

# 关注陶瓷材料在汽车上的热喷涂新技术

肖九梅

(湖北武汉化工材料公司,武汉 430055)

**摘 要:**陶瓷材料热喷涂是一项具有广泛实用性的新型表面处理和表面强化的专业技术,具有许多金属材料无法比拟的优异性能,所以发展迅速,在许多领域发挥了越来越重要的作用。目前已在汽车及其他许多领域中成功应用,其技术的开发有着非常广阔的前景。针对陶瓷材料的热喷涂新技术展露头角,介绍了陶瓷涂料的热喷涂技术及其工艺特点,分析了全新的陶瓷涂料及纳米陶瓷涂料的性能,研究了热喷涂工艺种类、特性和适用范围,同时指出了陶瓷热喷涂技术在汽车上的应用前景。

**关键词:**陶瓷材料;汽车应用;热喷涂技术;工艺性能

**doi:**10.16253/j.cnki.37-1226/tq.2015.01.005

涂料是一类与国民经济和国防工业各部门配套的重要工程材料,是指涂布于物体表面在一定的条件下能形成薄膜而起保护、装潢或其他特殊功能(绝缘、防锈、防霉、耐热等)的一类液体或固体材料。陶瓷涂料相对于传统陶瓷烧结、搪瓷烧制工艺而言,可低温成釉、节约能源,且成品合格率大幅提高。陶瓷涂料是绿色环保节能型高性能涂料,应用于汽车、地铁及高铁站台装饰项目中,并逐步向建筑幕墙领域开拓陶瓷涂料。

## 1 陶瓷材料的热喷涂新技术展露头角

由于陶瓷材料具有较高的硬度、耐热性、化学稳定性和较低的摩擦系数,因而在工业领域得到了广泛的应用。新技术、新工艺的兴起和发展推动了陶瓷材料性能的完善和提高,工程陶瓷材料受到人们愈来愈多的关注。陶瓷涂层是一种工艺技术。它采用多种工艺方法在金属基体表面上沉积陶瓷涂层,用这种方法制造出来的复合材料既具有陶瓷的耐高温、耐磨、耐蚀的特性,同时又具备金属材料的强韧性、可加工性和导电导热特性。

据媒体报道,在第十二届中国西部国际装备制造博览会期间,一种超强防腐、耐高温、寿命长,且可常温固化的新材料——银圭纳米陶瓷涂料引起了观众的兴趣。由青岛银圭新材料科技

有限公司自主研发的这种陶瓷涂料,在国际上率先解决了工业防腐过程中必需加温固化的技术难题。据介绍,陶瓷涂料耐高温、耐强酸强碱、绝缘、寿命长、强度高,是理想的防护涂料。但传统陶瓷涂料喷涂工艺复杂,需在 $200\sim 900^{\circ}\text{C}$ 条件下高温固化,且涂层表面出现的崩裂等瑕疵无法修补,不但加大了施工难度,也增加了施工能耗及加工成本,严重限制了陶瓷涂料的应用和发展。在陶瓷涂料基础上研发的纯无机水溶性纳米涂料,它既保持了陶瓷涂料固有的各种特性,还实现了常温固化、易修复、寿命长等传统陶瓷产品难以企及的梦想。采用该涂料进行设备防腐处理时,可到现场进行喷涂,不用在高温条件下施工,解决了长期以来困扰防腐工业的需加温固化的技术难题,这在全世界也无先例。银圭陶瓷涂料系纯无机产品,在 $1200^{\circ}\text{C}$ 以上仍保持稳定的耐腐蚀性,同时在遇火时不燃烧,不会产生有毒气体,也不会发生变色,可以替代各种防火涂料。由于该涂料表面结合了阴离子,因此在超长时间对于环境变化和紫外线都有抵抗力,不会发生变色变形、光泽度降低等现象。此外,该涂料的柔韧性也非常好,喷涂在 $0.2\text{mm}$ 厚的铝铂上可随意弯折,涂层不开裂不脱落。据悉,该陶瓷涂料可广泛应用于汽车、化工、石化、新能源、船舶、军工、桥梁、家电等行业的防腐。它对浓硫酸、浓硝酸、盐酸和强碱具有优异的抗酸碱特性,特别

