

光机电一体化技术

应用 100 例

林宋 刘勇 郭瑜茹 编著



光机电一体化技术应用 100 例

林宋 刘勇 郭瑜茹 编著



机械工业出版社

光机电一体化技术是由光学、微电子学、计算机信息、控制技术和机械制造及其他相关技术交叉与融合构成的综合性高新技术,是诸多高新技术产业和高新技术装备的基础。它从系统过程的角度出发,使产品或系统实现整体优化。因此,光机电一体化技术及其产品反映了当今机械工业技术和产品发展的主要趋势。

本书精选了近年来国内外典型光机电一体化技术和产品 100 例,内容涵盖工业、交通、军事、生物和医学、家用电器和仪器仪表,每一个实例尽可能全面地介绍产品的功能、性能、硬件结构和软件框图,配有一定的图表,内容丰富,材料翔实,可供从事光机电一体化技术产品及系统设计、研制、开发、生产、经营、使用和维修的管理人员、工程技术人员、大专院校机电专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

光机电一体化技术应用 100 例/林宋等编著. —北京:机械工业出版社, 2005.8

ISBN 7 - 111 - 17350 - 3

I. 光 ... II. 林 ... III. 光电技术 - 机电一体化 IV. TH - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 103121 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:黄丽梅 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:陈 沛 责任印制:杨 曦

北京机工印刷厂印刷

2005 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5·12.5 印张·486 千字

0 001—4 000 册

定价:35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

光机电一体化技术是微电子技术、计算机技术、控制技术、光学技术与机械技术的相互交叉与融合,是诸多高新技术产业和高新技术装备的基础。它包括产品和技术两方面:光机电一体化产品是集光学、机械、微电子、自动控制和通信技术于一体的高科技产品,具有很高的功能和附加值;光机电一体化技术是指其技术原理和使光机电一体化产品得以实现、使用和发展的技术。

光机电一体化技术是由光学、光电子学、电子信息和机械制造及其他相关技术交叉与融合构成的综合性高新技术,是诸多高新技术产业和高新技术装备的基础。它丰富和拓宽了机电一体化技术的内涵和处延。

现代产品开发人员,不仅要熟悉机械结构、光学系统、传感器、信息处理和控制等方面的知识,而且要熟悉计算机的硬件接口和软件设计方面的知识,这样才能开发出结构简单、功能齐全、效率高、精度高、能耗低、附加值高的光机电一体化产品。本书精选了26项光机电一体化技术和74项光机电一体化产品,尽量以较为丰富的内容和翔实的材料启迪读者的思维,起到抛砖引玉的作用。

本书共分2章,其中第1章对光机电一体化技术及其应用进行了较为全面的阐述;第2章汇集了各类光机电一体化的产品实例,分别介绍了光机电一体化技术在工业、军事、交通、医疗、家用电器、仪器仪表等上的应用。

本书力求及时地反映光机电一体化技术在国内外的最新进展和作者的有关研究成果,内容新颖,系统全面,分门别类地归纳总结了光机电一体化技术的基本理论和在国民经济各个领域的应用实例,重点地介绍了光机电一体化技术的工程应用方法和实现方法。注重理论联系实际,配有大量说明图表,尽量避免出现繁复冗长的公式推导,偏

IV

重普及性、实用性和新颖性，在内容深度和语言叙述方面力求满足不同层次读者的需求，适合工程技术人员阅读和高校机械类专业教学的需要。

本书由林宋、刘勇、郭瑜茹编写，此外参与编写工作的还有殷际英、田建君、林经萍、陈岳、彭兴礼、胡春江、白传栋、洪啸、雷晓刚、侯彦丽、吕艳娜、王彦燕。全书由林宋统稿。

由于编者水平所限，敬请读者提出宝贵的批评和意见。

编 者

2005年5月

目 录

前言

第1章 光机电一体化技术	1
1 激光清洗技术	1
2 激光热处理技术	6
3 激光熔覆与合金化技术	11
4 激光上光技术	19
5 电铸成形技术	20
6 立体光刻技术	22
7 激光近形制造技术	24
8 激光快速成形技术	29
9 水导激光加工技术	35
10 激光刻蚀技术	38
11 激光电镀技术	40
12 激光焊接技术	42
13 激光抛光技术	44
14 GPS 在交通管理中的应用	47
15 电子束加工技术	51
16 离子束加工技术	55
17 微波加工技术	58
18 等离子体加工技术	60
19 光电技术在烟机检测上的应用	63
20 激光干涉测量技术	65
21 激光全息技术在防伪领域中的应用	70
22 射频识别技术	73
23 激光打标技术	75
24 超声波加工技术	78
25 硅基微加工技术	79

