



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106903448 B

(45)授权公告日 2019.10.22

(21)申请号 201611214847.5

(22)申请日 2016.12.26

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106903448 A

(43)申请公布日 2017.06.30

(73)专利权人 南京航空航天大学
地址 210016 江苏省南京市秦淮区御道街
29号

(72)发明人 占小红 周俊杰 齐超琪 张琪

(74)专利代理机构 江苏圣典律师事务所 32237
代理人 贺翔

(51)Int.Cl.
B23K 28/02(2014.01)

(56)对比文件

CN 103071937 A,2013.05.01,
CN 102608918 A,2012.07.25,
CN 103128423 A,2013.06.05,
US 9446618 B2,2016.09.20,
EP 2909034 A1,2015.08.26,

审查员 胡宝

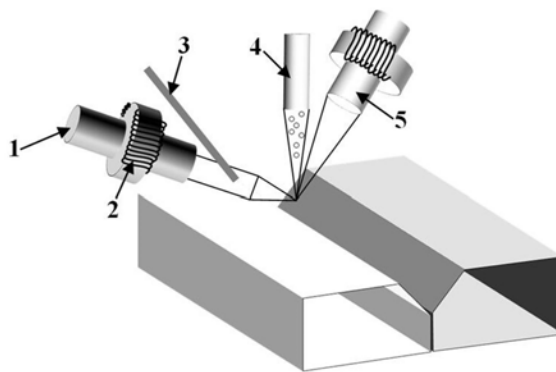
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种电弧、激光、磁场多能量场耦合制造工艺方法

(57)摘要

本发明公开了一种电弧、激光、磁场多能量场耦合制造工艺方法,该方法分别采用特征变量函数 $\Phi(\Phi_A, \Phi_L, \Phi_M)$ 表征三种能量场的分配系数,特征变量函数 $E(E_A, E_L, E_M)$ 表征三种能量场的输入能量,其中 Φ_A, Φ_L, Φ_M 分别是电弧输入能量比例、激光输入能量比例、磁场输入能量比例, $\Phi_A + \Phi_L = 1, \Phi_M = 0$ 或 1 ;根据焊接能量场以及增材制造能量场的要求,选择电弧、激光、电弧-激光、电弧-磁场、激光-磁场、电弧-激光-磁场多种能量场耦合方式之一进行;在所属制造工艺实施之前,通过对精度、效率、成本、质量等要求的评估,选择合理的能量场分配比,从而使生产过程最优化;本发明的三种物理场的耦合,实现了一种多领域、高精度、高效率、高质量的制造工艺。



1. 一种电弧、激光、磁场多能量场耦合制造工艺方法,其特征在于,该方法分别采用特征变量函数 Φ (Φ_A 、 Φ_L 、 Φ_M) 表征三种能量场的分配系数,特征变量函数 E (E_A 、 E_L 、 E_M) 表征三种能量场的输入能量,其中 Φ_A 、 Φ_L 、 Φ_M 分别是电弧输入能量比例、激光输入能量比例、磁场输入能量比例, $\Phi_A + \Phi_L = 1$ 、 $\Phi_M = 0$ 或 1 ;根据焊接能量场以及增材制造能量场的要求,选择电弧、激光、电弧-激光、电弧-磁场、激光-磁场、电弧-激光-磁场多种能量场耦合方式中之一进行, Φ_A 、 Φ_L 、 Φ_M 取值均 $\in [0, 1]$;且 E (E_A 、 E_L 、 E_M) 由具体工艺参数确定;总能量输入 $E = \Phi_A E_A + \Phi_L E_L + \Phi_M E_M$;

对于焊接能量场的确定:

1) 当要求高效率、低成本,对精度以及性能要求较小时,采用电弧焊接方法,取 $\Phi_A = 1$ 、 $\Phi_L = 0$ 、 $\Phi_M = 0$;

2) 当要求高精度、高性能,对成本要求较小时,采用激光焊接方法,取 $\Phi_A = 0$ 、 $\Phi_L = 1$ 、 $\Phi_M = 0$;

