

天线波导裂缝慢走丝线切割技术研究

王建华¹ 王明军² 范永庆¹ 梁峰¹

(1. 北京华航无线电测量研究所, 北京 100013; 2. 北京航星机器制造公司, 北京 100013)



摘要: 针对微细天线波导裂缝结构的铣削加工难题, 提出了一种慢走丝线切割加工技术方案, 解决了加工工艺技术、电极丝直径与缝宽匹配性技术、电加工参数技术等关键技术, 实现了缝宽尺寸 0.6mm 及以下微细裂缝结构的加工。

关键词: 天线波导; 裂缝; 慢走丝线切割

Study on Wire Cutting Technology for Antenna Wave-guide Seam

Wang Jianhua¹ Wang Mingjun² Fan Yongqing¹ Liang Feng¹

(1. Beijing Huahang Radio Measurement & Research Institute, Beijing 100013;

2. Beijing Hangxing Machinery Manufacturing Co., Ltd., Beijing 100013)

Abstract: This paper aims at the machining difficulty in antenna wave-guide seam, presented a wire cutting method, solved the key problems including process planning, mating of the wire diameter and seam width, wire cutting parameters, realized the machining of antenna wave-guide seam whose width was less than or equal to 0.6mm.

Key words: antenna wave-guide; seam; wire cutting

1 引言

随着新型双极化复合天线设计需求的不断提升, 波导裂缝设计为全新的密集形平行窄缝或十字缝结构, 缝隙数量急剧增加为 1000 至 2000 余个, 缝隙最小宽度尺寸减小为 0.6mm 或者更小。若采用常规铣削加工方式, 微细直径刀具磨损和断裂严重, 裂缝加工精度和尺寸一致性很难保证, 根本无法满足加工要求, 迫切需要采取一种全新的加工方式, 本文对慢走丝线切割技术在微细波导裂缝加工中的应用进行了确定。

2 零件结构特点和设计要求

波导缝隙结构分布于直径为 $\Phi 300\text{mm}$ 左右、厚度 1mm 或 1.5mm 的铝合金平板结构上, 零件材料为 LF21、Y。零件结构简图见图 1、图 2。典型结构特点为:

- 分布密度大, 最多数目达 2000 余个;
- 尺寸微细、最小缝宽 0.6mm 或者更小;

c. 精度要求高, 尺寸公差 $\pm 0.01\text{mm}$, 位置度 0.01mm;

d. 表面粗糙度要求高, $R_a 0.8\mu\text{m}$;

e. 加工一致性要求高。

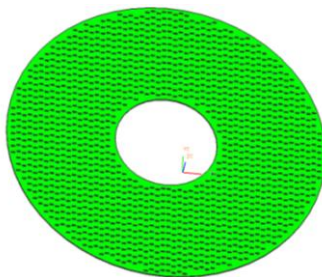


图 1 某天线微细缝隙阵列结构

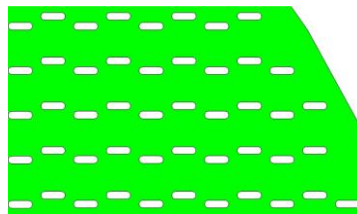


图 2 某天线微细缝隙阵列局部放大图

3 存在的关键工艺技术和难点

选用的慢走丝线切割加工设备为 CUT200SP, 附带直径 $\Phi 0.25\text{mm}$ 的黄铜丝切割装置及直径 $\Phi 0.07\text{mm}$ 的细丝切割装置。

拟通过实际加工试验, 确定出一种针对缝宽尺寸小于等于 0.6mm 的裂缝结构的数控铣削加工替代工艺方案, 即慢走丝线切割加工方案。同时, 确定出不同切割丝直径对不同缝宽尺寸的加工适用性。存在的关键工艺技术问题有:

a. 慢走丝线切割工艺方案及数控编程技术: 确定合理的加工工艺流程、电极丝直径、预钻穿丝孔直径和位置、粗精加工方案和精密切割次数等, 保证零件整体加工精度和尺寸一致性。

b. 电极丝直径选用与缝宽的匹配性技术: 确定不同的电极丝直径切割装置, 对不同裂缝宽度尺寸的加工适用性。

c. 电加工参数技术: 确定不同材料和结构形式的加工规律, 设定合理的电极丝脉冲电源参数和机床参数, 如电极丝张力、进给速度、脉冲间隔、加工频率等。

4 研究过程及主要研究内容

分别进行了自动穿丝的适用性试验、 $\Phi 0.25\text{mm}$ 直径的黄铜丝切割试验, 以及 $\Phi 0.07\text{mm}$ 直径的细丝切割试验。

4.1.1 自动穿丝操作的适用性试验

慢走丝线切割机床自动穿丝操作的工作原理: 机床发出自动穿丝指令后, 穿丝水柱依靠气压驱动, 带动电极丝自动穿丝操作。经过实际穿丝试验验证, 由于 CUT200SP 型机床配置的穿丝水柱的直径为 $\Phi 0.5\text{mm}$, 所以, 自动穿丝操作仅适用于直径 $\geq \Phi 0.5\text{mm}$ 的穿丝孔。对于直径小于 $\Phi 0.5\text{mm}$ 的穿丝孔, 仅能依靠手动穿丝操作。

