

耐磨堆焊材料在我国水泥工业中的应用

魏建军, 潘 健, 黄智泉, 许 健, 王 欣, 张永生

(郑州机械研究所 特种焊接材料研究室, 郑州 450052)

摘 要:总结了我国水泥工业设备磨损失效的基本情况,分析了关键大型设备的使用工况和磨损机理,详细介绍了几种设备部件的耐磨堆焊修复材料和堆焊工艺及其应用。分析表明,耐磨堆焊材料用于水泥设备再制造,对节能、节材、保护环境、促进循环经济发展具有重要意义。

关键词:耐磨堆焊;水泥;应用

中图分类号: TG455

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2006)03-0009-05

The Application of Hardfacing Material in Chinese Cement Industry

WEI Jian-jun, PAN Jian, HUANG Zhi-quan, XU Jian, WANG Xin, ZHANG Yong-sheng

(Welding material department of ZRIME Zhengzhou 450052)

Abstract: The failure situation of equipment in the cement industry was outlined. Working condition and wear mechanism of the key large-scale equipment were analyzed. The hardfacing material, process and application in some equipment's components were introduced particularly. The results showed that using hardfacing material in remanufacturing of cement equipment has important significance for saving energy, reducing material, protecting environment and accelerating recycle of economy.

Key words: hardfacing; cement; application

0 引 言

水泥工业是我国的基础工业,也是我国工业行业在国际竞争中具有资源优势、劳动力优势、市场优势、技术优势等综合优势的一个行业,有着良好的发展前景。随着我国成为世界水泥生产第一大国,对与水泥生产相关的各个行业的技术水平也提出了更高的要求。水泥生产有其特殊性,其生产过程由矿石制成水泥要经过“矿石破碎—矿石粉磨—煅烧—熟料粉磨”等多道工序,每一道工序的粉磨工作都要由耐磨材料来完成。因此,一个国家耐磨材料的生产应用水平直接决定了这个国家的水泥生产技术水平。据不完全统计,我国水泥行业 2005 年生产水泥约 10 亿吨。按综合金属磨耗 100 g/t 计,每年我国水泥行业磨耗掉的耐磨材料达到 10 万吨。这些磨损不但造成了巨大的经济损失,而且部件的频繁更换严重影响和制约了水泥的生产。如何减少

这些磨损、增加部件的使用寿命、提高设备利用率,在水泥行业实施绿色再制造,促进循环经济发展,是耐磨堆焊科研工作者不可推卸的责任。

“循环经济”和“绿色再制造”的基本特征就是资源的有效和循环的利用,就是把传统的以资源消耗实现增长的模式转变为依靠资源循环来实现发展的模式,就是资源减量化、再利用、再制造和再循环,其公式可以归纳为:资源→产品→废弃物→再生资源→产品。良好耐磨堆焊维修技术不但可以使已磨损报废的部件实现“废弃物→再生资源→产品”的转变,而且可以做到修复后再生产产品比新产品更加价廉物美。以目前的技术水平,在报废的各类耐磨材料中,可堆焊修复再生的部分按 10 % 计,每年需要各类耐磨堆焊材料 10 000 t 以上。由此可见耐磨堆焊技术在水泥行业的市场潜力是十分巨大的。

水泥生产规模的大型化带动了水泥生产设备的大型化发展。2 500 t/d、5 000 t/d、10 000 t/d 水泥生产线以成为目前水泥工业的主流生产线。这些

收稿日期: 2006-03-30; 修回日期: 2006-04-27

作者简介: 魏建军(1965-),男(汉),河南遂平人,研究员,硕士。

生产线中的关键大型设备如:锤式破碎机、立式磨、辊压机、排粉风机、对辊破碎机等部件磨损破坏严重,更换造价高。依靠表面耐磨堆焊的方法进行部件的表面防护堆焊和已磨损部件的耐磨堆焊修复,可以显著增加设备的使用寿命,降低更换部件的成本,为企业带来巨大的经济效益。为国家可持续发展做出贡献。

