

试论粉末火焰喷焊和激光熔覆技术

尚丽娟^{1,2}, 康煜平¹, 刘常升², 才庆魁²

(1. 沈阳工业大学 材料学院, 辽宁 沈阳 110023; 2. 东北大学 材料冶金学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 从实际出发对粉末火焰喷焊和激光熔覆两种涂膜工艺作了客观地比较, 对它们的优缺点给予综合的评价, 同时提出一些对实际应用具有指导意义的参考性建议。

关键词: 火焰喷焊; 激光熔覆; 涂膜; 经济性; 性能

中图分类号: TG174.44 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3814(2002)04-0047-03

Discussion of the Techniques of Powder Flame Spray-Welding and Laser Cladding

SHANG Li-juan^{1,2}, KANG Yu-ping¹, LIU Chang-sheng², CAI Qing-kui¹

(1. College of Materials, Shenyang University of Technology, Shenyang 110023, China;

2. School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: The two coating techniques of powder flame spray-welding and laser cladding were objectively compared from practice. Their strong and weak points were synthetically evaluated. A few referable suggestions for practical application was made.

Key words: flame spray-welding; laser cladding; coating; economical; properties

粉末火焰喷焊技术始于廿世纪 50 年代末期, 是在火焰喷涂技术的基础上发展起来的一项表面涂覆技术。常用的粉末火焰喷焊是以氧、乙炔作为热源, 利用压缩空气将加热至熔化或半熔化的合金粉末高速射向基体工件表面, 并通过随后重熔获得致密的与基体冶金结合的各种金属及合金涂层。多年来这项技术在提高金属表面耐磨、耐蚀以及抗高温性能等方面发挥了巨大的作用, 在国民经济中占有重要地位^[1~3]。激光熔覆始于廿世纪 70 年代末期。随着大功率 CO₂ 激光器的研制成功, 这项技术被引入金属表面改性领域。它是以连续 CO₂ 激光作为热源, 适当离焦后辐照预置或输送到基体表面上的合金粉末, 使之快速熔融, 从而在普通材料的基体上得到各种性能的涂层。由于激光加热的特殊性使得相同材质的涂层组织及性能变动范围很宽, 因而引起了广大科技工作者的极大兴趣。近些年来这项技术取得了长足发展^[4~7]。人们在应用激光熔覆自熔合金时往往与火焰喷焊工艺作比较, 普遍认为激光熔覆自熔合金的性能优于火焰喷焊的场合。但作者认为这种简单对比未免有些片面。实际应用状况和我们的研究结果表明, 就目前情况而言, 在某些方面激光熔覆仍无法代替火焰喷焊。而激光加工特点也使得火焰喷焊在一些领域望而生畏。本文着眼于实际, 用客观的态度从多方面对两者加以评述, 并提出建议, 相信对实际生产有一定的指导作用。

1 火焰喷焊的利处

1.1 在投资方面

粉末火焰喷焊工艺设备结构简单, 投资显著低廉,

通常低于 2 千元即可生产。此外, 无需其它复杂配套设施, 几乎不存在设备维护和维修问题。而激光熔覆工艺设备一次性投资巨大, 常见简单的大功率(2 kW 以上)连续 CO₂ 激光加工机每台需要 35 万元以上, 而且需要专用厂房、供电系统、循环冷却装置及专人维护维修。因此在投资上前者不足后者的 0.5%, 具有显著的优越性。

1.2 在能源和资源方面

粉末火焰喷焊工艺主要使用氧、乙炔气体, 其燃烧释放的热能直接作用于工件表面, 能量利用率高。而激光加热则需要直接电能(发光用)、间接电能(抽真空和制冷用)、二氧化碳气、氮气、氦气及冷却水。首先将电能转换成光能(电光转化率仅为 15%~20%), 再通过导光、聚焦系统照射合金粉末, 在此过程中, 输出的激光也并非全部为粉末所吸收。统计数字表明, 激光电能利用率不足 10%, 特别是有些金属材料对激光的反射率极高。故在节省能源和资源方面火焰喷焊也明显优于激光熔覆。

