

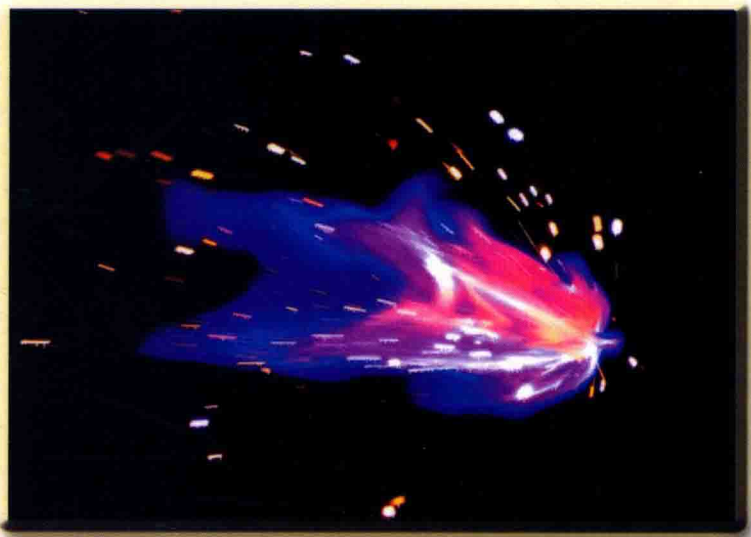


职业技术教育课程改革规划教材
光机电专业国家级教学资源库系列教材

先进激光加工技术

XIANJIN JIGUANG
JIAGONG JISHU

主 编 钟正根 肖海兵 陈一峰
副主编 陈毕双 华学兵 徐临超
主 审 唐霞辉



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



职业技术教育课程改革规划教材
光机电专业国家级教学资源库系列教材

先进激光加工技术

XIANJIN JIGUANG
JIAGONG JISHU

主 编 钟正根 肖海兵 陈一峰
副主编 陈毕双 华学兵 徐临超
主 审 唐霞辉

贵州师范学院内部使用



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书为国家职业教育光机电应用技术专业教学资源库建设的成果。本书主要介绍了激光加工技术的发展历程和基本原理、激光打标技术、激光焊接技术、激光切割技术、激光熔覆技术、激光3D打印技术、激光微细加工技术、激光加工典型案例等内容。

本教材适合高等职业院校三年制专科和四年制本科光电制造与应用技术、激光加工技术等专业课程教学,也可供激光设备生产企业和激光技术应用企业生产调试及员工培训、技能鉴定使用,还可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

先进激光加工技术/钟正根,肖海兵,陈一峰主编. —武汉:华中科技大学出版社,2019.3
职业技术教育课程改革规划教材. 光机电专业国家级教学资源库系列教材
ISBN 978-7-5680-5030-2

I. ①先… II. ①钟… ②肖… ③陈… III. ①激光加工-职业教育-教材 IV. ①TG665

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 036299 号

先进激光加工技术

Xianjin Jiguang Jiagong Jishu

钟正根 肖海兵 陈一峰 主编

策划编辑:王红梅

责任编辑:刘璇 王红梅

封面设计:秦茹

责任校对:刘竣

责任监印:赵月

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录排:武汉市洪山区佳年华文印部

印刷:武汉市籍缘印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:12

字数:292千字

版次:2019年3月第1版第1次印刷

定价:29.80元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

职业技术教育课程改革规划教材 光机电专业国家级教学资源库系列教材

编审委员会

主任:姚建铨(天津大学精密仪器与光电子工程学院教授,中科院院士)

副主任:王又良(中国光学学会激光加工专业委员会主任)

朱晓(华中科技大学激光加工国家工程研究中心主任,教授,博导;

湖北省暨武汉激光学会理事长;武汉·中国光谷激光行业协会会长)

吴让大(中国光学学会激光加工专业委员会副主任,奔腾楚天(温州)总经理,
教授级高级工程师)

委员:唐霞辉(华中科技大学激光加工国家工程研究中心副主任,教授,博导;

中国光学学会激光加工专业委员副秘书长)

吕启涛(大族激光科技产业集团股份有限公司首席技术官,博士;

中组部千人计划入选者)

牛增强(深圳市联赢激光股份有限公司首席技术官,博士)

杨永强(华南理工大学机械与汽车工程学院,教授)

牛丽媛(浙江工贸职业技术学院材料工程系教授、博士后)

熊政军(中南民族大学激光与智能制造研究院院长,教授)

陈一峰(武汉船舶职业技术学院光电制造与应用技术专业负责人,教授)

郑宣成(浙江嘉泰激光科技股份有限公司董事长,温州市激光行业协会的副会
长,高级工程师)

胡志刚(浙江圣石激光科技股份有限公司总经理,高级工程师)

刘善琨(湖北省激光行业协会秘书长)

侯若洪(广东省激光行业协会会长;深圳光韵达光电科技股份有限公司总经理)

