



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104384717 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 13

(21) 申请号 201410633686. 8

(22) 申请日 2014. 11. 12

(73) 专利权人 中国船舶重工集团公司第七二五研究所

地址 471023 河南省洛阳市洛龙区滨河南路169号

(72) 发明人 吴艳明 李治 龙兴平

(74) 专利代理机构 洛阳市凯旋专利事务所 41112

代理人 符继超

(56) 对比文件

CN 101934430 A, 2011. 01. 05,  
JP 2012-206145 A, 2012. 10. 25,  
JP H07-164171 A, 1995. 06. 27,  
CN 103317242 A, 2013. 09. 25,  
KR 20050064496 A, 2005. 06. 29,

审查员 王妍

(51) Int. Cl.

B23K 26/24(2014. 01)

B23K 26/08(2014. 01)

B23K 26/082(2014. 01)

B23K 26/70(2014. 01)

B23K 101/18(2006. 01)

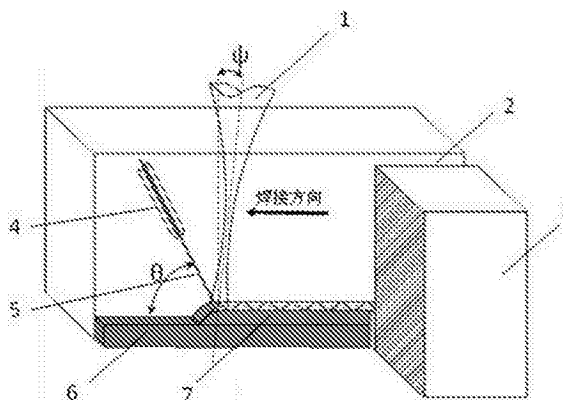
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54) 发明名称

一种厚板窄间隙实施对焊的摆动激光-热丝焊接方法

(57) 摘要

一种厚板窄间隙实施对焊的摆动激光-热丝焊接方法, 包含导电嘴(4)的设计、打底焊道(6)的焊接、填充焊道(7)的数道叠加焊接以及盖面焊道的焊接, 导电嘴的有效长度  $L=[H/\cos\theta]+5\text{mm}$ , 填充焊丝(5)的有效伸出长度为K, 被焊工件(3)的坡口间隙(2)控制在  $D=6\sim 10\text{mm}$ , 打底焊道焊接时激光束(1)与焊接方向之间的夹角控制在  $80\sim 85^\circ$  且激光束焦点取负值, 填充焊道焊接时激光束与焊接方向之间的夹角控制在  $85\sim 90^\circ$  且激光束焦点取正值, 填充焊丝与打底焊道之间的倾角  $\theta$  控制在  $20\sim 60^\circ$ , 每道填充焊道焊接后要对其焊缝表面进行清理并清除被焊工件侧壁上产生的焊渣, 最后完成盖面焊道的焊接, 消除未熔合缺陷。



1. 一种厚板窄间隙实施对焊的摆动激光-热丝焊接方法, 设定厚板的厚度为  $H$ , 摆动激光形成的焊缝宽度为  $d$ , 设定坡口间隙 (2) 宽度为  $D$ ,  $d > D$  且  $D=6 \sim 10\text{mm}$ ; 设定激光束 (1) 焦点与被焊工件 (3) 待焊面之间的偏距为  $Def$  而其单位为  $\text{mm}$ , 当激光束 (1) 焦点位于被焊工件 (3) 待焊面以下时  $Def$  取负值, 当激光束 (1) 焦点位于被焊工件 (3) 待焊面以上时  $Def$  取正值, 当激光束 (1) 焦点与被焊工件 (3) 待焊面重合时  $Def$  取 0; 该方法使用到激光器、光纤、导电嘴 (4)、填充焊丝 (5)、可编程一维扫描振镜及焊接电源; 该方法包含导电嘴 (4) 的设计、打底焊道 (6) 的焊接、填充焊道 (7) 的数道叠加焊接以及盖面焊道的焊接, 其中填充焊丝 (5) 与打底焊道 (6) 之间的倾角为  $\theta$ , 其特征是:

导电嘴 (4) 的设计:

导电嘴 (4) 的有效长度  $L=[H/\cos \theta]+5\text{mm}$ , 导电嘴 (4) 的前段厚度  $T=3\text{mm}$ , 导电嘴 (4) 的前段宽度  $W=6\text{mm}$ , 导电嘴 (4) 的内孔根据填充焊丝 (5) 的直径而定, 填充焊丝 (5) 装在导电嘴 (4) 内的有效伸出长度为  $K$ ;

