

高功率激光切割机的设计

杨绪广 路世强 王雅为 张伟 翟德强
(济南邦德激光股份有限公司 山东 济南 250101)

摘要: 随着工业技术的不断发展,激光切割机已经逐渐成为现代机械加工中重要的机器,其加工效率的要求也随之变高,且切割的板材由薄板逐渐向厚板发展,目前低功率设备切割效率慢,且无法满足厚板切割,所以激光切割机逐步往高功率方向发展,功率达到数万瓦及以上。本文主要从结构设计、防烧除尘方面介绍一种高功率激光切割机,所切碳钢厚度可以达到 80mm、不锈钢厚度达到 150mm、定位速度达到 169m/min、加速度达到 2g,以及定位精度达到 0.05mm。

关键词: 激光切割机;高功率;结构设计;防烧除尘;加速度

0 引言

激光切割机是通过把激光器发出的激光束聚焦成高密度能量照射到被切割材料表面,使材料达到其熔点或沸点,从而熔化或气化的方法来切割材料,随着激光束位置的移动,切割成想要的形状。

随着我国制造业的发展,激光切割机的市场越来越大,其应用也越来越广泛。目前,小功率设备主要用于切割薄板,而随着激光切割逐渐应用在建筑工程、机械制造、容器制造、造船、桥梁建造和军工等重要工业领域,这些领域所需板材厚度可达 100mm,小功率切割已经无法满足要求。因此,研究高功率的激光切割机变得愈发重要。

高功率的激光切割机设计要求机床的稳定性要好,在高动态响应下所产生的振动要小,不影响设备精度;设备具有高的动态性能就需要横梁和机头的重量轻、刚性好;同时高功率切割时所产生的热量大,要求机床防烧性能要好。因此,本文主要从结构设计方面、防烧除尘方面介绍一种高功率激光切割机的设计。

1 机械结构设计

1.1 床身结构

小功率的激光切割设备,切割的板材较薄,产生的热量较小,而高功率的设备切割厚板产生的热量要比小功率高,床身结构如果采用小功率的床身,不利于散热,且切割厚板时,要求床身稳定性要好。

本文所介绍的一种高功率激光切割机,采用铸铁床身,结构为中空式,有利于床身散热,内部横撑为房屋形式,加强了结构的强度,床身结构通过 ansys 进行分析,在保证其性能的前提下进行了减重设计,节约了材料的成本。

床身材料采用 HT300,铸造时加入了 Si、Al、Mg 和 Cu 等合金元素,增强机床床身的抗拉强度。铸造工艺为砂型铸造,保证了床身的抗震性和刚性。

床身作为激光切割机的主体部分,不仅要具有良好的稳定性,也要具有足够的刚性。本文所设计的床身,主要从床身的截面形状、壁厚及筋板的布置去考虑。

根据设计幅面的要求,床身长 L=7500mm、宽 B=3200mm、高 H=765mm,床身上有导轨、齿条支撑面,用于横梁在床身上的移动,床身底部设置 14 个垫铁。

其中床身壁厚根据《机械设计手册》,先计算当量尺寸 N,再查表选取壁厚值。根据公式 $N=(2L+B+H)/3000$,得出 $N=6.3$,查表得床身外壁最小壁厚为 28mm,内壁最小壁厚为 22mm,本文中取导轨安装面壁厚为 35mm、外壁厚度为 30mm、内壁厚度为 25mm。

床身主要承受台面、横梁、Z 轴及工件的重力,同时由于横梁会在床身上移动,因此床身会承受弯矩和转矩,使其在导轨的 X/Y 方向上产生变形。为了使床身结构的刚度得到提高,要合理地布置加强筋。

在弯、扭载荷的作用下,床身的变形与截面的惯性矩和极惯性矩有关。截面积相同时,空心截面的刚度比实心截面要好,而且床身重量也会降低,因此本文采用空心截面,如图 1 所示,为床身的截面。

