

## 表面工程技术在冶金设备修复再制造中的应用与展望

公茂秀<sup>1</sup>, 宋家来<sup>2</sup>, 于广娟<sup>3</sup>, 袁堂玮<sup>3</sup>, 谭维钰<sup>2</sup>

(1 山东省冶金科学研究院, 山东 济南 250014; 2 莱芜钢铁集团有限公司, 山东 莱芜 271104; 3 济南钢铁集团有限责任公司, 山东 济南 250101)

摘要: 表面工程技术是以废旧产品为对象, 在保持零(部)件材质和形状基本不变的情况下, 运用多种技术工艺方法制备出优于本体材料性能的再制造技术。虽然进行再制造的过程也要消耗部分能源、材料和一定的劳动投资, 但充分挖掘了蕴含在零(部)件中的材料、能源和加工附加值, 使之再制造的产品性能达到或超过新品。冶金设备多是在高温、高压、高负荷、高磨损条件下工作, 表面工程技术在冶金行业中的应用范围广、潜力大。

关键词: 表面工程技术; 冶金设备装备; 修复; 再制造

中图分类号: TG174.4 文献标识码: B 文章编号: 1004-4620(2008)03-0075-02

表面工程技术是提高冶金设备零(部)件使用寿命的重要技术之一。随着冶金工业技术工艺和装备水平的迅猛发展, 对冶金设备零(部)件也提出了更高的技术要求, 要求耐磨, 耐冲击, 耐疲劳(交变应力、热应力), 耐冲蚀、气蚀、腐蚀等。有时单个零(部)件还要同时具备多种性能, 以适应各种工况条件的需求。

我国“六五”、“七五”、“八五”连续3个五年计划将表面工程技术列入重点推广项目。钢铁行业也与非钢产业的企业加强资源整合, 采取多种合作方式, 推进表面工程技术的开发应用向产业化、规模化、专业化、高效化、规范化方向发展, 钢铁企业在不断提高市场竞争力的同时, 表面工程技术的整体水平也有了长足的进步。

## 1 表面工程技术

表面工程技术是将特定的材料通过特定手段, 如火焰喷涂、火焰喷焊、超音速火焰喷涂、等离子体喷涂(焊)、电弧喷涂、超音速电弧喷焊、超音速等离子体喷涂、爆炸喷涂、埋弧焊、明弧焊、明弧摆动焊、气体保护焊、热浸镀、电镀、电刷镀、气相沉积、离子氮化、激光重熔、激光热处理、离子注入、渗碳、渗氮、热熔金属等, 以达到表面覆层、覆膜、表面改性的目的或二者兼而有之的复合处理, 从而改变金属、非金属零(部)件表面的化学成分、组织结构、性能指标等, 得到需要的表面特性, 如耐磨、耐蚀、抗高温、抗氧化、绝热、抗疲劳、减磨导电、绝缘、防辐射、远红外热反射、减振、制噪等各种特殊性能, 同时能有效地延长其寿命。

表面工程技术的最大优势在于, 能够以多种技术工艺方法制备出优于本体材料性能的表面功能涂层, 其厚度最薄时只需要几微米, 仅为结构尺寸的几十分之一至几百分之一, 可获得比本体材料更加优良甚至无法获得的所需特性, 有些是零(部)件制备表面涂层的唯一选择。其特点是: 实用、灵活; 可重复; 高效、低耗。实践证明, 经表面工程技术处理后的零(部)件, 无论是技术指标的可靠性、产品质量的优良性, 还是使用寿命、经济性都是最佳选择。

表面工程技术不仅应用于冶金设备零(部)件的强化预保护或修复再制造, 而且还为高新技术的发展提供了材料与工艺的支持。事实表明, 通过表面工程技术已解决了一系列冶金工业设备的重大关键技术和高新技术发展所遇到的特殊难题。

表面工程技术现在已经成为一门具有高新技术特色(集材料、装备、工艺技术于一体)、相对独立的新兴学科, 并不断完善自身的学科体系。基于此, 国内外专家学者预言, 表面工程技术将成为21世纪工业发展

