

汽车镀锌钢板激光钎焊工艺与质量

□ 北京奔驰汽车有限公司 / 牛振

以北京奔驰GLK车型的行李箱盖激光钎焊为例，结合其工艺特点，介绍激光钎焊系统的设计方案，并着重分析了常见焊接缺陷的成因及处理方法。

激光技术始于20世纪60年代，至今只有几十年的时间，却取得了迅猛的发展，广泛应用于多个技术领域。从80年代开始，激光技术运用于汽车车身制造领域。激光以其光束能量密度极高、加热范围小、焊缝及热影响区域窄、切割和焊接速度快、深宽比大以及焊接变形小等优点，在白车身制造领域得到广泛应用。近几年，伴随着我国逐渐迈向汽车产销大国的步伐，激光焊接这一前沿技术已相继出现在国内主流汽车企业的生产线上，一汽-大众、上汽大众等多家汽车企业的激光焊接规模都非常大，有的具有上百台激光器，其中又以激光钎焊的应用最为广泛。

激光钎焊是激光焊接技术的一种。钎焊时母材不熔化，仅钎料熔化，可以获得光滑的焊缝表面，这不仅使产品更加美观，还提高了密封性，而且显著提高了焊接区域的强度，大大提升了整车的安全性。目前，在国内外汽车制造业，

激光钎焊主要应用在可视的外围接合件上，如行李箱上下两部分的接合、顶盖和左右侧围的接合、汽车C柱上下两段的接合等。

激光焊接技术2011年开始引进北京奔驰（BBAC），不同于普通的激光焊接，BBAC都使用了最先进的激光焊接设备，提高了焊接效率和焊接稳定性，保证了焊接质量。在BBAC激光焊接生产线上，多套先进的在线检测设备对焊接质量进行在线检测，有利于保障焊接质量。在德国辛蒂芬根和不来梅工厂都使用了这项技术。激光焊接具有其他焊接无可取代的优点，但是激光焊接在德国仍有较高的缺陷率和报废率，这就要求我们不仅要掌握先进的技术，还要不断学习、研究，提高自身技术水平，不断提高质量，降低缺陷率，这对工程技术人员知识技能提出了更高的要求。

本文以北京奔驰GLK车型的行李箱盖激光钎焊为例，结合其工艺

特点，介绍激光钎焊系统的设计方案，并着重分析了常见焊接缺陷的成因及处理方法。

ALO3激光钎焊系统

激光焊接生产线在2011年11月份开始在北京奔驰建设，项目投资约2.5亿元，用于生产GLK后举升门、车门以及C级车车门的焊接。车间有3台德国Trumpf公司生产的Disc4002激光器，用于车间3套Robscan设备和1套ALO3激光钎焊设备的同时焊接，此外还有激光焊接质量的在线检测设备。GLK举升门激光钎焊焊缝长度达2.13m，生产节拍约为200s。

1. 激光钎焊焊接设备

（1）激光器。激光器使用德国通快（Trumpf）公司生产的Turdisk 4002（4C）型激光器（见图1），这是一种近几年研发的新型Disk激光器，产生激光的工作物质为Yb：YAG，单碟片产生的最

大功率为4 000W，输出光束直径0.2mm。一台激光器可有4路输出，可供多台焊接设备同时使用，光路可通过程序自由切换。当某一路输出故障或某台激光器出现故障时，可方便的进行光路切换，以减少故障引起的设备停产。

(2) 激光钎焊头。激光焊接头是激光焊接系统的直接工作部件，其核心部件就是根据特殊要求组合在一起的透镜组。BBAC使用的激光钎焊头是德国Scansonic公司生产的最先进的具有焊缝跟踪功能的激光焊接头ALO3，其最大的特点是具有焊缝跟踪功能和自动对焦功能。激光从激光器发出，经光纤传导的激光束被光纤耦合器耦合入ALO3激光头（见图2），自动对焦模块将发散的光束进行准直后转换为平行光束，准直后的平行光束再经过反射模块和二次反射模块的两次反射后由光学聚焦模块将激光束聚焦到工作面。整个焊接过程可以通过监控模块（摄像头）进行全程监控，纵向伸缩臂（TA）通过自动控制模块（STRG）与自动对焦模块（LA）关联，实现自动对焦，安装在伸缩臂上的压力传感器（KS）通过STRG 与旋转动作控制模块（SA）关联，实现焊缝跟踪。

