

研究报告

Al₂O₃ - M_xO_y 硬面陶瓷涂层的喷焊 制备及性能研究

王 飏, 王宇栋, 李慧玲, 张自华

(昆明理工大学机电学院, 昆明 650051)

[摘要] 在碳钢母材上, 用氧乙炔焰喷焊镍包铝合金粉末制取预涂层, 喷焊 50% Al₂O₃ + 50% Ni 的复合粉末制取过渡层, 用等离子喷焊 Al₂O₃ - M_xO_y 复合粉末制取最终涂层。在质量分数为 60% 的硫酸与磷矿粉组成的混合介质 (质量比为 6:4) 中运转, 所获得涂层的抗腐抗磨能力为 18-8 不锈钢的 7.46 倍, 为德产 316L 不锈钢的 4.06 倍。

[关键词] Al₂O₃ - M_xO_y; 涂层; 等离子; 抗腐蚀; 抗磨损

[中图分类号] TB333 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742 (2002) 09-0075-06

引言

在现代工业和技术中, 对抗腐蚀、抗磨损和抗高温性能均优的材料需求日趋迫切。例如在磷化学工业中, 混合化成搅拌桨的叶片, 输送磷化工中间产品的化工泵叶轮以及输送物料的管道, 均同时遭受着浓硫酸的腐蚀和磷矿粉的磨损。腐蚀和磨损互相促进, 加速了构件的失效过程, 加上较高的工作介质温度, 使材料的腐蚀和磨损进一步加剧。虽然目前使用优质不锈钢 (如 316L, 317L) 或碳钢衬胶, 或碳钢涂抗腐蚀涂料作为上述化工过程的抗腐抗磨材料, 但效果仍不理想, 因为衬胶在 80℃ 的介质温度下, 连续工作两个月左右便会局部脱粘起壳, 即便是进口衬胶设备, 连续工作 4~5 个月便严重损坏, 需更换。常用的抗腐抗磨涂料为辉绿岩粉, 这类涂层因与基材结合不牢, 而自身又未经烧结, 因此连续工作一个月左右便严重损坏需换新件。在制硫酸、化肥、石油化工等生产过程中, 也存在类似的腐蚀磨损联合作用问题。

在金属材料领域里, 很难研制出成本较低, 抗腐抗磨性能均理想的材料。抗腐蚀性较优的金属或合金, 常常抗磨性能较差 (如钛材和 316L 或 317L

不锈钢等); 而硬度较高、抗磨性较优的金属或合金, 常常抗腐性能较差 (如硬质合金或钢结硬质合金等)。多数氧化物或氮碳化物的整体陶瓷材料是抗腐蚀和抗磨损性兼优的材料, 但整体陶瓷材料的脆性和抗疲劳性能差, 对应力集中与裂纹的敏感性等是其致命的弱点, 使得陶瓷至今仍不能广泛地用作机械结构材料。然而由陶瓷与金属合成的金属基硬面陶瓷复材, 却是一类理想的高性能抗腐抗磨新材料, 它保留了金属材料的强韧性和易成形加工等优点, 也保留了陶瓷的抗腐抗磨性兼优的特点, 这类材料及其制品正逐渐发展成复合材料的一个重要分支。特别是氧化铝硬面陶瓷复材, 它不仅成本较低, 而且氧化铝硬面层具有理想的抗腐抗磨性能。

制取氧化铝硬面涂层可用 PCVD 法, 溶胶-凝胶法及等离子喷涂法。但 PCVD 法和溶胶-凝胶法合成的 Al₂O₃ 硬面层不仅厚度薄 (前者厚约 3~6 μm, 后者仅为 0.5~1.0 μm), 而且与基材的结合力较弱。笔者的试验表明, 在矿浆式固液介质中高速运转, PVD 的 Al₂O₃ 涂层, 仅 10 h 左右涂层便大部分脱落。因此, 在强酸和高浓度矿砂的混合介质中运转的构件, 采用等离子喷涂 (焊) 法较

