

堆焊技术在国内石化、冶金行业机械设备维修中的应用

胡邦喜¹, 莽克伦², 王静洁², 徐滨士³

(1. 武汉理工大学 管理学院, 武汉 430070 2. 《中国设备工程》杂志社 北京 100824; 3. 装备再制造技术国防科技重点实验室 北京 100072)

摘 要:堆焊技术作为一门传统高效的表面工程技术,近年来有了许多新发展,在国内石化和冶金行业大型重要设备的强化和修复中得到了广泛应用。文中以石化行业的烟气轮机和冶金行业的轧辊等典型设备为例,介绍应用堆焊技术的情况,分析指出,不断发展的堆焊技术对石化和冶金行业大型设备的使用和修复将发挥越来越重要的作用。

关键词:堆焊;石化;冶金;设备

中图分类号: TG455

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2006)03-0004-05

Application of Surfacing on Mechanism Equipments Maintaining of Petroleum Chemical Industry and Metallurgy Industry in China

HU Bang-xi¹, MANG Ke-lun², WANG Jin-gjie², XU Bin-shi³

(1. Management school Wuhan University of Technology, Wuhan 430070; 2. China Plant Engineering Journal Office, Beijing 100824; 3. National Key Laboratory for Remanufacturing, Beijing 100072)

Abstract: Surfacing technique has got a great development in recent years, and has been extensively applied to large important equipment of petroleum chemical and metallurgical industries in China as one of traditional and high efficient surface engineering technologies. In this paper, the flu gas turbines of petroleum chemical industry and rollers of metallurgical industry were presented and the general application of surfacing technique in the two industries were introduced. The developing surfacing technique will play more and more important role in the maintenance and repairing of large equipment of petroleum chemical and metallurgical industries.

Key words: surfacing; petroleum chemical industry; metallurgy industry; equipment

0 引 言

堆焊是指将具有一定使用性能的合金材料借助一定的热源手段熔覆于母体材料的表面,赋予母材特殊使用性能或使零件恢复原有形状尺寸的工艺方法。堆焊既可修复材料因长期服役而导致的失效部位,亦可强化材料或零件的表面,对于合理使用材料、改进产品设计、降低生产成本、实现修旧利废,以及节约资源、能源,保护环境,都具有重要意义^[1-2]。

石化和冶金行业中的设备多处于高温、高压、大载荷、强腐蚀等复杂苛刻的工作环境,其材料的磨损、疲劳、腐蚀等失效现象比较严重,而堆焊技术的显著特点是堆焊层与母材具有典型的冶金结合,而且可以根据服役性能选择堆焊合金,使材料

或零件表面具有良好的耐磨、耐腐蚀、耐高温、抗氧化、耐辐射等优良性能,在工艺上具有很大的灵活性^[3],因此,堆焊技术目前已广泛应用于石化和冶金行业各种设备的强化和修复。

1 堆焊技术在石化行业的应用

石化行业故障率较高的机械设备是动力设备中的大型机组,如风机、汽轮机、压缩机、烟气轮机等,以风机叶片,汽轮机高速转子、支撑瓦轴颈、隔板,压缩机转子叶轮、叶片、轴颈以及烟机叶片、轮盘零部件为主,主要失效形式为气体冲刷和腐蚀;另外,在换热器、油水过滤器、阀门、塔、炉、罐、管道等特殊部位,因原油中含大量硫、氯离子等造成的不锈钢腐蚀也较为严重。

1.1 原油换热器

原油换热器是石化行业应用较广的一种设备,

为提高管程耐腐蚀能力,通常要在与原油介质接触面上堆焊一层不锈钢耐腐蚀层,中石化第四分公司采用带极堆焊的方法,在大直径16MnR上堆焊了过渡层(过渡层材料采用H309L焊带,焊剂为SJ304)和耐蚀层(耐蚀层材料采用H316L焊带,焊剂为SJ304),发现采用合适的工艺参数和变形控制措施可获得具有良好焊接质量的堆焊层^[4]。

