



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104014799 A

(43) 申请公布日 2014. 09. 03

(21) 申请号 201410071485. 3

(22) 申请日 2014. 02. 28

(30) 优先权数据

13157266. 1 2013. 02. 28 EP

(71) 申请人 阿尔斯通技术有限公司

地址 瑞士巴登

(72) 发明人 M. 霍伊贝 T. 伊特 M. 康特

J. 舒尔布

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 肖日松 严志军

(51) Int. Cl.

B22F 7/08 (2006. 01)

B22F 3/105 (2006. 01)

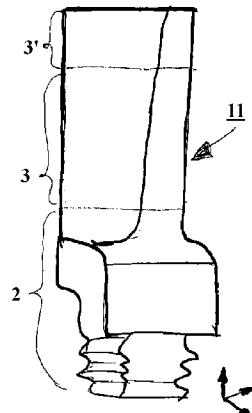
权利要求书3页 说明书9页 附图10页

(54) 发明名称

用于制造混合构件的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种用于制造混合构件(11)的方法，其包括如下步骤：a) 制造预制件(2)作为混合构件(11)的第一部分，然后 b) 在该预制件(2)上由金属粉末材料(12)通过加成制造工艺经由能量束(14)扫描而连续集结构件(11)的第二部分，从而 c) 在构件(11)的第二部分的至少一部分的初级和次级方向上建立受控制的晶粒定向，d) 其中，受控制的次级晶粒定向通过应用特定的能量束(14)的扫描图案来实现，所述扫描图案与所述构件(11)的横截面剖面，或者与所述构件(11)的局部负载条件对齐。



1. 一种用于制造混合构件 (11) 的方法, 其包括如下步骤 :
 - a) 制造预制件 (2) 作为所述混合构件 (11) 的第一部分, 然后
 - b) 在所述预制件 (2) 上由金属粉末材料 (12) 通过加成制造工艺经由能量束 (14) 扫描而连续集结所述构件 (11) 的第二部分, 从而
 - c) 在所述构件 (11) 的第二部分的至少一部分的初级和次级方向上建立受控制的晶粒定向,
 - d) 其中, 所述受控制的次级晶粒定向通过应用特定的能量束 (14) 的扫描图案来实现, 所述扫描图案与所述构件 (11) 的横截面剖面或与所述构件 (11) 的局部负载条件对齐。
2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 在需要最小的杨氏模量值的地方, 所述次级晶粒定向的控制通过在后续层中将所述扫描器路径相对所述构件 (11) 的方向进行平行和正交地放置来实现。
3. 根据权利要求 2 所述的方法, 其特征在于, 所述次级晶粒定向的控制通过改变后续层中的扫描器路径方向来实现, 其不会从 $n*90^\circ$ 上偏离超过 15° , n 是整数值。
4. 根据权利要求 1-3 中的任一项所述的方法, 其特征在于, 所述次级晶粒定向的优选对齐只应用于指定的子体积。
5. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 为了取得非明显的次级晶粒定向, 使所述扫描器路径在后续层中旋转随机角度。
6. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 为了取得非明显的次级晶粒定向, 所述扫描矢量在各个层的各个岛内是平行的, 并且在各个后续层中旋转某一角度, 所述角度从 $n*90^\circ$ 偏离不超过 15° , 其中 n 是整数值。
7. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述预制件 (2) 通过铸造、锻造、轧制或烧结制造。
8. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述预制件 (2) 通过生成性工艺, 诸如 SLM、EBM、LMF 或通过线 EDM 制造。
9. 根据权利要求 7 和 8 所述的方法, 其特征在于, 所述预制件 (2) 通过这些方法中的两种或多种的组合机械加工。
10. 根据权利要求 1 至 4 和 7 至 9 中的任一项所述的方法, 其特征在于, 用于所述构件 (11) 的第二部分的所述加成制造工艺是选择性激光熔化 (SLM)、选择性激光烧结 (SLS) 或电子束熔化 (EBM) 中的一种, 且所述方法包括如下步骤 :
 - a) 制造或至少预先机械加工出预制件 (2) ;
 - b) 生成添加到所述预制件 (2) 上的体积的三维模型, 继之以切片工艺以计算所述横截面 ;
 - c) 然后将所述计算的横截面传送至机器控制单元 (15) ;
 - d) 提供所述工艺所需的金属粉末材料 ;
 - e) 将所述预制件放置在工作室中, 使得待加成制造的区域的界面平行于所述机器的粉末沉积平面 ;
 - f) 确定所述预制件 (2) 的精确位置和定向 ;
 - g) 在所述预制件 (2) 上制备具有规则且厚度均匀的粉末层 (12) ;
 - h) 根据储存在所述控制单元 (15) 中的三维模型, 通过用能量束 (14) 扫描与所述构件

的横截面相对应的区域来执行熔化操作，其中，所述能量束 (14) 以如下方式进行扫描，即使得所述次级结晶的晶粒定向与所述构件 (11) 的设计意图相匹配，或者与已知的所述预制品 (2) 的主要结晶方向相匹配；

- i) 将之前形成的横截面的上表面降低一层厚度 (d)；
- j) 重复从 g) 至 i) 的所述步骤，直至达到根据所述三维模型的最终横截面；以及
- k) 可选地对所述构件 (11) 进行热处理。

11. 根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，在步骤 a) 中，现有的预制品沿着优选平面进行切割和 / 或机械加工，并且在该预机械加工的预制品 (2) 上进行用于集结所述构件 (11) 的第二部分的后续步骤。

12. 根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述粉末的颗粒尺寸分布被调整至所述粉末层 (12) 的层厚度 (d)，从而建立良好的可流动性，这是制备具有规则且厚度均匀 (d) 的粉末层 (12) 所需要的。

13. 根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述粉末颗粒具有球形形状，并且所述粉末的精确颗粒尺寸分布通过筛选和 / 或风选（吹气分离）而取得。

14. 根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述粉末通过粉末冶金工艺，尤其气体雾化或水雾化、等离子体 - 旋转 - 电极工艺或机械轧制中的一种来提供。

15. 根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述加成制造工艺使用悬浮液来替代粉末。

16. 根据权利要求 1-15 中的任一项所述的方法，其特征在于，所述金属材料是高温镍基合金、钴基合金、铁基合金中的一种或其组合。

17. 根据权利要求 16 所述的方法，其特征在于，所述合金包含精细分散的氧化物，尤其是 Y_2O_3 、 Al_2O_3 、 ThO_2 、 HfO_2 、 ZrO_2 的一种。

18. 一种混合构件 (11)，其包括作为第一部分的预制品 (2) 和通过加成制造所集结的至少第二金属部分，其特征在于，所述构件 (11) 通过根据权利要求 1-17 中的任一项所述的方法制造。

19. 根据权利要求 18 所述的混合构件 (11)，其特征在于，所述构件 (11) 是燃气涡轮的压缩机、燃烧器或涡轮区段的一部分，优选地叶片、导叶或隔热罩。

20. 根据权利要求 19 所述的混合构件 (11)，其特征在于，所述构件 (11) 包括具有一定剖面的翼型，其中，所述次级晶粒定向的对齐与所述翼型的剖面匹配，而且其逐渐且连续地与所述翼型的形状相适应。

21. 根据权利要求 18 至 20 中的任一项所述的混合构件 (11)，其特征在于，所述预制品 (2) 具有单晶体 (SX) 显微结构，并且所述构件 (11) 的第二部分具有所述添加材料的次级晶粒定向，其与所述单晶体预制品 (2) 的主结晶定向对齐。

22. 根据权利要求 18 至 20 中的任一项所述的混合构件 (11)，其特征在于，所述预制品 (2) 具有无优选晶粒定向的各向同性的显微结构，并且所述构件 (11) 的第二部分具有初级和次级晶粒定向。

23. 根据权利要求 18 至 22 中的任一项所述的混合构件 (11)，其特征在于，所述次级晶粒定向的对齐与所述部分的局部负载条件相匹配。

24. 根据权利要求 18 至 23 中的任一项所述的混合构件 (11)，其特征在于，所述构件

(11) 在带有各向同性和各向异性的区域之间具有一个或多个过渡区域。

用于制造混合构件的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及耐高温构件的技术,尤其是用于燃气涡轮的热气体路径构件。本发明涉及一种通过激光加成制造,例如选择性激光熔化 (SLM)、选择性激光烧结 (SLS) 或电子束熔化 (EBM) 与传统制造技术的结合而用于制造混合构件,优选地金属混合构件的方法。

背景技术

[0002] 对于金属功能原型和金属构件的制造,加成制造已变为一种越来越具有吸引力的解决方案。目前已知晓 SLM、SLS 和 EBM 方法使用粉末材料作为基体材料。构件或物件直接由粉末床生成。其它加成制造方法,例如激光金属成形 (LMF)、激光工程化净成形 (LENS) 或直接金属沉积 (DMD) 是局部地将材料熔化到现有部分上。这种新近生成的材料可作为线或粉末沉积,其中粉末沉积装置沿着预定的路径利用机器人或 CNC 机器而移动。利用 SLM 构建的机械加工的预制件在现有技术中已知用于压铸,在压铸中使用了不锈钢或其它已知的压铸合金。