第2章 光机电一体化产品.....	81
26 激光切割机	81
27 电火花机床	87
28 电脑雕刻机	90
29 XHK716型立式加工中心	93
30 数控五轴联动激光加工机	103
31 虚拟轴机床	110
32 直线电动机	119
33 活塞外轮廓测量仪	124
34 汽车防撞系统	129
35 条形码阅读器	134
36 流式细胞仪	140
37 激光打孔机	144
38 激光音乐全息理疗系统	149
39 光电轴角编码器	152
40 光栅数显表	155
41 激光扫描显微镜	157
42 扫描隧道显微镜	158
43 数字显微硬度计	162
44 激光扫描声学显微镜	166
45 激光扫平仪	169
46 扫描仪	172
47 数码相机	177
48 光盘	183
49 模糊控制全自动洗衣机	187
50 汽车安全气囊系统	189
51 电动刀架	194
52 激光准直仪	198
53 自动旋转门	203
54 便携式隧道断面激光测量仪	210
55 对刀仪	213
56 光栅装置	217
57 带有集成传感器的轴承单元	222
58 光电跟踪切割机	224

59	微致动器	226
60	微机器人	229
61	医用 X 射线机	234
62	激光打印机	240
63	CT 成像系统	249
64	车用激光雷达	255
65	汽车 ABS 系统	259
66	变频空调	264
67	红外测油仪	271
68	数字微镜器件	274
69	光标阅读器	277
70	圆柱电阻激光自动刻槽机	284
71	红外热像仪	286
72	夜视仪	291
73	多传感器稳定集成系统	294
74	电火花线切割机床	296
75	SS600 系列 3 热像仪	300
76	FLIR 510 型手持式热像仪	301
77	潜望镜	303
78	Sea Star ASFIRE 吊舱	307
79	BRITE Star 激光指示器	309
80	SeaFLIR 光电吊舱	310
81	Mark II 光电吊舱	312
82	SETS 星体跟踪器传感器	314
83	CT-633 星体跟踪器	315
84	光电子多传感器平台	316
85	光电火控系统	318
86	红外搜索和跟踪系统	321
87	激光陀螺仪	324
88	TCD-300 发卡器	325
89	枕式包装机	327
90	自动液体包装机	329
91	激光微束装置	331
92	新型高温线材打捆机	335
93	新型固定式智能水泥包装机	339

VIII

94	光纤传感器	341
95	音乐喷泉	345
96	足球机器人	350
97	光盘驱动器	359
98	傅里叶变换红外分光光度计	365
99	光电比色高温计	372
100	紫外—可见光分光光度计	380
参考文献		388

第1章 光机电一体化技术

1 激光清洗技术

在微电子加工过程中，沾污是较为严重的问题。表面残留颗粒会使成品率下降50%。微电路线宽愈窄，需要清洗的微粒尺寸也愈小。例如，在亚微米集成电路中， $0.1\mu\text{m}$ 大小的粒子是造成电路失效的主要原因，粒子愈小，清除就愈难。目前普遍采用的液相化学清洗方法对于清除小于 $0.1\mu\text{m}$ 的粒子就无效了。

激光清洗技术是采用高能激光束照射工件表面，使表面的污物、锈斑或涂层发生瞬间蒸发或剥离，高速有效地清除清洁对象表面的附着物或涂层从而达到洁净的工艺过程。激光清洗过程实际上是激光与物质相互作用的过程，它在很大程度上取决于污染物质在固体表面上的吸附方式。

