

激光快速成型金属零件的新方法 *

杨 森 钟敏霖 张庆茂 刘文今

(清华大学机械系激光加工研究中心,北京,100084)

摘要: 简要介绍了两种用激光快速成型金属零件的新方法及其特点,指出了目前存在的问题和发展前景。

关键词: 激光快速成型 选择性激光烧结 激光涂覆 制造

New techniques to rapidly manufacture metal parts with laser

Yang Sen, Zhong Minlin, Zhang Qingmao, Liu Wenjin

(Laser Engineering Processing Center, Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract: Two new techniques used to directly manufacture metal components and their characteristics have been introduced in the paper. The exist problems and prospects have also been pointed out.

Key words: laser rapid prototyping laser selected sintering laser cladding manufacture

引 言

利用传统方法制造金属零件生产周期长、生产成本低、设计灵活性小,通常只适于大批量生产,而且需制作昂贵的工、模具。但是,实际生产中所需的零件可能是单件或小批量,这就向人们提出了一个有趣的课题,即如何按照要求快速生产出合格的零件,以缩短生产周期和降低成本。随着激光技术、计算机技术、CAD/CAM 技术以及机械工程技术的发展,特别是激光快速原型技术的发展,快捷地生产出合格的零部件已成为可能。

快速原型技术 RP(rapid prototyping technology) 是 80 年代后期兴起的一项高新技术^[1],它通过材料添加方式快速将 CAD 模型直接转换成实体模型,而不需要传统的模具、工具或其它的人工干涉,它集成了机械工程、CAD/CAM、数控技术、激光技术及材料科学等领域的最新成果,可以自动而迅速的将设计思想转化为具有一定结构和功能的原型或直接制造零件,从而对产品进行快速评价、修改,以响应市场需求,提高企业的竞争能力。

利用快速原型技术虽然可以方便地制成用于制造金属零件的原型,但它们不能完全模拟出工程师的设计,工程师需要的是一种与最终产品一样的零件。为了制得所需的金属零件,需先由非金属原型做出铸模,再由铸模进行生产。如何避免上述两步操作,直接制作出金属零

* 清华大学 985 重点项目资助。

作者简介:赵元安,男,1976 年 8 月出生。硕士研究生。现从事高阈值激光薄膜的研究。

收稿日期:2000-08-07

件,这是目前利用激光进行快速制造的热点。我们将就目前快速成型金属零件的两种方法进行简要评述,并指出其发展前景。

1 选择性激光烧结(SLS)的原理和特点

1.1 SLS 原理^[2]

选择性激光烧结是采用激光有选择地分层烧结固体粉末,并使烧结成形的固化层,层层叠加,生成所需形状的零件,其基本原理如图 1 所示。

首先,由 CAD 产生零件模型,并用分层切片软件对其进行处理,获得各截面形状的信息参数,作为激光束进行二维扫描的轨迹,由激光发出的

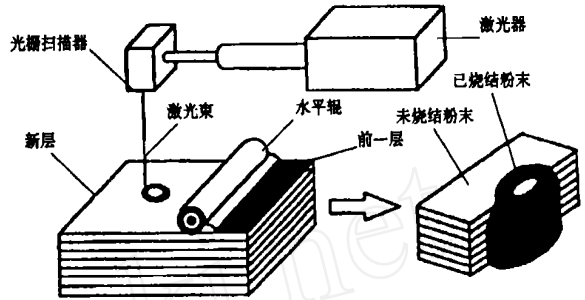


图 1 SLS 技术示意图^[1]

光束在计算机的控制下,根据几何形体各层截面的坐标数据有选择地对材料粉末层进行扫描,在激光辐照的位置上粉末烧结在一起,一层烧结完成后,再铺粉进行下一层扫描烧结,新的一层和前一层自然地烧结在一起,最终生成三维形状的零件。

1.2 SLS 的特点

与其它传统制造方法相比,选择性激光烧结技术的突出优点是:

(1) 具有高度的柔性,在计算机的控制下可以方便迅速地制作出传统加工方法难以实现的复杂形状的零件,例如具有复杂凸凹部分及中空的零件。

(2) 技术的高度集成,它是计算机技术、数控技术、激光技术与材料技术的综合集成。

(3) 生产周期短,由于该技术是建立在高度技术集成的基础之上,从 CAD 设计到零件的加工完成只需几小时到几十小时,这一特点使其特别适合于新产品的开发。

1.3 研究现状

由于选择性激光烧结技术具有上述的优点,因而该技术得到了广泛的应用,特别是用该技术直接生产金属零件和金属模具,国内外已取得了一定的成绩。美国的 DTM 公司用其制造的 SLS2000 系统成功地制作出了钢铜合金的注塑模具^[3]。德国的汉诺威激光中心采用 Nd YAG 脉冲激光器和光学扫描系统,对不同粒度的材料进行了试验,如镍、铜、铝青铜等合金。以氢气为保护气,在室温下试验,发现可以制造出密度远低于 100% 的金属零件^[4]。

在国内,南京航空航天大学特种加工研究室首先开展了选择性激光烧结技术的基础研究,目前已完成了单层烧结试验,在粉末配比及激光烧结参数的选择方面均获得了比较好的结果。在此基础上,他们进行了多层烧结的初步尝试,已烧结出形状简单的二维实体零件^[5~7]。

2 激光涂覆(熔覆)制造技术

2.1 激光涂覆制造技术的原理^[8~10]

激光涂覆制造技术也称近形技术(LENS),是近年来在激光熔覆技术和快速原型技术的基础上发展起来的一种新技术。首先,由 CAD 产生零件模型,并用分层切片软件对其进行处理,获得各截面形状的信息参数,作为工作台进行移动的轨迹参数。工作台在计算机的控制

下,根据几何形体各层截面的坐标数据进行移动的同时,用激光涂覆的方法将材料进行逐层堆积,最终形成具有一定外形的三维实体零件。图 2 是激光涂覆制造原理示意图,系统主要由高功率激光器、送粉系统、高精度数控工作台和熔池温度控制和反馈系统组成。

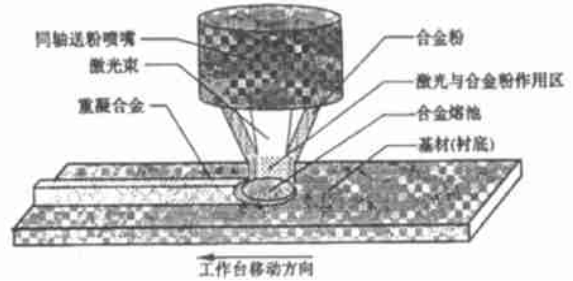


图 2 激光涂覆制造原理示意图^[8]

2.2 激光涂覆制造技术的特点

使用聚焦激光辐照时,形成的熔池很小,可制出外形精密的零件。因烧结点的大小和激光束的有效直径差不多,故零部件的壁厚可以精确调节,这样就减少了后处理工序。激光近形方法提高了设计的灵活性,通过改变 CAD 模型文件可使设计工程师方便、经济地对零件进行修改补充,还可以灵活改变零件不同部位的成分,使零件具有优异的综合性能。生产周期大大缩短,效率高。

可以成型的材料种类广泛,只要被加工材料对所用激光器的激光波长有低的反射率,这种材料就可用 LENS 法来处理。激光涂覆制造技术易实现选区熔覆,可以用来修复大的金属零件。不需要制作昂贵的工模具,生产成本低。

2.3 激光涂覆制造技术的研究和应用现状

德国的汉诺威激光中心已对钴基(stellite6)和镍基合金(Inconel625)进行了这方面的研究,他们采用了最大功率为 3kW 的 CO₂ 激光器和一套计算机数控的三维加工系统。使用这套设备生产出具有垂直和倾斜薄壁的金属部件。发现不论使用什么材料,对涂覆部分的结构检查均可发现其组织细小,其中有部分树枝晶结构。对材料的测试表明,涂覆零部件的密度近百分之百,抗拉强度和断裂强度与常规的金属板材类似。

表 1 力学性能^[11]

	极限强度 (MPa)	屈服强度 (MPa)	延伸率 (%)
316 不锈钢(垂直方向)*	794	449	66
316 不锈钢(平行方向)*	807	593	33
316 不锈钢退火态	587	242	50
625 合金(平行方向)*	932	635	38
625 合金(垂直方向)*	932	518	37
625 合金退火态	835	400	30
Ti-6Al-4V*	986~1034	896~931	9~12

