

智能材料在机械制造装备中的应用研究

吴志猛

上海庆元麒新材料科技有限公司，上海市奉贤区，201400；

摘要：智能材料作为一种新型功能材料，具有感知、驱动、控制等能力，能够与机械制造装备相结合，形成智能化的机械制造装备，极大地提升机械制造装备的智能化水平。本文介绍了智能材料的定义与分类，分析了智能材料在机械制造装备中的主要应用领域和发展趋势，详细介绍了压电陶瓷、形状记忆合金、磁致伸缩材料等典型智能材料在机械制造装备中的应用案例，最后总结了智能材料应用中面临的挑战与对策。未来，智能材料将在精密定位与控制系统、振动与噪声主动控制、状态监测与自诊断技术、智能驱动与自适应机构等方面发挥重要作用，成为机械制造装备实现智能化的关键支撑技术。

关键词：智能材料；机械制造装备；应用研究

DOI：10.69979/3060-8767.25.08.064

引言

随着信息技术的发展和工业智能化水平的提升，智能制造已成为各国制造业竞争的新焦点。传统制造技术所依赖的材料和设备已不能满足智能化制造要求，而智能材料在感知、驱动、控制等方面具有独特优势，能够满足机械制造装备对新型功能材料的需求，为机械制造装备智能化提供了新途径。当前，智能材料已广泛应用于智能传感系统、智能驱动与自适应机构、精密定位与控制系统、振动与噪声主动控制、状态监测与自诊断技术等机械制造装备中，并在提升产品质量、降低能耗、降低成本等方面取得了显著成效。但在实际应用中仍存在诸多问题，如材料性能稳定性、可靠性和成本等问题亟待解决。

1 智能材料的定义与分类

智能材料是指一类具有感知、驱动、控制等能力的新型功能材料，具有感知环境变化并主动响应的特征，能够与传统结构材料相结合形成新的功能结构，实现对外界环境的感知和控制，实现材料性能的升级或换代，并具有较好的稳定性和可靠性。智能材料主要由感知层、执行层、控制层和智能界面组成。智能材料可按照不同的分类标准进行划分。按照组成成分和功能特点，智能材料可分为高分子智能材料、无机及有机复合材料智能材料等；按照结构形式，可分为形状记忆合金智能材料、电压智能材料、磁致伸缩智能材料等；按照驱动方式，可分为磁驱动智能材料和电驱动智能材料^[1]。

2 智能材料响应机制与功能特征

智能材料响应机制主要包括机械刺激响应、电—磁—光—热—力等多种响应机制，其功能特征包括感知外

界环境变化，根据外界环境变化改变自身状态，对外界刺激作出相应反应，实现自适应功能；反馈机制使智能材料具有自诊断功能，能够自动识别并发出控制指令，从而提高系统的可靠性和稳定性；结构参数随外界环境变化而改变，使智能材料在不同条件下表现出不同的性能特征，实现自适应功能；智能材料与传统结构材料相结合，形成新的结构形式，实现机械制造装备功能的升级或换代，成为机械制造装备实现智能化的关键支撑技术^[2]。

3 机械制造装备的智能化需求与发展

3.1 机械制造装备的定义与组成

机械制造装备是指应用于生产过程中的各种生产工具及其系统和装置，包括：机床、汽车、飞机、船舶、工程机械等各类装备。机械制造装备的智能化是指由传统的机械制造装备向智能化方向发展，利用传感器、智能控制系统和先进技术等实现机械制造装备的智能控制和监控，从而使其具有感知、驱动和控制能力，能实现自我诊断和自我调整，从而达到提高产品质量、降低能耗和成本等目的。机械制造装备的智能化包括智能化制造系统的智能化、数字化设计与制造技术的智能化、数字化测试与测量技术的智能化、人机智能交互技术的智能化等^[3]。

3.2 机械制造装备智能化的发展趋势

①发展方向：由自动化向智能化转变。如利用智能控制技术实现加工过程的自动化和智能化，利用自适应控制技术实现对加工过程的动态和非线性控制，利用自组织控制技术实现对加工过程的自组织优化，以及利用基于知识的专家系统实现加工工艺的自动设计等。②发

展目标：实现工业生产过程的优化。如采用自组织神经网络算法，优化产品设计；采用知识工程方法，构建数字化模型；采用基于模型的自适应控制方法，优化生产过程；采用智能集成技术，实现工艺、装备、生产过程、管理的一体化；采用智能传感器、智能仪器仪表等智能化传感器技术，实现监测与控制^[4]。