适用于化工设备的内部防腐,即使是在烟囱里,喷涂厚度也仅需几十微米。

近年来,广泛应用于航天技术中的陶瓷薄膜喷涂技术开始应用于汽车上,这种技术采用等离子喷涂工艺可涂覆三氧化锆、碳化钛和二氧化钛等陶瓷,获得1mm以内的耐久涂层。对发动机的耐高温部件涂上一层高温陶瓷,既能保持金属材料的固有强度和韧性,又具有耐高温特点,热效果好、能承受高温高压、工艺成熟、质量稳定。为达到低散热目标,可对发动机燃烧室部件进行陶瓷喷涂,如活塞顶喷氧化锆,在气缸套、活塞环工作表面喷涂陶瓷镀层可提高耐磨性和使用寿命。利用此技术还可使发动机进气孔道表面的耐热能力从1200℃提高到1700℃。经过这种处理的发动机可以降低散热损失、减轻发动机自身质量、减小发动机尺寸、减少燃油消耗量。

## 2 陶瓷涂料的热喷涂技术及其工艺特点

众所周知,除少数贵金属外,金属材料会与周围介质发生化学反应和电化学反应而遭受腐蚀。此外,金属表面受各种机械作用而引起的磨损也极为严重,大量的金属构件因腐蚀和磨损而失效,造成极大的浪费和损失。据统计,每年钢材因腐蚀和磨损而造成的损失约占钢材总产量的10%,损失金额约占国民生产总值的2%~4%。如果将因金属腐蚀和磨损而造成的停工、停产和相应引起的工伤、失火、爆炸事故等损失统计在内的话,其数值更加惊人。

机械零件和钢结构的破坏多自表面开始,诸如腐蚀、氧化、磨损以及热疲劳破坏的发生。因此,采用涂层技术对表面实行保护,可使部件寿命大幅度延长,这比采用整体材料既经济又方便。此外,涂层技术还可赋予材料新的功能,主要有红外辐射、化学催化、生物相容等等。因此,发展金属表面防护和强化技术,是各国普遍关心的重大课题。涂层技术是一种量大面广、效果显著的材料保护和表面改性方法,应给予高度重视。随着现代科学技术和现代工业的发展,汽车

工业越来越多地要求机械车辆能在高参数(高温、高压、高速度和高度自动化)和恶劣的工况条件(如严重的磨损和腐蚀)下长期稳定的运行,因此,对材料的性能也提出更高要求,而且往往是要要求材料兼备多种性能,比如要求材料具备足够强度的同时,还要求材料具备有耐腐蚀性、耐磨性或耐热性和隔热性等等。热喷涂技术就是为适应这些要求而逐步发展起来的。

采用高性能的高级材料制造机械车辆及零件以获得表面防护和强化的效果,显然是不经济的,有时甚至是不可能的。所以,研究和发 展材料的表面处理技术就具有重大的技术和经济意义。而表面处理技术也在这种需求的推动下获得了飞速的发展和提高。热喷涂技术就是这种表面防护和强化的技术之一,是表面工程中一门重要的学科。热喷涂技术是一种表面强化技术,它可以在普通材料表面形成具有特殊性能的涂层,获得各种特殊性能的涂层,从而使制品表面获得各种特殊性能。此外,由于机械零件在长期运行中磨损、腐蚀,或因加工超差等原因而造成许多贵重零部件报废也可以通过热喷涂技术方便、有效地予以修复。

