

稀土表面工程技术在泵行业的应用前景展望

袁海宇, 袁寿其

(江苏大学 流体机械工程技术研究中心, 江苏 镇江 212013)

摘要: 综述了在泵行业应用比较广泛的5种表面工程技术: 堆焊技术、喷焊技术、激光表面处理技术、化学热处理技术和化学镀技术, 以及近年来国内将稀土用于这5种表面工程技术的最新研究进展。研究成果表明, 稀土元素的加入可以使现有的表面工程技术进一步提高表面质量, 从而可以大大延长泵及其零部件的使用寿命。稀土表面工程技术目前方兴未艾, 初步的产业化工作表明其经济效益非常显著。鉴于我国稀土资源非常丰富, 相关科研机构众多, 同时考虑到当前我国泵行业节能、节材的迫切需求, 因此, 在泵行业及早开展系统的应用研究不仅是非常必要的, 而且是可行的。

关键词: 稀土元素; 泵; 表面处理; 耐磨性; 耐腐蚀性; 应用前景

中图分类号: TH3; TF845 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-6254(2007)06-0060-05

Application prospects of RE-surface engineering technologies in pump industry

YUAN Hai-yu, YUAN Shou-qi

(Technical and Research Center of Fluid Machinery Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract: Five surface engineering technologies which have been widely used in pump industry, namely, welding, spraying, laser cladding, thermo-chemical treatment and chemical plating, were reviewed. The recent research development on the use of rare earth in the five surface engineering technologies in China is introduced. The research results have indicated that the use of RE in traditional surface engineering technologies can improve the quality of surface greatly, which has benefit for the life prolonging of pump and parts. With the consideration of the rich resources in RE and the urgent need of energy and materials saving in China, it is necessary to conduct systematic application researches in pump industry as soon as possible.

Key words: RE elements; pump; surface processing; wear resistance; corrosion resistance; applications prospects

表面工程技术在改善泵零部件表面特性、延长泵的使用寿命方面已经发挥了重要作用^[1,2]。近年来,随着稀土(Rare Earth)材料在表面工程技术各领域的应用研究逐渐深入,稀土材料良好的改性功能逐渐被人们所认识。进一步熟悉相关技术研究进展,对于推进技术成果向泵行业转化,延长泵产品及其零部件的使用寿命,实现泵行业的节能、节材和增

效,无疑具有重要的经济和社会意义。

1 稀土堆焊技术

1.1 堆焊技术在泵行业的应用

堆焊是利用焊枪与基体之间所形成的电弧高温使焊条熔化,堆积于零件金属基体表面,形成与焊条

收稿日期: 2007-07-11

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(2006AA05Z250)

作者简介: 袁海宇(1976-),男,江苏靖江人,助理研究员,主要从事流体机械及工程的研究。

袁寿其(1963-),男,上海金山人,研究员,博士生导师,主要从事流体机械及工程的研究。

成分相同的具有耐磨、耐蚀等特殊性能的金属保护层的工艺方法。堆焊法可以保证堆焊层与基体之间结合紧密,强度高,可以显著延长零件的使用寿命,节省制造和维修费用,提高生产效率,节约运行成本,是目前泵行业比较普遍的抗磨蚀修复方法之一。堆焊材料可以分为铁基、镍基、钴基、铜基和碳化钨基等类型,其中铁基合金价格较低,种类多,能够满足不同类型的要求,应用最为广泛。例如, Cr19Ni19Mn6 型铬镍奥氏体堆焊材料和铁素体含量高的 Cr29Ni 型堆焊材料耐气蚀性好,可用于泵过流部件耐气蚀堆焊;高铬合金铸铁堆焊材料硬度高、耐磨性好,可用于叶片的堆焊和修复;镍基、钴基堆焊材料及碳化钨基堆焊材料的价格较高,前者主要用于耐高温磨损、耐高温腐蚀的场合,后者主要用于严重磨料磨损的条件下;铜基堆焊材料耐蚀性好,适用于 200 ℃ 以下环境中工作,可用于水泵活塞的堆焊^[3,4]。

