

激光切割加工整流器内外环 叶形孔的工艺

中航工业南方公司 (湖南株洲 412002) 陈亚琴 皮克松

【摘要】对某发动机内外环上的叶形孔进行激光切割工艺试验, 确定合理的激光切割参数, 并对加工好的叶形孔进行焊接试验, 分析激光切割加工的重铸层对零件氩弧焊的影响。结果显示, 激光切割的叶形孔中少量重铸层对整流器叶片焊接质量无影响。因此, 整流器叶形孔的加工方法由冲孔改为激光切割是可行的, 可用于正常生产。

1. 概述

某发动机是定型多年的老机种, 零件生产批量大, 生产进度要求快, 要求加工工艺必须稳定可靠。其整流器内外环是一种环形冲压件, 上面有许多均布的叶形孔, 如图1所示。

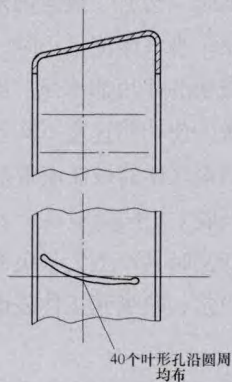


图1 整流器内外环

这些零件的叶形孔一直都是在卧式冲床上加工, 叶形孔的均布度由与冲模合用的合格分度盘分度保证, 叶形孔型面尺寸由合格冲模冲头尺寸保证。

车间卧式冲床比较陈旧, 转动台不稳定, 经常出问题, 修理一次往往周期极长。由于零件叶形孔数量较多, 对模具冲头的硬度要求极高, 在零件的加工过程中, 若冲模冲头硬度不够, 刃口就极易磨损, 导致零件叶形孔尺寸偏小, 形状带锥度, 且使

得零件毛刺会很大, 给后续钳工去毛刺增加了难度, 也易使在去毛刺的过程中修大叶形孔尺寸, 导致在组件中与叶片装配时间隙偏大。而组件中的焊接要求是间隙 $\leq 0.6\text{mm}$, 且焊接不允许存在焊漏现象, 间隙过大无疑给焊接加工带来较大的困难, 操作者焊接时很难控制零件焊后没有焊漏; 若模具冲头硬度较高, 则冲头很脆, 在冲孔过程中极易断裂, 导致模具冲头及零件报废, 给车间带来不少经济损失, 影响生产进度。

因此, 对叶形孔采用激光切割加工工艺的可行性研究很有必要。

2. 激光切割的特点及对焊接工艺的影响

(1) 激光切割的特点 激光切割是以高能量密度的激光作为切割刀具的一种材料加工方法。

激光熔化切割是指用激光加热使金属熔化, 然后通过与光束同轴的喷嘴吹惰性气体, 依靠气体压力使液态金属排出并使激光束与材料沿一定轨迹作相对运动, 从而形成一定形状的切缝。

激光氧化切割是指用激光作为预热热源, 用氧气等活性气体作为切割气体。喷出的气体一方面与切割金属作用, 发生氧化反应并放出大量的氧化热; 另一方面把熔融的氧化物和熔化物从反应区吹出, 并使激光束与材料沿一定轨迹作相对运动, 从而形成一定形状的切缝。

激光切割的特点：第一，切割质量好。切口宽度窄（一般 $0.1\sim 0.5\text{mm}$ ）、热影响区小、变形极小、精度高（在 300mm 的范围内，一般孔中心距误差 $0.1\sim 0.4\text{mm}$ ，轮廓误差 $0.1\sim 0.5\text{mm}$ ）、切口表面粗糙度好（一般 $R_a=12.5\sim 25\mu\text{m}$ ），并且切缝一般不需要再加工即可使用。

第二，加工柔性好，效率高。切割过程可全部实现数控，能够切割任意形状的零件，可进行二维和三维切割。切割速度快，如采用 2kW 激光功率， 8mm 厚的碳钢切割速度可达到 1.6m/min ， 2mm 厚的不锈钢切割速度可达到 3.5m/min 。