所谓热喷涂,就是利用某种热源,如电弧、等离子弧、燃烧火焰等将粉末状或丝状的金属和非金属涂层材料加热到熔融或半熔融状态,然后借助焰流本身的动力或外加的高速气流雾化并以一定的速度喷射到经过预处理的基体材料表面,与基体材料结合而形成具有各种功能的表面覆盖涂层的一种技术。热喷涂方法有多种,按其使用的热源来分,有气体火焰喷涂、电弧喷涂、高频电热喷涂、等离子射流喷涂、爆炸喷涂等,最近还出现了激光喷涂。按喷涂材料的形态来分,有熔线式喷涂、熔棒式喷涂和粉末喷涂。其中气体火焰喷涂的材料可以是线材,也可以是棒材或粉末,电弧喷涂和高频喷涂均用金属线材材料,而等离子喷涂和爆炸喷涂一般均用粉末材料,激光喷涂也是采用粉末材料。无论那一种热喷涂方法,都是在材料表面形成一层所需功能的表面层。因此基于这点,热喷涂技术也是一种表面处理技术。但它与其它表面处理技术相比,又有许多自

身的特点,从而逐步形成一门独立的应用技术。

热喷涂法的适应范围广,不仅适用于金属制品,也适用于非金属制品,如陶瓷制品等,均能在其表面形成涂层。一般来说,凡经加热能呈熔融状态或塑性状态的任何固体工程材料,无论是金属、陶瓷、玻璃或塑材均可作为喷涂材料,而且还可以根据需要将各种材料混合或制成复合材料,使所得到的涂层满足各类特殊要求。目前已经能够较方便地获得耐磨、耐腐蚀、耐高温、隔热、绝缘、导电、防辐射、密封等性能的涂层。几乎不受尺寸和几何形状的限制,只要喷射束能到达的部位,都可以进行喷涂。能形成比任何一种表面处理厚得多的涂层,其厚度可由0.05mm至几毫米,有的材料则不限厚度。

陶瓷通常是指各种氧化物、硼化物、硅化物、碳化物的总称,它们的熔点都很高,大多在2000℃以上,化学稳定性良好。其中氧化物应用较多,它们在氧化性气氛中有优良的化学稳定性,熔点很高,还具有很好的耐磨性和电绝缘性能。因而多作为耐高温、耐隔热、绝缘、耐磨、耐腐蚀涂层。应用较多的氧化物陶瓷有氧化铝、氧化镁、氧化钛、氧化铬、氧化锆等。金属碳化物的熔点比其化合物中金属元素的熔点高,在高温下有良好的机械性能,所以适宜于耐热涂层。几乎所有碳化物都是电和热的良导体。典型的碳化物是碳化钨,它还具有很高的硬度,因而有良好的耐磨性,常用于机械密封和要求耐磨的轴颈等。其它陶瓷也都可作为热喷涂材料。所有陶瓷都有一个共同的缺点,就是材料没有延展性,硬而脆,因此不可能制成线材,绝大多数是以粉末材料出现,也有将其制成棒材用于熔棒式喷涂的。

热喷涂技术具有以下一些特点:由于热源的温度范围很宽,因而可喷涂的涂层材料几乎包括所有固态工程材料,如金属、合金、陶瓷、金属陶瓷、塑料以及由它们组成的复合物等。因而能赋予基体以各种功能(如耐磨、耐蚀、耐高温、抗氧化、绝缘、隔热等)的表面。能有机地把金属材料的强韧性、可加工性、导电导热性等和陶瓷材料的耐高温、高耐磨、高耐蚀等特点结合起来,发挥

两类材料的综合优势,同时满足机械产品对结构性能(强度、韧性等)和环境性能(耐磨、耐蚀、耐高温等)的需要,获得相当理想的复合材料结构。

能够用于制备陶瓷涂层的材料品种多,它们包括:各种氧化物和复合氧化物、碳化物、硼化物、氮化物和硅化物以及金属陶瓷;陶瓷和陶瓷、陶瓷和金属、陶瓷和塑料等材料,亦可进行组合。用作整体结构材料的陶瓷,目前还仅有碳化硅、氮化硅、稳定化氧化锆等少数几个品种。

