

全国激光热处理学术会议

论文集

'88

高能密度热处理技术委员会编
一九八九年

全国激光热处理学术会议

论文集

(内部资料)

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国机械工程学会热处理学会
高能密度热处理技术委员会

编

主 编：陶曾毅

副 主 编：王爱华 朱蓓蒂

责任编辑：张玉美

全国激光热处理学术会议论文集

编辑出版：中国机械工程学会热处理学会
高能密度热处理技术委员会

印 刷：上海市崇文印刷厂

开 本：787×1092 毫米¹/₁₆

印 数：1—1000

发 行：内部资料

酌收成本费；

前 言

全国激光热处理学术会议(88)于1988年12月至25日在武汉召开。会议上发表了论文57篇,内容丰富,涉及到激光相变硬化、激光熔凝处理、激光合金化、激光熔覆以及其工艺装置等许多方面。论文反映了我国激光热处理研究的最新成就,具有较高的理论水平。不少研究成果已用于生产。

激光热处理技术自七十年代末引入我国后,发展迅速。

激光具有可在大气中长距离运输、输出能量密度高等一系列特点,由于激光热处理可以解决一些常规热处理工艺难以解决的问题,所以其应用范围正在日益扩大。目前用于激光热处理的大功率 CO_2 激光器的生产已完全立足于国内。功率在2kW和2kW以下的 CO_2 激光器已经商品化;功率为5kW和10kW的 CO_2 激光器已能制造生产。与之配套的激光加工系统正在向自动化、商品化方面发展。这种状况将进一步促进激光热处理技术的研究开发和在工业生产上的广泛应用。

为了使这次学术会议论文能被更多的从事材料研究与材料应用方面的广大读者所了解,特编辑了这本论文集。

该专辑的编辑、出版,得到了华中理工大学机二系激光热处理科研组和《机械工程材料》编辑部的大力协助,也得到了广大的同行们的热情关怀。在此表示衷心的感谢。

崔 崑

1989年10月25日

提 要

中国机械工程学会热处理专业学会高能密度热处理技术委员会于1988年12月在武汉召开的全国激光热处理学术会议(88)上发表了57篇论文,内容涉及激光相变硬化、激光熔凝处理、激光合金化、激光熔覆的理论和应用技术以及有关综述等。本论文集刊登了其中28篇全文。另29篇为详细的摘要,反映了我国激光热处理研究的最新成果,具有较高的理论水平和实用价值。可供工厂企业、科研单位、大专院校从事激光热处理以及激光技术的开发、应用方面的科技人员参考。

1988年11月29日中国机械工程学会热处理学会秘书处批复同意，
高能密度热处理技术委员会第二届委员会名单如下：

俞少罗	中国机械工程学会热处理学会副理事长	
	上海工程技术大学副校长	
刘永桢	北京机电研究院，	院长
苏宝熔	中科院上海光机所	高工
邹至荣	重庆大学	副教授
张光钧	上海工程技术大学	室副主任
陶曾毅	华中理工大学	副教授
唐传芳	机电部北京机电所	工程师
房为捷	吉林省机械所	高工
梁 勇	中科院沈阳金属所	副研
杨洗陈	天津纺织工学院	副教授
华绍忠	第一汽车制造厂	处长
梅志强	上海机械制造工艺所	室主任
关振中	中科院长春光机所	副研
宗权英	华南理工大学	教授
卢涟波	福建省机械院	工程师