陈焱(深圳市激光智能制造行业协会会长;大族激光智能装备集团总经理)

闵大勇(苏州长光华芯光电技术有限公司董事长)

赵裕兴(苏州德龙激光股份有限公司董事长)

王小兴(深圳镭霆激光科技有限公司董事长,总经理)

王瑾(大族激光科技产业集团股份有限公司精密焊接事业部总经理)

王志伟(深圳市铭镭激光设备有限公司总经理)



前 言

激光加工技术是 20 世纪能够与原子能、半导体及计算机齐名的四项重大发明之一。激光加工技术走过了几十年的快速发展历程,其对人类社会的发展产生了重要的影响,激光已经成为当今世界的先进制造工具。激光加工技术已广泛应用于汽车、电子、航空、冶金、机械制造等国民经济重要部门,同时也广泛应用于工艺礼品、服装、产品包装、洁具等日常生产、生活中,对提高生产效率、产品质量、自动化水平,减少污染、材料消耗等都起到了重要作用。

激光加工技术在原理上可分为激光分割去除技术、激光连接制造技术和激光改性技术,根据不同的用途又可细分为激光打标、激光焊接、激光切割、激光雕刻、激光熔覆、激光快速成形、激光微细加工等。

本教材在介绍了激光加工技术的发展历程和基本原理后,对当前应用最为广泛的激光打标技术、激光焊接技术、激光切割技术、激光熔覆技术、激光 3D 打印技术及激光微细加工技术进行了详细的介绍,并在最后以典型案例为例,介绍了不同激光加工技术的方法和步骤。书中大部分内容为作者多年来从事激光加工技术研究和教学的工作成果,同时还参考和引用了大量国内外研究人员和企业最新的研究成果和产品,希望能够对读者了解和学习先进激光加工技术有所帮助。

浙江工贸职业技术学院主持完成了国家职业教育光机电应用技术专业教学资源库建设,开发了一系列光机电应用技术专业教学资源。本教材为教学资源库课程建设的成果,编者大部分为参与教学资源库建设的教师。本书第 1、2 章由陈一峰老师编写,第 3 章由钟正根老师编写,第 4、5、8 章由肖海兵老师编写,第 6 章由徐临超老师编写,第 7 章由华学兵老师编写,第 9 章由钟正根、陈毕双、徐临超、华学兵老师共同编写。全书由钟正根老师统稿,华中科技大学唐霞辉教授主审。

本书在编写过程中得到合作院校和相关单位的大力支持,在此表示诚挚的感谢!书稿中存在不妥之处在所难免,请广大读者及专家学者批评、指正。

编 者

2019 年 1 月 22 日

目 录

1 激光加工技术的发展	(1)
1.1 激光加工技术简介	(1)
1.2 激光加工的特点、分类及应用	(4)
1.3 激光加工技术的发展趋势	(7)
复习思考题	(8)
2 激光加工材料基础	(9)
2.1 激光基础知识	(9)
2.2 激光与材料的相互作用	(14)
2.3 材料在激光作用下的效应	(20)
复习思考题	(21)
3 激光打标技术	(22)
3.1 激光打标技术概述	(22)
3.2 常用激光打标功能介绍	(27)
3.3 影响激光打标效果的因素	(42)
3.4 常见材料激光打标工艺	(47)
复习思考题	(49)
4 激光焊接技术	(50)
4.1 激光焊接技术概述	(50)
4.2 常用激光焊接功能介绍	(51)
4.3 影响激光焊接效果的因素	(53)
4.4 常见材料激光焊接工艺	(55)
4.5 激光电弧复合焊接	(61)
复习思考题	(64)
5 激光切割技术	(65)
5.1 激光切割技术概述	(65)
5.2 常用激光切割功能介绍	(67)
5.3 影响激光切割效果的因素	(73)
5.4 常见材料激光切割工艺	(74)
复习思考题	(81)
6 激光熔覆技术	(82)
6.1 激光熔覆技术概述	(82)
6.2 激光熔覆技术的预处理	(87)
6.3 激光熔覆设备与材料	(90)
6.4 激光熔覆工艺	(96)

6.5	激光熔覆层的组织	(100)
6.6	熔覆层的缺陷及处理对策	(108)
	复习思考题	(109)
7	激光 3D 打印技术	(110)
7.1	激光 3D 打印技术概述	(110)
7.2	激光 3D 打印技术介绍及分类	(114)
7.3	激光 3D 打印技术的发展	(122)
	复习思考题	(124)
8	激光微细加工技术	(125)
8.1	超短脉冲激光精密加工	(125)
8.2	准分子激光精密加工	(131)
	复习思考题	(136)
9	激光加工典型案例	(137)
9.1	金属名片激光打标	(137)
9.2	不锈钢电池壳体激光焊接	(143)
9.3	纸质礼品糖盒激光切割	(146)
9.4	45 钢表面预铺粉法激光熔覆 Ni60 涂层	(156)
9.5	3D 打印小型台虎钳	(159)
9.6	激光内雕技术及典型案例	(162)
9.7	激光清洗技术及典型案例	(175)
	参考文献	(183)