1.2 压力容器

压力容器的质量涉及石化企业的正常生产和设备的长周期安全运行。目前我国(包括引进的和国产的)在役压力容器,有一部分处于超期服役或带伤运行,从而对其检验和维修显得更加重要。李平谨等^[5]经过对上海高桥石化厂丙烯腈车间氨中和塔中段环缝多处泄漏的现象进行失效分析,发现是由于采用大线能量(特别是埋弧焊)焊接后,焊接残余应力增大,导致晶粒粗化,耐蚀性降低,在中段酸性介质中,氯离子在含溶解氧的热水中加速作用而引起的应力腐蚀开裂。针对这种具有应力腐蚀工况的不锈钢设备,通过改用抗点蚀和抗应力腐蚀优良的药芯焊丝气体保护焊的方法,以小线能量施焊,既可降低残余应力,又能减少过热和敏化区的区段,修复后正常运行了4年未再发生泄漏。

2 堆焊技术在冶金设备的应用

冶金行业生产设备大部分是在高(交变)应力、高热应力的恶劣环境下工作,如连铸辊、校直辊、槽型辊、半钢辊、铸管模、热(冷)轧工作辊、高炉溜槽、料钟等^[6]。在这些设备中,各种轧辊无疑是最关键的设备零件,其消耗量大,价格昂贵,寿命长短不仅与产品成本密切相关,而且直接决定钢铁制品的质量,尤其是表面质量和板型。因此,提高轧辊的使用寿命是开展增产节约的重要研究课题。国内外生产实践表明,采用堆焊修复强化旧轧辊是最经济有效的方法之一。

2.1 轧辊

以最常见的连铸辊为例。连铸辊是连铸机的关键部件,辊芯材质一般为CrMo珠光体耐热钢,主要失效形式为表面龟裂、环向裂纹、磨损和弯曲^[7]。连铸辊目前广泛采用的是1Cr13NiMo系焊材带极螺旋堆焊^[8]和埋弧焊工艺^[9],这些工艺方法虽能满足连铸机的日常生产需要,但难以达到连铸辊长寿化

和多次再生使用的目标,其主要原因是堆焊材料一般以碳配合其它合金元素作为强化合金,但是这种合金在高温下长期使用易造成表面磨蚀、龟裂严重,说明其抗热磨损性能和抗热疲劳性能不够理想。基于此,鞍山钢铁集团公司采用哈尔滨焊接研究所提供的氮强化耐热、耐磨堆焊材料—焊带H0Cr13Ni4MoN/焊剂SJ315,以带极纵向堆焊的方法,既有效克服了1Cr13NiMo系用碳强化的不足,保留了1Cr13NiMo系合金的优点,又避免了传统螺旋堆焊方法容易产生“熔合线”的薄弱地带。经机械制造公司备件强化处理厂在鞍钢大板坯连铸机 ϕ 200 mm以上连铸辊堆焊实践后使用发现,堆焊后的连铸辊,高温耐磨性和高温耐疲劳性良好。其磨损均匀,且磨损量小,第一次使用无龟裂,可以减径使用一次,取得了明显的技术经济效果^[10]。

以往轧辊堆焊修复件寿命仅为新件的50%~80%,为进一步提高堆焊修复件的寿命,冶金行业诸多企业纷纷通过引进国外先进设备和技术,自行或联合科研院所大力开展新型耐磨、耐热堆焊材料的开发研究和适应现场实地修复的焊接工艺探索。

武汉钢铁集团引进了英国焊接合金有限公司的全自动明弧堆焊修复板坯连铸辊的设备和工艺,已先后为武钢第二、第三炼钢厂修复连铸辊300多支,取得了显著的效果。实践表明,明弧焊接技术具有焊接前后不用热处理和无需焊剂保护等特点,工艺十分简便,并且下线后辊面无裂纹,再次修复时只需去掉表面老化层即可,大大节省了修复成本,明弧焊修复的辊子寿命是新辊和埋弧修复后的2倍。鞍钢针对磨损和热疲劳失效的二辊轧机轧辊采用Cr-Mo-V和Cr-W-Mo-V系合金作为二辊堆焊合金,配合冶金性能优良的新研制SF110烧结焊剂,较好地解决了与Cr-W-Mo-V系合金焊丝的匹配问题,采用自动埋弧堆焊技术修复的二辊使用寿命为新辊的1.72倍,达到国内领先水平^[11]。针对热轧辊失效70%是由磨损引起的现状,鞍钢采用哈尔滨焊接研究所研制的FeCrWNiMnSi系堆焊材料成功堆焊热轧工作辊,使轧辊使用寿命与新品相比延长1倍,每年可减少一半的轧辊订货量,经济效益非常可观^[12]。马鞍山钢铁集团公司通过对热轧槽钢开坯轧辊失效原因的分析,采用自制的药芯焊丝和埋弧堆焊的方法对轧辊各工作孔型进行修复强化,经实践证明可以提高轧辊的使用寿命一倍,经济效