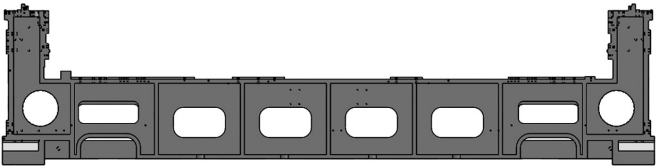


图 1 床身截面图

本文床身采用箱体结构,通过筋板的布置,提高结构的刚度和稳定性,床身内部布置横竖筋板,在床身支撑导轨位置布置纵向垂直筋板,床身中间布置水平横筋板,《机械设计手册》中提到对于大型方形体零件内部要以规定的距离布置筋板,所以该床身内部每 920mm 布置一条横向筋板,提高了机床的抗扭刚度;床身侧面在地脚对应处和两个地脚中间设置筋板,从而提高机床的抗弯刚度。

综上所述,床身的最终结构如图 2 所示。

床身在铸造后进行人工时效处理,消除内应力,从而稳定性极高,可以使机床的精度长久保持。

1.2 横梁结构

为了保证高功率激光切割机的动态性能和精度,本文所介绍的一种高功率激光切割机的横梁材质为 6061 铝合金,其主要合金元素是 Mg 和 Si,具有良好的加工性、焊接性、韧性好和加工后不变形等优良特点。

横梁成型采用铝型材挤压成型,其主要优点如下: ①



图2 床身整体结构图

铝的密度为 2.7g/cm^3 ，约为钢的 $1/3$ ，其特点是重量轻、强度高，为切割机良好的动态性能提供保证；②挤压成型能够使铝的组织得到改善，力学性能得到提高。挤压后，进行淬火时效处理，强度得到明显提高；③表面经阳极氧化处理后，耐腐蚀性极强；④挤压出的铝型材尺寸精度和表面粗糙度较好，后期进行少量加工就可使用；⑤挤压成型的方法可以挤压复杂截面的铝型材，本文采用蜂窝式横截面，使横梁的刚性增强，不易发生变形，对定位精度、加工精度及产品质量有着重要意义。

横梁的底座是使用铝板焊接而成的，焊接强度较高。在焊接后进行振动时效处理，减少焊接裂纹的产生，消除工件的残余应力，使工件的精度和抗变形的能力得到了提高。

在设计横梁截面的时候要考虑挠度和刚度，先以简单的矩形梁为例来计算梁的抗弯刚度和挠度。如图3所示为简单的矩形梁的截面图。

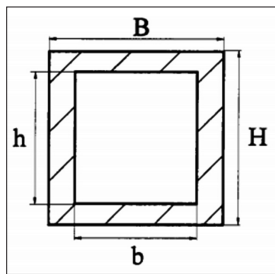


图3 简单矩形梁截面图

矩形梁的抗弯刚度可表示为：

$$EI = \frac{E(BH^3 - bh^3)}{12} \quad (1)$$

在外加载荷 F 的作用下，矩形梁的挠度为：

$$\delta = \frac{FL^3}{3EI} \quad (2)$$

本文根据激光切割机整体的设计考虑，横梁的外形尺寸已固定，为 $3260\text{mm} \times 280\text{mm} \times 170\text{mm}$ 。所以根据公式(1)和(2)，可以看出，合理地设计截面形状、尺寸和横梁壁厚，可以提高横梁的抗弯刚度和挠度。本文采用蜂窝式截面，截面做成封闭内腔，可以提高横梁刚度，并在横梁导轨及齿条安装处设置支撑筋，增加导轨支撑面的强度。铝型材横梁截面如图4所示。

1.3 Z轴结构

激光切割机对Z轴随动机构的要求很严格。在切割的过程中需要随时检测和控制切割表面的平整度，通过伺服电机和滚珠丝杠来调整切割头到板材的距离，以保证激光束

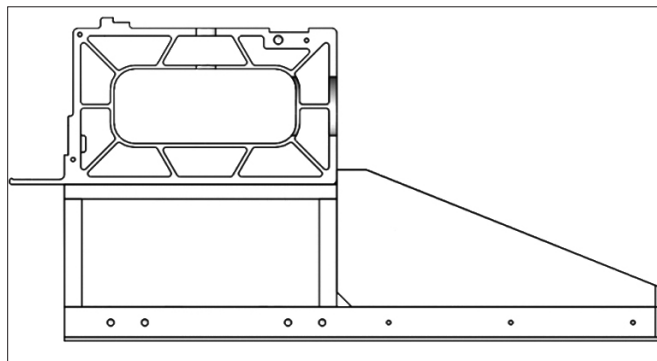


图4 铝型材横梁截面图

聚焦后的焦点在切割板材的表面位置。切割过程中，如果激光头晃动，会影响激光束的焦点到板材表面的距离，从而会影响到割缝的质量及产品精度，因此，设计时要考虑Z轴结构的稳定性。