打底焊道 (6) 的焊接:

将两被焊工件 (3) 放在水平操作台上并使两被焊工件 (3) 的坡口间隙 (2) 控制在所述  $D$ , 设定焊接方向沿坡口间隙 (2) 中心线自右至左并平行于水平操作台, 激光束 (1) 与所述焊接方向之间的夹角控制在  $80 \sim 85^\circ$ , 激光束 (1) 的功率控制在  $6.2 \sim 6.8\text{kW}$ , 激光束 (1) 的所述  $Def$  取负值, 激光束 (1) 的焊接速度控制在  $0.4 \sim 1.0\text{m/min}$ , 在上述参数控制下对两被焊工件 (3) 实施一次打底焊道 (6) 的熔透焊接;

填充焊道 (7) 的数道叠加焊接:

将激光束 (1) 聚焦辐照在打底焊道 (6) 表面, 激光束 (1) 与所述焊接方向之间的夹角控制在  $85 \sim 90^\circ$ , 激光束 (1) 的所述  $Def$  取正值, 激光束 (1) 辐照在打底焊道 (6) 表面的激光光斑直径控制在  $1 \sim 2\text{mm}$ , 填充焊丝 (5) 位于激光束 (1) 的左侧, 填充焊丝 (5) 与打底焊道 (6) 之间的倾角  $\theta$  控制在  $20 \sim 60^\circ$ , 填充焊丝 (5) 的末端需伸入所述激光光斑直径范围内, 通过施加在导电嘴 (4) 的电流和电压对填充焊丝 (5) 进行预热, 预热电流控制在  $80 \sim 200\text{A}$ , 预热电压控制在  $6 \sim 10\text{V}$ ; 激光束 (1) 相对坡口间隙 (2) 宽度中心线的摆动倾角  $\psi$  控制在  $1 \sim 3^\circ$  并满足  $d/D=1.1 \sim 1.2$ , 在激光束 (1) 的功率  $3 \sim 5\text{kW}$  下其激光束 (1) 和填充焊丝 (5) 的焊接速度控制在  $0.3 \sim 0.8\text{m/min}$ , 填充焊丝 (5) 的送丝速度控制在  $3.0 \sim 8.0\text{m/min}$ , 填充焊道 (7) 的单道填充焊缝厚度控制在  $1.0 \sim 4.0\text{mm}$ , 通过填充焊道 (7) 的数道叠加焊接使得焊缝接近被焊工件 (3) 的上表面并预留盖面焊道; 在每道填充焊道 (7) 焊接后要对其焊缝表面进行清理并清除被焊工件 (3) 侧壁上产生的焊渣;

盖面焊道的焊接:

根据上述填充焊道 (7) 的焊接程序对预留盖面焊道实施摆动激光-热丝焊接直至坡口间隙 (2) 被完全填充。

2. 根据权利要求 1 所述一种厚板窄间隙实施对焊的摆动激光-热丝焊接方法, 其特征是: 填充焊丝 (5) 装在导电嘴 (4) 内的有效伸出长度  $K \leq 15\text{mm}$ 。

3. 根据权利要求 1 所述一种厚板窄间隙实施对焊的摆动激光-热丝焊接方法, 其特征是: 对每道填充焊道 (7) 焊接后的焊缝表面采用不锈钢丝刷和丙酮进行清理。

## 一种厚板窄间隙实施对焊的摆动激光-热丝焊接方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于焊接加工技术领域,尤其涉及到一种厚板窄间隙实施对焊的摆动激光-热丝焊接方法。

### 背景技术

[0002] 厚板焊接技术在船舶制造、海洋工程、核电设备等领域有着广泛的应用,将壁厚 $\geq 30\text{mm}$ 且坡口间隙为 $5\sim 10\text{mm}$ 的焊接称其为窄间隙焊接,将坡口间隙 $\leq 5\text{mm}$ 的焊接称其为超窄间隙焊接。

[0003] 对于上述窄间隙焊接主要包括有 NG-MAW、NG-SAW 和 NG-TIG,这些窄间隙电弧焊接方法虽能大幅度提高焊接制造效率,但由于焊接缺陷难以控制、焊接热输入高等不足因素,并未获得广泛应用。

