

超音速喷涂技术在再制造中的应用

查柏林, 王汉功, 苏勋家

(第二炮兵工程学院 装备维修培训与技术服务中心, 西安 710025)

摘要: 根据空气动力学和火箭发动机原理, 研制了超音速电弧喷涂和多功能超音速火焰喷涂技术, 可制备性能优异的耐蚀、耐磨、导电、绝缘涂层。超音速喷涂技术应用于机械零部件的再制造, 可显著提高其性能和使用寿命, 符合优质、高效、节能、节材、环保的要求, 可达到修旧利废的目的, 产生良好的经济效益。超音速电弧喷涂可制备金属、合金及基于管状丝材的复合涂层, 涂层均匀致密, 孔隙率低, 结合强度高, 在长效防腐、耐磨强化方面有广泛的应用。多功能超音速火焰喷涂技术同时具备 HVOF 和 HVAF 的功能, 实现了焰流速度和温度大范围内的连续可调, 能满足多种材料的喷涂要求, 特别是其制备的碳化物陶瓷涂层, 综合机械力学性能和耐磨耐蚀性能好, 在机械零部件表面强化领域应用广泛。

关键词: 再制造; 超音速喷涂; 涂层; 结合强度

中图分类号: TG174.442; TH17

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2006)05⁺-0174-04

Application of High Velocity Thermal Spray in Remanufacture Engineering

ZHA Bai-lin, WANG Han-gong, SU Xun-jia

(The Second Artillery Engineering College, Xi'an, 710025)

Abstract: High Velocity Air Arc Spray (HVAS) and High Velocity Oxygen/Air Fuel spray (HVO/AF) were successfully developing according to air dynamics and principle of rocket engines, which can spray corrosion-resistance, wear-resistance, electric and electric-insulated coatings with good performance. The two high velocity thermal spray technologies can be used for remanufacturing of mechanical parts with high quality, high efficiency, energy saving, material saving and environmental protection, extending the service life. Wasted parts were reused with good economic benefit. HVAS can spray metal, alloy and composite coatings with high bonding strength and low porosity, which was widely used in long life corrosion resistance and wear resistance. HVO/AF has the functions both of HVOF and HVAF, which can meet the requirements of many materials through adjusting the flame velocity and temperature. HVO/AF is the best technique for spraying of carbide coatings with well mechanical and wear resistant performance, which will be widely used in surface hardening of parts.

Key words: remanufacture engineering; thermal spray; coating; wear; corrosion

0 引言

再制造工程通过采用先进的修复技术、严格的产品质量控制和精确的成本核算, 使废旧产品得以再利用, 并达到良好的技术经济指标, 再制造工程以优质、高效、节能、节材、环保为目标, 符合国家可持续发展战略。再制造工程以先进的维修技术为基础, 其中, 热喷涂技术由于其工艺的灵活性、涂层质量的可控性和成本优势, 在再制造中有广泛的应用。由热喷涂的原理可知, 粒

作者简介: 查柏林 (1974-), 男(汉), 湖北人, 博士, 副教授。

子沉积前的状态决定涂层的性能, 包括粒子的速度、粒子的温度及粒子的熔化状态。粒子的速度对涂层的性能具有重要的作用, 当粒子撞击基体表面时, 高速可形成大的冲量, 粒子的变形能力强, 有利于涂层结合力和致密度的提高, 超音速喷涂优异的涂层性能得益于极高的粒子速度, 近年来研究的热门, 冷喷涂技术, 则完全依靠高速粒子的动能来沉积形成涂层。根据空气动力学和火箭发动机原理, 先后成功研制了超音速电弧喷涂技术(HVAS)、多功能超音速火焰喷涂技术