激光加工技术的发展

1.1 激光加工技术简介

1.1.1 国外激光器及激光加工技术的发展

激光作为 20 世纪能够与原子能、半导体及计算机齐名的四项重大发明之一,走过了近 60 年的快速发展历程,其对人类社会的发展产生了重要的影响,激光已经成为当今世界的先进制造工具。

1. 激光器的最新发展

1) 光纤激光器

相比于二氧化碳激光器而言,光纤激光器的电光转换效率更高,耗电量仅是二氧化碳激光器的 1/3,加工速度可以提升 2~3 倍,其性能卓越、可靠、综合成本低,能够帮助终端用户在提高生产率的同时,降低成本。更重要的是,光纤激光器更便于与数控机床、机器人、自动化系统进行集成。仅仅经过几年的时间,光纤激光器就凭借着各种技术优势掀起了一场激光切割的技术变革。如今,光纤激光器的需求不断增加,应用领域也开始慢慢向工程机械、汽车、轨道交通、船舶、航空航天等基础领域渗透。美国 IPG 光纤激光器是世界光纤激光器及放大器行业的领导者,自 1990 年公司创立以来,IPG 就一直致力于将基于有源光纤的激光器推广应用于材料加工、通信、医疗、科研,以及其他领域,并使其商业化。目前,在 IPG 激光产品家族中,YLS 系列激光器,其功率范围为 500 W 至 100 kW,并支持连续或脉冲调制模式,频率高达 5 kHz,电光转换效率超过 40%;在整个调整范围内不改变光束发散角和直径的情况下,设备的功率调整范围从 10%到 100%。这就实现了一台激光器同时满足高功率及低功率的不同应用,如焊接、钻孔和精密切割等,从而带来了激光器应用的突破。IPG 激光器的发散角指标远远优于其他类型的激光器,因此允许使用中长焦距加工镜头,从而大大提高了焦深,降低光学器件的损伤概率,成为远程加工应用的不二之选。

德国 TRUMPF 公司收购英国光纤激光器制造商 SPI、英国 JK 激光公司,成功进军高功

率光纤激光器领域;美国 JDSU 公司与日本金属加工机床制造商 Amada 合作开发功率高达 4 kW 的光纤激光器;美国 nLIGHT 公司收购芬兰特种光纤制造商 LIEKKI。由此可以预见,高功率光纤激光器行业竞争将愈演愈烈。

2) 碟片式激光器

德国 TRUMPF 公司的碟片式激光器发展非常迅速,目前,TruDisk 激光器具有智能功能,100%恒定功率,光束质量非常好,可达 $2 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$,通过内置的主动式激光功率调节实现稳定的加工工艺,确保得到可再现的工艺结果,这在金属焊接、切割和表面处理场合,尤其在亟需高功率和最佳光束质量的应用中备受青睐。TruMicro 系列皮秒和飞秒激光器的脉冲特别短,脉冲能量高(最高可达 $500 \mu\text{J}$),同时光束质量优异,平均功率最高可达 150 W,非常适合加工半导体材料、金属、电介质、塑料和玻璃。

3) 半导体激光器

半导体激光器可作为光纤激光器、固体激光器的泵浦源(激光器的零部件),也可直接用作激光器,应用到材料加工、激光医疗、激光雷达等领域。半导体激光器的典型公司是德国 DILAS 半导体激光公司,它是全球领先的高功率半导体激光器研发、设计和制造商,一直致力于为工业制造、国防、印刷、医疗,以及科研市场提供最先进的产品和技术。DILAS 公司于 1994 年成立于德国美因兹,是全球唯一在德国、美国和中国(南京)建有生产基地的高功率半导体激光公司。目前,DILAS 公司实用化半导体激光器的功率最高可达到 8 kW。总部设在美国华盛顿州温哥华市的恩耐(nLIGHT)公司也是半导体激光器制造商,它在半导体激光器芯片和光纤耦合封装方面具有很强的优势,其产品主要应用于材料加工、医疗、防御、半导体、太阳能和消费等领域。

4) 紫外激光器

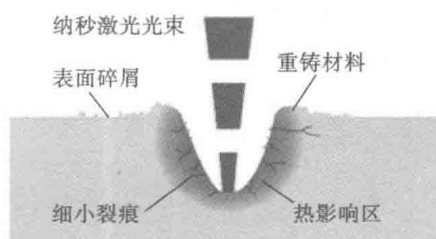
紫外激光波长较短、频率高,光子能量大,能够直接打断材料化学键,因此紫外激光的冷加工成为市场精密加工的宠儿,国外生产紫外激光器的著名厂家有德国通快、美国光谱物理、美国光波、美国相干、美国普爱等。

