

机械工程再制造技术应用

杨俊霞

河南缔澄环保科技有限公司 河南 郑州 450046

摘要: 随着资源短缺与环境问题日益凸显,机械工程再制造技术成为制造业可持续发展的重要方向。本文围绕机械工程再制造技术展开研究,阐述了其定义、范畴及技术类型,包括物理、化学、复合修复技术。重点分析了无损检测、表面修复、增材制造、材料改性等关键技术的原理与特点。探讨了该技术在工程机械、汽车制造、能源设备等领域的具体应用,涉及各领域核心部件的再制造流程与方式。研究表明,机械工程再制造技术能实现废旧机械产品性能恢复与提升,对资源循环利用和制造业可持续发展具有重要意义,为相关领域的技术应用与发展提供参考。

关键词: 机械工程再制造; 关键技术; 具体应用

引言: 机械工程再制造技术以废旧机械产品为对象,通过专业化工艺实现性能恢复甚至超越,兼具经济与环境效益。当前该技术在多个领域已有应用,但仍存在技术推广、标准规范等问题。本文旨在系统梳理机械工程再制造技术的概述、关键技术及具体应用,为推动其进一步发展与应用提供理论支持,助力制造业向绿色循环方向转型。

1 机械工程再制造技术概述

机械工程再制造技术是指以废旧机械产品为对象,通过专业化的工艺手段使其恢复甚至超越原产品性能的系统性工程技术。其核心范畴不仅涵盖零部件的修复与性能提升,还包括从旧件回收、检测评估到再制造产品销售的全生命周期管理,是循环经济在制造业领域的典型实践。与简单的维修或翻新不同,再制造技术强调对产品核心价值的深度挖掘,通过标准化流程实现废旧资源的高效循环利用,目前已广泛应用于工程机械、汽车、能源设备等多个领域。

从技术类型来看,机械工程再制造技术可分为物理修复技术、化学修复技术和复合修复技术三大类。物理修复技术以机械加工、热喷涂、激光熔覆等为代表,通过材料叠加或结构重塑恢复零部件尺寸与性能,具有操作灵活、适用范围广的特点;化学修复技术如电刷镀、化学镀等,借助化学反应在零件表面形成功能性镀层,尤其适用于精密部件的修复;复合修复技术则结合多种工艺优势,例如将无损检测与增材制造结合,实现受损零件的精准修复^[1]。

2 机械工程再制造技术的关键技术

2.1 无损检测技术

无损检测技术能够在不损伤零件本体的前提下,精准识别零件内部和表面的缺陷,为后续的修复工作提供

可靠依据,关键技术如下:(1)涡流检测技术。当交变电流通过检测线圈时,会在零件表面产生涡流场,该涡流场的分布状态与零件的完整性密切相关。若零件存在裂纹、夹杂等缺陷,涡流的流电路径会被阻断,导致涡流分布发生畸变,进而引起检测线圈阻抗的变化。通过监测这种阻抗变化,就能准确判断缺陷的位置和大致尺寸。(2)超声波检测技术。高频声波由探头发射,进入零件内部后,会沿着一定方向传播。当声波遇到零件内部的缺陷或不同介质的界面时,会发生反射现象。反射回来的声波被探头接收后,转化为电信号,通过分析信号的传播时间和幅值,可计算出缺陷的深度和形状。

(3)射线检测技术。利用X射线、 γ 射线等具有穿透性的射线进行检测。射线穿过零件时,会因零件内部物质的密度和厚度不同而产生不同程度的衰减。将衰减后的射线通过成像设备转换为图像,零件内部的气孔、夹杂等体积型缺陷会在图像上呈现出与周围区域不同的对比度,从而被清晰识别。(4)磁粉检测技术。仅适用于铁磁性材料的零件检测。检测时,先对零件施加外加磁场,使零件磁化。当零件存在缺陷时,缺陷处的磁场会发生畸变,产生漏磁场。此时,在零件表面施加磁粉,漏磁场会吸附磁粉,形成与缺陷形状相对应的磁痕,通过观察磁痕的形态,就能确定缺陷的位置和形状。

2.2 面修复技术

以下表面修复技术通过在零件表面形成功能层,能够有效恢复零件的尺寸精度,同时提升其表面性能,延长零件的使用寿命。(1)电刷镀技术。在直流电场的作用下,镀液中的金属离子会向作为阴极的零件表面移动,并在零件表面获得电子发生还原反应,逐渐沉积形成镀层。电刷镀设备较为便携,能够适应现场修复的需求,不过镀层与零件基体的结合强度受前处理质量影响