收稿日期: 2006-08-01

修回日期: 2006-09-01

(HVO/AF), 能制备高性能的金属、合金、金属陶瓷和无氧化物金属涂层, 在工业中获得了广泛的应用。

1 超音速电弧喷涂技术

电弧喷涂具有生产效率高、生产成本低、工件受热小等优点, 在长效防腐和耐磨涂层方面应用广泛, 在热喷涂中占有重要的地位, 但是, 与等离子喷涂和超音速火焰喷涂相比, 普通电弧喷涂的涂层质量较低, 结合强度 20 MPa 左右, 孔隙率为 3%~10%, 限制了电弧喷涂的应用。超音速电弧喷涂技术以提高粒子的速度为出发点, 采用拉伐尔喷咀, 改善了喷枪的雾化效果, 增强了气流对粒子的加速作用, 粒子的速度被提高到超音速, 制备的涂层结合强度高、孔隙率低、表面粗糙度低^[1], 与普通电弧喷涂相比, 涂层质量有了很大程度的提高, 接近等离子喷涂的水平, 全面提高了电弧喷涂层的质量。

超音速电弧喷涂的原理是: 燃烧于丝材端部的电弧将均匀送进的丝材熔化, 经拉伐尔喷咀加速后的超音速气流将熔化的丝材雾化为粒度细小分布均匀的粒子, 喷向工件形成涂层。与普通电弧喷涂一样, 超音速电弧喷涂是一个不断重复进行的熔化—雾化—沉积的过程, 但在雾化方式上, 超音速电弧喷涂与普通电弧喷涂有差别, 普通电弧喷涂采用亚音速雾化, 而超音速电弧喷涂采用超音速雾化, 雾化后的粒子细小均匀, 速度高, 有利于获得高质量的涂层。

2 超音速电弧喷涂在再制造中的应用

超音速电弧喷涂层结合强度高、孔隙率低、表面粗糙度低、耐磨耐蚀性能好, 在工业中有广阔的应用前景, 特别是在长效防腐和耐磨涂层方

面。超音速电弧喷涂工艺灵活, 在相当大的工艺参数范围内都能得到性能优异的涂层, 设备研制成功后, 获得了广泛的应用。

2.1 长效防腐涂层

电弧喷涂铝、锌涂层耐蚀性能好, 对基体有良好的保护作用。由于铝、锌涂层的自腐蚀电位均低于碳钢的自腐蚀电位, 因此, 铝、锌涂层具有牺牲阳极的阴极保护作用, 即使涂层有局部破损, 对基体仍然有良好的防护效果, 此外, 电弧喷涂镍铬和铁铬铝涂层还能有效地抗高温腐蚀。超音速电弧喷涂层质量比普通电弧喷涂高, 涂层均匀致密, 孔隙率低, 为腐蚀的防护提供了一条成本低、效果好的途径, 特别是桥梁、钢铁塔架、水闸门、工业锅炉等的腐蚀防护。

工业用锅炉水冷管壁的腐蚀是个重要的经济和技术问题, 更换管壁和停产的损失相当昂贵。锅炉使用过程中, 工作温度高, 燃料含硫量高, 锅炉水冷管壁由于 Fe 元素与高温空气中的 S 元素反应生成 FeS 而造成腐蚀。此外, 熔渣和煤灰对管壁有冲蚀作用, 加剧管壁的腐蚀。超音速电弧喷涂电厂水冷管壁, 与普通电弧喷涂相比, 制备的涂层均匀致密, 表面粗糙度低, 结合强度高, 涂层质量大大改善, 预计防腐寿命在 5 年以上。随着石化工业的发展, 由于各种腐蚀原因引起化工储罐、管道出现事故的趋势明显增加, 不仅造成了大量的经济损失和环境污染, 而且造成了很多人员伤亡。因此, 对化工设备进行防腐与维修, 是石化工业发展中重点解决的难题之一。超音速电弧喷涂石油化工厂的轻污油回收罐, 大大提高了回收罐的使用寿命, 其使用寿命由原来的 3 年提高到 8 年。



