# 表面技术在模具修复中的应用进展

郭小燕,张津,张叶成,孙智富
(重庆工学院材料科学与工程学院,重庆 400050)

[摘 要] 各种模具因为反复使用之后均会存在不同程度的磨损,有时存在刮伤、腐蚀,往往因局部表面失效而弃之,从而造成极大的资源浪费。为此,可以针对不同的模具失效方式和相应的表面处理技术对其失效模具进行修复再利用。基于此目的,综合介绍了目前用于模具修复的几种表面技术及其特点和应用,包括堆焊修复技术、热喷焊修复技术、电刷镀修复技术、激光熔覆修复技术和电火花修复技术。指出应用表面技术修复失效的模具,可显著延长其使用寿命,且不同的失效形式需选用相应的修复方法,才能使修复后的模具性能达到最佳。

[关键词] 模具;修复;失效;表面处理;使用寿命
[中图分类号]TG174.4 [文献标识码]A [文章编号]1001-3660(2007)06-0070-04

# Surface Technology Application and Development in Mould and Die Repairing

*GUO Xiao-yan, ZHANG Jin, ZHAGN Ye-cheng, SUN Zhi-fu*
(College of Materials Science and Engneering, Chongqing Institute of Technology, Chongqing 400050, China)

[**Abstract**] All kinds of mould and dies are often failure due to be wore, scrathed and corrosioned after being used for a while. And they would become waste steel because of surface local failure, which resulted in a great amount of resoure waste. However, some of failure mould and dies could be repaired by corrosponding surface treatment. Thus some kinds of surface technologies used to repair failure mould and dies were described, including build-up welding, thermal spray welding, brush electric-plating, laser cladding and electric spark. Their characteristics and applications were also involved in. It is indicated that tools life would be well prolonged after failure mould and die were repaired. In order to obtain optimal properties, appropriate technologies should be chosen according to surface specific failure.

[**Key words**] Mould and die; Repairing; Failure; Surface treatment; Service life

## 0 引 言

模具正向着多种类、大型化、高性能、高精度的方向发展,加工成本也在不断上涨,采用适当的方法延长模具的使用寿命、降低成本、节约资源,已经是摆在模具业面前的一个重要问题。运用表面技术对模具进行修复是延长模具寿命的一种新型的有效方法,它是指运用各种表面技术,对因表面失效而至报废的模具进行修复,使之“起死回生”,重新投入使用的技术,也叫模具再制造技术。修复后的模具,性能不但达到而且超过了新制模具的技术指标,同时还对模具起到了强化作用,大大延长了模具的使用寿命。

模具的表面修复技术是随着模具向大型化、精密化、长寿命的发展趋势而发展的,是表面技术新的应用领域,目前在模具修复中常用的表面技术有:堆焊修复技术、热喷涂和热喷焊修复技术、电刷镀修复技术、激光熔覆修复技术和电火花修复技术。

[收稿日期]2007-05-10
[基金项目]重庆市科技攻关重点项目子项目(CSTC.2005AA3012-1)
[作者简介]郭小燕(1979-),女,山西长治人,在读硕士,研究方向为表面工程。

## 1 模具的堆焊修复技术

最早用于模具修复的表面技术是堆焊技术,它是指用焊接方法在模具受损区域堆覆一层或数层具有一定性能材料的工艺过程,目的是使修复模具达到使用要求,并在修复区域获得具有耐磨、耐热、耐蚀等特殊性能的熔覆层。堆焊多是以延长设备或零件的使用寿命为目的。据统计,用于修复旧零件的合金量占堆焊合金总量的72.2%[1]。