5) 超快激光器

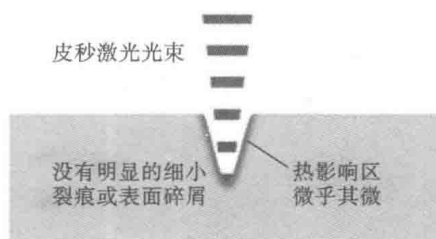
美国 PI 公司生产的 PS 系列半导体泵浦全固态皮秒激光器具有 20~25 ps 的脉宽,平均功率从 200 mW 到 120 W 不等,单脉冲能量相对较小,为 nJ 数量级,是一种良好的准连续激光器。美国光谱物理公司研发的飞秒激光器,具有小于 400 fs 的脉冲宽度,高脉冲能量,重复频率高达 1 MHz。图 1-1 所示的是纳秒激光光热作用与皮秒激光光化学烧蚀作用的对比,皮秒激光热影响更小,图 1-2 所示的是纳秒激光与皮秒激光处理碳纤维增强混合物的对比,皮秒激光的处理具有更高精度和较少的重熔物。

2. 激光加工设备的最新动态

近几年来,激光与数控机床、机器人、自动化系统集成发展很快,欧美主要国家在大型制造产业,如机械、汽车、航空、钢铁、造船、电子等行业中,基本完成了用激光加工工艺对传统工艺的更新换代,进入“光加工”时代。国外著名的公司如瑞士百超公司,该公司主要致力于研发及销售板材加工系统,能针对客户的不同需求提供合适的激光切割设备,例如快速处理订单,过程可靠性高,非生产时间短,以及操作简单、可靠。此外,可选配各种节能的激光器和自动化系统。



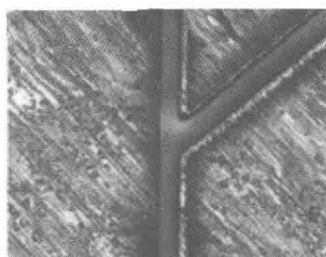
(a) 光热作用



(b) 光化学烧蚀



(a) 355 nm 纳秒激光器



(b) 355 nm 皮秒激光器

图 1-1 光热作用与光化学烧蚀作用的对比

图 1-2 纳秒激光与皮秒激光处理碳纤增强混合物对比

全球激光行业巨头企业通快集团设在德国迪琴根,具有 80 多年的机床生产历史,是全球激光智能制造设备生产企业之一,它在超大功率(12 kW 以上)上少有竞争对手,而且在激光智能制造设备方面做得非常好。

山崎马扎克公司成立于 1919 年,20 世纪 70 年代开始国际化运营,目前在全世界共有 10 处生产基地。马扎克公司的产品包括五轴加工中心、立/卧式加工中心、激光切割机和 FMS 柔性生产系统等。马扎克激光机的特点是智能化,尤其适用于钣金加工。无论是加工 3 维工件,还是切割型材,它都能做到“既快又准”,即加工速度快,切割精度高。马扎克公司因为在数控加工中心方面的实力雄厚,在控制系统、软件配合和传动等方面具有优势。

1.1.2 国内激光器及激光加工技术的发展

1. 激光器的现状

1961 年夏,中国第一台红宝石激光器研制成功。此后短短几年内,各种类型的固体、气体、半导体和化学激光器相继研制成功。目前,我国是世界上最大的工业激光器市场,占全球市场的 24%。不仅国外企业纷纷把我国作为重要的战略市场,本土企业也厚积薄发,国产化进程加速。国内的大小品牌有二十多家,在与外国品牌的激烈竞争中,不断创新突破,寻找合适的细分市场,谋求继续发展。国内光纤激光器主要供应商包括锐科激光公司、创鑫激光公司、杰普特公司、联品激光公司、中科光汇公司,其中锐科激光公司和创鑫激光公司分别在创业板和新三板上市,形成行业发展双龙头;杰普特公司凭借 MOPA 激光器巩固了自己的行业地位,联品激光公司与中科光汇公司发展迅速,其中中科光汇公司在连续激光器方面已有 6 kW 功率的产品。其他品牌包括上海飞博公司、武汉安扬公司、国神光电公司、46 所、东方锐镭公司、欧泰激光公司、华日精密激光公司等发展不错。2017 年国产紫外激光器销售量超过

1万台,其中,华日精密激光公司紫外激光器产量近4000台。随着紫外激光器国产化和性价比的不断提高,其应用市场正逐步发展起来。但是,我们仍然需要清醒地认识到,从光纤激光器的产能和市场占有率来看,我国在规模上虽然都有较大突破,但国产光纤激光器的品质与国外同类产品相比,仍存在较大差距;同时,80%的高功率光纤激光器依然需要依靠进口。