[0003] 图 1 显示了从现有技术中已知的基本的 SLM 布置 10,其中三维物件 (构件) 11 通过连续地添加具有预定的层厚度 d、面积和轮廓的粉末层 12a,然后通过扫描的激光束 14 熔化粉末层从而制造,激光束来自激光装置 13,并受控制单元 15 的控制。

[0004] 通常,一个层的扫描矢量在该层中是相互平行的(见图 2a),或者被限定的区域(所谓的棋盘(chess board)图案)在一个层的扫描矢量之间具有固定的角度(见图 3a)。在后续的层之间(意思是在层 n 和层 n+1 之间;以及在层 n+1 和层 n+2 之间等等),扫描矢量要么旋转例如 90° 角度(见图 2b, 3b)或不同于 90° 或 n*90° 的角度(见图 4a, 4b)。迄今为止都是这样做的(在物件的一个层内,对于后续的层或某些图案区域,例如棋盘使用交替的扫描器路径),从而取得关于由 SLM 制成的物件的良好品质(最佳的部分/物件密度和几何精度)。

[0005] 在图 5 中显示了从现有技术水平已知的典型的 SLM 轨迹对准。

[0006] 由于熔池中典型的温度分布曲线和熔池附近所得的温度梯度,这有利于更快地且优选的垂直于粉末平面(X-Y 平面)的晶粒生长。这导致了一种特征显微结构,其显示了沿 Z 方向(= 初级晶粒定向方向,结晶 [001] 方向)的伸长的晶粒。该方向垂直于 X-Y 平面。因此,沿 Z 方向延伸的第一样本(见图 1)显示了与 X-Y 平面(= 次级晶粒定向方向,次级结晶方向)延伸的第二样本不同的属性,例如沿着 Z 方向的杨氏模量通常不同于粉末平面(X-Y 平面)中的杨氏模量。

[0007] 因此,基于粉末或其它加成制造技术的一个特征是在 SLM 粉末床处理期间由于已知的逐层集结(buildup)工艺和局部凝固条件而引起的材料属性(例如杨氏模量、屈服强度、抗拉强度、低循环疲劳性能、蠕变)的强各向异性。

[0008] 材料属性的这种各向异性在若干应用中可是个缺点。因此,本申请人已经提交了两个迄今未公布的专利申请,其揭示了通过加成激光制造技术所制造的构件的各向异性材料性能可通过合适的“生成后”热处理来减少,从而导致更为各向同性的材料属性。

[0009] 在最近 30 多年期间, 开发出了定向凝固 (DS) 和单晶体 (SX) 涡轮构件, 其通过熔模铸造来生产, 并且在例如初级和次级晶粒定向 (垂直于初级生长方向) 方面的低值, 例如低杨氏模量值与热机械负载条件对齐 (alignment)。这种对齐在这里是通过应用晶种和晶粒选择器来提供的, 并且已导致构件性能和寿命的显著增加。

[0010] 然而, 迄今为止这种控制初级结晶定向以及次级结晶定向的技术对于由 SLM 生产的部分 / 构件而言是非公知的。

[0011] 对于在单晶体 (SX) 基质上利用生成性激光工艺所形成的沉积物的显微结构进行控制变得可能, 一种被称为激光外延金属成形 (E-LMF) 的技术。这些方法可生产部分, 其具有优选的晶粒定向 (DS - 定向凝固) 或缺乏晶粒边界 (SX - 单晶体)。

[0012] 随着未来热气体路径构件的设计复杂性增加, 通过铸造实现这种 SX 或 DS 部分 / 构件的经济性制造将变得越来越成问题, 因为对于薄壁或双壁构件的铸造成品率预期会下降。此外, 激光外延金属成形只能应用于其中基体材料已具有单晶体定向的部分。

[0013] SLM 技术由于其能够直接从粉末床中生成非常精致设计的能力从而能够制造高性能且形状复杂的部分。

[0014] 上述用于铸造 SX 或 DS 构件的显微结构的相似控制因而将极其有利于利用 SLM 技术或其它加成制造激光技术制造的部分和原型。杨氏模量的额外控制和对齐将进一步提高这种构件的性能和应用潜力。

[0015] 因此本申请人已经提交了迄今未公布的专利申请, 其公开了一种用于通过加成制造, 优选地通过选择性激光熔化 (SLM) 来制造金属构件 / 三维物件的方法, 其具有改善的构件属性, 其中该构件的各向异性属性可或者以有利的方式加以使用, 或者可减少或避免各向异性, 这依赖于该构件的设计意图。此外, 描述了一种合适的方法, 其利用局部热机械负载条件来实现该物件的各向异性属性的对齐。受控制的次级晶粒定向通过应用特殊的能量束扫描图案来实现。

[0016] 不幸的是, 加成制造例如 SLM 具有作为缺点的低构建速率。由于长的工艺时间及相关联的高制造成本和低至中等的批量生产的产量, 这成为其商业成功的一个障碍。

发明内容

[0017] 本发明的目的是克服上述缺点。因此, 应研究出一种用于制造具有优化的属性的混合构件的方法, 其同已知的方法相比具有提高的该工艺生产率并降低了单位构件的成本。相对于已知的现有技术构件的使用寿命而言, 所制造的构件应具有延长的使用寿命。

[0018] 这一目的以及其它目的通过根据权利要求 1 所述的方法来实现。

[0019] 所公开的用于制造混合构件的方法开始于预组件, 混合构件主要由镍基合金、钴基合金或铁基超合金通过基于粉末的加成制造方法而制成, 预组件通过制造方法, 例如铸造、锻造或轧制, 或通过烧结或通过单独的加成制造工艺来实现。根据本发明制造的混合构件具有改善的属性。

[0020] 本方法包括如下步骤

- a) 制造预组件作为混合构件的第一部分, 然后
- b) 在该预组件上由金属基体材料通过加成制造工艺经由能量束扫描而连续集结该构件的第二部分, 从而

c) 在该构件的第二部分的至少一部分的初级和次级方向上建立受控制的晶粒定向，

d) 其中，受控制的次级晶粒定向通过应用特定的能量束的扫描图案来实现，扫描图案与所述构件的横截面剖面或与所述构件的局部负载条件对齐。

[0021] 用于构件的第二部分的加成制造技术是选择性激光熔化 (SLM)、选择性激光烧结 (SLS)、电子束熔化 (EBM)、激光金属成形 (LMF)、激光工程化净成形 (LENS)、直接金属沉积 (DMD) 或类似工艺。

[0022] 预制件可优选地通过铸造、锻造、轧制，或通过烧结，或通过生成性工艺例如 SLM、EBM、LMF，或通过线 EDM，或通过这些方法的两种或多种组合制造。在优选实施例中，预制件是 SX 或 DS 预制件。

[0023] 根据本发明制造的构件 / 物件具有受控制的次级结晶的晶粒定向，同根据现有技术水平的加成制造方法制造的构件相比，其导致金属部分和原型的更高的寿命和操作性能。

[0024] 在该方法的优选实施例中，在需要最小的杨氏模量值的地方，次级晶粒定向的主动控制通过放置扫描器路径，使之与构件方向交替地平行（第一层）和正交（下一层）等来实现。通常，最小杨氏模量的方向应该是应用最高的温度机械负载的方向。

[0025] 在另一实施例中，次级晶粒定向的控制通过改变后续层中的扫描器路径方向来实现，其不会从 $n*90^\circ$ 偏离超过 15° ， n 是整数值。

[0026] 此外，根据该方法的另一实施例，次级晶粒定向的优选对齐只应用于指定的子体积。

[0027] 为了取得非明显的次级晶粒定向，扫描器路径在后续层中旋转随机角度，例如扫描矢量在各个层的各个岛 (island) 内是平行的，并且在各个后续层中旋转 63° 。

[0028] 该方法可特别用于制造具有复杂设计的热气体部分和原型。这种部分可在例如燃气涡轮的第一涡轮级、压缩机或燃烧器中找到。其一个优点是，该方法可用于新部分的制造以及修整 / 修理工艺中。

[0029] 根据本发明的优选实施例，用于该构件的第二部分的所述加成制造工艺是选择性激光熔化 (SLM)、选择性激光烧结 (SLS) 或电子束熔化 (EBM) 中的一种，并且该方法包括如下步骤：

- a) 制造或至少预先机械加工出预制件；
- b) 生成添加到预制件上的体积的三维模型，继之以切片工艺以计算横截面；
- c) 然后将所述计算的横截面传递至机器控制单元；
- d) 提供该工艺所需的金属粉末材料；
- e) 将预制件放置在工作室中，使得待加成制造的区域的界面平行于机器的粉末沉积平面；
- f) 确定预制件的精确位置和定向；
- g) 在预制件上制备具有规则且厚度均匀的粉末层；
- h) 根据储存在控制单元中的三维模型通过用能量束扫描与所述构件的横截面相对应的区域来执行熔化，其中能量束以如下方式进行扫描，即，使得次级结晶的晶粒定向与构件的设计意图相匹配，或者与已知的预制件的主要结晶方向匹配；
- i) 将之前形成的横截面的上表面降低一层厚度；

