(19) 中华人民共和国国家知识产权局

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112857271 B
(45) 授权公告日 2022.03.11

(21) 申请号 202110022652.5
(22) 申请日 2021.01.08
(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112857271 A
(43) 申请公布日 2021.05.28
(73) 专利权人 中国科学院力学研究所
地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号
(72) 发明人 虞钢 邵佳昀 李少霞 何秀丽 田崇鑫 宁伟健 郑彩云
(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理事务所(普通合伙) 11390
代理人 胡剑辉
(51) Int.Cl.
G01B 11/30 (2006.01)
G01B 11/06 (2006.01)
G01B 11/24 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 112113672 A,2020.12.22
CN 110144585 A,2019.08.20
CN 108559994 A,2018.09.21
CN 110257823 A,2019.09.20
CN 111738985 A,2020.10.02
CN 108763801 A,2018.11.06
CN 101893426 A,2010.11.24
CN 111046509 A,2020.04.21
CN 111721768 A,2020.09.29
CN 107436128 A,2017.12.05
JP 2014083599 A,2014.05.12
CN 110360948 A,2019.10.22
CN 107400887 A,2017.11.28
CN 111163883 A,2020.05.15
CN 110512205 A,2019.11.29 (续)

审查员 刘兵

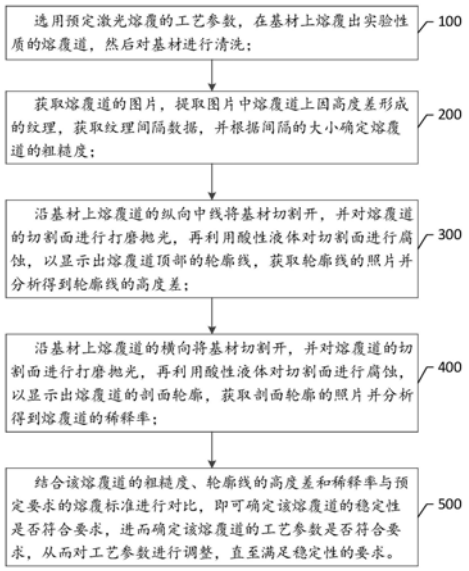
权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种激光熔覆过程稳定性的判别方法

(57) 摘要

本发明提供一种激光熔覆过程稳定性的判别方法，包括：选用预定激光熔覆的工艺参数，在基材上熔覆出实验性质的熔覆道；获取熔覆道上因高度差形成的纹理，并根据间隔的大小确定粗糙度；沿基材上熔覆道的纵向中线将基材切割开，以显示出熔覆道顶部的轮廓线，获取轮廓线的照片并分析得到轮廓线的高度差；沿基材上熔覆道的横向将基材切割开，获取剖面轮廓的照片并分析得到熔覆道的稀释率；结合粗糙度、轮廓线的高度差和稀释率确定该熔覆道的工艺参数是否符合要求，从而对工艺参数进行调整。本发明基于三个维度的信息对熔覆道的稳定性进行分别判定，并可根据相应的判定结果对工艺参数进行调整，进而利用调整后的工艺参数得到稳定性良好的熔覆结果。



CN 112857271 B

[转续页]

[接上页]

(56)对比文件

CN 105714285 A,2016.06.29

田崇鑫.基于机器视觉的激光表面改性质量快速检测.《激光与光电子学进展》.2020,全文.

王志坚.单道激光熔覆层几何特征的三维表征方法.《中国激光》.2010,全文.

乔亚丽.激光熔覆成形过程的检测与控制研究进展.《hot working technoligy》.2020,全文.

1.一种激光熔覆过程稳定性的判别方法，其特征在于，包括如下步骤：

步骤100，选用预定激光熔覆的工艺参数，在基材上熔覆出实验性质的熔覆道，然后对基材进行清洗；

步骤200，获取熔覆道的图片，提取图片中熔覆道上因高度差形成的纹理，获取纹理间隔数据，并根据间隔的大小确定熔覆道的粗糙度；

步骤300，沿基材上熔覆道的纵向中线将基材切割开，并对熔覆道的切割面进行打磨抛光，再利用酸性液体对切割面进行腐蚀，以显示出熔覆道顶部的轮廓线，获取轮廓线的照片并分析得到轮廓线的高度差；