1.2 稀土堆焊技术的特性

郭汉卿^[5]等人研究了在焊条药皮中加入不同含量的稀土元素对高温耐磨堆焊合金(1Cr5W10Mo2V3)高温性能、碳化物形成与分布、耐磨性的影响。实验表明,加入适量稀土元素可以提高组织的高温稳定性、回火二次硬化和抗蠕变能力,细化晶粒,改善塑韧性,使碳化物在晶界聚集成耐磨网架,比不加稀土元素的同类合金耐磨性提高了 1 倍。

洪永昌^[6]等人在奥氏体基堆焊焊条中加入稀土元素 Y, Ce, La, 系统研究了稀土元素对奥氏体基堆焊焊条堆焊层组织与性能的影响。研究结果表明,稀土元素可改善堆焊层的焊态组织,提高堆焊层金属的焊态硬度、时效硬度、耐磨性和耐热疲劳性。该成果已经被用于高温状态使用的冶金工业设备零部件的堆焊修复上,钢锭吊牙的寿命为原来的 4 倍以上。

杨庆祥^[7]等人研究了稀土氧化物对堆焊金属抗开裂性能及塑、韧性的影响。结果表明,加入稀土氧化物能提高堆焊金属的抗开裂性能。王新洪^[8]等人研究发现稀土元素具有脱氧作用,能减少氧化物夹杂,消除缺陷,提高堆焊层的冲击韧性;具有高能表面的稀土化合物质点,可促使金属陶瓷与铜基合金界面上形成微晶过渡层,提高界面结合强度。

研究进展和应用前景分析:加入适当的稀土和稀土氧化物可以提高堆焊组织的耐磨性、耐热疲劳性、抗开裂性以及界面的结合强度等,但是相关研

究同时指出,加入稀土如果过量则会适得其反,因此对于不同的堆焊材料,有必要进行具体的量化分析,以寻求最佳稀土用量比例。目前稀土堆焊技术的研究和应用虽然取得了一定进展,但是针对泵行业的应用研究十分罕见。鉴于该技术对增强堆焊组织耐磨性的作用以及堆焊材料的多样性,在泵行业开展针对性的研究,实现定量化和系统化,十分必要。

2 稀土喷焊技术

2.1 喷焊技术在泵行业的应用

合金粉末喷焊技术是利用氧乙炔焰所产生的热能,通过特制的喷枪将采用高硬度的镍、铬、钨、钼、钴等金属组成的自熔性合金粉末高速喷射到经处理过的工件表面上,然后对该涂层加热重熔并润湿工件,通过液态合金与固态工件表面相互溶解和扩散,形成牢固的薄而均匀致密的冶金结合的合金焊层。喷焊层与基体结合致密无孔,表面光滑平整,具有材料省,效率高,工艺简单,便于现场加工等特点。焊层的硬度可达 60~70 HRC,可以大大延长泵的使用寿命,经济效益显著,是一种过流部件修复和保护的比较理想的表面保护工艺^[3,4]。

喷焊合金粉末的选择应该综合考虑泵的实际工作状态与环境、工艺实施的难易程度和经济性等因素。对于中等磨损并要求较好抗汽蚀的使用条件,可选用 Ni35;对于汽蚀严重或泥沙磨损严重的水泵叶片,叶轮室可以选用 Ni55 或 Ni60;对于严重汽蚀破坏以及高应力磨粒磨损或冲刷磨损使用条件,可以选用 FWC25, NiWC25, NiWC35。门志慧^[9]等人根据油浆泵的结构及材料,选用 Ni60, Ni45 镍基自熔性合金粉末,采用喷焊技术,制定合理的喷焊工艺,在其内腔及叶轮表面制备出高温下耐冲蚀性能优异的致密涂层,将油浆泵的使用寿命提高了 1 倍以上。

