

■江苏浩瀚汽车标准件有限公司/张先鸣

零部件热处理与表面改性 新技术应用

汽车零部件生产技术向更安全、更舒适、更经济和更环保的方向发展。热处理是使产品获得强韧性、耐磨性以及抗疲劳性能的主要手段，热处理质量是产品实现可靠性、耐久性和安全性的重要保证。市场的竞争使企业更加重视产品的热处理品质，热处理与表面改性的技术进步和创新使企业更具有活力和内在动力。

迄今为止，高档乘用车和大型商用车零部件材料研发与制造技术仍有待于进一步完善和发展，零部件热处理后的抗拉强度要求700~1300MPa，屈服强度550~1150MPa，断后伸长率8%~15%，强塑积一般应>104MPa·%，具有良好的综合力学性能。因此，适合于汽车零部件的材料，它们通常要求强度及韧性有较好的匹配，即高的强韧性。为此，汽车零部件热处理与表面改性技术是今后的关键和核心竞争力。以下

简介四项具有代表性的技术。

不锈钢低温渗氮技术

不锈钢是发动机中的主要零部件材料，如排气系统根据工况条件，选择钢种（见表1）。奥氏体不锈钢SUS304为经典传统钢。铁素体不锈钢与奥氏体不锈钢相比，生产成本低，线膨胀系数小，导热系数大。汽车排气系统零部件用不锈钢中，近60%为是奥氏体不锈钢。

许多表面改性技术，包括常规等离子体渗氮、激光渗氮等，都用于提高奥氏体不锈钢的耐磨性。但是在提高耐磨性的同时耐腐蚀性却下降。为此，等离子体源渗氮技术应运而生，这种技术将低能离子束注入技术引入到等离子体基离子注入（即全方位离子注入）技术中。一方面利用低能离子注入的低能优势，

表1 排气系统应用不锈钢种类

零部件	铁素体型	奥氏体型
排气歧管	019Cr19Mo2NbTi (444) , SUS429, SUS441, SUS434	06Cr19Ni9 (304) , 022Cr19Ni9Mo2 (316L)
前管	022Cr11Ti (409) , 10Cr17 (430)	06Cr19Ni9 (304) , 0Cr18Ni10Ti (321)
催化净化器	022Cr11Ti (409) , SUS409L, SUS429, SUS432L	06Cr19Ni9 (304) , 022Cr19Ni9Mo2 (316L)
中管	022Cr11Ti (409) , SUS409L, SUS439L, SUS432L, SUS436L	06Cr17Ni12 (304)
消音器	022Cr11Ti (409) , 10Cr17Ti2 (430Ti), SUS409L, SUS439L, SUS432L, SUS436L	06Cr19Ni9 (304)
尾管	022Cr11Ti (409) , 10Cr17Ti2 (430Ti) SUS409L, SUS439L, SUS432L, SUS436L	06Cr19Ni9 (304)
排气系统	409, 439, 436, B409M, SUH409L, 409DG	后三种新牌号

另一方面利用等离子体基离子注入的全方位优势,采用高密度、高电子温度和高离化率的等离子体,结合施加脉冲负偏压和辅助外热源,通过0.4~3keV的低能离子注入结合同步扩散传质,实现在超低温下高传质效率的表面处理各种汽车零部件。等离子体源渗氮技术是低温、低压表面改性金属材料的新方法,与等离子体渗氮对比实验(在相同的等离子体参数、工艺条件下),证明了等离子体源渗氮技术具有“低能离子注入—同步热扩散”的主要传质机制,等离子体热化学吸收仅起到一种补充的传质作用。

低能离子注入是不依赖于工艺温度的工艺过程,根据离子在固体中传输理论计算,可以在数十微米深度范围内形成注入改性层。由于表面温度场的存在,在表面高浓度注入的粒子随后发生相应的扩散,达到一定的深度。

将等离子体源渗氮技术应用于奥氏体不锈钢气门,获得了高硬度、高耐磨性和高承载能力,以及完全不发生孔蚀且抗均匀腐蚀的渗氮表面;将等离子体源渗氮技术应用于马氏体不锈钢螺栓,同样实现了这类不锈钢耐磨抗蚀的复合改性,应用前景明确。

代替电镀的表面涂层技术

目前,我国部分引进车型的发动机气缸体、气门、活塞环、操控杆、液压杆以及紧固件等表面耐磨抗蚀防保护涂层采用传统的铬电镀层,铬的钝性可以安全地用于汽车零部件。镀铬层硬度高、耐磨抗蚀并能长期保持表面光洁,工艺相对简单,成本较低。尽管电镀铬是一种传统的表面处理技术。然而,电镀工艺的三废排放对环境污染严重。

从涂层特性与技术应用方面分析,电镀铬涂层仍然存在硬度较低等问题,尽管汽车零部件镀铬层硬度要求为60~64HRC,但是远不及一些金属氧化物、氮化物陶瓷涂层硬度高和耐磨性好。代替电镀硬铬的涂层工艺,已经有不同涂层技术的使用效果证明,比电镀硬铬层更清洁、更有效,甚至成本更低。这些涂层技术包括物理气相沉积(PVD)、化学气相沉积(CVD)、激光涂层技术,以及冷、热喷涂和等离子体喷涂技术等。另外,金属铬离子注入技术同样成为部分关键零部件代替电镀硬铬的一种有效途径。

超硬涂层与功能涂层技术

根据对汽车的服役失效分析,约40%的故障来自机械密封。正常工况下,汽车变速器密封处于油膜支撑的油润滑摩擦状态,但汽车行驶中加减速不定,要求密封环、轴承固定处材料有足够的强度和刚度以及良好的摩擦性能,同时紧固件也要求减摩润滑等功能涂层的保护。