*表示用激光涂覆制造技术获得

与传统方法相比均有大的提高。表 1 为其部分实验结果。

Abbott 等人利用激光近形技术制造出钛零件,制造时间缩短了 50%到 75%。实验在由一个 3m × 3m × 1.2m 的加工间和一种新型的能够提供高粉流率送粉器的系统中完成,该加工间能加工在氩保护气氛下的大尺寸零件,氧压低于 10ppm,这对极易与氧和氮反应的钛是极其关键的。对商业化纯钛、Ti-6Al-4V 和 Ti-5Al-2.5Sn 的机械性能和组分分析研究表明,激光快速

美国 Sandia 国家实验室已能用激光近形制造法生产多种材料的高密度金属零件^[11],包括镍合金 Inconel 718, 625, 690, 不锈钢 304 和 316, H13 工具钢、钨、钛和磁性 NdFeB 等。通过变换激光模式、激光功率、沉积速率、坐标轴数和金属运送方式可得到优化的制造速率、零件密度、晶粒结构和表面质量。该实验室生产的 Ti-6Al-4V 零件真实度达 99.996%,延伸率和强度与

成型零件能满足使用的需求^[12~14]。

目前,在国内还未见有这方面的报道。

3 存在的问题与展望

尽管利用激光熔覆技术和选择性激光烧结技术已能直接制造出金属零件,但仍存在许多有待解决的问题。

(1) 不论是哪一种技术,其首要解决的问题是层与层之间结合力的问题,界面问题将是影响该技术发展的最大障碍。

(2) 后序处理问题。目前,特别是对于选择性激光烧结技术,还须对制得的零件机械后序处理,否则不能达到所要求的机械性能和热学性能。

(3) 组织致密性问题。目前,所制得的金属零件的致密度不高,影响了零件的使用性能。

总之,尽管激光近形制造技术存在的问题很多,但其在制造领域内发展潜力是相当大的。方便、快捷地获得所要的零件是人们追求的目标,激光选择性烧结和激光涂覆制造技术以其独特的优势正引起人们越来越广泛的关注,特别是激光涂覆制造技术的发展必将带来一场机械制造业的革命,具有广阔的应用前景。

参 考 文 献

- 1 朱剑英. 航空精密制造技术,1993;29:1
- 2 程 军,白培康,赵熹华. 选择性激光烧结成型技术的研究现状及发展趋势,第4届全国激光加工学术会议论文集,北京:冶金工业出版社,1997:135
- 3 尹津龙,侯立松,罗 山. 激光与光电子学进展,1997;7:33
- 4 Das S,Beaman J J,Wohlert M *et al.* SLS/ HIP - A Direct Freeform Fabrication Process for High Performance Metal Components in The Third Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing,1998:1587 ~ 1594
- 5 唐亚新,邓琦林,张 宏 *et al.* 航空精密制造技术,1996;32(2):21
- 6 邓琦林,余承业. 航空工艺技术,1996;(2):19
- 7 邓琦林,余承业. 航空工艺技术,1996;(1):31
- 8 Murty Y V,Robert F D. Advanced Materials & Processes,1998;153(1):47
- 9 Harris L M,David L B. Advanced Materials & Processes,1993;144(3):28
- 10 Fritz B P,Lee E W. Novel applications and Implementations of Shape Deposition Manufacturing,ICRPM '98,1998;20:29
- 11 Keicher D M,Smugeresky J E,Romero J A *et al.* SPIE,1993;2993:91 ~ 97
- 12 Abbott D H,Arcella F G. Advanced Materials & Processes,1998;153(5):29
- 13 Murpy M,Lee C,Steen W M. International Conference on Applications of Lasers and Electro-optics,1993;882:891
- 14 Arcella F G,Abbott D H,House M A. Powder Metallurgy World Congress,1998;1:6

作者简介:杨 森,男,1967 年出生。讲师,博士后。主要从事材料的激光加工和快速凝固理论方面的研究。

收稿日期:2000-11-08 收到修改稿日期:2001-02-14