模具堆焊修复技术主要有火焰堆焊、电弧堆焊、电渣堆焊、等离子堆焊和激光堆焊。各种堆焊修复方法的工艺特点及在模具修复中的应用情况见表1。

### 1.1 模具的堆焊修复技术特点

1) 修复层较厚,经多层堆焊,可达到厘米级。适用于模具受损较严重或超差较大的表层,如较深的沟槽、严重磨损的刃口、崩刃、大的裂纹、塌陷、冲头的断裂等失效形式。

2) 失效部位可重复修复,如运用双金属堆焊技术[2]对锻造用切边模可重复修复达30多次。

3) 设备简便,自动化程度较高,可现场修复。

4) 焊前需对基体的修复部位开槽或打坡口,不适宜对薄而精密的模具进行修复。

表 1　各种模具堆焊修复工艺特点及应用[1]

Table 1 The characteristic and application of all kinds of the build-up welding technology

| 堆焊方法 | 火焰堆焊 | 电弧堆焊 | 电渣堆焊 | 等离子堆焊 | 激光堆焊 |
|---|---|---|---|---|---|
| 热源 | 氧-乙炔 | 电弧 | 电极 | 等离子弧 | 激光 |
| 设备 | 简单、灵活易操作 | 简单灵活，易操作 | 专用设备，成本较低 | 设备成本高，噪声大 | 简单灵活，成本高 |
| 堆焊材料类型 | 碳化钨堆焊合金 | 丝状、管状电极焊丝 | 带状电极焊丝 | 铸条状电极焊丝 | Ni 基 Co 基合金粉末 |
| 稀释率/% | 1～10 | 10～40 | 10～14 | 5～15 | 2～8 |
| 最小堆焊厚度/mm | 0.8 | 2.4～3.2 | 10～14 | 0.8～2.4 | |
| 熔覆速度/($kg \cdot h^{-1}$) | 0.5～6.8 | 0.5～11.3 | 15～75 | 0.5～6.8 | 高 |
| 自动化程度及批量生产能力 | 低 | 低 | 较高 | 低 | 高 |
| 适用范围及要求 | 模具中冲头、剪刀或冲模等有边棱区域的修复 | 堆焊材料与基材是导体，工件形状不限，适合表面的沟槽、微裂纹等小区域或形状不规则区域的修复 | 堆焊材料与基材是导体，需要较厚的堆焊层，适合失效区域形状简单、面积较大的模具的修复 | 失效区域面积不受限制，不适于长、薄、精密模具 | 深宽比为 5:1～10:1 的深孔，长、微型模具的修复 |
| 应用 | 冲裁模 | 冲裁模、热锻模、压铸模、切边模 | 热锻模、压铸模 | 塑料模 | 堆焊合金可匹配的各种模具 |

5）堆焊高硬度合金时，为减少应力，防止开裂，须采用打底焊法。

6）稀释率较高，热影响区大，焊后易产生翻泡、气孔、夹渣、未焊透、疏松、裂纹、硬度不均、焊道成形不良等缺陷，易引起模具基体变形。

7）修复模具的范围受堆焊金属焊条形状限制较多。

### 1.2　堆焊技术在模具修复中的应用

随着堆焊技术的发展，可修复的模具的范围不断扩大，从最初的因崩刃、切裂而失效的冲裁模、切边模到因塌陷、堆塌、龟裂的热锻模、压铸模，因圆角、钝边、划痕、凹坑、气孔、沙眼、磨损等原因失效的模具也可修复，特别是激光堆焊技术，对难以解决的深孔修复具有优良的效果。堆焊修复是目前模具修复技术中应用最广泛的技术，已在国内外取得了显著的经济效益。对经激光堆焊和氩弧焊的 H13 钢的性能进行了对比研究[2]，结果表明激光堆焊可以得到晶粒细小、稀释率低、热影响区窄的堆焊层，且硬度提高 1.5 倍。堆焊修复技术在模具修复中的应用见表 2。

表 2　模具堆焊修复工艺的应用[3-7]