- j) 重复从 g) 至 i) 的所述步骤, 直至达到根据三维模型的最终横截面; 以及
- k) 可选地对所述构件进行热处理。

[0030] 在本发明的一个实施例中, 在步骤 a) 中, 现存的预制件沿着优选平面进行切割和 / 或机械加工, 并且在该预机械加工的预制件上进行用于构件的 SLM 集结的如下步骤 b) 至 k)。

[0031] 能量束, 例如高密度能量激光束, 按照这样一种特定的扫描图案进行扫描, 使得次级结晶的晶粒定向与构件的设计意图相匹配。

[0032] 更具体地说, 所述粉末的颗粒尺寸分布被调整至所述粉末层的层厚度, 从而建立良好的可流动性, 这是制备具有规则且厚度均匀的粉末层所需要的。

[0033] 根据本发明的另一实施例, 粉末颗粒具有球形形状。

[0034] 根据本发明的另一实施例, 粉末的精确颗粒尺寸分布通过筛选和 / 或风选 (吹气分离) 来获得。

[0035] 根据本发明的另一实施例, 所述粉末通过粉末冶金工艺, 尤其是气体雾化或水雾化、等离子体 - 旋转 - 电极工艺或机械轧制中的一种来提供。

[0036] 根据本发明的另一实施例, 所述金属粉末材料是一种高温镍基、钴基或铁基合金或其组合。

[0037] 具体地说, 所述合金可包含精细分散的氧化物, 尤其是 Y_2O_3 , Al_2O_3 , ThO_2 , HfO_2 , ZrO_2 中的一种氧化物。

[0038] 本发明的一个重要方面为如下事实, 即优选的显微结构不必在部分的整个体积中实现。相反, 这种对齐对于不同区域可以以任意方式打开和关闭, 这依赖于局部的机械完整性 (MI) 要求。这与熔模铸造或 E(外延)-LMF 相比是个优点, 在熔模铸造或 E(外延)-LMF 中, 一旦外延的生长条件不再存在且等轴晶粒生长发生时, 就丢失了显微结构的控制。

附图说明

[0039] 现在将通过不同的实施例并参照附图更仔细地解释本发明。

[0040] 图 1 显示了根据现有技术水平用于 SLM 制造的基本布置, 其可用于本发明;

图 2a, 2b 显示了用于 SLM 制造的第一扫描策略 (在相邻层之间具有 90° 角度的交替扫描矢量);

图 3a, 3b 显示了用于 SLM 制造的第二扫描策略 (棋盘策略);

图 4a 至 4d 显示了用于 SLM 制造的两个额外的扫描策略 (在相邻层之间具有 63° 角度的交替扫描矢量或具有随机角度);

图 5 显示了从现有技术已知的典型的 SLM 轨迹对齐;

图 6 显示了在“刚构建完 (as built)”条件下所测量的, 针对由哈司特镍合金 (Hastelloy)®X 所制成的样品对于两种不同扫描策略在室温和作为测试温度的 750° C 下的杨氏模量值;

图 7a 至 7c 显示了在 SX 预制件上根据本发明的实施例进行 SLM 集结的不同设置;

图 8a 至 8c 显示了在修整中制造涡轮叶片的三个主要阶段, 以及

图 9 显示了在预制件上利用匹配的次级晶粒定向通过 SLM 重建的顶端。

[0041] 部件列表

- 10 SLM 布置
- 11 物件 (3D), 构件
- 12 粉末层
- 13 激光装置
- 14 激光束
- 15 控制单元
- 2 预制件
- 3 具有对齐的扫描器路径的 SLM 集结
- 3' 具有非对齐的扫描器路径的 SLM 集结
- d 层厚度 (粉末层)。

具体实施方式

[0042] 如同上文中的现有技术所述,基于粉末的加成制造技术的一个特征是由于逐层集结工艺所引起的材料属性的强各向异性。

[0043] 已证明沿着 Z 方向的机械属性不同于 X-Y 平面中的机械属性, X-Y 平面是粉末平面。沿着 Z 方向 (构建方向) 的杨氏模量通常低于 X-Y 平面中的杨氏模量。这在图 6 中有所显示,该图用于由哈司特镍合金®X 通过加成制造利用两种不同的扫描策略而制成的样品,其意味着两种不同的扫描图案,并且在室温 RT 和在 750°C 的温度下进行测试。杨氏模量在“刚构建完”的条件下进行测量。由于基于粉末的物件生产和这些工艺中的能量束 - 材料相互作用的内在高冷却速率,该材料在化学成分方面是非常均质的,并且原则上没有偏析。另外,“刚构建完”条件下的材料具有非常精细的显微结构 (例如沉淀物 (precipitate) 尺寸和晶粒尺寸),同传统的铸造或锻造超合金相比精细得多。对于扫描策略 I,其始终获得与不同扫描策略 M 相比显著低的杨氏模量。这对于初级 (Z 方向) 和次级定向 (X-Y 平面) 以及两个不同的测试温度 (室温 RT 和 750°C) 来说的确如此。

[0044] 关于 [001] 方向上的柱状晶粒生长的观测结果是众所周知的。然而,相似的方向依赖性还存在于 X-Y 平面上。已经发现利用某些工艺设置,在次级平面 (扫描器运动平面) 中控制 [001] 生长是可行的。

[0045] 在本申请人迄今未公布的单独申请中已公开了具有受控制的初级和次级晶粒定向的选择性激光熔化工艺 / 加成制造工艺的基本思想。

[0046] 本申请的核心是对于混合组件 / 构件也实现相似的控制,其中该构件的第二部分的加成制造开始于作为该构件的第一部分的机械加工的 / 制造的预制件。

[0047] 根据本发明用于制造混合构件 11 的方法包括如下步骤:

- a) 制造预制件 2 作为混合构件 11 的第一部分,然后
- b) 在该预制件 2 上由金属粉末材料 12 通过加成制造工艺经由能量束 14 扫描而连续集结该构件 11 的第二部分,从而
 - c) 在该构件 11 的第二部分的至少一部分的初级和次级方向上建立受控制的晶粒定向,
 - d) 其中,受控制的次级晶粒定向通过应用特定的能量束 14 的扫描图案来实现,扫描图案与所述构件 11 的横截面剖面或与用于所述构件 11 的局部负载条件相对齐。

[0048] 对于本发明基本的是次级晶粒定向与该构件的特征负载条件对齐,例如遵循该构件的横截面剖面。

[0049] 在所公开的方法的一个实施例中,在需要最小的杨氏模量值的地方,次级晶粒定向的主动控制通过放置扫描器路径,使之与构件方向交替地平行(第一层)和正交(下一层)以及在后续层中继续来实现。

[0050] 次级晶粒定向的控制还可通过改变后续层中的扫描器路径方向来实现,其不会从 $n*90^\circ$ 上偏离超过 15° ,n是整数值。

[0051] 次级晶粒定向的优选对齐只能应用于指定的子体积。

[0052] 预制件2可通过机械加工(例如通过铸造、锻造或轧制),或通过烧结或通过生成性工艺,例如SLM、EBM、LMF或通过线EDM制造。其可由例如金属材料或陶瓷材料制成。预制件2还可通过这些方法的两种或多种组合制造。

[0053] 混合构件11可能是带有金属第一部分(预制件2)和金属第二部分的完整金属混合构件,或者构件11只是部分地由金属材料制成,例如存在陶瓷预制件2作为第一部分以及构件11的金属第二部分。

[0054] 用于该构件的第二部分的所述加成制造技术尤其是选择性激光熔化(SLM)、选择性激光烧结(SLS)和电子束熔化(EBM)。所述基于粉末的加成制造技术可用于完整地或部分地集结例如燃气涡轮叶片或导叶的物件,例如在预制件上集结叶冠。

[0055] 当选择性激光熔化SLM、选择性激光烧结SLS或电子束熔化EBM用作用于该构件的第二部分的加成制造技术时,根据本发明的方法包括如下步骤:

- a) 制造或至少预先机械加工出预制件2;
- b) 生成添加到预制件2上的体积的三维模型,继之以切片工艺以计算横截面;
- c) 然后将所述计算的横截面传送至机器控制单元15;
- d) 提供该工艺所需要的金属粉末材料;
- e) 将预制件2放置在工作室中,使得有待加成制造的区域的界面平行于机器的粉末沉积平面;
- f) 确定预制件2的精确位置和定向;
- g) 在预制件2上制备具有规则且厚度均匀的粉末层12;
- h) 根据储存在控制单元15中的三维模型,通过用能量束14扫描与所述构件的横截面相对应的区域来执行熔化,其中能量束14以这样一种方式进行扫描,即使得次级结晶的晶粒定向与构件11的设计意图相匹配,或者与已知的预制件2的主要结晶方向相匹配;
- i) 将之前形成的横截面的上表面降低一层厚度d;
- j) 重复从g)至i)的所述步骤,直至达到根据三维模型的最终横截面;以及
- k) 可选地对所述构件11进行热处理。