本文所介绍的一种高功率激光切割机的机头材质为ZL101，结构如图5所示。根据激光切割机整体的行程要求，机头外形尺寸宽为 180mm 、高为 580mm ，机头上安装滑板和丝杠，使切割头在机头上上下移动实现板材的切割，根据铸造铝合金的最小壁厚要求，本文主要壁厚为 26mm ，导轨安装面的厚度为 40mm 。在导轨及丝杠安装面上设置交叉形加强筋，壁厚为 11mm ，在背面设置十字形加强筋，壁厚为 5mm ，在与横梁接触面设置 16mm 的加强筋，增加机头的整体刚度。

机头整体低压铸造成型，低压铸造可避免铸件内部产生气孔，在机头铸造完成后进行固溶+人工时效处理，提高铸件的机械性能。另外，ZL101密度小、重量轻，可以提高设备的动态响应。

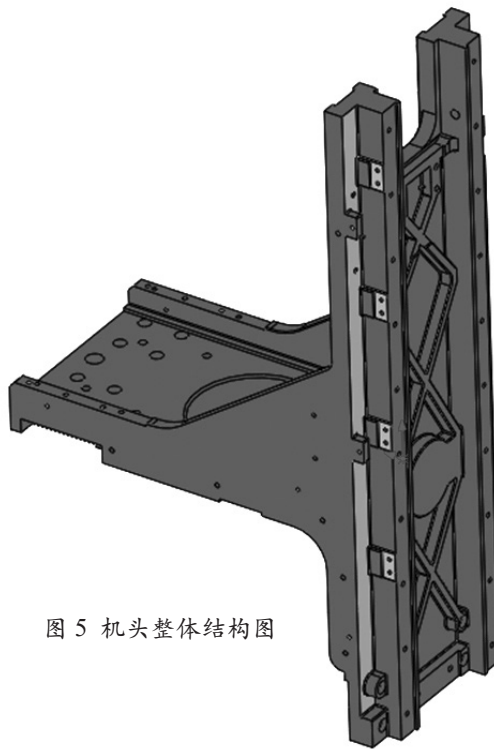


图5 机头整体结构图

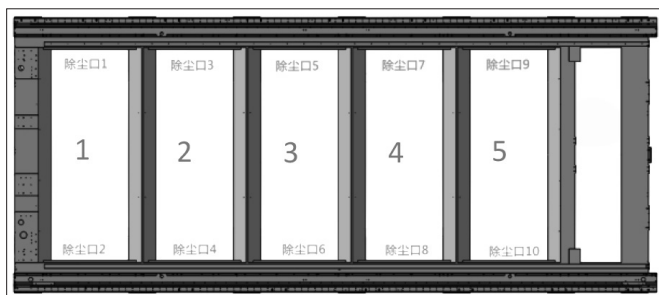


图6 除尘分区示意图

1.4 除尘系统

激光在切割不同材质的板材时，会采用不同的气体，如氮气、空气和氧气，切割时，激光束和这些气体同轴喷射，会有一定的烟尘产生，这些烟尘会对激光头造成污染，缩短激光头的寿命，也会使工作环境变得恶劣，不利于操作者的健康。而高功率的激光切割机产生的烟尘要比小功率的高，如果采用传统的除尘方式，不能有效地抽走烟尘。本文介绍的高功率激光切割机的除尘结构为分区式，此结构能使切割时产生的烟尘有效地排出，对切割头和工作环境起到很好的保护作用。