焊缝跟踪及自动对焦原理是通



图1 激光器

过焊丝尖点处压力传感器感知焊缝形状，STRG 捕获压力信号后控制旋转模块实现横向摆动以适应焊缝形状；焊丝尖点处的纵向变化，以伸缩臂的伸缩量形式反馈到STRG，STRG 控制自动对焦模块内透镜组的伸缩，使光束焦点始终落在焊丝的尖点。此外，ALO3 还可以通过自动对焦模块来调节光斑大小，实现对焊接输入能量的控制，通过旋转动作模块给焊丝施加外力，使其在焊接过程中始终紧贴焊缝，避免发生偏离。德国Scansonic公司生产的ALO3自适应可调节激光钎焊镜头拥有较大的自由度，能适应不同形状焊缝的焊接，这给生产调试工作带来了很大的方便，大大缩短了调试周期，从而更容易保证焊接质量。

为确保安全，激光设备都建设在在密闭的房间内，共有3个激光焊接房和1个激光房，房间由高强度铝合金型材组装而成。

(3) 送丝装置。激光钎焊主要靠熔化焊丝来填充焊缝实现焊接，焊缝质量的好坏与送丝系统密切相关。激光钎焊焊丝输送系统的工作原理与常见的MIG、MAG焊

接的送丝系统类似，都是靠电动机驱动压紧轮旋转，靠焊丝与压紧轮之间的摩擦力来推动焊丝。不同的是，由于激光钎焊系统的焊接速度快，对焊接参数的敏感度比较高，且焊缝窄，一般都有很高的外观要求，所以对送丝速度的精确性和送丝的平稳性要求很高。为确保焊丝的稳定输出，采用两级送丝机构，焊丝盘安装在从送丝机一侧，从送丝机的主要作用就是确保抽丝顺畅，尽量为主送丝机削减焊丝盘的转动惯量所产生的抽丝阻力；而主送丝机安装在尽量靠近焊丝输出口的一侧，送丝轮也增加为4个，这些设计都是为了尽可能地保证焊丝平顺输出，尽量避免对焊接造成影响。此外主送丝机上还安装有焊丝测速器，可对送丝速度实时监控，并通过控制柜设置所需的送丝速度。控制柜与整个激光钎焊系统的工艺控制柜之间建立有信号通路，能够实现每次焊接前焊丝尖点到激光靶心的适时补偿，避免焊缝起始处的缺料缺陷。

(4) 热丝装置。为了减少焊接缺陷，这套系统还集成了焊丝预热装置。焊丝预热装置其实就是

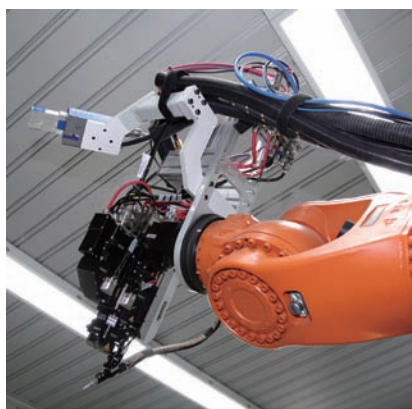


图2 ALO3激光钎焊工作头

一套电加热装置，装置的两极分别连接到焊丝和夹紧工装上，焊接前，当焊丝与工件接触后形成电流回路，电阻热将焊丝和工件局部加热到一定温度，所需加热温度的高低可以通过调节输入电流的强弱来控制。焊接前的预热能给激光钎焊带来两大好处：一是，对于焊丝来说，根据热力学原理，焊丝熔化所需的加热温度 $\Delta T = T_{\text{丝}} - T_{\text{常}}$ （ $T_{\text{丝}}$ 为焊丝的熔点温度， $T_{\text{常}}$ 为焊接前焊丝的常温温度）。焊丝预热后 $T_{\text{常}}$ 提高，而焊丝的熔点温度 $T_{\text{丝}}$ 由其本身材料决定，可认为是个常量，因此 ΔT 减小，也就是说熔化焊丝所需的热量更少。如果在焊接条件不变的情况下（激光功率和焊接时间），焊丝熔化的时间将缩短，其处于液态的时间将延长，这能使气体更充分地溢出，避免焊缝产生气孔；二是对于工件而言，预热电流也会使工件与焊丝接触的地方局部受热，加热后的工件表面会降低对激光的反射率，更好地吸收激光热量，加热后的工件也更有利于液态焊丝的润湿和铺展，易于形成美观焊缝。