步骤400，沿基材上熔覆道的横向将基材切割开，并对熔覆道的切割面进行打磨抛光，再利用酸性液体对切割面进行腐蚀，以显示出熔覆道的剖面轮廓，获取剖面轮廓的照片并分析得到熔覆道的稀释率；

步骤500，结合该熔覆道的粗糙度、轮廓线的高度差和稀释率与预定要求的熔覆标准进行对比，即可确定该熔覆道的稳定性是否符合要求，进而确定该熔覆道的工艺参数是否符合要求，从而对工艺参数进行调整，直至满足稳定性的要求。

2.根据权利要求1所述的判别方法，其特征在于，

在所述步骤200中，随机选取多段熔覆道区域，获取各区域的波纹间隔数据，取所有波纹间隔数据的平均值作为标准值，当波纹间隔大于该标准值时，表明高度差大，粗糙度大，即稳定性差。

3.根据权利要求2所述的判别方法，其特征在于，

所述波纹间隔大于标准值时，降低工艺参数中激光的输出功率；或提高熔覆的速度并加大送粉量。

4.根据权利要求1所述的判别方法，其特征在于，

所述酸性液体为按照浓盐酸和浓硝酸体积比3:1的比例配置的王水溶液。

5.根据权利要求1所述的判别方法，其特征在于，

所述打磨是分别用80#、200#、500#、800#、1000#、1500#砂纸依次对所述切割面进行打磨；所述抛光是将打磨后的基材在抛光机上利用金刚石悬浮液对所述切割面进行抛光，抛至所述切割面呈光滑镜面。

6.根据权利要求1所述的判别方法，其特征在于，

所述步骤300中，随机获取所述轮廓线多个区域内上下波动顶点的多个点坐标，再确定符合熔覆要求的稳定性标准，点坐标大于该稳定性标准即表明波动大稳定性差。

7.根据权利要求6所述的判别方法，其特征在于，

稳定性标准W_z的计算方法如下：

$$W_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N} w_i^2}{N}}$$

其中，N为整条轮廓线上的取点个数，w_i为第i个点处的高度差。

8.根据权利要求7所述的判别方法，其特征在于，

所述点坐标大于该稳定性标准时，增大工艺参数中激光输出功率，或降低熔覆速度；同时降低粉末的送粉率。

9.根据权利要求1所述的判别方法,其特征在于,

所述步骤400中,以预定稀释率作为标准值,当前熔覆道的稀释率低于标准值,表明对基材的熔覆效率低;而稀释率高于标准值表明粉末的占比小,粉末的利用率低;确认当前熔覆道的稳定性差。

10.根据权利要求9所述的判别方法,其特征在于,

稀释率θ的计算过程如下:

$$\theta = \frac{h}{H}$$

h是以基材表面为界线基材熔化后产生的高度,H为整个熔覆道的高度。

一种激光熔覆过程稳定性的判别方法

技术领域

[0001] 本发明涉及激光熔覆领域，特别是涉及一种能够识别激光熔覆过程中影响稳定性因素的判别方法。

背景技术

[0002] 对激光熔覆而言，只有制造出没有缺陷(如裂纹、气孔等)、表面光洁度高且和基体冶金结合良好的熔覆件，才能应用于工程实际，因此需要选择合适的工艺参数。在进行工艺参数筛选时，一般而言，会先依据不同的工艺参数做多个单道单层熔覆道实验，然后判断各熔覆道的稳定性，再以满足熔覆要求的熔覆道对应的工艺参数作为实际熔覆工艺参数。

[0003] 但是现有对熔覆道稳定性的判别方法仅利用了一个维度或者两个维度的信息，如通过熔覆道表面图像，定性判断熔覆状态，当熔覆道断断续续时，说明能量不足，需舍弃该工艺参数。或者通过测量熔覆道横截面稀释率来进行判断，稀释率过低，说明熔覆道与基体结合较差；稀释率过高，说明粉末利用率低，进而可舍弃对应的工艺参数。

[0004] 上述判别方法得到的判别结果容易缺失关键信息，且得到的准则较为片面，影响随后的工艺参数选择或是导致工艺参数的调整缺乏针对性。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种能够识别激光熔覆过程中影响稳定性因素的判别方法。

