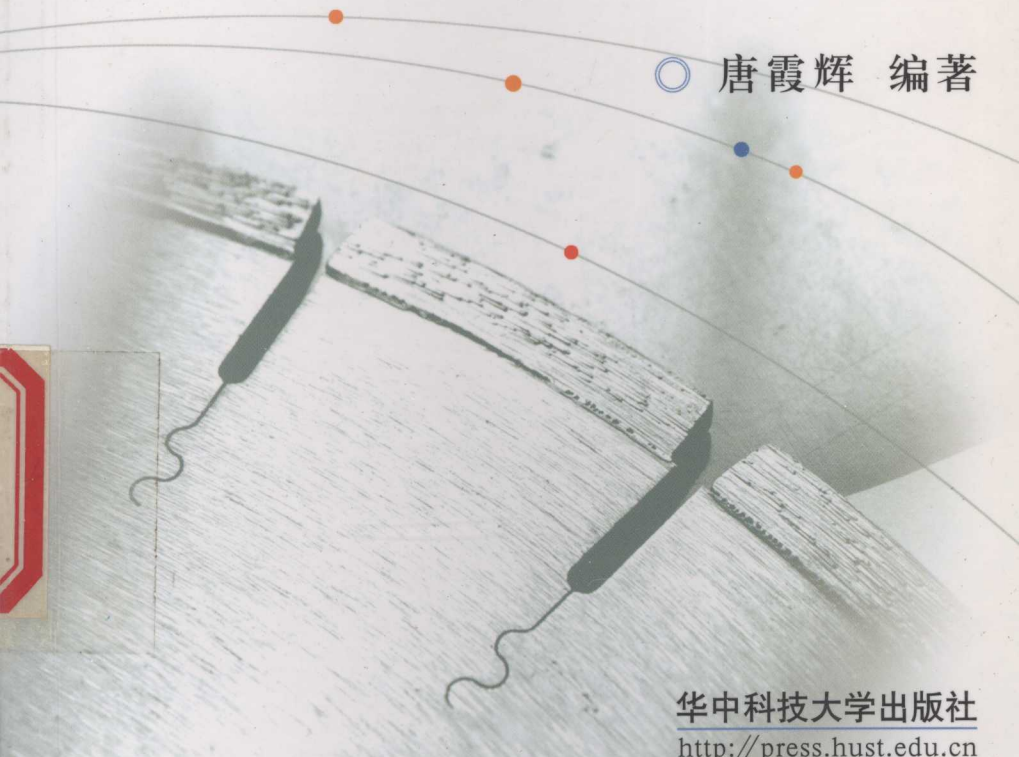




激光焊接金刚石工具

Laser Welding of Diamond Tools

◎ 唐霞辉 编著



华中科技大学出版社
<http://press.hust.edu.cn>

激光焊接金刚石工具

Laser Welding of Diamond Tools

唐霞辉 编著

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

激光焊接金刚石工具/唐霞辉 编著
武汉:华中科技大学出版社,2004年11月
ISBN 7-5609-3292-4

- I. 激…
- II. 唐…
- III. 激光技术-焊接-工具制造
- IV. TG665

激光焊接金刚石工具

唐霞辉 编著

责任编辑:杨志锋
责任校对:刘 竣

封面设计:刘 卉
责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:湖北新华印务有限公司

开本:850×1168 1/32 印张:11 字数:261 000
版次:2004年11月第1版 印次:2004年11月第1次印刷 定价:22.80元
ISBN 7-5609-3292-4/TG·59

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书系统地介绍了激光加工金刚石工具的技术及装备的研究成果、关键技术、国内外最新发展动态、应用前景,重点论述了激光焊接金刚石圆锯片、薄壁钻头的工艺以及装备、刀头配方及制造工艺、金刚石锯片激光降噪技术。

全书共分七章,主要包括五个方面内容:激光加工金刚石工具中常用的高功率 CO₂激光器和激光焊接金刚石工具生产线成套设备;金刚石锯片激光焊接工艺;激光焊接金刚石锯片刀头配方及制造工艺;金刚石锯片激光切缝降噪技术和薄壁金刚石工程钻头的激光焊接等。