Table 2 The application of the build-up welding technology in tools repairing

| 模具名称 | 基体材料 | 失效形式 | 堆焊合金 | 修复效果 |
|---|---|---|---|---|
| 横梁剖切模 | T8 | 崩刃 | | 寿命增加 |
| 切边模 | Cr12MoV | 刃口磨损 | | 寿命提高 1～2 倍 |
| 注塑模 | | 磨损 | Cr18Ni9Ti | 节约成本，效果良好 |
| 修边模 | 42CrMo | 崩刃 | 5W8Cr5Mo2V | 焊层无脱落，寿命提高 |
| 曲轴锻模 | 5Cr2NiMoVSi | | | 节约成本 25 万元 |
| 热锻模 | 5CrMnMo | 6～10mm 裂纹 | H10Mn2-Si CrMnMo | 寿命提高 1 倍 |

## 2　模具的激光熔覆修复技术

模具激光熔覆修复技术是指以不同的填料方式在经过预处理的模具失效区域放置所选择的材料，经激光辐照后使之以极快的速度和基体表面一薄层同时熔化，并快速凝固后形成稀释度极低、与基体呈冶金结合的表面涂层。根据熔覆的金属材料，可使修复后的模具具有比原来模具更优异的表面硬度、耐磨性、红硬性、抗冷热疲劳等性能。

模具激光熔覆修复工艺的特点及其应用如下：

1）加热和冷却速度快（104～106℃/s），畸变较小，涂层稀释率低（一般为 2%～8%），热影响区小，可选区熔覆，层深和层宽可通过调整激光熔覆工艺参数进行精密控制，且后续加工量小，因此可对模具的表面或局部损伤区域，如磨损、沟槽、划痕、蚀坑、剥蚀等进行修复，不会引起基体热变形。

2）可准确定位光束，对难以接近的区域进行修复，如孔腔、窄缝、盲孔、小的台面等部位。

3）可在模具的特殊要求区域得到具有特殊性能的修复层，不但修复了模具表面，同时对模具表面进行了强化。如对冲裁模的刃口部位进行修复，可得到高硬度、高耐磨性和一定韧性的修复层；对拉拔模的工作带部位进行修复，可得到高耐磨性、高硬度和良好抗咬合性的涂层。在 H13 钢表面激光堆焊耐磨合金层[8]，并对基体性能进行研究，表明表面耐磨性可比基体 H13 钢提高 149%。

4）修复层与基体结合强度高，获得的修复层组织均匀、结构致密、无开裂、无气孔、无夹杂、性能优良、外观平整、使用时无脱落，特别适合小型、复杂、长、薄、精密模具的修复，如塑料制品、电子元器件等复杂型腔模的修复，修复后模具的二次寿命较原来的寿命有大幅提高。如长春工业大学[9]利用激光熔覆技术对热辊锻模具进行修复，在表面熔覆 Co 基合金 + WC 材料后，模具寿命提高 5 倍以上，产品质量也随之提高。又如在 5CrMnMo 热锻模上熔覆 Ni60 镍基合金粉末材料[10]，熔覆层厚度 1～2mm，可以得到较理想表面质量的修复层。

模具激光熔覆修复工艺是新兴的交叉表面处理技术，与其相关的熔覆材料、熔覆工艺和机理以及熔覆带的搭接和熔覆层裂纹等问题都有待进一步研究，并且激光熔覆技术因其一次投资较高，运行成本较高，目前在模具修复中的应用还处于起步阶段。但由于激光熔覆技术独特的优点，可与其它表面技术结合，修复一般技术较难修复的模具。随着大型精密模具的发展和对模具寿命要求的提高，其在模具修复行业中的应用必将扩大。

## 3 热喷焊模具修复技术

热喷焊方法是采用氧-乙炔火焰作为热源,通过喷枪将合金粉末加热到熔融或半熔融状态,并以高速喷向预热后的模具表面,形成喷焊层,再将喷焊层加热重熔,如此反复直至喷焊层达到预定的厚度。热喷焊设备一般为氧-乙炔焰喷焊设备。常用于模具修复上的热喷焊合金有 Ni 基和 Co 基自熔性合金粉末。