为合理。等离子喷涂 Al_2O_3 粉末, 制取硬面涂层, 国内外均有较多的研究报道^[1~5], 但这些研究的共同点均为等离子喷涂 Al_2O_3 粉末制取涂层, 并着重于提高抗磨性, 因在喷涂所获得的陶瓷硬面层内, 孔隙度较高 (一般在 12%~15% 之间^[6]), 喷涂所获得的硬面涂层抗磨性能较优, 而抗腐蚀性则较差。为研制适用于类似前述工作环境的硬面陶瓷复材, 笔者采用了等离子喷焊法, 即在喷涂结束后再加一次彻底的等离子火焰扫描熔融, 使陶瓷硬面层完成液相烧结过程, 使硬面层的致密度增加, 孔隙度从 15% 左右降到 5% 以下, 从而不仅使硬面层具有优良的抗磨性, 而且也具有优良的抗强酸腐蚀性。同时, 为了使陶瓷硬面层较好地完成液相烧

结, 采用了与前人研究不同的 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$, 喷焊粉末成分 (其中 M 代表 Si, Ti, Mg 等元素)。这类粉末具有足够数量的低熔点成分, 使硬面层在低于母材熔点的温度下完成液相烧结。

1 试验结果与分析

1.1 涂层试样制备

基材采用 150 mm×75 mm×6 mm 的 A3 钢板材, 并按图 1 所示的工艺流程制备涂层。为了降低复材的生产成本, 喷焊预涂层和过渡层均采用人工氧乙炔喷焊法。预涂层的主要成分是镍包铝易熔合金粉末, 过渡层的主要成分是 50% 镍粉 + 50% Al_2O_3 粉末, 粒度为 0.125~0.04 mm。

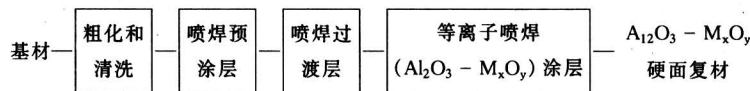


图 1 制取 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ 硬面层的工艺流程图

Fig.1 Flow sheet preparing $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ hard-faced coating

1.2 影响涂层结合的主要因素

由于 Al_2O_3 与基材 (碳钢) 相互的润湿性差, 膨胀系数又相差很大, 因此 Al_2O_3 涂层与基材钢要形成牢固的面间结合是相当困难的。但是, 在涂层设计和喷焊粉末的成分以及喷焊工艺都合理时, 上述润湿性和膨胀系数与结合力的矛盾是可以得到解决的, 两者间的牢固结合仍然是可能的。试验表明, 涂层设计、喷焊粉末成分和喷焊工艺不仅是影响硬面层与基材结合是否良好的主要因素, 也是影响硬面层性能的主要因素。

1.2.1 硬面层的设计 硬面层的设计是否合理是陶瓷层能否与金属基材结合牢固的首要因素。图 2 给出了 4 种涂层设计方案, 其中 C_1 和 C_2 两种设计经喷焊后, $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ 涂层与基材 (碳钢) 不能结合, 在冷却过程中, 自动剥离。 C_3 设计经喷焊后, 涂层与基材冷却后能结合, 但结合仍不够牢固, 经过 48 h 快速腐蚀磨损后, 尖角部位的涂层已少部分脱离基材。 C_4 设计经喷焊后, $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ 涂层与基材形成良好结合, 涂层的表面已较平整, 经 48 h 的快速腐蚀磨损后, 涂层无脱落。

1.2.2 涂层的合理成分 喷涂于钢母材上的陶瓷粉末, 只有完成烧结后, 才能达到致密化, 使涂层的孔隙率减少, 并能阻止腐蚀液体穿过涂层去腐蚀母材。此外, 只有完成烧结后, 涂层内粉末之间和

			$\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$
	$\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$	Ni + Al_2O_3	$\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$
$\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$	Ni (Al)	Ni (Al)	Ni (Al)
A ₃ Steel	A ₃ Steel	A ₃ Steel	A ₃ Steel
C_1	C_2	C_3	C_4