1 在立磨磨辊及磨盘堆焊方面的应用

立磨又称中速磨,已有近百年发展历史。前期由于受耐磨材料性能所限,只能用于粉磨软质物,如煤、石膏等,在 20 世纪 70 年代随着新型干法水泥技术的飞速发展,立磨以其集粉磨、烘干和选粉于一体、运行经济的特点被广泛用于水泥原料粉磨。目前,5 000 t/d 以上水泥生产线生料磨大多采用大型立式磨。由于大型水泥厂原料立磨在剧烈磨损、冲击的工况下运行,制造综合技术高,国内大部分使用的是进口的立磨磨机,磨损严重的立磨磨辊磨套及磨盘衬板一般采用整体耐磨合金铸造(高铬铸铁或镍硬铸铁)或复合耐磨堆焊的方法制造。用整体耐磨合金铸造的磨辊及磨盘虽然有着较好的耐磨性,但存在两个问题:

(1) 辊体成本较高,磨损到一定尺寸后整个辊体就要报废,虽然可采用堆焊方式修复,但只可修复 2~3 次。

(2) 辊体本身脆性大,容易出现辊体断裂、开裂现象,一旦出现这种情况,会严重影响设备的运行安全。

(3) 由于考虑到辊体的加工性能、铸造流动性和辊体的塑性储备,辊体材料的选择受到限制,无法进一步提高辊体的耐磨性能。

国外多家公司在制造大型立磨磨辊及磨盘时已采用复合耐磨堆焊的方法,即:辊体基体采用韧性良好的低碳钢和低合金钢,表面堆焊耐磨材料进行有效防护。由于堆焊金属具有组织均匀、晶粒细密、耐磨性能提高空间大等特点,这样既可以保证工件表面具有优良的耐磨性,又可使辊体具有良好的综合机械性能,不存在断裂的危险。另外,这种钢基体的工件可反复进行堆焊,这样可大大减少设备的备件成本。

立磨磨辊磨套及磨盘衬板承受着剧烈的低应力磨粒磨损,要求堆焊材料含有大量的合金碳化物

以抵抗磨损。同时,由于辊套及磨盘的有效使用厚度达到 120 mm 左右,这么大的厚度全部堆焊上高硬度、含有大量的合金碳化物的耐磨堆焊材料,其抗剥落性能必须依靠特殊工艺来实现。

针对立磨的工况,采用 MD621、MD611、MD601 系列埋弧堆焊药芯焊丝和 DH621、DH611、DH601 明弧堆焊药芯焊丝较为合适。其堆焊金属中含有大量的、细密均布的合金碳化物硬质点,这些硬质点保证了堆焊金属具有优良的耐磨粒磨损性能。该系列焊丝堆焊时产生均匀密布的应力释放裂纹,保证了堆焊层即使在高铬铸铁或镍硬铸铁基体上堆焊,也能达到结合性能良好,不产生剥落现象。堆焊金属焊态硬度在 60 HRC 以上。其中 621 焊丝为高碳高钨型合金体系,专用于矿渣立磨磨辊的堆焊,611、601 焊丝可根据物料情况选用。生料立磨以选用 611 为好,煤立磨选用 601 更为合算。图 1、图 2 分别是堆焊修复磨辊和衬板的现场照片。



图 1 高铬合金铸铁生料立磨磨辊的修复堆焊

Fig.1 Repairing welding roller of high chromium alloy cast iron for vertical raw material mill



图 2 莱歇立磨磨盘衬板的修复堆焊

Fig.2 Repairing welding scaleboard in Loesche vertical mill

由于 MD621、MD611、MD601 埋弧堆焊药芯焊丝堆焊效率高、焊缝成型美观、堆焊质量稳定、没有弧光和焊接烟雾等优点,且埋弧堆焊设备技术早已成熟,且价格低廉,方便使用。因此对于专业厂新的钢基体辊套的制造堆焊或拆卸下来的旧辊