1.3 在实用上

火焰喷焊工艺很少受环境条件和工作场合的限制, 应用灵活, 使用方便, 特别是适合现场操作, 停工期短。这一点, 激光熔覆工艺是无法比拟的。

1.4 对操作人员的要求

收稿日期: 2001-09-14

基金项目: 辽宁省教委基金资助项目(20140301)

作者简介: 尚丽娟(1961—), 女, 教授, 博士, 主要从事金属表面改性、表面合金的研究工作。

粉末火焰喷焊工艺简单,有章可循,选择适当规格的喷焊枪,调整工艺参数如焰性、气体压力、送粉量、喷距等,比较容易获得不同面积、不同厚度的涂层。一般人员经简单培训即可掌握。而激光熔覆工艺性强,材质、涂厚不同,工艺参数如输出功率、光斑尺寸、搭接率、扫描速度等均应作严格设计和调整,要求操作人员要有一定的技术水准。

1.5 在对材料配置的要求方面

通常两种工艺均要求涂敷材料与基体材料有合理的配置。如涂敷材料的熔点应尽量低于基体材料的熔点,且对基体应有良好的润湿性,涂敷材料应有尽可能低的热膨胀系数等。由于火焰喷焊处理面积大,加热相对均匀缓和,除熔点因素外,对其它物理、力学性能配置的要求并非十分严格,在一般金属材料如铸铁、碳钢及各种合金钢制品表面都能得到变形小、无裂纹、表面平整的具有良好冶金质量的涂层。而相比之下,激光加热过于集中,激热激冷使处理的结果严重依赖于涂敷材料与基体材料的匹配程度,一般最容易出现的问题有两个方面:①在强度低、塑性好薄板制品上(厚度小于 8mm)熔覆膨胀系数相对较高的材料,如在中低碳钢上熔覆镍基或钴基合金时,处理的结果往往使制品产生翘曲变形,如图 1a 所示;②基体材料强度高,变形能力差,尤其是导热性能不良者,处理后易在熔覆层中产生横向裂纹,有时在熔覆带边缘基体侧产生垂直裂纹,如图 1b 所示^[8]。此外涂敷材料的界面张力对涂敷质量影响也十分明显,一般情况下很难获得较为厚大的平整的涂层,采用添加剂的办法可以改善涂层的平整度,但目前尚处于研究阶段。

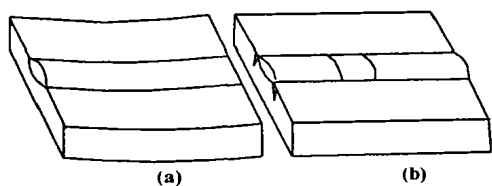


图 1 激光熔覆时易产生的变形(a)和裂纹(b)

1.6 在工艺和性能的可靠性方面

火焰加热速度相对较低,熔融区温度梯度较小,因此涂厚相同时,大部分场合组织相对粗大,但分布均匀、稳定,拉应力小,特别是重叠扫描时过渡平缓,没有激光扫描引起的成分分布明显偏析^[8,9]及搭接带的软化问题。而激光束能量分布极为不均,扫描加热使覆层组织具有较高的方向性,显然会增大合金层的各向异性。激热激冷又会导致厚大涂层中蕴藏着巨大的拉应力,最终造成涂层开裂。搭接扫描除产生软带外,还容易产生热疲劳。我们在 20 号钢基体上分别采用火焰喷焊和激光熔覆工艺制得 204Co 合金涂层,其涂层的组织形貌如图 2a、b 所示。可见,前者组织是在粘接相 α -

Co 的基体上分布着各种硬质相,无方向性或方向性不明显,这种组织通常具有很高的硬度(达 1 142 HV 以上)及耐磨性。后者则为枝晶组织,呈明显的方向性,硬度为 1 076 HV,低于前者,但由于母相 α -Co 合金固溶度高,因此耐蚀性能要优于前者。

