

大长径比钛合金三通、直角通内部粘着 TA2 细微粉末 清理技术及检测方法

王 洋,王春玲,周龙飞,高 亮,侯东旭,庄树鹏

(首都航天机械公司,北京 100071)

[摘要] 阐述了 TA2 合金零件的工艺流程优化方法,如增加精加工工序、加强冲液控制、完善焊接氩气保护等方法,减少 TA2 细微粉末附着在内壁的几率,达到预期的效果,降低了成本。重点介绍高洁净度要求增压管路大长径比钛合金三通、直角通孔内部粘着 TA2 细微粉末清理技术,为多余物敏感零件的清理提供了新的思路,同时开发了高洁净度要求增压管路大长径比钛合金三通、直角通孔内部粘着 TA2 细微粉末检测方法,为 TA2 细微粉末的量化提供了有效工具,取得了显著的军事及社会效益,通过了多型号航天产品的飞行考核、验证,性能成熟、稳定、可靠。

关键词: 大长径比; TA2; 清理; 检测; 细微粉末

TA2 Cleaning Technology and Detecting Method of Tee Through, Right Through With Large Length to Diameter Ratio

WANG Yang, WANG Chunling, ZHOU Longfei, GAO Liang, HOU Dongxu, ZHUANG Shupeng

(The Capital Aerospace Machinery Company, Beijing 100071, China)

[ABSTRACT] The paper introduces the process optimization method of TA2 components, such as increasing finishing process, strengthening the liquid control, improving welding argon gas protection, to minimize the chance of TA2 fine powder adhering to the wall. The experiment reaches the expected effect and reduces the cost. It mainly introduces the TA2 cleaning technology of the tee through, right through with large length to diameter ratio of the high cleanliness requirements pressuring piping, provides a new method for tailings sensitive parts cleaning, and the result is highly transformed with innovation. The paper develops the TA2 detecting method of the tee through, right through of the high cleanliness requirements pressuring piping, provides the fine powder of quantitative tools, and the military, social benefits. This method has been tested by different products with stable and reliable performance.

Keywords: Large length to diameter ratio; TA2; Cleaning; Detecting; Fine powder

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2017.23/24.098

航天产品中增压输送系统不仅有长时间在轨要求,且增压输送系统多为焊接结构,对增压输送系统的多余物控制和检测就显得尤为重要。高洁净度要求增压输送系统钛合金三通、直角通内部粘着 TA2 钛合金细微粉末问题的发现也使得设计、工艺系统认识到 TA2 钛合金多余物控制和检测的难度和必要性。通过对大长径比钛合金三通、直角通内部粘着 TA2 钛合金细微粉末的清理技术和检测方法的攻关研究,解决了微观多余物问题,保证了产品的焊接和装配质量,提高了型号研制的可靠性。这两项技术均在运载型号中首次采用,创新性

目前该技术领域采用的清理手段和检测技术是通用的多余物清理方法和内窥镜检测多余物方法,且对 TA2 等材料的机加后多余物特性认识不深刻,此项工作的先进性在于使型号研制人员认识到 TA2 等材料的机加碎屑特性,较为彻底地解决了机加碎屑附着力强的产品的清理问题,并提出较为可靠的多余物检测技术。

某型号用气动阀门组件由气动阀门、钛合金三通、直角通、异种焊接接头组成,采用全位置焊接连接,如图 1 所示。焊接前需进行内窥镜检查表面质量,对多余物的控制提出了很高要求。

钛合金三通、直角通零件均为 $\phi 4$ 细长深小孔(三

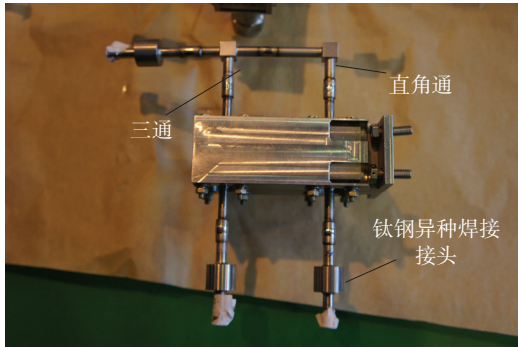


图1 气动阀门及三通、直角通焊接结构示意图
Fig.1 Valve tee through, right through welding structure diagram