本书反映了作者 12 年来从事激光加工金刚石工具的理论研究、推广应用、产业化过程中的研究成果,具有新颖性和实用性。可供从事金刚石工具、激光加工工艺与装备的研究人员和相关工程技术人员阅读,也可作为相关专业的教师、博士生、硕士生、本科生的参考书。

前 言

金刚石圆锯片广泛应用于石材加工、建筑施工、高速公路及机场跑道切缝等工程领域。其传统制造方法主要是电镀、钎焊、烧结,缺点是结合强度低,圆锯片在高速切割冷却不充分甚至干切条件下容易发生刀头脱落飞出,造成重大安全事故。此外,金刚石锯片切割过程中产生严重噪声污染,研究低噪声金刚石锯片成为世界金刚石工具制造领域亟待解决的问题。采用激光加工技术可以有效地解决金刚石锯片结合强度低、噪声高等问题。

激光加工金刚石工具属于激光先进制造技术领域,包括金刚石工具激光焊接技术、激光切割基体成型技术和激光切缝消音技术等,涉及光、机、电、材料等多个学科专业,技术难度大。目前从事金刚石工具激光焊接设备与工艺研究及产业化的队伍不断扩大,他们迫切需要一本既能全面反映激光焊接金刚石工具成套设备知识,又能介绍激光焊接工艺、刀头配方及其制造工艺的综合性专业书。

作者于1992年开始,在国内最早从事激光焊接金刚石工具设备与工艺、刀头配方的研究及产业化工作,在激光加工金刚石工具领域积累了较丰富的理论知识及实践经验。在此基础上,参考了国内外在激光加工金刚石工具领域的最新研究成果,编著成本书,以系统地介绍激光焊接金刚石工具的工艺与设备、刀头配方及制作工艺以及激光切缝降噪技术。希望本书能为从事激光焊接金刚石工具的研究人员和工程技术人员带来一定的帮助。

全书共分七章,第一章概述了激光加工技术在金刚石工具中的应用,介绍了金刚石工具的激光焊接切割技术、国内外发展动态以及应用前景。

鉴于国内外金刚石工具的激光焊接、切割几乎全部都是采用 CO₂ 激光器,因此,第二章介绍了高功率 CO₂ 激光器的特点及其光束质量分析,并对金刚石工具激光加工设备中常用激光器(横流、快速轴流和扩散冷却板条 CO₂ 激光器)的结构、工作原理和工作特点等作了较为详细的介绍。

第三章主要介绍激光焊接金刚石工具刀头制作设备、国外金刚石工具激光焊接设备以及全国产金刚石工具激光焊接系统,重点介绍德国 Dr. Fritsch 公司的 LSM240 全自动激光焊接机和华中科技大学自行研制的国产三工位激光焊接系统。

第四章介绍了金刚石锯片激光焊接工艺特点及焊缝质量分析,包括过渡层配方的研究与锯片基体材料的选择;激光焊接工艺参数,如光束质量、激光功率、光点位置、焊接速度等对焊接质量的影响。

第五章系统地分析了激光焊接金刚石刀头配方及制造工艺,包括金刚石刀头用粉末冶金材料和常用金刚石的性能特点、激光焊接金刚石锯片刀头配方体系的优化设计及其刀头制造工艺。

随着环保要求的不断加强,低噪声环保型金刚石圆锯片已成为未来金刚石锯片的发展方向。第六章主要研究了采用高功率激光精密切割技术降低金刚石圆锯片的噪声,围绕激光切缝设计、复合材料基体和激光切缝基体锯片降噪机理、激光精密切缝工艺、噪声结果测试与分析等方面进行了较深入的理论和试验研究。

激光焊接薄壁金刚石工程钻头是一种新兴的钻孔工具,本书第七章介绍了激光焊接薄壁金刚石工程钻头的主要规格,专用工装夹具及其相关激光焊接设备,激光焊接工艺参数对金刚石钻头质量的影响,刀头配方与烧结工艺以及钻切效果测试。

全书由唐霞辉统一编写,秦应雄、朱国富、周毅、任江华、周金鑫、李立波、蔡方寒、钟如涛、谢涛、曾享林、朱海红、赵侠、何艳艳、万正武等参与了本书有关的试验研究、资料整理以及部分编辑工作。感谢华中科技大学激光技术国家重点实验室、激光加工国家