目前,超硬涂层是指显微硬度超过40GPa的涂层材料,可分为本征超硬涂层和纳米复合超涂层两类。前者主要有金刚石、无氢类金刚石、CBN、BC4和三元化合物BCN等单一结构涂层,CVD是制备此类涂层的主要方法。纳米复合超硬涂层是指由完全分离的两相或两相以上纳米晶和非晶,在三维方向调制混合组成的多元涂层。纳米晶通常为过渡族金属氮化物、碳化物、硼化物或氧化物,晶粒尺寸约为3~10 μ m,镶嵌于基于1~2个原子层厚的网状非晶相(如Si₃N₄,BN,C等)或软金属(如Cu)基体中,形成具有高硬度、高韧性的多功能涂层。目前,纳米复合超硬涂层是超硬涂层的发展方向。

等离子体增强化学气相沉积(PECVD)和PVD的磁控溅射是制备nc-TiN/a-Si₃N₄等纳米复合超硬涂层的两种主要方法,前者的硬度可高达80~100GPa,远高于磁控溅射沉积涂层,而磁控溅射技术具有无污染、低温和低损伤等优点,适合汽车工业生产。磁控溅射沉积超硬涂层的硬度为30~50GPa,低基体温度和高氧含量是导致其硬度低于PECVD的主要原因。磁控溅射靶材原子离子化可提高沉积原子的扩散速度和形核率,促进纳米晶和非晶两相完全分离,可调控纳米晶和非晶的组成、尺寸、数量和分布形态,进而控制涂层的硬度和残余应力状态。同时,高束流金属离子轰击可改变涂层与基体界面结构,产生化学键合界面,改善涂层的膜基结合性能。

高功率脉冲磁控溅射技术作为最新的离子化磁控溅射技术,在调控纳米复合涂层成分、结构和残余应力状态方面具有综合技术优势,是设计和发展汽车零部件关键件超硬涂层的一种新思路和新技术。

离子束表面强化技术

强流脉冲离子束从20世纪80年代后期开始,由核聚变技术领域逐步拓展,并迅速发展成为一种新的表

面工程技术。强流脉冲离子束具有超高温、超高压磁场等工艺特性,强流脉冲离子束辐射固体材料,可在小于 $1\mu\text{s}$ 的时间内在辐射表面层实现 $1\sim 100\text{J}/\text{cm}^2$ 高能量密度沉积,辐照表面产生强烈的远离平衡态的热效应和力学效应, $10^9\sim 10^{10}\text{K/s}$ 的急剧升温 and 冷却,发生显著的熔化、蒸发和剧烈烧蚀,物质喷射的反冲作用和热冲击在辐射照表面形成由表及里的应力波,造成表面成分、组织及性能显著变化。与激光束、电子束处理相比,强流脉冲离子束具有能量转换效率高、加工面积大、改性层较深等突出优点。

硬质合金是机械密封中最常用的硬质摩擦副材料,也是冷作模具核心材料,具有很好的抗氧化性、抗蚀性和强韧性,利用强流脉冲离子束对WC-Ni硬质合金密封环进行辐照处理,导致WC-Ni硬质合金发生由六方碳化物WC硬质相向面心立方碳化物 $\beta\text{-WC}_{1-x}$ 转变,且表层中的 $\beta\text{-WC}_{1-x}$ 相随辐照次数的增加而

增加。在辐照应力波的作用下,辐照后硬质合金表层深度硬化,随着辐照次数的增加,硬化层深度显著增加,10次辐照硬化层深度可达 $160\mu\text{m}$ 。随着辐照次数的增加,硬质合金表面摩擦系数显著降低,表面耐磨性提高,改善了模具和密封环工作可靠性。

结语

总之,汽车制造技术的发展,与热处理及表面改性技术的进步紧密相关。汽车零部件热处理与表面改性技术的发展,对于改变我国热处理的落后面貌,提升汽车制造自主创新能力有重大作用,并推动材料科学与工程学科和其它学科的交叉、集成,对汽车制造业有深远意义。

关键词:

零部件 热处理 表面改性

(收稿日期20130225)

《现代零部件》编辑部征稿

《现代零部件》编辑部特向业内人士征集关于汽车及零部件制造与应用方面的稿件,您可以:分析和预测国内外汽车及零部件行业相关市场、技术的发展现状和趋势;提供汽车零部件制造的技术解决方案;介绍汽车零部件制造的新技术、新工艺、新装备、新项目等;对典型汽车零部件加工进行难点解析……或者您可以自选内容进行发挥。

撰稿须知:

- ◆ 思路清晰、表述简练、观点正确、数据真实、公式正确,关键词三个。
- ◆ 专业术语、计量单位、插图须符合相应国家标准。
- ◆ 产业透视类文章一般不超过4500字,技术类文章不超过3500字。
- ◆ 因本刊为全彩印刷,来稿请同时提供符合本刊报道方向和文章内容的相关照片或图片(300KB以上)。
- ◆ 本刊对来稿有删改权利,请勿一稿多投。投稿后,建议来电确认录用情况。
- ◆ 随文请附加第一作者的联系方式(邮编、地址、单位、电话、E-mail、职务、职称及身份证号),出刊后我们会据此邮寄稿费及样刊。
- ◆ 稿件文字及图片如涉及版权问题,作者责任自负。

电邮投稿: mcworld_ed@126.com

网站投稿: <http://www.mc1950.com> (免费注册)

本刊属于平面杂志,同时也可在网上浏览电子版杂志(<http://www.mc1950.com>)!

欢迎汽车业界人士积极投稿或推荐稿件!

如有疑问请拨打编辑部电话010-88379790~98转610~613进行咨询。