通长径比为 50/4=12.5, 直角通长径比为 47/4=11.75) 的相交孔和盲孔结构, 由于 TA2 钛合金的强度高、黏性大、导热性能差, 切削中极易在切削区产生黏性较大的细微粉末, 粘着在零件内表面, 加大了细微粉末清理难度。

为彻底解决黏着在内表面的细微粉末问题, 本项目着重进行以下 3 方面的研究, 以保证产品增压输送系统管路产品的研制质量。

(1) 通过工艺流程优化, 如增加精加工工序、加强冲液控制、完善氩气保护等方法, 减少 TA2 细微粉末附着在内壁的几率;

(2) 通过工艺试验, 制定大长径比钛合金三通、直角通孔内部粘着 TA2 细微粉末清理技术;

(3) 制定大长径比钛合金三通、直角通孔内部粘着 TA2 细微粉末检测方法。

1 试验及方法

1.1 工艺流程优化工艺技术

针对机加过程中出现的 TA2 钛合金粉末, 增加精加工工序、加强冲液控制、完善氩气保护等方法, 减少 TA2 钛合金细微粉末附着在内壁的几率, 项目进行了工艺流程的优化, 首先对零件加工全过程进行梳理和分析:

(1) 直角通、三通零件机械加工。

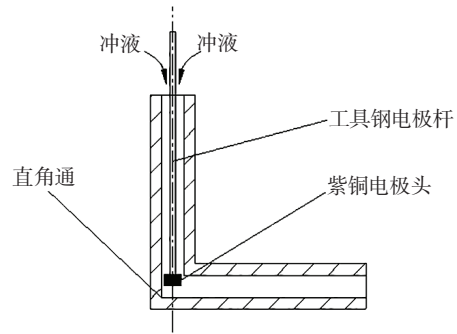
直角通、三通零件 $\phi 4$ 内孔均为车削加工, 加工后采用吹除、清洗、擦试、吹干等工序对产品进行清理, 目视检查。

(2) 直角通、三通电火花去毛刺加工。

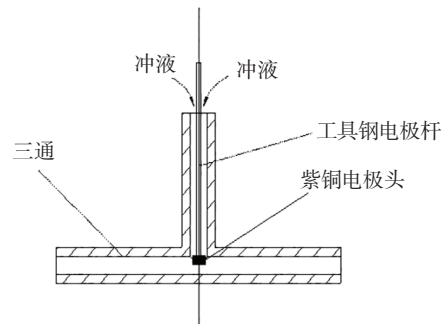
直角通、三通采用电火花工艺去除孔壁相交处的毛刺。电火花去毛刺如图 2 所示, 其原理是通过不断增加电极的摇动量, 使电极不断靠近工件; 利用孔壁相交处紫铜电极头与工件距离最近处的电蚀放电现象来实现毛刺去除^[1-3]。

(3) 直角通、三通酸洗。

TA2 钛合金酸洗过程主要工序为除油→酸洗→气



(a) 直角通去毛刺示意图



(b) 三通去毛刺示意图

图2 电火花去毛刺示意图

Fig.2 EDM deburring diagram

水枪(高压去离子水)冲洗→吹干→检验→交付。酸洗液成分为 H_2SO_4 、 HNO_3 、 HF , 酸洗时间 $\leq 2\text{min}$, 在室温下处理, 目视检查。

(4) 气动阀门组件全位置焊接前零件内窥。

全位置焊接前, 对气动阀门、直角通、三通、异性焊接接头进行内窥, 采用橡胶堵帽进行防护。

(5) 气动阀门组件焊接。

全位置焊接为无添加焊丝的焊接, 焊接过程中产品背部通氩气保护, 且有 O 形环, 保证焊接不会产生多余物。

(6) 气动阀门组件全位置焊接后 X 光检测、内窥。

全位置焊接后, 进行焊接部位 X 光检测、气动阀门组件内窥, 周转过程中均采用保护堵帽防护。

通过对工艺流程的梳理和分析, 发现工艺流程和工艺方法仍有提升和细化的空间:

(1) 将三通和直角通细长的深小孔和盲孔在粗加工后, 留出适当的加工余量, 电火花去毛刺前增加精加工工序, 提高内孔表面质量, 减少 TA2 细微粉末附着在内壁的几率。

(2) 电火花去毛刺是在电火花加工专用油液中进行的, 生成的电蚀产物会在油液中冷凝并在放电爆炸力的作用下排出加工区域。通过控制冲液的洁净度和流量保证在油液中凝固的电蚀屑不会附着在工件表面。

(3) 由于气动阀门接口处为盲腔,为了获得好的气体保护效果,保护气采用高纯氩气,通过一端带出气孔的 $\phi 3$ 规格不锈钢管作为保护气输送的工装,置换出焊缝背面的空气,防止焊接部位内腔出现多余物。图 3 为气动阀门与异种金属连接接头焊接结构示意图。

1.2 大长径比钛合金三通、直角通内部粘着TA2细微粉末清理技术

针对 TA2 细微粉末问题,制定了 3 种试验方案,分别采用磨粒流、电化学加工及手工机械去除 3 种清理方法对直角通和三通零件产品内壁进行清理。清理后采用高倍电镜^[4-5]对采集内壁附着物的胶棒进行观察,结果如下:

(1) 手工机械去除方法:手工机械去除后内壁仍然存在大量的片状和颗粒状机加工碎屑(最大尺寸约为 $40\mu\text{m}$),形貌如图 4 所示。

(2) 电化学清理方法:电化学清洗后内壁存在少量的颗粒状机加工碎屑(最大尺寸约为 $37\mu\text{m}$),形貌如图 5 所示。

(3) 磨粒流清理方法:磨粒流清洗 1h 后内壁存在少量的颗粒状机加工碎屑(最大尺寸约为 $13\mu\text{m}$),磨粒流清洗 2h 后内壁存在极少量的颗粒状机加工碎屑(尺寸小于 $10\mu\text{m}$),形貌如图 6 所示;最大颗粒物直径在 $13\mu\text{m}$ 左右,通过粒子计数器检测,不存在大于 $50\mu\text{m}$ 的粒子,结果如表 1、2 所示。

3 种清理方法的比对观察结果表明:磨粒流清理方

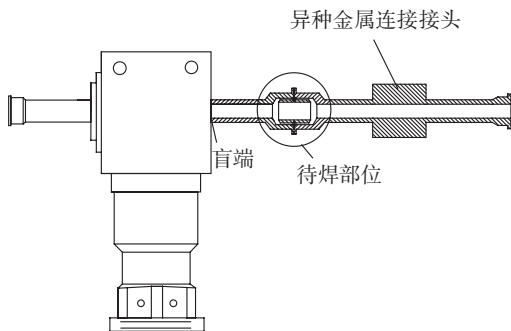


图3 气动阀门与异种金属连接接头焊接结构示意图
Fig.3 Valve dissimilar metal joint structure diagram

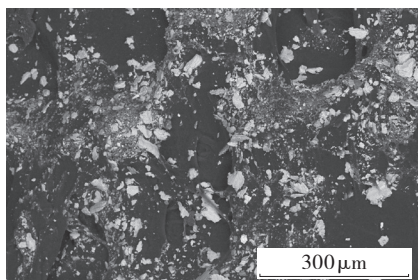


图4 手工机械去除后内壁机加工碎屑
Fig.4 Remaining debris after manual cleaning

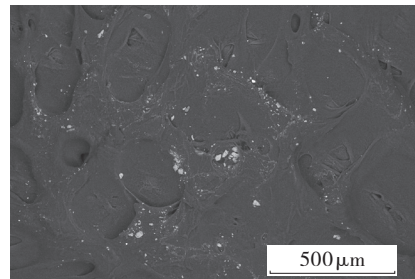
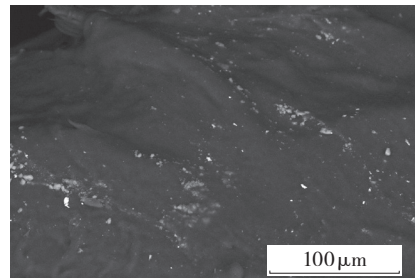
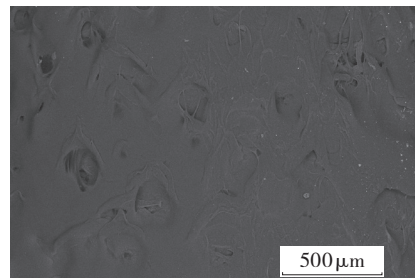