第三，可切割多种材料。激光可用于金属材料和非金属材料的切割。

第四，清洁、安全、切割噪声相对较低、污染小，大大改善了操作人员的工作环境。

（2）激光切割工艺对焊接工艺的影响 尽管激光切割加工速度还慢于模冲，但材料在激光切割时不需要装夹固定，它没有模具消耗，无须修理模具，又可节省上下料的辅助时间和更换模具的时间，从而节省了加工费用，降低了生产成本。另外，微机程序控制的现代激光切割系统能方便切割不同形状与尺寸的工件，所以从总体上考虑是更合算的。

如果这些叶形孔都改为激光切割加工，零件叶形孔的均布度、叶形孔型面尺寸均由程序保证，这样，单件在生产过程中不仅可以摆脱卧式冲床设备陈旧及冲模修理带来的一系列生产进度问题，还可以避免因冲模冲头硬度控制不好而带来的零件质量问题，保证了生产任务的顺利完成及组件加工的焊接质量。

但由于某发动机已定型多年，一直以来叶形孔都是由冲压加工，若改激光切割加工，无法确定激光切割加工整流器内外环的叶形孔的工艺参数。且由于整流器内外环在组件中与叶片需氩弧焊焊接在一起，该处焊缝为Ⅲ级焊缝，焊缝为T形接头。该零件焊后不进行X光检查及荧光检查，只需按工艺说明书Q/2B366的要求检查焊缝外观质量：焊缝宽度沿全长应均匀一致，焊缝宽度均匀度为 2mm ，焊接接头上不允许有表面气孔、裂纹、烧穿、咬边、塌陷、未熔合、焊瘤和弧坑等缺陷，同时设计要求焊缝反面不允许有焊漏现象。因为无法确定激光切

割加工的叶形孔所产生的重铸层对该组件氩弧焊焊接质量的影响有多大。因此，需制定试验计划试切割零件以调整焊接参数，并按组件加工模式焊接试切割的叶形孔与叶片，以确定激光切割重铸层对焊接质量的影响。

3. 激光切割参数的确定及焊接工艺试验

（1）确定激光切割参数 影响激光切割过程的主要因素有激光功率、气体压力、切割速度及气体喷嘴等。

切口宽度随着激光功率的增加而增加，但变化不大。切割速度越大，切口越窄。若切割速度过低，材料过烧，其切口宽度和材料HAZ过大，而切割速度过高，切口清渣就不完全。在其他参数不变的情况下，切口表面粗糙度值随切割速度的增加先减小后增加。

切割时喷吹气体的作用：在熔化切割时，依靠喷吹气体的压力把液态金属吹走形成切口，在氧气切割中，气体与切割金属反应放热，提供一部分能量，同时又依靠气体吹除反应物。但气体对材料又有冷却作用，会从切割区带走一部分能量。因此，气体对切割质量的影响是两方面的：即在功率和切割材料板厚一定时，会有一最佳切割气体流量，这时切割速度最快。当气体流量小时，它与金属的氧化和驱除熔融金属的作用都不强；反之过大时又会带走大量的热量，使切割速度下降。总之，随激光功率的增加，切割气体的最佳流量是增加的。

激光切割一般采用同轴喷嘴，若气流与光束不同轴，在激光切割时易产生大量飞溅。同时为了保证切割过程的稳定，喷嘴到工件表面的距离必须保持不变。

按表1参数将试件（ $12\text{Cr}21\text{Ni}5\text{Ti}$ ，厚度 1.5mm ）进行激光切割，激光切割边经去毛刺后进行理化分析，测重铸层厚度，其具体试片情况如表1所示。

据表1可见，序号④切割参数试件表面呈现金属光泽，且表面光亮，挂渣和毛刺较少，故采用④参数切割试件12片。试件切割后分3组进行焊前处理，然后分别与 $13\text{Cr}11\text{Ni}2\text{W}2\text{MoV}$ （叶片材料）的试件对接焊，焊后进行X光、荧光检查，其结果如表2所示。

经对上述试验结果分析讨论，认为激光切割少

表1 激光切割参数及试片情况对照

序号	保护气体	切割速度 /m·min ⁻¹	切割能量 /W	切割频率 /Hz	激光焦距 /mm	气体压力 /MPa	试片颜色	试片毛刺	重铸层厚度 /mm
①	Ar	0.5	300	300	127	0.8	黄色	毛刺和挂渣多	0.025
②	N ₂	0.6	700	1000	127	1.6	浅黄色	毛刺多	0.020 个别0.035
③	N ₂	1.5	500	500	127	0.8	金属光泽	毛刺少, 挂渣多	0.010
④	N ₂	1	500	1000	127	1.0	金属光泽	表面光亮, 挂渣少	0.005