2. 激光加工设备的现状及其生产公司

尽管我国早在20世纪60年代已在加工、医疗器械和测距等方面出现了激光产业的雏形,然而当时只是零星的、分散的小量研制性生产,未能形成气候。1978年改革开放以后,激光产业在中国才真正得到重视并实质性起步。如今我国激光加工产业可以分为四个比较大的产业带,包括珠江三角洲、长江三角洲、华中地区和环渤海地区。这四个产业带侧重点各有不同,珠三角地区以中小功率激光加工机为主,长三角地区以大功率激光切割焊接设备为主,环渤海地区以大功率激光熔覆和全固态激光为主,以武汉为首的华中地区则覆盖了大、中、小功率激光加工设备。这四大产业带中,以华中地区尤其是武汉最具代表性,中国“光谷”的称号便是有力的证明。武汉地区可以说见证了中国激光加工产业从无到有、从弱到强的整个历程,是中国激光产业发展的缩影。

2017年,我国激光加工产业产值430亿元,相比2016年增长了100多亿元,同比增长30%。我国激光设备装机量占据全球装机总量的45%。2014~2016年近三年的时间内,我国高功率激光装备的销量维持在1500~2000台。但到了2017年,国产高功率激光装备几乎实现了翻番的增长,尤其是,以光纤激光器作为光源的激光装备正在从自动化向智能化发展。

国内的激光设备厂商有大族激光公司、华工激光公司、金运激光公司、帝尔激光公司、天弘激光公司、海目星激光公司、联赢激光公司、盛雄激光公司、奔腾激光公司、嘉泰激光公司、铭镭激光公司等。

1.2 激光加工的特点、分类及应用

1.2.1 激光加工的特点

激光加工是将激光聚焦得到高能量密度的激光束照射到材料的表面,用于熔化、气化材料,以及改变物体表面性能的加工方法。激光加工在工业加工领域存在着如下鲜明特点。

① 激光加工属于非接触加工,不产生机械磨损,对被加工的材料不存在力学应力。

② 激光光束能量密度高,加工速度快,工件变形小,热影响区小。

③ 激光可以对多种金属、非金属进行加工,特别是,可以加工高硬度、高脆性及高熔点的材料。

④ 激光易于与数控机床、工业机器人、自动化系统集成,实现高度自动化乃至智能化生产。图1-3所示的是通快公司生产的数控激光切割机;图1-4所示的是通快公司生产的冲裁激光机床,这是一款集冲压、成形和攻丝于一体的创新型激光加工机床;图1-5所示的是激光3D打印产品;图1-6所示的是激光切管机。



