



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117642623 A

(43) 申请公布日 2024. 03. 01

(21) 申请号 202280048346.1

(22) 申请日 2022.06.23

(30) 优先权数据

FR2107543 2021.07.12 FR

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.01.08

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/FR2022/051234 2022.06.23

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/285745 FR 2023.01.19

(71) 申请人 赛峰集团

地址 法国巴黎

(72) 发明人 弗兰克·米肖

(74) 专利代理机构 中国商标专利事务所有限公司 11234

专利代理师 桑丽茹

(51) Int.Cl.

G01N 21/88 (2006.01)

G06T 7/00 (2017.01)

G01N 33/2045 (2019.01)

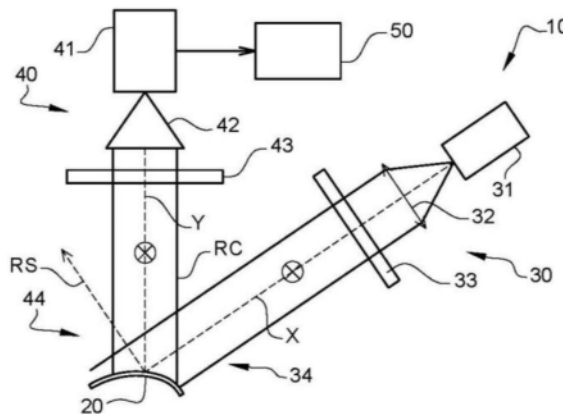
权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

用于检查由单晶金属制成的铸造部件上的表面缺陷的方法以及用于实施该方法的系统

(57) 摘要

本发明的一方面涉及一种用于检查由单晶金属制成的铸造零件(20)的表面光洁度的方法(100),该零件的表面潜在地包含由单晶金属的至少晶格的定向的不均匀性所引起缺陷(G1),G2、G3、G4),所述方法包括:-使用图像采集装置(40),采集(110、120)通过偏振和准直的照明装置(30)照亮的铸造零件的一系列图像(130),然后通过图像处理装置(50)分析(140-180)一系列图像(130),以不同的偏振角拍摄一系列图像(130)中的每个图像。本发明的另一方面涉及一种用于实施检查方法的系统,该系统包括偏振和准直的照明装置(30)、图像采集装置(40)、以及图像处理装置(50)。



1. 一种用于检查单晶金属铸造零件 (20) 的表面状况的方法 (100), 零件的表面包括由单晶金属的至少一个晶格的不均匀定向所引起的可能的缺陷 (G1, G2, G3, G4), 所述方法包括:

通过图像采集装置 (40), 采集 (110, 120) 通过偏振的、准直的照明装置 (30) 照亮的铸造零件的一系列图像 (130), 然后

通过图像处理装置 (50), 分析 (140-180) 一系列图像 (130), 该分析包括以下操作:

o 对于图像采集装置的每个像素, 确定 (140) 对应于一系列图像中的每个图像中的相同像素的强度变化的强度向量,

o 确定 (150) 系列图像中的每个图像的所有像素的平均强度, 并且提取 (160) 系列图像的总强度变化规律,

o 确定 (170) 每个晶格特有的单个强度变化规律, 以及

o 确定 (180) 属于相同晶格的像素,

针对不同的偏振角制作一系列图像 (130) 中的每个图像。

2. 根据权利要求1所述的检查方法, 其特征在于, 通过旋转图像采集装置 (40) 的偏振轴线, 修改偏振角。

3. 根据权利要求1或2所述的检查方法, 其特征在于, 确定属于相同晶格的像素的操作 (180) 通过对具有同样强度变化的像素进行匹配来获得。

4. 根据权利要求1至3之一所述的检查方法, 其特征在于, 确定单个强度变化规律的操作 (170) 是通过根据总强度变化规律对每个像素的强度进行归一化获得。

5. 根据权利要求1至4中任一项所述的检查方法, 其特征在于, 照明装置 (30) 产生非相干的、线性地偏振的光束。

6. 根据权利要求1至5中任一项所述的检查方法, 其特征在于, 它包括对铸造零件进行化学蚀刻的先前操作, 从而展现铸造零件的表面上的晶体。

7. 一种用于实施根据权利要求1至6中任一项所述的检查方法的系统, 其特征在于, 所述系统包括:

- 偏振的、准直的照明装置 (30),

- 图像采集装置 (40), 以及

- 图像处理装置 (50)。

8. 根据权利要求7所述的检查系统, 其特征在于, 照明装置 (30) 包括非相干的光源 (31), 所述非相干的光源耦合至第一线性起偏振器 (33) 和准直光学器件 (32)。