[0004] 与窄间隙电弧焊接方法相比,窄间隙激光填丝焊接方法结合了激光焊和窄间隙焊的双重优势,可进一步减小热输入、焊接热影响区宽度及焊接变形,具有良好的发展前景,但是窄间隙激光填丝焊接方法多采用聚焦激光束直接做用于焊丝末端,通过深熔焊接模式将焊丝熔化填充窄间隙形成焊缝,其不足之处在于熔池尺寸小,可适用窄间隙和板厚的范围有限,易产生坡口侧壁未熔合和气孔缺陷。

[0005] 尽管国内外研究者先后发明了基于双光束如 US5155323、三光束如 CN102059452B 和旋转双光束如 US4088865 的窄间隙激光填丝焊接方法,但均存在各自的局限性:

[0006] 采用双光束焊接时,激光束作用在焊缝熔池两侧,熔池中心没有激光束的作用,熔池中心搅拌不充分,容易产生焊缝气孔及层间未熔合缺陷;

[0007] 采用三光束焊接时,虽然消除了双光束焊接过程中焊缝中心热量不足导致的缺陷,但三光束要求较大的间隙宽度且坡口间隙适用性较差,制约了该方法的可焊板厚范围和填充效率低;

[0008] 采用旋转双光束焊接时,光束对焊缝熔池的搅拌作用强,减少了焊缝气孔,但是光束的旋转降低了焊丝填充稳定性,易产生焊接飞溅。

[0009] 将摆动激光和热丝相结合用于厚板窄间隙的焊接方法还尚未见到相关报道。

### 发明内容

[0010] 为解决上述问题,本发明提供了一种厚板窄间隙实施对焊的摆动激光-热丝焊接方法,该方法将摆动激光与热丝技术相结合并应用于厚板窄间隙焊接,激光束沿窄间隙两侧往复摆动可以增大熔池尺寸,抑制侧壁未熔合缺陷并提高间隙及板厚适用范围,且摆动光束对焊接熔池的搅拌作用强,可抑制焊缝气孔,再结合焊丝预热可提高填充效率,是实现厚板窄间隙优质高效焊接的可行途径。

[0011] 为实现上述发明目的,本发明采用如下技术方案:

[0012] 一种厚板窄间隙实施对焊的摆动激光-热丝焊接方法,设定厚板的厚度为 H,摆动激光形成的焊缝宽度为 d,设定坡口间隙宽度为 D, $d > D$ 且 $D=6\sim 10\text{mm}$ ;设定激光束焦点与

被焊工件待焊面之间的偏距为  $Def$  而其单位为  $mm$ , 当激光束焦点位于被焊工件待焊面以下时  $Def$  取负值, 当激光束焦点位于被焊工件待焊面以上时  $Def$  取正值, 当激光束焦点与被焊工件待焊面重合时  $Def$  取 0; 该方法使用到激光器、光纤、导电嘴、填充焊丝、可编程一维扫描振镜及焊接电源; 该方法包含导电嘴的设计、打底焊道的焊接、填充焊道的数道叠加焊接以及盖面焊道的焊接, 其它未述部分按常规焊接执行, 其中填充焊丝与打底焊道之间的倾角为  $\theta$ , 本发明的特征如下:

[0013] 导电嘴的设计:

[0014] 导电嘴的有效长度  $L=[H/\cos \theta]+5mm$ , 导电嘴的前段厚度  $T=3mm$ , 导电嘴的前段宽度  $W=6mm$ , 导电嘴的内孔根据填充焊丝的直径而定, 填充焊丝装在导电嘴内的有效伸出长度为  $K$ ;

[0015] 打底焊道的焊接:

[0016] 将两被焊工件放在水平操作台上并使两被焊工件的坡口间隙控制在所述  $D$ , 设定焊接方向沿坡口间隙中心线自右至左并平行于水平操作台, 激光束与所述焊接方向之间的夹角控制在  $80 \sim 85^\circ$ , 激光束的功率控制在  $6.2 \sim 6.8kW$ , 激光束的所述  $Def$  取负值, 激光束的焊接速度控制在  $0.4 \sim 1.0m/min$ , 在上述参数控制下对两被焊工件实施一次打底焊道的熔透焊接;

[0017] 填充焊道的数道叠加焊接:

[0018] 将激光束聚焦辐照在打底焊道表面, 激光束与所述焊接方向之间的夹角控制在  $85 \sim 90^\circ$ , 激光束的所述  $Def$  取正值, 激光束辐照在打底焊道表面的激光光斑直径控制在  $1 \sim 2mm$ , 填充焊丝位于激光束的左侧, 填充焊丝与打底焊道之间的倾角  $\theta$  控制在  $20 \sim 60^\circ$ , 填充焊丝的末端需伸入所述激光光斑直径范围内, 通过施加在导电嘴的电流和电压对填充焊丝进行预热, 预热电流控制在  $80 \sim 200A$ , 预热电压控制在  $6 \sim 10V$ ; 激光束相对坡口间隙宽度中心线的摆动倾角  $\psi$  控制在  $1 \sim 3^\circ$  并满足  $d/D=1.1 \sim 1.2$ , 在激光束的功率  $3 \sim 5kW$  下其激光束和填充焊丝的焊接速度控制在  $0.3 \sim 0.8m/min$ , 填充焊丝的送丝速度控制在  $3.0 \sim 8.0m/min$ , 填充焊道的单道填充焊缝厚度控制在  $1.0 \sim 4.0mm$ , 通过填充焊道的数道叠加焊接使得焊缝接近被焊工件的上表面并预留盖面焊道; 在每道填充焊道焊接后要对其焊缝表面进行清理并清除被焊工件侧壁上产生的焊渣;

[0019] 盖面焊道的焊接:

[0020] 根据上述填充焊道的焊接程序对预留盖面焊道实施摆动激光-热丝焊接直至坡口间隙被完全填充。

[0021] 上述填充焊丝装在导电嘴内的有效伸出长度  $K \leq 15mm$ 。

[0022] 对每道填充焊道焊接后的焊缝表面采用不锈钢丝刷和丙酮进行清理。

[0023] 由于采用如上所述技术方案, 本发明产生如下积极效果:

[0024] 1、本发明首先通过摆动激光焊接使得被焊工件侧壁根部处于激光束的直接辐射范围内, 打底焊道焊接消除了厚板窄间隙激光填丝焊接过程中易产生的侧壁未熔合缺陷。

[0025] 2、通过采用摆动激光-热丝焊接相结合的方式, 解决了填充焊道的焊接和盖面焊道的焊接, 降低了激光熔池深宽比且对熔池金属进行了充分搅拌, 消除了焊缝气孔及层间未熔合缺陷。

[0026] 3、通过采用本发明的导电嘴使将填充焊丝的有效伸出长度得到控制, 提高了焊丝

末端的刚度,降低了激光束摆动时对焊丝末端和焊丝金属熔滴过渡稳定性的不利影响。

[0027] 4、通过对填充焊丝进行预热,提高了填充焊丝的熔化效率。

[0028] 5、本发明中激光束的摆动宽度可根据被焊工件的坡口间隙宽度进行灵活调节,适应能力较强。

[0029] 6、本发明所采用激光束焦点位于焊道表面以上,有利于提高板厚范围。

### 附图说明

[0030] 图 1 是厚板窄间隙摆动激光-热丝焊接方法的原理示意简图。

[0031] 图 2 是间隙宽度与焊缝宽度关系示意简图。

[0032] 图 3 是焊丝与激光束光斑重叠系数示意简图。

[0033] 图 4 是导电嘴结构示意简图。

[0034] 图 5 是图 4 的俯视图。

[0035] 上述图中:1-激光束;2-坡口间隙;3-被焊工件;4-导电嘴;5-填充焊丝;6-打底焊道;7-填充焊道。

### 具体实施方式

[0036] 本发明是一种厚板窄间隙实施对焊的摆动激光-热丝焊接方法,本发明采用高功率激光束对钝边进行熔透焊接,实现打底焊道的单面焊双面成形,然后对坡口间隙实施数道叠加的摆动激光-热丝焊接,最终采用摆动激光-热丝焊接进行盖面焊道的焊接,所有焊缝均采用单层单道焊接方法。

[0037] 厚板的厚度 $\geq 30\text{mm}$ ,如厚板的厚度 $H=35\text{mm}$ ,摆动激光形成的焊缝宽度为 $d=7\text{mm}$ ,设定坡口间隙宽度为 $D=6$ 。本发明的厚板材料不限,填充焊丝根据厚板材料而定,比如选用 $10\text{CrNi3MoV}$ 钢,其填充焊丝选用 $\text{WM960S}$ 。