由俞少罗任主任委员，刘永桢、苏宝熔、邹至荣为副主任委员，
张光钧为秘书组组长并负责委员会日常工作。

由朱沅浦高工，李志忠高工任名誉委员兼顾问。

高能密度热处理技术委员会挂靠上海工程技术大学。

委员会秘书组成员聘请上海工程技术大学有关同志担任。

中国机械工程学会
热处理专业学会
高能密度热处理技术委员会
一九八八年十二月

目 录

A 组

1. 激光热处理发展现状..... 苏宝榕 (1)
2. 用于超高功率连续CO₂ 激光器窗口的砷化镓材料研制.....
..... 李光华 王 岩 王立兵 (6)
3. 光束模式稳定性及其对激光热加工质量的影响.....
..... 程祖海 陈殊殊 李 锋 姚 伟 闵巧云 (11)
4. 汽车用粉末冶金材料的激光处理..... 胡 威 关振中 (15)
5. 东风 4 型内燃机车柴油机气缸套激光热处理.....左养秀 刘风琴 张 忠 (19)
6. 邮票印刷辊筒表面激光强化.....周昌炽 刘善增 冯时贵 (24)
7. 宽带矩形激光束硬化处理凸轮轴表面的工艺研究.....
..... 张炳春 梁 勇 佟百运 刘承俊 (28)
8. 激光表面处理铝板试样的剩余疲劳寿命.....周雅文 陈幸福 李光霞 魏志德 (32)
9. GCr15 钢激光加热时的晶粒分层分布研究.....
..... 陈祖涛 肖 敏 胡伦骥 蒲万林 胡席远 (37)
10. 激光处理对灰铸铁显微组织的影响.....
..... 沈 莲 李成芳 王秀苓 马丽华 朱道珍 周家瑾 (42)
11. 可锻铸铁凸轮轴的激光热处理..... 董 鄂 王志刚 (47)
12. 激光快速熔凝表面处理对材料疲劳性能影响的研究.....
..... 才庆魁 傅淑云 战效文 王维国 秦思展 (53)
13. 球墨铸铁的激光热处理..... 张光钧 朱祖昌 王维荣 奚文龙 (57)
14. 激光热处理对球墨铸铁接触疲劳性能影响的研究..... 陶曾毅 罗家明 黄 健 (64)
15. 球墨铸铁激光合金化的初步研究..... 潘 强 (70)

16. 灰铸铁激光合金化的初步研究..... 潘 强 (76)
17. 碳钢表面 CNBTi 激光合金化的研究 田良鸿 张思玉 郑克全 魏 稼 (81)
18. 40Cr 钢渗硼层的激光共晶化处理.....陶曾毅 赵建生 (85)
19. WC+ Co激光表面熔覆层的组织..... 吕忆城 桂树云 金顺发
..... 苏宝熔 陈芝英 鄢 雨 (90)
20. 内燃机排气阀激光涂覆研究..... 董 鄂 沈建明 (95)
21. 21-4N 钢激光熔覆镍基和钴基合金 的研究..... 王爱华 陶曾毅 朱蓓蒂 (101)
22. 21-4N 钢熔覆层高温冲击磨损性能 的研究..... 王爱华 朱蓓蒂 陶曾毅 (106)
23. 3Cr2W8V 钢激光熔覆镍基合金的研究陶曾毅 朱蓓蒂 曾晓雁 李冬法 (111)
24. 振镜式激光宽带扫描装置.....
..... 刘玉泉 李学明 柴洪钧 苏宝熔 陈兰英 何世新 唐国根 (116)
25. 机床电磁离合器联结件激光淬火研究..... 张魁武 张玉华 赵 杰
..... 于浦源 陶学斌 焦玉芹 王建玲 常晓惠 黄竹修 杜邵山 邵宝如 (119)
26. CA141 汽车发动机铸态球铁摇臂激光合金化的试验研究.....
..... 刘文今 曾大本 黄惠松 王怀林 张瑞卿 芦盛元 (125)
27. 石英光纤包皮管激光改性及激光气相沉积 LCVD 新工艺方法的探索.....
..... 房为捷 孙连海 谭云生 赵 文 王连生 (130)
28. 按钢种成分设计的多元激光合金化探索..... 张亚平 邹至荣 (133)

B 组

- B—1 抽油泵缸套激光处理.....姜骥凤 王征祥 王树洪 李永成 (138)
- B—2 剪刀刃口采用激光硬化的试验研究.....古本洲 华裕增 杨明华 (139)
- B—3 激光相变硬化工艺参数的研究.....丁健君 刘纯鹏 刘效曾 (140)
- B—4 细纱机凸轮宽带激光热处理新工艺的研究.....
..... 阎毓禾 杨洗陈 赵 新 杨永强 (141)
- B—5 榨油机榨条宽带激光热处理.....杨洗陈 (142)
- B—6 曲轴表面激光硬化处理的研究.....
.....熊腊生 杭世聪 周兴中 段 军 徐邦娣 肖建华 (143)

