

一种仿竹结构异形薄壁管设计及 TIG 增材成形

陈 涵, 周 琦

(南京理工大学 材料工程系, 江苏 南京 210094)

摘 要:通过对竹结构显微结构力学性能分析,设计出仿竹结构横向抗压薄壁管结构;并在保持力学性能的前提下进行该结构管简化设计。根据设计要求,在将起弧收弧缺陷控制到最小的基础之上进行焊接路径规划;通过 TIG 焊接窄道工艺试验,得出该竹结构管薄壁所需的焊接工艺参数。最终通过 TIG 机器人电弧增材制造获得仿竹结构异型薄壁管。

关键词:仿竹结构;路径规划;窄道工艺;增材制造

DOI: 10.14158/j.cnki.1001-3814.2019.13.040

中图分类号: TG444+.74

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2019)13-0152-04

Design of A Special-shaped Thin-wall Tube with Imitation Bamboo Structure and TIG Additive Manufacturing

CHEN Han, ZHOU Qi

(Department of Materials Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjin 210094, China)

Abstract: By analyzing the mechanical properties of the bamboo microstructure, the structure of imitation bamboo transverse compressive thin-walled tube was designed. The design of the structure tube is simplified under the premise of maintaining its mechanical properties. According to the design requirements, the welding path planning was carried out on the basis of minimizing the starting and stopping defects. The welding process parameters of the thin wall tube with the bamboo structure were obtained through the TIG welding process test of stringer-bead. Finally, the special-shaped thin wall tube was obtained by TIG robot arc additive manufacturing.

Key words: imitation bamboo structure; route planning; stringer-bead technique; additive manufacturing

竹子是自然界中的一种具有良好力学性能的典型生物体^[1]。竹子收缩量极其小,但其却具有很高的弹性和韧性,并且其强度、弹性模量以及静曲强度是普通木材的两倍^[2]。根据实验数据显示,竹子的顺纹抗压强度为 74.2 MPa,抗拉强度为 201.7 MPa,是相同尺寸钢材的 1/2。若按照单位质量来衡量这些数据的话,其抗拉强度为钢材的 25 倍。其中力学性能较好的竹子的抗拉强度可达到 530 MPa,该数据相当于最好的铝合金材料,而竹子的密度为 1.2 g/cm³,与此同时,其细长比为 1/250~1/150,这是一般结构难以达到的一个数据^[3-6]。

竹结构之所以具有高抗冲击、高抗压、高韧性等力学性能,关键在于毛竹薄壁中微结构的分布特点及性能特征。毛竹截面中的菱形结构的维管束结构呈向圆心方向变大变稀疏的规律分布。这种规律使得毛竹在受到外力的冲击时能对冲击载荷进行分解,

将载荷由表面进入后逐层进行递减,从而达到良好的抗冲击效果。其关键在于所受载荷的分解与吸收。通过对毛竹宏观力学性能和微观结构的分析与测试,可以将其特点运用于装甲中管型零件的轻量化设计。

目前,只能采用轧制和无缝焊接的形式来获得内部结构较为复杂的异形管,其内部结构较为简单,可以一次成形。对于内部结构复杂的异形管,普通的机械加工手段及铸造、轧制,无法做到一次成形,需要通过多次焊接、嵌套才能获得,工序复杂。高效率、低成本地完成复杂结构件的生产是电弧增材技术的一大特征^[7]。现采用电弧增材的方法,通过层层结合,不断叠加的方法成型复导结构,可以一次成形,工序更加简单,获得的零件性能更加优异,是制造复杂结构异形管和其他轻量化装甲结构的有效途径。

1 TIG 增材竹结构管设计及路径规划

竹子的微结构对外加载荷分解情况如图 1 所示。当竹结构表面受到外力作用时,该外加载荷在进入竹薄壁结构后,在维管束间隙会出现外密内疏的

收稿日期:2018-05-21

作者简介:陈涵(1993-),男,江苏常州人,硕士,主要研究方向:电弧增材制造;电话:18661109163;E-mail:657221535@qq.com

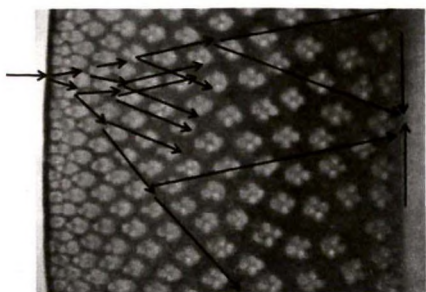


图 1 竹纤维对外加载荷的分解作用

Fig.1 Decomposition of the external load by bamboo fiber

分布特点,当遇到一个维管束结构时便会被分解为两个力,使得外加载荷被削弱,经过多次力的分解,

最终到达竹子内壁的区域。由于竹子内部是一个环形区域,力会在该区域汇合,并形成方向相反的相互作用力,从而相互抵消。这样的分布特点使得竹结构具有良好的高强度高抗压能力。

