

碟片激光器及其在工业中的应用

何煦辉

通快中国(香港)有限公司

E-mail: Xuhui.He@cn.trumpf.com

1 引言

碟片激光器(Disk Laser),又称圆盘激光器,它与传统的固体激光器的本质区别在于激光工作物质的形状。将传统的固体激光器的棒状晶体改为碟片晶体,这一创新理念将固体激光器推向了一个新时代。碟片激光器以其极佳的光束质量和转换效率在工业制造业中得到了日益广泛的应用。本文简要介绍了碟片激光器的基本原理、构造、特点以及在工业中的一些应用。

2 为什么采用碟片晶体?

激光器设计过程的一个重要问题是激光工作物质的冷却,冷却效果直接关系到激光器的质量。如图1所示,由于传统的棒状激光晶体只能侧面冷却,即冷却须通过晶体棒的径向热传导来实现,因此棒内温度呈抛物线形分布,导致在棒内形成所谓的热透镜。这种热透镜效应会严重影响激光束的质量,并随抽运功率的变化而变化。抽运功率越大,热透镜效应越大,热透镜的焦距越短,激光甚至可能由稳态变为非稳态,从而严重限制了固体激光器向高功率方向的发展。

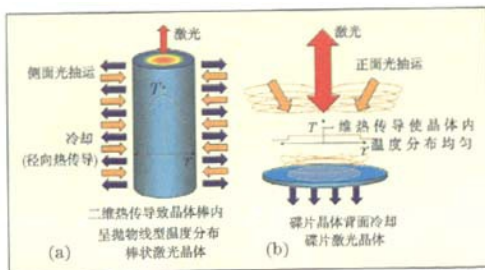


图1 作为激光工作物质的棒状晶体(a)与碟状晶体(b)的比较

碟片激光晶体的厚度只有200 μm左右,抽运光从正面射入,而冷却在晶体的背面实现。因为晶体很薄,径厚比很大,因此可以得到及时有效的冷却,这种一维的热传导使得晶体内的温度分布非常均匀,因此碟片激光晶体从根本上解决了上述热透镜问题,大大

改善了激光束质量、转换效率及功率稳定性。

3 碟片晶体的抽运

将棒状晶体改为碟片晶体来消除热透镜效应,人们自然要问:如此薄的晶体,如何实现抽运光的有效吸收?如何获得足够的增益?的确,如果抽运仍采用传统激励方法,一束抽运光仅照射工作物质一次,很难实现足够大的输出功率。人们同时还需要对碟状晶体的抽运进行创造性的构思和精密的设计才能将上述创新理论变为现实。

图2为通快(TRUMPF)碟片激光器晶体腔体的示意图。由二极管阵列组成的抽运模块发射抽运光束,经准直后进入晶体腔体,借助于腔内的抛物形反射镜聚焦在晶体上,被晶体吸收一部分后,透射的那部分光被晶体背面高反射镀膜反射,又被晶体吸收一部分,然后入射到腔内的棱镜上,再由抛物形反射镜和其他反射镜聚焦在晶体上。如此重复往返的入射使得一束抽运光自从抽运模块发出、进入晶体腔体至离开晶体腔体的过程中将途经激光晶体20次。抽运光能量被激光晶体充分吸收。这种方法可使光-光转换效率高达65%。

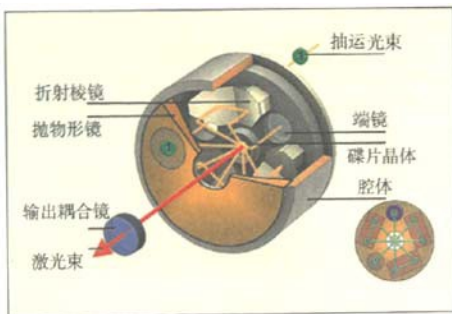


图2 碟片晶体的抽运

4 碟片激光器的结构和特点

以通快碟片激光器结构为例,如图3所示,它由抽运模块、晶体腔体、谐振腔、导光系统和光导纤维接口组成,并装有功率实时反馈控制系统。

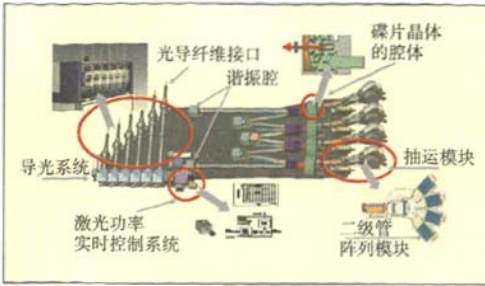


图3 碟片激光器的构造

碟片激光器的最大功率与碟片晶体的数量成正比。随着技术不断成熟先进,碟片晶体所能产生的激光功率也在不断增大。2004年,单碟片晶体激光器的输出功率仅为1 kW,图3所示的是采用4片晶体的碟片激光器,因此当时该碟片激光器的最大输出功率为4 kW。2009年单碟电晶体激光器的输出功率达到4 kW,每片晶体的最大输出能力还将不断提高。