3) 当要求较高性能、高效率、高质量,成本适中,对精度要求较小时,采用电弧-激光复合焊接方法, $\Phi_A \in [0.5, 1)$ 、 $\Phi_L \in (0, 0.5]$;

4) 当要求较高性能、高效率、高质量,成本适中,对精度要求较大时,采用电弧-激光复合焊接方法, $\Phi_A \in (0, 0.5]$ 、 $\Phi_L \in [0.5, 1)$;

5) 当对焊接过程的稳定性、焊后焊缝表面形貌、焊缝力学性能、焊接缺陷有严格要求时,则将磁场耦合进焊接过程,加入磁场取 $\Phi_M = 1$;

对于增材制造能量场的确定:

1) 当要求低成本、高效率,对冶金结合强度、堆积尺寸精度、表面质量、工件性能要求较小时,采用电弧增材制造取, $\Phi_A = 1$ 、 $\Phi_L = 0$ 、 $\Phi_M = 0$;

2) 当要求高冶金结合强度、高尺寸精度、高表面质量时,采用激光增材制造,取 $\Phi_A = 0$ 、 $\Phi_L = 1$ 、 $\Phi_M = 0$;

3) 当要求高效率、较高表面质量、高冶金结合强度、较高性能,对堆积尺寸精度要求较小时,采用电弧-激光复合增材制造, $\Phi_A \in [0.5, 1)$ 、 $\Phi_L \in (0, 0.5]$;

4) 当要求高效率、较高表面质量、高冶金结合强度、较高性能,对堆积尺寸精度要求较高时,采用电弧-激光复合增材制造, $\Phi_A \in (0, 0.5]$ 、 $\Phi_L \in [0.5, 1)$;

5) 当对工件表面粗糙度、冶金结合强度、力学性能、尺寸精度有严格要求时,则将磁场耦合进增材制造过程,加入磁场取 $\Phi_M = 1$;

对于磁场的选择:对于焊接而言,当对焊接过程的稳定性、焊后焊缝表面形貌、焊缝力学性能、焊接缺陷有严格要求时,则将磁场耦合进焊接过程;对于增材制造而言,当对工件表面粗糙度、冶金结合强度、力学性能、尺寸精度有严格要求时,则将磁场耦合进增材制造过程,加入磁场取 $\Phi_M = 1$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种电弧、激光、磁场多能量场耦合制造工艺方法,其特征在于,对于焊接工艺的实施:

针对电弧焊接方法,根据坡口大小选择是否填丝,选择合适的焊接电流、焊接速度、送丝速度的工艺参数;

针对激光焊接方法,选择合适的激光功率、光斑直径、离焦量、焊接速度的工艺参数;

对于电弧-激光焊接方法,根据坡口大小选择是否填丝,选择相匹配的工艺参数,规划

焊接路径,对工件实施焊接。

3.根据权利要求1所述的一种电弧、激光、磁场多能量场耦合制造工艺方法,其特征在于,对于增材制造工艺的实施,将送粉系统开启:

对于电弧增材制造,选择相匹配的电流、扫描速度、送粉速度的工艺参数;

对于激光增材制造,选择相匹配的激光功率、光斑直径、离焦量、扫描速度、送粉速的工艺参数;

对于电弧-激光复合增材制造,选择相匹配的工艺参数。

4.根据权利要求1所述的一种电弧、激光、磁场多能量场耦合制造工艺方法,其特征在于,所述的工艺方法的具体实施为:

对于焊接:选择电弧焊接时,执行电弧系统(1)和送丝系统(3);选择激光焊接时,执行激光系统(5);选择电弧-激光焊接时,执行电弧系统(1)、激光系统(5)、送丝系统(3);

对于增材制造:选择电弧增材制造时,执行电弧系统(1)、送丝系统(3)或送粉系统(4);选择激光增材制造时,执行激光系统(5)和送粉系统(4);选择电弧-激光复合增材制造时,执行电弧系统(1)、激光系统(5)、送丝系统(3)或者送粉系统(4);