2.2 稀土喷焊技术的特性

赵卫民^[10]等人研究了氟化稀土数量对镍基喷焊层耐蚀性能的影响。结果表明,加入适量的稀土可以促进金属表面钝化膜的形成,并能减少异质相的存在,能有效地提高喷焊层的耐蚀性能,但是,稀土加入过多时,异质相则重新形成与聚集,喷焊层的耐蚀性能降低。

姚军^[11]等人研究了稀土对 Ni-WC 喷焊层组织和耐磨性的影响。结果表明,适当加入稀土元素可以改善喷焊层焊态组织,提高喷焊层耐磨性和硬

度,而且喷焊粉末具有良好的工艺性能。

洪永昌^[12]等人研究了稀土氧化物对镍基合金喷焊层组织和耐磨性的影响。研究表明,稀土氧化物的加入可以提高喷焊层的硬度和耐磨性,喷焊层的致密性提高,基体的强韧性增加;当氧化物的含量为 0.6% 时,在钢的表面可获得零稀释率的喷焊层,获得牢固的冶金结合,并获得最佳喷焊工艺性,经过特定时效处理,可以使喷焊层硬度和耐磨性进一步提高。

张振宇^[13]等人研究了稀土元素对 NiCrWRE 粉末性能的影响。试验结果表明,加入稀土元素可以获得致密化程度较高的、分布均匀的组织,粉末形貌呈球形,流动性好,具有良好的喷焊性能,喷焊层与基体形成牢固的冶金结合。

研究进展和应用前景分析:稀土和稀土氧化物能够提高镍基自熔性粉末合金喷焊组织的耐磨性、耐蚀性,能够改善喷焊工艺性能,增强喷焊组织与基体的结合强度,技术优势明显。目前材料领域开展此项研究比较活跃,泵行业亦已经有个别单位开展此项研究。今后,泵行业开展有针对性的应用技术研究,实现系统化和定量化,十分必要。

3 稀土激光表面处理技术

3.1 激光表面处理技术在泵行业的应用

激光表面处理技术是把传统的表面热处理与焊接技术相结合的一门新技术。激光束经聚焦后,能在焦点处产生几千至上万摄氏度的高温,可以按照需要进行材料表面固相相变硬化、熔覆、表面合金化等操作。与其他传统的表面工程技术相比,激光表面处理技术突出的特点是能够得到其他表面工程技术很难达到或不能达到的效果。以激光表面熔覆技术为例,该技术是将不同成分的合金粉末添加到被激光束加热所形成的熔池中,并由激光将其熔化,快速凝固后形成与基体材料冶金结合的表面涂层,从而显著改善基体材料表面的耐磨、耐蚀性等的一种加工方法。该技术在覆层质量和经济上都优于传统的堆焊和热喷涂工艺。激光表面熔覆技术已经广泛用于泵的缸体、柱塞、叶片等部件表面的改性,以提高其耐磨和耐蚀性能。Ni 基自熔性合金粉末抗蚀、耐磨能力好,加工过程不易烧蚀,具有良好的性价比,是激光熔覆的首选材料。常见熔覆材料还有青铜合金粉末、陶瓷粉末等^[3,4]。

3.2 稀土激光表面处理技术的特性

王昆林^[14]等人研究了 La_2O_3 对镍基合金激光熔覆层耐蚀性的影响,对加与不加 La_2O_3 的激光熔覆试样进行了对比实验。结果表明, La_2O_3 的加入对激光熔覆层的组织起到了细化和净化作用,使熔覆层的二次枝晶间距减小,夹杂物含量降低,并明显提高了激光熔覆层的耐蚀性能。

潘应君^[15]等人研究了不同含量的 La_2O_3 对激光熔覆镍基金属陶瓷复合层组织及性能的影响。结果表明,加入适量的稀土氧化物 La_2O_3 可有效地改善激光熔覆复合层的显微组织,减少复合层中的裂纹、孔洞、夹杂,加速复合层中 TiC 颗粒的溶解和改善 TiC 颗粒的形状变化,且使熔覆复合层的耐磨性和耐蚀性明显提高。

