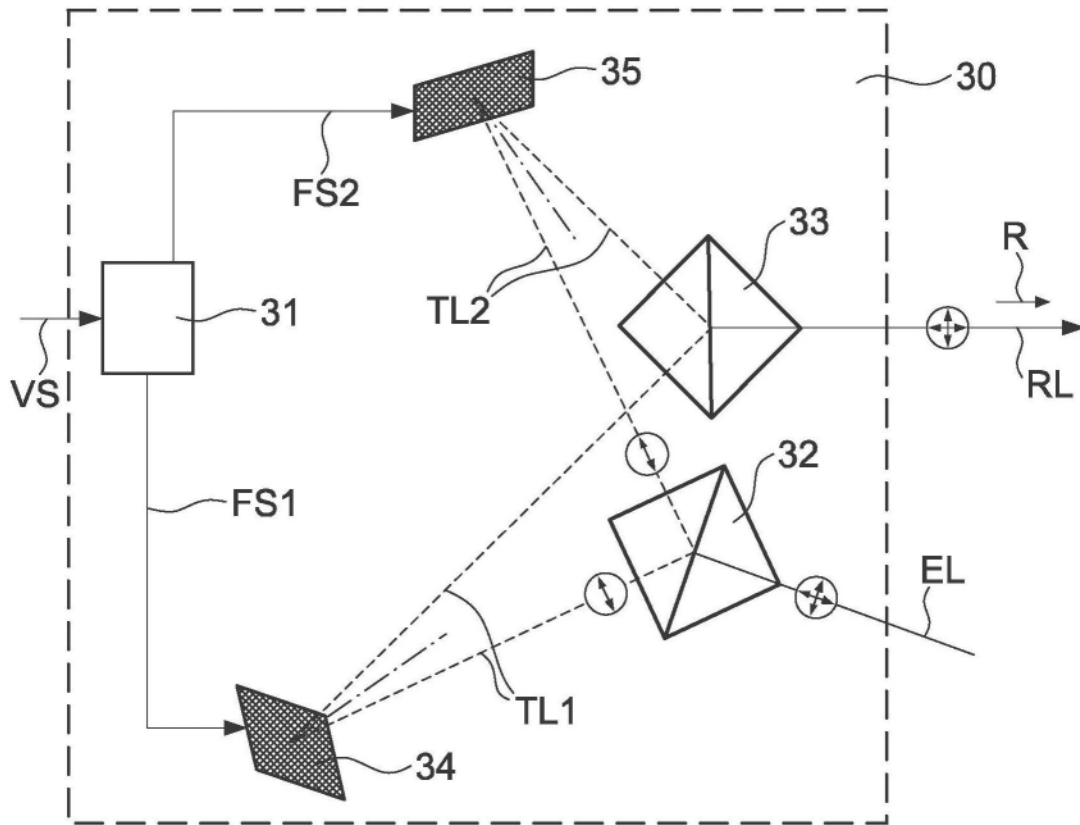


图9