图 1-3 数控激光切割机

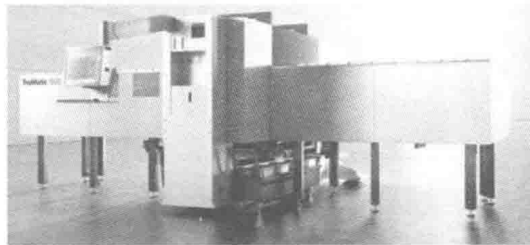


图 1-4 冲裁激光机床

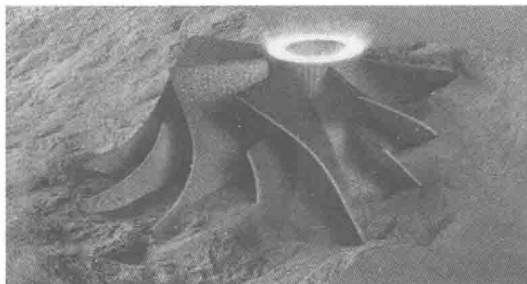


图 1-5 激光 3D 打印产品

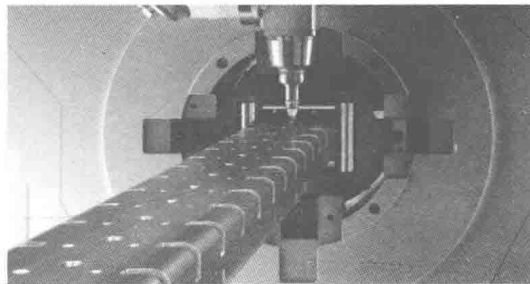


图 1-6 激光切管机

⑤ 激光多才多艺,可以实现多种加工方式。图 1-7 所示的是激光焊接加工现场;图 1-8 所示的是激光 3 维切割加工现场。

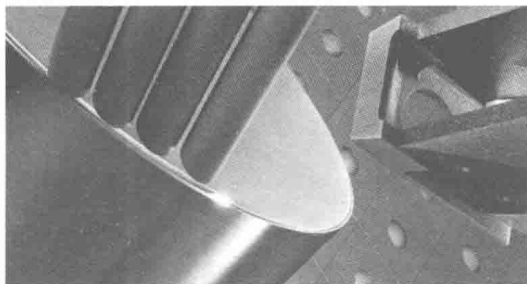


图 1-7 激光焊接加工现场

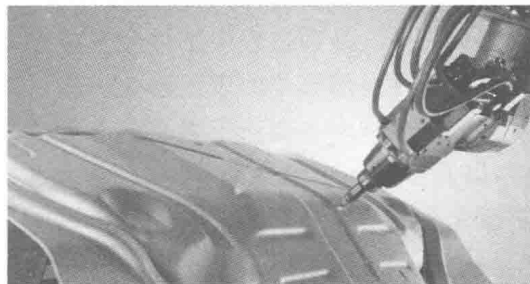


图 1-8 激光 3 维切割加工现场

⑥ 激光可适应不同几何形状工件的加工要求,且可进行大批量加工。

1.2.2 激光加工的分类

激光加工技术要利用激光热源的多方面特点进行加工。激光加工技术类型众多,应用领域广泛,应用潜力巨大,主要有激光打标、激光切割、激光焊接、激光热处理、激光 3D 打印、激光蚀刻等。

1. 激光打标

激光打标是利用高能量密度的激光对工件进行局部照射,使表层材料气化或发生颜色变化的化学反应,从而留下永久性标记的方法,即激光打标是通过表层物质的蒸发露出深层物质,或者是通过光能作用导致表层物质的化学物理变化而“刻”出痕迹,显示出所需刻蚀的

文字、符号和图案等来实现的。激光可对各种金属、非金属材料(模具、量具、电子元器件、机械零部件、面板、标牌、钟表、手饰、文具等)进行文字或图形的标记刻写,与传统工艺相比,具有速度快、精度高、质量好等优点。

2. 激光切割

激光切割是以高能量密度的激光使材料融化或气化的一种材料分离的方法,它可实现各种金属和非金属板材及众多复杂零件的切割,是激光在现代制造行业中最重要应用技术之一。激光切割与其他切割方法相比,最大区别是它具有高速度、高精度,以及高适应性的特点,同时还具有割缝窄、热影响区小、切割面质量好、切割时无噪声及切割过程容易实现自动化控制等优点。因此,目前激光切割已广泛地应用于工程机械、汽车、机车车辆制造、航空、化工、轻工、电器与电子、石油和冶金等工业制造中。

3. 激光焊接

激光焊接是将高强度的激光束辐射至金属表面,激光与金属的相互作用,使金属熔化形成焊接的技术。激光焊接是利用高能量密度激光束加热、熔化工件完成焊接的加工方法,具有焊接速度快,焊接热影响区小,工件变形小,且易于获得大深宽比焊缝等优点。

4. 激光热处理

激光热处理,是以高能量激光束快速扫描工件,使被照射的金属或合金表面温度以极快速度升高到相变点以上,激光束离开被照射部位时,由于热传导作用,处于冷态的基体使其迅速冷却而进行自冷淬火,得到较细小的硬化层组织的技术,这种热处理的硬度一般高于常规淬火硬度。处理过程中工件变形极小,适用于其他淬火技术不能完成或难以实现的某些工件或工件局部部位的表面强化。激光热处理自动化程度较高,硬化层深度和硬化面积可控性好。该技术主要用于强化汽车零部件或工模具的表面,提高其表面硬度、耐磨性、耐腐蚀性,以及强度和高温性能等,如汽车发动机气缸、曲轴、冲压模具、铸造型板等,图 1-9 所示的是激光金属熔覆的现场。

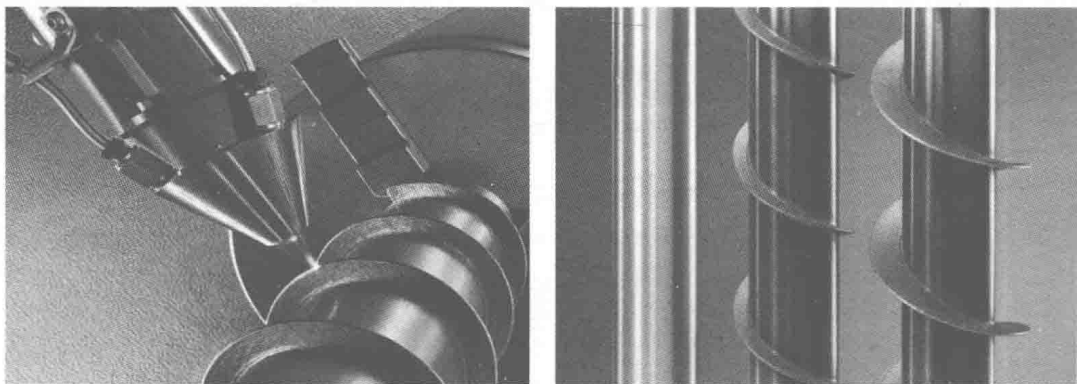


图 1-9 激光金属熔覆的现场

5. 激光 3D 打印

激光 3D 打印技术是一系列快速成形技术的统称,其基本原理是叠层制造,由快速原型机在 OXY 平面内通过扫描形成工件的截面形状,目前市场上常见的快速成形技术如 3DP 技

