

- HVOF sprayed near - nanostructured and microstructured WC-17wt. % Co coatings[J]. *Surface & Coatings Technology*, 2011, 206: 1077 - 1084.
- [15] Liu X M, Song X Y. Quantitative characterization of the microstructure and properties of nanocrystalline WC-Co bulk [J]. *Scripta Materialia*, 2012, 66: 825 - 828.
- [16] Wu Y P, Hong S, Zhang J F. Microstructure and cavitation erosion behavior of WC-Co-Cr coating on 1Cr18Ni9Ti stainless steel by HVOF thermal spraying[J]. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 2012, 32: 21 - 26.
- [17] 赵翔. AC-HVAF制备WC-10Co-4Cr涂层抗磨粒磨蚀性能研究[J]. *热加工工艺*, 2010, 20: 133 - 138.
- [18] Liu S L, Zheng X P, Geng G Q. Influence of nano - WC-12Co powder addition in WC-10Co-4Cr AC - HVAF sprayed coatings on wear and erosion behavior [J]. *Wear*, 2012, 269: 362 - 367.
- [19] 王志健, 田欣利. 超音速火焰喷涂理论与技术的研究进展[J]. *兵器材料科学与工程*, 2002, 25(3): 62 - 65.
- [20] 神和彦. 根据数据模拟探讨喷嘴形状对超音速火焰喷涂工艺的影响[J]. *热喷涂技术*, 1998(3): 55 - 57.
- [21] 王汉功, 查柏林. KY2 - HVOF多功能超音速火焰喷涂技术研究[J]. *云南大学学报*, 2002, 24(S1): 193 - 196.
- [22] 张平, 王海军, 朱胜, 等. 高效能超音速等离子喷涂系统的研制[J]. *中国表面工程*, 2003, 61(30): 12 - 16.
- [23] Wang Q, Wu X B, Li L X. Microstructure and properties of HVOF spraying WC-10Co-4Cr coatings[J]. *Procedia Engineering*, 2012, 27: 1758 - 1765.
- [24] 马光, 樊自拴, 孙冬柏, 等. AC - HVAF喷涂Ni60/WC复合涂层微观组织及冲刷磨损性能研究[J]. *有色金属*, 2009(10): 19 - 28.

作者简介: 邱希亮, 1968年出生, 高级工程师, 现任哈尔滨电机厂有限责任公司总经理。主要从事电站水轮机焊接及加工工艺研究, 已完成电站水轮发电机焊接及加工工程项目5项, 中国机械工业联合会、中国机械工程学会等奖项4项, 授权国家发明专利2项。

冷轧支承辊堆焊技术研究进展

南京航空航天大学材料科学与技术学院(211100) 成中庚 蔡养川 刘仁培

摘要 分析了国内外冶金轧辊堆焊修复技术的发展状况, 并对国内外轧辊堆焊技术进行了比较, 着重对冷轧支承辊堆焊材料进行了较为全面的概括, 指出现行冷轧支承辊堆焊材料存在的问题, 对冷轧支承辊堆焊修复工艺进行了介绍, 最后对国内冷轧支承辊堆焊修复进行展望。

关键词: 冷轧支承辊 堆焊材料 堆焊修复工艺
中图分类号: TG423

0 前言

冷轧支承辊是轧钢生产线上的重要部件, 其质量的优劣, 不仅影响其使用寿命, 而且对产品质量、生产率和生产成本都有重大影响。冷轧支承辊多为高合金含量的大型辊, 其材质通常含有(0.7%~1.0%)C,

(1.0%~5.0%)Cr以及少量的其它合金元素^[1], 使用工况恶劣, 且受较大交变应力, 要求具有良好的韧性、较高的硬度、硬度在圆周方向和深度方向均匀、较好的耐磨性及优良抗开裂性能。另外, 冷轧是连续式大生产, 因支承辊问题造成断带或换辊等对生产节奏、生产效率等都有较大影响。这些都给堆焊工作带来一定的困难, 但近年来随着性能优良的堆焊材料不断涌现, 冷轧支承辊堆焊修复也越来越被广大钢厂所接受。

