

激光焊接技术与航空制造

Laser Welding Technology and Aviation Manufacturing

中国科学院沈阳自动化研究所 王 敏



王 敏

原沈阳飞机工业(集团)有限公司副总冶金师,从事航空焊接技术研究20余年。现任中国科学院沈阳自动化研究所研究员,主要从事焊接自动化装备与技术在航空工业的应用方面的研究。

激光制造技术具有许多传统制造技术所没有的优势,如材料浪费少,在大规模生产中制造成本低;可根据生产流程进行编程控制,在大规模制造中生产效率高;可接近或达到冷加工状态,实现常规技术无法完成的高精密制造;对加工对象的适应性强,且不受电磁干扰,对制造工具和生产环境的要求低;噪声小,不会产生任何有害的射线和残余物,生产

激光焊接能够实现多种类型材料的连接,而且具有许多其他熔焊工艺无法比拟的优越性,未来航空工业将是激光焊接技术应用的一个重要领域。

过程对环境的污染小等。

激光焊接是激光制造技术的重要组成部分。1960年美国研制成功世界第一台红宝石激光器;1962年出现包括激光焊接在内的有关激光应用的报道;1971~1972年,随着数千瓦CO₂激光焊接装置的实际应用,激光焊接发生了根本性变化,几毫米厚钢板可以一次性完全焊透显示出高功率激光焊接的巨大潜力。

激光焊接技术在20世纪80年代中期首先应用于车身制造,90年代中期应用于船舶制造领域,21世纪初期应用于A380大飞机机身制造中。空中客车公司应用激光焊接技术代替铆接,成功实现了飞机减重20%的目标,为激光技术在航空工业的应用做出了开创性贡献。激光焊接能够实现多种类型材料的连接,而且具有许多其他熔焊工艺无法比拟的优越性,其中最为突出的是,激光焊接能够连接航空制造中比较难焊

的薄板合金材料(如铝合金、钛合金等),并且具有构件变形小、接头质量高、重现性好等优点。由此可见,未来航空工业将是激光焊接技术应用的一个重要领域。

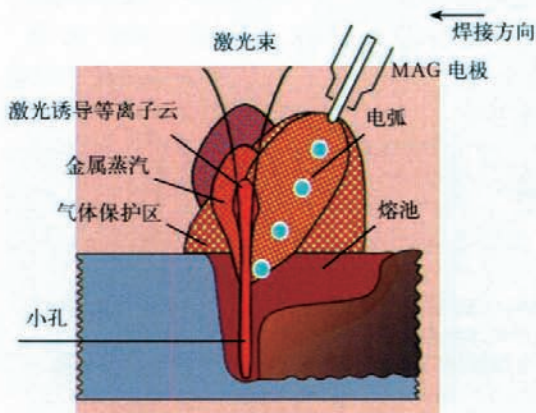
目前,作为先进制造技术发展的引领者,航空工业正迎来一个新的发展机遇期。航空工业展现了现代高新技术的高度集成,其发展水平是国家科技水平、工业水平、国防实力和综合国力的综合体现,同时,我国大飞机项目的立项对新材料、现代制造、先进动力、电子信息、自动控制、计算机等领域的关键技术提出了更加迫切的需求。

激光焊接技术研究现状

1 焊接用激光器

以前用于焊接的激光器主要是CO₂激光器和YAG激光器,现又出现了光纤激光器、碟形YAG激光器和半导体阵列激光器等。目前几乎

量和压力平衡,建立了小孔内液体和蒸气流动的通用模型。刘顺洪进行了薄板激光焊温度场的分析与数值模拟,在空间域上采用加权余量法,时间域上采用有限差分法离散,考虑材料热物性参数的温度相关性、熔化潜热以及对流辐射等对温度场的影响,建立了有限元方程,并编制了相应的程序。姚君山等采用组合热源模型和瞬态有限元方法,通过确定合理的能量分配系数,依据熔池边界准则,对钛合金 T 形接