9. 根据权利要求7或8所述的检查系统, 其特征在于, 图像采集装置 (40) 包括耦合至第二旋转地可移动的起偏振器 (43) 的固定相机 (41, 42), 系列图像 (130) 中的每个图像对应于第二起偏振器 (43) 的偏振轴线的不同设置。

10. 根据权利要求7至9中任一项所述的检查系统, 其特征在于, 所述图像处理装置 (50) 包括图像显示装置, 所述图像显示装置显示铸造零件 (20) 的至少一个图像, 其中所述至少一个图像具有定向混乱的晶格的标记。

用于检查由单晶金属制成的铸造部件上的表面缺陷的方法以及用于实施该方法的系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于检查单晶金属铸造零件的表面状况的方法,该零件的表面易于包括由于单晶金属的至少一个晶格的定向上的不均匀性而导致的缺陷。本发明还涉及一种用于实施这种检查方法的系统。

[0002] 本发明发现在单晶金属或合金铸造零件的领域中,并且特别地在用于航空学的金属或金属合金铸造零件的制造领域中的应用。

背景技术

[0003] 铸造使得有可能制造复杂的金属零件,并且特别地航空零件,如高压发动机涡轮叶片。可以由单晶金属或合金制造铸造零件。然后,这些单晶金属或合金零件应该由具有均匀定向的晶格构成。换句话说,对于零件中的所有或至少非常大多数的晶格而言,晶格的定向应该是相同的。

[0004] 在航空学中,检查每个单晶金属或合金铸造零件的表面状况,以便检查在该零件的整个表面上的晶体定向是均匀的。实际上,当零件的晶格具有不同定向时,可能发展裂纹或其他缺陷,尤其是在晶格的接合处,从而对零件造成严重损坏。为了避免这种损坏,检查每个航空零件,并且检测晶粒接合部的存在,即,具有不同定向的两个晶格之间的边界。确定晶体定向上的不均匀性水平,即,具有不同定向的晶格的数量。如果该水平超过预定义的可接受阈值,则零件被丢弃。

[0005] 冶金学中用于检查零件在晶体定向中的表面状况的参考技术使用电子背散射衍射(EBSD或者背散射菊池(Kikuchi)衍射(BKD)方法)。该方法不仅实施非常昂贵的仪器,而且涉及测量样品的主要制备,测量样品必须是平面的和抛光的。此外,通过扫描进行分析的表面积相对较小(在 1mm^2 或 cm^2 的量级),并且通过扫描电子束的测量是耗时的,并且与生产零件的快速分类不相容。

[0006] 最近已经实施了其他光学方法,如BRDF(双向反射率分布函数)检查。BRDF检查是通过扩展先前由操作员用肉眼执行的检查的经验性的经验而使用的方法。这种方法基于以下事实:在零件上进行化学蚀刻之后,凭借所述零件的反射率的变化,不同晶粒的存在,在零件的表面上视觉地产生发光对比度的变化。先前,操作者将用肉眼寻找零件的表面的发光对比度的这些变化。为此,他以不同的角度倾斜该零件,以看到零件的表面的反射率的差异。即使对于训练有素的和有经验的操作者来说,这些检查操作也是精巧的,并且要求检查者的高度集中,因为操作者的任何疏忽都可能导致关键决策,无论是接受其状况未达到可接受阈值的零件,还是丢弃可接受零件。与经验性方法相比,BRDF检查通过实施光学检查台来测量零件的反射函数,并从其推导出其晶体定向的几何形状,而便于操作者的工作。需要照明和测量仪器的受控的角位移,如在论文“通过定向反射显微镜从蚀刻表面测量晶体定向(Measuring crystal orientation from etched surfaces via directional reflection microscopy)”,Wang Xiaogang,J Mater Sci(2020) 55:11669-11678中以及

“晶体材料中晶粒定向的光学表征 (Optical characterization of grain orientation in crystalline materials), Bernard Gaskey, in Acta Materialia 194(2020) 558-564”中所描述的。

[0007] 基于背散射电子衍射方法 (如EBSD) 检查零件的表面状况的技术难以集成在生产线上和用于复杂的机械零件。光学技术具有提供用于在复杂环境中的测量和用于非破坏性检查的更多通用性的优点,但是它们不适用于工业环境。

[0008] 因此,需要一种改进的自动检查方法和装置,用于帮助操作者检查单晶金属或合金零件的表面状况的他们的任务。

发明内容

[0009] 为了解决以上讨论的问题,并且帮助操作者检查铸造零件的表面状况,本申请人提供了一种基于对由零件的表面所反射的光的偏振的不同定向所制作的一系列图像的分析,用于检查单晶金属或合金零件的表面状况的方法和系统,。