[0038] 设定激光束焦点与被焊工件待焊面之间的偏距为 $Def$ 而其单位为 $\text{mm}$ ,当激光束焦点位于被焊工件待焊面以下时 $Def$ 取负值,当激光束焦点位于被焊工件待焊面以上时 $Def$ 取正值,当激光束焦点与被焊工件待焊面重合时 $Def$ 取 $0$ 。

[0039] 本发明使用到激光器、光纤、导电嘴、填充焊丝、可编程一维扫描振镜及焊接电源。激光器产生的激光束通过光纤传输至可编程一维扫描振镜,再由可编程一维扫描振镜聚焦后辐照在被焊工件待焊面。焊接电源与导电嘴联接。比如激光器选用 $\text{IPG YLS10000}$ 型光纤激光器,可编程一维扫描振镜选用 $\text{HIGHYAG BIM0}$ 可编程一维扫描振镜,焊接电源选用 $\text{Fronuis TPS5000}$ 型焊接电源。

[0040] 本发明的方法包含导电嘴的设计、打底焊道的焊接、填充焊道的数道叠加焊接以及盖面焊道的焊接,其它未述部分按常规焊接执行,其中填充焊丝与打底焊道之间的倾角为 $\theta$ ,本发明的特征如下:

[0041] 结合图 4-5,导电嘴 4 的有效长度 $L=25\text{mm}$ ,导电嘴 4 的前段厚度 $T=3\text{mm}$ ,导电嘴的前段宽度 $W=6\text{mm}$ ,导电嘴 4 的内孔根据填充焊丝 5 的直径而定,填充焊丝 5 装在导电嘴 4 内的有效伸出长度为 $K=15\text{mm}$ 。

[0042] 结合图 1-2,将两被焊工件 3 放在水平操作台上并使两被焊工件的坡口间隙 2 控制在所述 $D=6\text{mm}$ ,设定焊接方向沿坡口间隙中心线自右至左并平行于水平操作台,激光束 1 与

所述焊接方向之间的夹角控制在  $83^\circ$ ，通过扫描振镜可以控制激光束在焊缝中心线两侧且以上述参数往复运动的过程称之为摆动激光，激光束 1 的功率控制在 6.5kW，激光束 1 的所述 Def=-2mm，激光束 1 的焊接速度控制在 1.0m/min，在上述参数控制下对两被焊工件 3 实施一次打底焊道 6 的熔透焊接，熔透焊接的结果是全熔透焊缝，可以提高激光小孔的稳定性，降低焊接气孔，其次熔透焊接时不填充焊丝 5，最后由于激光束与所述焊接方向之间的夹角是  $83^\circ$ ，可以有效避免反射激光对激光头产生不利影响。

[0043] 结合图 1-3，将激光束 1 聚焦辐照在打底焊道 6 表面，激光束与所述焊接方向之间的夹角控制在  $85^\circ$ ，激光束的所述 Def=10mm，激光束辐照在打底焊道表面的激光光斑直径控制在 2mm，填充焊丝 5 位于激光束 1 的左侧，填充焊丝 5 装在导电嘴 4 内的有效伸出长度  $K=15\text{mm}$ ，填充焊丝 5 与打底焊道 5 之间的倾角  $\theta$  控制在  $45^\circ$ ，填充焊丝的末端需伸入所述激光光斑直径范围内，通过施加在导电嘴的电流和电压对填充焊丝进行预热，预热电流控制在 100A，预热电压控制在 8V；激光束相对坡口间隙宽度中心线的摆动倾角  $\psi$  控制在  $1.5^\circ$  并满足  $d/D=1.2$ ，坡口间隙按长度方向如图 1 所示是横向的则摆动倾角  $\psi$  沿坡口间隙宽度是纵向的；在激光束的功率 3.5kW 下其激光束和填充焊丝的焊接速度控制在 0.5m/min，填充焊丝的送丝速度控制在 7.0m/min，填充焊道的单道填充焊缝厚度控制在 3.0mm，通过填充焊道 7 的数道叠加焊接使得焊缝接近被焊工件的上表面并预留盖面焊道；在每道填充焊道 7 焊接后要对其焊缝表面进行清理并清除被焊工件侧壁上产生的焊渣，对每道填充焊道 7 焊接后的焊缝表面采用不锈钢丝刷和丙酮进行清理。