因热喷焊层与基体呈冶金结合,满足模具工作条件对表面的要求,修复后模具的寿命可大幅提高,如山西某兵工厂[11]的炮弹拉延模,采用热喷焊工艺后,模具寿命提高了 5 ~6 倍;北京 211 厂应用热喷焊工艺后,模具寿命提高了 3 ~5 倍。

### 3.1 热喷焊模具修复技术的特点

1) 喷焊合金为粉末状,不受形状和导电问题的限制,沉积率高。

2) 每小时最多可以喷涂 10kg,在修复工艺中仅次于电弧修复;可喷焊薄层,也可喷焊厚层。

3) 喷焊层的硬度较堆焊层高,可达到 HRC65;稀释率较低,表面精度较高,加工余量小,不易出现气孔、夹渣、咬边、棱角塌陷等缺陷。

4) 对模具的可焊性无要求,可热喷焊修复铸铁模具。

5) 设备简单,操作方便,工艺灵活,可对模具进行现场修复,且修复速度快,投资小,运行费用低。

6) 热影响较大,对薄壁或尺寸较小的模具存在热变形现象。因此,要求修复的模具为比较大型的模具,待修复表面或型腔形状简单;喷焊的表面积不受限制,修复层厚度小于堆焊修复层。

7) 对小孔、深孔的修复存在一定困难。

8) 热喷焊前一般需要根据修复的区域大小和模具材料,对模具进行适当的预热处理、预喷处理,焊后需选择合适的冷却工艺,否则易出现喷焊层剥落、开裂和聚缩等缺陷。

9) 喷焊层硬度较高,后续加工时对刀具的要求高。

10) 热喷焊工艺操作环境差,有粉尘和噪音。

### 3.2 热喷焊模具修复技术的应用

目前热喷焊技术对损伤深度在 3mm 以内因磨损、拉伤、裂纹、龟裂、粘接瘤引起的失效模具的修复效果显著,如因磨损失效的拉延模;型面发生磨损的压铸模;产生粘接瘤和拉伤的翻边模、冲裁模;龟裂、氧化、有腐蚀层的热锻模、玻璃模和塑料模等,且这些模具常为大、中型模具,用热喷焊工艺修复后对精度无影响。热喷焊模具修复工艺的应用如表 3 所示。

表 3 热喷焊模具修复工艺的应用[12-14]

Table 3 The application of the thermal spray welding technology in tools repairing

| 模具名称 | 基体材料 | 失效原因 | 热喷焊自熔合金 | 修复效果 |
|---|---|---|---|---|
| 发动机油盘凹模 | | 裂纹 | Ni 基合金粉末 | 无起皱,无拉毛,寿命由几十件延长到 3 千件 |
| 大梁成形模具 | 7CrSiMnMoV | 0.2 ~0.3mm 深的凹坑 | NiCr60A | 寿命由 2 千件提高到 10 万件 |
| 镜片压制模 | QT420-10 稀土球墨铸铁 | 氧化、拉伤、压塌 | NiCr-12 | 模具成本从 13090 元/年降低到 2120 元/年 |
| 热锻模 | 3Cr2W8V | 氧化脱碳 | Ni45、Ni60、Co-02 | Co-02 喷熔层的疲劳寿命约为 Ni60 的 2 倍、Ni45 的 1.5 倍 |

## 4 模具电刷镀修复工艺

电刷镀工艺是电镀的一种特殊方法,它是依靠 1 个与阳极接触的垫或刷提供电镀需要的电解液,电镀时,垫或刷在被镀的阴极上移动。电刷镀方法在修复方面的发展很快,目前在工程车辆、航空、机械、电子、建筑、船舶、石油等各行各业得到了广泛的应用,在模具修复领域的应用近年来也发展得很快。