能够在多种基体材质上制备陶瓷涂层,基体可以是各种金属(如钢、铸铁、铝、钛、铜、钼、钨等难熔金属),陶瓷、水泥、耐火材料、石料及石膏等无机材料,塑料和有机材料以及木材、纸板等,几乎所有的固体材料都可作为基体,其性能均可通过喷涂陶瓷涂层加以改善。制造陶瓷复合粉末的方法有熔炼—破碎法、烧结法、团聚或喷雾干燥法、包覆法、化学反应共沉积法、溶—胶法、团聚等离子体球化法、自蔓延法等,能够配制多种组分和配比的陶瓷复合粉末,调整涂层成分比较容易。陶瓷涂层厚度一般在几十微米到几毫米之间,加之陶瓷材料密度较小,因而物耗少,物流量小,但附加值却很高。如火箭用钨喷管,喷涂陶瓷涂层后,其使用寿命提高上百倍;高压泵柱塞表面喷涂0.3~0.5mm厚的陶瓷涂层,其使用寿命比惯用的镀硬铬柱塞提高6倍。

能够在薄壁件、空心件和异形件表面喷涂陶瓷涂层,也可实现制品局部喷涂陶瓷涂层强化。容易与原有金属加工的工装条件结合,实行企业的技术改造。喷涂陶瓷涂层的产品可以是短、小、轻、薄的制品,如氧探测器、固体燃料电池等;也可以是重型、大型制品,如大型液压缸用超大型陶瓷涂覆活塞杆,长达16m,重达10t以上。既可在热喷涂工厂内施工,也可在现场施工。热喷涂技术沉积陶瓷涂层的沉积速率比PVD、CVD、电火花沉积等要快,通常为2~5kg/h。采用水稳等离子喷涂 $Al_2O_3$ ,沉积速率可高达55kg/h,涂层厚度可达20mm。而微束等离子喷涂,其厚度仅有十几微米。采用电脑控制的超细粉末送粉器,能够将涂层厚度误差控制在 $10\mu m$ 左右。陶瓷涂层的可加工性好,且涂层损坏后,金属基体

还可再使用,再喷涂陶瓷涂层。

随着热喷涂应用要求的提高和领域的扩大,特别是喷涂技术本身的进步,如喷涂设备的日益高能和精良,涂层材料品种的逐渐增多、性能逐渐提高,热喷涂技术获得了飞速的发展,不但应用领域大为扩展,而且该技术已由早期的制备一般的防护涂层发展到制备各种功能涂层;由单个工件的维修发展到大批的产品制造;由单一的涂层制备发展到包括产品失效分析、表面预处理、涂层材料和设备的研制、选择,涂层系统设计和涂层后加工在内的喷涂系统工程;成为材料表面科学领域中一个十分活跃的学科。并且在现代工业中逐渐形成象铸、锻、焊和热处理那样的独立的材料加工技术。成为汽车工业部门节约贵重材料、节约能源、提高产品质量、延长产品使用寿命、降低成本、提高工效的重要的工艺手段,在国民经济的各个领域内得到越来越广泛的应用。

### 3 全新的陶瓷涂料及纳米陶瓷涂料的性能

传统的涂料就是人们通常所熟知的“油漆”,这类涂料都是有机涂料,在此基础上发展起来的合成树脂涂料仍是有机涂料。大多数有机涂料在生产过程中都使用了一些对人体和环境有害的原材料,在生产过程中还会排放出有害的废水和气体,甚至在施工后的一段时间内还会释放出有害气体。大都数有机涂料都是易燃物质,且暴露于自然环境下人容易发生降解反应。这些涂料在焚烧或降解后最终生成大量的“温室效应”气体二氧化碳。涂料工业对环境的不良影响主要表现在两个方面。一是涂料工业向大气中排放有机挥发物(VOC)。这种VOC主要来源除有机溶剂外,还有成膜物质中的挥发性有机物,即游离单体,一般数量较少。二是涂料在生产过程中消耗了大量不可再生资源资源。鉴于传统涂料工业对环境所带来的不良影响,世界各国纷纷制定了严厉的环保法规来限制工业废水、废气和废渣的排放,逐步淘汰一些对环境和人体有害的原材料已经是势所必然。为了减少涂料工业对