一般来说，污染物质在器件表面的吸附力有三种，即范德瓦尔斯力、毛细力和双层静电力。范德瓦尔斯力是微米级污染物的主要附着方式，它起因于一个物体中的瞬时偶极矩和另一个物体中感生的偶极矩之间的相互作用；毛细力来自于很薄的液体层在粒子和基体之间的微小空隙处产生的凝聚力；双层静电力是粒子和基体之间由于出现电荷的输运而使得两者带有异号电荷，从而产生的相互吸引的力。因此，这些吸附力都与粒子的直径有关，其数值都比其重力大几个数量级。随着粒子尺度的减小，这些力呈很慢的线性衰减。粒子的尺度越小，清除它所需的加速度就越大。因此，常规清洗方法难以清除尺度如此小的污染物。

与传统的机械清洗法、化学清洗法和超声波清洗法不同的是，激光清洗不需要任何破坏臭氧层的有机溶剂，无污染，无噪声，对人体和环境无害，是一种“绿色”清洗技术。激光清洗技术应用范围广泛，对固体表面、液体表面、宇宙空间都适用，尤其是对被除去的污物必须收集（如除去有毒或放射性油漆）、废弃物是易爆的或基底容易被损坏的等情况，利用激光清洗更显现出安全、高效、可靠等优点。

1. 工作原理

激光清洗机理主要是基于物体表面污染物吸收激光能量后，或汽化挥发，或瞬间受热膨胀而克服表面对粒子的吸附力，从而脱离物体表面，达到清洗的目的。激光清洗系统的工作原理如图 1-1 所示。

激光器 1 产生的激光经可弯曲的光纤 2 传输到聚焦镜头 3，聚焦后从清洗喷嘴 4 的内孔抵达清洗工件 5 的表面。通常使用吹气喷嘴，借助于与激光同轴的小孔喷嘴将具有一定压力的气体吹到清洗区。气体由辅助气源 6 供给，吹气的主要作用是吹去气化物，并防止镜头被飞溅物和烟尘污染，同时还可带走氧化所放出的热量或防止表面氧化，起到净化表面、强化激光与材料的热作用。

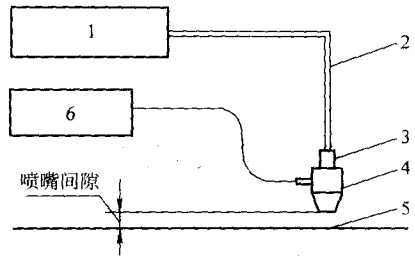


图 1-1 激光清洗工作原理示意图

1—激光器 2—光纤 3—聚焦镜头
4—清洗喷嘴 5—清洗工件
6—辅助气源

2. 分类

从清洗机理上，激光清洗可分为两大类，一类是利用清洁基片（也称为母体）与表面附着物（污物）对某一波长的激光能量具有差别很大的吸收系数。辐射到表面的激光能量，大部分被表面附着物所吸收，使之受热或气化蒸发或瞬间膨胀并被表面形成的蒸气流带动脱离物体表面，从而达到清洗的目的。而基片由于对该波长的激光吸收能量极小，所以不会被损伤。对此类激光清洗选择合适的波长和控制好激光能量，是实现安全高效清洗的关键。

另一类是适用于清洁基片与表面附着物的激光能量吸收系数差别不大或基片对涂层受热形成的酸性蒸气较敏感，或涂层受热后会产生有毒物质等情况的清洗方法。该类方法通常是利用高功率高重复率的脉冲激光冲击被清洗的表面，使部分光束转换成声波。声波击中下层硬表面后，返回的部分与激光产生的入射声波发生干涉产生高能波，使涂层发生微小爆炸。涂层被粉碎、压成粉末，再被真空泵清除，而底下的基片不会损伤。

激光清洗可以做到：

1) 气化垢物，清洁表面。根据不同垢物，选择不同的激光辐射功率密度。一般可按打孔、切割、焊接和表面改性的顺序递减。激光清洗与表面改性应为一个档次，由于激光清洗属于热加工范畴，因此，在停止激光照射后，材料的表面部位需要经过冷却。

2) 清洗改性一举两得。在激光清洗过程中，激光的热作用可使金属表面相变硬化或进行退火与淬火，从而改善材料的表面性质，提高金属的硬度或抗腐蚀能力。目前激光切割能达到的经济表面粗糙度为 $R_a 12.5 \sim 25 \mu\text{m}$ ，随着激光加