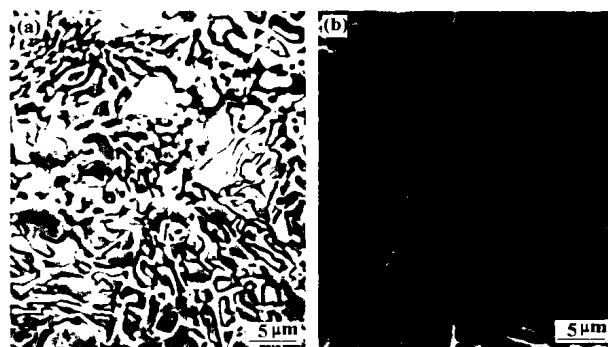


图 2 204Co 合金涂层组织形貌,(a)火焰喷焊、(b)激光熔覆

在等离子堆焊 Ni60 合金层上采用火焰喷焊工艺可以获得宽、厚分别为 20 mm、1.5~2.0 mm、无裂纹且致密的 Ni60 合金涂层,其组织形貌见图 3。很明显,火焰喷焊层的组织可以与激光熔覆组织媲美,比等离子堆焊层的组织细密得多。而用激光熔覆技术却很难得到无裂纹的涂层。目前,改变激光光束能量分布的转镜已研制成功,但制备大面积涂层还免不了搭接,因此,在这方面仍需要发展。

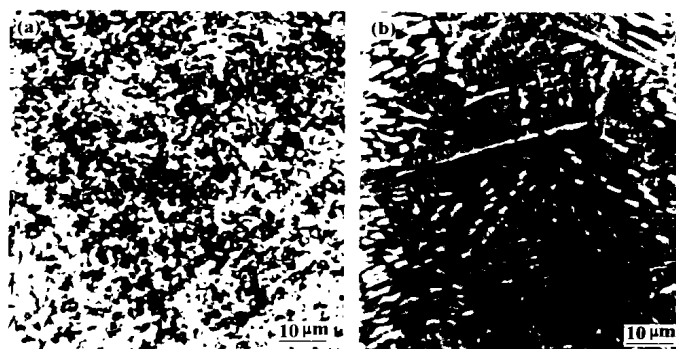


图 3 在等离子堆焊 Ni60 合金层上制备的 Ni60 合金涂层组织形貌,(a)火焰喷焊、(b)激光熔覆

对由两种工艺在 20 号钢基体上制得的 204Co 合金涂层做热腐蚀试验(以氧化物为载体的 60% NH_4Cl 混合介质,800℃×1h),结果见图 4,(a)、(b)分别为激光熔覆和火焰喷焊层的热腐蚀形貌。可见前者表面光滑耐蚀,但在搭接区却形成腐蚀裂纹并产生缝隙腐蚀,而后者为均匀腐蚀。表明激光熔覆层具有很强的热腐蚀敏感性。热疲劳(800℃×5min,水淬)和动载荷磨料磨损测试结果显示:火焰喷焊热疲劳寿命为 39~45 次,而激光熔覆层仅为 5~7 次。耐磨性也是前者强于后者。具体数据详见表 1。

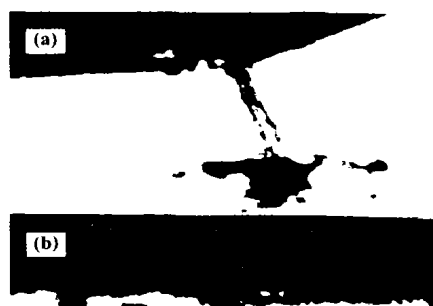


图 4 钴基合金激光熔覆层(a)和火焰喷焊层(b)的热腐蚀形貌

表 1 火焰喷焊与激光熔覆层钴基合金涂层的性能比较

	硬度 /HV	耐磨性 提高倍数	热腐蚀 (800℃×1h, 60%NH ₄ Cl)	热疲劳寿命 (800℃×5min)
火焰喷焊	1076	3	均匀腐蚀	42 次
激光熔覆	1142	1.8	缝隙腐蚀	6 次

此外,喷焊处理在一定范围内随着加热时间的延长,涂层由喷涂态变为半熔态、变为全熔态,只要不过度熔融,产品一般不会报废。而喷涂态往往可作为隔热涂层或其它重熔处理的预处理;半熔态组织细,弥散度高,对基体热影响小,变形小,略有微孔,硬度高,具有很好的耐磨和减磨作用;全熔态涂层致密、坚硬、耐磨,对基体具有很好的保护作用。在工程中可根据具体使用条件加以选择。今后,随着高性能火焰喷焊炬的不断问世,火焰喷焊技术仍将获得广泛的应用市场。