王玉林^[16]等人采用 CO_2 激光器在低碳钢表面进行激光熔覆处理,研究了稀土氧化物在激光熔覆 Ni45 自熔合金层中的作用。结果表明,加入适量稀土的熔覆合金层组织得到了细化,其在还原酸中的耐蚀性和抗高温氧化能力较不加稀土镍基合金熔覆层都有较大提高,更远高于低碳钢。

研究进展和应用前景分析:材料研究领域目前针对镍基合金和陶瓷熔覆的改性研究比较活跃,添加稀土和稀土氧化物可以增强熔覆组织的耐蚀性、耐磨性和抗高温氧化性。从现有研究成果来看,向泵行业推广该技术是可行的,应该加强该技术的实际应用研究。

4 稀土化学热处理技术

4.1 化学热处理技术在泵行业的应用

表面化学热处理是改变材料表面化学成分的一种硬化方法,例如渗碳、碳氮共渗、多元共渗、渗硼等。传统的渗碳工艺存在着处理温度高,工件变形大,金相组织不够理想等缺点,目前泵行业已经很少采用。碳氮共渗和多元共渗温度可以提高到 600 ~ 700 °C,此温度范围在 Fe-N-C 共析点(590 °C)之上,Fe-C 共析点(723 °C)之下,这种奥氏体氮碳共渗可以提高泵筒表面的硬化层深度。考虑到筒体的变形量,在冷却时不采用淬火,而用炉冷或空冷,因此泵筒的表面硬度不够理想。渗硼技术不仅克服了上述处理表面硬度低的缺点,而且可以获得耐热、耐酸和高耐磨性的渗硼层。若在此基础上使用其他热处理工艺,还可以进一步提高基体硬度。目前,企业一般采用碳氮共渗、多元共渗及渗硼等方法处理泵

过流件、泵轴、泵筒等部件^[3,4]。

4.2 稀土化学热处理技术的特性

郑永生^[17]等人对抽油泵泵筒内表面进行了稀土复合渗硼组织与性能研究。结果表明,渗硼层的相组分为 FeB 、 Fe_2B 、 $\text{Fe}_3\text{C} + \text{Fe}_3(\text{C}, \text{B}) + \text{F}$;次表层 Fe_2B 的硬度大于1 200 HV,比渗碳和镀铬等常规工艺有更优良的耐磨性和耐蚀性,482台渗硼泵的现场推广应用表明,油井免修期延长了168 d,累计创经济效益3 900万元,具有大规模推广应用价值。

王丽凤^[18]等人研究了稀土元素对渗硼过程的催化作用。试验结果表明,稀土元素的催渗效果在850~950℃范围内较为理想,共渗时间过长则效果减弱,且在硼稀土共渗剂中,稀土含量有一最佳范围。

许伯藩^[19]等人研究了钢在添加稀土氧化物 La_2O_3 于低温(A_1 相变点以下)下进行固体稀土硼共渗的工艺及渗层的组织与性能;探讨了稀土对低温渗硼的催渗作用。结果表明,低温稀土硼共渗,可使钢件表面获得实用的渗硼硬化层。与单一渗硼相比,稀土硼共渗后渗层的硬度、耐蚀性显著提高,而脆性明显下降。

黄拿灿^[20]等人经过研究发现,稀土元素对钢的渗碳和渗硼过程有明显的催化作用,渗速提高了20%~30%,对提高渗碳层和渗硼层的品质和磨损特性、强韧性也有良好的效果。

研究进展和应用前景分析:稀土和稀土氧化物能够提高渗层的硬度、耐蚀性和强韧性,还能起到催渗作用。但是,硼稀土共渗时,应注意稀土的最佳用量。在泵行业的应用研究已经开始,经济效益巨大,值得大力推广。

5 稀土化学镀技术

5.1 化学镀技术在泵行业的应用

化学镀是在没有外电流通过的情况下,利用化学方法使溶液中的金属离子还原为金属并沉积在基体表面,形成镀层的一种表面加工方法。与电镀相比,化学镀不管零件形状多么复杂,其镀层厚度均匀,镀层美观,晶粒细,无孔,耐蚀性更好;无须电解设备,能在非金属表面沉积。由于化学镀镀层具有耐磨、耐蚀、高硬度、焊接性好等性能,因而在各工业领域得到了广泛应用。目前,化学镀的研究和开发一直是表面工程技术最为活跃的研究领域之一^[3,4]。