[0010] 根据第一方面,本发明涉及一种用于检查单晶金属铸造零件的表面状况的方法,该零件的表面包括由单晶金属的至少一个晶格的定向上的不均匀性引起的可能的缺陷,所述方法包括:

[0011] -通过图像采集装置,采集借助于偏振的、准直的照明装置照亮的铸造零件的一系列图像,并且然后

[0012] -通过图像处理装置,分析一系列图像,该分析包括以下操作:

[0013] -对于所述图像采集装置的每个像素,确定与一系列图像中的每个图像中的相同像素的强度变化对应的强度向量,

[0014] -确定一系列图像中每个图像的所有像素的平均强度,并且提取一系列图像的总强度变化规律,

[0015] -确定每个晶格特有的单个强度变化规律,以及

[0016] -确定属于相同晶格的像素,

[0017] 以不同的偏振角制作一系列图像中的每个图像。

[0018] 在这种方法中使用的偏振照明使得有可能增强零件的表面上的反射率对比度。此外,对在不同偏振角度下制作的一系列图像的分析使得可以生成用于突出不同晶粒的部件的图像。这种方法具有易于自动化的另外的优点。

[0019] 应当理解,说明书和权利要求书中使用的表述“单晶金属”包括所有的单晶类型的金属和合金。通过根据本发明的方法和/或系统有待检查的铸造零件是单晶金属或单晶合金铸造零件,其晶格应该具有均匀的定向。

[0020] 说明书和权利要求中使用的术语“晶粒”或“定向混乱的晶格”或“具有不同定向的晶格”具有相同的含义,晶粒是其定向不符合预期定向的晶格。因此,晶粒接合部是不同定向的两个晶格之间的边界。

[0021] 除了以上段落中刚刚讨论的特征之外,根据本发明的一个方面的检查方法可以具有单独地或根据任何技术上可能的组合考虑的以下各项中的一个或多个另外的特征:

[0022] -通过旋转图像采集装置的偏振轴线,修改偏振角;

[0023] -通过匹配具有同样的强度变化的像素,获得用于确定属于相同晶格的像素的操

作。

[0024] -通过根据总体强度变化规律对每个像素的强度进行归一化,获得用于确定单个强度变化规律的操作。

[0025] -照明装置产生非相干的、线偏振的光束。

[0026] -方法包括对铸造零件进行化学蚀刻,以便在铸造零件的表面上展现晶体的先前操作。

[0027] 本发明的第二方面涉及一种用于实施以上定义的检查方法的系统,该系统包括:

[0028] -偏振的、准直的照明装置,

[0029] -图像采集装置,以及

[0030] -图像处理装置。

[0031] 固定照明装置和固定相机的组合使得可以简单地通过在相机前方旋转起偏振器,突出零件表面上的反射率的差异,而无需零件和照明的任何相对移动,并且没有针对弯曲零件的阴影或景深的任何问题。

[0032] 根据本发明的第二方面的这个检查系统可以具有单独地或根据所有技术上可能的组合考虑的以下各项中的一个或多个补充特征:

[0033] -照明装置包括非相干光源,该非相干光源耦合至第一线性起偏振器和准直光学器件。

[0034] -图像采集装置包括耦合至第二旋转地可移动的起偏振器的固定相机,系列图像中的每个图像对应于第二起偏振器的偏振轴线的不同设置。

[0035] -图像处理装置包括图像显示装置,所述图像显示装置显示具有定向混乱的晶格的标记的铸造零件的至少一个图像。

附图说明

[0036] 通过阅读由附图展示的以下说明,本发明的进一步的优点和特征将变得清楚,在附图中:

[0037] 图1示意性地示出了根据本发明的用于检查零件的表面状况的系统的实施例;

[0038] 图2以功能性表格示出了根据本发明的用于检查零件的表面状况的方法的操作的实施例;

[0039] 图3表示针对若干不同偏振角,制作的一系列图像中的三个图像的实施例;

[0040] 图4表示在图2的方法中确定的一系列图像中的一个图像的像素的平均强度的实施例;以及

[0041] 图5表示在通过图2中的方法进行分析之后,对应于三种不同晶粒的分别的强度变化的实施例。

具体实施方式

[0042] 以下参考附图详细描述了用于检查铸造零件的表面状况的方法和系统的示例性实施方式,该方法和系统被配置成用于自动地确定晶格的定向上的不均匀性。这个实施例示例了本发明的特征和优点。然而,请注意,本发明不限于该实施例。