术、DLP 激光成形技术和 UV 紫外线成形技术等都被广泛应用。激光 3D 打印技术在智能制造的升级中扮演了重要的角色,未来的发展趋势将主要集中在高功率和深度应用等方向,在精密机械、能源、电子、石油化工、交通运输等几乎所有的高端制造领域中都具有广阔的工业应用前景,图 1-10 所示的是激光 3D 打印的产品。

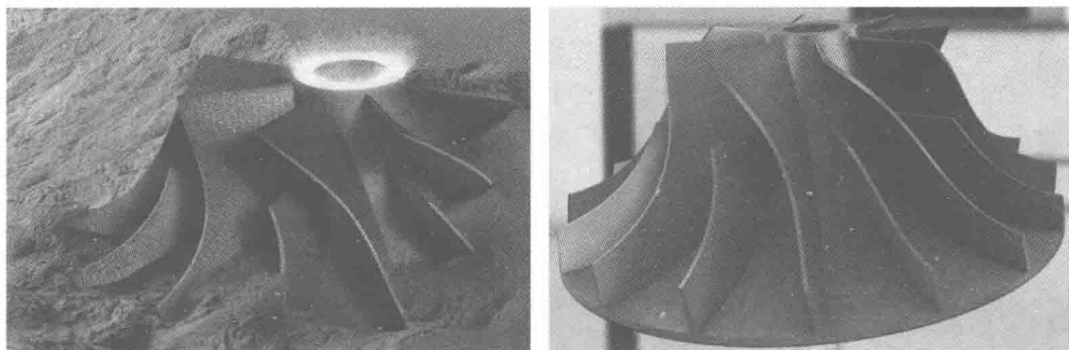


图 1-10 激光 3D 打印的产品

6. 激光刻蚀

激光刻蚀的基本原理是将高光束质量的小功率激光束(一般为紫外激光、光纤激光)聚焦成极小光斑,在焦点处形成很高的功率密度,使材料在瞬间气化、蒸发,形成孔、缝、槽。其加工工艺包括激光微纳切割、划片、刻蚀、钻孔等,图 1-11 所示的是 1064 nm 红外光在透明导电膜(TCO)玻璃上的刻蚀过程。

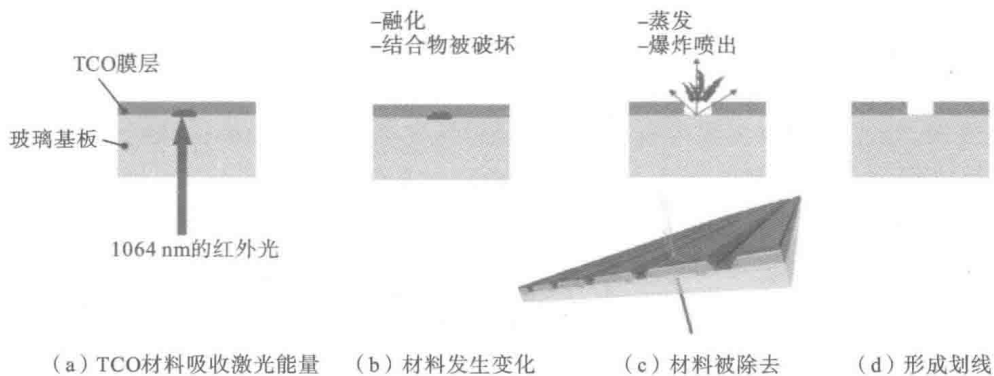


图 1-11 透明导电膜(TCO)玻璃刻蚀过程

1.3 激光加工技术的发展趋势

1.3.1 激光器技术发展方向

继传统的气体、固体激光器之后,碟片激光器、半导体激光器、光纤激光器、全固化可见

光激光器及倍频紫外激光器,皮秒、飞秒激光器等新型激光器发展迅速,总体而言,全球激光技术的主要趋势是向大功率、优质光束、高度可靠性、智能化和低成本方向发展。

1.3.2 激光加工设备发展动向

作为集光、机、电、计算机信息及自动化控制等技术于一体的激光加工设备将是未来光信息科技时代的主角,将成为现代先进加工手段的代表,它将对各种传统仪器设备产生换代性的冲击。因此,未来激光加工设备具有广阔的应用领域和市场空间,激光加工设备的技术进步表现为软件的不断优化升级,最新型光学器件的进展和采用,与数控机床、机器人、自动化系统集成技术的不断改进,产品外形设计的不断更新等自身的升级。

复习思考题

1. 简述激光加工的特点。
2. 激光加工分为哪几类?
3. 激光加工为什么能成为现代加工的重要工具?
4. 激光加工未来的发展趋势是什么?
5. 激光加工快速发展的原因是什么?