[0056] 在一个实施例中,现有的预制件2沿着优选平面进行切割和/或机械加工,并且在该预机械加工的预制件2上进行用于集结构件11的第二部分的后续步骤。

[0057] 用于加成制造工艺的粉末材料不需要具有与基体材料(预制件)相同的类型。例如In738LC粉末可用于生成新的预制件截面,预制件由不同的镍基超合金,例如MK4制成。

[0058] 图7a、7b、7c显示了利用混合金属涡轮叶片组件的示例的不同设置,其中材料沉积在机械加工的枞树截面上。总之,将发现该方法对于高负载的静态或旋转的涡轮部分是

特别有用的，诸如叶片或导叶，但是也可设想应用于混合热屏蔽组件。

[0059] 如果该方法应用于传统的铸造预制品，那么 SLM 工艺与激光轨迹对齐，使得具有最小杨氏模量值的方向与构件的最高热机械负载对齐。

[0060] 如果该方法应用于单晶体预制品，则通过使扫描器路径与已知的基质的初级和次级定向对齐将实现热物理属性的最佳匹配（见图 7a）。如果后者是未知的，则其可通过局部抛光或腐蚀或者可选地通过 X 射线衍射技术来确定。

[0061] 作为一个示例，预制品 2 可由相对较大块的叶片的枞树截面组成，其具有简单的设计并可在没有问题的情况下铸造（见图 7）。预制品 2 在这里是 SX 预制品。通常，在 SX 铸造工艺中不仅初级结晶方向，而且次级结晶方向都是受控制的。出于更好地图示目的，在图 7 中还显示了这些方向。

[0062] 然后将一个或多个预制品 2 放置在 SLM 工作室中，并通过 3D 物体识别技术或通过手动调准过程，利用预烧标记、激光指示器、在线照相机或这些工具和技术的组合来确定其精确位置。然后使扫描器矢量与次级结晶方向对齐，并在后续层中旋转 90°（或多个 90°）。根据图 7a 的构件 11 示意性地显示了在 SX 预制品 2 和具有对齐的扫描器路径 3 的 SLM 集结之间的这种匹配的定向。

[0063] 如果平面方向中的机械属性的各向异性不再需要或必需时，可在垂直于集结方向的粉末沉积平面中恢复各向同性的机械属性。这通过在后续层中为扫描器图案简单地选择任意（随机）的旋转角度来实现（参见例如图 7b, c）。图 7b 显示了相对于 SX 预制品 2 具有未对齐的扫描器路径 3' 的 SLM 集结，图 7c 显示了构件 11（涡轮叶片），其中在 SX 预制品 2 和部分 3,3' 之间，在匹配的和未匹配的次级定向之间具有阶段（step）变化的 SLM 集结。

[0064] 本发明可应用于许多不同种类的金属材料，然而，主要应用范围涉及 Ni/Co/Fe 基超合金。

[0065] 其中一种目标应用是混合组件，其中预制品 2 具有 SX 显微结构。利用本发明的方法，这种在负载最重区域中具有优化的机械属性的混合金属构件可在极具竞争性成本的条件下生产出来。不仅晶粒的初级结晶定向而且次级结晶定向都有利地与构件的设计意图和 / 或预制品 2 的主结晶轴线相匹配，从而导致延长的使用寿命。

[0066] 本发明的另一重要方面是优选的显微结构不必在由 SLM 生成部分的整个体积上实现。相反，这种对齐对于不同的区域可以以任意方式打开和关闭，这依赖于局部的机械完整性 (MI) 要求或构件的需求。这与熔模铸造或 E-LMF 相比是个优点，在熔模铸造或 E-LMF 中，一旦外延的生长条件不再存在且等轴晶粒生长已发生时，就丢失了显微结构的控制。

[0067] 重要的是还要注意，该方法不仅可应用于新的混合金属组件的制造。相反其还可用于修整热气体路径构件，其中受损严重或磨损严重的区域用直接构建于预制品 2 上的材料来替换，预制品 2 由原始的退役构件的机械加工来取得。在图 8 和图 9 中显示了这种情况。

[0068] 图 8a、8b 和 8c 显示了在修整过程中制造涡轮叶片的三个主要阶段。在图 8a 中将看到具有受损严重的顶端区域的退役的 SX 叶片，图 8b 显示了根据本发明除去了受损的顶端区域的 SX 叶片 - 所得叶片主体现在是预制品 2。图 8c 显示了具有由 SLM 重建的顶端的混合构件 11，顶端具有匹配的晶粒定向。这还可从图 9 中看出，图中示意性地显示了用于相邻的层 n 及层 n+1 的扫描矢量。在该示例中，在后续层的扫描矢量之间存在 90° 的角度。

[0069] 根据本发明的预制件 2 在加成材料集结之前不暴露于涡轮机械的操作条件下, 或者可已通过退役的涡轮构件的机械加工而取得预制件 2。

[0070] 新添加的材料可复制退役构件的原设计, 或者新添加的材料可集结与原始的退役构件具有不同设计的组件。

[0071] 用于粉末的选择性熔化的扫描器运动的程序化设计以这样一种方式完成, 即使其平衡输入粉末床中的热量, 并导致热条件有利于对初级和次级晶粒定向的所需控制。

[0072] 优选地, 工艺监测系统 (热感照相机或高温计) 用于确保粉末床的表面上的温度分布有利于对初级和次级晶粒定向的所需控制。

[0073] 基本的是, 不仅晶粒的初级结晶定向, 而且次级结晶定向有利地与构件的设计意图相匹配, 从而导致延长的使用寿命。

[0074] 在需要最小的杨氏模量值的地方, 次级晶粒定向的主动控制通过将扫描器路径相对构件方向进行平行和正交地放置来实现。在不同层中的扫描器路径方向的角度变化必须是 90° 或该值的倍数 (见图 2a, 2b)。在后续层中的扫描器路径方向中从 $n*90^\circ$ 偏离不超过 15° 的变化也是适用的, 其中 n 是整数值。

[0075] 通过使用扫描矢量还可排除优选的次级定向 (实现一种非明显的次级定向), 这种扫描矢量在各个层的各个岛中是平行的, 并且在各个后续层中旋转例如 63° 的角度 (见图 4a、4b) 或使用随机角度 (见图 4c、4d), 从而改变在各个岛和各个层内的扫描方向。作为一个示例, 在后续层中可执行扫描图案 63° 的旋转, 从而获得非明显的次级定向。

[0076] 优选的显微结构不需要在构件的整个体积上实现。相反, 这种对齐对于不同的区域可以以任意方式打开和关闭, 这依赖于局部的机械完整性 (MI) 要求。这与熔模铸造或 E-LMF 相比是个优点, 在熔模铸造或 E-LMF 中, 一旦外延的生长条件不再存在且等轴晶粒生长发生时, 就丢失了显微结构的控制。

[0077] 优选地, 用于这种 SLM、SLS 或 EBM 工艺的粉末的颗粒尺寸分布被调整至层厚度 d, 从而具有良好的可流动性, 这对于制备具有规则且厚度均匀 d 的粉末层是必需的。

[0078] 优选地, 用于这种工艺的粉末颗粒具有球形形状。精确的粉末颗粒尺寸分布可通过筛选和 / 或风选 (吹气分离) 来取得。此外, 该粉末可通过气体雾化或水雾化、等离子体 - 旋转 - 电极工艺、机械轧制和相似的粉末冶金过程来获得。

[0079] 在其它情况下, 可使用悬浮液来替代粉末。

[0080] 当所述耐高温材料是镍基合金时, 可使用多种可购买的合金, 例如 Waspaloy®、哈司特镍合金 ®X、IN617®、IN718®、IN625®、Mar-M247®、IN100®、IN738®、IN792®、Mar-M200®、B1900®、RENE 80®、合金 713®、Haynes 230®、Haynes 282® 或其它派生物。

[0081] 当所述高温材料是钴基合金时, 可使用多种可购买的合金, 例如 FSX 414®、X-40®、X-45®、Mar-M509® 或 Mar-M302®。

[0082] 当所述高温材料是铁基合金时, 可使用多种可购买的合金, 例如 A286®、合金 800H®、N155®、S590®、合金 802®、Incoloy MA956®、Incoloy MA957® 或 PM2000®。