工程研究中心和武汉华工激光工程有限责任公司对本书出版的支持。作者非常感谢姜荣超教授对本书的精心审阅及对本书有关内容的建议。感谢李再光、李适民、李家镛、徐启阳、王汉生、程愿应、王新兵等教授及叶宏煜博士的大力支持。

在本书的编写过程中,参考了德国 Dr. Fritsch 公司、Rofin-Sinar 公司、BASF 公司,美国 GE 公司、Kennametal 公司、LANDS 公司,英国 DeBeers 公司,法国 Eurotungstene 公司,比利时 Umicore 公司,韩国 DIEX 公司、ILJIN 公司等国外企业,以及国内相关企业和科研院所等的技术资料,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,敬请广大读者批评指正。

唐震辉

2004 年 11 月于华中科技大学

目 录

第一章 激光加工在金刚石工具中的应用	(1)
1.1 激光加工促进金刚石工具的技术创新	(1)
1.2 激光加工的特点	(3)
1.3 金刚石工具激光焊接国内外发展动态	(4)
1.4 激光焊接金刚石工具的应用及市场前景	(8)
参考文献	(10)
第二章 金刚石工具中应用的 CO₂激光器	(11)
2.1 CO ₂ 激光器工作原理及其光束质量分析	(11)
2.1.1 CO ₂ 激光器工作原理及其特点	(11)
2.1.2 光束质量对激光加工的影响	(14)
2.2 高功率横流 CO ₂ 激光器	(21)
2.2.1 横流 CO ₂ 激光器结构	(21)
2.2.2 横流 CO ₂ 激光器电源系统	(28)
2.2.3 横流 CO ₂ 激光器水冷机组	(30)
2.2.4 横流 CO ₂ 激光器工作特性	(31)
2.2.5 HGL-5000 型横流 CO ₂ 激光器主要技术指标	(33)
2.3 高功率快速轴流 CO ₂ 激光器	(35)
2.3.1 快速轴流 CO ₂ 激光器结构	(35)
2.3.2 快速轴流 CO ₂ 激光器电源系统	(42)
2.3.3 快速轴流 CO ₂ 激光器输出特性及其效率	(43)
2.3.4 Lance 系列快速轴流 CO ₂ 激光器的主要技术参数	(44)
2.4 扩散冷却板条 CO ₂ 激光器	(45)
2.4.1 扩散冷却 CO ₂ 激光器的发展	(46)
2.4.2 面积放大技术	(46)

2.4.3	射频放电激励技术	(49)
2.4.4	非稳波导混合腔	(50)
2.4.5	Rofin-Sinar 扩散冷却板条 CO ₂ 激光器	(51)
	参考文献	(56)
第三章	激光焊接金刚石锯片成套设备	(57)
3.1	激光焊接金刚石锯片刀头制作设备	(57)
3.2	国外激光焊接设备	(67)
3.2.1	德国 Dr. Fritsch 公司的激光焊接设备	(69)
3.2.2	国外其它金刚石工具激光焊接设备	(76)
3.3	国产金刚石锯片激光焊接系统	(79)
3.3.1	国产金刚石锯片激光焊接设备概况	(79)
3.3.2	自行研制的国产三工位激光焊接系统	(80)
	参考文献	(94)
第四章	金刚石锯片激光焊接工艺	(95)
4.1	金刚石刀头过渡层与锯片基体	(95)
4.1.1	金刚石刀头过渡层	(96)
4.1.2	激光焊接锯片基体	(100)
4.2	激光焊接工艺参数的选择	(105)
4.2.1	光束质量	(105)
4.2.2	焦点位置	(106)
4.2.3	激光焊接输入能量	(110)
4.2.4	保护气体流量及等离子体的控制	(115)
4.3	焊缝组织分析	(116)
4.3.1	微观组织分析	(116)
4.3.2	显微硬度分析	(120)
4.4	激光焊接缺陷分析	(122)
4.4.1	气孔	(122)
4.4.2	裂纹	(127)
4.5	焊缝强度分析	(129)

