

高质量低成本复合管壳制备工艺研究

张春晖 吴亚琴 梁田 姚建波 吴志强
(南京三乐集团有限公司 江苏 南京 211800)

摘要: 针对螺旋线行波管的关键部件—复合管壳慢走丝二次加工内孔存在的直线度超差、加工成本高以及表面腐蚀层影响可靠性的问题,一方面利用中走丝低成本的优势,另一方面利用珩磨高精度的优点,进行了大量的工艺试验,并确定了中走丝和珩磨工艺参数,经多个批次验证,实现了复合管壳的低成本二次加工,并确保了复合管壳内孔直线度。在提高管壳内孔表面质量的同时,也进一步提升了螺旋线行波管的可靠性。

关键词: 低成本; 高质量; 复合管壳; 中走丝; 珩磨

0 引言

行波管作为现代化作战武器的“心脏”,随着信息化进程的加快,整机对行波管的工作环境要求越来越高,复合管壳具有散热好、小型化的优点被广泛应用于螺旋线行波管。复合管壳由几十个极靴和连接环相间放置焊接成管壳毛坯,再利用二次加工(慢走丝)保证管壳内孔的尺寸精度和表面质量。复合管壳内孔的尺寸精度与整管的散热息息相关,而内孔表面质量好坏直接影响整管的工作真空度以及可靠性。目前慢走丝加工尽管可达到 $Ra0.4\mu m$,但加工时间长、成本高,且在轴向上存在腰鼓形。慢走丝加工的特点会使管壳内壁产生腐蚀层,腐蚀层在受到电子轰击时因为本身含气会释放大量的气体,并直接影响微波管的真空度。为了提高整管性能及可靠性,降低成本,适应大批量产品生产需求,亟需开展复合管壳高质量、低成本工艺研究。

1 工艺现状分析

复合管壳毛坯如图1所示,管壳的孔径一般都是长径比大于20的深孔,某产品复合管壳孔径为 $\Phi 2.46 \pm 0.010mm$,长度52.95mm(长径比为21.5),内孔直线度 $\leq 0.005mm$,孔壁粗糙度 $Ra \leq 0.4\mu m$ 。



图1 复合管壳毛坯实物

为了保证尺寸精度和表面粗糙度,通常采用慢走丝加工管壳内孔,普遍采用“割一修四”的加工工艺,但管壳由几十个无氧铜和纯铁相间焊接而成,直接切割会产生小段废料且很难排出,易造成零件和废料之间的电腐蚀。为此,先采用慢走丝进行无废料加工,去除大量毛坯,单边保留0.1mm的余量,再精加工圆孔。一般情况下尺寸精度和粗糙度合格,但存在如下问题:

- (1) 管壳内孔直线度不能完全满足要求,内孔直径常出现中间小、两端大或是一端大一端小的现象;
- (2) 加工费用高。加工一根管壳需要6小时,每件加

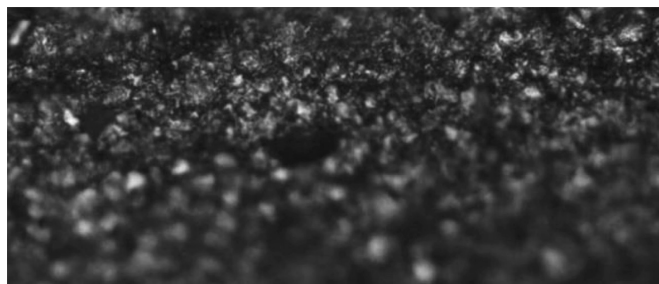


图2 慢走丝切割内孔表面

工费用900元左右,不适合批量加工;

(3) 孔内壁因为腐蚀层的因素造成整管真空度受到影响,同时整管的可靠性也无法保证。鉴于此对合格管壳进行解剖,并测量孔内壁的表面粗糙度,测量结果为 $Ra0.4\mu m$,表面状态如图2所示,相对比于国外管壳,在其孔壁上并没有腐蚀层,而且存在有规律的交叉状网纹,且表面粗糙度为 $Ra0.2\mu m$ 。