[0006] 具体地，本发明提供一种激光熔覆过程稳定性的判别方法，包括如下步骤：

[0007] 步骤100，选用预定激光熔覆的工艺参数，在基材上熔覆出实验性质的熔覆道，然后对基材进行清洗；

[0008] 步骤200，获取熔覆道的图片，提取图片中熔覆道上因高度差形成的纹理，获取纹理间隔数据，并根据间隔的大小确定熔覆道的粗糙度；

[0009] 步骤300，沿基材上熔覆道的纵向中线将基材切割开，并对熔覆道的切割面进行打磨抛光，再利用酸性液体对切割面进行腐蚀，以显示出熔覆道顶部的轮廓线，获取轮廓线的照片并分析得到轮廓线的高度差；

[0010] 步骤400，沿基材上熔覆道的横向将基材切割开，并对熔覆道的切割面进行打磨抛光，再利用酸性液体对切割面进行腐蚀，以显示出熔覆道的剖面轮廓，获取剖面轮廓的照片并分析得到熔覆道的稀释率；

[0011] 步骤500，结合该熔覆道的粗糙度、轮廓线的高度差和稀释率与预定要求的熔覆标准进行对比，即可确定该熔覆道的稳定性是否符合要求，进而确定该熔覆道的工艺参数是否符合要求，从而对工艺参数进行调整，直至满足稳定性的要求。

[0012] 本发明基于三个维度的信息，提出一种全面、准确的熔覆过程稳定性判别准则，利用熔覆道的表面纹理间隔、纵切面的轮廓线和横切面的稀释率信息对其稳定性进行分别判定，并可根据相应的判定结果对工艺参数进行调整，进而利用调整后的工艺参数得到稳定性良好的熔覆结果。

[0013] 本发明可依托常见实验室设备，对熔覆道的稳定性进行快速判断，具备优良的实用性。

附图说明

[0014] 图1是本发明一个实施方式的判别方法流程示意图；

[0015] 图2是本发明一个实施方式的熔覆道表面图片示意图；

[0016] 图3是图2中熔覆道的表面纹理间隔示意图；

[0017] 图4是本发明一个实施方式的熔覆道纵截面轮廓图片示意图；

[0018] 图5是提取的图4中轮廓线示意图；

[0019] 图6是本发明一个实施方式的轮廓线稳定性标准判定示意图；

[0020] 图7是本发明一个实施方式的熔覆道横截面图片示意图；

[0021] 图8是图7的稀释率示意图。

具体实施方式

[0022] 以下通过具体实施例和附图对本方案的具体结构和实施过程进行详细说明。

[0023] 如图1所示，在本发明的一个实施方式中，公开一种激光熔覆过程稳定性的判别方法，包括如下步骤：

[0024] 步骤100，选用预定激光熔覆的工艺参数，在基材上熔覆出实验性质的熔覆道，然后对基材进行清洗；

[0025] 这里的熔覆道是以不同的工艺参数先期进行的实验性质的熔覆行为，通过后续对相应熔覆道的稳定性判定，来确定相应的工艺参数是否符合要求，或是针对性地对相应工艺参数进行调整。其中的熔覆道可根据不同的工艺参数熔覆多道，以按同样步骤进行稳定性判定。

[0026] 这里的清洗是将被测工件(带有熔覆道的基材)置于盛有乙醇或丙酮溶液的容器中，让溶液没过工件，再将容器置于超声波清洗器中清洗5～10分钟。

[0027] 步骤200，获取熔覆道的图片，提取图片中熔覆道上因高度差形成的纹理，获取纹理间隔数据，并根据间隔的大小确定熔覆道的粗糙度；

[0028] 获取图片的过程为：将经过清洗后的工件取出，晾干后置于光镜下，选取合适的倍数，观察熔覆道的表面特征并拍摄表面纹理图片，如图2所示，利用图像处理软件从表面纹理图片中提取熔覆道表面纹理，提取后的表面纹理形似波纹，如图3所示，对各波纹间隔d进行测量，即得到熔覆道的波纹间隔数据。

[0029] 由于波纹间隔d是熔覆道高度差的反映，波纹间隔大，说明熔覆道高度差大。因此依据表面纹理图片，随机选取数个区域进行波纹间隔d的测量，取各区域的平均值为标准值。波纹间隔d大表明粗糙度大，意味着熔覆道的高度差大，熔覆过程不稳定，即稳定性差。