激光+电弧复合热源焊接示意图

头激光深熔焊的三维温度场进行了模拟研究。

5 接头性能评价

近年来,利用等离子体的光、声、电荷信号对激光焊接过程进行检测,已成为国内外研究的热点,少数研究成果已达到了闭环控制的程度。另外,随着图像传感方法的改进,人们可从熔池图像获得有关熔池形状更多的特征信息(如熔池的宽度、长度和面积)。建立这些信息与激光焊接工艺参数的关系将对激光焊接的焊缝质量控制起到重要的作用。

航空制造对激光焊接技术的需求

航空产品的发展目标是降低结构重量,提高飞行性能、服役可靠性和寿命,这极大地依赖于高性能材料、现代化设计和现代制造三大关键

技术的进步。焊接在提高材料利用率、减轻结构重量、降低成本方面独具优势,已成为航空结构十分重要的制造技术。与常规焊接方法相比,激光焊能量密度高,加热集中,对材料热损伤小,焊缝深宽比大,焊接接头残余应力低,而且焊接精度高,可显著减少焊后加工量;焊接过程易于集成化、自动化、柔性化,属于高速、高效、高精度的高能束流焊接方法;焊接接头质量可与电子束焊媲美,却无需真空环境,不产生 X 射线,是 21

世纪先进的制造技术之一。国内外学者十分重视激光焊在航空结构制造中应用的研究,并视其为在航空结构制造最具发展前景的焊接技术,激光焊尤其适合于新型耐高温航空结构材料的焊接。目前,激光焊接技术已应用于波音、空中客车等主要航空公司的飞机制造中。

在军用飞机和商用飞机中,采用焊接接头替代铆接可以使结构成为一个整体,从而提高强度、降低飞机制造成本,并有可能缩短生产周期、减轻飞机重量、降低制造成本,也有可能提高构件的机械性能,从而提高飞机的性能。在大型商用飞机中,激光焊接接头可以成功地取代机身大部分区域的铆钉。要在航空领域应用这些焊接技术,需要进一步提高焊接构件的性能,使其在应力条件下具有高强度、小变形、最佳的抗疲劳和耐腐蚀性能。

航空产品激光焊接技术下一步研究方向

目前,我国在激光焊接技术方面的研究虽然取得了大量的成果,但距离航空产品制造的需求还存在一定差距:

(1) 在激光器方面,虽然目前可

供选择的种类很多,但价格都很昂贵,我国工程应用的大功率激光器仍然摆脱不了对国外的依赖。加紧自主知识产权的焊接用大功率激光器的研制迫在眉睫。

(2) 在激光焊接系统方面,需要加强自动化、智能化激光焊接系统的研究。航空产品结构较大,对质量要求严格,需要开发大型激光焊接系统,以实现焊接过程全自动化及其实时在线控制。

(3) 在焊接工艺方面,需要针对航空产品的材料及结构特点,开发适合航空产品结构的激光焊接方法。比如,航空产品大量使用有色金属,而采用激光焊接的目的之一是替代铆接,这就需要研究适合有色金属薄板 T 形结构的激光焊接工艺方法,目前常采用两套激光焊接系统,双束激光进行焊接,是否有更为经济、焊接质量更可靠的方法还有待焊接工作者做进一步研究。

(4) 在焊接标准方面,由于航空产品激光焊接技术的应用刚刚起步,目前国内还没有完整的指导航空产品激光焊接生产的工艺说明书及质量检验标准。这就要求有关工作者针对航空材料开展扎实的基础试验,以获得充分的技术数据,尽早编制出指导航空产品激光焊接生产的生产说明书、检验方法和验收标准。

结束语

激光加工是 21 世纪发展极快的制造新技术,其发展受到了各国政府和工业部门的重视。中国政府始终把激光作为“先进制造技术”,并将其列为国家重点发展项目。随着中国航空工业的快速发展,中国的激光焊接技术必将有一个大的发展,这种状况给从事激光、激光加工技术设备研发以及航空制造技术研究的技术人员带来了良好的机遇和极大的挑战。

(责编 小颖)