[0083] 例如 AlNiFe 基合金也是合适的。

[0084] 特别地, 这些合金可包含精细分散的氧化物, 例如 Y_2O_3 , Al_2O_3 , ThO_2 , HfO_2 , ZrO_2 。

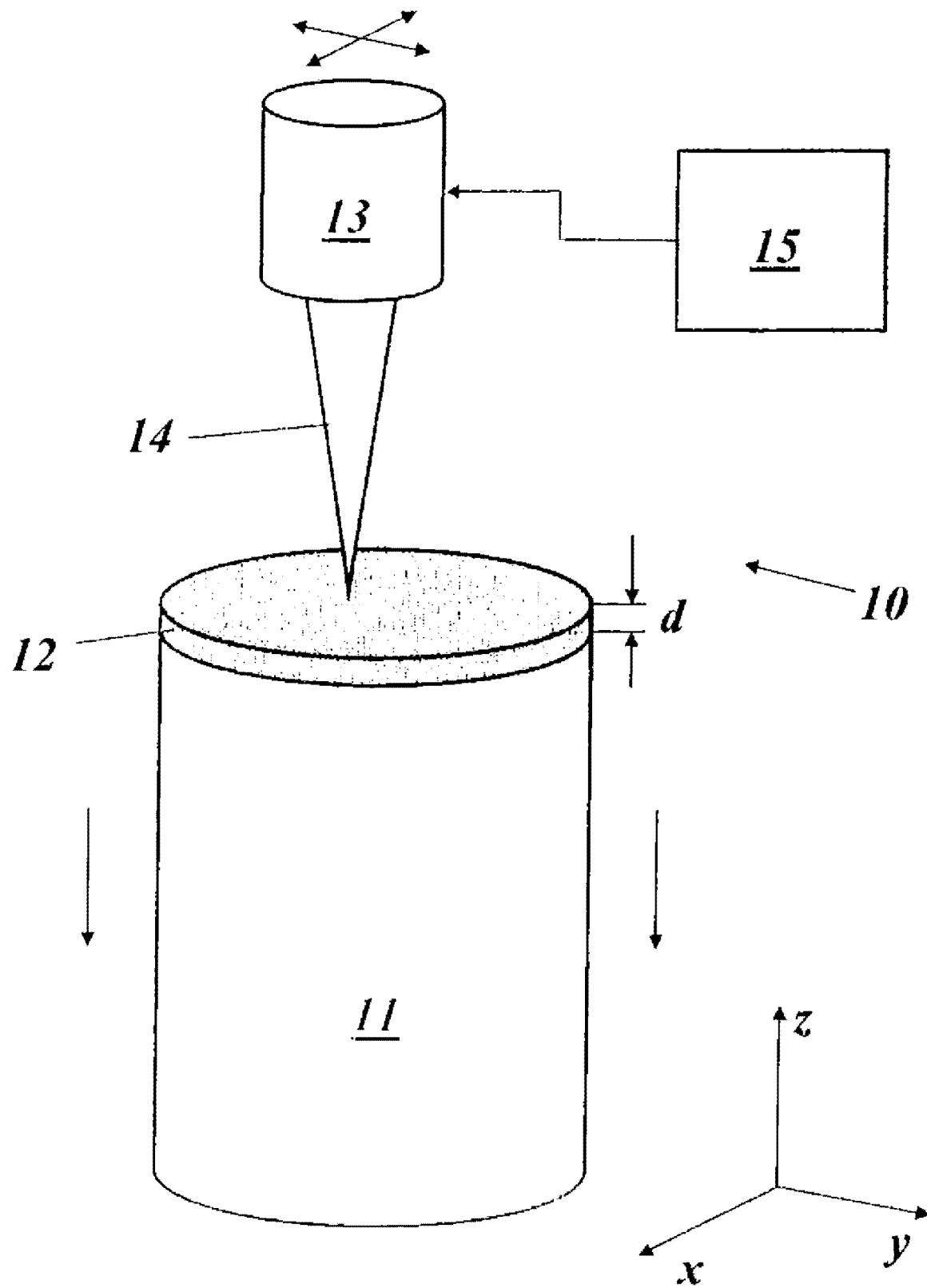
[0085] 在一个优选的实施例中, 利用根据本发明的方法所制造的混合构件 11 是用于涡轮机械的叶片或导叶。叶片 / 导叶包括带有剖面的翼型。次级晶粒定向的对齐与翼型剖面

相匹配，并且这种次级晶粒定向的对齐逐渐且连续地适应翼型的形状。这将导致非常好的机械和疲劳属性。

[0086] 如果预制品 2 具有单晶体 (SX) 显微结构，那么构件 11 的第二部分 - 此处为翼型 - 可按照添加材料的次级晶粒定向来生成，其与单晶体预制品 2 的主结晶定向对齐。

[0087] 在一个不同的实施例中，混合金属构件 11 包括预制品 2，其具有无优选晶粒定向的各向同性的显微结构，并且只有构件 11 的第二部分具有初级和次级晶粒定向。

[0088] 如果根据本发明的混合金属构件 11 具有带各向同性和各向异性属性的区域 / 部分，那么在这些部分之间可存在一个或多个过渡区域。



现有技术

图 1

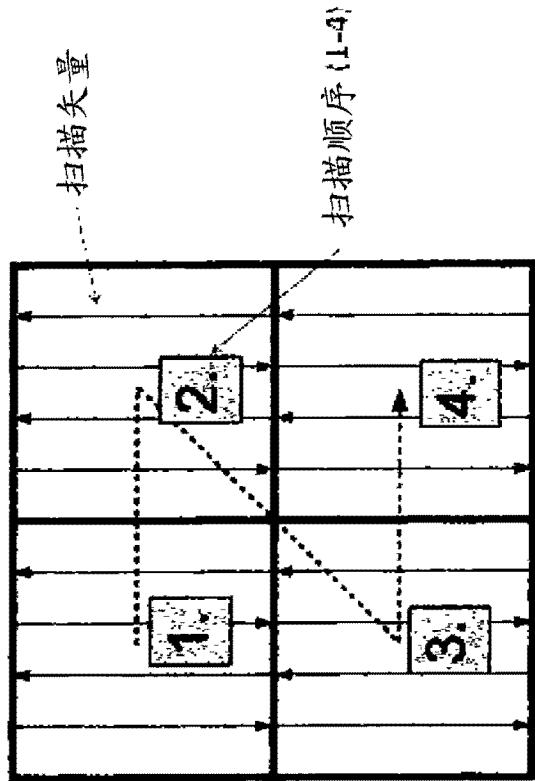
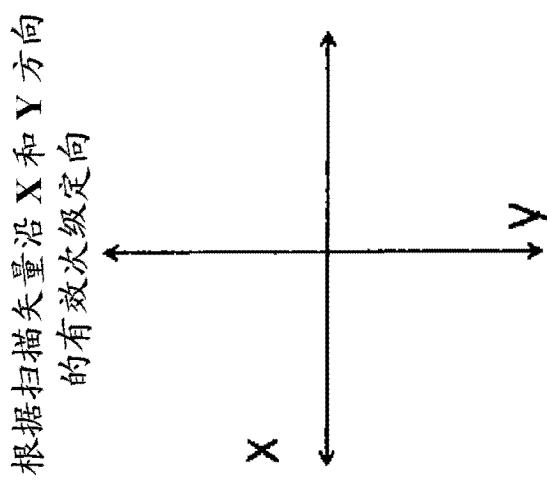


图 2a

层 N

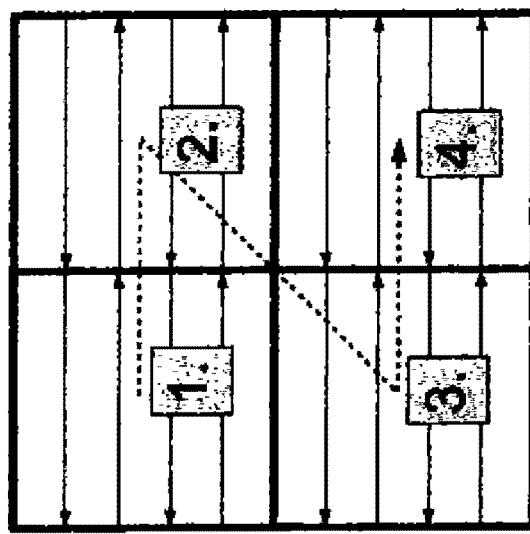


图 2b

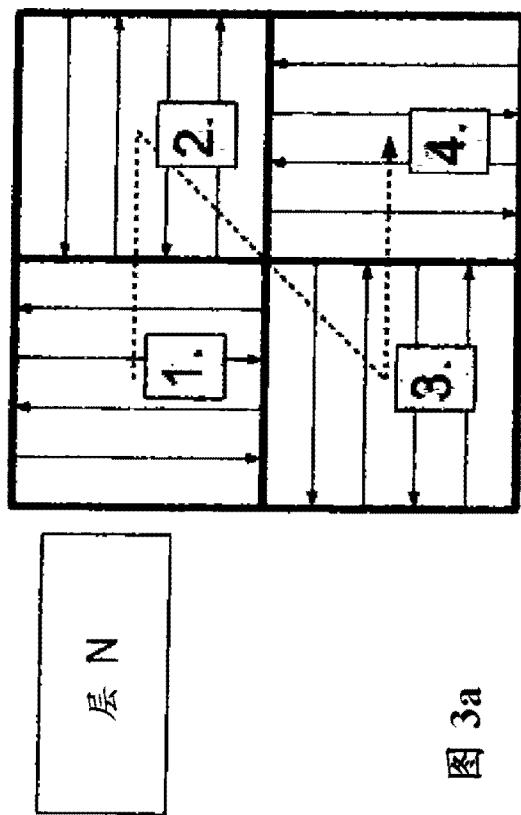
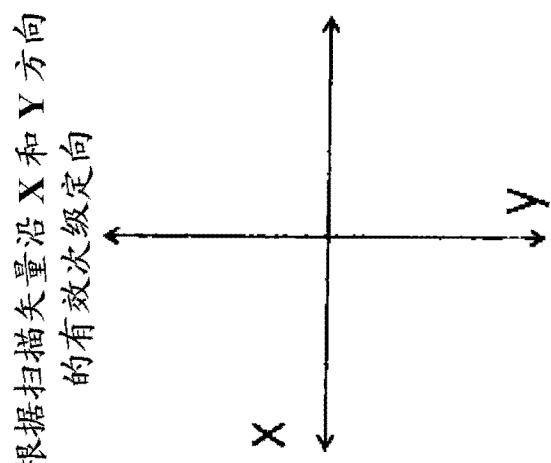