工工艺的发展,可使表面粗糙度达到 $R_a 3.2 \sim 6.3 \mu\text{m}$ 。

3. 激光清洗的方法

激光清洗方法有 4 种:

- 1) 激光干洗法,即采用脉冲激光直接辐射去污。
- 2) 激光+液膜方法,即首先沉积一层液膜于基体表面,然后用激光辐射去污。
- 3) 激光+惰性气体的方法,即在激光辐射的同时,用惰性气体吹向基体表面,当污物从表面剥离后会立即被气体吹离表面,以避免表面被再次污染和氧化。
- 4) 运用激光使污垢松散后,再用非腐蚀性化学方法清洗。

目前在工业生产中主要采用前 3 种清洗方法,其中激光干洗法和激光+液膜清洗方法用得最多,第 4 种方法仅见于艺术品的清洗保护。

4. 激光清洗的应用

(1) 激光清洗硬盘磁头

计算机硬盘磁头在使用过程中,磁头表面产生的污染大致分 3 种:

- 1) 难以去除的有机胶如环氧树脂。
- 2) 研磨加工过程中产生的辐射残渣包括硅微粒和有机油脂。
- 3) 深嵌于表面的金属污染物。

由于这些污染物的存在,使飞溅深度增大,减少了磁记录密度。另外,污染物碰撞硬盘表面,易破坏磁盘的光滑表面层和中间层,导致磁录的可靠性下降。由于对某些有毒化学清洗剂使用的限制,不得不采用其他清洗技术,如高压水洗的方法,但它不仅效率低,而且难以取得理想的效果,因此,大量的硬盘磁头因污染而不能继续使用。

采用脉宽 23ns、最大能量密度 $450\text{mJ}/\text{cm}^2$ 的 KrF 准分子激光,是一种有效去除磁头污染、不引起任何表面损伤的清洗方法。在光学显微镜下观察,能量密度为 $450\text{mJ}/\text{cm}^2$ 时,25 个激光脉冲便可以清除掉磁头的环氧树脂污染物;能量密度为 $330\text{mJ}/\text{cm}^2$ 时,30 个脉冲就可以去除掉辐射残渣,并且边缘整齐,没有任何表面损伤;金属污染与磁头表面结合较紧密的,当能量密度 $187.5\text{mJ}/\text{cm}^2$,脉冲频率为 30Hz 时,用 5s 就可以有效清除掉锡金属污物。

(2) 激光清洗硅晶体表面

晶体硅是半导体行业中常用的材料,它的表面多是一些氧化物和碳氢化合物,在高温下易形成碳化硅等污染层。用离子喷射的方法可以去除硅表面的碳氢化合物,但易引起硅表面的粗糙或损伤;用化学清洗的方法,虽然可以去除表面氧化层,但又会生成化学钝化层等。用波长为 248nm、脉宽 20ns 的 KrF 准分子激光清洗硅晶体表面,能量密度为 $800\text{mJ}/\text{cm}^2$ 时,有 15 个激光脉冲就可以去

除表面氧化层。通过电镜扫描分析，表面层中的 F、C、O 成分完全消失，并且没有任何表面损伤。

(3) 激光清洗金属表面的锈蚀

传统的金属表面除锈方法是利用钢刷或喷砂等，工程庞大而复杂，并且锈粉不仅有害于工人的身体健康，而且严重污染环境。用直径为 12mm 的激光束照射钢铁大桥、铁塔等钢架结构的金属表面，可瞬间去除锈层，并且可以改善金属表面的抗锈能力。

(4) 激光清除海面石油污染

用燃烧的方法清除泄漏在海面上的石油，不仅造成资源浪费，而且会生成有害气体，污染空气和海洋。激光清除石油的方法是通过控制激光能量，使石油受热蒸发而不燃烧，然后用真空回收装置收集石油蒸气并冷却。若油层较厚，可采用大功率激光下到石油层底下进行扫描，石油层会形成浓缩的石油膜，而海水在激光作用下受热沸腾，使得石油膜被高高托起，此时用过滤收集石油膜的特殊装置进行收集。激光清洗速度快，效率高，将激光清洗设备装在船舶上，一天可清除数十平方公里的海面。