环境的影响,降低VOC排放量并能够满足环保法规的新型涂料,包括水性涂料、高固体分涂料、无溶剂液体树脂涂料、粉末涂料和辐射固化涂料等。陶瓷涂料与任何传统的合成树脂有机涂料都不同,是一种全新的水性无机涂料。它是纳米无机化合物为主要成份,涂装后通过低温加热方式固化,形成性能和陶瓷相似的涂膜。

纳米耐高温陶瓷粉涂层材料是一种通过化学反应而形成耐高温陶瓷涂层的材料。以水为介质的高效保温纳米陶瓷粉末涂料和重防腐纳米陶瓷涂料,在高温环境下具有优异的隔热保温效果,不脱落、不燃烧,耐水、防潮,无毒、对环境没有污染。测验证明,将几厘米厚的纳米陶瓷粉末涂料涂在热力管道外,就能有效防止热力向外扩散;涂料涂在炼钢厂等高温炉内,能使炉外表温度控制在 $50^{\circ}\text{C}$ 以内,适用于汽车、冶金、化工工业电厂的热力锅炉及焦化煤气等热力设备和热力管网等高温设备的防腐、炉外降温。而用于腐蚀条件恶劣环境中的重防腐纳米陶瓷涂料,则能有效防护航标灯座、船舶、石油化工设施和各类贮罐、桥梁、桥墩、铁路涵洞、钻井设备、海上油田等设施以及强酸、强碱等生产设备的外表面,在较长时间内防止强酸碱、盐雾、冻融、霉菌等的浸渍。由于纳米无机类陶瓷材料化学性稳定、微细且具高度的流动性、流平性及渗透性,几乎可运用于各种材料表面及填补表面之针孔及育孔以达到高密着密封性及防腐功能,耐候性特佳。陶瓷态保护涂层因纳米的表面效应及其界面特性使被加工物表面具备纳米莲叶效应,使水、油及其它液体产生高张力悬浮在表面纳米凸点上并迅速排离表面,降低液态物质驻留在表面的机会及时间,达到极佳的防水疏水疏油性能。同时可将表面存留的灰尘带离,展现抗污自洁性。纳米无机类陶瓷保护涂层是由高稳定态的纳米无机氧化物类陶瓷材料组成,该类纳米材料本身硬度很高成膜后,相对密度很高,整体表面硬度约在6H以上,耐磨性表现突出。纳米无机氧化物类陶瓷材料其破坏温度约在 $800\sim 980^{\circ}\text{C}$ ,成膜后的耐温约为 $400\sim 600^{\circ}\text{C}$ 之间,可因应需求调整配方使其耐温达 $800^{\circ}\text{C}$ 左右。

纳米无机类陶瓷材料是一种紫外线吸收材料,固具有很好的抗紫外线性。由于材质稳定不易质变,故可以因需求添加其它功能需求的纳米材料以扩大功能。如抗电磁波、抗菌、防霉等等。由于纳米无机氧化物类陶瓷材料是一种高介电材料,所以具有良好的抗静电性能。应用于金属或金属镀层表面,此纳米薄层可防止表面氧化、绝缘、抗静电、防水、防尘、高硬度、耐磨且有不沾自洁效果。金属极易有表面氧化现象,一般处理方式不外乎惰性金属镀层保护及表面涂装保护两种,但惰性金属电镀之表面只是氧化速率较慢一样会有氧化现象,而表面涂装一般为有机树脂成份,其物性、化性会因树脂成份不同而受限制且都须高温聚合及繁杂工序才有保护作用,无法维持金属特有知光泽。