通过以上分析可知,目前复合管壳二次加工采用慢走丝切割工艺,单纯从尺寸精度方面看,尚基本满足要求,但对于保证整管的性能和可靠性以及成本方面考虑,复合管壳工艺亟需改进提升。

2 工艺研究过程及结果

根据上述的分析,采用慢走丝的方式来加工复合管壳存在三个主要问题。为此,以问题为出发点,从工艺角度寻找解决问题的办法,提高复合管壳表面质量,降低成本,为批量生产提供保障。

考虑到中走丝具备低成本的优势,将慢走丝改为中走丝粗加工,再利用珩磨精加工,提高内孔的直线度和表面质量。

2.1 中走丝多次切割试验

采用中走丝切割的方式因为受到的影响因素较多,故在进行中走丝切割工艺研究时,分别以表面粗糙度和加工速度为指标开展正交试验。

试验条件:

- (1) 试验设备: DK7732 往复中走丝线切割机床;
- (2) 电极丝: $\Phi 0.18mm$ 的钼丝;
- (3) 工作液: JR3 复合作业液;

- (4) 工件：复合管壳样件，长度 52.95mm；
- (5) 测量工具：粗糙度测量仪。

此次试验选择峰值电流、加工脉宽、切割偏移量及切割运丝速度等影响加工工艺指标的多个因素开展试验。通过对第三次切割完后的加工速度和表面粗糙度进行测试，在综合考虑切割速度、相对偏移量等因素外，选用 $f_1=50\mu\text{m}$ 和 $f_2=12\mu\text{m}$ 时加工的复合管壳内孔表面粗糙度能达到最好。为得到最佳的表面粗糙度和加工速度，根据上述试验测试得出第二次运丝速度对表面质量影响较小，而第三次运丝档位对表面粗糙度的影响最大，故第二和第三次运丝速度可分别选择在 5 档和 8 档。

兼顾效率和质量，第二次选用 5 档，第三次选用 8 档，每根管壳加工耗时 2h， $Ra1.2\mu\text{m}$ 左右。

2.2 珩磨加工工艺

珩磨是机械零件精加工的一种高效的加工方式，具备加工精度高、表面质量好、切削余量少以及纠正孔加工缺陷等优点。

对于一些中小型的通孔使用珩磨技术进行加工，其圆柱度可以达到 0.001mm ，在加工一些壁厚不均匀的零件时也能保证其圆度到 0.002mm 。

利用中走丝粗加工管壳内孔，管壳在加工过程中难免存在一些加工缺陷。如：失圆、喇叭口、尺寸小、腰鼓形及表面粗糙等。而珩磨是磨削加工的特殊形式，这种工艺不仅能去除较大加工余量，而且能极大改善和提高零件的尺寸精度、圆度、直线度、圆柱度和表面粗糙度。

(1) 切削速度与切削交叉角的选择

旋转速度 V 和往复速度 V 合成切削速度。在珩磨加工中，由于切削运动的作用，珩磨油石的磨粒在加工面上切削出交叉的网纹。其网纹形成的角度称之为切削交叉角 θ ，上升网纹与水平线形成的角度称为 α ，下降网纹与水平线形成的角度叫做切削降角 α 。

珩磨切削速度可按如下公式计算。圆周旋转速度计算公式为：

$$V = \pi Dn/1000 \text{ (m/min)} ;$$

D 为被加工直径 mm， n 为主轴转速 r/min；
管壳孔内直径 $\Phi 2.46\text{mm}$ ，主轴转速选用 2000r/min；

影响珩磨质量的重要因素有切削速度和切削交叉角，在珩磨加工中，对切削量和珩磨油石磨损量以及表面粗糙度影响较大是切削交叉角。增加切削交叉角、比磨石减量、被加工面粗糙度随着增加。这是因为在珩磨切削过程中，加工面表面粗糙度决定珩磨油石的锐利，锐利的珩磨油石切削量才能提高，而油石要锐利就必然要磨损。当切削交叉角为 0° 时，切削效率低；当切削交叉角为 90° 时，珩磨油石磨损大，加工表面粗糙度大。

