大功率激光切割质量影响因素

苏州领创激光科技有限公司 （江苏 215332） 张鹏程 宋维建

金属热切割(激光切割类)行业目前主要参照执行德国DIN2310－1 和ISO9013两个标准。评价指标分为两个：①切口断面指标，包括挂渣、断面粗糙度、切口斜度、热影响区。②形位公差，包括孔的圆度、位置精度、重复精度、热变形。

影响切割质量的因素主要有以下几个方面。

1. 激光器的类型

目前市场上用于金属切割的激光器主要有CO_2和光纤激光两种，因波长不同各有自身的特点，选择何种激光器视用户加工材料种类和厚度而异，1～6mm光纤切割速度优势明显，6～12m二者出差异不大，12mm以上前者有些优势，二者都可用于碳钢和不锈钢的切割，只是光纤更擅长薄板切割，后者对于铜，铝等高反材料的切割能力优于前者。

2. 机床本身的结构，性能和精度

（1）机床调水平 激光切割机属于高精度加工设备，不但光路传输需要极高的精度保证，而且由于运行速度越来越快，较高的水平度是设备稳定的基础，一般达到0.02mm/min。激光的精细加工如图1所示。

（2）数控轴的垂直度和平行度 $X-Y$，$Z-X$，$Z-Y(X_1-X_2)$ 三轴垂直度达到0.03mm以上方能保证切割零件的相邻边的垂直误差。

图1 激光的精细加工

（3）定位精度和重复定位精度 各数控轴的定位精度和重复定位精度是激光设备的主要几何精度指标，尤其是X、Y两个平面差补轴，一般要求在0.02mm/min以内。

（4）运动部件的刚性和强度 运动部件的刚性和强度是机床动态性能的载体。加速度的高低是影响激光切割性能的重要指标。1.0g以上的加速度将是激光设备的主流选择。

（5）导光系统的影响 当前激光设备供应商主导机型是飞行光路结构，由于气体激光光束的发散特性，决定了光束传输过程中不同光程处的光斑大小不一致，势必影响聚焦能量和焦点的变化，导致加工幅面内切割质量不同，目前解决的方案是增加机械强制恒光路或准直扩束。光纤激光不存在光程变化问题。某2 000W快轴流激光器光程与光束直径关系如图2所示。领创激光与国外联合设计的光路稳定装置(局部)（见图3）在6m×2m的全飞行光路下保持焦点恒定。

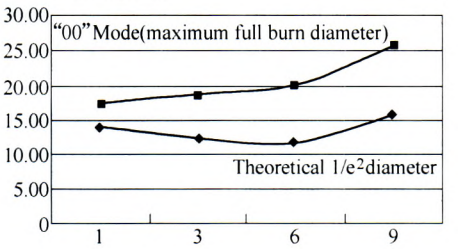

图2 某2 000W快轴流激光器光程与光束直径关系

图3 领创激光与国外联合设计的光路稳定装置（局部）

3. 光学元器件及其性能的影响

（1）反射镜（全反镜和圆偏镜） 一般选用铜基材料，其表面镀膜材料决定了反射率的大小，高

功率激光传导一般要求直接水冷，内部水冷通道结构是主要影响因素；保持镜面清洁和反射面精度（$X-Y$平行或垂直）是光束传导正常的必要条件。保持镜面清洁有利于改善断面粗糙度和提高切割速度。通过每组镜片的光束位置误差一般控制在2mm以内较好。镀金膜铜反射镜如图4所示。

图4 镀金膜铜反射镜

（2）聚焦镜 聚焦镜是激光切割的主要元件，目前CO_2激光主要采用ZnSe材料，聚焦镜从空间结构上可分为平凸透镜（见图5）、双月透镜和非球面透镜（见图6）三种，平凸透镜能满足绝大多数加工需要、但双月透镜及非球面透镜可以实现更精细的聚焦。焦距目前应用最为广泛的有7.5"和5"两种，前者用于中厚板的切割，后者切割薄板有优势；边缘厚度有4.06mm和7.84mm两种，后者一般用于高压切割；其破坏形式主要是冷却失效，镜面受到污染，表面结露等。正确选择镜片有利于改善断面粗糙度和斜度。