4 智能材料在机械制造装备中的主要应用领域

4.1 智能传感系统

智能传感系统是指将温度、压力、流量等物理量，通过传感器转换成电信号，并传输到上位机，由上位机对其进行处理、分析，从而实现对外界环境的感知和控制。智能传感系统主要包括传感器、控制器和数据采集系统三部分。智能传感器主要有压电智能传感器、形状记忆合金智能传感器、磁致伸缩智能传感器等。智能控制器是实现传感系统与下位机之间信息交互的核心部件，用于接收下位机传输过来的传感信息，并对其进行处理、分析和控制。数据采集系统是实现感知系统与上位机之间信息交互的载体，用于向上层提供实时的传感信息以及相应的控制指令^[5]。

4.2 智能驱动与自适应机构

智能驱动与自适应机构是指将智能材料应用于机械制造装备中，通过改变传统的机械制造装备的驱动方式，实现对机械制造装备的精准控制和优化。智能驱动与自适应机构可以根据外界环境变化，实时调节自身状态，使机械制造装备具有自适应功能。智能驱动与自适应机构具有驱动效果好、响应速度快、节能环保等优点，广泛应用于机床、机器人、精密加工设备、工业机器人等机械制造装备中。智能驱动与自适应机构可以根据外界环境变化改变自身状态，如在高温条件下采用智能材料作为驱动介质，在低温条件下采用智能材料作为驱动介质，使其具备较强的适应性。

4.3 精密定位与控制系统

精密定位与控制系统是指将智能材料应用于机械制造装备中，通过采用智能材料，改变传统的机械制造装备的驱动方式，使其具有精密定位、精确控制和自适应等功能。如采用压电智能材料可实现精密定位，采用形状记忆合金可实现精密定位控制，采用磁致伸缩材料可实现高精度定位和精确控制。在精密定位与控制系统中，智能材料可应用于柔性执行机构、压电驱动器、精密定位平台、机器人夹持与自适应夹具、高速主轴等装备中，并可根据外界环境变化，实时调节自身状态，从而使机械制造装备具有更高的精度和更好的适应性。在精密定位与控制系统中，智能材料可应用于精密加工、

工业机器人等领域^[6]。

5 典型智能材料应用案例分析

5.1 压电陶瓷在高精度定位平台中的应用

压电陶瓷是一种新型功能材料，具有机械能转换、电磁能转换和电能转换功能，并能将外界的机械能转变为电能，因此被广泛应用于精密定位平台中。在精密定位平台中，采用压电陶瓷可实现对工件的精密定位、精确控制和自适应控制。在高精度定位平台中，压电陶瓷可应用于柔性执行机构、精密定位平台、机器人夹持与自适应夹具等装备中^[7]。在柔性执行机构中，利用压电陶瓷可实现对工件的柔性驱动；在精密定位平台中，利用压电陶瓷可实现对工件的精密定位和精确控制；在机器人夹持与自适应夹具中，利用压电陶瓷可实现对工件的高精度定位和精确控制。

5.2 形状记忆合金在机器人夹持与自适应夹具中的应用

形状记忆合金是一种具有特殊功能的智能材料，具有超弹性、热可逆性、可恢复性等特性。形状记忆合金具有很高的能量密度和固有频率，能吸收外界能量，并将其转化为机械能。因此，形状记忆合金被广泛应用于机器人、精密加工设备、工业机器人等装备中。利用形状记忆合金可实现对机器人夹持的精确控制。在机器人夹持与自适应夹具中，利用形状记忆合金可实现对工件的精确定位和控制；利用形状记忆合金可实现对精密加工设备的高精度定位和控制；利用形状记忆合金可实现对工业机器人的精确定位和控制。

5.3 磁致伸缩材料在高速机床主轴制动控制中的应用

磁致伸缩材料是一种新型功能材料，具有超弹性、磁致变形大等特性，具有良好的磁场放大特性和逆变特性，因此被广泛应用于高速机床主轴的主动控制中。在高速机床主轴主动控制中，采用磁致伸缩材料可实现对主轴的快速、精确定位，提高机床加工效率和加工精度。磁致伸缩材料在高速机床主轴制动控制中的应用，有效提高了高速机床的加工效率和加工精度，并保证了高速机床的可靠性^[8]。

6 智能材料应用中面临的挑战与对策

6.1 材料性能稳定性与可靠性问题

智能材料的应用需要将其材料的性能稳定性与可靠性作为前提条件，因此对材料的研究应侧重于材料的性能稳定性与可靠性方面，如材料的长期稳定性、耐久性、可靠性等。在智能材料的研究中，可将其与现有成