碟片激光器的输出激光可以很方便地用光纤传输到待加工的工件上。一台激光器可以供给6路输出。它们可以按能量或时间来分配激光输出。因此一台激光器可以供给多个工作站,使其得到充分利用时间转换速率为50 ms。

5 碟片激光器应用举例

碟片激光器在工业制造业中应用很广泛,例如高速切割和各种焊接,包括常规焊接和飞行焊接等。

5.1 激光机器人扫描焊接

激光机器人扫描焊接又称远程焊接。将碟片激光器激光束通过光纤传至安装在机器人上的可编程聚焦光学头(PFO),PFO内装有两片高速扫描反射镜(常称“振镜”),它们使激光束按所编程序的路径作高速而精确的运动,通过远心透镜聚焦实现工件的焊接。由于在机器手运动的工程中,两片振镜亦可同时进行高速扫描,因此这种焊接也称为飞行焊接。

激光机器人扫描焊接的特点是速度快,焊接头离工件远。其应用很广泛,以汽车白车身制造为例,激光扫描焊接正成为替代传统电阻点焊的一种手段。例如,大众汽车公司传统的电阻点焊工艺采用4个机器人,5个焊枪,焊34个点,加上装卸时间,一共需要34.7 s;现在采用激光扫描焊接,完成同样的工作,即34个焊点,且焊点形状为C型(C型焊点较圆点型焊点强度更高),只需1个机器人,1个PFO,而时间缩短为13 s。这不仅大大提高了焊接强度和效率,也减轻了车门的重量,因为激光扫描焊接与电阻点焊不同,焊头无需接触部件,因此焊接处的凸缘宽度可以

大大减小。这样既节省了材料(成本减少),又减轻了车身的重量(油耗降低),非常符合汽车的生产要求。

5.2 厚钢板和铜板的激光穿透焊接

厚钢板的焊接需要很高的激光功率。如前所述,碟片激光在大功率下仍保持良好的光束质量,因而对厚钢板的焊接具有特别的优势。图4为8 kW碟片激光器焊接6 mm厚度不锈钢板的截面图。

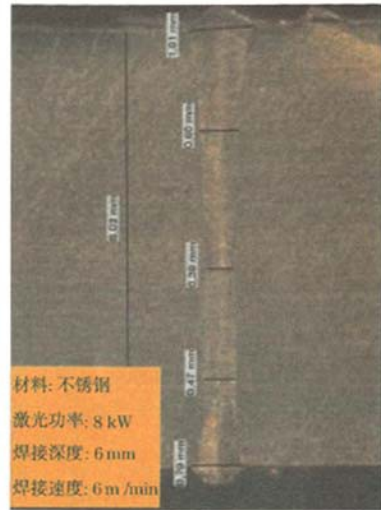


图4 6 mm厚不锈钢板焊接截面

激光焊接铜材比焊接钢材难度大许多,这是因为铜材表面反射率很高,入射的激光能量不易吸收。同时,铜的热传导系数很大,吸收的激光能量会很快扩散到整个铜部件。因此铜板的焊接需要更高的激光功率。图5所示为四块厚度为1.5 mm的E-铜板用16.5 kW碟片激光器叠焊的截面全相图。

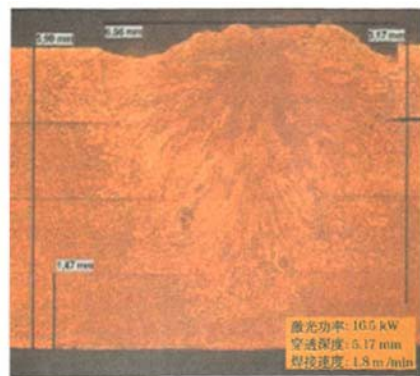


图5 四块厚度为1.5 mm的E-铜板激光叠焊截面

5.3 碟片激光器的切割

激光的光束质量对于切割尤为重要,因为光束质量好意味着光束的聚集效果好,焦斑尺寸小,功率密

度大。碟片激光器可以输出几乎接近衍射极限光束质量的激光,而且能在高功率下保持这种优良特性,因此切割速度快,质量好。图6所示为1 kW的碟片激光器对低碳钢、不锈钢和铝的切割试验曲线(切割速度与材料厚度的关系)。

