

引用格式: 谭军, 刘峰, 罗明生. 超精密装备中的材料科学和技术. 中国科学院院刊, 2025, 40(5): 861-869, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20250414006.

Tan J, Liu F, Luo M S. Materials science and technology in ultra-precision equipment. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2025, 40(5): 861-869, doi: 10.3724/j.issn.1000-3045.20250414006. (in Chinese)

超精密装备中的材料科学和技术

谭军 刘峰 罗明生

季华实验室（先进制造科学与技术广东省实验室） 佛山 528200

摘要 超精密装备的技术进步高度依赖高性能材料的发展，关键材料的制备和加工工艺直接影响超精密装备的综合性能水平及其服役行为，而高性能材料短板已成为我国高端装备制造的一个主要薄弱环节。文章系统总结了超精密装备中主要材料的应用情况，对超精密装备中高性能材料制备与加工技术的发展现状进行了综述，并对相关领域未来的发展方向提出展望。文章在深入分析当前我国超精密装备材料领域面临的主要问题基础上，结合实际情况分别从技术层面和政策层面提出了解决办法和发展思路，以期助力实现各类先进材料与制造科技的深度融合，进而推进超精密装备制造技术的优化升级和提高相关产业竞争力。

关键词 超精密装备，材料科学与技术，挑战与机遇

DOI 10.3724/j.issn.1000-3045.20250414006

CSTR 32128.14.CASbulletin.20250414006

中国是拥有联合国全部工业门类的第一制造业大国，是全球公认的产业升级最成功的国家之一。先进制造业是我国发展的立国之本，随着现代先进制造业对关键零部件精度和耐久性的要求日益提高，超精密装备的发展水平已经成为推动高端制造业技术进步的关键因素。在极高精度和稳定性下进行加工、成型、测量和控制的超精密装备其精度已达到纳米级乃至原子尺度，我国正积极把握这一历史机遇，全力推动原子级制造相关科技创新与产业创新的深度融合，加速原子级制造产业化进程。

超精密装备融合了现代机械、电子、材料、光学、传感和计算机等领域尖端科学技术的最新进展，其为半导体器件、光电子器件、新型显示、航空航天和高端数控机床等战略性新兴产业构建了新型工业化和新质生产力的技术支撑。同时，超精密装备也是基础科学研究不断深入和应用技术不断进步的关键，几乎所有的高精密科学试验仪器都离不开超精密加工装备的支持和保障。推动超精密装备相关技术研发和产业化对保障国家经济与国防安全具有重大战略意义，已成为各国科技政策的重要组成部分，也在全球范围

修改稿收到日期：2025年5月15日

内成为重要的竞争和合作焦点。

为了满足对纳米级乃至原子尺度的精度需求，超精密装备高度依赖于高性能材料的制备和加工技术来保证其精度、复合化、稳定性、安全性和耐用性，这就需要各类先进材料与制造技术的深度融合^[1]。《面向2035的新材料强国战略研究》提出，中国将在2035年建成世界领先的新材料强国，精密装备所需的高端功能材料如超硬材料、高温合金、智能材料等被列为发展重点^[2]。《前沿材料产业化重点发展指导目录（第一批）》则进一步明确了在精密制造、航空航天等领域超精密装备新材料的重点产业化方向^①。不同类型的超精密装备，诸如光刻机、高端数控机床、精密测量仪器和光学制造设备等，都需要具备独特性能的材料以应对不同的工艺需求和工作环境。例如，超精密机床的关键部件主轴、导轨及其驱动系统、微进给机构等的精度和稳定性都取决于相应材料的制备和加工技术，而成型表面达到纳米级粗糙度的超精密切削加工技术则十分依赖金刚石等超硬材料刀具技术的发展^[3]。在超精密装备的制造过程中，关键基础材料的成本占比如图1所示。

我国高端装备所需的特种材料、精密材料之性能指标及相应的生产工艺与国际先进水平相比依然存在明显差距，严重制约了国产超精密装备的技术突破和产业化应用进程。2023年工业和信息化部对全国30多家大型企业130多种关键基础材料调研结果显示，32%的关键材料在中国仍为空白，52%依赖进口。高性能材料的制备与加工短板已成为我国高端装备制造的一个主要薄弱环节^[4]。