(5) 用激光清除旧油漆

在飞机、轮船、机车、雷达系统等设备的维修保养中，经常要遇到去除旧油漆这一问题。传统的机械除漆和化学除漆存在污染大、劳动强度大、效率低、费用高且容易损害设备表面等弊病。从 20 世纪 80 年代开始，人们开始探讨用激光去除旧油漆，效果甚佳。已有几种实用设备陆续问世，目前较新的激光除漆设备是具有反馈控制系统的可调激光输出的激光除漆器，它主要由激光器、自动移光系统、控制系统和烟尘处理系统等四个部分构成。

油漆通常由有机粘合剂、无机填充物和有机（或无机）颜料构成。激光使油漆表面加热并令其有机成分汽化，使粘合剂失去作用，无机填充物和颜料被夹在有机成分的蒸气中而脱离物体表面，进而达到除去油漆的目的。激光除漆的关键是有效地控制激光能量，使除漆时不损伤油漆下的物体表面。

(6) 激光清洗武器

激光清洗技术在武器维护保养上也有应用。采用激光清洗技术，可以高效、快捷地清除污染物，清除部位可以进行选择，实现清洗的自动化。激光清洗不但清洁度高于化学清洗工艺，而且对于机体表面几乎无损害，还可在金属机体表面形成一层致密的氧化物保护膜，提高表面强度。激光清除的废料是固体粉末，体积小，易于存放，对环境基本上不造成污染，还可以进行远距离操作，有效减少对操作人员的健康损害。

(7) 激光清洗石材

石雕和石刻等年代久远的高档石质艺术品，由于其极精细和易损的表面结

构，成为激光清洗技术应用最早的领域。人们发现，用激光清除石质文物表面的污垢有其独特的优势。它能够十分精确地控制光束在复杂的表面上移动，清除污垢而不损伤文物石材。例如 1992 年 9 月，联合国教科文组织的世界文化遗产保护组织为纪念该组织创建 20 周年，对著名的英国亚眠大教堂进行了维修，亚眠大教堂西侧圣母门十分精美的大理石雕刻是工程的关键。在为期一年的圣母门维修工程中，维修人员借助于激光，用激光光束除去了覆盖在大理石雕刻花纹上的几毫米厚的黑色垢层，使大理石表面原来的色泽体现出来，让精美的雕刻重现光彩。图 1-2 和图 1-3 分别为清洗前、后的效果。

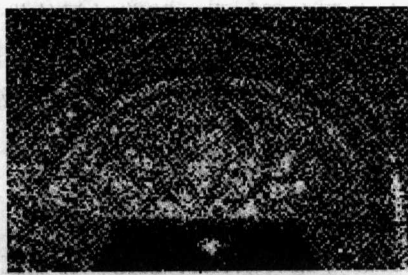


图 1-2 激光清洗前

图 1-3 激光清洗后

人们用电子显微镜观察激光清洗后的石雕表面发现，激光清洗后，石头的结构没有变化，被清洗的表面既光滑又平坦，没有损伤。这与用微粒子喷射法清洗后的表面完全不同。微粒子喷射法清洗后，难以避免大理石表面结构的损伤，特别是对已有硫酸盐垢层的大理石表面。电子显微镜的观察还发现，激光照射后，表层下岩石材料的各项性质既无退化，也无改变。目前，用激光清洗石灰石、大理石等高档石质材料表面污垢的工作已成为一项新的、很有前途的业务项目。除了对石质材料的清洗外，激光清洗在玻璃、石英、金属、模具、牙齿、芯片、电极、磁头、磁盘以及各种微电子产品的清洗中都有很好的效果，并且已经有了一定的应用。

(8) 激光清洗古代文献

1967 年 12 月，洪水涌入位于葡萄牙里斯本的 Calouste Gulbenkian 基金会，使一批 16 世纪的伊斯兰手稿蒙上一层泥土。管理人员花费了数年时间试图清洗这些极具价值的纸和羊皮纸。他们刮去泥土并使用化学溶剂。但是使用这些方法在清除泥土的同时也会使文献上的墨水溶剂渗入并破坏纸张或羊皮纸。于是，葡萄牙光学科技中心的研究者使用波长为 248nm 的激光来清理这些文献，光束通过有长方形隙缝的掩膜除去低能部分，然后通过焦距为 200mm 的透镜聚焦，