较大,且当镀层厚度较大时,容易产生内应力,影响镀层质量。(2)热喷涂技术。通过高温热源将喷涂材料加热至熔融或半熔融状态,再借助高速气流将其雾化成细小的颗粒,并喷射到零件表面,颗粒在零件表面冷却凝固后形成涂层。根据所使用的高温热源不同,热喷涂技术可分为火焰喷涂、电弧喷涂和等离子喷涂等。其中,等离子喷涂能够处理高熔点材料,如陶瓷、金属间化合物等,所形成的涂层具有良好的耐磨、耐蚀性能。(3)激光熔覆技术。利用高能激光束聚焦在零件表面形成熔池,同时将粉末材料或丝材同步送入熔池,材料在激光的高温作用下熔化,并与零件表面的基体材料相互融合,冷却后形成具有冶金结合性质的修复层。激光具有极高的能量密度,通常可达 $10^4\text{--}10^6\text{ W/cm}^2$,这使得熔覆过程中热影响区较小,一般小于 0.5 mm ,能够实现高精度的修复。而且,修复层的成分可以根据性能要求进行设计和调控,以满足不同的使用需求。(4)电火花沉积技术。在电极与零件之间施加脉冲电压,当两者之间的距离小到一定程度时,会产生电火花放电现象,瞬间的高温使电极材料熔化,熔化的材料会沉积到零件表面,形成涂层^[2]。

2.3 增材制造技术

以下增材制造技术凭借其独特的离散-堆积原理,能够实现零件的近净成形修复。(1)激光选区熔化技术(SLM)。利用高功率激光束,按照预设的路径选择性地熔化金属粉末。在工作过程中,首先在工作台上铺设一层金属粉末,激光束根据零件的数字化模型,对需要成形的区域进行扫描熔化,使粉末颗粒相互融合形成固态层。一层完成后,工作台下降一定高度,再铺设新的粉末,重复上述过程,逐层烧结最终形成致密的修复体。该技术成形精度极高,可达 $\pm 0.02\text{ mm}$,修复体的致密度接近 100% ,能够直接修复具有复杂内腔、薄壁结构的零件,且修复体与基体之间形成牢固的冶金结合。

(2)电弧增材制造技术。在修复过程中,电弧在焊丝与零件之间产生,高温将焊丝熔化,熔化的焊丝金属在零件的待修复区域堆积,随着焊接过程的进行,逐步形成所需的修复形状。该技术设备成本相对较低,沉积效率较高,每小时可达数千克,适用于大尺寸零件的修复。

2.4 材料改性技术

以下材料改性技术通过改变零件表层的化学成分和微观结构,能够显著提升零件的耐磨、耐蚀、抗疲劳等性能。(1)离子注入技术。在真空环境中进行,将具有高能离子,如氮、碳、硼等,加速后注入到零件表面。高能离子与零件基体原子发生碰撞,使部分基体原

子被撞离原来的位置,形成空位,同时离子自身也可能进入这些空位或与基体原子结合,形成固溶体或化合物层。该技术能够在不改变零件尺寸的情况下实现表面强化,且改性层与基体之间没有明显的界面,结合强度较高。(2)化学热处理技术。通过扩散作用使特定元素渗入零件表层,形成合金化改性层。常见的工艺有渗碳、渗氮、渗硼等。渗碳是将零件置于含碳的介质中,在一定温度下,碳原子会逐渐扩散到零件表层,使表层的碳含量增加,经过淬火和回火处理后,可显著提高表层的硬度和耐磨性。渗氮则是让氮原子渗入零件表层,形成氮化物,能够改善零件的疲劳性能和耐蚀性。渗硼是使硼原子渗入表层形成硼化物,适用于对耐磨性要求极高的场合。(3)表面淬火技术。利用感应加热、火焰加热等方式,将零件表层快速加热至奥氏体化温度,然后迅速冷却,使表层发生马氏体转变,从而提高表层的硬度。感应加热表面淬火是通过感应线圈产生的交变磁场在零件表层产生涡流,使表层快速升温,该方法能够精确控制加热区域,适用于轴类、齿轮等零件的局部强化,且处理效率较高^[3]。

3 机械工程再制造技术的具体应用

3.1 在工程机械领域的再制造应用

工程机械领域是机械工程再制造技术的重要应用场景,主要针对大型施工设备中结构复杂、价值较高的核心部件进行修复与性能恢复,应用如下:(1)挖掘机械的关键部件如动臂、斗杆、回转支承等,再制造流程始于全面拆解与清洗,清除表面泥土、油污等杂质。随后运用无损检测技术,细致检查部件内部结构和表面状况,明确是否存在裂纹、变形、磨损等问题。针对检测出的磨损部位,采用表面修复技术处理,恢复尺寸精度;对于有结构损伤的部件,结合增材制造技术进行局部填补与重塑,以恢复结构完整性。(2)起重机械的吊臂、卷筒、减速器等部件,再制造过程注重强度与稳定性的恢复。通过材料改性技术对部件表层进行处理,严格按照原部件技术参数进行加工与装配,确保满足起重作业的力学要求。对再制造后的部件进行整体性能测试,验证其在承载、运行等方面的表现。(3)压实机械的滚轮、振动轴等部件,因长期处于高强度碾压作业环境,易出现表面磨损和疲劳损伤。再制造时,采用热喷涂技术在部件表面形成耐磨涂层;对于内部结构的微小裂纹,通过渗透检测等无损检测手段发现后,采用合适的焊接技术修补,并进行应力消除处理。