[0044] 根据上述填充焊道的焊接程序对预留盖面焊道实施摆动激光-热丝焊接直至坡口间隙被完全填充。

[0045] 焊后对被焊工件的焊缝进行宏观金相分析，焊缝横截面上未出现侧壁未熔合现象和焊缝气孔缺陷，且焊缝 X 射线探伤未发现焊接气孔，焊缝质量满足《GB/T 22085.1 电子束和激光束焊接接头缺陷质量分级指南(第 1 部分 钢)》标准 B 级要求。

[0046] 本发明的方法同样适用于超窄间隙焊接，为了公开本发明而在本文中选用的实施例，当前认为是适宜的，但是应了解的是：本发明旨在包括一切属于本构思和本发明范围内的所有变化和改进。

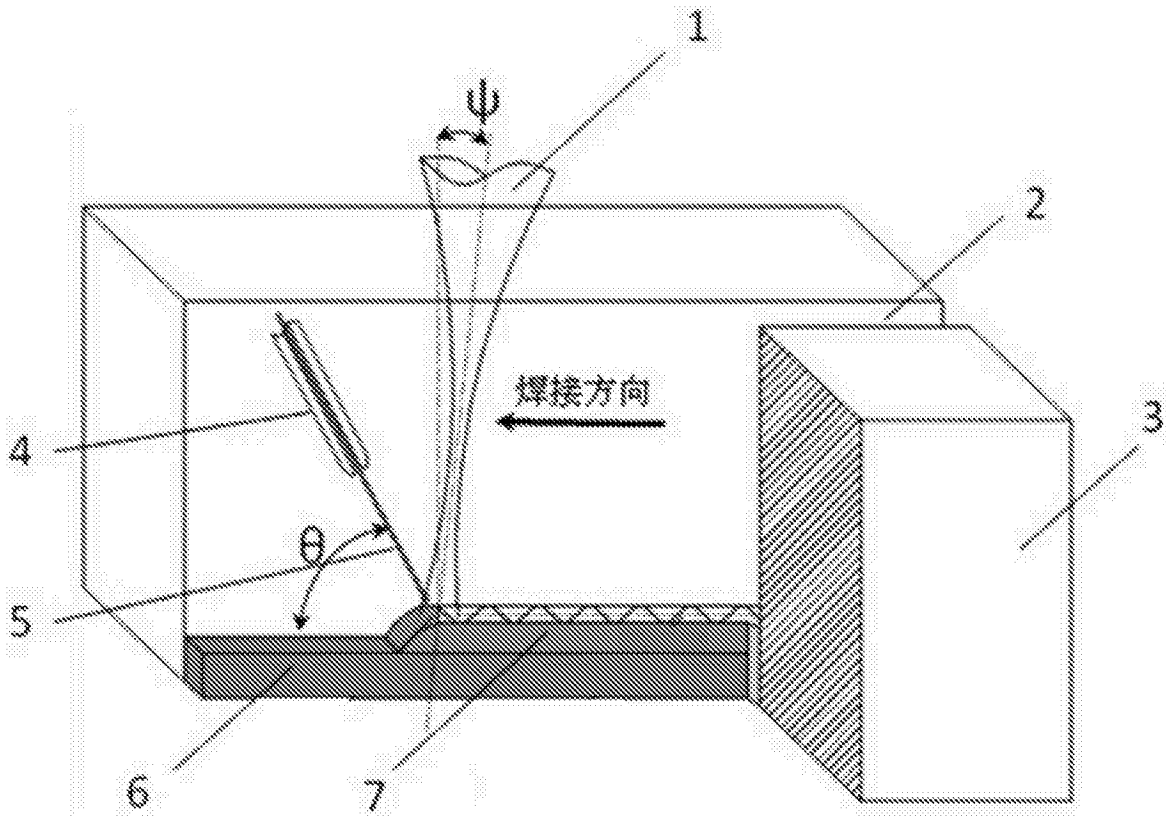


图 1