在 $1.3\text{mm} \times 4\text{mm}$ 的文献上产生光点。传递的平均能量密度为 $30\text{mJ}/\text{mm}^2$ ， 170mJ 的脉冲重复率为 9Hz ，每一脉冲持续 10ms ，传至文献的紫外辐射约 94% 被泥土吸收，超过了杂质结合能的临界值，使这些物质碎成颗粒被吹走。每一脉冲的穿透深度为 $0.1\mu\text{m}$ 。科学家们用一台动态频谱范围为 $400 \sim 700\text{nm}$ 、光谱带宽为 15nm 的光谱色度计来研究文献的不同区域。初步测量后，将文献置于温度和湿度保持稳定的房间内进一步阅读。观察文献的不同区域，在处理这些区域时除承受的脉冲数目不同外，其余的都相同。例如，在纸的一点上脉冲数目为 2728 ，另一点为 7231 。在羊皮纸上脉冲数目的变化从 3851 至 12523 。研究者在 1996 年 10 月至 1998 年 10 月跟踪了文献的色值和反射率，发现开始时反射率有所增加，而浅红色调有所加强，随着时间的推移反射率恢复原值，红色亦逐渐淡化。进行清除后，纸张会变得更白，但老化的过程随之即来，颜色慢慢变得更像未经处理的区域。与羊皮纸相比，纸张对清除过程更加敏感。

2 激光热处理技术

1960 年第一台固体激光器——红宝石激光器及 1961 年第一台气体激光器——氦氛激光器的先后研制成功成为激光诞生的标志。经过几十年的发展，激光技术已成为在工业中应用广泛的技术之一，激光热处理是激光技术最重要的应用领域之一。

激光热处理是利用高能激光照射到金属表层，通过激光和金属的交互作用达到改善金属表面性能的目的，它是一门综合性的技术，包括激光相变硬化、激光表面合金化、激光涂覆、激光重熔、激光非晶化和激光化学气相沉积等内容。它特别适合于各种金属表层改性，是激光技术在工业应用上的重要内容之一。

1. 激光热处理的特性

- 1) 激光没有惯性，可以高速启动或停止工艺过程，具有较高的劳动生产率。
- 2) 适宜处理要求热处理变形很小的、结构复杂的精密工件，尤其适合处理工件的盲孔、深沟、微区、尖角和刀具刃部，工件经激光硬化后一般可直接进行装配。
- 3) 激光可以远距离传输，易于实现一台激光器供若干个工作台同时或单独使用。
- 4) 因为是自冷淬火而不需淬火冷却介质。
- 5) 不产生 X 射线、磁场和其他环境污染。
- 6) 硬化层深度和硬化面积可准确测定和控制，生产上重复性好，可保证产品的高质量和生产的稳定性，既适合少品种、大批量生产，也适合多品种、小

批量生产。

7) 易实现在计算机控制下的自动化生产，不需常规热处理的熟练工人。

8) 因为只需要对工件局部加热，故节省能量。

2. 激光器及激光热处理设备

激光器是产生激光的装置，一台激光器通常由工作物质、谐振腔和激励源三部分组成，如图 1-4 所示。

工业激光器多用气体 (CO_2) 或固体 (掺钕钇铝石榴石) 作为工作物质，不同的工作物质产生不同波长的激光。谐振腔一般是放置在工作物质两端的一组平行反射镜，可以提供光学正反馈。其中一块反射镜是全反射镜，另一反射镜是部分反射镜，激光就是从部分反射镜一端输出的。激励源的作用是将能量注入，以保证工作物质在谐振腔内正常连续工作。常用的能量有光能、电能、化学能、核能等。工业激光器的激励源多用电能。