套的修复堆焊非常合适。而 DH621、DH611、DH601 明弧堆焊药芯焊丝由于没有焊剂回收等问题，更适用于立磨磨辊套及磨盘衬板的现场不拆卸堆焊修复。

2 在辊压机挤压辊堆焊方面的应用

辊压机是 20 世纪 80 年代末从国外引进的一种高压粉磨设备，具有高效节能的特点，经过不断改进和完善，这种设备得到了在水泥行业得到了大量推广。

辊压机是用途广泛的一种高效节能的粉磨设备。尤其适用于水泥熟料的粉磨，而且对石灰石、高炉矿渣、石灰砂岩、原煤、石膏、石英砂、铁矿石等的粉磨也很有效。辊压机的主要特点就是高压，主要利用 50 ~ 300 MPa 的高压对物料进行挤压，达到粉碎的目的。辊压机极其恶劣的工作条件造成辊面磨损严重，因此，在制造辊压机时就必须对挤压辊表面进行有效防护。而在挤压辊表面堆焊耐磨材料是目前全世界公认的最有效、最简便的方法。这主要有两个原因：一是堆焊材料和工艺便于不断进行改进和调整；二是挤压辊在使用一段时间后必然要产生磨损，而由于挤压辊非常昂贵，绝大多数情况下不可能更换，只有在现场继续对其进行修复。在这种情况下，只有采用堆焊的方法才能进行快速、有效的修复。

辊压机辊面工作中承受着高应力磨粒磨损，辊体材料为锻钢 34CrNiMoA 或 45 钢。解决高应力磨粒磨损不但需要耐磨堆焊材料有足够高的焊态硬度(60 HRC)，而且需要材料有良好的抗裂性能(辊面不能有超过 180 mm 长的连续裂纹，裂纹间距不得小于 250 mm)。由于高硬度的辊面耐磨层与辊体材料的强度有比较大的差距，直接堆焊到辊体上的耐磨层易于出现大面积剥落问题，因此必须在辊面耐磨堆焊层和辊体材料之间设计堆焊不同强度级别的堆焊材料保证堆焊的可靠性。针对这种情况设计研制的 ZD1、ZD2、ZD3 和 ZD310 系列耐磨堆焊材料，分别为辊压机耐磨堆焊系列材料中的过渡层、缓冲层、硬面层和耐磨花纹层焊接材料。

ZD1 过渡层具有非常优良的韧性和抗裂性，在辊体运行过程中，如耐磨堆焊层表面出现较大裂纹，ZD1 可以起到很好的保护作用，使裂纹扩展止于 ZD1 堆焊层，不会继续向辊体扩展，对辊体起到

了良好的保护作用；

ZD2 缓冲层具有很高的强度级别，对耐磨层起到了很好的支撑作用，ZD2 堆焊层的良好性能，使整体修复后的辊压机在使用过程中不会出现掉块和剥落现象；

ZD3 堆焊层具有高韧性与良好耐磨性的综合性能，其堆焊层硬度在 55 HRC 以上，耐磨性较好；在连续堆焊过程中 ZD3 堆焊层无裂纹，具有较好的抗裂性。辊压机实体运行表明：完整的耐磨花纹层能使细粉料在辊面形成“料垫”，保护辊体不被磨损。但很难形成完整的料垫。ZD2 强度级别高，但耐磨性不好，如果没有 ZD3 耐磨层，辊体没有形成“料垫”的部位会很快磨损，与耐磨花纹形不成寿命匹配。ZD3 耐磨层的存在，使辊压机耐磨结构更加合理和有效；

ZD310 耐磨花纹层是直接和物料接触的部分，其耐磨性的优劣直接影响辊体的使用寿命。ZD310 耐磨焊丝属多元合金强化，其堆焊层硬度在 59 ~ 62 HRC 之间，堆焊层由于硬度高、耐磨性好，其耐磨性比高铬铸铁堆焊层好，且比高铬铸铁堆焊层的结合性好，非常适于辊压机耐磨花纹层。该通过这几种材料的合理搭配，形成辊面硬度梯度，有效保证了辊面的使用寿命。

辊压机挤压辊的表面堆焊根据情况可采用不同的堆焊方法：生产现场辊面局部小面积磨损或剥落，堆焊修复可采用 ZD 系列手工电焊条（包括过渡层焊条 ZM、硬面层焊条 ZD3 和耐磨花纹层焊条 ZD310），其优点是灵活，对设备及焊接人员要求低，缺点是焊接效率较低。

现场辊面的大面积磨损或剥落的修复，以及辊面整体不拆卸大修，可采用 ZD 系列耐磨堆焊 CO₂ 气体保护焊药芯焊丝，包括过渡层 ZD1、缓冲层 ZD2、硬面层 ZD3 和耐磨花纹层 ZD310（见图 3）。CO₂ 气体保护焊堆焊效率是手工电焊条的 3~4 倍，堆焊质量也明显优于手工电焊条。非常适合于水泥厂生产任务紧张、检修时间短而又没有备用辊子的情况下的现场抢修。