[0030] 步骤300，沿基材上熔覆道的纵向中线将基材切割开，并对熔覆道的切割面进行打磨抛光，再利用酸性液体对切割面进行腐蚀，以显示出熔覆道顶部的轮廓线，获取轮廓线的照片并分析得到轮廓线的高度差；

[0031] 这里的切割是将被测工件固定在线切割工作台上，利用电火花线切割机沿着熔覆道正中央进行切割，得到纵截面样品；

[0032] 打磨过程是将纵截面样品镶嵌(冷镶、热镶均可)固定后,依次分别用80#、200#、500#、800#、1000#、1500#砂纸对工件的切割面进行打磨,将打磨后的工件在抛光机上利用金刚石悬浮液进行抛光,抛至切割面镜面光滑。

[0033] 腐蚀过程为:按照浓盐酸和浓硝酸体积比3:1的比例,配置王水溶液,将工件(至少是切割面)置于王水中腐蚀1分钟左右,使切割面上的熔覆道痕迹清晰显示出来。

[0034] 轮廓线的提取:将腐蚀过后的样品置于光镜下,选择合适的倍数,进行纵截面观察并拍摄纵截面轮廓图片,如图4所示,利用图像处理软件,提取得到的纵截面轮廓如图5所示;

[0035] 稳定性判定:对熔覆道纵截面而言,轮廓线是凝固后的熔池移动轨迹的反映,较为平直的轮廓线意味着熔池在整个熔覆过程中较为稳定。为表征轮廓线的波动程度,与粗糙度的定义相似,依据图5轮廓特征,随机获取轮廓线多个区域内上下波动顶点的多个点坐标,再确定符合熔覆要求的稳定性标准W_z,点坐标大于该稳定性标准W_z即表明波动大稳定性差。

[0036] 表征稳定性标准W_z如图6所示。根据W_z定义,对图5进行计算,得到稳定性标准W_z。稳定性标准W_z大的试样说明熔池在熔覆过程中波动较大,说明熔覆稳定性差;W_z小的试样较为稳定。其中稳定性标准W_z的计算过程如下:

[0037] $$W_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N} w_i^2}{N}}$$

[0038] 其中,N为整条轮廓线上的取点个数,w_i为第i个点处的高度差。

[0039] 步骤400,沿基材上熔覆道的横向将基材切割开,并对熔覆道的切割面进行打磨抛光,再利用酸性液体对切割面进行腐蚀,以显示出熔覆道的剖面轮廓,获取剖面轮廓的照片并分析得到熔覆道的稀释率;

[0040] 这里切割、打磨、抛光和腐蚀的过程和步骤300一致,不再重复说明。

[0041] 此外,该步骤并不是在步骤300的基础上进行的,而是在步骤200的基础上进行的。即获取的熔覆道切割面是一个完整的剖视面,并不是已经纵向切割后的半边剖视面。

[0042] 最终得到的熔覆道横截面轮廓图如图7所示,对横截面而言,稀释率θ是判别熔覆道质量的关键性指标,其定义如图8所示。利用测量软件,对图7中的横截面进行测量,可得到熔覆道稀释率θ;

[0043] $$\theta = \frac{h}{H}$$

[0044] 其中,h是以基材表面为界线基材熔化后产生的高度,H为整个熔覆道的高度。

[0045] 稳定性判定:稀释率θ低说明基体和熔覆道结合差;对熔覆道而言,一般认为,位于基体上方的熔覆道主要由粉末组成,位于下方的主要由基体组成,稀释率高意味着粉末占的比例小,说明粉末利用率低,熔覆效率低,不利于熔覆。所以,合适的稀释率θ意味着稳定的制造过程。

[0046] 步骤500,结合该熔覆道的粗糙度、轮廓线的高度差和稀释率与预定要求的熔覆标准进行对比,即可确定该熔覆道的稳定性是否符合要求,进而确定该熔覆道的工艺参数是否符合要求,从而对工艺参数进行调整,直至满足稳定性的要求。

[0047] 具体粗糙度、轮廓线的高度差和稀释率与稳定性的关系如下：

[0048] 对表面波纹间隔d而言，一方面因为送粉率低时，粉末对能量的遮蔽作用减小，能量变大，另一方面由于高功率低速度时，能量密度较大。输入能量大时，流动更为剧烈，导致熔池波动更为剧烈，由于纵向上表面张力、重力等的共同作用，熔池纵向起伏大，从而凝固后得到的熔覆道表面波纹间隔d大。