图 2 硬面涂层设计示意图

Fig.2 Schematic diagram of hard-faced coating

涂层与基材之间才能实现良好的结合。然而喷涂于母材钢上的涂层若全是 Al_2O_3 是很难实现烧结的, 因为 Al_2O_3 的熔点为 2 053 °C, 只有在 1 900 °C 以上, Al_2O_3 才能实现固相烧结, 但在这样的高温下, 母材钢已完全熔化。因此, 为了在使母材钢不熔化的前提下实现涂层的烧结, 必须在喷涂的 Al_2O_3 粉末中加入适量的 SiO_2 , TiO_2 , MgO 等成分, 以便降低混合粉末涂层的熔点, 使涂层在喷焊表层熔融阶段, 实现液相烧结。据 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2 - \text{SiO}_2$ 三元系相图^[7], 当 $\text{SiO}_2 : \text{TiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \approx 25 : 75$ 时, 三元系将在 1 480 °C 时便出现液相, 实际上喷涂粉末中还有 MgO 及其他氧化物成分, 因此, 出现液相的温度将低于 1 480 °C。所以, 由上述多成分氧化物所组成的复合粉末涂层, 可在使母材钢不熔化的前提下, 在喷焊的熔融阶段实现液相烧结。

试验结果显示,合理的复合粉末成分为 Al_2O_3 :
 TiO_2 : SiO_2 :其他=100:80:40:15。试验表明,
 在此较合理的成分下, $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ 涂层将在确保
 母材钢不熔化的前提下,实现液相烧结。氧化镁的
 加入除具有降低 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ 涂层液相烧结温度
 的作用外,还有改善涂层组织和性能的作用。据文
 献 [8] 的研究结果,不含氧化镁的液相烧结氧化
 铝,其晶粒是各向异性的,并出现小晶面;而有
 MgO 存在时,获得的氧化铝晶粒度是均匀的。此
 外,氧化镁还具有改善氧化铝中硅酸盐相润湿行
 为的作用,系统中有氧化镁存在时,会使 SiO_2 在
 氧化铝中的溶解度增加,晶介中 SiO_2 含量降低^[8]。
 加入 TiO_2 到喷焊粉末中,不仅对减少涂层的孔
 隙率,增加涂层的致密度有积极的作用,而且还具
 有改善涂层韧性和耐磨性的作用^[3]。

1.2.3 合理的喷焊工艺 用等离子喷涂法在母材
 钢上形成 Al_2O_3 涂层时, Al_2O_3 粉末只与母材形
 成 30%~35% 的结合^[9],同时涂层的孔隙度高达
 12%~15% 左右^[6],这样的结合强度满足不了上
 述介质磨损工况的要求。同时如此高的涂层孔隙
 度,也阻止不了强酸液体介质渗透穿过涂层去腐
 蚀基材。为了增强 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ 复合涂层与母
 材的结合力并减少涂层的孔隙度,在本项试验中,
 采取喷焊法制取 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ 涂层。在等离子
 喷涂结束后,增加一次等离子表层熔融,有十分重
 要的作用。表层熔融时,使涂层完成了液相烧结,
 不仅增强了涂层内部结合力,也增强了涂层与过
 渡层以及过渡层和预涂层与母材间的结合力,因
 为只有在表层熔融阶段,涂层与过渡层,过渡层
 与预涂层及预涂层与母材才真正实现较完全的
 冶金结合。同时在表层熔融阶段,涂层中形成了一
 定量的低共熔液相成分,这些液相成分充填了涂
 层中的孔洞和颗粒间隙,使涂层的孔隙度大幅
 度减少。等离子喷焊熔融阶段,接受等离子焰扫
 描的瞬间,涂层的温度大约为 1 250~1 300 ℃,
 因涂层导热性差,所以,基材低于此温度。

尽可能地降低喷涂复材的成本,是复材能否顺
 利推广应用的重要因素之一。因此在喷涂和熔融
 高熔点的最终涂层 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ 时,使用等离
 子火焰,而在喷涂熔点较低的预测层(镍包铝粉
 末)和过渡层时,使用成本较低的氧乙炔火焰。