抽风原理是将抽风区域封闭，用风机排风，使切割区域形成负压，将烟尘排出。所以本文采用底部小车导向和切割区形成密封，其中风量：

$$F = (1.2 - 1.4) \times 60(5H^2 + S)V \quad (3)$$

其中：H为抽风口距切割位置距离，单位m；S为抽风区域的面积，单位 m^2 ；V为风速，单位m/s。

由公式(3)可以看出，抽风区域越小，抽风效果越好，所以本文沿着床身方向将设备分为5个抽风区域，每个区域设置2个抽风口，分布在床身两侧，主要结构采用床身本体内置式吸尘管道，大口径风管，配置7.5KW风机；具体抽风结构采用翻板式分区除尘，抽风口面积较大，跟随系统在切割区域进行集中式抽风除尘。如图6所示，如切割头运行到区域1时，区域1两侧的抽风口同时打开，其余区域抽风口关闭，可明显抽走激光切割所产生的烟尘，另外在除尘板外层加耐高温滤网，可有效阻挡激光切割产生的火星及小的切渣进入风道，对风管和风机造成损伤。

2 防烧设计

2.1 台面防烧

激光切割时会产生热量及熔融的铁渣，切割的板材越厚产生的热量及铁渣越多，这些会对台面造成影响，长时间切割后，台面容易产生变形，为了防止台面变形，本文采用石墨条进行防烧，如图7所示，在石墨条上方放置紫铜板，紫铜板与竖直方向成 60° 角，一方面可以防止铁渣飞溅上去，台面易于维护，另一方面紫铜耐高温为 1083°C ，且对激光有一定反射作用，可以起到保护台面的作用。

2.2 床身落料斗防烧

低功率的激光切割机床身落料斗一般用碳钢板防烧，但是高功率的设备切割材料时产生的热量大，碳钢板容易受热变形，对落料斗起不到保护作用，长时间切割后，落

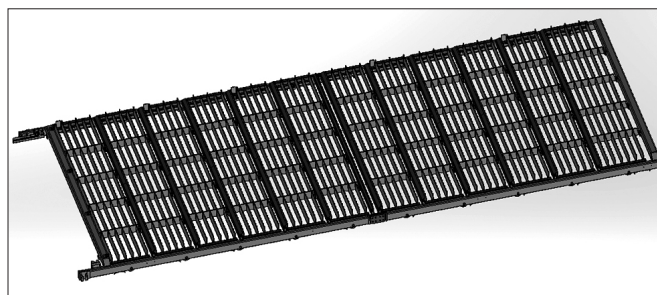


图7 台面防烧布置图

料斗变形过大，会对台面交换造成干涉。因此，本文所介绍的高功率激光切割机采用耐高温涂料的方法来保护落料斗，防止其变形。

本文所采用的涂料为一种耐高温隔热涂料和金属过渡涂料，最高承受温度为 2000°C 。其中金属过渡涂料主要由高纯度硅酸盐溶液精细加工为成膜物质，加入一定量的陶瓷纤维、膨润土、聚乙二醇等组成，其中膨润土是以蒙脱石为主要成份的粘土矿物，具有很好的粘结性、膨胀性、吸附性、润滑性，在此涂料中作为粘结剂使用；陶瓷纤维的加入可以使涂料的韧性得到提高。

由于金属基体表面张力较大，直接涂耐高温涂料会导致附着力不强，容易脱落，用过渡涂料配套使用能较好地克服金属基材表面张力，和上层高温涂料粘接也较好，使整体附着力得到很大提升。

所以涂料主要技术为首先将金属过渡涂料涂在5mm厚碳钢板上，涂层厚度为1mm，经过一段时间表干后，再将耐高温隔热涂料涂在过渡涂料上，涂层厚度为3mm，经过一段时间的常温固化后，将带有耐高温涂料的碳钢板放在落料斗上进行防烧，从而保护落料斗和床身，如图8所示。