当需要磁场对工艺过程进行控制时,额外执行交流磁场系统(2),所述的交流磁场与电弧、激光同轴,即施加纵向交流磁场。

一种电弧、激光、磁场多能量场耦合制造工艺方法

技术领域

[0001] 本发明属于焊接和增材制造技术领域,尤其指代一种电弧、激光、磁场多场耦合制造工艺。

背景技术

[0002] 电弧制造作为传统的制造工艺,其发展已经十分成熟。电弧制造具有高效率、较高质量、低成本、适用范围广等优点,仍是现代制造产业中的主流技术。近年来,在高效高质量制造的背景下,电弧制造存在的诸多问题限制了其在制造产业中的运用。例如电弧焊接生产中,电弧热输入量大,导致焊接热影响区较大;常规电弧焊接深宽比小,容易造成未焊透、未熔合等缺陷;焊缝晶粒粗大、焊后变形严重。电弧增材制造中,较大的热输入导致成形零件精度低、性能差,无法满足高端产业的生产。

[0003] 激光制造是继力加工、火焰加工和电加工之后一种崭新的加工技术。它可以完善周到地解决不同材料的加工、成形和精炼等技术问题。从最小结构的计算机芯片到超大型飞机和舰船,激光制造都将是不可或缺的重要手段。自20世纪70年代大功率激光器件诞生以来,已形成了激光焊接、激光熔覆、激光表面处理、激光快速原型制造、金属零件激光直接成形等十几种应用工艺。与传统的加工方法相比,具有高能密聚焦、高精度、高质量和节能环保等突出优点,但是也存在些许局限性。例如激光器价格昂贵,激光制造成本较电弧制造要高得多;激光制造精度高,但是在加工大尺寸工件时效率低下。

[0004] 为了解决激光制造成本高、能量利用率低、适用范围小等问题,提出了激光与电弧的复合,激光-电弧复合热源既综合了上述两种制造方法的优点,又相互弥补了各自的不足,还产生了额外的能量协同效应。例如采用参数合适的激光-电弧复合焊接,在较低的热输入条件下即可获得较大的焊缝深宽比。

[0005] 磁控技术是近年来完善起来的一种技术,通过外加磁场来改变电弧和流体的受力状态,以控制其流体的流动,从而改善制造工艺的质量,拓宽制造工艺的使用区间,实现高质量的制造生产。

[0006] 因此,目前焊接和增材制造技术领域存在单一制造工艺的不足,而针对于复杂构件的制造加工时,将上述的激光、电弧以及磁控技术相结合的技术应运而生。

发明内容

[0007] 本发明针对现有技术的不足,提出了一种电弧、激光、磁场多能量场耦合制造工艺方法,在工艺实施之前,通过对精度、效率、成本、质量等要求的评估,选择合理的能量场分配比,从而使生产过程最优化;通过电弧、激光、磁场三种物理场的耦合,实现了一种多领域、高精度、高效率、高质量的制造工艺。

[0008] 本发明是这样实现的,一种电弧、激光、磁场多能量场耦合制造工艺方法,分别采用特征变量函数 Φ (Φ_A 、 Φ_L 、 Φ_M) 表征三种能量场的分配系数,特征变量函数 E (E_A 、 E_L 、 E_M) 表征三种能量场的输入能量,其中 Φ_A 、 Φ_L 、 Φ_M 分别是电弧输入能量比例、激光输入能量比例、

磁场输入能量比例, $\Phi_A + \Phi_L = 1$ 、 $\Phi_M = 0$ 或者 1; 根据焊接能量场以及增材制造能量场的要求, 选择电弧、激光、电弧-激光、电弧-磁场、激光-磁场、电弧-激光-磁场多种能量场耦合方式其中之一进行, Φ_A 、 Φ_L 、 Φ_M 取值均 $\in [0, 1]$; 且 E (E_A 、 E_L 、 E_M) 由具体工艺参数确定; 总能量输入 $E = \Phi_A E_A + \Phi_L E_L + \Phi_M E_M$; Φ_A 由效率和成本要求决定, 要求高效率、低成本时, Φ_A 取值大; Φ_L 由精度和质量要求决定, 要求高精度、高质量时, Φ_L 取值大。

[0009] 进一步, 对于焊接能量场的确定:

[0010] 1) 当要求高效率、低成本, 对精度以及性能要求较小时, 采用电弧焊接方法, 取 $\Phi_A = 1$ 、 $\Phi_L = 0$ 、 $\Phi_M = 0$;

[0011] 2) 当要求高精度、高性能, 对成本要求较小时, 采用激光焊接方法, 取 $\Phi_A = 0$ 、 $\Phi_L = 1$ 、 $\Phi_M = 0$;

[0012] 3) 当要求较高性能、高效率、高质量, 成本适中, 对精度要求较小时, 采用电弧-激光复合焊接方法, $\Phi_A \in [0.5, 1)$ 、 $\Phi_L \in (0, 0.5]$, 即 Φ_A 从 0.5-1 取值、 Φ_L 从 0-0.5 取值;

[0013] 4) 当要求较高性能、高效率、高质量, 成本适中, 对精度要求较大时, 采用电弧-激光复合焊接方法, $\Phi_A \in (0, 0.5]$ 、 $\Phi_L \in [0.5, 1)$; 即 Φ_A 从 0-0.5 取值、 Φ_L 从 0.5-1 取值;

[0014] 5) 当对焊接过程的稳定性、焊后焊缝表面形貌、焊缝力学性能、焊接缺陷有严格要求时, 则将磁场耦合进焊接过程, 加入磁场取 $\Phi_M = 1$; 即当对精度和性能有严格要求时, 先择磁控焊接方法, 具体的有磁控电弧焊接、磁控激光焊接、磁控电弧-激光复合焊接, 即在原有基础上, 加入磁场取 $\Phi_M = 1$;

[0015] 进一步, 对于焊接工艺的实施:

[0016] 针对电弧焊接方法, 根据坡口大小选择是否填丝, 选择合适的焊接电流、焊接速度、送丝速度的工艺参数;

[0017] 针对激光焊接方法, 选择合适的激光功率、光斑直径、离焦量、焊接速度的工艺参数;

[0018] 对于电弧-激光焊接方法, 根据坡口大小选择是否填丝, 选择相匹配的工艺参数, 规划焊接路径, 对工件实施焊接。

[0019] 进一步, 对于增材制造能量场的确定:

[0020] 1) 当要求低成本、高效率, 对冶金结合强度、堆积尺寸精度、表面质量、工件性能要求较小时, 采用电弧增材制造取, $\Phi_A = 1$ 、 $\Phi_L = 0$ 、 $\Phi_M = 0$;

[0021] 2) 当要求高冶金结合强度、高尺寸精度、高表面质量时, 采用激光增材制造, 取 $\Phi_A = 0$ 、 $\Phi_L = 1$ 、 $\Phi_M = 0$;

[0022] 3) 当要求高效率、较高表面质量、高冶金结合强度、较高性能, 对堆积尺寸精度要求较小时, 采用电弧-激光复合增材制造, $\Phi_A \in [0.5, 1)$ 、 $\Phi_L \in (0, 0.5]$; 即 Φ_A 从 0.5-1 取值、 Φ_L 从 0-0.5 取值;

[0023] 4) 当要求高效率、较高表面质量、高冶金结合强度、较高性能, 对堆积尺寸精度要求较高时, 采用电弧-激光复合增材制造, $\Phi_A \in (0, 0.5]$ 、 $\Phi_L \in [0.5, 1)$; 即 Φ_A 从 0-0.5 取值、 Φ_L 从 0.5-1 取值;

[0024] 5) 当对工件表面粗糙度、冶金结合强度、力学性能、尺寸精度有严格要求时, 则将磁场耦合进增材制造过程, 加入磁场取 $\Phi_M = 1$; 即当对精精度、表面球化率、熔覆稀释率以及性能有严格要求时, 选择磁控增材制造方法, 具体的有磁控电弧增材、磁控激光增材、磁

控电弧-激光复合增材,即在原有基础上,加入磁场取 $\Phi_M=1$ 。

[0025] 进一步,对于增材制造工艺的实施,将送粉系统开启:

[0026] 对于电弧增材制造,选择合适的电流、扫描速度、送粉速度的工艺参数;

[0027] 对于激光增材制造,选择合适的激光功率、光斑直径、离焦量、扫描速度、送粉速度的工艺参数;