常用的电刷镀工艺是:电净→活化→打底层→刷镀→镀后处理。随着电刷镀技术的发展,工艺正向复合化发展,如与激光技术结合的激光电刷镀,与减摩技术、钎焊技术、离子注入技术、计算机工程、粘涂技术等结合形成复合镀层。用堆焊 + 电刷镀技术[15]修复 1 套二手组合(上、中、下三体)模具。该模具约 30% 的工作表面存在着剥落、划沟、气孔、崩损等缺陷,先用堆焊技术进行打底修复,再用电刷镀强化,使模具的性能和尺寸达到生产要求,使用 3 年后,仍正常工作。

### 4.1 电刷镀工艺的特点

1) 镀层性能好,结合优于热喷涂,可满足受静载荷的模具的修复要求,如因磨损、拉伤等浅层失效的拉延模、拉伸模、挤压模、压铸模,修复后无孔隙,不剥落。不宜用于承受动载的模具的修复。

2) 镀液种类多,无毒,不污染环境,可回收利用,能适用不同性能的要求。如在塑料模型腔工作面刷镀 1 层金合金[16],既可防止盐酸对模具的腐蚀,又可降低物料与模面间的粘附。

3) 刷镀在低温(50℃以下)进行,且沉积速度快,对工件无热影响,不会引起变形;镀前不需进行开槽、打坡口等可能引起基体二次损伤的加工。

4) 表面精度高,不产生气孔、夹渣等缺陷,对尺寸的控制能力优于其它模具修复工艺,部分情况下可免除镀后加工。

5) 设备小型,轻便灵活,便于移动,成本低,投资小,能源消耗小(电压在 0 ~30V,最高 50V),工艺简单,可对工件进行现场不拆卸修复。

6) 电刷镀技术对于小面积、局部区域的失效和深度在 1mm 以下的凹坑,具有优异的修复效果,但是对于连续镀层、面积较大的损伤和深孔的修复效果不好。

7) 电刷镀修复自动化程度不高,劳动强度大,不适宜批量修复。

### 4.2 电刷镀模具修复技术的应用

电刷镀模具修复技术可对一些大型、不易搬动的模具进行现场不拆卸修复,大大缩短修复周期,修复费用一般只占工件成本的 0.5% ~2%,而且修复后表面的耐磨性、硬度、表面粗糙度

等不但能达到原来的性能指标,而且能起到表面强化的作用。将电刷镀技术应用于模具,可使汽车零件(如曲轴、连杆、齿轮等)的热锻模寿命提高 20% ~100%。电刷镀也可大幅度提高冷作模具的寿命。采用非晶态电刷镀层,可使各种冷热模具的使用寿命进一步提高 50% ~200%。表 4 是模具应用电刷镀技术修复的实例。

表 4　电刷镀技术在模具修复中的应用[17-19]

Table 4 The application of the brush electric-plating technology in tools repairing

| 模具名称 | 模具材料 | 失效形式 | 镀液 | 修复效果 |
|---|---|---|---|---|
| 平叉右侧板拉伸模 | Zn 基合金 | 磨损 | 快速镍 | 镀前硬度 HB120 ~130,镀后硬度 HV800 ~1000 |
| 热锻模 | 5CrNiMo | 磨损 | 镍磷合金 | 寿命提高 1 ~2 倍,粘模现象减少 |
| 氧化锌电阻片成形模 | Cr12 型 | 磨损、配合间隙大 | 镍钨合金 | 每年节约 70 万元人民币 |
| 连杆盖模 | 3Cr2W8V | | | 寿命提高 54.5% |
| 齿轮模具 | 5CrMnMo | | | 寿命提高 81% |
| 切边模 | Cr12 | | | 寿命提高 80% |
| 塑料儿童椅大型模具 | | 表面电镀层局部脱落 | | 无明显接痕,无起皮 |
| 啤酒周转箱模具 | | 型芯磨损、飞边 | | 节约成本 5.8 万元,节约时间 2 个多月 |
| 注塑模 | T10 | 划伤,粘模 | Ni-P 纳米复合镀液 | 原寿命 4 万件,现 11 万件,提高 1.75 倍 |