4.5.1	金刚石锯片切割过程中受力分析	(130)
4.5.2	焊缝强度标准及强度检测	(131)
4.5.3	专用焊缝强度检测仪	(133)
	参考文献	(139)
第五章	激光焊接金刚石锯片刀头配方及其制造工艺	(141)
5.1	金刚石刀头粉末冶金材料	(141)
5.1.1	主要元素的性能特点	(142)
5.1.2	国内外金刚石刀头粉末冶金材料分析	(150)
5.2	激光焊接锯片常用金刚石	(188)
5.2.1	金刚石的性能评价	(188)
5.2.2	国产金刚石分析	(191)
5.2.3	国外金刚石分析	(193)
5.2.4	金刚石表面金属化处理	(200)
5.3	激光焊接金刚石锯片配方设计	(204)
5.3.1	锯片配方各种成分的确定	(204)
5.3.2	国内外部分实用锯片配方体系	(212)
5.4	金刚石锯片刀头制造工艺	(223)
5.4.1	制粒工艺	(224)
5.4.2	冷压成型	(226)
5.4.3	热压烧结	(226)
5.5	激光焊接异形齿金刚石锯片	(231)
	参考文献	(235)
第六章	金刚石圆锯片激光降噪技术	(237)
6.1	金刚石圆锯片降噪方法及国内外研究动态	(237)
6.1.1	锯切噪声的危害与降噪的必要性	(238)
6.1.2	噪声源	(240)
6.1.3	常用降噪措施	(241)
6.1.4	国内外研究动态	(243)
6.2	消音缝的设计及降噪机理分析	(245)

6.2.1	激光切缝形状分析	(245)
6.2.2	锯片振动噪声分析	(250)
6.2.3	激光切缝基体的应力分析	(257)
6.3	金刚石锯片基体激光切割设备及工艺	(258)
6.3.1	PROFILE PLUS 激光切割系统	(258)
6.3.2	激光切割工艺及切割优化工艺参数	(262)
6.4	三明治锯片激光切割及焊接	(274)
6.4.1	三明治锯片降噪机理	(274)
6.4.2	三明治材料的激光切割	(277)
6.4.3	三明治锯片的激光焊接特点	(279)
6.5	锯片降噪效果测试与分析	(280)
6.5.1	测试条件与方法	(280)
6.5.2	噪声测试结果与分析	(281)
6.5.3	噪声影响因素分析	(285)
	参考文献	(291)
第七章	激光焊接薄壁金刚石工程钻头	(293)
7.1	薄壁金刚石工程钻头的应用及其主要规格	(293)
7.1.1	薄壁金刚石工程钻头应用	(293)
7.1.2	短筒系列薄壁金刚石工程钻头	(296)
7.1.3	长筒系列薄壁金刚石工程钻头	(298)
7.1.4	其它类型钻头	(301)
7.2	金刚石钻头激光焊接设备	(303)
7.2.1	国外激光焊接设备	(303)
7.2.2	国产三工位金刚石钻头激光焊接系统	(306)
7.3	金刚石钻头激光焊接工艺特点	(315)
7.3.1	单面及双面激光焊接工艺	(315)
7.3.2	焊缝性能分析	(321)
7.4	钻头刀头配方及其制造工艺特点	(324)
7.4.1	钻头刀头配方特点	(324)

7.4.2 刀头烧结工艺特点	(332)
7.4.3 钻切效果测试	(334)
参考文献	(338)

第一章 激光加工在金刚石工具中的应用

激光加工金刚石工具属于激光先进制造技术领域,涉及光、机、电、材料等多学科专业。高功率激光在金刚石工具中的应用主要包括锯片及钻头的激光焊接、基体激光切割和激光切缝降噪等多方面,技术难度大,应用前景广阔。

本章主要介绍激光加工金刚石工具的特点、国内外研究及产业现状、应用前景。

1.1 激光加工促进金刚石工具的技术创新

金刚石圆锯片广泛应用于石材加工、建筑施工、高速公路及飞机场跑道的切割或切缝。其传统制造方法主要是电镀、钎焊、烧结。冷压烧结主要用于小锯片,将刀头与基体同时进行冷压后烧结构成一体。钎焊锯片的基体、刀头结合面靠钎料熔化渗透而连接,其结合强度低,特别是高温强度较低,承载能力差,在高速切削特别是干切时,锯片受热到高温时钎料软化,导致刀头脱落,易造成意外事故,伤害操作人员。