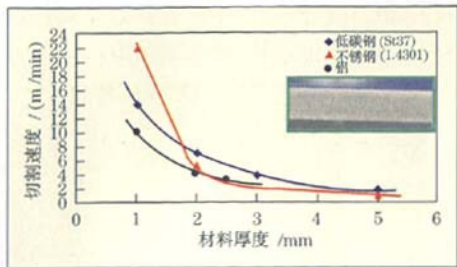


图6 TruDisk 1000 切割曲线

6 通快碟片激光器的优势

(1) 模块式结构

整个激光器采用模块式结构。各模块均可在客户现场迅速更换。冷却系统和导光系统与激光源集成在一起,结构紧凑,占地面积小,安装调试快。

(2) 极好的光束质量,并且标准化

通快所有超过2 kW的碟片激光器,光束参数积(BPP)均被标准化为8 mm/mrad。激光器不随运行模式的变化而改变,且与通快所有光学元件兼容。

(3) 抽运光和受激辐射光的光斑尺寸均较大

由于碟片激光器内的光斑尺寸较大,因此各光学元件上承受的光功率密度较小。光学元件镀层的损坏阈值通常约为500 MW/cm²,石英的损坏阈值为2~3 GW/cm²。通快碟片激光器谐振腔内的功率密度通常小于0.5 MW/cm²,耦合光纤上的功率密度小于30 MW/cm²。如此低的功率密度不会造成光学元件的损坏,也不会产生非线性效应,从而确保了运行的稳定可靠性。

(4) 采用激光功率实时反馈控制系统

实时反馈控制系统可使到达加工件上的功率保持稳定,加工结果具有极好的可重复性。碟片激光器预热时间几乎为零,可调功率范围为1%~100%。由于碟片激光器彻底解决了热透镜效应的问题,因此在整个功率范围内激光功率、光斑大小、光束发散角都是稳定的,光束的波前不发生畸变。

(5) 光纤可在激光器继续运行的状态下即插即用

在某一光纤出现故障的情况下,更换该光纤时,只需关闭该光纤的光路,不必关机,其它光纤可继续输出激光。光纤更换操作简单,即插即用,无需任何工具,也无需对准调校。接口处具有防尘装置,严密防止

灰尘从光纤连接处进入光学元件区域。

(6) 安全可靠

加工过程中,即使被加工的材料反射率很大,以致有激光反射到激光器内,对于激光器本身以及加工效果均无影响,也对材料加工、光纤长度无任何限制。激光操作安全性获德国安全证书。

(7) 抽运二极管模块更换简单迅速

安装在抽运模块上的二极管阵列也是模块结构。二极管阵列模块具有很长的使用寿命,其保修期为3年或2万小时。无论是计划的更换,还是因突发故障需要立即更换都无需停机。在某一个模块出故障时,控制系统会报警并自动地适当提高其它模块的电流以保持激光输出功率恒定,用户还可以继续工作十几甚至几十个小时。生产现场更换抽运二极管模块非常简单,操作人员无需培训。

(8) 具有远程诊断功能

通快建立了全球范围的服务网,如客户现场的机器发生故障,无论是激光器还是光学元件,除了工程师可以迅速赶到场外,还可先通过网络向通快德国总部的服务热线(每天24小时不间断)求助。服务热线的工程师可以通过网络直接对机器提供诊断,不仅大大减少服务费用,还可以对机器进行预防性的维护。

(9) 优良的外围设备及网络系统

激光器可以通过控制接口灵活连接多个工作站和多台激光器,形成激光网络。通过编程,可以给各个工作站和激光器指派工作任务,完成自动化的流水线生产。

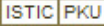
(10) 提供工业应用整体解决方案

通快在工业制造技术的激光应用方面积累了丰富的经验。他不仅能完全一手生产激光器、导光系统、光纤、光学元件及附件、标准控制接口、控制软件等一系列完整激光设备所需要的硬件和软件,而且具有强大的研发队伍和实验室,可给客户id提供实验测试乃至整体解决方案。许多已被实践证明行之有效的加工数据已输入机器的数据库内供用户随时调用,从而为客户节省了大量研发时间。

7 结语

碟片激光器由于解决了传统固体激光器的热透镜效应问题,即使在大功率下也能保持良好的光束质量。转换效率高,运行费用低的特点使其在工业应用中发挥着独特的优势。随着每块碟片晶体的激光输出功率能力的不断增强,碟片激光器最大输出功率将不断创新高,而价格将逐渐下降,其在工业制造业中应用也将越来越广泛。

碟片激光器及其在工业中的应用

作者: [何煦辉](#)
作者单位: [通快中国\(香港\)有限公司](#)
刊名: [激光与光电子学进展](#) 
英文刊名: [LASER & OPTOELECTRONICS PROGRESS](#)
年, 卷(期): 2009, 46(7)
被引用次数: 0次

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jgygdzxjz200907015.aspx

授权使用: 北京理工大学(北京理工大学), 授权号: 91a465fb-2ce1-47c8-baab-9e4401180109

下载时间: 2010年12月6日