通过实验，当切削交叉为 45° 时切削量最大。因此，在珩磨加工中，要提高生产效率应采用 45° 左右的切削交叉角，在精加工中可采用 $20 \sim 30^\circ$ 。

(2) 珩磨油石工作压力选择

珩磨油石工作压力定义为珩磨油石作用在被加工表面的压强，可以根据如下公式计算：

$$P = (d^2 \pi p / 4bln) \text{ctg } \beta / 2$$

P 为珩磨油石工作压力， b 为珩磨油石宽度， l 为珩磨油石长度， n 为珩磨油石条数。

珩磨切削性能取决于珩磨油石工作压力，切削效率、珩磨油石磨损量和加工质量受到直接影响。珩磨工作压力大，珩磨切削量和珩磨油石磨损量则大，尺寸精度和表面粗糙度差。珩磨工作压力小，切削量和珩磨油石磨损量则小，尺寸精度和表面粗糙度好，然而加工效率低。根据机床动力、珩磨头及珩磨夹具的刚性、加工件的材质（铜、铁）并兼顾效率和精度等因素，通过多次试验对比，最终优选压力如下：

表 珩磨油石工作压力的选择

加工要求	珩磨油石工作压力 (Kgf) /cm ²
粗加工	8 ~ 15
精加工	2 ~ 5
超精加工	0.5 ~ 1

(3) 珩磨工作行程的调整

想要加工出直径一致、圆柱度好的内孔，应该调整好珩磨工作行程及相应的越程量。珩磨油石在被加工孔小的越程量 l 和 l 一般为珩磨油石长度的 $\sim$ 。它与珩磨头油石座的支撑点、珩磨机床往复运动情况在两端停留时间以及加工零件的材料形状有关。当一端越程量大时，易产生喇叭口形；当一端越程量小时，易产生口部变小；当两端越程量大或小时，易产生腰鼓形。当一端越程量大时，一端越程量小时，易产生锥度。因此，为了满足加工质量要求，需要进行试珩，根据高频管壳孔径尺寸，调整越程量，直至合格。

2.3 试验数据

通过中走丝多次切割工艺试验以及珩磨工艺参数试验与选择，共加工 8 个批次，合计 46 件，尺寸精度、表面质量均符合设计要求，耗时由慢走丝切割 6 小时降为 3 小时，实物内表面放大如图 3 所示，粗糙度为 $Ra0.2\mu\text{m}$ 。

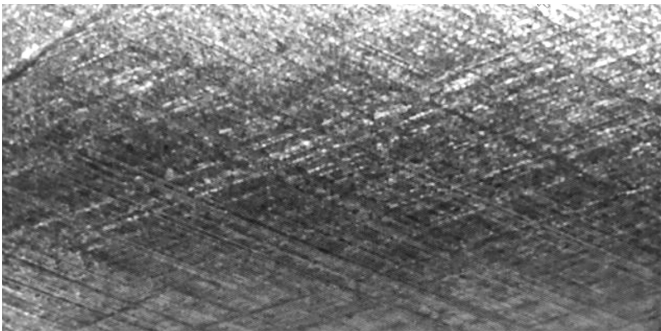


图 3 管壳内孔珩磨表面（500 倍）

3 结语

通过分析慢走丝加工复合管壳存在的问题，充分利用中走丝高效率、低成本和珩磨的高精度、低表面粗糙度的特

(下转第 117 页)

维持低效率的运行状态；第三是液压系统出现堵塞；第四，油冷却器散热不畅。

当液力变矩器出现油温过高的问题，要在第一时间停车检查。

第一，需要检查冷却系统的液位，同时检查整个冷却系统和管路，查看是否发生泄漏。

第二，如果经过判断之后发现油位符合要求，还需要对机器的运行效率进行调整，确保液力变矩器处于高效运行状态，减少其在低效区的运行时间。如果冷却液的温度比较高的话，还需要检查油液当中是否混有金属粉末，因为一旦工作轮的轴承发生松动或者损坏，就会发生磨损。