## 5　模具电火花修复技术

电火花模具修复技术是利用电火花堆焊设备在需修复的模具表面沉积金属,利用电弧放电将电极材料转移并堆积到工件表面。利用电火花技术可在模具失效表面沉积 1 层特殊合金,不但起到修复作用,还能起到强化作用。电火花修复技术对磨损、小气孔、小崩口等微量修复的效果较好。

利用电火花沉积技术[20]对因腐蚀产生气孔的 N 系列后立柱外板、全顺系列后立柱外板(中顶)的冲压模具进行修复,修复后工件无拉伤现象,且寿命提高,取得了良好的效果。对 1 副因磨损导致配合间隙增大的扼流圈山字形铁芯冲裁模[21]用电火花技术进行修复,修复材料为 YG8,修复后刃口处平均硬度值为 70HRC,寿命提高到 5 万件。对 HYK6700 型汽车底梁拉伸模进行修复,寿命也提高了几倍。

由于模具电火花修复技术采用急冷的方式冷却,使沉积层容易产生裂纹,且硬度很高,不利于后续加工整形。

## 6　结　论

运用表面技术对模具进行修复是延长模具寿命的一种重要手段,随着表面技术的发展,可用于修复的模具的范围也越来越广。从效率较低、修复质量不高的火焰堆焊修复技术发展到效率高、性能优良的激光堆焊技术,从单一的堆焊修复技术发展到电刷镀、热喷焊、激光熔覆、电火花等多种修复技术,同时几种技术的复合应用也在发展;可修复的失效形式多样化,从崩刃、塌陷、切裂等到窄缝、深孔、小台面、气孔、沙眼、微量磨损、局部剥落等形式,厚度也在减薄,从几十毫米到几微米的超差都可进行修复,减少了对基体的“二次损伤”。

随着模具使用范围的扩大,使用性能要求的提高,不论从节约资源、降低成本,还是从带来的附加社会效益来看,运用模具修复技术对加工超差和失效的模具进行修复都是模具制造业中不可缺少的一部分。随着我国对建设节约型社会政策的推进,模具表面修复技术必将更快地发展。

[参 考 文 献]

[1] 王娟. 表面堆焊与热喷涂技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004.45-50
[2] 谢颂京,陈生钻,姚建华. H13 钢激光堆焊与氩弧焊的组织和性能对比研究[J]. 激光与光电子学进展,2003,40(9):46-48
[3] 胡仲翔,杨军伟,王占平. 序列脉冲微区点焊技术用于模具修复[J]. 现代制造,2002,(5):38-39
[4] 何柏林,于影霞. 修边模具堆焊工艺的研究[J]. 热加工工艺,2006,35(15):26-28
[5] 邢万民,胡志高,王明海. 焊接技术在模具修复中的应用[J]. 锻造与冲压,2006,(6):80
[6] 黄孝忠. 堆焊在模具修复中的应用[J]. 客车技术,1994,(1):39-40
[7] 常明,张庆茂,廖健宏,等. 塑料模具精密修复技术的评述及展望[J]. 金属热处理,2006,31(7):1-5
[8] 姚建华,方志民,陈智君,等. 热作模具钢表面激光堆焊耐磨合金层的研究[J]. 应用激光,2002,22(5):473-475
[9] 赵洪运. 辊锻模具表面送粉激光熔敷的陶瓷层的高温组织与性能[J]. 焊接学报,2002,23(5):12-14
[10] 李会山,杨洗陈,王云山,等. 模具的激光修复[J]. 金属热处理,2004,29(2):39-42
[11] 那树华. 热喷焊技术在模具修复上的应用[J]. 汽车工艺,1991,(2):25-28
[12] 袁智军. 金属热喷焊技术在模具修复中的应用[J]. 工具技术,2000,34(10):19-20
[13] 何东,马向阳. 镜片压制模具的热喷焊表面强化[J]. 模具工业,2001,(9):48-49
[14] 翟福宝,张质良,夏萼辉. 热喷熔技术在模具表面性能强化方面的研究[J]. 锻压技术,2000,25(5):55-57
[15] 毕丛学,王家生,张昕. 运用 GM-345OA 型工模具修复机和刷镀技术修复(强化)进口组合冷压模具的工艺研究[J]. 电刷镀技术,2000,(3):26-29
[16] 蒋美丽. 用电刷镀技术进行塑料模具的修复与保护[J]. 现代机械,2004,(1):52-53
[17] 张蓉,伍利群. 锌基合金模具表面的电刷镀技术[J]. 轻工机械,2005,23(1):86-88