B—7	关于 T7A 工具钢的激光热处理	杭世聪 段 军 周兴中 熊腊森 徐邦娣 奚素碧 (144)
B—8	激光表面处理包铅材料试样后的疲劳性能及损伤力学分析	李光霞 钱志雄 周雅文 邹鸿承 李长春 魏志德 (145)
B—9	残余奥氏体在激光硬化组织中的作用	刘江龙 邹至荣 (147)
B—10	钢激光加热组织遗传性的研究	安世民 姚 远 (148)
B—11	有限体激光表面相变强化热流数值模拟(I)	张浩然 (149)
B—12	激光快速熔凝组织特征及其强化的探讨	刘江龙 谭继福 张 磊 (151)
B—13	486Q 汽油机凸轮轴激光表面热处理研究	战效文 才庆魁 傅淑云 王维国 霍桂英 郑 鲁 王友民 (152)
B—14	激光功率对铸铁表面熔化处理性能的影响	郑克全 张思玉 魏 稼 田良鸿 (153)
B—15	内燃凿岩机气缸的激光热处理研究	杨可传 陶曾毅 朱蓓蒂 黄德发 袁砚泉 黄管乐 仇银虎 (154)
B—16	常用铸铁的深层激光硬化	杨可传 陶曾毅 (155)
B—17	碳钢激光表面合金化的组织	宣崇武 徐恒均 黄 蔡 王 全 (156)
B—18	激光处理镀铬钢的研究	王 茹 安世民 王书明 (157)
B—19	激光处理镀铬钢熔渗层的研究	安世民 纪雅军 (158)
B—20	激光合金化层的热疲劳性能	马咸尧 陶曾毅 徐宜民 (159)
B—21	45° 钢激光铬钼合金层的性能研究	杨德华 吴宝善 (160)
B—22	激光合金化后续处理改性的研究	马咸尧 陶曾毅 徐宜民 (161)
B—23	A ₃ 钢的 NiCrSiB 激光合金化组织的研究	朱祖昌 张光钧 王维荣 奚文龙 俞少罗 (162)
B—24	45° 钢激光铬钼合金层的相组织特征	吴宝善 杨德华 (163)
B—25	转镜宽带激光熔敷的研究	杨洗陈 阎毓禾 (164)
B—26	等离子喷涂陶瓷的激光重熔	陈 新 陶曾毅 崔 昆 傅江民 邓世钧 程旭东 (165)
B—27	21—4N 钢激光熔覆层的热疲劳性能试验	朱蓓蒂 曾晓雁 陶曾毅 (166)
B—28	激光热处理光束处理新技术——激光光学正多面体转镜研究报告	阎毓禾 杨洗陈 王宝琦 运焕然 钟敏霖 张江亭 郑六禧 (167)
B—29	国际激光材料加工发展概况	熊腊森 (168)

激光热处理发展现状

中国科学院上海光机所 苏宝娉

〔摘要〕 报道了国内外激光热处理设备、工艺、理论研究以及工业应用的发展现状。国外激光热处理设备已商业化，目前正向小型化、自动化、柔性化方向发展。我国大功率激光设备生产厂，正在朝着工业化方向迈进。工艺与理论研究正不断扩展和深化，其比重远大于国外。目前国内外激光处理工业应用的范围和规模已在扩大，其中以激光相变硬化为主，激光涂覆、合金化、上釉正朝着中试生产阶段发展。随着激光设备及工艺理论的不完善和发展，预计三、五年后激光热处理新技术在金属热处理工业中必将获得日益巩固的地位，并取得更大的发展。

Laser Hardening: Progress and Prospects

Su Baorong

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

〔Abstract〕 The recent development of the device, technological and theoretical research, and industrial applications of laser hardening at home and abroad is reported in this paper. At abroad the commercial devices for laser hardening have come into being more miniature, automatic and flexible. In our country, some high-power laser device manufactories have been founded. The technological and theoretical researches of laser hardening have done at home more than that at abroad.

At present, the range and scale of industrial applications of laser hardening are developing. The main application is for transformation hardening. The laser cladding, alloying and glazing are at the stage of middle trial-produce. With the improvement and development of laser devices and technological theory, the new technique of laser hardening will go a step further developing in the next five years.

一、概况

激光热处理是70年代大功率CO₂激光器

出现后才发展起来的。我国自1979年开始激光热处理试验研究以来，先后约有40余家从事这方面的工作。激光热处理在我国已初见成效，其工业应用的范围和规模正在扩大。

在实际生产中已经采用的有几个工厂；年经济效益近 250 万元，正在建立中试生产线的有八个厂，计划“七五”末期完工，预计年经济效益近1亿元。

本文主要介绍激光热处理设备、工艺、理论研究以及工业应用的近况。

二、激光热处理设备现状

激光热处理设备由激光器、导光系统、工作机床组成，统称激光加工系统。

1. 激光器

目前可供激光热处理使用的有大功率CO₂气体激光器和大能量密度固体激光器两

大类。工业型大功率CO₂激光器国际总市场逐年增加，1985年以前激光器销售市场平均每年以20%递增，其中大部分市场被美国占领。自1985年以来工业型激光器市场增长缓慢，平均每年增长9%。因此，美国光谱公司于1988年3月将其工业型激光发展部转卖给英国罗份——西纳公司，今后重点发展新型射频激励CO₂激光器。目前国外先进国家的激光器产品已发展到全自动控制，如具有充气比份自动调整、故障显示、自诊断等功能，操作维修极为方便。现在国内的产品可以自动控制功率输出的稳定度，其它功能有待于进一步开发。具有代表性的激光器产品现状列于表1。