2 激光熔覆的优势

以上阐述了火焰喷焊的长处,但不得不承认激光本身的特点(高单色性、高亮度性和低发散性)使之在表面涂膜领域显示出特有的魅力,目前在制备梯度涂层、复合涂层以及其它各种特殊涂层方面的研究十分盛行,并已取得丰硕的成果^[10]。

2.1 可获得高熔点材料涂层

激光输出比能量大(可达 10^9 W/cm²),适合制备高熔点材料涂层。如在 AISI1010 钢基体上可以获得理想的 TiB₂ 陶瓷涂层^[11]。此外,应用连续 CO₂ 激光在奥氏体不锈钢表面制得由 WC、TiN、TiB₂ 微粒组成的涂层取得了良好的效果^[12]。这在目前应用的火焰喷焊工艺是很难达到的。

2.2 制备功能涂层

激光加热速度快,并以基体金属作为冷却介质,冷却速度可达 $10^3 \sim 10^8$ K/s,使涂敷材料瞬间熔化和凝固。这一方面减少涂层氧化的几率,减少基体材料对涂层的稀释,保持涂层的高合金度,同时激热激冷使晶粒来不及长大,较大的温度梯度加剧了熔池的对流,使组

织进一步细化。当成分设计和选择合理时,可获得非晶态涂层^[13,14]。因此应用激光熔覆技术能够开发新型表面功能材料,目前已在医药、化工、轻纺等行业取得了良好的应用效果^[15]。

2.3 在微细加工及微成型方面

激光方向性极强,可以准确控制加热区的范围,因此与火焰喷焊相比,激光熔覆更适合精密零件的制造、表面改性及普通零部件的微小表面处理,而且可能是相对经济的^[16,17]。

总之,火焰喷焊与激光熔覆两者装备不同,能源形式不同,涂层性能各有千秋。随着科学技术的发展,高性能大功率激光器的不断涌现,其应用范围将越来越广^[18,19]。但目前,尤其是在我国应结合具体情况合理选择。

3 结论和建议

(1) 火焰喷焊与激光熔覆相比在经济上、实用上及运用灵活性等方面均具有显著的优越性。

(2) 制备均匀的大面积涂层,火焰喷焊的效果通常优于激光熔覆的场合。故对于普通工程零部件应力求采用火焰喷焊处理。

(3) 激光熔覆更适合制备特殊功能涂层及作微小表面处理。

参考文献:

- [1] 高荣发. 热喷涂[M]. 北京:化学工业出版社, 1992.
- [2] Tony Cunningham. [J]. Materials Performance, 2000, (1):46.
- [3] 徐滨士. [J]. 材料保护, 2000, 33(1):1.
- [4] Yellup J M. [J]. Surface and Coating Technology, 1995, 71:121.
- [5] Alessio L D. [J]. Surface and Coating Technology, 1996, 80:221.
- [6] 尚丽娟. [J]. 中国激光, 1990, 17(8):491.
- [7] 日野, et al. [J]. 热处理. 平成 11 年 2 月, 39(1): 44.
- [8] 尚丽娟. [J]. 材料科学与工艺, 1992, 11(2): 65.
- [9] Carvalho P A. [J]. Surface and Coating Technology, 1997, 91: 158.
- [10] 胡木林. [J]. 金属热处理, 2001, (1):1.
- [11] S M Levcovici and A Preda. [J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2000, 9(5):536.
- [12] Agarwal A, Katipelli L R, Dahorre N B. [J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2000, 31A(2):461.
- [13] 武晓雷, 洪友士. [J]. 金属学报, 2000, 6(2):1 244.
- [14] WU X L, HONG Y S. [J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2000, 31A(12): 3 123.
- [15] 张光钧. [J]. 金属热处理, 2000, (1):6.
- [16] 宋永伦. [J]. 焊接学报, 1998, 19(2):88.
- [17] Schubert E, Seefel T, Sepold G. [J]. , 1999, 8(4):590.
- [18] 赵海鸥, 李春华. [J]. 金属热处理, 2001, (1):8.
- [19] Steen W M. Laser material processing[M]. London: Springer-Verlag, 1991.