1.3 涂层的微观分析

图 3 给出了喷焊 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ 涂层与母材的

断面低倍放大显微图片,从图中可知涂层的厚度
 约为 0.50 mm。图 4 给出了涂层平面的 SEM 二次
 电子中倍放大显微图片。从图 4 可见,经等离子
 弧高温短时加热过的单个氧化物陶瓷颗粒,靠等
 离子弧的高温使其软化并受高速喷射动能的作
 用,形成扁平状粘铺在基材上,与基材形成初步
 结合,相邻的扁平状陶瓷片间有一定的间隙,若
 这些间隙不能被随后喷上的陶瓷片充填,便成为
 孔隙的来源。图 5 (a) 给出了喷焊涂层断面的电
 子探针吸收电子图像,断面图中含有过渡层和表
 面涂层的区域,其中浅色的区域为以 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$
 或 Al_2O_3 为主要成分,深色的区域则为金属镍
 为主并含 Al_2O_3 的混合成分区域。图 5 (b), (c),
 (d), (e) 分别为涂层断面中氧、铝、钛、硅的
 微区分布图。从 (b)、(c) 两幅微区分布图可见,
 Al_2O_3 在最表层具有较均匀连续地分布,而在
 过渡层中则分布有疏有密, Al_2O_3 分布较疏
 的区域,则是金属镍分布较密的区域。由图 5
 (d) 和 (e) 还可看出, SiO_2 和 TiO_2 主要分
 布在最表层,而且其中的 TiO_2 在表层还具有
 连续性。 TiO_2 和 SiO_2 表层集中分布将有利

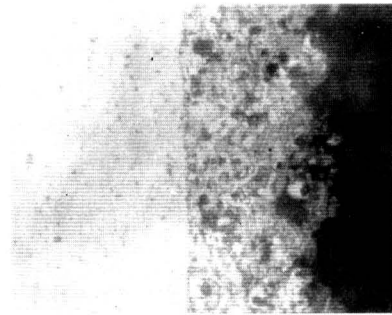


图 3 涂层的断面显微图 ($\times 50$)

Fig.3 Micrography of coating
 profile ($\times 50$)

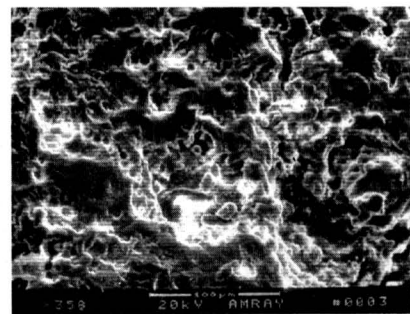


图 4 涂层的平面显微图 ($\times 358$)

Fig.4 Micrography of coating plane ($\times 358$)