表 1 具有代表性的激光器产品现状

生产厂	主要特征	售 价	商品化程度
美国光谱物理公司工业激光部（大功率CO ₂ 激光器）	1. 横流1.5kW单模工作气体不断流出	15~20万美元	到1983年止已售350台，其中日本75台，欧洲75台，美国200台
	2. 横流5kW多模工作气体连续放出	40~50万美元	到1983年底止已售20台
	3. 快速轴流连续6000W脉冲2500W单模	15~20万美元	1980年发明，到1983年止已售出20台
日本三菱电气公司（CO ₂ 激光器）	1. 横流闭合循环连续输出750W，脉冲1500W，单模 2. 横流闭合循环连续1000W，脉冲2500W，单模 3. 连续、脉冲均可达1500~2500W		仅限国内销售，1982—1986年共售387台，其中热处理仅占2%
英国罗份——西纳公司	1. 快速轴流2kW，单模脉冲5kW射频激励 2. 横流5kW，低阶模 3. 7~8kW低阶模		1982年发明，1986年开始供货，现已有30台在生产线上运转一年多了
苏联	1. KBAHT—16脉冲玻璃固体激光器 2. 800WBT连续CO ₂ 激光器		1983年开始在国内销售
中国上海光机所及其联营雷鸥激光设备厂	1. 横流1.5~2kW，多模	15万元	在国内已售12台
	2. 横流5kW，多模及低阶模	40万元	售出一台，正进行工业化攻关
中国华中理工大学	1. 横流2kW，多模 2. 横流5kW，多模	18万元 38万元	在国内已售约8台 售出一台，正进行工业化攻关
	横流1kW，多模	8~10万元	售出2~3台
中国沈阳机电研究设计院	1. 横流2kW，多模		售出2台
	2. 5kW激光器（配三维控制加工机）		1987年鉴定，尚无产品出售

2. 导光系统

导光系统是将激光引导到被处理的工件表面。该系统由功率监控、光闸、可见光同轴瞄准、反射式或透射式聚焦、吹气及水冷等系统组成,一般可分为通用型和专用型两大类,它需根据被处理工件的形状、尺寸、技术要求来选定。对热处理而言,要求激光光强分布均匀,因此,大多采用透射式聚焦系统、积分组合聚焦系统、振镜、转镜或非球面聚焦系统。该系统美、日、英、澳大利亚等国均有商品出售,但价格昂贵,一般为激光器价格的1~2倍。中国科学院上海光机所已有专用及通用各类型的导光聚焦系统系列产品出售,迄今为止可供热处理、焊接、切割使用的通用型导光聚焦系统已售出3台套,激光热处理齿轮、曲轴、缸体或缸套内壁、凸轮、阀座等专用导光聚焦系统已售出8台套,宽带积分聚焦装置售出14台。此外天津纺织工学院最近已有转镜出售,其硬化层宽度可调。

3. 工作机床

工作机床品种繁多,有专用和通用两大类,一般采用步进电机或伺服电机驱动,控制系统多采用单板机或CNC系统。用户根据需要可选择两轴、三轴、五轴或机械手联动的系统。最近日本等国又制造一种辅合加工机床,即一个机械零件可在一台工作机床上完成全部加工过程,包括车、钳、铣、刨、激光切割和焊接、激光热处理、磨削等。

目前工作机床自动化和精度水平以日本为最高,早在70年代中期,他们从美国引进激光器做成各类激光加工系统再返销到美国。紧接着澳大利亚也模仿日本的做法专门经销工作机床。我国已从澳引进两套激光切割系统,每套价格40至50万美元,其激光器均由光谱物理公司配套。与此同时我国也做出了自己的产品,如中科院上海光机所研制的通用型单板机控制的激光加工机,现已售出3台,每台售价10万元。北京机床研究所研制的CNC系统控制的热处理机床,现售出