3.2 在汽车制造领域的再制造应用

汽车制造领域的再制造技术主要应用于以下发动

机、变速器、底盘等核心总成及关键零部件,以实现废旧汽车零部件的循环利用。(1)发动机再制造需先彻底拆解,对零部件分类整理。清洗采用高温高压清洗与超声波清洗相结合的方式,确保零部件表面及内部油道、气道清洁。检测环节,运用精密测量仪器检查曲轴、凸轮轴、缸体等关键零件的尺寸精度、形位公差,同时通过无损检测技术排查内部缺陷。对磨损的轴颈、缸孔等部位采用表面修复技术处理,装配过程严格遵循装配工艺规范,保证零部件配合精度,最终通过台架试验验证相关性能。(2)变速器再制造涉及齿轮、轴类、壳体等零部件。拆解后检测齿轮齿面磨损、轴的弯曲变形、壳体裂纹等情况。对齿面磨损较轻的齿轮采用表面修复技术处理,磨损严重的根据情况更换或重新加工;轴类零件的弯曲变形通过校直工艺矫正,轴颈磨损部位进行修复;壳体裂纹采用焊接技术修补后进行时效处理消除应力。装配完成后,测试变速器的换挡性能、传动效率等。(3)底盘系统的制动蹄、转向节、悬挂臂等零部件,再制造时注重安全性和可靠性恢复。制动蹄更换磨损的摩擦材料并进行连接处理;转向节轴颈磨损采用表面修复技术恢复尺寸,同时检测力学性能;悬挂臂变形通过矫正工艺处理,确保几何尺寸符合要求。所有再制造零部件均需经过严格质量检验,以满足汽车行驶安全标准。

3.3 在能源设备领域的再制造应用

能源设备领域的再制造技术主要围绕以下电力、石油、煤炭等行业的大型设备展开,这些设备通常体积大、造价高、服役环境恶劣。(1)风力发电机的再制造涉及叶片、齿轮箱、发电机等关键部件。叶片再制造先进行外观检查 and 无损检测,确定损伤位置和程度。对表面划痕和小面积损伤采用复合材料修补技术处理;对较大裂纹进行切割、加固后修补,确保叶片的气动性能和结构强度。齿轮箱中的齿轮、轴承等零部件磨损后,通过表面修复技术和精密加工恢复性能,同时检测和修复箱体,更换密封件

等易损件。发电机的定子、转子等部件清理表面污垢后,检测绕组的绝缘性能和电磁性能,对绝缘老化的绕组重新绕制,修复转子轴颈磨损。(2)石油钻井设备的钻杆、钻头、钻井泵等零部件再制造需求较大。钻杆接头螺纹磨损采用螺纹修复技术加工,管体腐蚀和磨损采用热喷涂技术形成防护涂层。钻头切削齿磨损或损坏后,更换新的切削齿并焊接固定,同时修复和整形钻头体。钻井泵的缸套、活塞等易损件根据磨损情况采用表面修复或更换处理,泵体裂纹进行焊接修复,确保密封性能和承压能力。(3)燃煤电站的锅炉管道、汽轮机叶片等部件,长期在高温、高压、腐蚀环境下运行,易出现氧化腐蚀、磨损、裂纹等损伤。锅炉管道的腐蚀和磨损部位采用热喷涂或堆焊技术形成耐高温、耐腐蚀涂层;汽轮机叶片的叶顶和叶型磨损通过激光熔覆技术修复,同时进行动平衡校验。再制造后的能源设备需进行试运行,验证其在实际工况下的运行性能^[4]。

结束语:机械工程再制造技术作为一项兼具环保与经济价值的系统性工程技术,在理论与应用层面均展现出重要意义。其关键技术的不断发展为各领域零部件修复提供了有力支撑,在工程机械、汽车制造等领域的应用成效显著。未来,需持续完善技术体系与标准规范,提升技术应用广度与深度。相信随着技术的成熟,该技术将在推动制造业绿色转型、实现资源高效利用方面发挥更大作用,为可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]刘洪亮.工程机械再制造及其关键技术探究[J].智能建筑与工程机械,2022,4(4):60-62.
- [2]云海.工程机械再制造及其关键技术[J].建筑工程技术与设计,2020(12):949-950.
- [3]李慧.机械制造过程中绿色制造技术应用研究[J].奥秘,2025(21):12-14.
- [4]王友斌.现代机械制造工艺及精密加工技术的应用分析[J].时代汽车,2020(17):134-135.