(下转第 76 页)

能还尚处于研究阶段[24]。

### 1.7 胶粘技术

胶粘技术早在数千年前已有应用,我国早在秦、汉时代就有在箭羽、泥封和建筑上应用粘接技术的记录。粘结陶瓷涂层技术是指将结合剂和硬质陶瓷骨料按照适当比例混合起来,涂覆于清理好的金属基体表面,硬化后以获得具有所需性能的涂层。

刘志甫等人通过无机胶粘剂将铝合金同陶瓷涂层结合在一起,研究了调和比例、膨胀系数对拉剪强度的影响等[25]。结果表明:用无机胶粘接铝合金和陶瓷涂层可以得到 15.18MPa 以上的粘接强度;根据金属和陶瓷的表面情况选择适当的调和比,可以在一定程度上提高粘接作用。采用槽接的方式,用无机胶粘铝合金和陶瓷涂层,其膨胀系数的差异不对粘接强度产生重要影响。

## 2 铝合金陶瓷涂层的特点及应用前景

铝合金陶瓷涂层的特点是铝合金获得了整体陶瓷材料的优点,且成本较低。更为重要的是,用陶瓷涂层取代整体陶瓷材料,不仅减小了易碎的危险,而且不必修改原有的设计;陶瓷涂层具有不燃、抗油、抗有机溶剂、抗碱或酸、电绝缘性好等优点;铝合金表面涂覆陶瓷涂层后,其耐热性、耐蚀性、耐磨性、硬度均有一定程度的提高;铝合金与陶瓷涂层之间既有机械结合,也有化学结合,因此结合甚牢。

汽车制造大量使用的钢材,其耐腐蚀性能较差。目前,用于汽车轻质材料的有高强度钢板、铝合金、镁合金、复合材料等。而铝合金具有密度小、质量轻、成形加工性好、可重复回收利用等许多特点。铝合金的相对密度为钢的 1/3,用铝合金代替钢可减轻车重 35% 左右。由此可见,铝合金是实现运载工具轻量化最好的材料之一,但铝合金硬度低、耐磨性差的缺点制约了它在一些重要零部件上的应用。金属陶瓷涂层技术作为材料表面处理技术的重要手段,用极少量的材料起到很大量、昂贵的整体材料难以起到的作用,同时又极大地降低产品的加工成本,从而可达到提高产品质量、延长使用寿命、节约资源和能源的目的。故应进一步加大铝合金陶瓷技术的研究开发,不断研发新的涂层技术,丰富涂层品种,以扩大铝合金的应用,从而加快运载工具轻量化技术的发展,促进交通运输行业的发展。

[ 参 考 文 献 ]


[1] 孙国平,杨向明. 改善铸铝基体性能的热喷涂技术[J]. 铁道机车车辆工人,1997,26(5):28-29

[2] 赵文轸,苏勋加,王汉功. 铝表面激光融覆硬质合金层的结合强度[J]. 兵器材料科学与工程,1997,20(1):17-20

[3] Volz R. Laser deposition of carbide-reinforced coatings[J]. Surface and Coatings Technology,1991,49(2):40-45

[4] Sallamand P,Pelletier J M. Wear studies of variable composition seel-lite-TiC laser clad deposites[J]. Key Engineering Materials,1990,46(4):447-454

[5] Steen W M. Design characteristics and development of a nozzle for co-axial laser cladding [J]. Journal of Laser Applications,1998, 10(2): 55-63