2台,每台18—22万元。

三、激光热处理工艺理论研究现状

激光热处理工艺理论研究包括激光相变硬化、激光涂覆、激光合金化、激光上釉和激光冲击硬化五个学术领域。

1. 激光相变硬化

自1965年 Kokope 发现了 45°钢激光打孔获得极高硬度的马氏体以来,国内外学者对低、中碳钢、合金钢、铸铁激光相变硬化做了大量的研究。迄今为止,人们对上述钢种的激光相变硬化机理、组织性能已基本弄清,其结论也是一致的,并在生产上得到了应用;但对高碳、高合金钢尤其对高速钢相变硬化的机理尚无一致见解,有些结果与已肯定的结论相矛盾,例如通过实验证实了GCr15钢激光相变硬化形成奥氏体超细化组织,而高速钢激光相变硬化却似乎并未使奥氏体细化,相反有所粗化,造成组织遗传现象。又如普通钢经激光相变硬化后硬化区形成马氏体+超细化残余奥氏体+细小碳化物等多相组织,从而具有高硬度和高抗磨性能等。然而通过 Дьяченко 等人实验发现高速钢在最佳相变硬化工艺参数下,硬化区不存在残余奥氏体,也可获得超高硬度和高的耐磨性,1986年该作者 Дьяченко 又否定了自己作出的上述结论,认为当激光相变硬化处理适当时,残余奥氏体才有可能消失,否则要有近15%的残余奥氏体存在。而 Бураков 却报道了P₆M₅及P₁₈高速钢激光相变硬化后残余奥氏体量比常规热处理高近一倍。总之,迄今为止,关于高速钢激光相变硬化区残余奥氏体量,不同研究者得到的结论也不一样。由此可见,高碳高合金钢特别是高速钢的激光相变硬化机理的系统深入研究是当今的热点。目前国内外从事这方面系统研究的以苏、美、日、中(重庆大学、华中理工大

学、沈阳金属所)为代表。

2. 激光涂覆

激光涂覆的实验研究从1974年开始以来,国内外有近几十个单位先后开展了在不锈钢、可锻铸铁、灰铸铁以及特种合金上进行了钴基、镍基、铁基、硅、碳化钨、三氧化二铝等自熔合金粉末或板、棒样的激光涂覆工作。其粉状料多用粘结剂或等离子喷涂后再用激光重熔的方法。最近美联合工艺研究中心E.M.Breinan等人采用细粉直接传送到熔池进行涂覆实验,他们还在芯轴上连续堆聚而获得透平机的叶轮。陶曾毅等系统研究了TiC、WC激光涂覆工艺及性能。认为当涂层含有25%TiC或WC其抗干摩擦能力较母材(低碳钢)提高8—14倍。WC在激光辐照时会发生分解形成新相,该作者还结合内燃机排气门进行了激光熔覆工艺及中试的研究。阎毓禾等人对化纤切断刀进行了激光涂复实验,取得了良好的效果。综合中外各单位的实验结果表明:①激光涂覆工艺为生产提供了使工件耐磨、耐蚀的可能性,特别是使工件表层得到复杂的显微组织,具有良好的耐磨、抗蚀性能。②激光能使不同熔点的元素同时熔化得到均匀的涂覆层,其深度可达1mm左右。③加入具有特殊热性能的金属或非金属粉末可以得到适宜的孔隙度,用以解决无润滑或少润滑工作条件下工件易磨损的问题。目前在激光涂覆工艺中存在的问题是涂层的热应力和开裂倾向。英国帝国大学J.Powell等采用送粉装置和超声波振动基体的方法进行激光涂覆,能显著减小开裂倾向和减少涂层的孔隙度。

3. 激光合金化

激光表面合金化是一种局部表面变质处理的新方法。通常采用真空蒸镀、电镀、涂敷粉末和薄膜、离子注入等方法把所要求的合金元素涂敷到金属表面,然后用激光使其迅速熔化并控制熔化的深度,从而改变基体表面的化学成分,以提高其耐磨、耐蚀和抗高

温氧化等性能。它与常规合金化技术相比有许多优点,因此早在70年代中期已有人深入研究表面熔化和合金化过程中液流与表面张力梯度的关系,找出了液-汽界面的表面张力是温度与合金浓度的函数。我国许多单位对Cr系及Cr-Mo系表面合金化的熔池形状、成分均匀性控制、组织结构特征、抗氧化烧蚀等性能进行了系统研究。结果表明,Cr系统合金化较镀Cr层的抗氧化烧蚀性能提高4倍,其合金层的Cr、Mo含量随激光扫描速度增加而增加,并提出了新的合金化方法,即激光加热镀Cr钢表面使Cr与钢界面被加热到纯Cr熔点与钢的熔点之间,促使液固相界面反应区中金属原子扩散,形成Cr-Fe(C)扩散层。