化学镀主要包括化学镀镍和化学镀铜,由于化学镀铜溶液稳定性较差,相比之下镀镍的研究要广泛深入得多。除了化学镀镍层外,还有化学镀镍基二元合金镀层、化学镀镍基多元合金镀层和化学镀镍基复合镀层,使镀层的性能得到了进一步的提高。例如,化学镀Ni-P合金镀层耐蚀性优良,可与不锈钢相比,并且镀层仿型性好,用于化工泵、污水潜水泵等的外壳,既能提高外观质量,又可起到耐蚀抗泄漏作用。此外,化学镀Ni-P合金镀层经过热处理后,硬度和耐磨性有大幅度提高并且镀层可以不断修复,因此,在连杆泵、泥浆泵、往复泵、抽油泵等的要求耐磨部件上有很好的应用。

5.2 稀土化学镀技术的特性

刘铁虎^[21,22]等人研究了氧化稀土对Ni-P化学镀层及其复合镀层在有冲击和振动载荷作用下滑动磨损行为的影响。实验结果表明,稀土的加入对Ni-P和Ni-P-SiC镀层的耐磨性均有一定的提高,分别为17%和39.6%;在400℃热处理状态下,稀土的加入使Ni-P-SiC镀层的耐磨性提高142.9%;经过600℃热处理后,使Ni-P-Cr₂O₃的耐磨性提高150%,表明热处理能有效地发挥稀土对复合镀层耐磨性的有利作用。

孙雅茹^[23]等人在化学镀Ni-P的基础镀液中添加单一 La^{3+} 、 Ce^{3+} 及二元合金轻稀土,并比较了添加稀土前后钢铁试样在Ni-P合金镀液中的极化曲线。经过极化曲线分析,发现添加稀土能够降低化学镀Ni-P中的腐蚀速率,加快反应沉积速度,提高化学Ni-P镀层的耐蚀性,获得较致密的合金镀层。

严密^[24]等人研究了添加Yb对Ni-P合金化学镀层组织和性能的影响,探讨了Yb在化学镀过程中的作用机制。结果表明,适量添加Yb,得到的镍磷沉积镀层自腐蚀电位增加,腐蚀电流密度降低,表面更加平整均匀,热处理后显微硬度更高。

研究进展和应用前景分析:稀土和稀土氧化物对提高Ni-P化学镀层的耐磨性和耐蚀性有积极作用。虽然相关技术研究还处于实验室阶段,离产业化应用还有一定距离,但是现有研究成果已经表明,向泵行业推广具有良好的前景。

6 结论与展望

大量的实验研究和初步的应用研究已经表明,稀土表面工程技术具有独特的优点,能为延长泵的

使用寿命提供更好的解决方案,具有重要的推广应用价值,因此有必要在泵行业大力开展相关应用技术研究。我国稀土资源丰富,相关研究机构众多,研究成果已经比较丰富,部分技术成果已经取得了较好的产业化效益,这些都为泵行业中进一步推广稀土表面工程技术提供了良好的有利条件。如果我国泵行业 and 材料研究领域的科技工作者能够进一步加强合作研究,使相关研究更加具有针对性,使研究成果定量化和系统化,则技术成果转化的步伐必将大大加快。

参考文献 (References)