针对竹壁内的微结构,根据其对外加载荷层层分解的结构特点设计出如图 2 所示的仿生结构截面 1,由于目前的 TIG 电弧增材尚未到达能增材如此精细结构的能力,故根据竹纤维的特点,对改仿生结构进行简化设计得到如图 3 所示的仿生结构截面 2、3、4。

现通过路径规划和安川机器人自动焊机对竹结

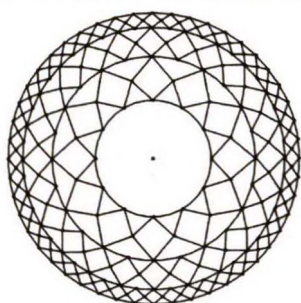
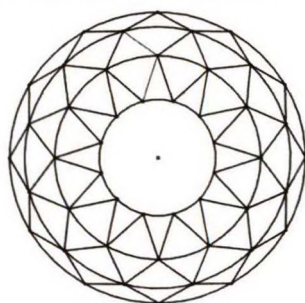
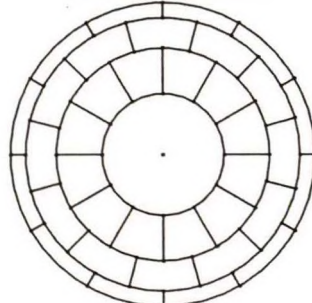


图 2 仿竹结构管截面 1

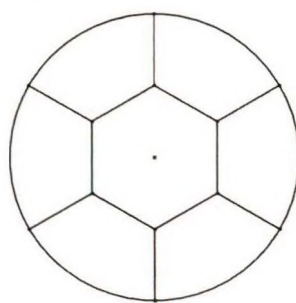
Fig.2 Section 1 of imitation bamboo structure tube



(a) 仿竹结构管截面 2



(b) 仿竹结构管截面 3



(d) 仿竹结构管截面 4

图 3 仿竹结构简化

Fig.3 Simplification of imitation bamboo structure

构截面 4 所示结构进行 TIG 增材成形,获得一个直径为 100 mm、高 100 mm 的仿竹结构管,如图 4 所示。

的平整度问题以及焊后缺陷问题。

2 TIG 增材竹结构薄壁窄道工艺试验

仿竹结构管的增材路径规划方式如图 5 所示。焊枪先沿着外圆方向行走,然后再沿着水平方向两个 W 路径各走一道,最后沿着垂直方向走 4 道短焊道,焊接一层完成以后通过变位机将该层整体逆时针旋转 120°,并且改变其外圆行走方向,到达第三层时按第二层的做法逆时针旋转 120°,再改变外圆行走方向,通过以 3 层为一个循环,可以将起弧点和收弧点相互重合,从而减小由起弧收弧塌陷所带来

针对薄壁管的设计要求,对焊道进行最窄化处理,使得增材所用的焊道宽度达到最窄,从而获得薄壁管。增材所用基板为 300 mm×500 mm×12 mm 304 不锈钢板,所用焊丝为直径 1.2 mm 316L 氩保焊丝。控制 TIG 焊接电流在 90~150 A 范围内,以 10 A 的变化幅度来调节;堆敷速度选择从 20 cm/min 以 5 mm/min 的增幅提高至 40 cm/min,共 5 个堆敷因子;送丝速度为 0.6、0.8、1.0、1.2 m/min,进行 TIG 单层单