目前激光合金化存在的主要问题是合金层表面凸起及合金层与基体交界处常出现裂纹。S.M.Copley等用表面张力引起的波纹模型和低压区模型分析了激光合金化不仅是由于高温加速了合金元素的扩散过程,而且由于表面熔化过程存在着对流传质,致使表面凸起。英国已售带电子计量器的粉末供给装置,致使合金层与基体交界处的裂纹有可能得到解决。

4. 激光上釉

自1976年Breinan等提出了激光“上釉”新工艺以来,引起了中外学者浓厚兴趣。美联合工艺研究中心首先用激光获得金属非晶态层,它的厚度一般在1~10 μm ,表面硬度可达HV1000以上。由于在韧性好的金属表面形成极薄的玻璃态,从而克服了玻璃具有高脆性的弱点。实验证实了激光“上釉”区比母材具有高得多的抗裂纹性。B.H.Kear等对镍基合金激光“上釉”,获得精细均匀的表面组织,其硬度由HV650提高到HV1400。章守华等人研究了Fe-B合金的激光“上釉”表明可提高耐磨性。苏宝熔等用高重复频率YAG激光“上釉”使铁基、铝基共晶表面获得非晶态及半晶态层,同时还进一步研究

了金属与合金激光非晶化形成的规律,目前正结合纺织机械的钢令零件进行系统实验研究,预计1—2年内可用于生产。

5. 激光冲击硬化

激光冲击硬化是用激光将工件表面加热到足以汽化的温度,其表面由于突然汽化,可产生高达 10^5 个大气压力,此时基体金属受到高压力的冲击使其显微组织形成复杂的位错网,从而使材料性能大为改善。该技术自70年代初由美国巴特丁纪念所发明以来,先后做了一些实验研究,如B.P.Fairand等人用巨脉冲激光对铝合金进行冲击硬化,其屈服强度提高了30%。冲击硬化需要价格高的大能量脉冲激光器,而被处理部位需一点点进行,生产效率低,设备投资大,经济效益低,影响了人们对它深入研究的积极性,致使该技术目前仍处于实验阶段。

四、激光热处理工业应用现状

自1974年美国通用汽车公司首次将 CO_2 激光相变硬化技术用于生产以来,先后在该公司建立17条激光热处理生产线,每日可处理33000个工件,耐磨性较原工艺提高10倍。1978年又在该厂建成5条汽缸衬套激光淬火生产线。说明激光热处理这一新技术已连续稳定地在生产厂使用十余年。苏联A3HK生产的莫斯科人汽车也采用激光相变硬化处理后轿差动齿轮支撑面,该厂用两台800W CO_2 激光器,每天生产1200件,耐磨性提高4倍,年经济效益达30万卢布。

我国在“六五”期间由国家科委结合工厂关键易损件组织了激光热处理工艺研究攻关,研究结果均通过技术鉴定,其中中科院上海光机所与大连机车厂联合研究的弹性联轴节主簧片激光热处理后的耐磨性较原工艺提高10倍,一个厂每年获经济效益176万元。该技术于1984年在国内首次正式投产。由西安内燃机配件厂、北京机电院等单位联合进行

的拖拉机缸套热处理,其耐磨性提高一倍,年经济效益74万元,该厂已于1986年小批量试投产。

在“七五”期间国家科委经专家评议又选定五条激光热处理中试线攻关或完善生产设备。这五条中试线是:第一汽车厂的缸体内壁处理,西安内配厂的拖拉机缸套内壁处理,重庆纺织专件厂的铰杆处理,重庆建设厂的块规处理。其中第一汽车厂激光热处理缸体中试生产线由于出口的需要,目前正力争提前到今年年底建成。

与此同时,国内至少有几十个单位正结合生产厂的需要进行某种机械零件的激光热处理工艺研究,并取得显著效果。如华中理工大学的内燃凿岩机气缸套的激光硬化,使用寿命提高1倍以上,经凿岩2000m工业性使用,其耐磨性已达到1980年瑞典产品质量,现正着手建中试线。吉林机械设计所用激光气相沉积法(LCVD)可以生产优质石英光纤,现正在建中试线。沈阳金属所的抽油泵筒内壁激光硬化,寿命提高1倍以上,正着手建中试线。长春光机学院激光热处理火炮管提高抗烧蚀性1.8倍。戚墅堰车辆工艺所剪压复合模具的激光硬化,沈阳机电设计院气压缸缸套表面淬火、曲轴的强化、拉刀的合金化、东北工学院的发动机涡轮叶片激光修复。上海工艺所的刀片、凸轮的激光硬化。上海综合工业大学的空调机阀板、钢线刀激光热处理。重庆大学的轧辊、玻璃模具激光合金化。中科院上海光机所的钢令非晶化,检棉机及拉伸机刀口硬化等。上述工业应用研究均取得了显著效果,有的正朝中试生产方向迈进。