#### 4 热喷涂工艺种类、特性和适用范围

陶瓷热喷涂是指以陶瓷为喷涂材料的热喷涂方法,是在金属材料热喷涂的基础上发展起来的。陶瓷热喷涂的相当一部分是用来制备耐磨涂层,在耐粘着磨损、耐磨粒磨损、耐纤维磨损、耐微振磨损等诸多方面发挥作用。当相同或相似的金属相之间接触并相对运动时,很容易产生粘着磨损,而当两表面的材料硬度相当大时,则不易产生粘着磨损。所以在一个金属表面喷涂陶瓷涂层,就可以很好地解决粘着磨损。

在众多的涂层技术中,热喷涂技术占有显著的地位。80年代初期,低压等离子喷涂和高速火焰喷涂技术的出现,使热喷涂技术形成了一个完善的体系得到了飞速发展。

在热喷涂过程中,粉末或丝状材料经高温熔融,形成液体或液体加固体的微粒。以较高的速度碰撞于基体材料表面,形成具有不同功能的涂层材料。热喷涂工艺主要有火焰喷涂、电弧喷涂和等离子喷涂三种,它们的工艺特性和适用范围分述如下:

火焰喷涂主要是利用氧—乙炔燃烧产生高温火焰,将喷涂材料熔融,再利用周围压缩空气

使熔融材料或微粒喷射黏附于基材表面。由于燃烧气体的温度限制,喷涂材料的熔点一般低于 $2500^{\circ}\text{C}$ 。火焰喷涂方法比较简单,设备也不复杂,因此在工业上被广泛应用。

电弧喷涂以金属丝作为喷涂材料的电弧喷涂与其他的热喷涂方法有很大的不同,它是由两根作为喷涂材料而不断被消耗的载流金属丝短路,产生连续电弧而使金属丝端部熔融,用高速冷空气射流使熔化的金属丝端部雾化溅射到基材表面。冷喷涂是电弧喷涂的一个特点,即喷涂时不会提高基体表面的温度。另外,喷涂效率也比线材火焰喷涂提高 $2\sim 6$ 倍。电弧喷涂成本低,约为火焰喷涂的 $1/10$ ,设备投资为等离子喷涂的 $1/3$ ,但它只用来喷涂金属丝材,应用受到一定的限制。

等离子喷涂是热喷涂技术中最为重要的一种。利用直流电弧放电,把高温加热的氩气、氮气、氦气等气体部分电离成离子束,在电弧放电部位四周强制流过低温气体,产生热收缩效应,使电弧放电部位断面缩小,导致能量密度和电流密度升高,最高温度可达 $20000^{\circ}\text{C}$ 。由于等离子喷涂温度高,气氛可控制,可以用来喷涂各类高熔点的金属、氧化物和其他各种材料。

热喷涂涂层材料的性能:由于热喷涂技术的工艺手段很多,所以喷涂材料的选择范围很广。从塑料、低熔点金属,到难熔金属、陶瓷及其混合物。任何一种具有稳定液态的材料,至少可以用其中一种方法喷涂。同时,热喷涂涂层材料性能各不相同。热喷涂涂层具有耐摩擦和润滑、热保护、抗氧化、抗腐蚀、导电和电绝缘、化学催化、复合材料制备及部件修复等功能。耐磨涂层是热喷涂技术的最大应用方面,通常具有高硬度、低气孔率、坚韧、与基体结合力强等优点。采用合适的组分,还可以减少摩擦。主要的喷涂材料有镍基合金和钴基合金、碳化物、硼化物、氧化物等。汽车零部件中的同步齿环和活塞环,通常采用火焰喷涂钨涂层。