图 3a

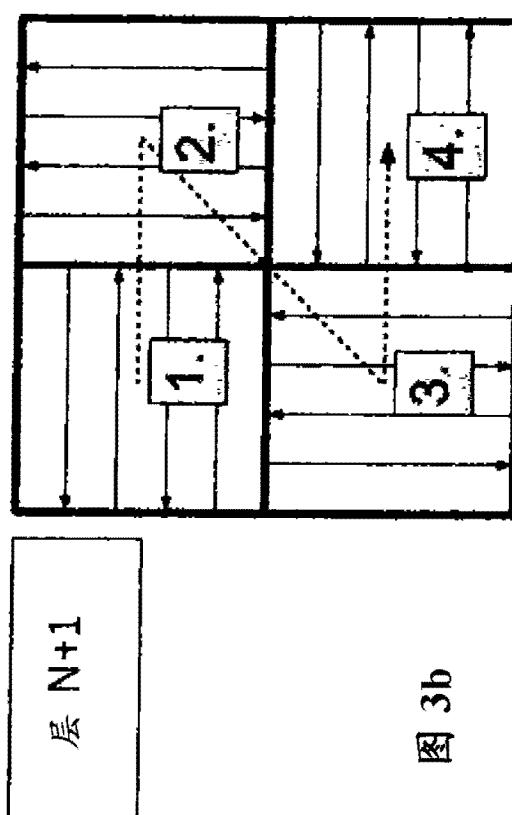
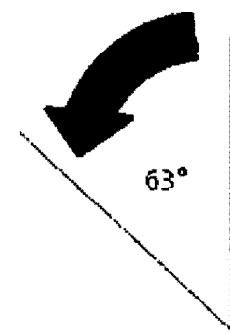
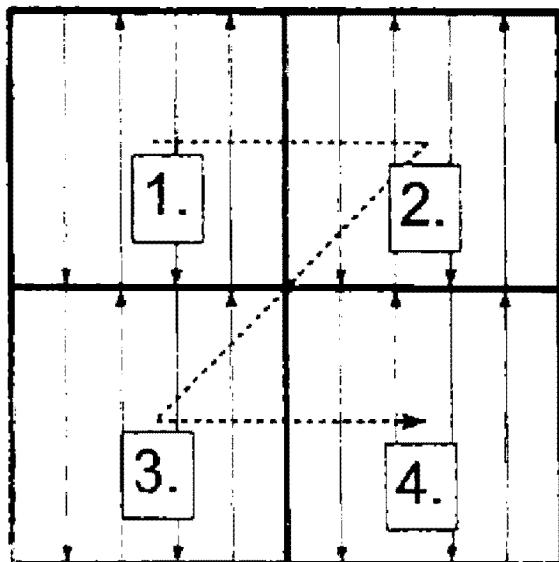


图 3b

层 N

图 4a



层 N+1

图 4b

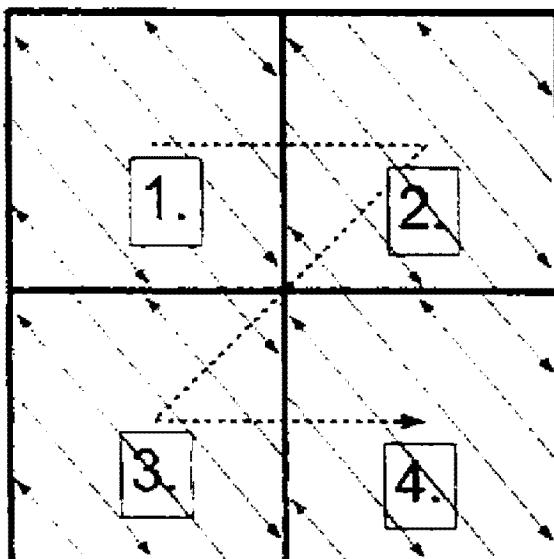


图 4c

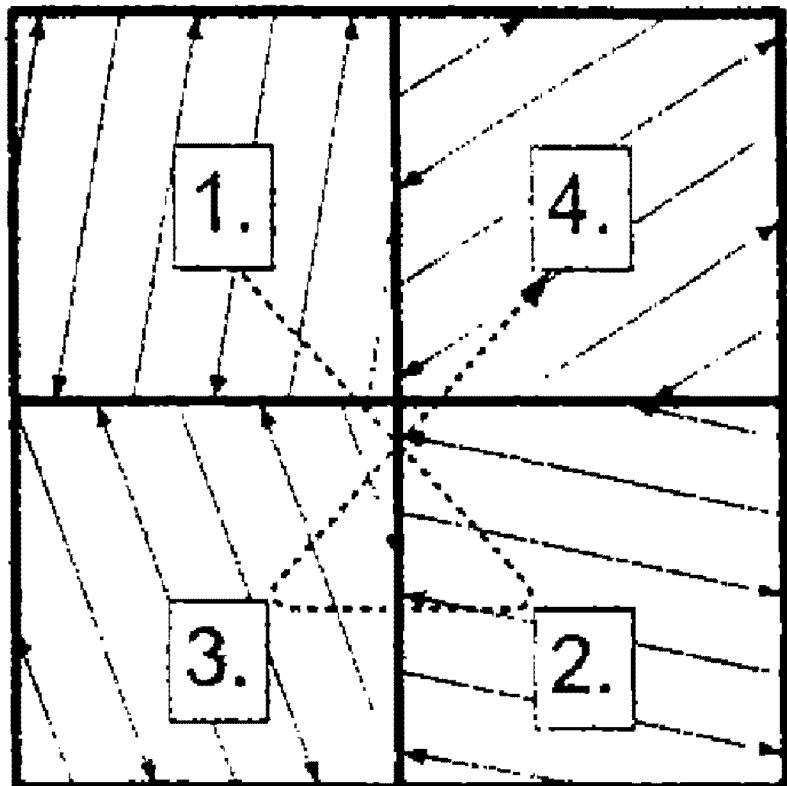
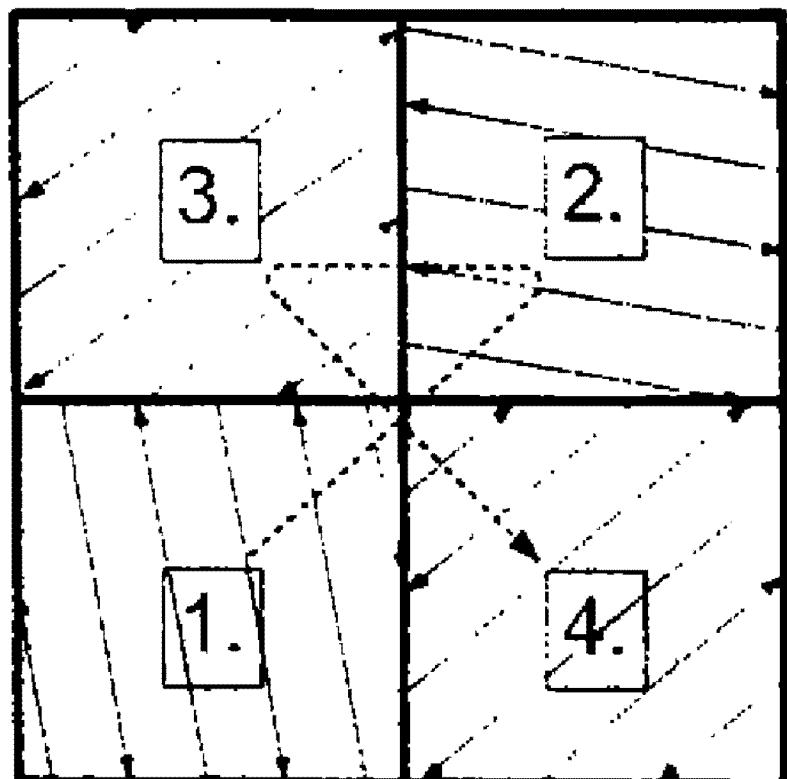