(a) 水冷管壁防腐



(b) 化工储罐防腐

图 1 超音速电弧喷涂防腐涂层的应用

Fig.1 Application of HVAS sprayed corrosion resistance coatings

2.2 耐磨涂层

在机械零部件的表面,采用热喷涂方法,制备耐磨或耐磨耐蚀的涂层,对零部件进行修复或强化,是热喷涂技术应用的一个重要的方面。超音速电弧喷涂制备的涂层结合强度高、孔隙率低,经车削和磨削加工后易于满足精度和表面光洁度要求,同时,与其它修复方法相比,其成本低廉,为其在修复领域的应用创造了条件,具有较好的技术经济效益。工程机械的作业环境越来越恶劣,其液压系统柱塞往往由于超负载、液压油污染而出现粘着磨损和磨粒磨损,导致液压系统无法正常工作。采用超音速电弧喷涂耐磨抗高温合金涂层对失效的柱塞进行修复,修复后的柱塞不仅可恢复使用,而且其使用寿命也原来平均 15~20 天延长到平均为 45 天,使用寿命周期提高了一倍以上,产生了较好的经济效益。

3 多功能超音速火焰喷涂技术

多功能超音速火焰喷涂系统的原理是:利用煤油为燃料,氧气和压缩空气为助燃剂,控制系统将煤油和氧气(压缩空气,或氧气与压缩空气的混合气)以一定的流量输送到喷枪,经高性能雾化喷嘴雾化混合成可燃混合气后喷入喷枪燃烧室,混合气经火花塞点火燃烧后形成高温高压的燃气,通过拉伐尔喷嘴将其加速到超音速。送粉系统将喷涂粉末从拉伐尔喷嘴的低压区送入超音速射流,经射流加温加速后从喷枪喷出,高速喷向工件表面沉积形成涂层。喷涂系统的关键是通过调节进入喷枪的煤油、助燃剂(氧气与压缩空气的混合气体)的流量比例来调节焰流的速度和温度,从而控制喷涂粉末的加热和加速,以满足喷涂材料的要求,制备高性能的金属涂层,合金涂层和氧化物陶瓷涂层。图 2 为多功能超音速火焰喷涂系统的焰流图,由图可知,焰流集中,射流扩散角小,并出现了超音速焰流所特有的马赫锥,表明焰流的速度达到超音速。对 WC-12Co 涂层的结合强度进行了测试,测试结果表明涂层的结合强度大于 70 MPa,测试时的断裂面出现在胶层,说明实际值大于测试值。

4 多功能超音速火焰喷涂技术的应用

多功能超音速火焰喷涂具有氧气煤油超音速火焰喷涂(HVOF)和空气煤油超音速火焰喷涂(HVAF)的双重功能,焰流速度和温度在大范围内连续可调,能满足多种喷涂材料的要求,其制备的涂层结合强度高、孔隙率低,可制备耐磨、耐蚀、导热、绝缘、导电、密封等涂层,在机械制造、航空航天、水利电力、矿山冶金、石油化工、造纸皮革等领域有广阔的应用前景。



图 2 多功能超音速火焰喷涂射流

Fig.2 Flame of HVO/AF

在冶金行业,有多种轧辊和输送辊需要耐磨强化或修复,其中,冷轧带钢连续退火炉底辊是重要的一种。辊面的结瘤现象,实际上是粘着磨损。为了减少结瘤给钢带生产造成的损失,热喷涂方法被广泛采用。通常在辊面喷涂 NiCr-Cr₃C₂ 涂层,它具有抗高温氧化、抗热震、抗磨损的特点,能使炉底辊在高温下长时间的连续工作,且经受周期性的热冲击。当炉底辊工作温度超过 900 °C 时,一般喷涂 Co 基合金。超音速火焰喷涂在喷涂碳化物陶瓷方面具有得天独厚的优势,而冶金行业对碳化物金属陶瓷涂层有很大的需求,因此获得大量应用。图 3 为多功能超音速火焰喷涂 Co 基 WC 涂层对酸洗镀锌辊进行表面强化,以提高其使用寿命,设备使用单位为邯郸钢铁集团。