益显著^[13]。攀枝花钢铁集团公司(以下简称攀钢)针对热轧夹送辊使用寿命低(过钢量15万吨)的现状,选择PGY125药芯焊丝+PYY焊剂作为堆焊材料对夹送辊进行埋弧堆焊,经现场使用,其过钢量达到26.5万吨以上,大幅度提高了夹送辊的使用寿命^[14]。

复合(梯度)堆焊方法在制备强韧结合的堆焊层上得到了越来越广泛的应用。如热轧带钢卷取机夹送辊是热轧带钢生产线上的重要装备之一,担负着对轧制好的钢板导向、夹送的任务。夹送辊工作温度为500~740℃,且要承受很大的压力,其主要失效形式为粘钢、凹坑和龟裂。因夹送辊辊面质量直接影响钢板表面质量,故要求其具有良好的耐热疲劳性能和耐磨性能。宝钢针对热轧卷取机夹送辊的使用工况,通过对夹送辊失效形式和综合性性能要求的分析,从堆焊材料中加入合金元素入手,系统地研究堆焊材料的合金组织、堆焊修复工艺与堆焊金属的韧性、硬度、耐磨性、抗冷热疲劳等性能的相互关系,选择BGJ-31+KF81材质为过渡层,BGJ-12+KF81材质为硬面层作为堆焊材料,采用合理的堆焊工艺对夹送辊进行堆焊,使其硬度达到(50±2)HRC,堆焊层具有良好的耐热疲劳性能和耐磨性能,提高了夹送辊修复质量和使用寿命,减少了换辊时间,提高了轧机作业率^[15]。又如,烧结破碎机的重要工作部件齿辊用于对大块的热烧结矿进行剪切,使其变成小块。因其破碎物料为炽热的烧结矿,工作温度高达800℃以上,并要承受较大的负荷和冲击载荷,受力复杂,磨损严重,故要求在破碎齿的前端、破碎面、基体表面及主轴圆柱面堆焊耐热耐磨合金硬化层,堆焊层厚度在10mm以上。这些部件的堆焊工艺是国内外近些年发展起来的新技术,其所需的焊接材料和施焊工艺仍处在不断的摸索中。邯郸钢铁集团针对齿辊材料中碳钢焊接性能较差的特点,采用低组配的方法,首先用低氢焊条506、507打底,J422焊条中间过渡,随后连续堆焊在原SFD-12焊条基础上的改进型FB-1高铬耐磨焊条,既控制了焊缝中扩散氢含量及焊层金属中的含碳量,又可最大限度防止热影响区粗大非平衡组织出现、减少焊接应力,减小了根部裂纹和焊接区冷裂纹倾向^[16]。

另外,冶金行业的大型设备结构日趋复杂化,拆解往往比较困难,因此迫切需要开发无需预热和缓冷的堆焊材料,能够在现场不解体条件下直接进

行堆焊修复。广州钢铁股份公司与西安交通大学联合开发了一种JD-D₃耐热、耐磨、耐冲堆焊焊条,满足了水冷式单辊烧结破碎机齿辊和篦板的堆焊要求。该焊条能够在不预热、不后热的条件下随时堆焊,不会出现裂纹和裂缝等缺陷,且工艺简单、操作方便、修复快捷、质量好。对于烧结机而言,意味着可以不拆卸齿辊和篦板,只要在烧结机停机的间隙,便可以进行修补堆焊,同时,由于它可以在常温下工作,工作环境大为改善,因此其社会、经济效益显著^[17]。