2. 在线质量检测设备

在焊接过程中为了确保质量稳定可靠，避免因激光焊接保护镜片的污染，光的传输损失过大等造成的焊点缺失等情况，在每个焊接完成后，都将进行一个焊接过程质量检测，激光钎焊设备有2套系统来保证质量，一是在线检测设备FOMO（Focus Monitor）系统；另一个是检测设备Souvis5000。其中FOMO系统是检测焊接过程中焊丝位置、送丝参数、焊接参数等参数的软件，它可以将焊接过程中不易

观察到的焊丝及焊接参数形象地通过显示器显示出来，利于工程师进行监控焊接参数。

SOUVIS5000系统是德国PRECITEC公司研发的一套焊接质量检测软件，应用于X204后举升门激光钎焊的焊接质量检测。这套系统由一个摄像头，和两台PC组成以及图像处理分析软件组成。Souvis5000系统是对焊缝成形情况进行监控，摄像头上有激光发生装置，发出的线形激光通过焊缝反射后接收到红外摄像头，便可以将焊缝清晰地显示出焊缝形貌及表面缺陷，系统会自动与内部存储的标准图像进行对比后显示出所检测焊缝的缺陷情况。焊接完成后，机器人会将摄像头移动到焊接位置进行扫描拍摄，图像处理软件会实时对数据进行处理分析，根据图像灰度通过软件处理后可以基本准确地判断焊接质量的好坏。对于出现焊接缺陷的部位，会以红色标示出来，工人会进行目视检查进行再次确认，以进行进一步处理。

这两个系统的使用，能够使缺陷被及时发现，并得到及时正确的处理，从而提高产品质量。

ALO3激光钎焊工艺

激光钎焊是一种高精度、高自动化、高柔性的焊接工艺，同样具有激光熔焊的优点。其焊接原理并不是直接利用激光束熔化母材金属来实现焊接成形，而是利用激光束作为热源，聚焦后的光束照射在填充的焊丝表面上，焊丝被光束能量加热，熔化形成高温液态金属，液态金属浸润到被焊零件连接处，在适当的外部条件下，在界面层中生

成均匀的固溶体和共晶组织，使之与工件间形成良好的冶金结合，激光钎焊原理如图3所示。工件间的连接是通过钎焊层实现的，而母材本身不会被激光严重熔蚀损伤，使得焊缝成形美观、质量稳定，焊后仅需简单处理甚至无需处理。激光钎焊是一个独特的焊接冶金过程，除了光和热，在焊接过程中还伴随着特有声音和电荷的产生，这是因为激光的高能量输入使焊缝上方的环境气体和因受热气化的金属镀层蒸汽发生了电离，而焊缝上方的这层电离层被称作等离子云。等离子云对激光有吸收、折射和散射作用，因此一般熔池上方的等离子云会削弱到达工件的激光能量，并影响光束的聚焦效果，对焊接不利。

激光钎焊的焊接工艺与这项焊接技术的特点有关，由于车身板材一般使用镀锌钢板，锌的沸点在 908°C ，钢的熔化温度 1515°C 。在汽车板材的焊接上，激光钎焊若采用搭接的方式，会造成焊接过程中两板材之间的镀层金属锌发生气化。在焊接过程中，锌蒸气对焊接质量有重要的影响，为了降低锌蒸气对焊接的影响，需要在焊接过程中预留一定的间隙，使焊接过程中的锌蒸气能够及时溢出，从而避免气孔、孔洞等缺陷的产生。为了促