## 5 陶瓷热喷涂技术在汽车上的应用前景

由于陶瓷涂层具有许多金属材料无法比拟的优异性能,所以发展迅速,在许多领域发挥了越来越重要的作用。上世纪80年代,日本开发出小型车用陶瓷绝热发动机,引起了全世界的关注。陶瓷是金属元素和非金属元素组成的晶体或非晶体化合物。它和金属材料、高分子聚合物材料一起,构成固态工程材料的三大支柱。现代已将金属陶瓷、其他无机非金属材料统归入陶瓷范畴,成为品种、功能极多的一个材料大家族。陶瓷材料多具有离子键和共价键结构,键能高,原子间结合力强,表面自由能低,原子间距小,堆积致密,无自由电子运动。这些特性赋予了陶瓷材料高熔点、高硬度、高刚度、高化学稳定性、高绝缘绝热能力、热导率低、热膨胀系数小、摩擦系数小、无延展性等鲜明特征。应用新型陶瓷复合粉末,采用热喷涂技术特别是等离子喷涂技术,在金属基体上制备陶瓷涂层,能把陶瓷材料的特点和金属材料的特点有机地结合起来,获得复合材料结构及制品,正成为当代复合材料及制品高科技领域的一个重要分枝。80年代以来,其应用领域遍及能源、交通、冶金等工业部门,成效显著。据报道,美国在90年代,陶瓷涂层的应用年增长率在12%以上。这表明,在先进国家,陶瓷涂层高科技技术将成为新世纪的一个新兴产业。

热喷涂技术是一种广泛应用于材料表面强化、表面防护、表面修复和表面装饰的应用技术,它可在各种固体工程材料表面,喷涂各种金属及合金、工程陶瓷、工程塑料以及由以上材料形成的复合材料,并能形成牢固的结合层,从而使制品表面获得耐磨、耐蚀、耐高温、抗氧化、隔热、导热、绝缘、导电、辐射、防辐射、低摩擦、防咬合、密封、增大化学反应有效面积等等特殊性能。机械零件在运行过程中,因磨损、腐蚀,或在加工过程中超差,均可采用热喷涂技术予以修复。运用热喷涂技术可达到提高制品使用寿命、节省贵重材料、节约能源、修旧利废以及装饰美化等目的。

热喷涂技术是材料表面强化和保护的新技术,在金属和非金属表面采用不同的喷涂方法,可喷涂金属、合金、陶瓷、复合陶瓷、塑料等涂层,达到防腐、耐磨、抗高温、耐氧化、隔热、绝缘、导电、微波吸收等多种功能。可以使报废了的零部件“起死回生”,使新的零部件“益寿延年”,从而实现节约能源、节约材料的目的。

为了提高汽车的性能,减少汽车的能耗和适应环保要求,热喷涂技术在汽车制造行业有了较大的发展。由于汽车工业属大工业化生产,一个成熟的工艺技术,往往形成的批量生产是很可观的。目前已形成批量产品的有同步环、活塞环,发动机的气门挺杆以及氧敏传感器探头等部件的热喷涂。先进的陶瓷材料因其有着较高的强度和化学稳定性,被越来越多的用于汽车工业。然而,较差的韧性和抗热震性能限制了先进陶瓷材料的广泛使用。将新型的纳米材料制备技术与陶瓷增韧机理和材料微合金化改性机理相结合,最终得到纳米颗粒增强的纳米三维网络骨架结构的热喷涂氧化物陶瓷涂层。与普通的热喷涂氧化物陶瓷涂层相比,这种新型的纳米结构陶瓷涂层具有十分优异的耐磨抗蚀性能、抗热震性能和强韧性能。热喷涂氧化物陶瓷涂层技术可应用于汽车的各种机械零部件。诸如活塞、活塞环、汽缸体、阀杆、液压支柱、轴瓦、销子、凸轮、凸杆、涡轮机部件等。还可以衍生出更多的使用纳米结构陶瓷材料和涂层,如纳米碳化物、纳米氮化物材料和涂层。热喷涂纳米结构陶瓷涂层具有十分优异的强韧性能、耐磨抗蚀性能和抗热震性能。