[0028] 对于电弧-激光复合增材制造,选择相匹配的工艺参数。

[0029] 进一步,所述的工艺方法的具体实施为:

[0030] 对于焊接:选择电弧焊接时,执行电弧系统(1)和送丝系统(3);选择激光焊接时,执行激光系统(5);选择电弧-激光焊接时,执行电弧系统(1)、激光(5)系统、送丝系统(3);

[0031] 对于增材制造:选择电弧增材制造时,执行电弧系统(1)、送丝系统(3)或送粉系统(4);选择激光增材制造时,执行激光系统(5)和送粉系统(4);选择电弧-激光复合增材制造时,执行电弧系统(1)、激光系统(5)、送丝系统(3)或者送粉系统(4);

[0032] 当需要磁场对工艺过程进行控制时,额外执行交流磁场系统(2),所述的交流磁场与电弧、激光同轴,即施加纵向交流磁场。

[0033] 本发明相对于现有技术的有益效果:

[0034] (1)通过对精度、效率、成本、质量等要求的评估,选择合理的能量场分配比,在实现成本最低化前提条件下,通过不同能量场之间的配比,从而使生产过程最优化,得到了高质量、高精度、高效率的制造方法;通过电弧、激光、磁场三种物理场的耦合,实现了一种多领域、高精度、高效率、高质量的制造工艺。

[0035] (2)本发明解决了单一制造方法的使用范围局限性,多能量场的转换,适用于复杂构件的制造加工。

[0036] (3)本发明克服了单一制造方法存在的不足,优势互补,为提高制造工件的综合性能提供了技术保障。

附图说明

[0037] 图1为本发明一种电弧、激光、磁场多能量场耦合制造工艺方法的电弧、激光、磁场多场耦合系统示意图;

[0038] 图2为本发明一种电弧、激光、磁场多能量场耦合制造工艺方法实施例1中焊接工件示意图;

[0039] 图3为本发明一种电弧、激光、磁场多能量场耦合制造工艺方法实施例2中增材制造工件示意图;

[0040] 其中,1-电弧系统,2-交流磁场系统,3-送丝系统,4-送粉系统,5-激光系统。

具体实施方式

[0041] 本发明提供一种电弧、激光、磁场多能量场耦合制造工艺方法,为使本发明的目的、技术方案及效果更加清楚,明确,以及参照附图并举实例对本发明进一步详细说明。应当指出此处所描述的具体实施仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0042] (1)对制造工艺要求进行精度、效率、成本及质量等的评估。

[0043] (2)首先,分别采用特征变量函数 Φ (Φ_A 、 Φ_L 、 Φ_M)表征三种能量场的分配系数,特

征变量函数 $E(E_A, E_L, E_M)$ 表征三种能量场的输入能量,其中 Φ_A 、 Φ_L 、 Φ_M 分别是电弧输入能量比例、激光输入能量比例、磁场输入能量比例, $\Phi_A + \Phi_L = 1$ 、 $\Phi_M = 0/1$, Φ_A 、 Φ_L 、 Φ_M 取值均在0-1之间;且 $E(E_A, E_L, E_M)$ 由具体工艺参数确定。除此之外, Φ_A 由效率和成本要求决定,要求高效率、低成本时, Φ_A 取值大; Φ_L 由精度和质量要求决定,要求高精度、高质量时, Φ_L 取值大。则总能量输入 $E = \Phi_A E_A + \Phi_L E_L + \Phi_M E_M$ 。

[0044] (3) 能量场的确定:

[0045] 对于焊接,当要求高效率、低成本,对性能要求较小时,取 $\Phi_A = 1$ 、 $\Phi_L = 0$ 、 $\Phi_M = 0$,选择电弧焊接方法;当要求较高性能,对成本和效率要求较小时,取 $\Phi_A = 0$ 、 $\Phi_L = 1$ 、 $\Phi_M = 0$,选择激光焊接方法;当要求高效率、适中成本、对性能有一定要求时,综合两种方法,选择电弧-激光复合焊接方法,且对精度、质量要求较高时, Φ_A 从0-0.5取值、 Φ_L 从0.5-1取值,反之,当要求较高性能、高效率、高质量,成本适中,对精度要求较小时, Φ_A 从0.5-1取值、 Φ_L 从0-0.5取值;当对精度和性能有严格要求时,先择磁控焊接方法,具体的有磁控电弧焊接、磁控激光焊接、磁控电弧-激光复合焊接,即在原有基础上,加入磁场取 $\Phi_M = 1$ 。