[0049] 对轮廓线的高度差而言，当输入能量过低(低功率高速度)或者由于送粉率太大导致对激光能量的遮蔽作用太大时，由于能量不足以完全熔化基体和粉末，导致熔覆道断断续续，从而纵截面轮廓波动W_z大。

[0050] 对于稀释率θ而言，当输入能量过低(低功率高速度)且送粉率较大时，一方面，由于输入能量低且大送粉率对激光的遮蔽的大，基体能吸收的能量小，基体熔化部分较少，所以熔覆道位于基体下方的高度较低；另一方面，由于送粉率大，可供熔化的粉末多，所以熔覆道位于基体上方的高度较高，故而，稀释率较小。而当输入能量过高(高功率低速度)且送粉率低时，一方面粉末对能量的遮蔽作用较小，直接作用于基体的能量变多；另一方面，可用于熔化的粉末少，位于基体上方的熔覆道高度小；同时，能量更多地作用于基体，位于基体下方的熔覆道高度大，故而，稀释率较大。

[0051] 就整体要求而言，稳定性好的熔覆道需要同时满足波纹间隔d、稳定性标准W_z和稀释率θ三者的要求。

[0052] 基于前面的理论，在对工艺参数进行调整时可依据下述原则：

[0053] 当波纹间隔d大，需选择较小功率或较大速度，同时选择较大送粉率；

[0054] 当纵截面轮廓波动W_z大时，需选择较大功率或较小速度，在此前提下，同时选择适当小的送粉率对该情况也有一定改善；

[0055] 当稀释率θ过小时，需选择较大功率或较小速度，在此前提下，同时选择较小送粉率对该情况也有一定改善，稀释率θ过大时，需选择较小功率或较大速度，同时选择较大送粉率。

[0056] 本实施方式基于三个维度的信息，提出一种全面、准确的熔覆过程稳定性判别准则，利用熔覆道的表面纹理间隔、纵切面的轮廓线和横切面的稀释率信息对其稳定性进行分别判定，并可根据相应的判定结果对工艺参数进行调整，进而利用调整后的工艺参数得到稳定性良好的熔覆结果。

[0057] 本实施方式可依托常见实验室设备，对熔覆道的稳定性进行快速判断，具备优良的实用性。

[0058] 至此，本领域技术人员应认识到，虽然本文已详尽示出和描述了本发明的多个示例性实施例，但是，在不脱离本发明精神和范围的情况下，仍可根据本发明公开的内容直接确定或推导出符合本发明原理的许多其他变型或修改。因此，本发明的范围应被理解和认定为覆盖了所有这些其他变型或修改。