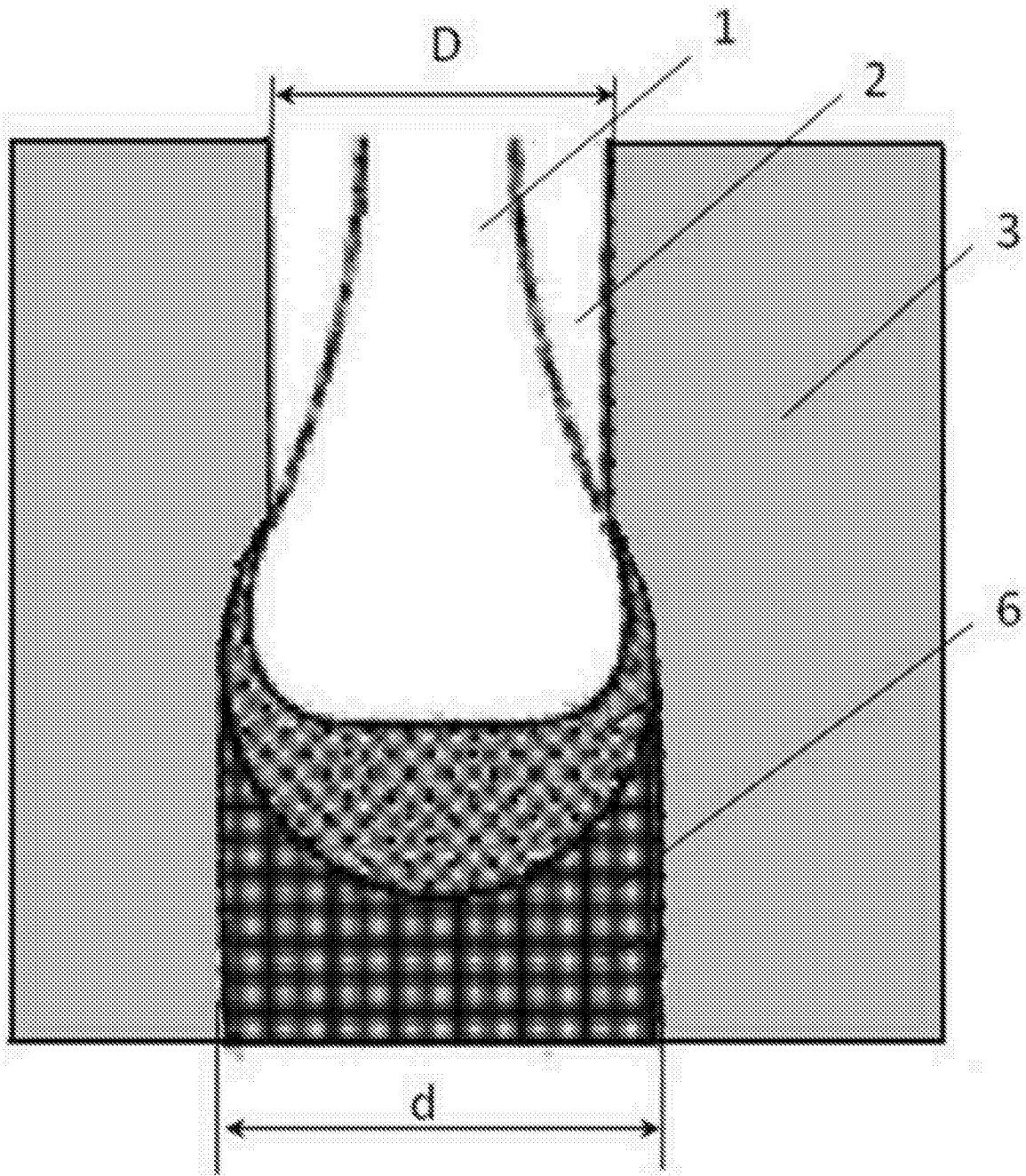


图 2



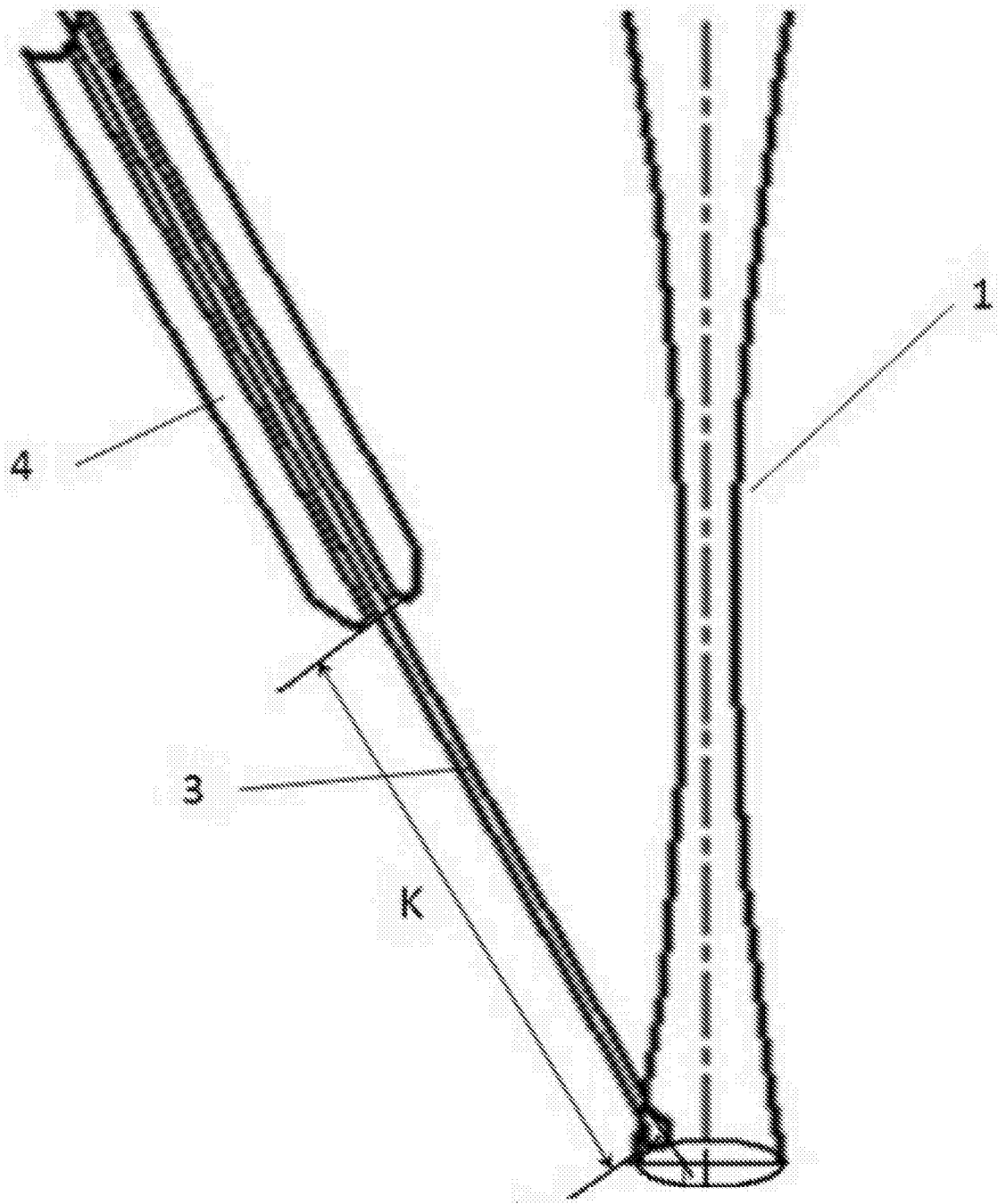


图 3

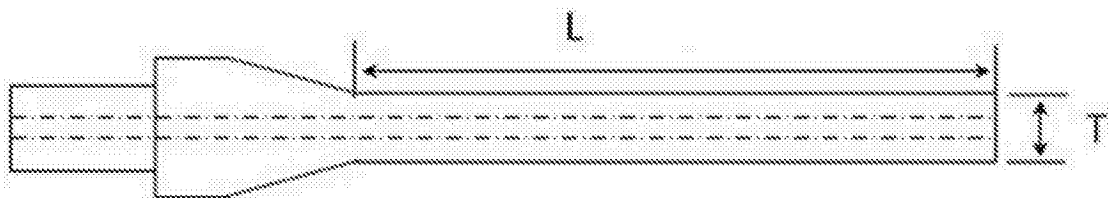


图 4

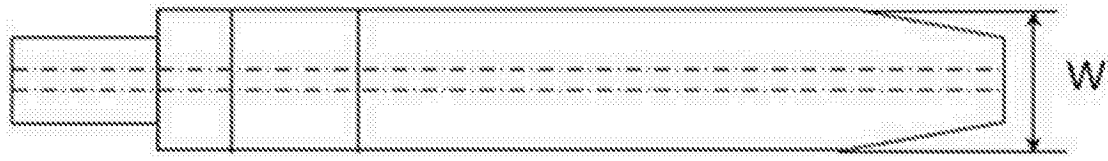


图 5