图5 电化学清洗后内壁机加工碎屑
Fig.5 Remaining debris after electrochemical cleaning



(a) 磨粒流 1h



(b) 磨粒流 2h

图6 磨粒流清洗后形貌

Fig.6 Remaining debris after abrasive flowing cleaning

法最有效,其中磨粒流清理 2h 后内壁残留的机加工碎屑最少。最终选定增加磨粒流工序作为此项产品多余物控制保证措施:电火花去毛刺工序后增加磨粒流工序,设计专用工装利用磨粒流工艺提高三通、直角通、O 形环内表面光洁度,去除残留 TA2 细微粉末。

通过工艺试验,对 3 种清理方法进行比对分析,表明磨粒流清理方法最有效,其中磨粒流清理 2h 后内壁残留的机加工碎屑的细微粉末最少。

1.3 大长径比钛合金三通、直角通内部粘着TA2细微粉末检测方法

将磨粒流工艺处理过的三通、直角通利用粒子计数器系统进行检测,利用酒精增压清洗系统调压后约 1MPa 压力的纯酒精将机加后的零件进行清洗,将清洗后的酒精收集到一个定量的容器中,利用粒子计数器进行粒子判读^[6-7]。此项检测方法为细微粉末多余物控制提供了可靠依据,设计人员借鉴卫星阀门用钛合金类机加产品多余物控制的经验,制订了本型号产品钛合金类

机加产品粒子判读仪检查颗粒度要求,要求不允许存在 $50\mu\text{m}$ 以上的颗粒。

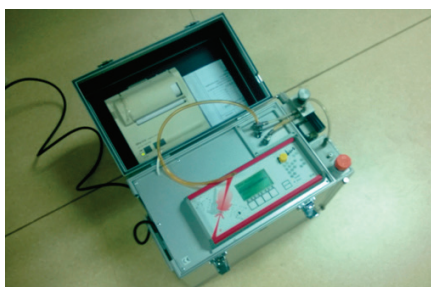
某型号所用的钛合金三通、直角通在经磨粒流处理后利用上述方法进行的判读,判读结果如图7所示。判读结果(图7(b))含义为:第1列按粒子直径大小分成六档,第2列本档直径最大值,第3列每档检出的粒子

表1 直角通粒子计数结果

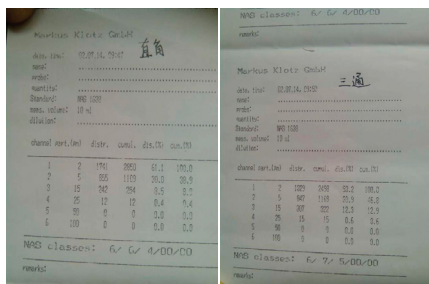
本档直径最大值/ μm	每档检出的粒子数	大于本档直径的粒子总数累计	本档粒子占大于等于此档直径粒子总数的比例/%	本档粒子数占总粒子数比例/%
2	1741	2850	61.1	100.0
5	855	1109	30.0	38.9
15	242	254	8.5	8.9
25	12	12	0.4	0.4
50	0	0	0.0	0.0
100	0	0	0.0	0.0

表2 三通粒子计数结果

本档直径最大值/ μm	每档检出的粒子数	大于本档直径的粒子总数累计	本档粒子占大于等于此档直径粒子总数的比例/%	本档粒子数占总粒子数比例/%
2	1329	2498	53.2	100.0
5	847	1169	33.9	46.8
15	307	322	12.3	12.9
25	15	15	0.6	0.6
50	0	0	0.0	0.0
100	0	0	0.0	0.0