图 4d



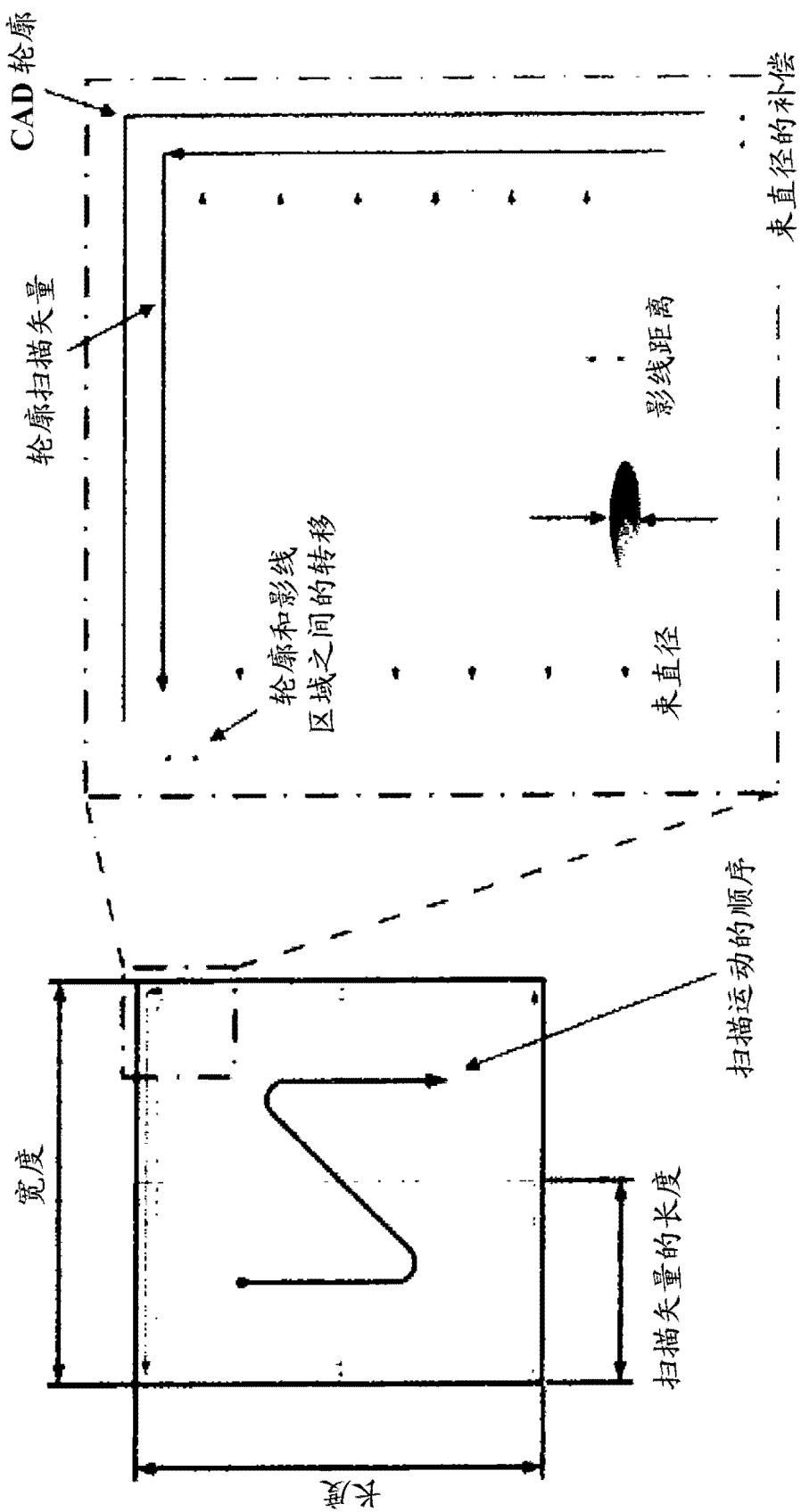


图 5

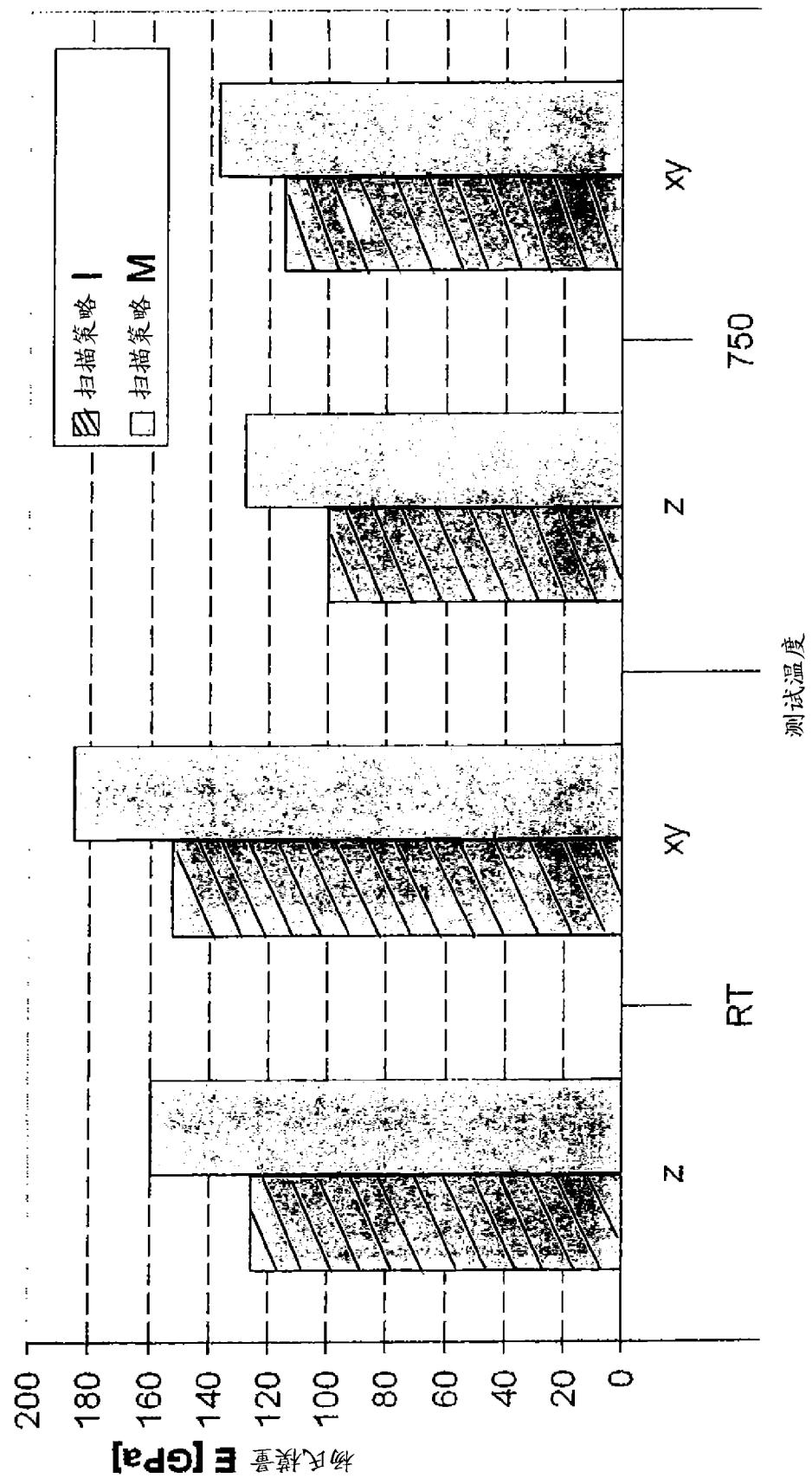


图 6