表2 试片焊接情况对照

试片标记	重铸层厚度 /μm	焊前打磨情况	叶片打磨情况	X光检测	荧光检测
A1、A4、A5	<5	砂纸砂光, 呈现金属光泽	砂纸砂光, 呈现金属光泽	无夹渣, 无裂纹	无裂纹
A2、A3、A6	<5	只去毛刺, 保留重铸层	砂纸砂光, 呈现金属光泽	无夹渣, 无裂纹	无裂纹
B1~B6	<5	抛光轮抛光, 呈现金属光泽	砂纸砂光, 呈现金属光泽	无夹渣, 无裂纹	无裂纹

量重铸层对焊接影响不大, 不会造成夹渣或裂纹等缺陷。

(2) 确定激光切割重铸层对叶片焊接的影响 将零件(材料为12Cr21Ni5Ti)与材料同为12Cr21Ni5Ti的试片A、B均用表1中④的参数进行激光切割。试片A切割边是直线边, 如图2所示; 试片B及零件切割是叶形孔, 如图3所示。

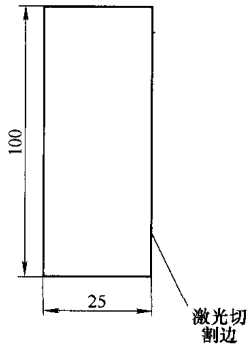
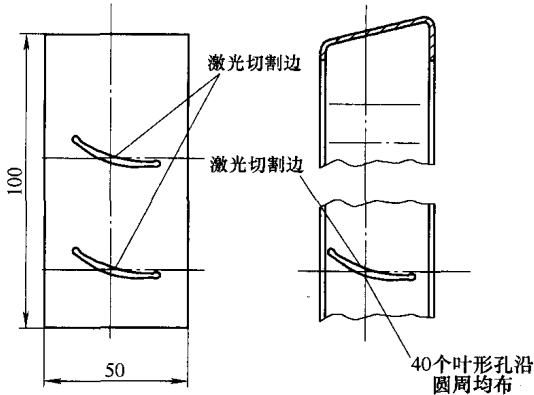


图2 试片A加工示意



(a)试片B (b)零件
图3 试片B及零件加工示意

切割后试件A只去挂渣, 试件B及零件除去挂渣外, 还用打磨铣去叶形孔内重铸层, 并用叶片配间隙, 保证间隙≤0.2mm。

将试件A去毛刺后进行理化分析, 测重铸层厚度, 厚度<5 μm。

按正式资料要求加工第二级整流器, 焊接零件前先进行试片焊接。首先, 试片A材料为12Cr21Ni5Ti、厚度1.5mm与材料为13Cr11Ni2W2MoV、厚度1.5mm的试片对接焊接, 材料为12Cr21Ni5Ti的试片对接边为激光切割边, 如图4所示。

其次, 接下来焊接试片B, 试片B材料为12Cr21Ni5Ti, 厚度1.5mm与叶片(材料为13Cr11Ni2W2MoV)