图5 平凸透镜

图6 非球面透镜

（3）切割喷嘴 切割喷嘴是激光切割设备的主要易损件，视切割厚度（从薄到厚）不同，喷嘴直径有0.8～3.5mm不等，结构形式有单喷嘴和复合喷嘴两种，鉴于加工手段问题，一般设计成上段锥形孔联接下段圆柱孔的结构，从空气动力学上讲最理想的结构是”拉瓦尔”口径（见图7），气体流动方式以超音速的收敛形态最佳，以免切口下部形态扩大，它提供最好的气流，而且节约气体。正确选择喷嘴有利于改善断面粗糙度和斜度以及提高切割速度。

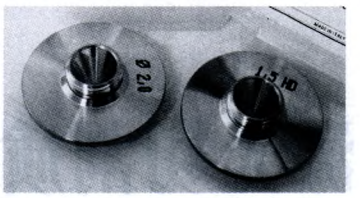

图7 拉瓦尔喷嘴

4．光学特性和主要参数的影响因素

（1）激光功率 激光功率大小的选择主要是与切割厚度，材料种类和加工速度有关（见图8），一般功率越大加工厚度越大，切割速度越快，当下用于大功率切割的功率大概在1~6kW之间；切割不锈钢或高反射材料也需要高功率。功率不足会导致切不透，功率过大将导致过烧，断面粗糙度下降。

（2）进给速率 切割速度过大或过小都将导致断面挂渣和粗糙度下降并直接影响热变形的大小。与功率、喷嘴直径、嘴板距、辅助气体压力、离焦量合理匹配达到最佳的切割效果。

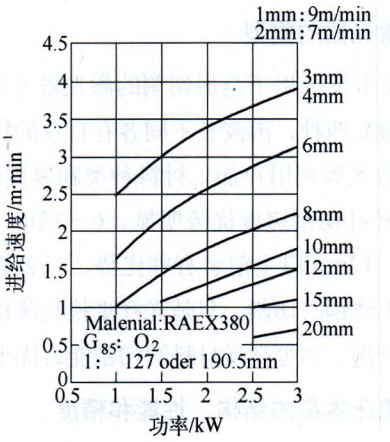

图8 Rofin DC030切割碳钢板功率、厚度、进给速率关系

（3）焦距和离焦量 一般而言，切割厚板采用7.5"长焦，薄板切割采用5"短焦，这是由于长焦光腰长，更有利于得到垂直的断面。短焦距聚焦能量密度高，有利于提高薄板的切割速度。

离焦量有正离焦(焦点在板上)和负离焦(焦点在板下)两种，板厚小于2mm一般采用正离焦，碳钢版切割一般采用正离焦，不锈钢切割一般采用负离焦。

（4）嘴板距 喷嘴下表面离加工板面的距离称为嘴板距，切割碳钢板时，一般调整到1.5mm左右，这是由于碳钢板的切割属于氧助燃熔化切割方式，气流量和压力需求不大；切割不锈钢和高反射材料时，嘴板距一般小于1.0mm，主要是需要高压辅助气流将熔化的金属从割缝中吹出。领创激光