(a) 粒子计数器



(b) 三通、直角通粒子检测结果

图7 粒子计数结果

Fig.7 Results of counting

数,第4列大于本档直径的粒子总数累计,第5列本档粒子占大于等于此档直径粒子总数的比例,第六列本档粒子数占总粒子数比例^[8-11],经检测产品要求,不存在 $50\mu\text{m}$ 以上的颗粒。

为型号设计人员设置检验指标提供了借鉴,填补了对多余物敏感类产品,如阀门、管路等在此项检验指标上的空白。

2 结果与讨论

(1)开发了零件的工艺流程优化方法,如增加精加工工序、加强冲液控制、完善焊接氩气保护等方法,减少TA2细微粉末附着在内壁的几率,达到了预期效果,降低了成本,从零件制造的各个环节把控多余物,为同类型要求的零件的生产提供了借鉴;

(2)突破了大长径比钛合金三通、直角通孔内部粘着TA2细微粉末清理技术,为多余物敏感零件的清理提供了新的思路,达到了预期的效果,在本单位后续运载、武器型号中的增压管路系统中涉及到钛合金接头类产品普及了此项清理技术,成果起到了一定的积极作用;

(3)开发了大长径比钛合金三通、直角通孔内部粘着TA2细微粉末检测方法,为TA2细微粉末的量化提供了有效的工具,达到了预期效果,具备创新性,取得了一定的军事及社会效益。

3 结论

(1)通过工艺流程优化,如增加精加工工序、加强冲液控制、完善氩气保护等方法,减少TA2细微粉末附着在内壁的几率。

(2)TA2细微粉末粘着力较强,使用通用的多余物清理手段难以去除,通过工艺试验制定大长径比钛合金三通、直角通内部粘着TA2细微粉末清理技术,较为彻底地解决了机加碎屑附着力强的产品的清理问题。

(3)制定大长径比钛合金三通、直角通内部粘着TA2细微粉末检测方法并通过有效试验验证了检测方法的可靠性。

参考文献

- [1] 张人信. 先进成型制造实用技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
ZHANG Renxin. Advanced forming technology of manufacturing[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009.
- [2] 袁哲俊, 刘华明. 孔加工刀具、铣刀、数控机床用工具系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
YUAN Zhejun, LIU Huaming. The machining tool, milling cutter, numerical control tool system[M]. Beijing: China Machine Press, 2009.
- [3] 袁哲俊, 王先逵. 精密和超精密加工技术[M]. 北京: 机械工

业出版社, 1999.

YUAN Zhejun, WANG Xiankui. Precision and ultra-precision processing technology[M]. Beijing: China Machine Press, 1999.

[4] 邓学忠, 冉启奎. 精密复杂零件的工艺设计过程分析[J]. 航天制造技术, 2011(3): 24-28.

DENG Xuezhong, RAN Qikui. The process design of complex precision components for process analysis[J]. Aerospace Manufacturing Technology, 2011(3): 24-28.

[5] 张建中. 机械制造工艺学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.

ZHANG Jianzhong. Machinery manufacturing technology[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2009.

[6] MAXWELL J. Manufacturing and applications of non-rotationally symmetric optics[M]. Hawaii: SPIE, 1999.

[7] IKAWA N, SHIMADA S, TANAKA H. Minimum thickness of cut in micromachining[J]. Nanotechnology, 1992, 3(1): 6-9.

[8] OHMORI H, NAKAGAWA T. Analysis of mirror surface generation of hard and brittle materials by ELID(electrolytic in-process dressing) grinding with superfine grain metallic bond wheels[J]. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 1995, 44 (1): 287-290.

[9] MARTIN H M, ALLEN R G, BURGE J H. Fabrication of mirrors for the Magellan Telescopes and Large Binocular Telescope[C]//Proceeding of SPIE, Hawaii: 2003.

[10] KHAIRY A. Aspects surface and edge finish by magneto abrasive particles [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 116(1): 77-83.

[11] WERNER A, SKALSKI K, PISZCZATOWSKI S. Reverse engineering of free-form surfaces[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1998, 76(1-3): 128-132.