综上所述,我国激光热处理工业应用研究与开发的速度相当快,从事这方面工作的单位如雨后春笋。1979年国内仅有两家,至1982年已达几十家。近年来,我国大型企业颇感兴趣。如第一汽车制造厂、第二汽车制造厂、南京汽车制造厂、玉门油田等正积极建成中试线,预计激光热处理的工业应用在“八五”期间将会掀起高潮。

用于超高功率连续CO₂激光器 窗口的砷化镓材料研制

北京有色金属研究总院 李光华 王岩 王立兵

〔摘要〕 采用改进的液封直拉法, 制备出用于超高功率激光器的GaAs材料。该材料综合性能优良, 并成功地用于10kW连续CO₂激光器窗口。一次开机连续运行6小时, 平均输出功率为10467W, 最高电光转换效率达18%。

Study of GaAs Materials for Superhigh—Power CW CO₂ Laser Window

Li Guanghua Wang Yan Wang Libing

(Beijing General Research Institute for Non-ferrous Metals)

〔Abstract〕 The Gallium arsenide is a very good material for superhigh-power-laser-window. In this work it was gotten by LEC method improved. The laser window made of this material was used in a 10kW CW CO₂ laser set. The laser had worked in a 6 hour test period continuously, its mean output power attained to 10467W, the highest electro-optical transformation efficiency was 18%.

一、前言

激光技术已在切割、焊接、打孔、表面喷涂、合金化和热处理等领域获得了广泛应用。我国高功率激光器研制正逐步走向工业实用化。国内第一台万瓦级超高功率连续CO₂激光器已研制成功。这都为发展我国激光加工技术和激光热处理提供了有利条件。为进一步促进我国激光加工技术的实际应用, 尚须在提高激光器的稳定性、可靠性, 改善光束质量和激光加工配套技术等方面加强研究。由于窗口和透镜是激光器和激光加工技术的重要部件, 它既关系到激光器的输出功率及

其稳定性, 又直接影响到激光加工技术的推广应用。所以对窗口材料的吸收系数、热稳定性、热导率、机械强度、光学加工、抗湿性能及价格等都提出了严格要求。国外报道NaCl、KCl的吸收虽小, 但抗弯曲强度极差(低至23kg/cm²) [1], 且极易潮解而影响使用; ZnSe的吸收较小(0.002~0.005 cm⁻¹) [2,3], 可热导率和机械强度等不如GaAs。据苏联卡尔洛夫等报道, 由于生长工艺限制, ZnSe质量还不够稳定, 往往因原料和生长条件的不同, 而使材料的吸收系数几乎相差一个数量级 [1], 国内外报道的GaAs吸收系数偏大(0.02~0.035 cm⁻¹) [2,4], 且价格昂贵而限制了使用。为此, 我们在已报

道的复合型 GaAs 商品材料的基础上,对进一步改善材料的性能和降低其价格进行了研究,首次研制成功万瓦级 GaAs 窗口材料,并在实际应用中获得了令人满意的效果。

二、晶体生长

我们采用改进的 LEC 法和特殊工艺技术,重复制备出直径为58~91mm的GaAs窗口材料。该材料生长工艺稳定、性能重复,

易于制取。同时还成功地降低了其价格。

三、性能测试和比较

为改进和提高材料性能,并利于窗口及透镜的设计使用,我们对GaAs 窗口材料的主要光学和机械性能、导热性能及热膨胀系数等进行了测量,首次较系统地公布了测试结果,并与国外高功率窗口材料进行了比较,