金刚石锯片切割过程中产生巨大的噪声(可达 120dBA 以上),严重影响操作人员的身心健康,并对周边环境造成噪声污染。国际上对锯片噪声控制要求越来越严格,研究低噪声锯片成为金刚石工具制造领域亟待解决的问题。

金刚石锯片质量三要素包括:安全与环保、锯切能力和使用寿命

命。近年来欧美各国对锯片使用的安全性、可靠性、降噪环保等各方面要求越来越高。采用激光加工技术有利于解决金刚石锯片结合强度低、噪声高等问题。

激光加工已成为提高金刚石工具产品质量、生产效率和自动化程度,增强产品效益的重要生产技术之一。目前高功率激光加工金刚石工具领域发展的关键技术有两项:一是激光焊接技术,可以提高基体与金刚石刀头的结合性能;二是激光切割技术,利用激光切割实现锯片基体成型和利用激光切缝获得低噪声锯片。

一、金刚石工具激光焊接技术

激光焊接金刚石锯片及钻头,刀头和基体之间焊缝组织为熔融后的冶金结合。热影响区小,激光束聚焦光斑在 0.2~0.3 mm,焊缝仅为 1~2 mm 宽,焊透深度可以达到 1.5~4 mm。激光焊接锯片外观质量好、几何精度高。机械强度能适用于干切,克服了刀齿脱落的现象。

由于金刚石锯片是不同厚度的异种材料焊接,难度较大,因此需要高光束质量、高稳定性的激光焊接系统,其次要求基体及刀头要有较好的可焊性,并选择合适的烧结工艺及焊接工艺^[1~7]。

二、激光切缝消音技术

采用激光束在钢基体上切割出 0.15~0.20 mm 宽、形状特殊的细缝消音槽,以降低锯片工作噪声。基体切缝后,从基体周边到中心的震动线被切缝割断,可使基体的噪声共鸣反弹、震动噪声减弱。由于低噪声激光焊接锯片在减少环境噪声、保证操作人员健康等方面较传统的激光焊接金刚石锯片有明显优势,其已成为金刚石锯片发展的必然趋势^[8]。

三、激光切割基体成型技术

锯片基体加工的传统方法为冲压和铣削,对于不同尺寸基体

需要更换冲模。激光切割基体不需要任何模具,适合切割不同尺寸、齿数、异型齿和包含复杂形状切缝的基体,没有刀具磨损,切割噪声小,自动化程度高,故可以适应小批量、中批量和大批量的生产。激光切割装备及工艺取代传统的冲压工艺,极大地提高了基体的加工质量及供货速度,已成为基体制造厂技术改造的重点方向。

总之,金刚石工具的制造从传统电镀、钎焊、烧结制造方法到现在的激光焊接方法,基体成型从传统的冲压到激光切割,以及激光切缝降噪等,都体现了金刚石工具行业中的技术创新。

技术创新是金刚石制品业的发展动力,创新可使产品打开销路,扩大市场占有份额,创新可使一种工具更具生命力,创新可使设备更趋完善、更先进。我们应吸收国内外金刚石工具不断创新的经验,从我国实际出发,不断开发我国金刚石工具的新产品、新材料、新工艺与新设备。

1.2 激光加工的特点

1. 激光能量密度高

激光与其它光源相比,具有高亮度、高方向性、高单色性等独特优点。气体激光器的亮度可达 $10^8 \text{ W/cm}^2 \cdot \text{s}$,聚焦后,在焦点附近产生数千度乃至上万度的高温,这就使其可能加工几乎所有的材料。激光束的发散角极小,一般工业用高功率激光器输出光束的发散角为毫弧度(mrad)量级。激光的高方向性使其能有效地传递较长的距离。激光的单色性极高,从而保证了光束能精确地聚焦到焦点上,这在激光切割和激光焊接中是至关重要的。

2. 激光加工质量高

激光束聚焦光斑小,能量密度高,加工速度快,热影响区小,工件热变形及后续加工量小。采用激光焊接金刚石锯片,刀头与基体的结合强度高,其弯曲断裂强度可达 $1\,800 \text{ N/mm}^2$,为传统工