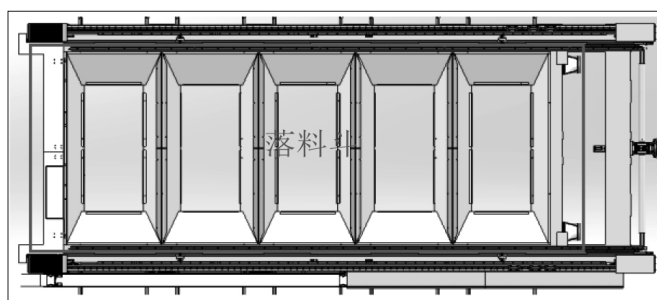


图8 落料斗防烧示意图

耐高温隔热涂料主要由无机硅酸盐改性溶液、木质磺酸钠溶液、磷酸铝溶液混合为成膜物质，加入碳化硅、纳米石墨鳞片、碳化硼等材料组成。无机硅酸盐溶液熔点较高，作为成膜物质较好；碳化硅的膨胀系数小、化学性质稳定、高温时抵抗氧化的能力高，能够使涂料的耐高温性能得到进一步提高；纳米石墨鳞片的纯度高、粒度小、表面活性高，可以使涂料充分分散；碳化硼的硬度较高，仅次于金刚石，且密度小、强度大，熔点为 2350°C ，高温下稳定性较好，可以提高涂料的熔点及硬度。

(下转第105页)

料精度提高,解决了最基础环节的根本问题;

(6) 后续修正高效焊接率,除保持目前的状态外,还需不断增加高效焊接设备投入,定期对操作人员进行培训;

(7) 施工作业过程中加强巡查、监督,重点监控大组阶段高效焊接率的提高,考核体制要不断完善。

6 结语

从运作情况看,今后在吸取前面的经验的同时,想法弥补不足,经过一年左右时间,广船国际分段的高效焊接率会接近或达到国内外先进船厂的水平。

参考文献:

- [1] 周业基.我国造船高效焊接与自动化的发展[J].焊接技术,2000年第S1期.
 - [2] 朱晓阳.船舶高效焊接技术应用思考[J].大科技,2011.
 - [3] 洪森,彭茂清.高效焊接技术在船舶建造中的应用及推广[J].广东造船,2018年第01期.
 - [4] 陈绍全.船舶高效焊接技术推广[J].电焊机,2004,34(2).
- 作者简介:蔡荣芳(1970.01-),男,汉族,辽宁大连人,本科,工程师,研究方向:船舶焊接。

(上接第102页)

涂料的加工方法主要是在高速分散机中进行分散,然后在搅拌机中进行搅拌。具体操作方法为将碳钢板表面进行除油除锈,确保钢板表面无油污、灰尘、锈蚀等异物,保证钢板表面清洁干燥无污染。将钢板喷砂至S2.5等级,然后使用喷枪将涂料喷涂上去,喷涂完第一层后,等到涂层表干后再进行第二层的喷涂。

此种涂料有效的解决了高功率激光切割机防烧问题,且喷涂方法简单,易施工。

3 结语

高功率的激光切割机在性能上要比低功率提升很多,因此在设计时,不仅要充分考虑机床的稳定性、结构的刚度及质量,也要考虑切割时产生的烟尘及热量对设备的影响。所以本文主要研究了高功率激光切割的结构设计和防烧除尘设计,一方面,通过床身、横梁和Z轴的材料及结构设计,提升了机床的稳定性及结构的刚度,确保了高功率设备的动态性能及切割精度;另一方面,通过分区除尘、台面及落料斗防烧设计,有效地防止了切割时产生的热量及铁渣对机床带来的不良影响。

通过以上几方面,保证了本文所设计的一种高功率激

光切割机所切碳钢厚度可以达到80mm、不锈钢厚度达到150mm、定位速度达到169m/min、加速度达到2g,以及定位精度达到0.05mm。

参考文献:

- [1] 刘杰.激光切割机的力学性能研究及其优化[J].现代制造技术与装备,2019(9):25-27.
 - [2] 王猛.HLH-2040激光切割机结构分析与优化设计[D].南京:东南大学,2015.
 - [3] 李洋.3015M型光纤激光切割机结构分析及优化[D].济南:济南大学,2017.
 - [4] 王冠.铝合金薄壁梁结构轻量化设计及其变形行为的研究[D].长沙:湖南大学,2013.
 - [5] 陈树明,赵志超.高性能数控激光切割机设计要点[J].数控技术与装备,2003(1):80-81.
 - [6] 王志刚,汪立新,李振光.激光切割烟尘分析及除尘系统[J].锻压装备与制造技术,2011(5):59-61.
- 作者简介:杨绪广(1980.06-),男,汉族,山东济南人,本科(工学学士),正高级工程师,研究方向:激光加工工艺、机械设计。