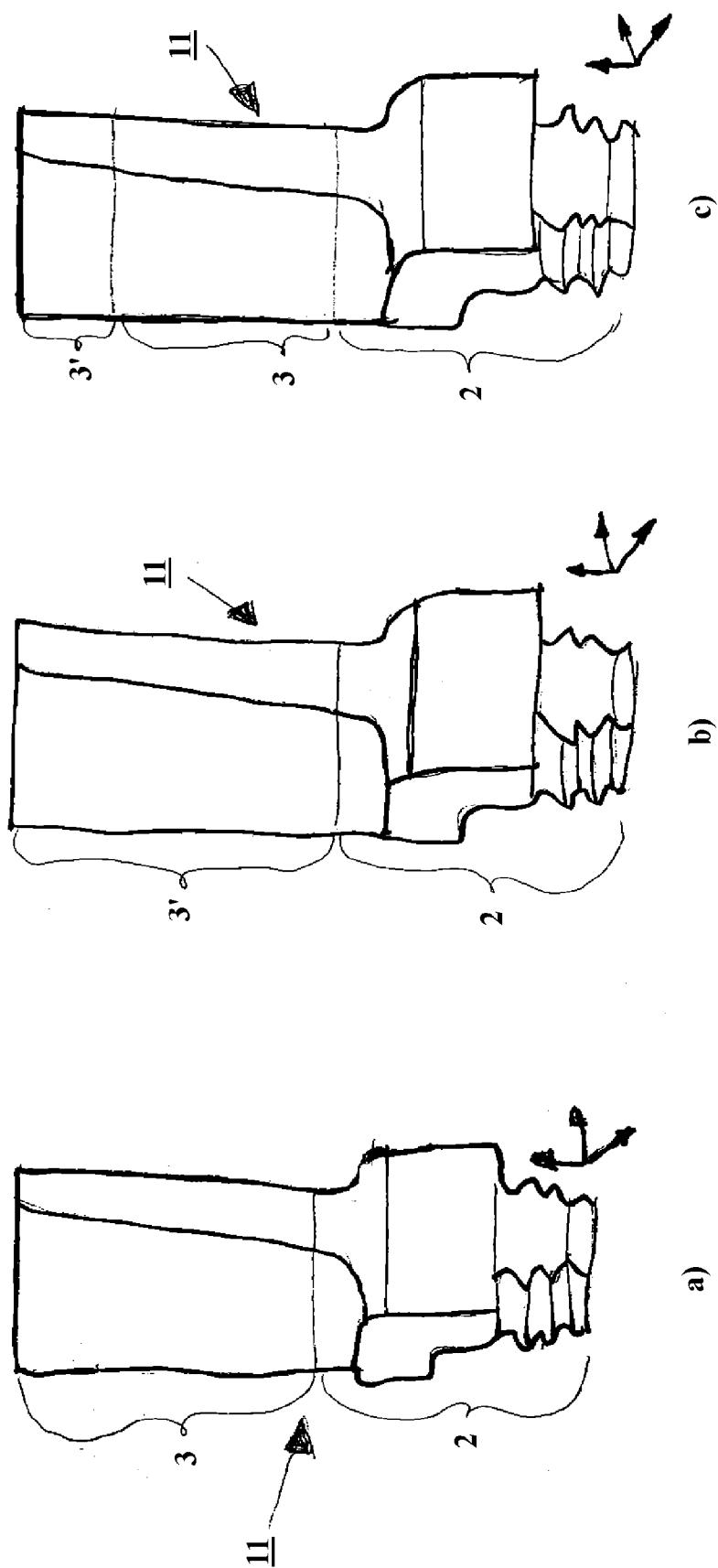
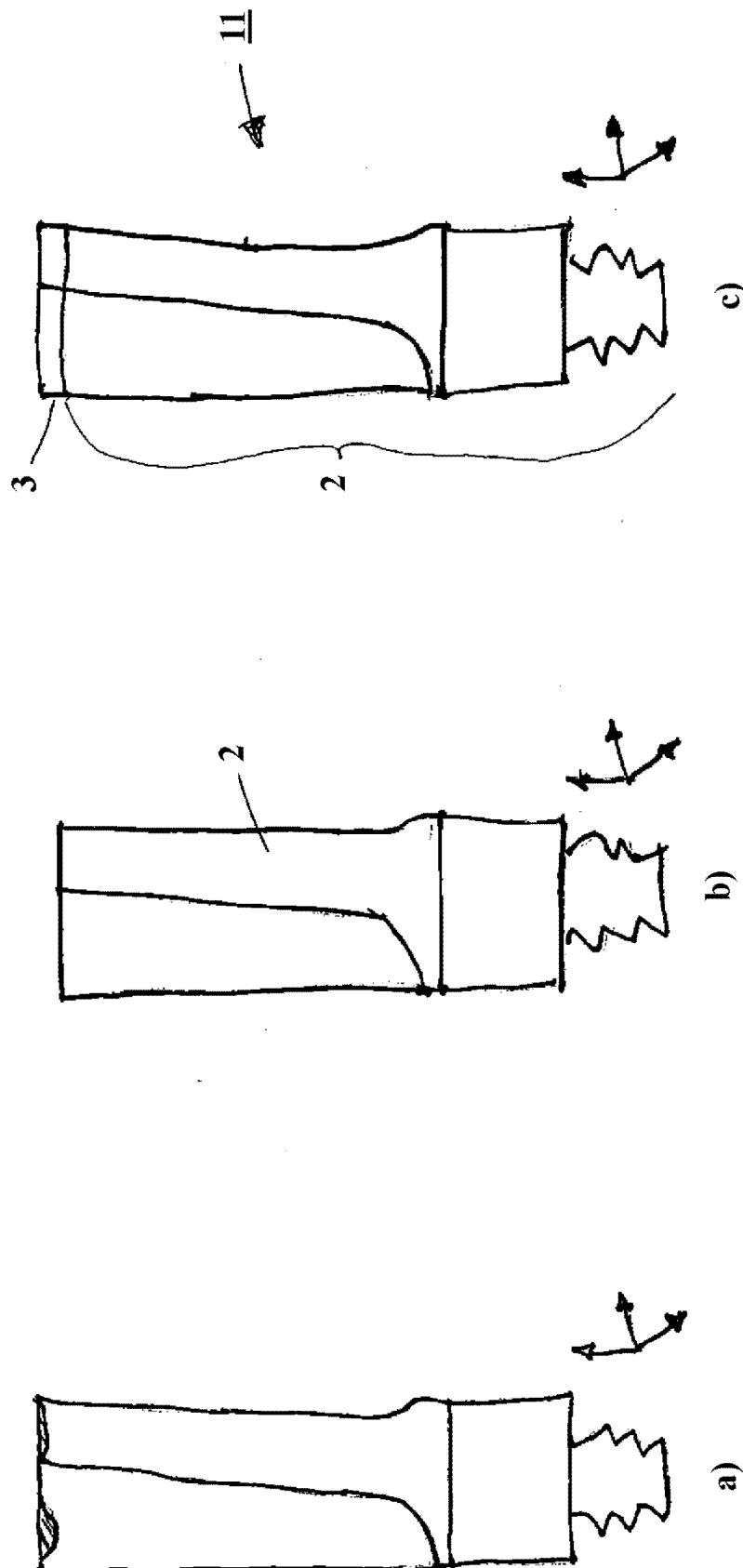


图 7



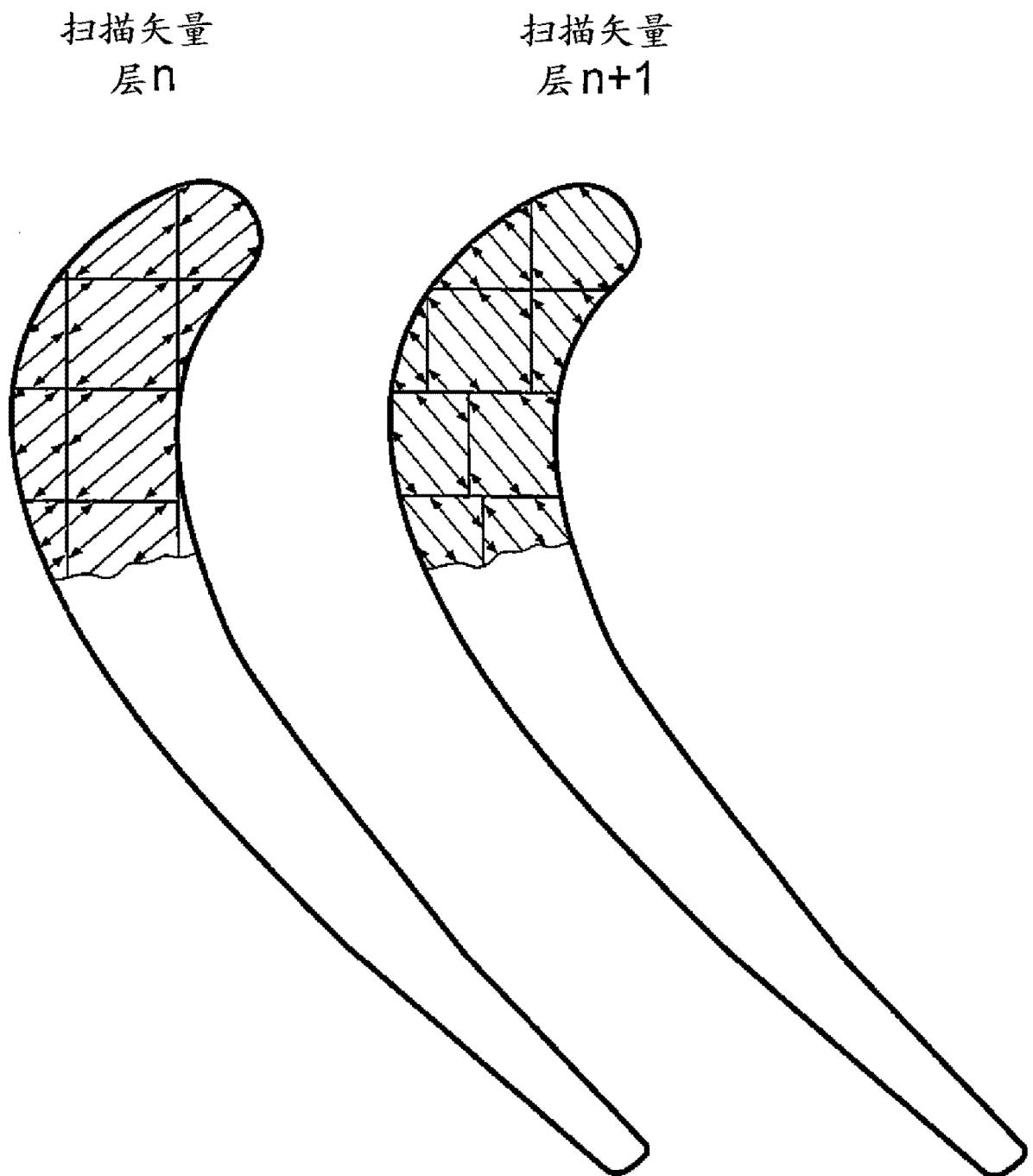


图 9