## 2 冶金行业应用范围与特点

冶金设备很多是在高温、高压、高负荷、高磨损条件下工作。高炉、炼钢、轧钢、矿山等生产现场需要修复再制造的备件众多，延长备件使用寿命、提高其可靠性意义重大。冶金设备备件的特点是有的吨位大、体积大，有的轴类和杆类细长，还往往有组合件、齿轮轴等多部位磨损、破坏表面情况复杂等。因此，单一的修复工艺是不能解决的，很多备件需要采用多种工艺联合修复以达到工况要求。冶金系统常见易损备件主要包括：热风阀、铁水灌耳轴、开式大齿轮、冶金烧注吊车的吊钩、连铸机结晶器、连铸拉矫辊、钢坯输送辊、传动减速器涡轮等。其中轧钢系统包括：轧辊、万向联轴节的滑块、辊道输送辊、轴瓦、轴套、导位板、剪刀等，还有冶金矿山的破碎、研磨、搅拌过筛等零（部）件。仅以部分辊类备件为例（工况条件各有不同）介绍其应用情况。

1) 炉内辊：包括CAC、CADL（钢板连续退火炉生产线），CGL大型连续镀锌板生产机组立式炉，以及硅钢生产线加热炉，炉内低温段（ $\leq 520\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），中温段（ $520\sim 815\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）和高温段（ $\geq 815\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）各段炉辊，例如密封辊，导向辊，张紧辊等炉内炉辊（这类炉辊是在微氧化的保护气氛条件下运行的）。

2) 炉底辊：主要是指中、厚板厂加热炉，常化炉，以及热轧无缝钢管厂管坯加热炉炉底辊（此类辊是在有氧条件下运行，明火加热，炉内温度至少在 $1\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上）。

3) 工艺辊：是指在冷轧钢板（卷）宽带连续热镀锌、电镀、彩板、硅钢等生产线中因工艺需要而设置各类辊子，例如夹送辊，活套张紧辊与转向辊、测张辊、纠偏辊、张力辊、精轧与酸洗拉矫辊、去毛刺辊、绝缘辊（电镀）、带料辊（彩板）、沉没辊、稳定辊及其配套用轴套，是连续镀锌（锌铝合金，铝锌合金及I型、II型镀铝板）生产线锌锅中的重要易损结构件，不但要承受严重的腐蚀，更要承受强烈的磨损，对辊面如不采用表面技术措施，使用寿命仅 $5\sim 7\text{ d}$ ，一般不超过 $15\text{ d}$ 。

4) 连铸辊：是大中型板坯连铸机中重要的易损件，它由上千根辊子成对紧密排列组成，通常将其分为三段，即支承导向段（称“0”型段），拉坯矫直扇形段及铸坯冷却水平段。由于工况条件十分苛刻，一般使用 $3\sim 6$ 个月，由于磨损、高温氧化、腐蚀、热疲劳龟裂或弯曲变形被大部分整体更换，每更换一次弯曲段和扇形段，都要至少停机 $1\sim 4\text{ h}$ 。

5) 层流冷却输出滚道辊：层流冷却输出滚道辊分内冷辊、外冷辊两大类型，是热连轧生产线中又一大易损件，每条生产线装机辊子数量 $100\sim 450$ 根不等，使用寿命 $1\sim 1.5\text{ a}$ 就基本全部更换。

6) 大型支承辊与BD辊：大型支承辊是中、厚板生产装备中的重要备件，单支重量一般在 $30\sim 180\text{ t}$ 不等，目前国内主要以进口为主。BD辊是H型钢生产中的重要备件，按照目前价格，每对新辊约 $120$ 多万元，且订购周期长达 $1\text{ a}$ 以上。