1 国内外技术发展状况

早在 20 世纪 40 年代,前苏联就开展轧辊堆焊,采用的方法是从开始的焊条电弧焊到后来的埋弧自动焊。自 20 世纪 50 年代开始,堆焊材料、堆焊设备、堆焊工艺是各国轧辊堆焊研究的重点。在 70 年代之后,国外开始采用药芯焊丝对轧辊进行堆焊,药芯焊丝的使用明显的提高了轧辊寿命。1950 年起,国内开始采用堆焊技术对普通钢质轧辊进行修复,并取得令人满意的效果。同时,近半个世纪的发展,国内轧辊堆焊方法已经变成修复轧辊的全新工艺手段。并且,通过堆焊材料的发展、堆焊技术的改良,多种工况下使用的轧辊都可以进行堆焊修复。

与国外相比较,国内在堆焊设备和堆焊材料方面较落后,堆焊技术还需进一步发展、提高,才能赶超先进国家。焊丝少、焊条多,烧结焊剂少、熔炼焊剂多,药芯焊丝少、实芯焊丝多,堆焊材料不够系列化,这些是国内堆焊材料的突出特点,也是存在的问题。专用设备少、改装设备多,智能设备少、机械装备多,堆焊设备不够专业化,是国内堆焊设备方面的现状。国内堆焊方法不经济化,也不高效化^[2]。因此,堆焊自动化、智能化水平的提高,堆焊材料质量、品种的改善都是国内堆焊研究的重点^[3]。

目前,对于冷轧支承辊的堆焊修复,国内外的技术大体相同,仍然是以药芯焊丝采用埋弧(明弧)堆焊的方法为主,虽然堆焊修复形式多样,但都是由埋弧(明弧)堆焊演变而来。国外的先进之处在于采用了多机头的单丝(双丝)摆动埋弧(明弧)堆焊,与国内的堆焊修复相比,其熔敷效率大大提高。

2 冷轧支承辊堆焊材料

2.1 冷轧支承辊堆焊材料概况

按照所使用的焊接材料划分,目前的冷轧支承辊堆焊技术可分为实心焊丝堆焊、药芯焊带堆焊、药芯焊丝堆焊以及手工焊条堆焊等几种。虽然手工焊条堆焊劳动强度较高,效率低,但适用于自动化焊接手段难以处理或者工作量相对较小的场合;与手工焊条堆焊相比,实心焊丝堆焊虽然能提高堆焊修复效率,但当其合金元素的含量较高时,实心焊丝因塑性很差难以拉拔成形;由于药芯焊丝具有电弧稳定、成分易于调整等优点,特别适合作高硬度、拉拔和轧制困难的合金材料,所以药芯焊丝一出现就获得了迅猛的发展,并广泛地

应用于硬面堆焊领域。图 1 为 2007~2010 年国内各类焊接材料产量。

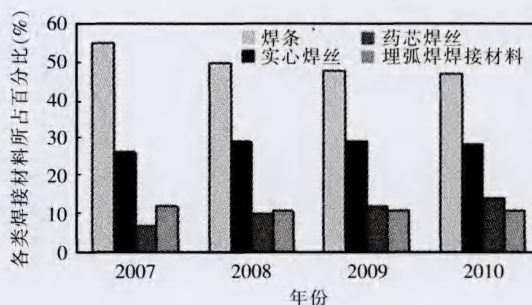


图 1 国内 2007~2010 年焊接材料产量

对于焊条电弧焊的焊条,虽然很多常规的堆焊焊条在硬度方面能满足使用要求,但当硬度高于 HRC40 时,其抗裂性变差,为防止产生裂纹,一般要求焊前将工件预热 300 ℃ 以上,这不仅严重恶化劳动条件,而且显著提高成本。天津大学的李午申^[4]针对 9Cr-2Mo 冷轧辊表面堆焊硬度及均匀性要求高、难度大,采用最优化方法研制出一种耐磨抗裂的新型堆焊焊条 D606,堆焊表面硬度高于 HRC60 以上,焊前不需预热,且工艺性能优良。张元彬等人^[5]将 Nb-Ti-V-RE 复合变质剂加入碱性焊条药皮中,以 H08A 为焊芯压制 $\phi 4.0$ mm 焊条,该种焊条可以局部修复 9Cr-2Mo 轧辊。Dwivedi^[6]对 Fe-6.0Cr-0.7C 和 Fe-32Cr-4.5C 两种铁基堆焊焊条的微观组织和磨损机理进行了研究。Bayhan 等人^[7]研制出了 EH-14Mn, EH-350, EH-600 3 种焊条,用来增加犁头的耐磨性,通过磨损试验验证 EH-350 和 EH-600 更适合做犁头堆焊焊条。