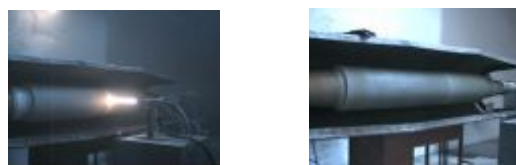


图 3 多功能超音速火焰喷涂强化冶金辊

Fig.3 HVO/AF sprayed roll for surface hardening

在石油工业中,有大量的机械设备,如:泵、阀、钻井机械、输运设备、提升设备、管道等,影响它们寿命的重要因素是磨损与腐蚀。多功能超音速火焰喷涂在强化和修复抽油泵活塞杆方面

有很好的应用效果,活塞杆喷涂 WC 涂层强化后,耐磨性大大提高,使用寿命提高数倍。在石油机械中,阀座和轴类零部件的磨损也比较严重。由于多功能超音速火焰喷涂制备的 Co 基 WC 涂层,残余应力低,涂层厚度可达 3mm,甚至更厚,而涂层与基体结合好,在承受重载的磨损件的尺寸恢复中有较好的应用。

泵、缸、阀是组成液压和气动系统的基本单元,磨损和介质的腐蚀是制约其使用寿命的关键因素。利用多功能超音速火焰喷涂技术可对泵轴、缸活塞杆、阀芯等进行强化和修复,这些部件要求有较高的精度和表面光洁度,多功能超音速火焰喷涂层经磨削后精度和表面光洁度均很高,能满足其使用要求。

硬密封球阀在工业中有广阔的应用,它依靠阀芯和阀座间的硬密封来控制流体通断,由于不需要使用非金属密封材料,具有结构紧凑,密封可靠,耐蚀性强的特点,在化工行业有广阔的应用。在硬密封球阀的阀芯上制备一定厚度的耐磨耐蚀金属陶瓷涂层,并磨削至需要的精度和光洁度,可大大提高密封性能和使用寿命。温州成达特种阀门厂使用多功能超音速火焰喷涂技术强化硬密封球阀,大大提高阀的使用性能和寿命,并能满足石油化工行业部分特殊工况的需要,受到用户的好评。

在我国,由于受能源结构的制约,在相当长一段时间内,火力发电在电力中占有相当大的比例。风机、叶轮、锅炉、汽轮发电机组等是在火力发电中的重要设备,由于工作环境不同,且工况较恶劣,部分设备寿命较短,影响生产的安全性和经济效益。由于多功能超音速火焰喷涂层性能优异,在电力中有很成功的应用。

5 结 论

以提高粒子的速度为出发点,研制了 HVAA、HVO/AF 超音速喷涂系统,试验和应用表明,其制备的涂层性能优异,在工业中应用广泛,并取得了很好的应用效果,随着进一步的推广应用,将创造更大的效益和价值。

参考文献:

- [1] Hangong Wang, Bailin Zha. Technique and application of high velocity arc spraying [C]. Proceedings of the Thermal Spray Conference, Singapore, 2001:467-469.
- [2] Hangong Wang, Bailin Zha. Research of high velocity oxygen-air fuel spray [C]. proceedings of the 3rd International Conference on Surface Engineering, ChenDu, 2002:166-168.
- [3] Wang Hangong, Yang Hui, Zha Bailin. Research of high velocity Air Arc Sprayed Titanium Coatings [C]. Eighth International Space Conference of Pacific-basin Societies, Xi'an, 1999:390-393.
- [4] Hangong Wang, Bailin Zha, Xunjia Su. Research of high velocity oxygen/air fuel spray [C]. Proceedings of the 2003 International Thermal Spray Conference, Orlando, USA, 2003:789-791.
- [5] Bailin Zha, Hangong Wang, Xunjia Su. Structure and property of WC-17Co coatings sprayed by HVO/AF [C]. Proceedings of the 2003 International Thermal Spray Conference, Orlando, USA, 2003: 837~839.

作者地址: 西安第二炮兵工程学院 501 室 710025

电话: 029-84743901, 13186098968

E-mail: zhabailin@163.com