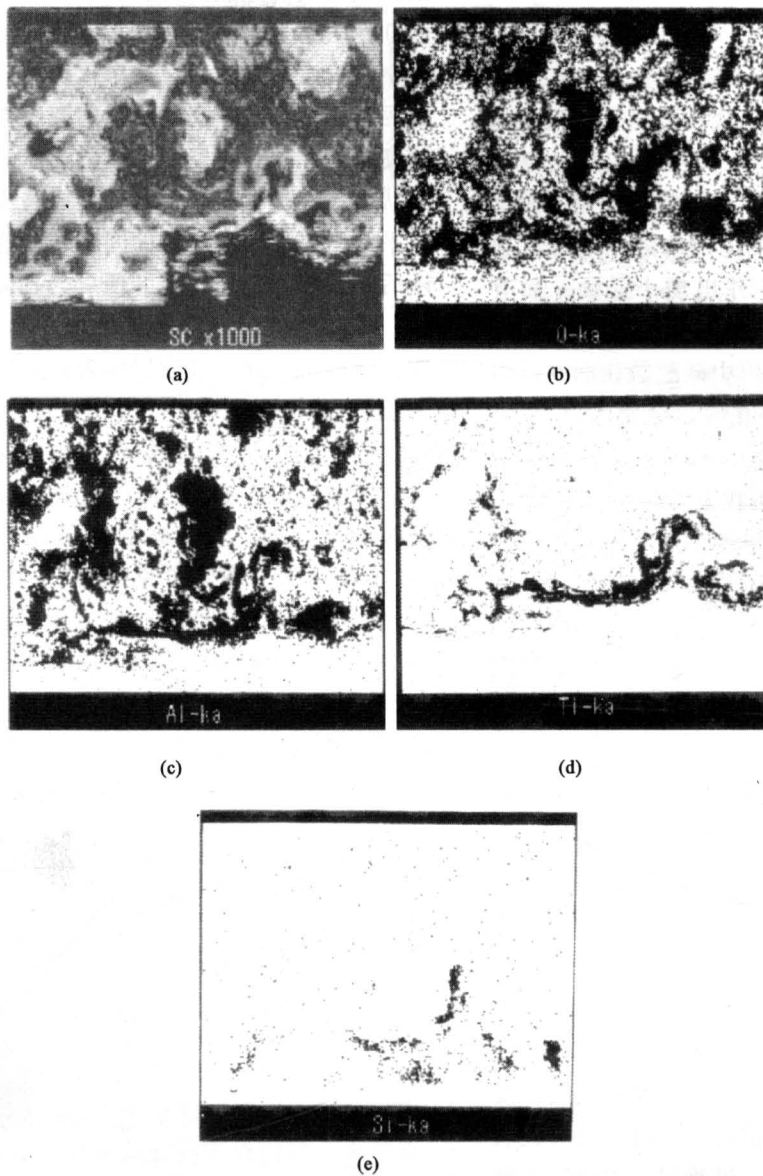


图5 由电子探针得出的 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ 涂层的元素分布

Fig.5 Element distribution of $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ coating from probe

于改善涂层的结构和性能。因为 TiO_2 和 SiO_2 与 Al_2O_3 在表层构成较低熔点的低共熔成分，在喷焊扫描熔融时，表层中的低共熔成分较易熔化。熔融的液相使涂层中的间隙和孔洞被封闭，这不仅增强了涂层的自身结合力，也将减少液体穿透涂层的孔洞和间隙的数量，从而使涂层的抗腐蚀和抗磨损能力增强。 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ 喷焊涂层的 X 射线衍射相分析指出，衍射峰最强的是 $\beta - \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ 复合物，其次是 $\beta - \text{Al}_2\text{O}_3$ 和 TiO_2 以及硅酸盐相；而在等离子喷涂时，并不出现 $\beta - \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ 复合物^[1-3]，

这表明在喷焊的熔融阶段，部分的 Al_2O_3 与 TiO_2 发生了高温化学反应，生成 $\beta - \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ 复合物。已有试验证明^[10]，在氧化物陶瓷涂层中发生这类微弱的化学反应，不仅有利于涂层致密度的提高和孔隙率的降低，而且还有利于陶瓷涂层自身结合强度的提高。

1.4 涂层的抗腐蚀性能检测

结果如图 6 所示，在碳钢母材上喷焊 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ 涂层后，复材的抗浓酸腐蚀性约为 18-8 不锈钢的 3.62 倍，为德国产 316L 不锈钢的 1.51 倍。

1.5 涂层的抗腐蚀磨损性能检测

结果如图 7 所示, 碳钢母材上喷焊 Al₂O₃ - M_xO_y 涂层后, 其抗腐蚀磨损性能有较大幅度的提高, 约为 18-8 不锈钢的 7.46 倍, 约为德国产 316L 不锈钢的 4.08 倍。