激光加工材料基础

2.1 激光基础知识

2.1.1 激光器的组成

激光器主要由激光泵浦源、增益介质和谐振腔等三部分构成。

1. 激光泵浦源

激光的产生是能量转换的过程,必然要遵循能量守恒定律。产生激光必然有能量的来源,也就是我们首先要说的激光泵浦源,它是激光输出能量的源泉,用于对粒子数的泵浦,以实现粒子数反转。泵浦源的种类非常多,目前使用的泵浦源主要有高频电源、闪光灯,以及半导体激光模块等。CO₂激光器主要用高频电源来泵浦,而对于传统的棒状激光器,则采用闪光灯泵浦。图 2-1 所示的是世界上第一台采用闪光灯泵浦的激光器,新型的光纤以及碟片激光器则采用半导体激光模块泵浦,如图 2-2 所示的为半导体泵浦模块。相对于闪光灯泵浦,半导体泵浦模块具有吸收率高的特点。

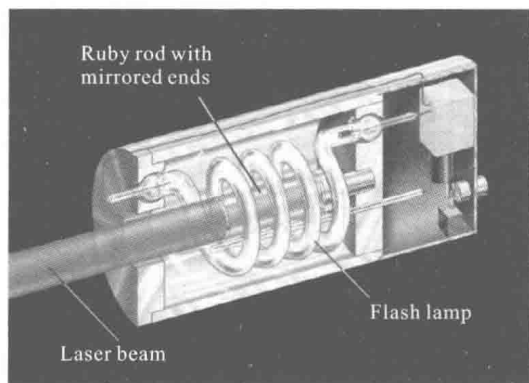


图 2-1 世界上第一台采用闪光灯泵浦的激光器

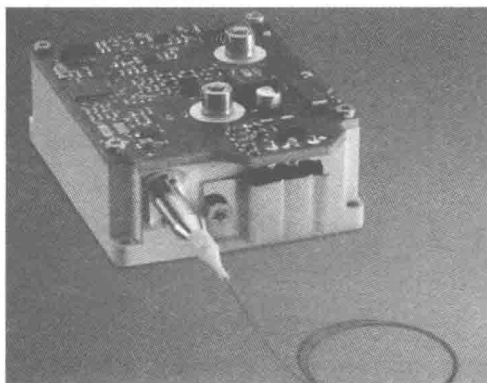


图 2-2 半导体泵浦模块

2. 激光增益介质

激光增益介质是指用来实现粒子数反转并产生光的受激辐射放大作用的物质体系,有时也称为激光增益媒质,它们可以是固体(晶体、玻璃)、气体(原子气体、离子气体、分子气体)、半导体和液体等媒质,当这些材料的原子或分子受到泵浦后产生激发,然后通过一系列复杂的过程回到基态时辐射出光,表 2-1 是典型激光器的工作物质一览表。

表 2-1 典型激光器的工作物质

激光种类	激光增益介质	典型激光器
气体激光器	气体或金属蒸气	CO ₂ 激光器 氦氖激光器 碱金属激光器
固体激光器	掺杂了激活离子的晶体或玻璃	红宝石激光器 Nd:YAG 激光器 Nd:玻璃激光器 Yb:YAG 激光器
二极管激光器	半导体材料	GaInP 激光器 GaAs 激光器
染料激光器	有机染料	波长可调谐激光器

3. 谐振腔

光学谐振腔是激光器的必要组成部分,不同激光器,其谐振腔的设计是不同的,既有只有两面镜片构成的简单谐振腔,也有由数十面镜片构成的复杂谐振腔。光纤激光器的谐振腔是一对光栅,半导体激光器的谐振腔是一对解理面。谐振腔的作用有两个:一个是提供正反馈,一个是控制腔内振荡光束的特征。利用谐振腔的设计,可以获得单模模式的激光输出或多模模式的激光输出,从而实现不同的应用。图 2-3 所示的是典型的光学谐振腔原理图。

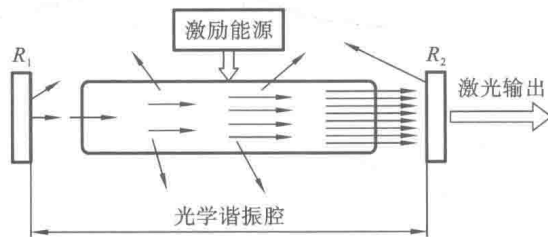


图 2-3 典型光学谐振腔原理图

2.1.2 工业用激光器

激光自诞生以来,尤其是近 20 年来,激光技术及其应用得到迅速普及和发展,激光器种类繁多,新型激光器不断被开发。现代用于激光加工制造的激光器,主要有 YAG 激光器、CO₂ 激光器、光纤激光器、准分子激光器、大功率半导体激光器等。其中大功率光纤激光器和大功率半导体激光器在大型工件激光加工技术中应用较广;中小功率半导体激光器在精密