[0043] 在附图中,相同的元件由相同的附图标记进行标记。出于附图的易读性的原因,不

遵守所表示的元件之间的尺寸比例。

[0044] 在图1中示出了用于检查单晶金属铸造零件20的表面状况的系统10的实施例。该系统10包括照明装置30、图像采集装置40和图像处理装置50。照明装置30被设计为发射非相干(或不相干)、偏振、准直的光。入射光束34(也称为入射光束)必须一方面是线性地偏振(或电地横向)的,使得仅透射平行于偏振轴线的入射光束的分量,并且另一方面是准直的,使得零件20接收均匀的照明。零件20的均匀照明允许所述零件的表面上的每个区接收相同的光强度,这使得可以检测由定向混乱的晶格引起的任何光偏差,如下文所解释的。

[0045] 为此,在图1的实施例中,照明装置30包括非相干光源31,即,其不产生干涉。照明可以是单色的或多色的,因为当零件20是金属零件时,其表面在可见范围内的宽频带上是反射的。光源31可以是常规光源、LED型光源、光纤光源(无论是否遥远)、或任何其他非相干光源。

[0046] 照明装置30还包括准直光学器件32(如准直透镜)和线性起偏振器33(称为第一起偏振器),两者都耦合至光源31,并且沿着照明轴线X对准。准直透镜32和第一起偏振器33定位在光源31后面的顺序不太重要,因为照明装置30朝向零件20发射的入射光束34既被偏振又被准直。

[0047] 第一起偏振器33是线性透射起偏振器。可以设想用于构造这种线性起偏振器的不同技术:例如,二向色膜、微门(amicro-gate)或长球形的纳米粒子。在本发明中,第一起偏振器33优选地被选择为在所考虑的波长处具有低散射和最大消光比。第一起偏振器33的偏振轴线(被称为入射偏振轴线)被设置用于检查零件20的整个持续时间。因此,可以固定第一起偏振器33。根据替代方案,第一起偏振器33可以安装在旋转底座上,这使得可以选择入射偏振轴线,并且可能修改入射偏振轴线,以用于检查另一个零件20。优选地选择入射偏振轴线,使得入射光束34是电横向的,即,垂直于入射平面。在本发明中,由于该反射表面是金属表面,所述表面被认为是完美的导体。因此,入射光束34的反射44在没有任何能量损失的情况下发生,并且反射角遵守斯涅尔笛卡尔(Snell Descartes)定律。

[0048] 在图1中所表示的实施方式中,光源31和第一起偏振器33是两个不同的元件,沿着照明轴线X彼此对齐。在另一个实施方式中,光源31是整合第一起偏振器的偏振源。然后,偏振光源优选地旋转地可移动,使得操作者可以沿着入射偏振的选定轴线定位所述光源。

[0049] 照亮零件20的入射光束34被线性地偏振,从而使得所述零件的反射系数(被称为菲涅耳(Fresnel)反射系数)取决于入射光的入射角和偏振状态两者。零件20的表面的光学响应,即,反射光的光束44(也称为反射光束)包括两个主要分量:

[0050] -来自零件20的平均表面状况(具有随机粗糙度)的弱分散镜面反射RS。该反射在强度上占优势,并且保持与入射光相同的偏振定向轴。

[0051] -来自晶格的定向小面的反射RC。由所述定向小面产生的该反射可被视为在相同方向上定向的许多微反射镜的共同反射。

[0052] 零件20的表面的光学响应由图像采集装置40检测,并且由图像处理装置50分析。图像采集装置40包括相机41,该相机配备有透镜42,并且耦合至安装在相机透镜42前方的起偏振器43(称为第二起偏振器)。相机41例如可以是可见范围内的CCD或CMOS型相机。相机透镜42是光学透镜,该光学透镜的特性在视场和工作距离方面适配于有待在零件20上成像的区的大小。这个透镜42可以是例如远心类型的,以便有利于大的景深。与照相机41及其透

镜42沿着反射轴线Y对准的第二起偏振器43与第一起偏振器33是相同的类型,即,是线性类型。它甚至可以与该第一偏振器相同。

[0053] 根据本发明,第二起偏振器43是旋转地可移动的,这样使得可以针对每个图像采集,修改其偏振轴线,以便获得一系列图像,每个图像对应于不同的偏振角度。为此,第二起偏振器43可以附接到旋转底座(图中未示出),这样使得其偏振轴线(称为反射偏振轴线)可以旋转。可以由操作者手动地操纵旋转底座。有利地,其可由电机驱动而自动地旋转。旋转第二起偏振器43使得可以借助于相机41获取具有不同偏振角度的若干图像。如果第二起偏振器43的轴线被定向在与反射偏振的轴线相同的方向上,则在相机中传输的光强度最大。相反,如果第二起偏振器43的轴线旋转90°(所谓的交叉起偏振器配置),则光强度的透射是最小的。在这两个角度之间,光强度的透射遵循Malus定律: $I_{\text{trans}} = I_{\text{inc}} \cos^2 \theta$,其中 θ 是在这两个起偏振器33和43的轴线之间形成的角度。