辊压机运行 2~3 年后，中间经过几次现场堆焊修复，辊面层已严重疲劳破坏，需要把辊体拆下运回专业厂进行恢复性大修。先把辊体表面的疲劳裂纹层彻底去除，然后采用 ZD 系列埋弧焊堆焊药芯焊丝（包括过渡层 ZD1、缓冲层 ZD2、硬面层

ZD3 和耐磨花纹层 ZD310) 进行堆焊恢复。埋弧焊方法具有较高的焊接效率和优异的焊接质量。能够充分满足辊体恢复性大修的堆焊工艺要求。采用这种工艺修复堆焊的旧辊子, 其使用寿命完全可以达到或超过新辊子的水平。这种工艺方法的缺点是需要专门的焊接工装和焊接设备。



图3 气保护药芯焊丝辊压机现场修复照片

Fig.3 Photo of repairing gas protecting cored wire rolls

国内应用上述工艺方法和材料, 已制造及修复堆焊了超过 200 台辊压机挤压辊。辊体的耐磨寿命超过进口产品水平。如宁波某水泥厂的 $\phi 1200 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$ 辊压机挤压辊使用寿命提高到 20 000 h 左右, 而国外公司仅保证 6 000 h 左右。拉法基水泥有限公司堆焊后的一对 $\phi 1220 \text{ mm} \times 760 \text{ mm}$ 挤压辊, 运行时间超过 9 000 h。而原进口辊体的使用寿命仅为 5 000 h 左右, 该公司非常满意, 认为这远远超过了该辊子的预期使用寿命(见图 4、图 5)。



图4 拉法基公司辊压机大修堆焊完时的情况

Fig.4 Rolls of Rapheger Co. repaired by welding



图5 拉法基辊压机运行 9 000 h 后的情况

Fig.5 Rolls of Rapheger Co. running 9 000 hrs

3 锤式破碎机锤头及锤盘的堆焊

锤式破碎机是水泥企业常用的破碎设备, 近年来, 随着 2 000/d、5 000/d 生产线的普及, 这种设备有越来越大型化的趋势, 单只锤头重量达到 120 kg 或更多。一副锤头一般在 10 万元左右。如何增加锤头的使用寿命就成为水泥厂降低成本的一个重要目标。这也就对锤头及锤盘的耐磨性能提出了更高的要求。

锤头的工况很复杂, 既要受剧烈的冲击磨损, 又要受剧烈的磨粒磨损(犁削磨损)。因此, 要求锤头既要有优良的韧性, 又要有优良的耐磨性。国内锤头多采用高锰钢(ZGMn13Cr2)或超高锰钢(ZGMn18Gr2)铸造, 之所以采用高锰钢作锤头, 是因为高锰钢具有优良的冲击韧性, 并具有表面冲击硬化作用。少数采用进口锻造复合合金钢(如 30CrMoV9)。由于原料的不同, 锤头的使用寿命相差很大。例如, 某水泥厂的单段破碎机锤头的使用寿命是破碎 4 万多吨石灰石。而在另一水泥厂, 同样的锤头可破碎 100 多万吨石灰石。这种情况说明, 在很多情况下高锰钢的冲击硬化作用并未显现出来。

针对这种状况和需求, 郑州机械研究所研制出了高锰钢锤头堆焊修复专用过渡层材料 GM1 焊条和 ZD3 耐磨堆焊焊条及焊接工艺。GM1 为高韧性双相钢焊条, 不须采用任何工艺堆焊高锰钢或超高锰钢也不会产生剥落现象。ZD3 焊条堆焊金属硬度 $\text{HRC} \geq 55$, 不但具有良好的抵抗磨粒磨损性能, 而且具有优良的抗冲击磨损性能, 最大堆焊厚度可达 25 mm。用这种材料和工艺堆焊制造复合新锤头或修复已磨损的旧锤头, 使用寿命一般可提高 1 倍以上。

大型锤式破碎机的锤盘因价格昂贵, 也具有较高的修复价值。锤盘承受着严重磨粒磨损和轻度冲击磨损的双重破坏。根据水泥厂的设备情况和人员情况, 可选用不同的材料, MD501 CO_2 气保护药芯焊丝和 TM-55 焊条正适合这种磨损形式。现国内已有多家水泥厂进行了现场修复大型锤式破碎机的锤盘, 取得了满意的效果(见图 6、图 7)。



