激光技术在钢铁切割与加工中的应用

丁晓丽

(山东普雷赛斯数控设备有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 激光技术是现代制造业中的一种重要手段,它在钢铁切割和加工方面显示出了显著的优越性。它的高精度、高效率以及非接触式加工等特性使得它在钢铁行业中的应用越来越广泛。本文从激光切割、焊接、再制造、表面改性及增材制造方面对激光技术在钢铁加工上的应用进行了系统的阐述,指出激光表面改性技术主要有淬火、熔覆以及合金化过程,能够显著改善材料的性能,LCD和SLM等激光增材制造技术为制造复杂部件开辟了新的路径。

关键词 激光技术; 钢铁切割; 激光切割技术; 激光焊接技术; 激光再制造技术

中图分类号: TG485

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.16.028

0 引言

随着科学技术的不断进步以及制造业的飞速发展,激光技术被越来越多地运用到钢铁加工领域。激光技术具有高精度、高效率、高灵活性以及环保性的特点,是钢铁加工领域中的一种重要手段。但面对越来越激烈的市场竞争与多样化市场需求,激光技术也需不断地创新与发展才能适应新的产业变化。为此,本文通过探索激光技术在钢铁切割与加工中的应用,为钢铁行业科技创新与产业升级提供参考。

1 激光技术在钢铁加工中的优势

激光技术应用于钢铁加工领域已显示出许多显著优越性。一是激光技术凭借无可比拟的高精度特性使钢铁加工过程中的微小细节精准操控成为可能。这种高精度并不只表现在切割、焊接过程中,而是渗透到加工流程中,使钢铁制品尺寸精度、形状精度都得到了空前的保证。二是激光技术高效率的特点也是它受到钢铁加工欢迎的一个重要因素。激光束能快速而精确地作用在被加工材料上,使加工速度明显提高,生产效率得到改善^[1]。相对于传统加工方式,激光加工不需要太多预热及冷却时间,极大缩短加工周期并降低生产成本。三是激光技术非接触式加工的特性是它应用于钢铁加工的亮点之一。传统加工方式通常要求刀具或者模具直接接触被加工材料,这样不但易使刀具磨损而且会给被加工材料带来机械应力。而激光加工完全可以避免上述问题,其采用高能激光束对材料表面进行直接加工,真正意义上的非接触式加工以达到保护刀具及模具、延长使用寿命、改善加工质量的目的^[2]。

2 激光技术在钢铁切割与加工中的应用分析

2.1 激光切割技术

激光切割是激光技术应用于钢铁加工领域的最主要手段之一。它是以高能激光束为基础,利用聚焦镜把激光束集中成一个极微小光斑,使之瞬间形成高温,让钢铁材料快速熔化、汽化,甚至到达燃点,同时在高速气流或者惰性气体的辅助下,熔化或者汽化后的物料被吹离开切口,从而达到准确有效切割的目的。激光切割技术应用于钢铁切割时表现出很多的优点^[3]。一是它具有切割精度高、切口平齐平滑、不需二次加工等特点,能达到更高质量要求。二是激光切割快速高效,可显著提高生产效率和降低生产成本^[4]。另外,激光切割技术适应性强、灵活性高,可针对不同切割需求对功率、频率、光斑尺寸等激光参数进行调节,这样就达到了切割不同厚度和材质的钢铁制品的目的。激光切割技术广泛应用于钢铁加工中,不管是板材、管材或型材,不管是平面切割或立体切割等,激光切割技术均可轻松对付。

2.2 激光焊接技术

激光焊接技术作为其在钢铁加工领域里的又一重要应用已逐渐成为现代工业必不可少的一种高效精密连接手段。该技术以高能量密度激光束为热源,并通过激光束运动轨迹及功率输出的准确控制,将钢铁材料快速升温到极小区域熔化,实现了无接触无污染焊接工艺。激光焊接技术具有精度高、效率高等核心优点。一方面,激光束聚焦特性使其在焊接时能量集中且热影响区较小,以确保焊接接头力学性能优异且尺寸控制精度高。另一方面,激光焊接快速、焊缝成

形美观, 后续加工工序减少, 生产效率显著提升。此外, 激光焊接技术以非接触式加工为特征, 规避传统焊接方法可能带来的机械应力及变形等问题, 利于维持工件原几何形状及尺寸精度^[5]。

2.3 激光再制造技术

激光再制造技术主要是通过高能激光束精确修复废旧或者受损钢铁零件, 使其再制造或者性能得到改善, 其目的是最大限度地利用废旧资源, 降低对新资源依赖程度。激光再制造技术具有精度高、效率高、环保性好等核心优点。通过对激光束功率、光斑大小及扫描速度等参数的准确控制, 可达到废旧钢铁零件表面微小缺陷的精准修复, 同时, 确保修复区域力学性能与原始材料持平^[6]。该工艺不但避免了传统再制造方法可能带来的热变形及残余应力等问题, 而且极大地改善了再制造零件质量及性能。