苏联自保护堆焊用药芯焊丝有 13 个品种,埋弧堆焊用药芯焊丝也超过 14 个品种,这些焊接材料分别应用在各种磨损条件下的轧辊修复;日本在堆焊材料的研究、开发上也走在了世界的前列,如已生产了 Cr-Mo-V-Co 中合金系、Cr-Ni-Mo-V 系、HIC-HICr 系、Mn-Nb-Ti 系、Cr-Mo-V 系药芯焊丝^[8]。目前,国内在应用药芯焊丝对轧辊修复堆焊的研究也取得一定的进展。天津大学李午申^[9]已成功研制了一种新型的堆焊合金体系,即 Cr-Mo-W-V-Ni 系,已配制了适合冷轧支撑辊和中间辊修复用的专用药芯焊丝。眭向荣等人^[10]用自主研制生产的 YJ243-S 焊丝作为冷轧支承辊工作层,配合 SJ600 烧结焊剂,对冷轧支承辊进行堆焊修复。另外,国内其它学者也利用药芯焊丝对冷轧支承辊进行堆

焊,并取得一定效果,这些焊丝所采用的合金系统有:Cr-Mo-Mn-V^[11], Cr-Mn-Ni-Mo^[12], Cr-W-Mo-Mn-Ni^[13], Cr-Mo-W-V^[14]等。总体来说,与国外相比,国内堆焊材料品种过少,效果也不是十分理想。

药芯焊丝通常的堆焊修复方法主要为埋弧堆焊、气体保护电弧堆焊、自保护电弧堆焊。埋弧堆焊的优点是焊道成形较美观、无弧光、没有飞溅、自动化程度较高、熔敷效率高及对焊工的要求低等,因此药芯焊丝埋弧堆焊是冷轧支承辊堆焊修复常用的方法。明弧焊由于其受焊接工艺性能及焊接材料的限制而鲜为应用^[15]。

2.2 目前冷轧支承辊堆焊材料存在问题

迄今,国内对冷轧支承辊堆焊修复暴露的一些问题为:①堆焊层出现夹渣;②辊面有压痕和压坑;③表面有裂纹,甚至产生剥落;④表面硬度不均匀;⑤堆焊修复之后可用直径小,不能达到图纸的尺寸规定。其中,以堆焊后可用直径不够和辊面裂纹最为明显,造成了冷轧支承辊堆焊修复成功率较低。

国内冷轧支承辊堆焊材料可大体分为3种:①为了能够提高韧性,降低碳含量及其它合金元素的含量,焊后熔敷金属中形成的强化相比较少、耐磨性差、硬度也低(HRC35~40),难以满足支承辊的使用条件;②为了获得高耐磨、高硬度的效果,大幅提高堆焊材料中的碳含量及合金元素含量,堆焊金属的硬度高(HRC60~65),但因其不含有韧化元素,同时Cr/C(质量分数)较低,容易形成M₃C型碳化物并呈网状连续分布,降低了基体连续性,削弱熔敷金属韧性,支承辊堆焊修复之后使用的过程中容易掉块;③抗接触疲劳的能力强,硬度适中,堆焊层的使用效果比前两种都要好,但其耐磨性仍有待增强。

目前,焊丝质量稳定性也正阻碍着中国药芯焊丝的应用及发展^[16]。冷轧支承辊埋弧堆焊所用的药芯焊丝,由于其内部所添加的几乎全为金属粉末,不含有矿物粉,所以增加了药芯焊丝的轧制难度。这主要表现为轧制过程中金属粉末容易流动,使得药粉分布呈不均匀状态,局部会出现空松,不利于焊接过程的连续稳