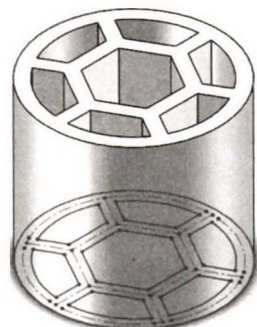


图 4 仿竹结构管三维效果

Fig.4 3D effect of imitation bamboo structure tubes

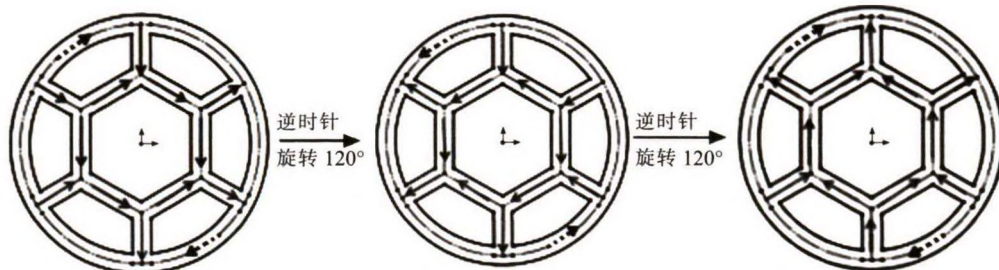


图 5 焊接路径规划

Fig.5 Welding path planning

道超窄焊道工艺控制变量试验。

2.1 焊接电流对焊道的影响

预设送丝速度 0.6 m/min, 保护气流量 18~20 L/min, 焊接速度为 20 mm/min, 焊接电流分别为 90、100、110、120、130、140、150 A, 焊道的高度和宽度如表 1 所示。由表 1 可知随着电流的增大, 焊道高度逐渐降低, 焊道宽度逐渐增大; 随着电流的增大, 焊道表面颜色逐渐加深。当电流在 90~120 A 之间时, 热输入较小, 焊道熔滴铺展不开, 导致焊缝表面成形较差, 焊缝余高过高, 焊缝周边轮廓不平直, 质量较差。当电流在 120~130 A 之间时, 焊缝表面呈现银白色和金黄色, 热输入量正常, 焊缝表面平滑, 轮廓平直, 焊缝质量较好。当电流在 150 A 及以上时, 焊道表面呈黑灰色, 热输入较大, 焊缝质量较差。故考虑电流应控制在 120~130 A 之间为最佳。

表 1 焊接电流对焊道的影响
Tab.1 Influence of welding current on weld bead

焊接电流 / A	焊道高度 / mm	焊道宽度 / mm
90	1.50	3.02
100	1.40	4.10
110	1.24	5.40
120	1.10	6.20
130	0.84	7.44
140	0.76	7.96
150	0.68	8.42

2.2 焊接速度对焊道的影响

预设送丝速度 0.6 m/min, 保护气流量 18~20 L/min, 电流为 130 A, 焊接速度分别为 20、25、30、35、40 cm/min, 焊道的高度和宽度如表 2 所示。由表 2 可知随着焊接速度的增加, 焊道高度逐渐降低, 焊道宽度逐渐降低, 当焊接速度为 40 cm/min 时焊缝宽度最窄, 但焊道上表面呈圆弧状, 不利于下层焊道的堆叠。焊道在焊接速度为 20~30 cm/min 之间时, 焊道质量最佳, 焊道表面更为平整。针对增材应选择表面较为平整的焊道才有利于多道成形, 故选择焊

表 2 焊接速度对焊道的影响
Tab.2 Influence of welding speed on weld bead

焊接速度 / (cm·min ⁻¹)	焊道高度 / mm	焊道宽度 / mm
20	0.84	6.5
25	0.82	5.7
30	0.83	4.2
35	0.78	4.1
40	0.68	3.6

接速度为 20~30 cm/min 之间为最佳。

2.3 送丝速度对焊道的影响

预设焊接速度 40 mm/min, 保护气流量 18~20 L/min, 电流为 130 A, 送丝速度分别为 0.6、0.8、1.0、1.2 m/min, 焊道的高度和宽度如表 3 所示。由表 3 可知随着送丝速度的增加, 焊道高度逐渐增加, 焊道宽度维持在 6.2~6.5 mm 之间。当送丝速度在 0.6~0.8 m/min 之间时焊道饱满平滑, 表面质量最佳; 当送丝速度为 1.0 m/min 时, 焊接过程送丝量过大导致焊道过于饱满, 焊道表面质量较差。

表 3 送丝速度对焊道的影响
Tab.3 Influence of wire feeding speed on weld bead

送丝速度 / (m·min ⁻¹)	焊道高度 / mm	焊道宽度 / mm
0.4	0.5	6.5
0.6	0.9	6.5
0.8	1.3	6.5
1.0	1.6	6.2

因此, 综合考虑选择焊接电流为 120~130 A 之间, 焊接速度在 20~30 cm/min。送丝速度在 0.6~0.8 m/min 时, 所得到的焊缝质量最佳, 在考虑多道多层平整度的前提下焊道宽度最窄可达到 6 mm~8 mm 之间。

3 TIG 增材竹节构管增材成形

通过路径规划与 TIG 机器人自动堆敷增材得到如图 6 所示仿竹结构薄壁异型管。异型管高 100 mm, 直径 100 mm, 内圈六边形结构及周边短焊道结构长度 30 mm, 壁厚 6.5 mm。焊后上表面平整, 无塌陷, 圆管外侧圆滑光亮, 无多余飞溅气孔夹渣, 焊道与焊道衔接处无明显起弧与收弧缺陷。通过分析, 该结构管可在圆形管基础上提高抗压强度及抗拉强度, 其内部仿纤维结构加强筋设计可有效提高圆管