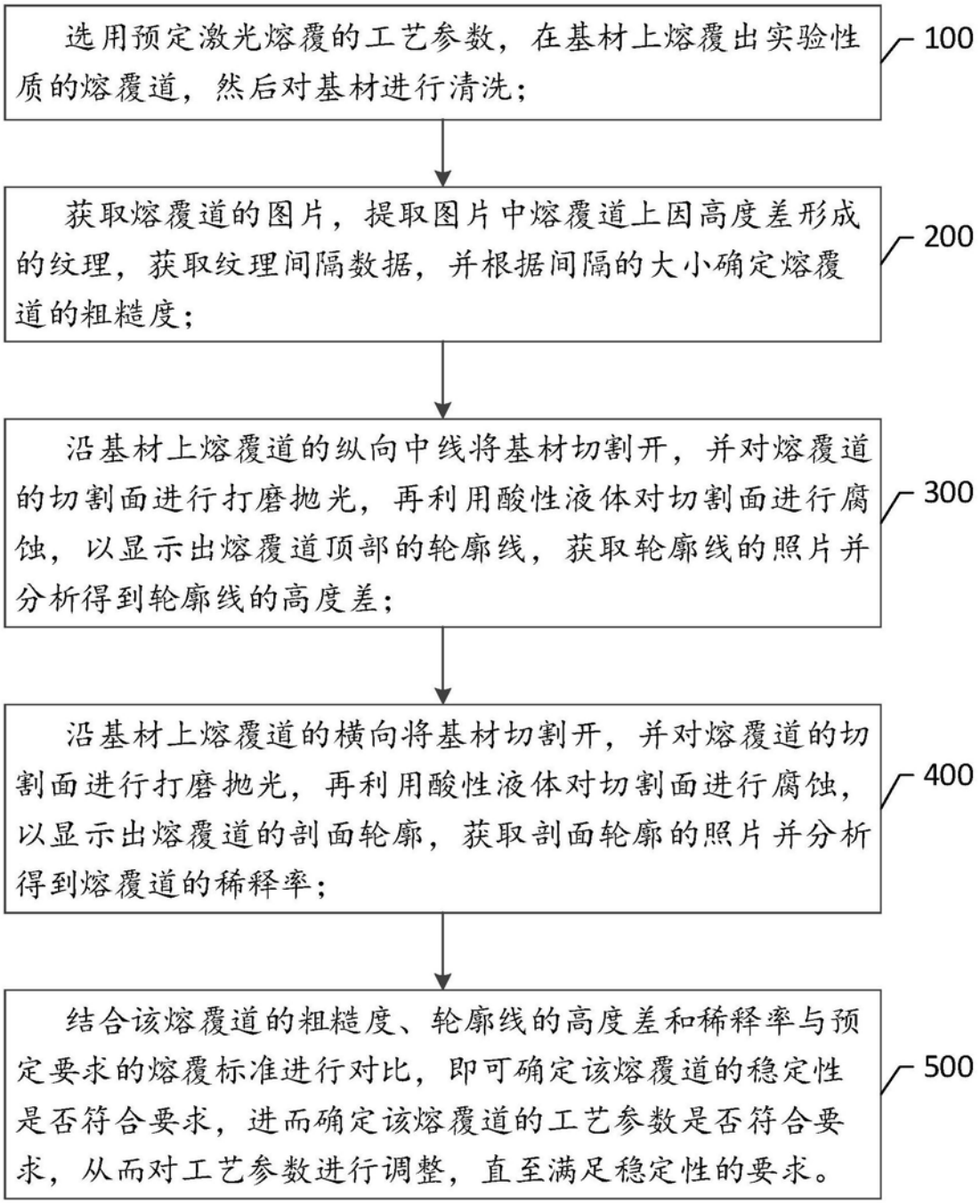

选用预定激光熔覆的工艺参数，在基材上熔覆出实验性质的熔覆道，然后对基材进行清洗；
100
获取熔覆道的图片，提取图片中熔覆道上因高度差形成的纹理，获取纹理间隔数据，并根据间隔的大小确定熔覆道的粗糙度；
200
沿基材上熔覆道的纵向中线将基材切割开，并对熔覆道的切割面进行打磨抛光，再利用酸性液体对切割面进行腐蚀，以显示出熔覆道顶部的轮廓线，获取轮廓线的照片并分析得到轮廓线的高度差；
300
沿基材上熔覆道的横向将基材切割开，并对熔覆道的切割面进行打磨抛光，再利用酸性液体对切割面进行腐蚀，以显示出熔覆道的剖面轮廓，获取剖面轮廓的照片并分析得到熔覆道的稀释率；
400
结合该熔覆道的粗糙度、轮廓线的高度差和稀释率与预定要求的熔覆标准进行对比，即可确定该熔覆道的稳定性是否符合要求，进而确定该熔覆道的工艺参数是否符合要求，从而对工艺参数进行调整，直至满足稳定性的要求。
500