定,不能保证堆焊质量;金属粉末在焊丝的轧制及拉拔过程中容易划伤或划破焊丝外皮,使得焊丝被拉断;焊丝充实程度不够,刚度较小,导致出现焊丝压扁及漏粉等现象。

3 冷轧支承辊堆焊修复工艺

冷轧支承辊堆焊工艺流程:堆焊用辊芯制备(车裂纹及剥落处、超声波探伤)→焊前预热→保温堆焊作业→中间去应力热处理→焊后热处理→精加工→超声波探伤。其中以下几个步骤是整个修复工艺的关键。

3.1 焊前预热

预热主要是为了降低焊接过程中热影响区和熔敷金属的冷却速度,减少堆焊应力,降低淬硬的倾向,防止熔敷金属和冷轧支承辊母材在焊接过程中产生相变引起裂纹的产生。预热温度需要根据堆焊材料及支承辊材质的合金含量和碳含量确定,可参考经验公式^[17]:

$$T_0(^\circ\text{F}) = 1020 - 630\text{C}\% - 72\text{Mn}\% - 63\text{Si}\% - 36\text{V}\% - 36\text{Cr}\% - 31\text{Ni}\% - 18\text{Cu}\% - 18\text{Mo}\% - 9\text{W}\% + 27\text{Co}\% + 54\text{Al}\% \quad (\text{质量分数}) \quad (1)$$

其中: $^\circ\text{C} = 5/9(^\circ\text{F} - 32)$

堆焊过程中应使得预热温度和层间温度在Ms点之上,因堆焊材料及冷轧支承辊的合金含量都相对较高,再加上冷轧支承辊的尺寸和堆焊层厚度都较大,堆焊应力大,所以应可能提高预热温度和层间温度,当然也要考虑实际操作时的容许程度。预热过程的要求:升温速度不高于25℃/h;预热的保温时间依据冷轧支承辊的外径尺寸来确定(原则是保证辊坯能够从外到里热透)。预热能在一定程度上阻止裂纹的产生,但不能从根本上解决开裂的问题,并且预热还会引起熔敷金属组织的粗化,使得韧性和硬度降低,预热对堆焊层组织影响规律和机制仍需要进行更深入的研究^[18]。

3.2 施焊工艺

对于冷轧支承辊堆焊通常用的φ3.2 mm药芯焊丝,采用自动埋弧焊对冷轧支承辊堆焊时,典型的堆焊工艺参数见表1^[19]。

表1 堆焊工艺参数

焊接极性	焊丝直径 d/mm	焊接电流 I/A	焊接电压 U/V	焊接速度 v/(m·h ⁻¹)	焊道搭接量	层间温度 T/℃	焊后状态
直流反接	3.2	300~400	25~35	20~25	≥50%	300	缓冷

3.3 中间去应力热处理

由于冷轧支承辊的堆焊层厚度都很大,可达 55 mm,倘若一次性连续完成堆焊过程,将使熔敷金属产生极大的堆焊累积应力,尽管始终保持着较高的预热温度和层间温度,也会使得轧辊产生裂纹的倾向大大增加,严重时还会发生冷轧支承辊爆裂的事故。所以,在堆焊层厚度达到一定范围(20~30 mm)时,必须进行中间去应力热处理,能够降低或消除堆焊累积应力。

3.4 焊后热处理

焊后进行的去应力回火主要是为了消除产生于堆焊过程的组织应力和热应力,进一步提高和改善熔敷金属的耐疲劳性和耐磨性能。分析修复辊的报废原因,可发现焊后热处理占据着举足轻重的作用,不合理的热处理工艺将直接导致堆焊层剥落、轧辊表面起层等缺陷,从而导致修复的冷轧支承辊报废^[20]。典型焊后热处理工艺曲线^[21]如图 2 所示。