[0046] 对于增材制造,当要求高效率、低成本,对精度、表面球化率、熔覆稀释率以及性能要求较小时,取 $\Phi_A = 1$ 、 $\Phi_L = 0$ 、 $\Phi_M = 0$,选择电弧增材制造;当要求高精度、低表面球化率、低熔覆稀释率以及较高性能,对成本和效率要求较小时,取 $\Phi_A = 0$ 、 $\Phi_L = 1$ 、 $\Phi_M = 0$,选择激光增材制造;当要求高效率、适中成本、对精度、表面球化率、熔覆稀释率以及性能有一定要求,对堆积尺寸精度要求较大时,,选择电弧-激光复合增材制造, Φ_A 从0-0.5取值、 Φ_L 从0.5-1取值,反之,对堆积尺寸精度要求较小时, Φ_A 从0.5-1取值、 Φ_L 从0-0.5取值;当对精精度、表面球化率、熔覆稀释率以及性能有严格要求时,选择磁控增材制造方法,具体的有磁控电弧增材、磁控激光增材、磁控电弧-激光复合增材,即在原有基础上,加入磁场取 $\Phi_M = 1$;

[0047] 对于磁场的选择:对于焊接而言,当对焊接过程的稳定性、焊后焊缝表面形貌、焊缝力学性能、焊接缺陷有严格要求时,则将磁场耦合进焊接过程;对于增材制造而言,当对工件表面粗糙度、冶金结合强度、力学性能、尺寸精度有严格要求时,则将磁场耦合进增材制造过程,加入磁场取 $\Phi_M = 1$ 。

[0048] (4) 工艺的实施:

[0049] 对于焊接工艺的实施:完成焊前准备工作,针对电弧焊接方法,根据坡口大小选择是否填丝,选择合适的焊接电流、焊接速度、送丝速度等工艺参数;针对激光焊接方法,选择合适的激光功率、光斑直径、离焦量、焊接速度等工艺参数;对于电弧-激光焊接方法,根据坡口大小选择是否填丝,选择相匹配的工艺参数,规划焊接路径,对工件实施焊接。

[0050] 对于增材制造工艺的实施:将送粉系统开启,对于电弧增材制造,选择合适的电流、扫描速度、送粉速度等工艺参数;对于激光增材制造,选择合适的激光功率、光斑直径、离焦量、扫描速度、送粉速度等工艺参数;对于电弧-激光复合增材制造,选择相匹配的工艺参数。

[0051] (5) 工艺方法的具体实施

[0052] 如图1所示,对于焊接,选择电弧焊接时,执行电弧系统1和送丝系统3;选择激光焊接时,执行激光系统5;选择电弧-激光焊接时,执行电弧系统1、激光5系统、送丝系统3。对于增材制造,选择电弧增材制造时,执行电弧系统1、送丝系统3或送粉系统4;选择激光增材制

造时,执行激光系统5和送粉系统4;选择电弧-激光复合增材制造时,执行电弧系统1、激光系统5、送丝系统3或者送粉系统4。当需要磁场对工艺过程进行控制时,额外执行交流磁场系统2;其中交流磁场与电弧、激光同轴,即施加纵向交流磁场。

[0053] 具体的实施方式如下:

[0054] 实施例1

[0055] 实施例1为一个焊接工件,具体是存在异种材料焊接与T型焊缝。如图2所示,其中图2区域I开有较大坡口,且非工件功能区域,材料为钢。如图2区域II所示,该区域为工件的中间部分,其特征在于与钢板连接性能良好,材料为铝。如图2区域III所示,其特征在于为T型焊缝。要焊接上述工件,其具体方法如下:

[0056] 焊接工艺方法选择:对于图2区域I,由于坡口较大,采用激光焊接效率低、成本高,与现实情况不符,且该区域焊接对精度要求较低,为了提高效率降低成本,选择电弧焊接方法。对于图2区域II,属于异种材料焊接,由于铝板为功能区域,要求焊缝力学性能良好,焊接热影响区范围要求较小,传统电弧焊难以满足这一要求,故选择激光焊接方法。对于图2区域III,属于T型焊缝,为了保证功能区域较小的焊接变形以及较好的力学性能,同时该区域待加工区域较长,为了保证效率,选择电弧-激光复合焊接方法,即 $\Phi_A=0.5$, $\Phi_L=0.5$ 。

[0057] 焊接工艺的实施:对于区域I,采用电弧焊接方法,执行电弧系统和送丝系统,确定工艺参数。对于图2区域II,采用激光焊接方法,执行激光系统,确定工艺参数。对于图2区域III,采用电弧-激光复合焊接方法,即 $\Phi_A=0.5$, $\Phi_L=0.5$,执行电弧系统、激光系统、送丝系统,确定工艺参数,完成整个焊接过程。

[0058] 实施例2

[0059] 本实施例2为一个增材制造工件,其特征不在于工件构造复杂,尺寸精度从下到上变化较大。如图3所示,其中图3区域I所示,该区域为工件的基座,其特征在于具有足够大的壁厚和尺寸,保证整个工件应用时的稳定性。如图3区域II所示,该区域为工件的中间部分,其特征在于具有较好的力学性能,壁厚和尺寸从下到上呈现递减趋势,保证工件的使用性能以及从下到上尺寸的平滑过渡。如图3区域III所示,是整个工件的工作区,其特征在于壁厚和尺寸较小,精度高,具有优良的力学性能。要制造如上所述工件,具体方法如下:

[0060] 增材制造工艺方法的选择:对于图3区域I,其作用只是保证工件应用时的稳定性,对精度要求较低,为了提高效率降低成本,选择电弧增材制造方法。对于图3区域II,要求具有较好的力学性能,电弧增材制造无法满足,再者该区域壁厚和尺寸较大,激光增材制造效率低下、成本高,综合两者,选择电弧-激光复合增材制造方法,即 $\Phi_A=0.5$, $\Phi_L=0.5$,满足性能的同时,提高效率,降低成本。对于图3区域III,作为整个工件的工作区,对精度、性能具有较高要求,此时电弧和电弧-激光增材方法已不适用,因此选择激光增材方法,同时为了确保该区域优良的力学性能,降低制造工件废弃率,在激光增材时耦合磁场,采用磁场对激光增材过程进行优化,减少激光增材过程中出现的缺陷。

[0061] 增材制造工艺方法的实施:对于图3区域I,采用电弧增材制造,执行电弧系统和送丝系统,确定工艺参数;对于图3区域II,采用电弧-激光复合增材制造,即 $\Phi_A=0.5$, $\Phi_L=0.5$,执行电弧系统、激光系统和送丝系统,确定工艺参数;对于图3区域III,采用磁控激光增材制造,执行激光系统、交流磁场系统和送粉系统,确定工艺参数,完成整个增材制造过程。