2.2 齿轮

在冶金行业许多大型齿轮类零件的修复中,堆焊技术也有较广泛的应用。由于齿轮是典型的“外硬内韧”零件,多由淬透性好的低碳合金钢制造,并经渗碳、渗氮、淬火等化学热处理工艺,淬硬倾向大,因此堆焊时尤其要注意控制热输入量,尽量减小热影响区对基体的组织影响。马钢针对齿轮轴断齿,履带吊车回转支撑的内齿圈和起重机链轮断齿,HT-200铸铁断齿,龙门刨床工作台齿条断齿等进行过成功的修复^[18]。如中板轧机大型人字齿轮(材料为50SiMnMoB钢)的断齿,采用远红外辐射电热器加热,石棉布保温等措施进行预热和缓冷,堆焊时先用E306-1焊条打底焊,再用E8515-G焊条堆焊,然后用E308-16堆焊一个厚3mm的缓冲带,最后用E8515-G焊条将齿部焊完,焊后超声波探伤和硬度检测,均符合质量要求。

2.3 风机叶片

D700-13-型转炉炼钢除尘用高速高压风机叶轮,材质为16Mn钢,其工作环境较为恶劣,叶轮叶片进风口部位易严重腐蚀与磨损,一般使用3000~4000h即因叶轮叶片腐蚀与磨损失去平衡而报废。莱芜钢铁集团采用堆焊方法修复,选用硬度高、耐磨粒磨损性能好的高铬合金EDZCr型堆焊焊条,堆焊层与基体结合良好,堆焊层硬度达55HRC,具有优良的抗氧化和耐磨粒磨损性能^[19]。

2.4 其他

宝钢1580热轧生产线关键设备SP侧框架使用7年后部分衬板安装面锈蚀严重,需采用堆焊工艺形成防腐面。针对堆焊修复工艺的难点—滑动框架的堆焊变形必须控制在0.12mm以内,以及由于缸体大、内缸加工尺寸精度高,不能采用整体预热和去

应力退火消除应力等要求,采取局部预热、在焊接时通过敲击焊缝和时效处理以达到避免产生裂纹、减少焊接应力的目的^[20]。

3 新型堆焊技术在石化和冶金行业的应用

堆焊技术在国内外制造业的推动下不断有新技术开发并在诸多行业得到应用。目前堆焊技术方面,相继开发了电弧堆焊(单丝、多丝、单带极、多带极)、电渣堆焊(窄带极、宽带极)、MIG堆焊、等离子弧粉末堆焊、激光堆焊等。就熔覆效率而言,已从单丝电弧堆焊的11 kg/h发展到多带极电弧堆焊的70 kg/h^[21],而稀释率从电弧堆焊的30%~60%降低到等离子弧、激光堆焊的5%左右^[22-23]。在不断开发的新型堆焊方法中,宽带极堆焊、激光堆焊等技术已成功应用到石化和冶金行业的设备修复中。

3.1 宽带极堆焊

宽带极堆焊是一种生产率极高的堆焊方法,利用已成型的合金带,可以在达300 mm的宽度上一次堆焊成形。且熔深浅,合金元素损失少,效率高,特别适合于对大面积的平整表面进行表面改性^[1]。成林等对国产不锈钢带极堆焊材料采用埋弧堆焊(SAW)和电渣堆焊(ESW)的方法进行工艺和性能的对比试验研究,发现电渣堆焊(ESW)在焊道成型性,裂纹、夹渣、气孔等缺陷数目、稀释率等方面均优于埋弧堆焊(SAW),该方法具有熔敷效率高、稀释率低、焊接热影响区窄等优点,在今后不锈钢带极堆焊发展中有积极的推广应用价值^[24]。

3.2 激光堆焊

激光堆焊可以实现热输入量的准确控制,堆焊速度快,冷却速度快,热畸变小,厚度、成分和稀释率可控性好,可以获得组织致密、性能优越的堆焊层,而且激光堆焊为无接触加工,焊接工艺参数一经确定,焊接质量易于保证,焊接可靠性高,故易于实现自动化,符合现代生产的发展趋势。在冶金行业,激光堆焊也广泛应用于以轧辊为代表的设备强化和修复中。