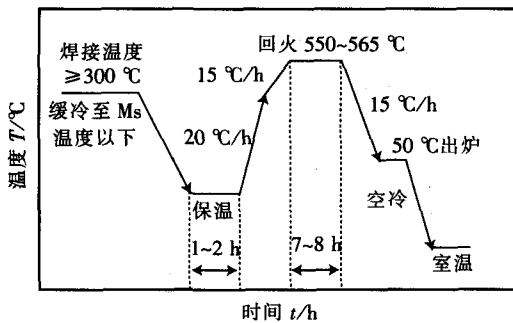


图 2 焊后热处理工艺曲线

4 结 论

- (1) 冷轧支承辊辊面硬度应达到 HRC55, 辊面硬度要均匀, 控制在 \pm HRC1。
- (2) 堆焊层耐磨性能优良, 堆焊金属韧性应不得低于冷轧支承辊母材的韧性。
- (3) 堆焊层不能够产生裂纹、夹渣、气孔等缺陷, 堆焊修复后的冷轧支承辊, 能够满足冷轧机的生产要求。

参 考 文 献

[1] Nakagawa M, Hoshi A, Asano A, et al. Causes and countermeasures of spalling of cold mill work rolls[J]. Iron Steel Eng, 1981, 58(3): 44-49.

[2] 任艳艳, 张国尚, 魏世忠, 等. 我国堆焊技术的发展及展望[J]. 焊接技术, 2012, 41(6): 1-4.

[3] 单际国, 董祖珏, 徐滨士. 我国堆焊技术的发展及其在基础工业中的应用现状[J]. 中国表面工程, 2002(4): 19-22.

[4] 李午申, 宋炳章, 冯灵芝, 等. 高硬度耐磨抗裂堆焊焊条的研制[J]. 中国机械工程, 1999, 10(11): 1305-1308.

[5] 张元彬, 任登义. 9Cr2Mo 轧辊冷焊焊缝组织分析[J]. 山东建材学院学报, 1999, 13(2): 125-127.

[6] Dwivedi D K. Microstructure and abrasive wear behaviour of iron base hardfacing[J]. Materials Science and Technology, 2004, 20(10): 1326-1330.

[7] Bayhan, Yilmaz. Reduction of wear via hardfacing of chisel ploughshare [J]. Tribology International, 2006, 39(6): 570-574.

[8] 宋世海. 70Mn2 型钢矫直辊堆焊修复研究[D]. 北京: 北京科技大学硕士学位论文, 1996.

[9] 邹宏军. 9Cr2Mo 钢冷轧中间辊堆焊修复工艺研究及工程应用[D]. 重庆: 重庆大学硕士学位论文, 2003.

[10] 眭向荣, 沈凤刚, 张迪, 等. 窄带不锈钢冷轧支承辊堆焊修复技术[J]. 2007, 20(4): 42-46.

[11] 丛丹, 何树民. 冷轧支承辊的堆焊[J]. 机械工人, 2002(9): 76-77.

[12] 倪振航, 唐新, 夏杨. 复合冷轧支撑辊的堆焊[J]. 机械工人, 2004(12): 39.

[13] 马德胜, 方德宏, 刘俊良, 等. 超高硬度薄板冷轧辊的堆焊修复技术[J]. 江西冶金, 2005, 25(6): 27-29.

[14] 眭向荣, 陈洪冰, 白波, 等. 冷轧工作辊修复与再制造技术[J]. 江苏冶金, 2008, 36(4): 15-18.

[15] 王清宝, 刘景凤, 沈凤刚. 超低碳氮强化埋弧与自保护药芯焊丝堆焊层性能分析[J]. 焊接学报, 2006, 27(6): 87-90.

[16] 唐琳琳. 堆焊用药芯焊丝的发展现状[J]. 煤矿现代化, 2011(5): 64-66.

[17] 沈凤刚, 刘景凤. 冶金轧辊堆焊技术综述[J]. 中国表面工程, 2006, 19(3): 15-22.

[18] 项海亮, 姚成武, 李铸国. 高铬铸铁合金涂层的研究进展[J]. 热加工工艺, 2012, 41(14): 157-160.

[19] 眭向荣, 沈凤刚, 张迪, 等. 窄带不锈钢冷轧支承辊堆焊修复技术[J]. 2007, 20(4): 42-46.

[20] 赵晖. 辊热处理工艺的改进[J]. 热加工工艺, 2004(4): 59-61.

[21] 雷泽红. 冷轧支承辊整体堆焊修复工艺研究[J]. 武汉工程职业技术学院学报, 2011, 23(4): 3-6.

作者简介: 成中庚, 1989 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为易损件堆焊修复及焊接材料的研制。