## 3 冶金备件修复再制造技术的应用

上述情况表明，冶金设备零（部）件的修复和预保护工作范围广泛，潜力巨大。20多年来，冶金行业结合本企业设备备件的实际情况及特点，通过自身努力或联合攻关，从基础的埋弧堆焊、明弧堆焊、氧乙炔焰喷涂（焊）、电刷镀等技术应用发展到等离子喷涂（焊）、超音速喷涂、爆炸喷涂、激光熔覆等，基本形成了适合冶金设备修复再制造和预保护特点的工艺技术。

### 3.1 国内外修复与复合制造的应用情况

冶金轧辊采用堆焊、喷涂（焊）工艺进行修复和复合制造具有方法简单、综合性能优异、技术优势及经济效益显著等特点。目前，国内外已采用堆焊和喷涂（焊）修复再制造及复合制造工艺技术的冶金辊类应用情况见表1。

表1 冶金辊类采用堆焊喷涂（焊）修复及复合制造应用情况

轧辊种类及名称	修复	复合制造	国内	国外
---------	----	------	----	----

连铸辊	√	√	√	√
轧机前后辊道辊	√	√	√	√
粗轧辊（线棒材、带钢及型钢）	√	×	√	√
半钢轧辊	√	×	√	×
热连轧板带支承辊	√	×	√	√
热连轧板带夹送辊	√	√	√	√
热连轧板带助卷辊	√	√	√	√
热连轧板带层流冷却辊	×	√	√	√
热连轧板带涨力辊	√	√	√	√
热轧中厚板支承辊	√	×	√	×
中厚板矫直辊	√	×	√	√
中厚板原盘剪刀	√	×	√	√
冷轧工作辊（窄带钢）	√	√	√	×
冷轧支承辊（窄带钢）	√	√	√	×
冷轧中间辊（宽带钢）	√	×	√	×
冷轧支承辊（宽带钢）	√	×	√	×
穿孔机轧辊（无缝管）	√	×	√	√
连轧管机芯棒（无缝管）	√	√	√	×
破碎辊（烧结）	√	√	√	√

由表1可看出，一些有特殊性能要求的轧辊，已开始逐步通过堆焊、喷涂（焊）工艺技术进行修复再制造与复合制造，从而获得高综合性能（高强度、高韧性、高耐热和耐磨性）的冶金轧辊。

### 3.2 冶金设备备件修复再制造展望

据最新资料统计，2007年我国钢产量已达到4.6亿多t，2010年以前将达到五亿多t，按照权威测算，每生产1 t钢材，将消耗1.62 kg的轧辊。随着钢材产量的不断增加，轧机产能也在不断提升，设备利用率的提高，对轧辊压下量及过钢量的要求则更高；再之，随着钢材品种质量的提升，轧材也多从普碳钢为主提升为低合金钢为主，因钢种的提升以及轧制温度的提高与轧钢技术的进步，轧辊的工况条件也更为恶劣。因此，为保证降低钢材生产的辊耗，提高钢材质量，降低生产成本，就必须采用表面工程技术及其新材料，对轧辊工作面进行改性的修复再制造，以提高耐热、耐疲劳和耐磨损等性能，延长轧辊使用寿命，降低轧辊辊耗。

简而言之，覆盖冶金设备的易损易耗零（部）件的修复再制造，所面临的业务范围与技术市场十分可观。因此，表面工程技术所具有的广泛实用性和巨大增效性，已发展成为修复再制造至新产品零（部）件设备过程中必不可少的工程技术。

## 4 结 语

表面工程技术是以产品全寿命周期理论为指导，以废旧产品全性能跨越式提升为目标，以优质、高效、节能、节材、环保为准则，以先进技术和产业化生产为手段，进行修复再制造废旧产品的一系列技术措施的工程活动。目前，冶金工业设备装备水平正在向大型化、高速化、精密化方向发展，“十一五”钢铁行业设备管理的基本目标提出了在重点大中型钢铁企业中，主要生产设备应加大消化、吸收、技术创新和集成，不断形成自主技术，到2010年进口设备和零（部）件国产化率应达到80%以上。按金额计算，零（部）件修复率应达到20%以上，全年修复费占产品制造成本的3.5%以内。因此，表面工程技术在冶金行业的应用将进入新的发展期。