熟的机械制造装备结合,进行优化设计,提高智能材料在机械制造装备中的应用效果。同时,研究人员还需加强对智能材料在机械制造装备中应用环境的研究,避免由于环境变化而影响智能材料性能的稳定性与可靠性。此外,还需加强对智能材料在机械制造装备中应用过程中所产生故障或失效问题的研究,及时采取措施进行处理,避免由于智能材料在应用过程中出现故障或失效而导致对产品的影响。

6.2 与传统结构材料的兼容性与集成技术

由于智能材料具有多种不同的特性,因此与传统结构材料的兼容性与集成技术是目前智能材料应用于机械制造装备中需要解决的重要问题。智能材料与传统结构材料在性能上存在一定差异,因此在设计智能材料应用于机械制造装备中时,需对传统结构材料进行相应的改性,使其具备适合于智能材料的特性,以实现与智能材料的集成。

6.3 成本与产业化难题

目前,智能材料在机械制造装备中的应用面临着成本较高、产业化难等问题。在机械制造装备中,智能材料的应用是基于传统结构材料的功能扩展,因此需要对传统结构材料进行一定的改性以实现智能材料功能的扩展,从而使智能材料具备更强的功能,以满足机械制造装备对性能及成本等方面的需求。同时,在智能材料应用于机械制造装备中时,还需解决智能材料性能稳定性与可靠性等问题。此外,在智能材料应用于机械制造装备中时,还需解决智能材料成本较高、产业化难等问题,以推动智能材料在机械制造装备中的应用。因此,需对智能材料进行一定的改性以满足其应用需求。

6.4 智能材料加工及维护问题

智能材料在机械制造装备中的应用,需要对智能材料进行加工处理以保证其性能及稳定性。智能材料在加工处理过程中,需要对其内部结构及性能进行改变,因此,需要对智能材料进行相应的处理以确保其内部结构及性能满足机械制造装备的需求。同时,对于智能材料的维护也需要考虑到机械制造装备的运行环境。因此,对于智能材料在机械制造装备中的应用,需要解决智能材料与机械制造装备之间的集成问题。

6.5 应用技术标准与安全评估

由于智能材料在机械制造装备中的应用还处于发展阶段,因此,相关技术标准、安全评估等问题有待进一步解决。一方面,需要进一步明确智能材料的定义、

分类及应用范围等问题,同时也需要明确相关标准、规范等的制定问题;另一方面,需要进一步明确智能材料应用于机械制造装备的安全性评估问题,以保证智能材料的应用安全。例如,在智能材料的应用过程中,需要进行相应的测试及评估工作。只有对智能材料的应用安全进行充分评估才能够确定其应用效果。因此,在开展智能材料应用研究时,需要充分考虑其应用安全问题。

7 结语

近年来,随着科学技术的快速发展,智能材料在机械制造装备中的应用也越来越广泛,并逐渐成为机械制造装备中不可或缺的重要组成部分。智能材料在机械制造装备中的应用,不仅可以有效提升机械制造装备的智能化水平,同时也可以有效提高机械制造装备的质量和效率。但是,由于智能材料在应用过程中存在一些问题,因此,相关研究人员需要积极探究和解决相关问题。例如,在智能材料加工及维护方面,需要进一步明确其应用过程中所面临的问题及挑战;在智能材料应用技术标准及安全评估方面,需要进一步明确其应用标准、规范等的制定问题。

参考文献

- [1] 齐长峰.融合深度强化学习算法的机械制造装备自动化加工过程控制研究[J].今日制造与升级,2025,(04):137-140.
- [2] 郭二廓,裴宏杰,许桢英.智能制造装备技术课程教学探索与实践[J].高教学刊,2025,11(10):119-122.
- [3] 卜匀.基于工程教育认证的机械制造装备技术课程教学方法改革[J].中国教育技术装备,2025,(04):86-88.
- [4] 梅怡,郑俊强,邓伟,等.新工科背景下机械类传统专业课程教学改革实践[J].装备制造技术,2024,(12):90-93.
- [5] 荣佑民,黄禹,吴从义.机械制造装备技术课程智能化元素多元融入的思考[J].中国教育技术装备,2024,(19):118-120.
- [6] 刘敏,占金青.基于VR技术和3D打印相结合的机械类课程教学改革探讨——以“机械制造装备设计”为例[J].教育教学论坛,2024,(31):89-92.
- [7] 黄校彬.机械制造装备智能化改造与升级的关键技术及路径探讨[J].装备维修技术,2024,(03):52-54.
- [8] 田小龙.机械制造装备自动化技术的应用与优化研究[J].造纸装备及材料,2024,53(03):53-55.