图 6 仿竹结构薄壁异型管
Fig.6 Thin wall special shaped tube of imitation bamboo structure

在外力作用时其横向的抗压强度。

4 结论

(1) 通过对竹结构中微结构显微组织观察分析,得出竹结构内纤维结构具有对外加载荷进行分级分解与相互抵消的特点,使竹结构在径向具有良好的抗压抗冲击特性。

(2) 根据薄壁管的要求,对焊道进行 TIG 单层单道超窄焊道工艺试验,通过焊接电流、焊接速度与送丝速度和焊接成形的关系,得出当焊接电流为 120~130 A 之间,焊接速度在 20~30 cm/min,送丝速度在 0.6~0.8 m/min 时,所得到的焊缝质量最佳,在考虑多道多层平整度的前提下焊道宽度最窄可达到 6~8 mm 之间。

(3) 通过 TIG 增材堆敷成形得到高 100 mm,直径 100 mm,内圈六边形结构及周边短焊道结构长度 30 mm,壁厚 6.5 mm 的异型管结构。焊后上表面平整,无塌陷,圆管外侧圆滑光亮,无多余飞溅气孔夹渣,焊道与焊道衔接处无明显起弧与收弧缺陷。

参考文献:

- [1] 胡巧玲,钱秀珍,李保强,等. 原位沉析法制备壳聚糖棒材的研究[J]. 高等学校化学学报,2003,24(3):528-531.
- [2] 李世红,付绍云. 竹子一种天然的生物复合材料的研究[J]. 材料研究学报,1994,8(2):188-192.
- [3] 温变英. 自然界中的梯度材料及其仿生研究[J]. 材料导报,2008,22(6):351-356.
- [4] Ma J F, Chen W Y, Zhao L, et al. Elastic buckling of bionic cylindrical shells based on bamboo [J]. Journal of Bionic Engineering, 2008, 5(13): 231-238.
- [5] Tommy Y L, Cui H Z, Leung H C. The effect of fiber density on strength capacity of bamboo [J]. Materials Letters, 2004, 58(21): 2595-2598.
- [6] Ghavami K. Bamboo as reinforcement in structural concrete elements [J]. Cement and Concrete Composites, 2005, 27(6): 637-649.
- [7] Tan T, Rabbar N, Allameh S M, et al. Mechanical properties of functionally graded hierarchical bamboo structures [J]. Acta Biomaterialia, 2011, 7(10): 3796-3803. 

通告

本刊严正声明:远离中介,直接投稿

据作者反映,有些论文代理、中介机构以热加工工艺杂志社的名义在网上代理、接收论文,并向作者提出优先发表的承诺,向作者收取高额费用。代理、中介机构的这种行为严重损害了我刊的声誉,加大了作者发表论文的成本。

对此,热加工工艺杂志社严正声明:

本刊没有与任何论文代理、中介机构合作,也不接受任何论文代理、中介机构的投稿。

请作者不要相信代理、中介机构的任何承诺,直接向我刊自行投稿。如作者有特殊要求,请与我刊联系。

我刊录用稿件时,会综合考虑稿件各方面的信息,但重在稿件自身的质量。

有些代理、中介机构以杜撰与我刊有关系为诱饵,欺骗作者。如果我刊录用了有关稿件,他们就自吹自擂,说是他们的功劳,向作者收取高额费用。如果没有录用,就把责任完全推给作者。其实一篇论文是否被录用,与中介机构毫无关系,完全取决于稿件自身的质量。所以请作者自行投稿,不要通过代理、中介投稿。

我刊收稿量完全满足刊登需求,根本没有必要与代理、中介机构合作。论文代理、中介机构的行为属于违规行为,请作者务必警惕。

请作者相信,我刊的编辑具有极高的职业道德,不会放下自尊,向代理、中介低头。

为了杜绝漏洞,防范经营人员与中介联手,现在我刊规定:经营人员不得以任何理由向编辑、主编推荐论文;编辑、主编不得接受内部任何人员的荐稿。

特别提醒作者:由于我刊收稿量较大,为了不影响您的稿件按时刊出,请您早作准备,提前投稿。

相信自己,远离中介。诚信做人,拒绝代理。相信我们,直接投稿。

本刊联系电话:

029-38316052(主编) 029-38316271(编务 编辑) 029-38316274(编辑)