艺的 3~6 倍,可保证圆锯片在高速切削、冲击载荷下不致于开裂而造成危险。

3. 激光加工自动化程度高

激光束通过外光路系统可以使光束改变方向,与数控机床连接起来,构成各种灵活的加工系统,实现精确定位及自动焊接,并实现时间与空间分光,进行多工位加工。

4. 激光加工属于绿色加工

激光加工是非接触加工,无工具磨损,无切削力作用于工件,加工过程无冲击噪声、无污染。激光焊接过程不需要电极和填充材料,焊接区几乎不受污染。

1.3 金刚石工具激光焊接国内外发展动态

金刚石锯片激光焊接技术始于 20 世纪 80 年代末期,美国 Norton 公司及 Western Saw 公司最早开展激光焊接金刚石锯片的研究及产业化。英国的 Nimbus 金刚石工具公司于 1985 年底引进激光焊接技术,并于 1989 年投资 25 万英镑建立了全自动激光焊接生产线和完善的检测系统。

德国 Dr. Fritsch 公司是国际上最大的金刚石工具生产设备制造厂,最早推出人工装卸的半自动 LSM900,1997 年推出全自动 LSM800、LSM260 以及最近推出的半自动和全自动的 LSM240 激光焊接机和 BSM220 金刚石钻头激光焊接机,陆续推出了全自动刀头冷压机和烧结热压机,以及系列完整的金刚石工具生产和检测设备,拥有先进的配方技术、粉末技术及产品。

意大利的 Sintris 公司、ROBOSINTRIS 公司在原 SINTRIS 77LM 激光焊机的基础上推出了 78LA 三轴数控激光焊机。ARGA FABES 公司推出了 S01 激光焊机。韩国 DIEX 公司开发了全自动数控 CNC-L 激光焊机及手动装卸的 LWB15/2 激光焊机。同时,韩国 EHWA 等公司生产的激光焊接金刚石锯片在国际市

场上具有强大竞争力,成为世界最大出口国,每年约出口 500 万片。

国内于 20 世纪 90 年代初期开始跟踪金刚石锯片激光焊接技术,90 年代后期,激光焊接金刚石锯片在我国开始迅猛发展,各金刚石工具厂纷纷装备激光焊接锯片生产线。进入 21 世纪,我国的激光焊金刚石锯片产业有了快速发展,装备金刚石锯片激光焊机的达 30 多家,超过 50 台。采用的设备有全进口、土洋结合、全国产等三种形式。早期的设备主要是:德国、日本、美国的设备,后来也有引进韩国设备。其中德国 Dr. Fritsch 公司的设备采用为最多,如华工激光、北京安泰,丹阳华昌,石家庄博深和杭州高发。丹阳锋泰引进韩国 DIXE 设备,石家庄冀凯采用意大利雅嘉设备。目前国内拥有激光焊接设备的金刚石工具厂规模较大的几家主要分布在北京、河北、河南、湖北、江苏、广东、浙江等地。我国部分金刚石工具厂家装备的各种激光焊接设备如表 1.3.1 所示^[8,9]。

与先进工业国家相比,我国在激光加工金刚石工具方面的差距还很大,其重要原因是:①光束质量优良的高功率 CO₂ 激光器的技术水平和可靠性达不到国际先进水平;②从刀头制造到激光焊接、质检等成套设备不配套;③设备、工艺结合不好;④缺乏正确的技术培训和指导。

为满足国内激光焊接锯片不断扩大的需求,国内激光加工和金刚石工具设备制造商不断开发具有自主知识产权的国产激光焊机及配套系统。目前生产金刚石锯片激光焊机的有华中科技大学、济南铸锻所、团结激光、金石凯激光、郑州磨料磨具磨削研究所等。

华中科技大学激光加工国家工程研究中心依托校内激光技术国家重点实验室及多学科交叉的整体优势,致力于激光加工中关键技术和共性技术的研究,特别是激光加工成套设备、激光加工工艺的研究和开发处于国内领先地位,是国家“六五”至“九五”国家重点科技攻关计划“激光技术”项目的主要承担单位之一,共承担各类科研项目 100 多项,其中国家重大科技攻关、国防科研、国家自然科学基金、“863”高技术科研项目 60 余项,有 46 项成果获国