

激光技术在汽车工业中的运用

湖北光通光电系统有限公司(武汉 430074) 陈义红 张发伟

前言

1960年,美国的梅曼(Maiman)首先在实验室用红宝石晶体获得了激光输出,此后,激光器件和技术获得了突飞猛进的发展,相继出现了种类繁多的激光器,不同种类激光器件的大量涌现,使激光技术满足了不同行业的需要。激光标记、激光切割、激光热处理、激光打孔、激光焊接、激光测量等激光加工技术在汽车工业中得到了广泛应用,并以其加工应用范围广、工艺灵活多样、加工精度高、质量好、生产清洁、易实现自动化、柔性化和智能化等优点正逐步取代传统的加工方法。汽车工业是一个需要大量加工和测试的生产型产业,也是激光技术应用最广泛的行业之一,在汽车工业向安全、舒适、节能和环保方向发展时,大规模激光技术的应用就显得更加迫切。

激光标记技术

激光标记是激光加工领域中应用最广泛的激光技术之一,激光打标技术是当代高科技激光技术和计算机技术的结晶产品,几乎可以在所有材料上标记,与传统的机械刻划等方式相比,激光打标技术具有成本低、灵活性高的特点,由于采用计算机系统控制,其适用范围更广。激光打标利用声光Q开关将波长为1064nm的激光束调制成高峰值功率、高重复频率的脉冲激光后,经过响应速度极快的X-Y振镜扫描器,由光学系统聚焦到工件表面。功率密度极高的激光束使工件表面熔融汽化形成标记。所需标刻的图案由计算机编排且实时监控,使激光束按计算机设计的图案扫描,可迅速准确地完成所见即所得的打标工作。

激光作用于工件表面所产生标记的牢固永久性是其突出特点,所以激光标记系统可对大批量生产的工件实行产品单个识别编号,再以条形码或者二维码阵列标在产品上,可极为有效地帮助实行生产工序控制、质量控制以及防止假冒产品,常用来在汽车发动机上制作标识和商标。激光打标时与工件不接触,对工件表面不产生任何机械形变,高速打标可在生产线上实现在线实时打标,这种特性特别适合汽车工业中的大规模的应用,可以用于汽车零部件的高精度、快速刻划标记。针对汽车工业流水线生产的特点,国内有些厂商都开发出了适合汽车工业使用的专用打标系统,如湖北光通光电系统有限公司的高速振镜式全固化固体激光打标机结构紧凑、打标精度和激光峰值功率高,扫描速度快,特别适合在汽车生产线上使用。

激光热处理

激光热处理是利用高功率密度的激光束对金属进行表面处理的方法,它可以对材料实现相变硬化(或称做表面淬火、表面非晶化、表面重熔淬火)、表面合金化等表面改性处理,产生用其它表面淬火达不到的表面成分、组织、性能的改变。其基本原理是用高能激光束(能量密度为 $10^3-10^5\text{W}/\text{cm}^2$)对工件表面进行扫描,被扫描的部分材料表面急骤升温到相变温度,激光束离开后,被加热的部分又很快通过母体冷却而形成自淬火,其淬火部分呈超细化的结构组织,硬度比淬火前提高约2.5倍,并得到0.2~1mm的淬火层深,从而提高工件的耐磨性能3~5倍。

激光束能量密度高,加热及冷却速度快,淬火处理后硬度极高,仍保持原有尺寸精度和粗糙度,以及激光束的强度、大小易于用电子自动控制等诸多优点,因而可用该系统对汽车汽缸、活塞环、轮轴等关键零件进行激光淬火处理,以大幅度提高其使用性能,在经激光热处理后,不必再进行后处理,可直接送到装配线上安装。北京切诺基吉普车公司就建立了年处理约3万台汽车发动机的二氧化碳激光热处理生产线。北京内燃机及首都汽车公司、长春

第一汽车制造厂等大型企业都有自己的激光热处理生产线。美国的 TANI, G.F.BENEDICT 等人以及西屋电器公司、尼桑汽车公司、日立公司等也都申请了齿轮激光热处理工艺的多项专利。美国通用汽车公司率先采用激光热处理技术直接硬化缸体内壁,取得良好效果,德国大众、意大利菲亚特、日本丰田等一系列名车厂家都相继将这一技术引入汽车生产线,大大提高了发动机缸体的耐磨性,同时改善了缸体与活塞环的配付性,使活塞环的磨损同样减小。

汽缸是在高温和具有腐蚀性的燃气中进行工作的,它与活塞保持约 196000 帕的接触压力,并要承受活塞环 10M/S 左右的往复运动,容易磨损、窜气、使发动机功率不降、油耗增加、寿命缩短。活塞环、轮轴等关键件过去采用镀铬或喷钼来提高硬度。如利用激光束把这些零件的外表面(深度可根据需要自动调整、控制)加热到相变点以上,发生奥氏体化后,以不出贝化体和珠光体的临界冷却速度以上迅速冷却,便产生马氏体转化而硬化。当激光停止照射后,通过热传导的自身冷却而淬火,其表面硬度可超过 HRC60,而获得满意的效果。

激光切割(打孔)

激光切割是利用高能激光束照射在工件表面,使被照射到的区域局部熔化,汽化或相变,从而达到切割目的。激光束经专用光学系统聚焦后能量密度极高,能够烧熔一些硬度很高的材料,如硬质合金、陶瓷、金刚石等,可完成常规机械加工难以实现的任务。激光加工属非接触式加工,对工件本身无机械冲击力,工件不宜变形,热影响区小,工件内部不易产生残余热应力,这对精密零件的切割更具优势:激光束的能量和轨迹易于实现精密控制,因而能完成精密复杂的切割。