表 1 国内外高功率窗口材料性能比较

性能参数	材料名称 及来源	GaAs		ZnSe		NaCl	KCl
		有色院	国 外	国 内	国 外	国 外	国 外
吸收系数 cm^{-1} ($10.6\mu\text{m}$)		0.002~0.005 典型0.001	0.02	0.005	0.002~0.005	$2\sim4\times10^{-3}$	$1\sim4\times10^{-4}$
透射波段 μm		0.8~18	1~18	0.48~20	0.5~20	0.2~20	—
折 射 率 ($10.6\mu\text{m}$)		3.28 ± 0.02	3.27	2.4	2.4	1.46	—
热 导 率 $\text{W}/\text{cm}\cdot^{\circ}\text{C}$		0.5023	0.48	—	0.18	0.065	—
导温系数 cm^2/s		0.24~0.25	—	0.098	—	—	—
比 热 $\text{kal}/\text{g}\cdot^{\circ}\text{C}$		0.089	1.42 $\text{J}/\text{cm}^3\cdot^{\circ}\text{C}$	0.094	1.87 $\text{J}/\text{cm}^3\cdot^{\circ}\text{C}$	—	—
密 度 g/cm^3		5.34	5.37	5.268	5.27	—	—
热膨胀系数 $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$		6.04 ($19\sim250^{\circ}\text{C}$)	5.7 (温度不详)	—	8.5	—	—
切变模量 kg/mm^2		5.27×10^8	—	—	—	—	—
抗弯曲强度 kg/cm^2 (四点加载)		1501~2343	1496	—	527	25~300	23~200
晶体尺寸 mm		$\phi 58\sim 91$ (视需要可扩大)	—	—	70	—	—
抗压强度 kg/cm^2		2751~3554	—	—	—	—	—
硬 度		657 (维氏)	750 Knoop	100~110 (柯氏)	150 Knoop	—	—

见表1。

从表1可见,我院研制的GaAs 窗口材料具有吸收系数低、热稳定好(在 $20\sim 250^{\circ}\text{C}$

温度范围其透过率不变)、热导率高、机械强度大等优点。另外,该材料硬度高、易于光学加工、抗湿和抗氧化能力强,因此,是一

种具有综合性能优良的红外窗口和透镜材料。

四、激光窗口和透镜的价格比较

由于窗口和透镜系激光器加工技术配套

的常备元件易损耗,所以既要求其性能优良又必须价格低廉,否则将影响激光加工技术的推广应用。国外报价与我院窗口价格比较如表2。

从表2可见,我院研制的GaAs是目前国内外同时兼备综合性能优良和价格低廉的红外窗口和透镜产品,为激光加工技术在工业

表 2 国内外窗口和透镜价格比较

产品名称	来 源	尺寸 吋	光学加工未镀膜价格 美元/片	光学加工单面镀膜价格 美元/片	光学加工双面镀膜价格 美元/片
Ge	美国Ⅱ—Ⅳ公司	2×0.2	245	315	370~620
CdTe	美国Ⅱ—Ⅳ公司	2×0.2	245	315	370~620
ZnSe	美国Ⅱ—Ⅳ公司	2×0.2	795	860	915~1165
GaAs	美国Ⅱ—Ⅳ公司	2×0.2	945	1010	1065~1315
GaAs	中国有色院	2×0.2	950元人民币/片	1100元人民币/片	1200~1500元人民币/片

领域的应用创造了良好条件。

五、结果和应用

根据激光器的最佳耦合匹配及外导光系统与处理工件的实际要求来设计窗口和透镜的光学加工参数,并利用镀膜来达到不同的反射率或最高的透射率。在我国华中理工大学研制的第一台万瓦级超高功率激光器上,采用经光学加工和两面镀膜的GaAs作耦合输出窗口,一次开机连续运行6小时以上,平均输出功率达10467W,最高电光转换效率为18%。当输出功率高达11500W时,窗口无损坏,证明其还有输出更高功率的潜力。使用结果表明,我们研制的GaAs窗口材料能够满足万瓦级超高功率激光器耦合输出窗口的要求。首次采用GaAs为窗口的万瓦级连续CO₂激光器已于1988年1月通过技术鉴定,这标志着我国超高功率GaAs窗口材料

的研制已取得重要突破,万瓦级连续CO₂激光器的研制跨进了世界先进行列。

经多年的实际使用表明,我们研制的GaAs窗口材料还成功地用于其它高功率激光器在平均输出1.5、2.24和5.6kW的激光功率下,一次开机连续运行分别达30、10和8小时以上。在正常使用的情况下,窗口工作稳定,寿命较长,使用可靠。

此外,GaAs窗口已在500~700W慢速或快速纵向流动CO₂激光器;500~1500W直管或多管式CO₂激光器及激光加工技术中获得了广泛应用,取得了令人满意的效果。GaAs经加工后可获得各种不同焦距的聚焦透镜,通过镀增透膜,在10.6μm下的透射率≥98%。尤其在近期,通过不断研究和改善,已使增透膜的质量得到不断提高。目前已研制成防潮性好,硬度较高的增透膜层,并普遍用于激光切割、焊接和热处理等激光加工。