图6 大型破碎机锤头的修复堆焊

Fig.6 Repairing welding hammerhead of large-scale rolls



图7 大型锤式破碎机锤盘的现场堆焊修复

Fig.7 Repairing welding hammerpan of large-scale hammer mill

4 风机叶轮的堆焊修复

水泥厂的排粉风机在工作过程中，流道高速通过大量高浓度的粉尘，风机叶轮承受着严重的小角度冲刷磨损。一段时间后既因叶轮磨损失去平衡或叶片磨穿而报废。针对风机叶片的耐磨问题，国内研制生产了各种类型的耐磨堆焊焊条和喷焊粉末。如新型的 Ti、V、Nb 强化的高 C 高 Cr 型 TN-65 和 TM-65 耐磨堆焊焊条，该焊条堆焊金属中含有大量的碳化物，焊态硬度为 65 HRC 左右，具有优良的抗冲刷磨损性能。在风机叶轮的磨损部位堆焊上单层的直条耐磨道或网格状耐磨道即可起到良好的耐磨效果（见图 8）。目前风机叶轮的耐磨堆焊防护已成为水泥厂排粉风机必不可少的处理工艺，一般寿命可提高 4~8 倍。取得了良好的经济效益和社会效益。



图8 风机叶轮的耐磨堆焊

Fig.8 Repairing welding impeller of draught fan

5 其他部件的表面防护

塔篦是机立窑中的关键部件，其工作温度最高达 600℃，承受着剧烈的高温磨粒磨损，因此堆焊耐磨焊条是提高塔篦的寿命的最有效的方法。郑州机械研究所研制的立窑塔篦齿堆焊专用焊条 TDL-60，堆焊金属在 600℃ 下可保证硬度基本不变。具有优良的耐磨性能和堆焊工艺性能。在塔篦磨损部位堆

焊 5~6 mm 厚，使用寿命可提高 1 年以上。

除上述部件以外，各类型的耐磨堆焊焊条和药芯焊丝也在挖掘机铲齿、下料溜槽、搅拌机叶片、磨机衬板、辊式破碎机对辊、刮板、提升机斗等部件的修复堆焊中得到广泛应用。显著提高了这些部件的使用寿命。

6 结 语

贯彻国家建设节约型社会、环境友好型社会的发展战略，要求企业越来越重视提高各种易磨损部件的寿命，重视对部件修旧利废工作。对于水泥行业来讲，耐磨堆焊技术是一个朝阳产业，可为企业带来显著的经济效益，有着不可估量的前景，还有很多的部件需要耐磨堆焊防护以提高寿命、降低成本。这就要求从事耐磨堆焊材料和堆焊工艺研究的科研机构，不断跟踪国际上的先进技术和经验，同水泥行业紧密合作，不断研制开发适应不同工况、不同材质、不同磨损形式的耐磨堆焊材料和堆焊工艺技术，推动我国耐磨堆焊技术的发展，为国家做出更大贡献。

参考文献：

- [1] 李建明. 磨损金属学 [M]. 冶金工业出版社, 1990.
- [2] 朱尚叙. 粉磨工艺与设备 [M]. 武汉工业大学出版社, 1994.
- [3] 魏建军, 等. 超高锰钢锤头的复合堆焊修复研究 [J]. 中国表面工程, 2003, 16(2): 38-41.
- [4] 王欣, 等. 辊压机现场修复技术 [J]. 机械工人, 2004, (4): 54-56.
- [4] 魏建军, 等. 大型立磨磨辊耐磨堆焊药芯焊丝及工艺研究 [D]. 郑州: 郑州机械研究所, 2005.

作者地址：河南省郑州市嵩山南路 81 号 450052

Tel: (0371) 67836836; 13803836072

E-mail: zrime7435275@163.com

《中国表面工程》将为第 6 届 全国表面工程学术会议出版论文集

经第 6 届全国表面工程学术会议组委会与《中国表面工程》编辑部协商，《中国表面工程》将为会议出版专集。凡提交会议的论文 自愿在专集上刊登的作者，请主动与杂志编辑部联系。每篇论文 4 页以内收版面费 400 元，超过 4 页后的每页增收 150 元。

联系人：路凤芝 联系电话：(010) 66718873

E-mail: cse1988@263.net