[0054] 在一个实施方式中,相机41是直接地集成起偏振器的偏振测定相机。在这种偏振测定照相机中,照相机传感器的像素配备有起偏振器,因此对偏振轴线和在传感器上反射的光束44的强度敏感。在单次采集中,然后可以获得与通过旋转第二起偏振器43的偏振轴线相同的图像,差异是图像的数量限于预定偏振角的数量,例如在0°、45°、90°和135°的四个角。

[0055] 图像处理装置50是被适配成用于执行以下描述的图像处理操作的处理单元,例如像计算机。它通过有线链路或无线链路连接至相机41,以接收由相机41采集的一系列图像。该图像处理装置50包括用于显示零件20的检查结果的至少一个图像显示装置,诸如屏幕或打印机。

[0056] 刚刚描述的检查系统10使得可以实现照明装置30与图像采集装置40之间的交叉偏振。通过这种交叉偏振,在零件20的表面上的反射和第二起偏振器43中的透射之后,与特定晶体定向相对应的每个晶粒在强度上具有特定的光学响应,该光学响应取决于入射偏振轴线的选定位置和反射偏振轴线的设置。实际上,如在名称为“偏振光现象与一些金属晶体的定向的相关性(Correlation of Polarized Light Phenomena With the Orientation of Some Metal Crystals)”,C.J.Newton和H.C.Vacher,Journal of Research of the National Bureau of Standards,第53卷,第1期,1954年7月的论文中所述,可接受每个晶格的小面不同地定向反射光的偏振轴线。换言之,晶格的每个定向混乱在相机41中传播光束,具有对其特定的反射系数,因为它取决于入射光束的偏振方向。该原理使得可以区分构成零件20的表面的不同晶粒。

[0057] 通过用于检查零件20的表面状况的方法的步骤140至180,分析零件20的表面的不同晶粒的光学响应。在图2中功能性地表示该检查方法100的示例。如从以上可以理解的,检查方法100的第一操作在于生成零件20的表面或零件20的待检查区域的一系列图像130。实际上,根据有待检查的零件20的尺寸,图像采集装置40可以制作零件20的整个表面或这个表面的区域的图像。例如,对于尺寸相对较大的涡轮叶片,可以逐区域地执行叶片的表面状况的检查,每个区域是如下文所解释的一系列被分析的图像的对象,每一系列图像被一个接一个地分析。在本说明书的其余部分中,将对零件的整个表面的图像,描述检查方法100,应理解的是,图像可以仅涉及零件的表面的一个区。

[0058] 借助于图像采集装置40,通过对于每个偏振角制作零件的图像,并且通过在拍摄

每个图像之前修改偏振角,制作零件20的表面的一系列图像130(更简单地称为零件的图像)。第一起偏振器33的偏振轴线与第二起偏振器43的偏振轴线之间的角度被称为“偏振角”。换言之,在拍摄每个图像之前,第二起偏振器43被设置成与其先前位置不同的位置,以便修改分析偏振的轴线,并且因此修改偏振角。因此,检查方法100包括通过旋转第二起偏振器43的偏振轴线来设置偏振角的第一操作110。然后,它包括由相机41针对偏振角集,采集零件20的图像的操作120。由此制作若干图像。通过重复设置偏振角的图像采集操作120和操作110,获得零件的一系列图像130。然后,借助于方法100的操作140至180,分析由相同零件20在若干偏振角度处的若干图像组成的零件20的这一系列图像130,以便确定晶粒(即,具有与零件20的表面上的大多数晶格的定向不同的定向的晶格)的存在。一系列图像130包括若干图像,例如,一个或几十个图像,图像的数量必须足以允许构造基本上正弦的曲线,如下文所解释的。在实际的实施例中,第二起偏振器43的偏振轴线的旋转可在 0° 与 360° 之间的范围内改变 10° 的节距。应注意的是,由于第二起偏振器43的轴线的旋转周期性,对于在 0° 与 180° 之间的偏振角的图像采集,理论上与对于在 180° 与 360° 之间的角度的图像采集是相同的;因此,对于在 0° 与 180° 之间的偏振角的图像采集可能是足够的;然而,可以选择还在 180° 与 360° 之间的范围内采集图像,例如,以增加在方法100的剩余部分中确定的数据的信噪比,和/或如果入射偏振的轴线不是完美地垂直于入射平面定向。