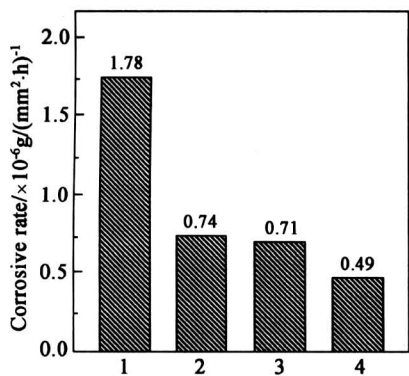


图 6 不同材料在 60% 浓硫酸中的动态腐蚀速率

1-18-8 不锈钢; 2-316L 不锈钢; 3-C₃ 涂层; 4-C₄ 涂层

Fig.6 Corrosive rate of concentrated sulphuric acid

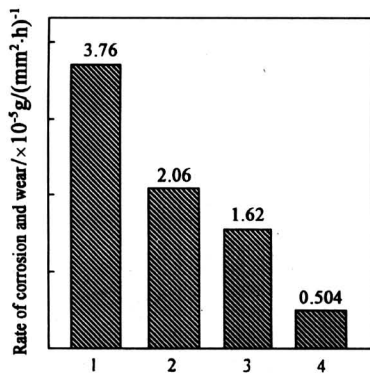


图 7 不同材料在浓硫酸: 磷矿粉 = 6: 4 介质中的动态腐蚀速率

1-18-8 不锈钢; 2-316L 不锈钢; 3-C₃ 涂层; 4-C₄ 涂层

Fig.7 Rate of corrosion and wear of different Material in th pulp of H₂SO₄ and phosphoric ore powder

比较图 6 和图 7 还可看出, 在同样的酸性介质中 (60% H₂SO₄), 当在介质中加入 40% 的固体颗粒 (磷矿粉) 时, 材料的腐蚀磨损速率要比不加固体颗粒的纯腐蚀速率高 10~28 倍。对 18-8 不锈钢高 21.72 倍, 对 316L 不锈钢高 27.83 倍, 而对 Al₂O₃ - M_xO_y 硬面复材而言, 仅高了 10.28 倍。从

这些结果也可看出, 喷焊形成的 Al₂O₃ - M_xO_y 硬面复材, 与金属相比不仅是较优的抗腐蚀材料, 而且是出色的抗腐抗磨材料。

1.6 涂层孔隙度测定结果

如表 1 所示, 可见, 用等离子喷涂法获得 Al₂O₃ - M_xO_y 涂层后, 再对涂层进行一次等离子火焰扫描熔融, 对提高涂层的致密度和减少孔隙度具有显著的作用。同时, 孔隙度的减少和致密度的提高, 对防止酸液透过涂层去腐蚀基材有很大作用。因此, 制取抗磨损涂层, 使用等离子喷涂法是可行的, 但制取抗腐蚀或抗腐抗磨涂层, 使用喷涂法是不行的, 必须采用喷焊法。

表 1 Al₂O₃ - M_xO_y 涂层的孔隙度

Table 1 Porosity of Al₂O₃ - M_xO_y coating

涂层	喷涂	喷涂熔融
孔隙度/%	13.214	4.59

1.7 涂层的硬度

使用 HX-1000 型显微硬度计测量涂层的硬度, 得到 Al₂O₃ - M_xO_y 涂层的硬度范围是 Hv 550~590, 而基材低碳钢的硬度为 Hv 300~330。

1.8 工业应用试验

年产重钙磷肥 12 × 10⁴ t 的某磷肥厂, 其混化搅拌桨的叶片尺寸为 400 mm × 100 mm × 16 mm, 由 A₃ 钢做成。用此叶片作母材, 除焊接面外, 其余 5 个面 (2 个正面, 3 个侧面) 均按图 2 中 C₄ 涂层设计, 喷焊 Al₂O₃ - M_xO_y 涂层, 连预涂层和过渡层在内, 涂层总厚度约为 0.6 mm。此涂层复材母材的一个小横切面作焊接面, 用特制的抗腐抗磨焊条把涂层叶片焊于混化搅拌桨轴上后, 投入磷肥生产运行。和该磷肥厂过去常用的两种叶片材料 (A₃ 钢涂辉绿岩粉和 A₃ 钢衬胶) 作比较, 所得结果为: A₃ 钢涂辉绿岩粉能连续工作 1 个月, 国内加工的 A₃ 钢衬胶能连续工作 3 个月左右, A₃ 钢母材上喷焊 Al₂O₃ - M_xO_y 后, 能连续工作 14 个月以上。

2 结语

在涂层设计、喷焊粉末成分和喷焊工艺均合理时, 可在碳钢母材上制取结合牢固和表面较平整的 Al₂O₃ - M_xO_y 陶瓷涂层。合理的涂层设计为用镍包铝易熔合金粉末作预涂层, 用 50% (Al₂O₃ + 50%