除了上述之外,还有各种轴类零部件如汽车曲轴、电机转子轴、空压机、拖拉机、制冷机曲轴及船用曲轴等磨损后的修复;各类热压、冷冲、拉伸、热挤热锻、热冲、注射、压铸、橡胶模、塑料膜等模具的修复。热喷涂耐磨涂层用于机械修复往往比新品更为耐用。

热喷涂陶瓷和金属陶瓷涂层,不仅具有高的硬度,优异的耐磨性;而且摩擦系数低,能耗小;对密封填料的磨损小,涂层硬度和耐磨性不因局部过热而降低。因此在抗衡腐蚀磨损领域,热

喷涂涂层正成为电镀硬铬技术强有力的竞争者和取代者。液压油缸活塞杆,采用等离子喷涂  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$  陶瓷涂层代替镀硬铬,可达到高质量,长寿命,免维修。各种液压活塞杆柱塞、轴磨环、电枢轴头、磨床轴、活塞环、凸轮随动件等,原用镀铬制品均可用热喷涂涂层取代。从而避免由镀铬带来的铬水污染。用热喷涂方法制备整体成型零件产品是一种快速喷涂制造方法。其特点在于根据产品特点要求调整选择和选配不同性能的喷涂材料灵活制备,具有独特的优势。

制造各种高熔点氧化物陶瓷成型产品,可采用水稳等离子喷涂和高能等离子喷涂技术进行。典型的方法之一是:对金属模表面进行轻微喷砂处理后,在喷镀一层脱模剂薄涂层,然后喷涂陶瓷涂层到达一定厚度,成型后的制品只需溶到脱模剂即可获得净尺寸工件。

随着科学技术的飞速发展,在未来的汽车制造业中将会有更多的特种陶瓷、智能陶瓷制品热喷涂被引入和采用到汽车上,而且一定会在汽车生产中得到广泛的应用。

## 6 结束语

陶瓷热喷涂是一项具有广泛实用性的新型

表面处理和表面强化的专业技术。热喷涂陶瓷涂层因其优良的化学稳定性而具有几乎其他各类材料均无法比拟的耐蚀性;因陶瓷材料的高熔点而具有能耐上千度高温的耐热性,陶瓷材的高硬度颗粒相而具有远优于硬质合金的耐磨性,而且,不同的选材还可以满足特定的功能要求,如隔热、电绝缘、半导体、防微波辐射等等。热喷涂技术种类齐全,使用方便,涂层材料变化无穷,可根据不同的要求进行选择,是节约原材料,提高工作效率的重要途径,既可为新兴工业服务,又可为传统工业技术的改造服务。目前已在汽车及其他许多领域中成功应用,发挥越来越重要的作用,其技术的开发有着非常广阔的前景。

### 参考文献

- [1] 王海军. 热喷涂材料及应用. 北京:国防工业出版社,2008.
- [2] 李辉. 热喷涂科学与工程. 北京:机械工业出版社,2011.
- [3] 张凤营,马跃进. 热喷涂技术及其在汽车行业中的应用. 热加工工艺,2007,19.
- [4] 刘英凯,江斌,辛俊峰,等. 离子喷涂陶瓷涂层的现状与应用. 山东陶瓷,2009,1.

## Focus on Ceramic Materials in the Automotive Technology of Thermal Spraying

*Xiao Jiumei*

(Wuhan Chemical Materials Company, Wuhan 430055)

**Abstract:** Thermal spraying is a ceramic material with a wide range of practical new surface treatment and surface hardening of expertise, with many metallic materials can not match the excellent performance, so the rapid development in many areas, an increasingly important role played. Has been in the automotive and other successful applications in many areas, and its technology development has a very broad prospects. Spraying of ceramic materials for new technologies expose Tau Kok, introduced ceramic thermal spray coating technology and its technical characteristics of a new nano-ceramic coating ceramic coating and the performance of the thermal spraying process types, characteristics and scope, while that the ceramic thermal spray technology in the car on the application.

**Keywords:** ceramic materials; automotive applications; thermal spray technology; process performance