激光打孔效率很高,仅在千分之一秒左右时间内就能完成一个孔的加工,并对打孔周围的氧化、变形、热影响区域很小,不需后处理工序,不仅如此,它还可在工件移动过程中进行打孔,因而易于加工自动化;也可以在各种材料的零件上加工各种直径和深度的孔,如发动机的燃油喷嘴、散热孔、仪表盘上的各种孔、液压制动器中的细长油孔等,孔径可以小到 0.1-0.13CM。当加工“全陶瓷发动机”中的碳化硅或氮化硅等高硬度(相当于钢玉)、高熔点(2690度)的脆性陶瓷件时,可采用多次重复打孔的办法,使孔的深径比达到 25 以上,这是通常加工方法无法办到的。此外,激光打孔过程为非接触加工过程,加工出来的工件表面清洁(原材料在加工时已被气化)、没有污染,同时省去了机加工过程中所造成的铅头断裂、磨损、更换等麻烦。激光打孔这一高效率的高新技术正以巨大的魅力吸引着不少汽车生产厂家。

激光焊接技术

激光具有良好的单色性、方向性、相干性和聚集性能,非常适合焊接加工,由激光电源控制和泵浦脉冲氙灯,使谐振腔产生一定功率和能量的脉冲激光束,经过扩束聚焦等光学系统照射被焊工件,使其熔融而达到焊接目的。激光焊接工艺能够向工件传输高于 $10\text{KW}/\text{MM}^2$ 的能量密度,因此能够形成深宽比较大的、小孔状的熔深。激光焊接通过辐射吸收产生液态熔池,并使之长到理想尺寸,然后沿固体界面移动熔池,消除被焊机构件间的初始缝隙,形成高质量焊缝。依维柯汽车变速箱就采用了激光焊接齿轮生产线,年产 20 余万件。

采用激光焊接可以给汽车制造业带来巨大的经济效益,如车身装配中的大量点焊,把两个焊头夹在工件边缘上进行焊接,凸缘宽度需要 16MM,而激光焊接是单边焊接,只需要 5MM,把点焊改为激光焊,每辆车就可以节省钢材 40KG。用传统点焊焊接两片 0.8MM 的钢板冲压件,平均是 20 点/MIN,焊距是 25MM,即速度为 0.5M/MIN,用激光焊速度可以达到 5M/MIN 以上。采用激光焊接技术,不仅降低成本,还大大提高了生产效率。目前,一套千瓦级的激光加工机器人系统只要几十万美元,新型激光器的安全性和可靠性也得到了保证,其故障停机率仅 2%,防护措施也极为可靠。激光焊接时需要工件接触面紧密吻合,这在工艺上是不容易实现

的,但目前先进的夹持方法和适合激光焊接的凸缘设计使这一问题得到了解决,激光焊接技术的逐渐成熟使得各大汽车厂商无一例外的将激光焊接应用到了汽车生产线上。

激光测量

激光发散角小,方向性好,因此其测量精度非常高,通过精密激光测量设备,可以将零部件与模型比较,对经过修理或修改的零部件与原来的相比较,或在零部件的设计改变后迅速修改刀具或模具。在汽车零部件生产中,激光测量可以快速和非常精确地检测部件地尺寸与设计尺寸完全一致。而且,激光测量仪器可以快速将一个零部件或物理模型转变为数字化信息,可以用各种方法处理并同其它文件进行比较。激光计量、检测技术可用于零件的粗糙度测量、汽缸内孔的精密测量、活塞热变形测量以及复合材料零件、轮胎等的内部无损检测。激光在线厚度测量系统采用了激光位移传感器,利用电荷耦合器件实现光电转换。可以测量板材准确的厚度和宽度值,并实时显示被测物轮廓曲线。有关科研院所和南京依维柯汽车有限公司车身厂共同承担的国家“863”高科技项目“依维柯车身三维激光视觉检测系统”日前研制成功,这标志着我国第一套用于整车检测的激光三维尺寸自动测量系统已经诞生,其性能指标已达国际先进水平,国外汽车行业将激光视觉检测技术用于汽车车身的检测与控制,可有效提高汽车车身的焊接质量。在汽车轮胎生产中,也可使用激光橡胶在线检测系统,有效提高工作效率和产品质量。

后记

激光技术发展到今天已经成为一门综合性科学,激光加工和计算机数控有机结合,利用CAD等相关技术,进行激光快速成型,可以突破传统的设计和制造模式,可以大大改观汽车制造业的面貌,汽车生产企业对市场获得更大的主动权。新世纪,汽车工业将逐渐成为国民经济的支柱产业,面对广阔的市场,激光技术的大规模应用无疑会给汽车工业带来革命性的影响,对于激光产品提供商来说,同样是一种难得的机遇,也必然会推动激光技术的进一步发展。

作者简介: 陈义红博士,1979年至1986年就读于华中科技大学激光技术专业;1986年至1994年为华中科技大学激光技术国家重点实验室副教授;1994年至2000年为新加坡国立精迪精密制造研究所研究员,并于1998年获新加坡南洋理工大学博士学位;1998年至2000年受聘为南洋理工大学博士生导师;2001年至今出任湖北光通光电系统有限公司首席科学家、总经理。在国内工作和学习期间,“TEA CO₂激光打标机”“无氦横流CO₂激光器”和“大功率全固化固体激光器”等项目填补国内空白,并获省部级科技进步奖,两项技术获中国专利。曾经担任中国光学学会青年工作委员会主席。在国外学习和工作期间完成了35个激光科研和工业应用项目,其中有4个项目获新加坡政府的专项支持,5个科研成果为东南亚首创,三项技术获新加坡专利。在国内外重要刊物上发表论文五十多篇,为中国光学学会和美国工程光学学会SPIE会员,《激光技术》杂志编委。