Ni) 的粉末作过渡层, 用 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ 复合粉末作最终涂层, 合理的粉末成分为 $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{TiO}_2 : \text{SiO}_2 : \text{其他} = 100 : 80 : 40 : 15$, 合理的喷焊工艺为氧乙炔焰喷焊预涂层和过渡层, 等离子焰喷焊 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ 最终涂层。

制得的 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ 涂层复材, 具有优良的抗腐蚀抗磨损性能, 在 60% 硫酸与磷矿粉混合介质中运转, 抗腐蚀磨损能力为 18 - 8 不锈钢的 7.46 倍, 为德产 316L 不锈钢的 4.06 倍; 在磷肥生产的混化搅拌桨叶片上试用, 连续工作寿命为碳钢衬胶的 4.6 倍左右, 约为碳钢涂辉绿岩粉的 14 倍。

在复材的合成工艺中, 喷涂后高温扫描熔融十分必要, 熔融后, $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ 涂层完成了液相烧结, 形成 $\beta - \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ 复合物, 使涂层的致密度增加, 孔隙率减少, 涂层内部的结合力增强。这些变化也是 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ 涂层获得优良抗腐抗磨性能的重要原因之一。

参考文献

- [1] 杨元政, 刘政义, 庄育智. 等离子喷涂 $\text{Al}_2\text{O}_3 + 13\% \text{TiO}_2$ 陶瓷涂层的组织及其耐磨性[J]. 功能材料, 2000, 31(4): 390~392
- [2] Yang Yuanzheng, Liu zhengyi, Zhuang Yuzhi. Influences of different coating designs on joint strength in plasma sprayed $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ coating[J]. Surf and Coat Technol, 1997, (89): 97~101
- [3] 任靖日, 金石三. $\text{Al}_2\text{O}_3 - 40\% \text{TiO}_2$ 和 Cr_2O_3 等离子喷涂层的摩擦磨损特性[J]. 摩擦学学报, 2000, 20(1)
- [4] Yan Dianran, He Jining, Li Xiangzhi, et al. An investigation of the corrosion behavior of Al_2O_3 ceramic coating in dilute HCl solution [J]. Surf and Coat Technol, 2001, (141): 1~6
- [5] Tanaka Y, Fukumoto M. Investigation of dominating factors on flattening behavior of plasma sprayed ceramic particles[J]. Surf and Coat Technol, 1999, (120, 121): 124~130
- [6] 李秀燕, 潘俊德. 金属基陶瓷涂层的制备和应用[J]. 国外金属热处理, 2000, 21(5)
- [7] Levin E M, Robbins C R, McMurdie H. Phase diagrams of ceramists [M]. by the American ceramic society, 4 th ed, 1979
- [8] Handwerker C A, Morris P A, Cobble R L, et al. Influences of additives on liquid phase sintering of Al_2O_3 [J]. J Am Cer Soc, 1989, (72): 130~136
- [9] 李长久, 大森明, 荒田吉明. 等离子喷涂 Al_2O_3 涂层内粒子间结合的研究[J]. 西安交通大学学报, 1994, 28(1): 5
- [10] 李荣久编. 陶瓷-金属复合材料[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995. 189~207

Spray Preparation, Microstructure and Properties of $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}$ Hard - Faced Ceramic Coating

Wang Biao, Wang Yudong, Li Huiling, Zhang Zihua

(Scientific and Technological University of Kunming, Kunming 650051, China)

[Abstract] On carbon steel substrate, base coating of nickel-coated aluminium and intermediate coating of 50% $\text{Al}_2\text{O}_3 + 50\% \text{Ni}$ were prepared by means of oxyacetylene spray, and final coating of $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ was prepared by means of plasma spray. In the fluid consisting of 60% (mass) sulphuric acid with 60% concentration, and 40% (mass) phosphoric ore powder, the $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$ coating resistance to corrosion and wear, is 7.46 times as strong as 18 - 8 stainless steel and is 4.06 times as strong as 316L stainless steel.

[Key words] $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{M}_x\text{O}_y$; coating; plasma; resistance to corrosion, resistance to wear.