2.4 激光表面改性技术

2.4.1 激光表面淬火技术

激光表面淬火技术作为激光表面改性技术中的一项重要内容正在逐步成为改善钢铁材料表面性能至关重要的方法。这种技术是用高能激光束将钢铁材料表面很快加热到奥氏体相变温度之上, 然后再用自冷或者快速冷却等方法使其表面很快淬火变硬, 形成了一层硬度高、耐磨性好、抗疲劳性能强的马氏体组织^[7]。激光表面淬火技术具有局部加热和快速冷却等核心优点, 可在不降低材料整体性能的前提下实现钢铁材料表面准确改性。该工艺由于激光束能量密度高, 使加热速度异常快、加热区域小、准确, 避免了常规淬火方法可能出现的热变形、残余应力等问题。同时激光淬火表面硬度明显提高, 耐磨性及抗疲劳性能得到显著改善, 钢铁零件使用寿命得到有效延长。

2.4.2 激光表面熔覆技术

激光表面熔覆技术是指利用高能激光束使特定的粉末或者丝材迅速熔化沉积在钢铁材料的表面上, 从而形成性能优异的新型合金层或者复合层的技术, 从而达到增强材料表面耐磨、耐腐蚀或者特定功能化的目的^[8]。激光表面熔覆技术具有高精度性、可控性等核心优点。激光束高能量密度使熔化过程快速而局部化, 可准确地控制熔覆层厚度、组成及微观结构以达到准确调节材料表面性能。在该工艺中激光束加热冷却速率快有利于减小热影响区、减小材料热变形及残余应力、维持基材原力学性能及几何形状^[9]。另外, 激光表面熔覆技术具有效率高、柔性好、环境友好等优点。通过准确控制激光束参数及熔覆材料类型, 可

实现不同形状、大小及材料的钢铁零件表面熔覆, 以适应各种工况性能要求。

2.4.3 激光表面合金化技术

激光表面合金化技术, 是指利用高能激光束使含特定合金元素的粉末或丝材在钢铁材料的表面迅速熔化和融合而形成性能良好的合金化层, 从而达到增强材料表面耐磨、耐腐蚀, 显著提高特定功能性。激光表面合金化技术具有精确性高、深度可控等核心优点。激光束高能量密度使熔化过程快速而局部化, 可准确地控制合金化层厚度、组成及微观结构以达到准确地调节材料表面性能。在该工艺中激光束加热冷却速率快有利于减小热影响区、减小材料热变形及残余应力、维持基材原力学性能及几何形状。同时通过对合金元素种类及含量的调节, 可对合金涂层性能进行灵活设计, 使其能够满足各种工况对性能的要求。

2.5 激光增材制造技术

2.5.1 激光直接成型 (LCD) 技术

作为激光增材制造技术中的一个重要分支——激光直接成型 (LCD) 工艺已逐渐成为钢铁材料中高效高精度制造复杂结构件的一种新方法。这种技术利用高能激光束使金属粉末层层融化和准确堆积, 在计算机控制下直接构造三维实体零件, 从而达到无模具、近清洁成型制造数字模型至实体零件^[10]。LCD 技术核心优点是设计自由度高、材料利用率高。利用尖端的计算机辅助设计 (CAD) 和计算机辅助制造 (CAM) 技术, LCD 技术可以轻易地完成复杂结构件的集成制造, 不需要在传统制造上进行模具设计与制造, 极大缩短产品开发周期。同时 LCD 技术通过逐层堆积, 材料利用率更高、降低材料浪费, 与绿色制造理念一致。制造时 LCD 技术可以通过准确控制激光束功率、光斑尺寸及扫描速度等参数及金属粉末供给量与堆积方式来达到准确控制部件尺寸、形状与性能。

2.5.2 选择性激光熔化 (SLM) 技术

选择性激光熔化 (SLM) 技术, 作为激光增材制造领域的尖端技术, 正在逐步转变为钢铁和其他金属材料高精度、高性能三维实体制造的核心技术。该技术利用高能激光束对事先铺好的金属粉末层进行精准扫描与熔化, 从而达到逐层堆积构建的目的, 在计算机程序的引导下直接产生复杂的三维实体零件而不需要模具, 大大提高制造效率与灵活性。SLM 技术核心优点是制造精度高、材料性能优越。通过对激光束扫描路径、功率与速度及金属粉末粒度与分布等参数进行精确调控, SLM 技术可以构筑力学性能优良、微观结构与表面

质量良好的部件。该工艺中激光束快速加热与冷却特性保证材料组织均匀致密、热影响区减小、材料热变形与残余应力有效减小,进而保证零件高精度、高质量。另外,SLM技术的材料利用率较高、设计自由度高,容易实现个性化定制。这项技术通过分层堆叠的方法,能够达到近乎100%的材料使用效率,从而显著降低了材料的浪费。