[0059] 为了展现零件20的表面上的晶体,并且因此有助于分析,本发明的检查方法可以包括对零件20的表面进行化学蚀刻的初步操作(图中未示出)。化学蚀刻具有使零件20的表面上的材料略微挖空,以便使晶格看起来与表面齐平的效果。在进行一系列图像(操作110至130)之前,执行该化学蚀刻。

[0060] 图3表示一系列三个图像的实施例。在化学蚀刻之后,对于第二起偏振器43的偏振轴线的三个位置以及因此三个不同的偏振角,这三个图像表示涡轮叶片的相同部分。图像A对应于偏振角为 0° 的叶片部分;图像B示出偏振角为 45° 的相同叶片部分;图像C仍示出偏振角为 90° 的相同叶片部分。从这三个图像A、B和C中清楚的是,存在零件20的晶体定向不同的若干部分。零件20的参考号为G1、G2、G3和G4的这些部分对应于零件20中的表面缺陷。

[0061] 在已经制作一系列图像130之后,检查方法100包括用于分析这一系列图像的操作。此分析首先包括针对相机41的传感器的每个像素,确定强度向量的操作140。由于该系列图像130中的所有图像对应于零件20的相同区域,并且零件20没有被移动,因此该系列图像130中的图像可以彼此叠加;然后,可以查看一系列图像上相同像素的灰度级随时间的改变,即,变化。相同像素在一系列图像130中的每个图像中具有不同的灰度级。通过一系列图像130的不同图像的像素的灰度级的变化形成所述像素的强度向量。

[0062] 方法100然后包括确定系列图像130中的每个图像的所有像素的归一化平均强度的操作150。此操作150在于计算相同图像的所有像素的光强度的平均值,并且在操作160中从其中推导出系列图像130的总体变化规律。该总体变化规律与所谓的“马鲁斯(Malus)定律”相对应,该“马鲁斯定律”是与由零件20反射的光束44通过第二起偏振器43的透射相关的定律,并且对应于所述零件20的表面的平均粗糙度。来自晶格的定向小面的强度构成总信号的大部分,因为零件20不是纯晶格阵列。图4以整体正弦曲线的形式表示在操作160结束时获得的总体变化规律的示例。图4中的该曲线示出了对于在 0° 和 360° 之间的几个偏振角,由第二起偏振器43透射的归一化平均强度的实施例,在第一起偏振器和第二起偏振器

同相时,获得最大强度,在第一起偏振器和第二起偏振器交叉时获得最小强度。

[0063] 然后,方法100包括确定单个强度变化规律(即,每个晶格特有的变化规律)的操作170。为此,操作170包括:对于该系列图像中的每个图像,通过将该图像中的每个像素的强度除以对应图像的平均强度值,使该强度在0与1之间归一化。这相当于用总体变化规律或马鲁斯定律将一系列图像中的每个像素的强度矢量划分。该操作170消除了来自零件20的表面的镜面反射的变化分量,并且增强了由于来自晶格的小面的反射而导致的强度变化。实际上,如之前解释的,可以接受晶格的小面不同地定向反射光的偏振轴线,使得对应于晶格的特定定向的每个晶粒具有根据第二起偏振器43的旋转轴线的位置的特定强度变化。因此,在操作170结束时,确定每个晶格特有的变化规律(称为单个变化规律)。

[0064] 图5中表示了属于三种不同晶粒的像素的强度变化的实施例,通过上述检查方法100的不同操作来确定这些变化。特别地,曲线C1对应于第一晶粒的像素的强度变化,曲线C2对应于第二晶粒的像素的强度变化,并且曲线C3对应于第三晶粒的像素的强度变化。这三条彼此非常不同的变化曲线示出对应于这些曲线的晶格具有不同的定向。如果这些晶格的定向是均匀的,则这三条曲线将是或多或少平行的。应注意,由于像素强度的归一化,强度变化中的这些差异是显著的;正是归一化操作使得由晶格的定向混乱所生成的强度变化可感知。

[0065] 然后,检查方法100包括确定属于相同晶格的像素的操作180。此操作180在于匹配具有同样强度变化的像素。具有紧密强度变化(即,类似或高度相关)的像素属于相同晶粒或具有相同晶体定向。通过扫描一系列图像中的所有像素,并且使用相似性方法通过检查两个像素的强度向量是否具有相似性,执行像素匹配。如果两个强度向量之间的相似性的测量大于预定阈值,那么认为两个像素匹配。另一方面,如果两个强度矢量之间的相似性的测量小于预定阈值,则这两个像素被视为不属于相同晶格。可以使用若干相似性方法,诸如,例如相关联,所谓的“平方强度差”方法、所谓的“绝对强度差”方法或所谓的“平均绝对差”。然后,从该匹配操作推导出图像上不同晶粒的分段。