- [1] Srivatsa A R, Clayton C R, Hirvonen J K. Advances in coatings technologies for corrosion and wear resistant coatings[C]//TMS Annual Meeting in Las Vegas, Nevada, February 12 - 16, 1995. Warrendale, PA: TMS, 1995:141 - 150.
- [2] 程晓农. 两相流泵失效分析及其材料研究现状[J]. 排灌机械, 1994, 12(1):58 - 61.
- [3] 董允, 张廷森, 林晓娉. 现代表面工程技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2000.
- [4] 钱苗根, 姚寿山, 张小宗. 现代表面技术[M]. 北京:机械工业出版社, 1999.
- [5] 郭汉卿. 稀土元素对高温耐磨堆焊合金性能影响的研究[J]. 焊接技术, 1997(2), 27 - 28.
- [6] 洪永昌, 冯安华, 庆华, 等. 稀土元素对奥氏体基堆焊条堆焊层金属组织与性能的影响[J]. 焊接技术, 1998(4), 5 - 7.
- [7] 杨庆祥, 苑辉, 廖波, 等. 稀土氧化物对堆焊金属抗开裂性能的影响[J]. 中国稀土学报, 1999, 17(3): 240 - 243.
- [8] 王新洪, 邹增大, 曲仕尧, 等. 稀土在金属陶瓷/铜基金复合堆焊材料中的变质作用[J]. 焊接学报, 2002, 23(1):49 - 52.
- [9] 门志慧, 陈学定. YJ 系列油浆泵内腔及叶轮的表面喷焊强化[J]. 焊接, 2002(7):32 - 34.
- [10] 赵卫民. 氟化稀土对镍基喷焊层耐腐蚀性能的影响[J]. 石油大学学报, 1999, 23(2):69 - 70.
- [11] 姚军, 王彩玲, 梁文心. 稀土 Ni - WC 喷焊层组织和耐磨性的研究[J]. 内蒙古工业大学学报, 2000, 19(1):40 - 43.
- [12] 洪永昌, 刘开升. 纳米 Y_2O_3 对 Ni - WC 基合金喷焊层组织和耐磨性的影响[J]. 中国稀土学报, 2004, 22(4):488 - 492.
- [13] 张振宇, 王智平, 梁补女, 等. 含稀土油浆泵耐磨涂层合金粉体材料的研究[J]. 粉末冶金技术, 2006, 24(2):98 - 101.
- [14] 王昆林, 张庆波, 朱允明, 等. La_2O_3 对镍基合金激光熔覆层耐蚀性的影响[J]. 中国腐蚀与防护学报, 1998, 18(3):237 - 240.
- [15] 潘应君, 许伯藩, 张细菊, 等. 稀土在激光熔覆金属陶瓷复合层中的行为[J]. 武汉科技大学学报, 2003, 26(1):8 - 10.
- [16] 王玉林, 沈德久, 廖波. 稀土在激光熔覆镍基自熔合金中的作用[J]. 应用激光, 2003, 23(3):139 - 140.
- [17] 郑永生, 张瑜瑾, 程德才, 等. 抽油泵泵筒内表面渗硼组织与性能研究[J]. 石油机械, 2000, 28(6):15 - 17.
- [18] 王丽凤, 姜华, 李应生. 稀土元素对渗硼过程的催化作用[J]. 机械工程师, 1996(3):33 - 34.
- [19] 许伯藩, 张文峰, 张全萍, 等. 低温稀土硼共渗研究[J]. 武汉科技大学学报, 2000, 23(1):18 - 21.
- [20] 黄拿灿, 胡社军. 稀土化学热处理与稀土材料表面改性[J]. 稀土, 2003, 24(3):59 - 63.
- [21] 刘铁虎, 王毅坚. 氧化稀土对 Ni - P 化学镀层及其复合镀层耐磨性的影响[J]. 化工机械, 1999, 26(5): 257 - 259.
- [22] 刘铁虎, 王毅坚, 孙东. 氧化稀土对 Ni - P 化学镀及其复合镀工艺及镀层组织成分的影响[J]. 化工机械, 1999, 26(4):211 - 214.
- [23] 孙雅茹, 于锦, 周凯. 稀土元素在化学镀 Ni - P 中的作用的研究[J]. 沈阳工业大学学报, 2001, 23(4):292 - 294.
- [24] 严密, 张小星. 镱对镍磷合金化学镀组织和抗腐蚀性能的影响[J]. 稀有金属, 2005, 29(3):285 - 288.

(责任编辑 张文涛)