通讯作者: 王洋, 工程师, 研究方向为机械工程, E-mail: 3911636@qq.com。

(责编 大漠)

(上接第92页)

Manufacturing Technology, 2013, 56(22): 34-39.

[6] 侯志霞, 刘建东, 薛贵军, 等. 柔性导轨自动制孔设备控制技术[J]. 航空制造技术, 2009(24): 58-60.

HOU Zhixia, LIU Jiandong, XUE Guijun, et al. Control technology of flexible track automatic drilling machine[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009(24): 58-60.

[7] 张冉冉, 胡永祥, 姚振强. 大型小曲率部件自动制孔设备柔性导轨设计爬行[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2012(3): 1-5.

ZHANG Ranran, HU Yongxiang, YAO Zhenqiang. Design optimization of the flex track for auto-drilling machine on large surface of aircraft assembly[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2012(3): 1-5.

[8] 陶永, 袁培江, 王田苗. 基于柔性轨道的航空制孔机器人[C]//中国自动化学会控制理论专业委员会. 第32届中国控制会议论文集. 北京: 中国自动化学会控制理论专业委员会, 2013.

TAO Yong, YUAN Peijiang, WANG Tianmiao. The aeronautical drilling robot based on flexible track[C]//Technical Committee on Control

Theory, Chinese Association of Automation. Proceedings of the 32nd Chinese Control Conference. Beijing: Technical Committee on Control Theory, Chinese Association of Automation, 2013.

[9] 甘露, 姚艳彬, 魏超. 爬行机器人制孔系统在飞机装配中的应用研究[J]. 航空制造技术, 2013(20): 80-82.

GAN Lu, YAO Yanbin, WEI Chao. Research on application of crawler robot drilling system in aircraft assembly[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013(20): 80-82.

通讯作者: 王良, 高级工程师, 主要研究方向为飞机装配、飞机数字化制造技术, E-mail: wang.liang@sacc.com.cn。

(责编 大漠)

(上接第97页)

究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2012(12): 109-112.

XU Xiaoxia, HU Yongxiang, YAO Zhenqiang. Experimental studies of process parameters for interfacial burr in dry drilling of stacked aluminum alloy sheets[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2012(12): 109-112.

[7] 李源, 胡永祥, 姚振强. 预压紧力下叠层铝合金钻孔层间毛刺试验研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2014(2): 111-113.

LI Yuan, HU Yongxiang, YAO Zhenqiang. Experimental investigation of the effect of clamping force on the inter-layer drilling burr of stacked aluminum alloy sheets[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2014(2): 111-113.

[8] 李夏. 机器人自动螺旋铣制孔过程压脚压紧力优化[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.

LI Xia. Pressure-force optimization in the process of robotic automatic orbital drilling[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.

[9] 卢志军. 制孔质量约束的铝合金薄壁叠层结构单向预压钻孔工艺研究[J]. 航空制造技术, 2015(S2): 152-156.

LU Zhijun. Study of one-side pressed drilling process of aluminum alloy thin-walled laminated structure[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015(S2): 152-156.

[10] 王豪, 孙鑫, 胡坚, 等. 基于不同压紧条件下叠层材料制孔层间毛刺的实验研究[J]. 机械制造, 2016, 54(1): 51-54.

WANG Hao, SUN Xin, HU Jian, et al. Experimental study on interlaminar burr of laminated material under different compression conditions[J]. Machinery, 2016, 54(1): 51-54.

[11] 苏海, 马兴海, 王娟, 等. 运载火箭铝合金叠层壁板自动化制孔工艺对钻孔毛刺影响的研究[J]. 航空精密制造技术, 2017, 53(1): 26-59.

SU Hai, MA Xinghai, WANG Juan, et al. Experimental studies of automatic drilling on the large rocket panel components[J]. Aviation Precision Manufacturing Technology, 2017, 53(1): 26-59.

通讯作者: 林涛, 工程师, 研究方向为运载火箭舱段自动钻铆及先进连接装配技术研究与应用, E-mail: 15922187591@126.com。

(责编 大漠)