[6] 高云震,任继嘉,宁福元. 铝合金表面处理[M]. 北京:冶金工业出版社,1991. 15-16

[7] 崔昌军,彭乔. 铝及铝合金的阳极氧化研究综述[J]. 全面腐蚀控制,2002,16(6):12-17

[8] 马胜利,井晓天. 铝及铝合金阳极氧化结构及其应用[J]. 兵器材料科学与工程,1998,21(4):54-57

[9] 杨旭江,姚茂年. 铝合金硬质阳极氧化工艺试验[J]. 材料保护,1996,29(5):36-37

[10] 张欣宇,石玉龙,阎凤英. 铝及其合金等离子微弧氧化技术[J]. 电镀与涂饰,2001,20(6):24-27

[11] 刘凤岭,骆更新,毛立信. 微弧氧化与材料表面陶瓷化[J]. 材料保护,1998,31(3):22-24

[12] 邓志威,薛文彬,来永春,等. 铝合金表面微弧氧化技术[J]. 材料保护,1996,29(2):15-16

[13] 薛文彬,邓志威,来永春,等. 铝合金微弧氧化陶瓷膜的形成过程及其特性[J]. 电镀与精饰,1996,18(5):3-6

[14] 邓志威,来永春,薛文彬,等. 微弧氧化材料表面陶瓷化机理的探讨[J]. 原子核物理评论,1997,14(3):193-195

[15] 薛文彬,邓志威,来永春,等. 铝合金微弧氧化过程中的能量转换的实验研究[J]. 表面技术,1997,26(3):21-23

[16] 孔庆山,尚久琦. 等离子体增强电化学表面陶瓷化技术[J]. 材料保护,1995,28(7):21-22

[17] 左洪波,郝相君,孔庆山,等. 一种新型表面改性技术——等离子体增强电化学表面陶瓷化(PECC)[J]. 中国表面工程,1999,12(2):38-40

[18] 薛文彬,来永春,邓志威,等. LY12 铝合金等离子体氧化陶瓷膜的相分布及显微硬度分析[J]. 材料科学与工艺,1999,7(2):18-20

[19] 刘兆晶,左洪波,束术军,等. 铝合金表面陶瓷膜层形成机理[J]. 中国有色金属学报,2000,10(6):859-863

[20] 曾庆冰,李效东,陆逸. 溶胶-凝胶法基本原理及其在陶瓷材料中的应用[J]. 高分子材料科学与工程,1998,14(2):138-143

[21] Masklski J, Gluszek J, Zabrzeski J. Improvement in corrosion resistance of the 3161 stainless steel by means of $Al_2O_3$ coatings deposited by the sol-gel method[J]. Thin Solid Films,1999,34(9):186-190

[22] Pierre A C. Porous sol-gel ceramic[J]. Ceramics International,1997,23(3):229-238

[23] Khobai M, Reynolds L B,Donley M S. A comparative evaluation of corrosion protection of sol-gel based coatings system[J]. Surface and Coatings Technology,2001,140(1):16-23

[24] 李浩群,邵天敏. 铝合金基体上 $Al_2O_3$ 基陶瓷涂层形成机理[J]. 清华大学学报,2000,40(4):92-95

[25] 刘志甫,徐晓伟. 用无机胶粘接金属和陶瓷[J]. 北京科技大学学报,1999,21(5):476-478


(上接第 73 页)


[18] 徐建, 黄海, 史小强, 等. 电刷镀技术在氧化锌电阻片成型模具修复中的应用[J]. 电瓷避雷器, 1999, (2): 40-43

[19] 梁志杰. 现代表面镀覆技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005. 489

[20] 何水云, 杨安. 电火花堆焊工艺在冲压模具维修上的应用[J]. 金属成形工艺, 2004, 22(3): 72,77

[21] 张蓉, 杨湘红. 用电火花强化工艺修复模具磨损表面[J]. 模具制造,2003, (3): 49-50