3.2.1 在石化设备的应用

中石化巴陵分公司尿素装置高压甲铵泵曲轴使用多年后,曲拐主轴颈及止推面严重磨损,配合间隙超标。采用激光堆焊(又称激光熔覆或激光熔

铸成型)的方法进行修复,堆焊层及基体均无粗大的铸造组织,堆焊层及界面组织细密,晶体细小,无孔、砂眼、夹杂、裂纹等缺陷,经过几年运行,发现磨损正常,无堆焊层剥落等现象,取得了令人满意的效果^[25]。

烟气轮机是石化行业特有的一种设备,其作用是利用生产过程中产生的废烟气驱动,用以发电或作为动力驱动其他旋转设备,因而具有节能降耗的作用。但烟气的化学成分复杂,含有较多的腐蚀性催化剂粒子,因此在高温、高速并有腐蚀介质环境下工作的烟机转子腐蚀和冲刷极为严重,是石化行业中故障率较高的一种生产设备,通常在一个使用周期后烟机转子、级动、静叶等主要部件将发生断裂^[26]。

烟气轮机动叶片所用材料为GH864高温合金,静叶片为K213铸造高温合金,工作转速约6 000 r/min。采用一般熔焊方法修补损伤区域,极易造成基体的热变形及热疲劳损伤,产生裂纹,降低使用寿命。近几年中石化长岭分公司采用岳阳大陆激光公司的高能束激光堆焊的方法修复损伤的烟机叶片,修复件迄今使用正常,使用寿命已超过新品寿命。由于激光堆焊的费用平均仅为新品的1/5,因此经济效益非常显著。

3.2.2 在冶金设备的应用

济南钢铁集团利用激光堆焊技术修复四辊破碎机报废工作辊,使用5 kW横流CO₂激光器,堆焊材料为Ni60+35%WC复合材料。处理前将堆焊材料加热至500~700℃,预热1h,熔敷层厚度2.5 mm。工作辊堆焊修复层表面硬度达62 HRC以上,实际使用寿命由原来的2个月提高到7个月,寿命提高了2.5倍,而激光堆焊处理成本远低于单件工作辊制作成本,因此经济效益十分显著。另外,济钢还对轧钢机辊道、轧辊、高炉料斗、料钟、料车、炼钢连铸机辊道等部位的工作表面应用不同复合材料进行激光堆焊处理,均取得了良好使用效果及经济效益^[27]。

4 结 语

2004年11月在上海召开的世界工程师大会上,中国工程院徐匡迪院长结合我国国情和世界可持续发展的趋势,提出在新世纪里,工程科学基础要从20世纪单纯追求规模、效益模式转向建设“4R”

的循环经济发展。“4R”即Reduce(减量化)、Reuse(再利用)、Recycle(再循环)和Remanufacture(再制造)。并指出,大力推进“4R”是我们刻不容缓的任务,也是实现可持续发展的重要内容和必然选择^[28]。

最近,装备再制造技术国防科技重点实验室和《中国设备工程》杂志社共同承担了国家发改委下达的“推进再制造产业发展实施方案研究”课题。通过一段时间的调研,看到在冶金和石化行业设备维修中,已经应用包括堆焊技术在内的许多工程技术解决了部分机械设备制造和修复中的难题,成为降低企业成本、提高效率、增加效益的有效手段之一。同时,还有大量需降低原材料消耗,亟待延长使用寿命的零部件制造和修复的技术难题有待解决。站在建设节约型社会,走可持续发展道路的高度,也完全有可能针对价值高、耗材多、使用量大、有重复利用价值的重要设备零部件,建立产学研一体化的再制造工程体系,发挥各自的优势,形成一种新的设备修理模式,为我国国民经济在新的、更高层次上的发展做出更大贡献。

参考文献:

- [1] 徐滨士,朱绍华. 表面工程的理论与技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- [2] 姚建华, 张群莉, 等. 激光表面堆焊技术及其发展趋势 [J]. 激光与光电子学进展, 2004, 41(2): 57-60.
- [3] 李长久, 单际国, 等. 堆焊及热喷涂技术的最新进展 [C]. 第十一次全国焊接会议论文集. 2005, 1: 142-148.
- [4] 孟宇泽, 赵丽辉. 大直径管板的带极堆焊 [J]. 焊接技术, 2004, 33(4): 60-61.
- [5] 李平瑾, 关卫和. 在役压力容器焊接质量的研讨—氨中和塔的检验及焊接修复 [J]. 焊接技术, 2002, 119(3): 31-34.
- [6] 胡蕴成. 表面技术在冶金设备制造与维修中的应用 [J]. 中国设备工程, 2003, 4: 19-20.
- [7] 李大东, 林剑东. 攀钢连铸堆焊复合辊研制与应用 [J]. 钢铁钒钛, 1999, 20(4): 43-50.
- [8] 朱晓东. 连铸机滚辊应用带极堆焊工艺实践 [J]. 2002, 30(4): 38-39.
- [9] 燕非. 连铸辊的堆焊修复 [J]. 江苏冶金, 2000, 1: 43-44.
- [10] 高学民, 迟秀丽, 等. 大板坯连铸机的连铸辊耐热耐磨合金带极堆焊 [J]. 焊接, 2003, 12: 39-41.
- [11] 许冷千, 陆明, 等. 二辊堆焊修复材料及工艺 [J]. 工艺与新技术, 2002, 31(3): 23-25.
- [12] 潘永明, 董祖培. 热轧工作辊的堆焊 [J]. 焊接, 2000, 12: 23-25.
- [13] 倪振航, 张乃栋. 热轧槽钢轧辊堆焊修复技术 [J]. 焊接, 2004, 6: 28-30.
- [14] 林剑东. 药芯焊丝在热轧夹送辊上的应用 [J]. 焊接, 2003, 1: 35-38.
- [15] 葛宝文. 热轧夹送辊堆焊技术应用 [J]. 宝钢技术, 2004, 1: 14-16.
- [16] 张保辰, 刘欣. 烧结热矿破碎齿辊耐磨层堆焊 [J]. 矿山机械, 2003, 6: 72-73.
- [17] 黎杰广, 杨淑兰. 烧结水冷单辊破碎机齿辊和篦板的堆焊 [J]. 冶金丛刊, 1996, 5: 21-24.
- [18] 完卫国. 齿轮类零件修复实例 [J]. 中国设备工程, 2000, 11: 11-12.
- [19] 公茂秀, 张学钦, 等. 表面强化修复D700风机叶轮工艺试验 [J]. 山东冶金, 1999, 21(4): 52-54.
- [20] 陈国喜, 沈宗树, 等. SP侧框架堆焊修复技术及改进措施 [J]. 机械工人, 2005, 2: 47-48.
- [21] 周永强, 李午申, 等. 表面工程技术的发展与应用 [J]. 焊接技术, 2001, 30(4): 5-7.
- [22] 单际国, 任家烈, 等. 镍基合金粉末光束堆焊层的微观组织及强化机理研究 [J]. 材料研究学报, 2002, 16(2): 151-157.
- [23] 姚建华, 张群莉, 等. 激光表面堆焊技术及其发展趋势 [J]. 激光与光电子学进展, 2004, 41(2): 57-60.
- [24] 成林, 董安霞, 等. 国产不锈钢带极堆焊材料的堆焊工艺 [J]. 焊接, 2002, 1: 25-29.
- [25] 胡小青. 高压甲铵泵曲轴的激光熔铸修复 [J]. 大氮肥, 2004, 27(3): 175-176.
- [26] 易涛. 烟气轮机叶片强度计算与寿命评估及激光熔覆重建工艺 [J]. 中国设备工程, 2002, 6: 21-22.
- [27] 杨绍令, 王兴璞, 等. 激光加工处理技术在冶金备件修复中的应用 [J]. 山东冶金, 2004, 26(5): 30-31.
- [28] 徐滨士, 等. 再制造工程基础及其应用 [M]. 哈尔滨工业大学出版社, 2005, 10.

作者地址: 武汉市青山区厂前

430083

武汉钢铁股份有限公司

Tel: (027) 86893096

E-mail: hubx@wisco.com.cn