图1

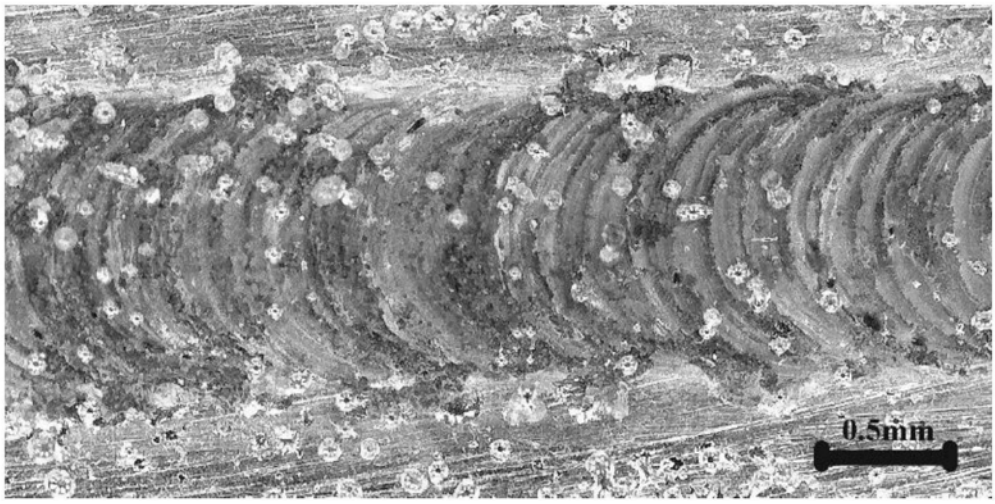


图2

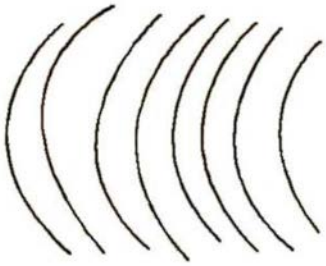


图3

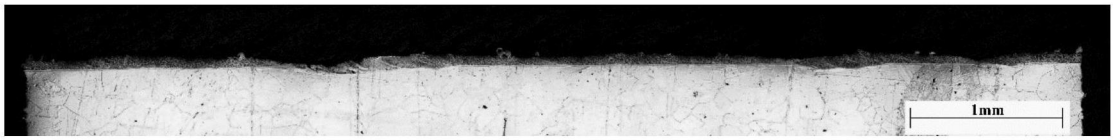


图4

图5

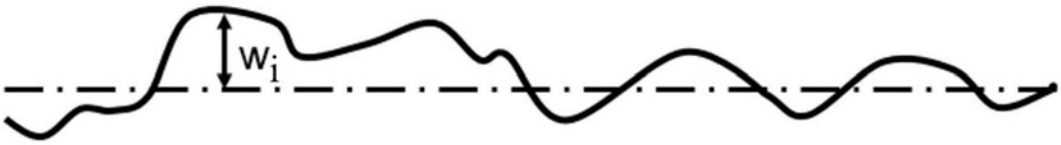


图6

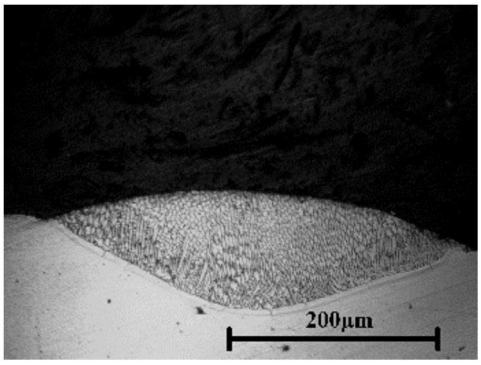


图7

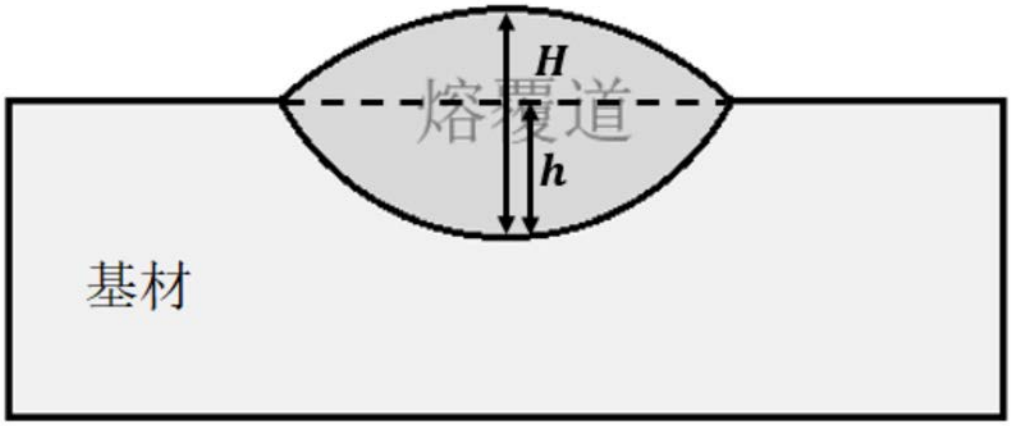


图8