3 激光技术在钢铁加工中的应用与发展趋势

3.1 数字化与高精度化发展

随着信息技术突飞猛进的发展,激光技术数字化和高精度化已经成为钢铁加工中不可逆转的发展趋势。这一趋势既表现为激光加工设备智能化和自动化程度的提高,也表现为激光技术和数字化技术深度结合,促进由设计向制造全链条的数字化转型。在数字化的进程中,激光技术正在逐渐与计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)以及计算机辅助工程(CAE)这些数字化工具实现深度融合。利用数字化手段实现了对激光加工过程的准确模拟、加工结果的预测、加工参数的优化,提高了产品的加工效率与质量。同时数字化技术也使激光加工的工艺更透明化、可追溯,方便了质量控制与生产管理。在激光技术不断进步的同时,激光束聚焦精度、扫描速度和能量密度等关键指标也在不断提高,从而为高精度加工的实现提供强有力的保障。

3.2 多功能集成化加工

在激光技术不断进化的今天,多功能集成化加工已经成为促进钢铁加工领域技术创新和产业升级的一个重要发展趋势。这一发展趋势强调把激光加工技术和各种传统或者新兴加工技术有机地结合在一起,构成一个包括切割、焊接、表面改性和增材制造在内的综合加工系统。通过多功能集成化加工不但可以有效地提高加工效率与产品质量,而且可以使加工过程灵活定制,以适应市场越来越多样化的需求。多功能集成化加工系统以激光技术为核心驱动力起到了关键作用。激光束具有高能量密度、高聚焦性及高可控性等特点,使其能在加工时对热输入及能量分布进行准确控制,以实现各种加工功能无缝切换及高效协同。以激光切割及焊接集成加工为例,激光束参数及加工路径的准确调节可在确保焊接接头强度及质量的前提下实现钢铁材料快速准确地切割。

3.3 智能化与自动化融合

在未来激光技术发展蓝图上,智能化和自动化深度融合是促进钢铁加工领域向智能制造迈进的重要途径。

这一发展趋势既强调激光加工设备本身智能化升级,如通过融合先进传感器、机器视觉以及人工智能算法等技术来对加工过程进行实时监控、自适应控制及故障预警等方面,也注重建设覆盖设计、生产、管理等全链条自动化、智能化集成系统。智能化和自动化一体化激光加工系统可以显著提高加工效率、降低生产成本,同时提高加工过程灵活性及定制化能力。该系统对加工数据进行智能算法深度挖掘与分析,实现了加工参数自动优化、潜在质量问题预测与规避、加工过程高稳定性与一致性保障等。同时在自动化物流、机器人协作等先进技术的支持下,该激光加工系统可实现原材料供应、加工操作、成品检验全过程自动化,显著提高了生产效率与响应速度。

4 结束语

激光技术应用于钢铁加工领域,在提高加工效率、改善产品质量的同时,也可以更好适应市场越来越多样化的需求,推动着钢铁加工行业向绿色转型。未来,激光技术会向着数字化、高精度化、多功能集成化及智能化和自动化相融合等趋势发展,在钢铁加工行业将扮演更为关键的角色,为钢铁产业的持续增长提供坚实的技术后盾。

参考文献:

- [1] 牛广辉,张业建,林庆宇.激光诱导击穿光谱(LIBS)技术在低碳钢铁冶金行业的应用[J].中国无机分析化学,2024,14(02):168-175.
- [2] 任志国,王烁,王振兴,等.激光除锈技术对Q345钢表面残余应力和腐蚀性能的影响[J].表面技术,2024,53(19):164-172.
- [3] 唐沿扩.视觉系统在机器人全自动激光切割中的改进与应用[J].今日制造与升级,2024(06):113-116.
- [4] 贺美珍,乐聪聪,蒋燕麟.钢材用激光熔覆硬面涂层工艺及其实验研究[J].超硬材料工程,2023,35(01):38-42.
- [5] 郑升峰,王帅,齐红红,等.新型测绘技术在钢铁企业数字化转型中的应用[J].低碳世界,2024,14(05):25-27.
- [6] 叶安.激光技术在钢铁切割与加工中的应用[J].冶金与材料,2024,44(10):124-126.
- [7] 何琦,徐晨阳,侯泽然,等.激光热处理对超高强度钢扩孔性能的影响[J].塑性工程学报,2024,31(08):225-230.
- [8] 伍里峰,龙伟民,杨洋,等.钢的激光淬火研究现状[J].金属加工:热加工,2023(05):20-31.
- [9] 谭海林,赖春明,周家林,等.不同强度级别双相不锈钢激光焊接头的组织与力学性能[J].精密成形工程,2024,16(06):122-128.
- [10] 李朝进,刘媪.米巴赫激光焊机剪切装置装配方法优化[J].电工钢,2023,05(02):48-51.