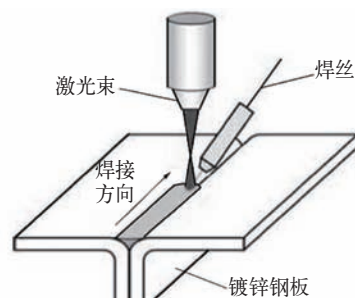


图3 激光钎焊工艺原理示意图

使锌蒸气溢出,焊接之前通过激光打点的方法,将金属熔化隆起,利用多个隆起的点,将两板材支撑起约0.15~0.2mm的间隙。在焊接过程中锌蒸气利用这个间隙溢出。这些起支撑作用的点,我们称之为“Noppen”(现场见图4)。

接下来就是将两层钢板固定在一起,进行焊接。两板搭接的形状和面积与焊接强度息息相关。根据板件的形状、结构、板厚以及搭接面积等因素,设计了两种类型的接头:“搭接接头”和“对接接头”,接头和焊缝示意如图5、图6所示。



图4 GLK举升门激光钎焊现场图

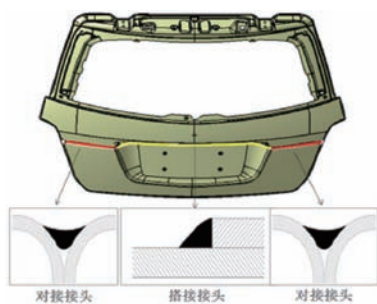


图5 GLK举升门激光钎焊接头示意图



图6 GLK举升门激光钎焊焊缝

ALO3激光钎焊质量标准

1. 目视标准

在日常生产中,针对各类不同缺陷,根据德国戴姆勒集团的标准结合北京奔驰的实际情况,以及车身对外观件的质量要求,我们对各类缺陷漆后状态进行了评判,与质量部一起确定了激光钎焊焊接缺陷的目视标准,用于指导各个质量环节的质量评判工作。经过认真地总结与试验形成的北京奔驰的激光钎焊目视标准。

2. 破坏性踢试标准

为了确保焊缝的强度,我们进行破坏性检验,将焊缝垂直抛开,通过金相试验观察焊缝的界面情况,试验表明焊缝的最薄处与焊缝的强度息息相关,在焊缝拉伸时总是在焊缝最薄处断裂,我们将焊缝最薄处的焊缝厚度称为“a值”。对于两种类型的焊缝,a值的测量方法如图7所示。

点的高度以及确认夹具的压力。由于材料填充不足,可以增加焊丝的填充量,同时增加激光的能量,以保证焊丝充分的熔化和铺展。填充材料不能充分的熔化和铺展,如材料表面存在油污、激光能量不足、焦点偏移等情形,都会造成焊丝熔化后不能和母材充分的结合。

图a~c定义对接焊缝截面“a”测量。焊缝的a级别取决于等腰三角形的高度,此高度与基材连接。图d、e定义搭接焊缝断面“a”测量。根据戴姆勒的质量标准,对焊缝断面a值得要求:

$$a \geq 0.7t_{\min}$$

式中, $t_{\min}$ 为较薄母材板的厚度。

焊接参数试验

1. 焊缝成形参数试验

影响激光钎焊焊缝成形质量的主要参数有:

- (1) 焊丝参数: 送丝速度、焊丝角度、焊丝高度、热丝电流。
- (2) 激光参数: 光斑直径(焦点)、激光功率、焊接速度。
- (3) 其他因素: 焊接夹具压力、Noppen高度、表面油污、零件尺寸的稳定性以及焊丝、激光、零件对齐程度等。