焊接, 焊缝形式为T形接头, 如图5所示。

最后进行零件焊接, 如图6所示。整流器外环叶形孔为冲裁加工, 内环叶形孔为激光切割加工后去除表面重铸层。

试片A、B及零件焊后检查结果如表3所示。

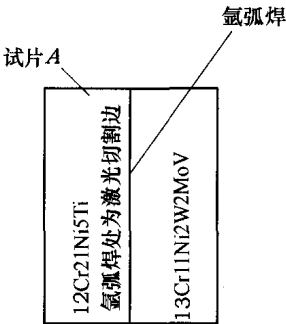


图4 试片A焊接示意

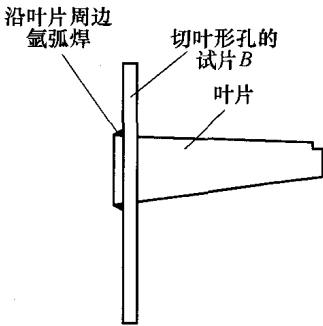


图5 试片B焊接示意

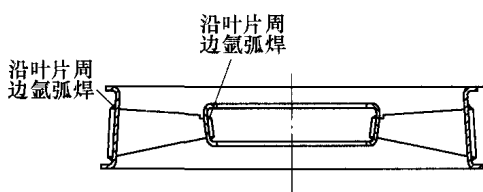


图6 零件焊接示意

表3 试片及零件焊后检查对照

	接头形式	外观检查	X光检查	荧光检查	熔深检查
试片A	对接	较好	合格, 无夹渣及裂纹	合格, 无裂纹	100%焊透
试片B	T形接头	较好	不进行	合格, 无裂纹	最小处为0.82mm
零件	T形接头	较好	不进行	不进行	不进行

◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇
(上接第12页)

高产品质量。与机械工业切割产品质量检测中心共同做好行业产品质量检测工作。

(3) 大力协助行业协会办好年度北京·埃森焊接展, 充分利用展会这一平台促进用户与企业间的交流, 同时加强企业间的相互沟通和技术交流。会后我们将根据协会要求, 结合展会的技术发展动态, 组织行业专家完成切割机具部分的展会报告。

(4) 近年来,我国切割机具行业发展迅速,我们已对部分产品标准进行了制订和修改,但仍有部分产品至今还没有相关执行标准,使得这些产品质量参差不齐,造成行业间竞争无序。为了在行业中建立一个公平、公正的竞争平台,近期将组织行业专家起草1~2项产品标准草稿,送行业协会申报。

(5) 加强与国内大专院校、科研机构交流活动，促进科研成果产业化转换工作，定期举办行业内新产品发布会，新技术应用、推广研讨会。全面提升切割机具产品品质和技术含量。

四、结语

切割行业的发展与金属制造企业的发展始终是分不开的，通过企业间的紧密合作和技术交流，将给切割机具行业带来许多不同的生产理念及富有挑战性的经验和技能。这些企业将会给我们提出很多新的工艺设想和要求，这样就不断对我们行业提出了新的课题和新的设计理念，促进了行业的进一步发展。

最后,让我们在新形势下共同为我国焊接事业作出新贡献! **MW** (20120103)

4. 结语

(1) 采用表1试验④所确定的激光切割参数切割时, 零件表面质量较好, 挂渣少, 产生的重铸层对焊接质量无影响, 所以该组激光切割参数可用。

(2) 整流器叶形孔激光切割加工后, 经打磨挂渣及重铸层, 虽有少量无法去除, 但与叶片焊接, 焊缝外观质量较好, 符合Q/2B366 Ⅲ级焊缝要求。即使操作者反映焊接内环时的熔池流动性比外环稍差, 但无其他异常, 所以激光切割的叶形孔中少量重铸层对整流器叶片焊接质量无影响。

综上所述, 整流器叶形孔的加工方法由冲孔改为激光切割是可行的, 可用于正常生产。MW

(20120215)

《金属加工（冷加工）》

2012年第6期要目

FANUC PICTURE界面开发及应用

基于海德汉系统适应不同加工要求的二次开发

数控立车加工弧形轴承滚道

电动扳手头的巧妙改进措施

两种剃齿压套的加工

巧用6m旋风铣床加工10m丝杠螺纹

滚筒齿座磨削工装设计及改进

台虎钳巧改与巧用

钻床用工件内孔珩磨装置的设计

用卧式车床车削曲轴连杆轴劲

圆锥刀柄改进为两面定位刀柄的途径和比较

刨齿机刀轴角计算

飞机发动机涡轮盘叶根榫槽精拉刀制造技术

SIEMENS 840D数控系统远程诊断功能的应用

PLC在双面钻铣组合机床中的应用

西门子840D sl系统调试诊断界面开发

对中导向板材料的改进

修正光滑极限量规以增加合格品比例

数控铣削加工中两种加工误差问题的分析

可调中心高刀架的虚拟设计

Swievl cycle 界面参数向量设定

风扇轮加工刀路轨迹设计

钻床攻螺纹自动控深装置

磨齿机磨齿齿面波纹故障的维修