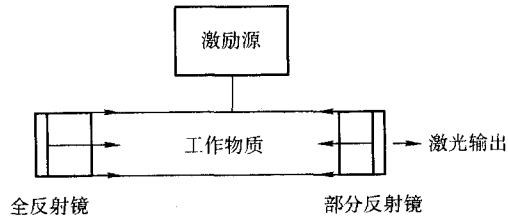


图 1-4 激光器基本组成

激光器是激光热处理技术的物质基础，激光热处理技术的发展依赖于激光器的发展。目前用于工业生产的激光器主要是高功率 CO_2 激光器和固体 YAG 激光器。其中 CO_2 激光器中以横向流动型应用最广，其结构紧凑，输出功率范围宽，特别适合工业应用。在 YAG 固体激光器中，根据 Nd-YAG 晶体的形状不同，除棒状外，近年来发展了片状及管状 YAG 固体激光器，其中棒状 YAG 激光器国内外应用最为普遍。1993 年国内第一台 500W、YAG 固体激光器问世，并已将之用于发动机淬火的生实践。

激光热处理设备主要包括激光器、导光系统、工作台、控制系统及安全保护装置等。导光系统的作用是将激光器发出的激光束经光学元件引向工作台。工作台的作用是用于完成各项操作以满足热处理加工的要求，亦称激光加工机床，根据用途的不同分为专用机床和通用机床两种。典型的激光加工机床有北京机电研究院研制的缸套激光淬火专用机床、美国 HOFFMAN 公司生产的五轴计算机数控激光加工机床、日本东芝公司生产的 LAC553P 型激光加工机床、澳大利亚激光实验公司生产的 LA32516 型三坐标激光加工机床、英国 Rous-Royce 公司生产的激光熔覆机床。

3. 激光热处理技术的类型

(1) 激光相变硬化

激光相变硬化即激光淬火，它的基本原理是：在高能密度（ 10^{3-5} W/cm^2 ）激光短时间照射下（ $10^{-2} \sim 1\text{s}$ ），金属表层被急速加热到相变温度以上形成奥氏体，当激光停止作用时，由于加热层与冷基体之间很陡的温度梯度能保证奥氏体快速冷却而转变成马氏体，从而实现了淬火硬化。故此，激光淬火是工件的自冷淬火。同时由于激光束作用区域很小，加热速度快，因此热影响区小，工件变形小，经激光处理后的工件无需进行再加工和校直。一些常用材料在激光表面硬化处理后的组织与性能如表 1-1 所示。

表 1-1 激光相变硬化后材料组织与性能

材料	牌号	硬化层组织	硬度/HRC	深度/mm
铸铁		马氏体基体 + 片状石墨	60	0.5
低碳钢	SAE1018 0.15 ~ 0.20% C	低碳马氏体 + 少量铁素体		0.25
低合金钢	SAE4340	很细的马氏体	57 ~ 59	0.40
	8620		60	0.36
	S2100		60 ~ 64	0.18
工具钢	A6、D1			0.3
可锻铸铁		团絮状石墨 + 周围马氏体		0.25 ~ 0.35
高速钢			72	0.4 ~ 0.5

激光淬火的显著优点是硬化效果好，它比常规淬火的硬度高出 20% 以上。GCr15、T10 和高速钢等材料均很容易得到 1000 HV (70 HRC) 以上的硬度。高速钢经激光淬火后可以提高热硬度 80 度（回火温度 700℃，800 HV，63 HRC）。美国福特公司于 1975 年将激光淬火技术用于发动机气缸，使气缸壁的硬度提高到 58 ~ 62 HRC，大大提高了其耐磨性及寿命。

国内从 20 世纪 80 年代中期开始就将激光淬火技术成功地应用到内燃机车发动机气缸套及汽车修理行业气缸上。近年来，又开始探讨利用激光处理硬质合金，研究表明，激光淬火能改善硬质合金的组织结构，从而提高其抗弯强度与显微硬度。

(2) 激光合金化

激光合金化是在高能密度的激光照射下，使预定成分的合金材料（粉、丝、带板等）与基材表层熔合凝固，形成具有优异性能的合金化层的激光热处理技术。该技术可使零件表层获得一定厚度的具有所需性能的合金层。激光合金化技术的特点是利用具有各种性能的合金材料，在廉价的金属基体上快速生成高合金表层，从而达到金属材料表面改性的目的。目前，这项技术已应用于汽车