[0066] 检查方法100最终包括操作190:生成零件20的图像,在该图像上例如通过晶格的轮廓、框等标记有定向混乱的晶格。图5中表示这种图像的实施例,其中,三个晶粒或定向混乱的晶格被矩形框包围。

[0067] 该检查方法100可以结合一种常规的多向反射率测量技术,如在文章“通过定向反射显微镜从蚀刻表面测量晶体定向(Measuring crystal orientation from etched surfaces via directional reflectance microscopy)”,Wang Xiaogang,J Mater Sci (2020) 55:11669-11678和“晶体材料中晶粒定向的光学表征(Optical characterization of grain orientation in crystalline materials)”,Bernard Gaskey,Acta Materialia 194(2020) 558-564中尤其描述的。将本发明的方法与这种常规技术相结合将使得有可能最小化照明角度的数量,并且改进弱信号上的信噪比。

[0068] 虽然通过多个实施例、替代方案和实施方式进行了描述,但是根据本发明的用于检查铸造零件的表面状况的方法,以及用于实施这种方法的系统,包括对本领域的普通技术人员而言将是显而易见的不同替代方案、修改和改进,应理解的是这些替代方案、修改和改进在本发明的范围内。

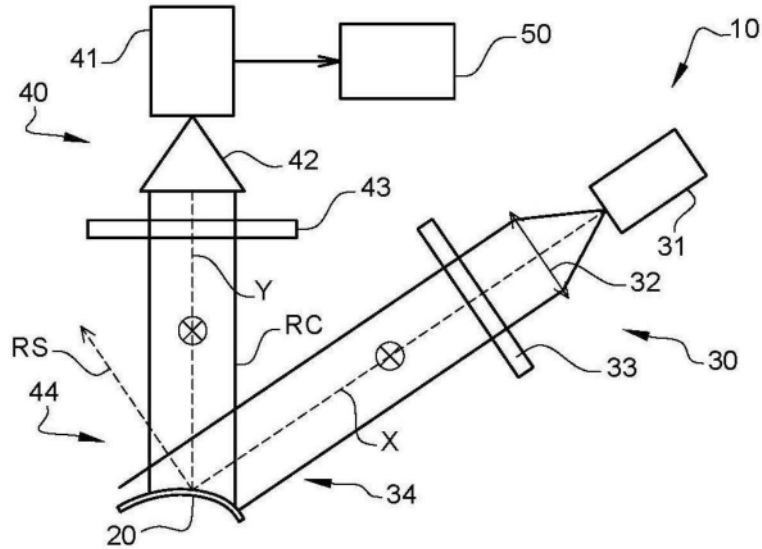


Fig.1

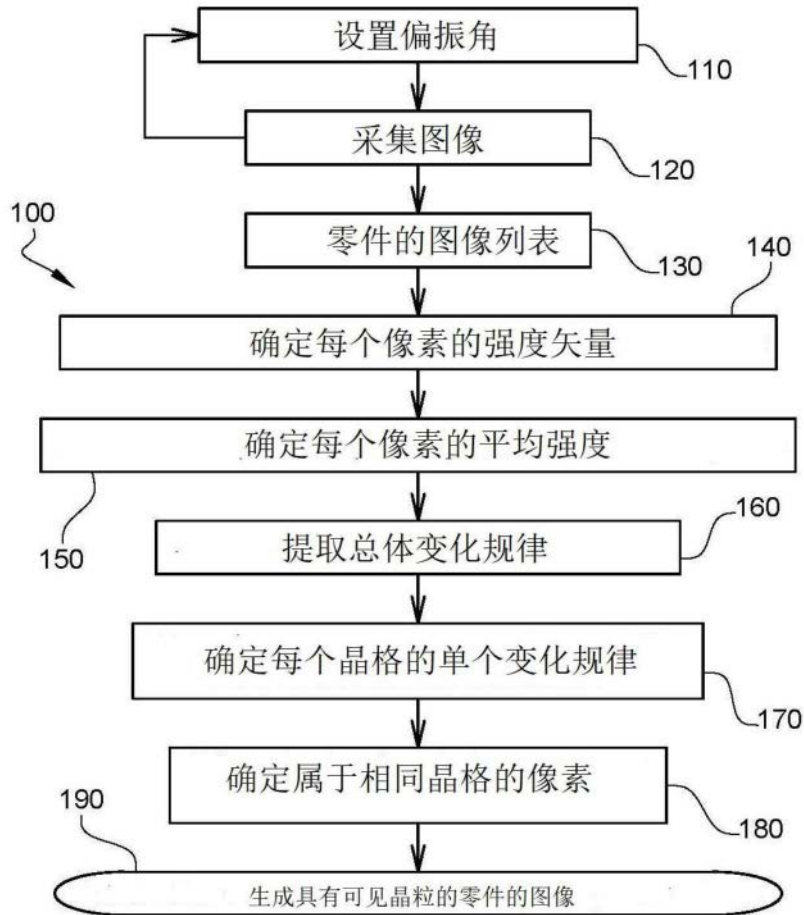


Fig.2

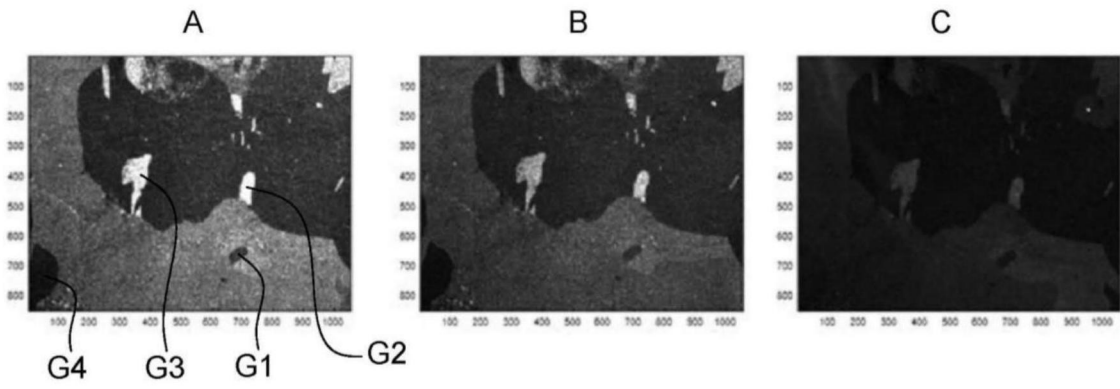


Fig.3

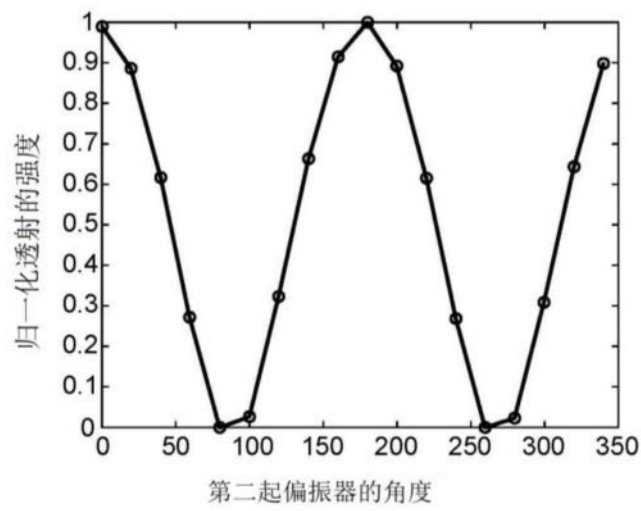


Fig.4

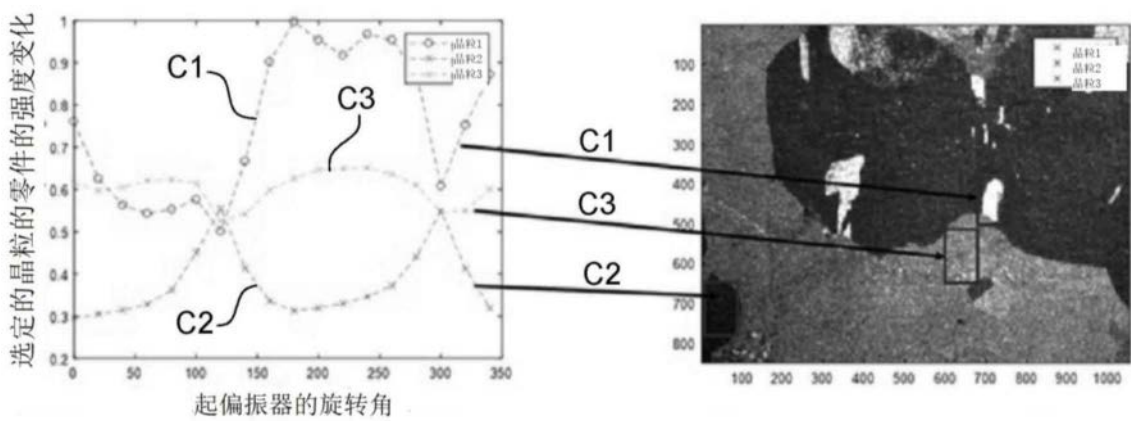


Fig.5