α3015光纤切割机切割现场如图9所示。

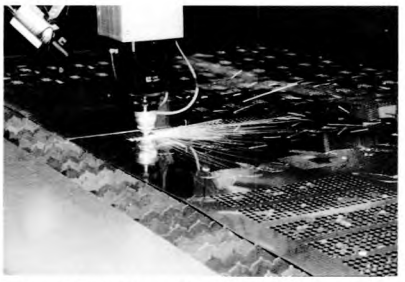

图9 领创激光α3015光纤切割机切割现场

（5）光束模式 激光切割使用的光束模式主要有三种（见图10）：TEM00、TEM01和TEM10，第一种更有利于切割薄板，第二、三种模式对切割厚板有利。

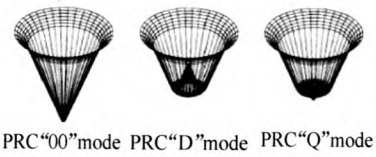

图10 PRC快轴流激光器的三种模式

（6）辅助气体 激光切割分为汽化切割，熔化切割和氧助燃熔化切割三种，汽化切割主要是针对非金属材料，使用空气作为辅助气体；熔化切割主要用于不锈钢和高反射材料，使用高压N_2气作为辅助气体（不大于25bar），也可使用高压空气，切割时高功率和高气压才能保证断面粗糙度和没有挂渣；氧助燃切割主要借助氧与金属作用产生的化学能，一般用于碳钢的切割，切割时氧压较低，过高反而断面质量下降。不管何种辅助气体，其共同作用都是将熔渣吹除并对切口起冷却作用。

（7）光束与喷嘴孔的同轴度 同轴度的高低是影响切割断面好坏的主要因素，一般小于0.05mm，这方面主要是由于气流与光束不能形成合力共同作用于材料上造成的（见图11）。

（8）被加工材质 被加工材料的种类和材质也直接影响切割质量，要求板面无锈蚀，材质均匀，杂质过高或高硅成分会在切割过程中引起破裂或爆发，或产生附着物。

（9）光路保护气体 对于CO_2气体激光器，通入含油量小于0.003×10^{-6}的洁净干燥和经冷却的空气是必要的，当然使用洁净N_2气最好，更有利于防止CO_2气体的热透镜效应(可以用吸附式干燥剂去除)，用于保护外部粉尘烟雾进入导光系统内，另外通气方式和气压大小也会影响光束传导过程的畸变，必须加以考虑。

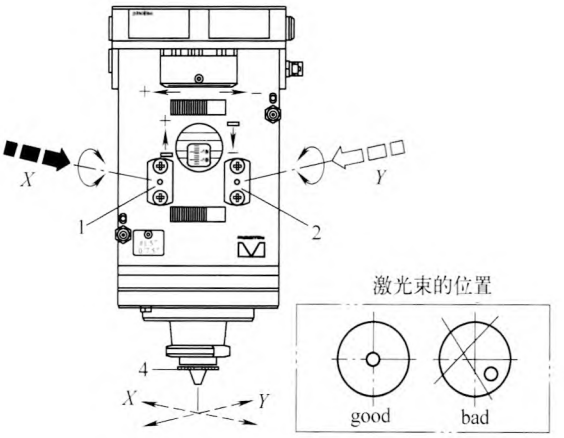

图11 Precitec HP1.5 切割头和同轴校准示意图

5. 结语

综上所述，每一个元器件和参数都将影响切割质量和加工效率，除上述所列之外，激光穿孔方式，引入线和引出线方式，编程软件，制冷机组水温控制精度，电压稳定度，环境相对湿度和熟练操作也是必须考虑的因素。**MW**

（收稿日期：20120511）

《金属加工（热加工）》2012年第12期要目

Cr9Mo炉管焊接工艺分析
储罐立缝焊接柱状气孔及横向裂纹缺陷的分析与防治
压缩机缓冲罐插入式接管焊缝的焊接
管道焊接接头内表面喷焊防腐技术
焊接机器人与变位机的选择要领
18Cr2Ni4WA与Q345B的焊接
干熄焦工程鼓风装置的研制
CMT焊接先进工艺介绍及应用
车身钣金异响的控制
高速动车组车体焊缝打磨方法研究
轨道车辆不锈钢车体变形分析及解决措施
S355J0热处理后裂纹的分析
空气等离子切割与焊接在链轮制造中的应用
SPA2033全焊接振动给料机工艺探讨
RKDZ电子液晶屏电焊防护帽常见故障的检修方法
阀杆与方头处断裂原因及处理
中小型液化天然气运输船储罐的制造与检验
12Cr1MoVG厚壁珠光体耐热钢管的焊接