[0062] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人

员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进,这些改进也应视为本发明的保护范围。

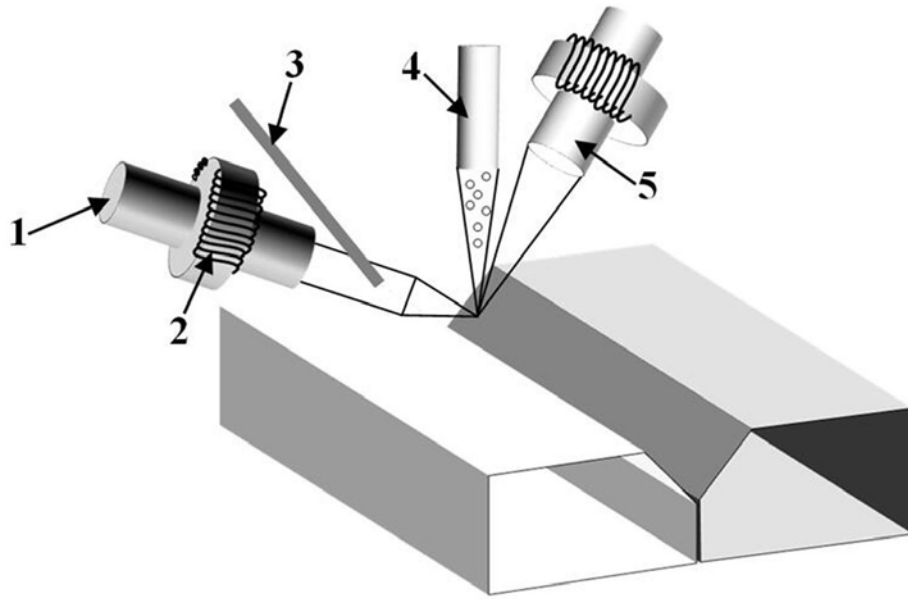


图1

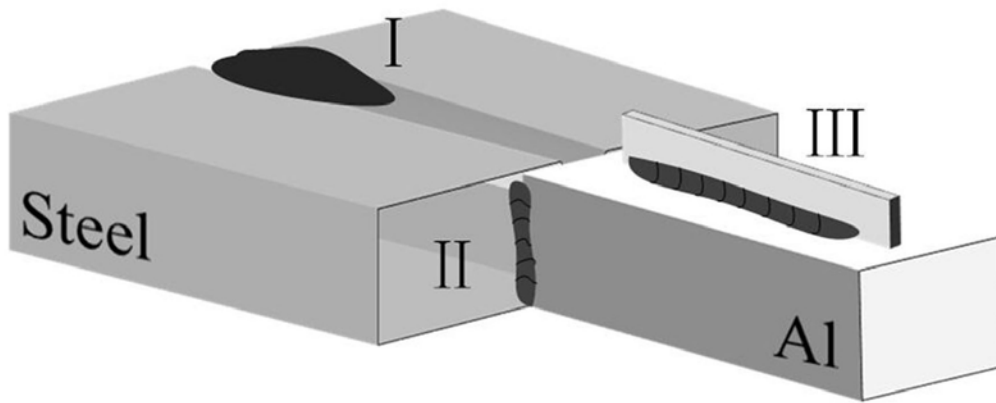


图2

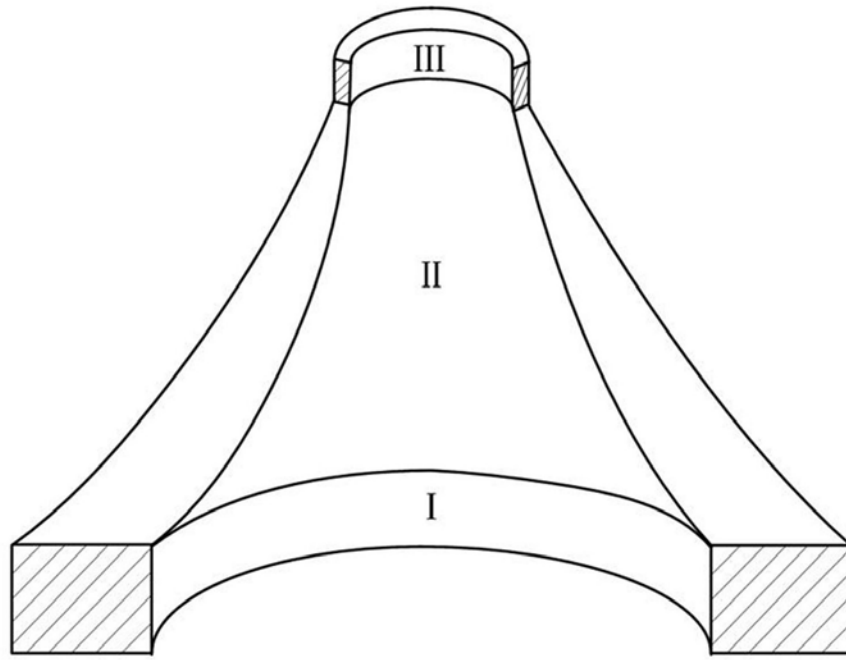


图3