4.1.2 $\Phi 0.25\text{mm}$ 直径的黄铜丝套装切割试验

采用 $\Phi 0.25\text{mm}$ 直径的黄铜丝, 对宽度 0.6mm 的裂缝结构进行了切割试验。

a. 数控加工中心在每个宽度 0.6mm 的裂缝一端圆弧圆心处钻 $\Phi 0.5\text{mm}$ 穿丝孔。

b. 采用自动编程软件 PEPS, 绘制并指定待加工轮廓和具体穿丝点和起割点位置, 见图 3。

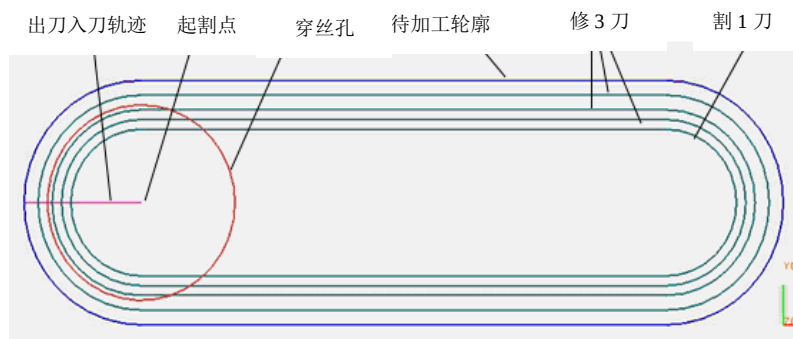


图3 裂缝外形轮廓及切割轨迹

c. 制定待加工轮廓切割工艺方案和具体切割参数。CUT200SP 线切割机床自带工艺专家系统, 可根据用户的加工需求自动生成切割工艺参数。所以, 用户只需要在机床的交互式界面中输入材料、零件高度、锥度专家参数、切割次数、要求的尺寸精度和表面粗糙度、并选择电极丝材料及直径, 工艺专家系统即可根据用户需求自动生成每次切割的速度、加工余量、

上下机头偏移量等切割参数。

对于缝隙阵列结构, 在机床操作界面输入以下参数: 零件材料铝 LF21、Y; 板厚度 1mm ; 电极丝直径 $\Phi 0.25\text{mm}$; 共切割 4 刀, 即粗切 1 次, 修复 3 次; 切割后尺寸精度 0.01mm ; 表面粗糙度为 $R_a 0.8\mu\text{m}$ 。

输入以上加工要求后, 机床工艺专家系统自动生成 4 次切割操作和相应的切割参数, 见表 1、表 2。

表 1 机床操作系统人机交互界面

EDM专家								
1. 工件描述		2. 加工限制		3. 电极丝选择		4. 直径/mm		
材料	铝	条件	打开	ACBRASS500		0.07		
高度/mm	0.5	锥度/(°)	0	ACBRASS900	*	0.1		
		锥度专家	是	ACCUTA500		0.15		
		NbP	4	ACCUTA900		0.2		
		Tkm/μm	10	ACCUTD500		0.25	*	
		Ra/μm	0.8	ACCUT		0.30		
5. 排序和选择Ra序列 序列号=1								
N	类型	名字	电极丝	Hmin/mm	Hmax/mm	Tkm/μm	Ra/μm	速度/mm·min ⁻¹
1	STD	FAST	ACBRASS900 0.25	5	150	5.00	2.8	12.49
6. 生成的序列 Sequence 1								
单步	T	电极丝	Ra/μm		速度/mm·min ⁻¹		偏移/μm	
1	2	ACBRASS900 0.25	4.50		18.27		235.0	
2	7	ACBRASS900 0.25	2.80		39.50		153.0	
3	8	ACBRASS900 0.25	1.00		26.50		138.0	
4	23	ACBRASS900 0.25	0.50		20.00		131.0	

表 2 具体切割参数

单步	T	速度 /mm·min ⁻¹	Ra/μm	偏移/μm	OFS/μm	OFS Sup/μm	PMR /μm	M/μs	s/μs	VM/V	VP/V	AL/A	B/μs	A/μs	TAC/μs
1	2	18.27	4.50	235.0	170.0	170.0	0.0	1	2	80	250	5.0	12.0	0.5	0.30
2	7	39.50	2.80	153.0	138.0	138.0	50.0	37	2	120	220	5.0	6.0	0.1	0.10
3	22	26.50	1.00	138.0	134.0	134.0	11.0	59	2	200	104	3.0	1.0	0.4	0.05
4	24	20.00	0.50	131.0	131.0	131.0	4.0	59	1	100	104	3.0	1.0	0.4	0.05

4.1.3 Φ0.07mm 直径的细丝套装切割试验

采用 Φ0.07mm 直径的黄铜丝，对宽度 0.2mm 的裂缝结构进行了切割试验。

在宽度 0.2mm 的裂缝一端圆弧圆心处钻 Φ0.15mm 穿丝孔。经实际试验，因穿丝水柱直径为 Φ0.5mm，所以无法实现自动穿丝操作。只能手动穿丝，实现切割功能。

在宽度 0.2mm 的裂缝一端圆弧圆心处钻 Φ0.5mm 穿丝孔。可实现自动穿丝操作。自动穿丝后，可实现对宽度 0.2mm 裂缝的切割功能；但裂缝一端 Φ0.5mm 穿丝孔过大，不满足裂缝图纸设计要求。

通过对加工中的关键问题进行攻关，验证了慢走丝线切割加工对微细波导裂缝结构加工的可行性：

a. 宽度≥0.6mm 的波导裂缝，可以采用 Φ0.25mm 直径的黄铜丝切割套装进行慢走丝线切割加工，可实现自动穿丝功能。

b. 宽度 0.2～0.5mm 的波导裂缝，可以采用 Φ0.07mm 直径的黄铜丝切割套装进行慢走丝线切割加工，但需要进行手动穿丝操作。

参考文献

1 王泽立. 慢走丝线切割在雷达导引头中的应用[J]. 航天制造技术, 2017(6): 32~34

5 结束语