第三，需要对油管 and 冷却器的状态进行检查，测定这两个构件的温度。如果是因为卸油管或者冷却器堵塞而造成油温过高的话，需要将其拆卸，将堵塞物清除。

第四，如果油冷却器散热不畅的话，也可能会造成油温过高的问题，因此工作人员需要对排风扇进行定期检查和定期清理。

2.2 供油压力过低

供油压力过低指的是液力变矩器进口位置的油压明显低于标准水平。具体来说，如果低于标准值的话，可以是几个原因造成的：第一是油位过低、供油量过少；第二是油管发生堵塞或者泄露；第三是压力阀弹簧刚度减小。

对于这一问题，第一要检查油位。而如果油位低于标准水平的话，则需要及时补充油液。在这个过程中，要注意的是同一牌号的油液。如果油位正常，则需要检查油管，查看是否存在漏油的问题。第二，需要将滤网或者油管拆下检查，如果发生沉积物堵塞问题的话，需要及时清除。如果油管没有发生堵塞的话，则要检查液压泵。第三，要查看压力阀是否处于正常的状态。具体来说，如果进出管位置的密封状态良好的话，还需要查看压力阀是否能够正常关闭，检查内部是否存在裂痕，油孔和油路是否保持通畅，并对弹

簧刚度进行检查。

2.3 动力不足

液力变矩器动力不足指的是在工程机械在挂档起步并提高发动机转速的时候发现动力不足，无法正常加速。造成这一现象的主要原因是液力变矩器内部超越离合器发生损坏。

面对动力不足的问题，首先要判断液力变矩器内超越离合器是否发生损坏，如果损坏的话，导轮的传递作用将会大大降低甚至直接失效。如果超越离合器发生损坏，发动机的力矩只能传递单个导轮。在这样的情况下，液力变矩器的运行效率大大降低，进而出现动力不足。由此可见，更换超越离合器是解决动力不足的主要方式。

3 结语

总的来说，在运行的过程当中，液力变矩器可以通过自动变矩的方式来适应外部荷载，具有较强的适用性。但与此同时，液力变矩器在工程机械当中运用的时候容易出现油温过高、供油压力过低以及动力不足的故障。面对这些问题，维修技术人员需要了解液力变矩器的结构特点和性能，做好运行前检查，将故障及时排除。

参考文献：

- [1] 苑光明,申敏,张春慧,等.基于LabVIEW的液力变矩器性能测试系统报表生成技术研究[J].工程机械,2013,44(9):30-33.
- [2] 李文嘉,王安麟,孟庆华,等.液力变矩器动态循环流量的传递函数表征法[J].华南理工大学学报(自然科学版),2016,44(07):22-28.
- [3] 惠记庄,张金龙,雷景媛,等.装载机闭锁式液力变矩器的闭锁控制及仿真分析[J].筑路机械与施工机械化,2017,34(03):95-102.
- [4] 陈海虹.液力变矩器在工程机械上的应用和发展[J].贵州工业大学学报(自然科学版),2001,30(4):84-87.

(上接第115页)

点,有效解决了复合管壳慢走丝切割的直线度超标、成本高和腐蚀层的问题,通过试验确定了兼顾成本和质量的中走丝切割和珩磨工艺参数;采用珩磨技术加工管壳内部,改善了管壳内孔的直线度,目前可达到0.002mm,完全满足0.005mm的精度要求;成本大幅降低,每件节约成本约670元,节约工时3h;管壳内孔表面无腐蚀层,有效避免了因腐蚀层的含气和工作状态下的气体解吸,有利于保证整管真空度,提升了整管的可靠性。

参考文献：

- [1] 杨建中,尹文学.复合管壳焊接工艺[J].真空电子技术,2005,(2)
- [2] 郭开周,.行波管研制技术[M].北京:电子工业出版社2008,236
- [3] 熊元一,郭建忠,侯军丽,等.珩磨工艺原理简介[J].机械工人.冷加工,2004(05).