针对上述每个参数,我们设计了一系列试验,通过参数试验,总结出符合要求的焊缝成形的最佳参数范围。下面列举一个应用于生产的焊接参数及焊缝成形的情况。

该参数调试成功后,一直应用于实际生产,并且焊缝成形美观,

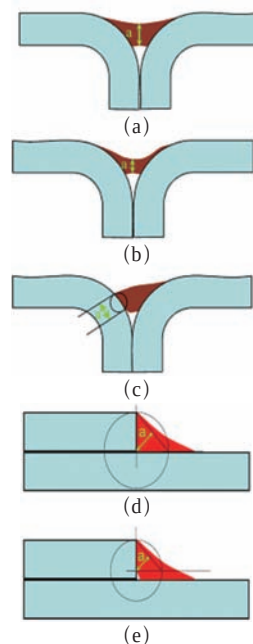


图7 激光钎焊焊缝a值示意图

a 值在0.7~0.8mm之间，质量合格、稳定，缺陷率较低。当出现缺陷时（见图8），无需调整焊接参数，可以根据不同的情况，按照优化方案，基本通过检查设备及各项参数，即可快速解决缺陷问题，避免批量质量问题的出现，大大降低了报废率。

2. 焊缝 a 值参数实验

如焊缝成形良好，焊接夹具压力、Noppen高度等满足焊接要求，焊缝无气孔等缺陷，激光钎焊 a 值调整则可以通过调整送丝速度和激光功率、焊接速度来实现。

通过前期的焊缝成型优化，目前焊缝表面成型较稳定，且焊缝跟踪功能运行良好，同时焊缝成型对焊丝位置较敏感，所以此次试验对焊丝位置不做调整。焊接参数中（见图9），光斑直径是根据焊丝直径来确定的，如不改变焊丝，光

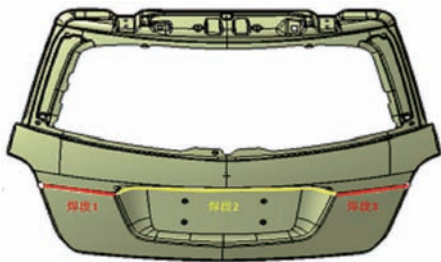


图8 激光钎焊焊缝 a 值低缺陷

斑直径也无需改变；其他因素中，母材尺寸的稳定性经过测量偏差非常微小，可忽略不计，表面油污也在焊前得到很好的清理。

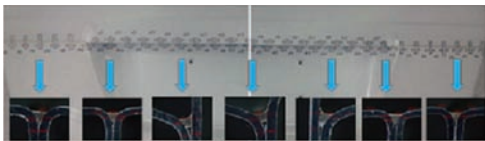
综上所述，优化 a 值的试验调

整的主要参数为激光功率、焊接速度、送丝速度。针对这些参数与 a 值得关系，通过一系列实验，将 a 值平均值调整在0.7mm以上，保证了焊缝的连接强度（见图10）。



焊段	1	2	3
激光/W	900	1450	900
焊接速度/ (m/s)	0.022	0.063	0.022
送丝速度/ (m/s)	0.025	0.06	0.022

图9 GLK后举升门激光钎焊生产主要参数



切片号	No.4	No.9	No.22	No.30	No.38	No.53	No.59
a 值实际/mm	0.83	0.73	0.76	0.73	0.77	0.87	0.69
a 值标准/mm	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53

图10 GLK后举升门激光钎焊优化后 a 值结果

AUTO1950

上汽奥迪项目确认重启

搁置一年的上汽奥迪项目确认将重启。近日，大众中国官网发布公告称，现任奥迪品牌C级、D级SUV和跨界车型产品负责人Fred Schulze将接替冯克定在上汽大众的职务，负责上汽大众的制造、物流和产品管理业务。此外，奥迪官网也发布声明称，正与上汽就未来的合作展开讨论。

早在2016年11月，上汽集团发布官方公告称，已与德国大众汽车签约，双方将成立合资公司，制造并销售奥迪品牌的汽车。上汽奥迪项目消息发出之后，30家一汽-大众奥迪经销商联合派出代表与奥迪进行谈判，提出若奥迪不取消与上汽大众的合作，将暂停提车，最后奥迪同意暂时中止上汽奥迪项目结

束。2017年2月，CADA奥迪经销商联合会成立，联合会发布《三亚声明》，提出在奥迪100万辆年销量目标达成之前，上汽奥迪项目必须暂停。

最后，奥迪与一汽-大众奥迪经销商达成协议，努力确保2022年实现销量90万辆，上汽奥迪不早于2022年1月在中国销售。