解决超精密装备关键基础材料国产化问题，推动相关科研成果转化，优化产业链协同以提升自主创新能力，是我国制造业迈向高质量发展的重要一环，也

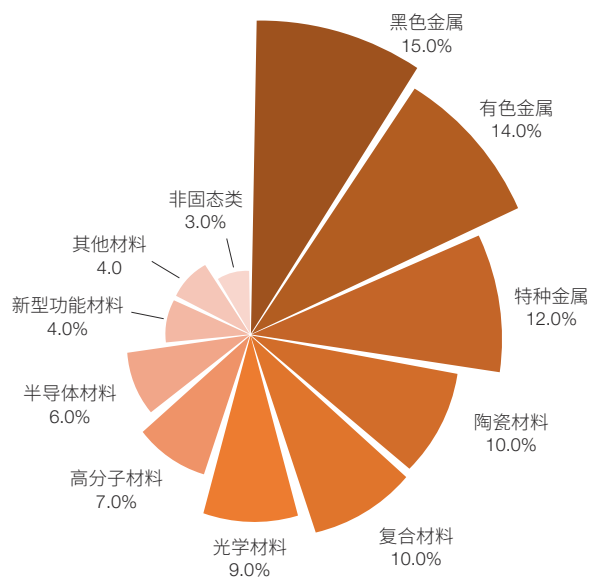


图1 超精密装备中的材料成本占比
Figure 1 Proportion of material cost in ultra precision equipment

是在全球技术竞争中取得优势地位的关键所在。本文旨在深入探讨中国超精密装备中的材料科学与技术领域存在的主要问题，分析其背后的原因，并提出解决方案与工作建议。

1 材料科学技术面临的挑战

进入21世纪以后，中国迅速成长为全球最大的材料生产与消费国，在钢铁、有色金属、陶瓷、玻璃、高分子、复合材料等领域，已成为全球领先的生产和销售大国。同时，中国的材料科学研究也已走到了世界的前列。据统计，中国目前共有150多所高等院校设立了材料相关学科，中国的科研人员每年在国际期刊上发表的材料学领域的学术论文总量位居全球前列，具有较强的科研能力和创新潜力^[5]。但是与此相对应的是，中国高端装备材料领域却仍然存在大面积的落后与空白，并没有体现出在高端材料相关产业应

① 工业和信息化部 国务院国资委. 工业和信息化部 国务院国资委关于印发前沿材料产业化重点发展指导目录(第一批)的通知. (2023-08-28)[2025-05-14]. https://www.miit.gov.cn/jgsj/ycls/wjfb/art/2023/art_a89efb23e3694962929bb30c6d839867.html.

有的实力与地位。在高端材料的研发与生产各环节，我国依然面临极为严峻的挑战。

1.1 部分关键材料仍依赖进口

多年来我国制造业虽然发展迅速，但更多的是依靠材料的粗加工和对终端产品的组装，大批核心关键材料依赖进口，尤其是在与超精密装备密切相关的高端材料领域。据统计，至2023年我国高端装备关键新材料自给率仅为14%^[6]。

以特种陶瓷和玻璃材料为例，国内在激光、光纤、半导体封装等特种陶瓷的研发与生产方面，与国际先进水平有明显差距。高性能光学玻璃和功能玻璃领域，关键原材料仍需从国外进口；光纤光缆生产所需的四氯化硅等关键材料严重依赖欧洲和日本企业^[7]。此外，高端电子设备中所需的高性能塑料和树脂等对进口材料的依赖同样巨大^[8]。我国在这些领域的总体技术研发和生产水平仍滞后，或是高端原材料和产品依赖进口，或是在核心技术和生产设备上尚需依赖国外企业。

1.2 材料生产加工技术与国际高端水平仍有差距

中国在超精密装备所需高端材料的生产加工制造技术上，与国际先进水平之间仍存在较大差距。例如在光学材料的超精密加工检测方面，德国、日本等国的企业具有较为成熟的生产技术和加工检测系统，而国内企业在这方面的技术积累相对较少，整体研发和生产能力薄弱^[9]。超高精度等级的超精密磨削铣削设备、精密激光加工设备和离子束加工设备等基本被进口品牌垄断，国内企业的整体技术水平目前仍无法与之匹敌。在合金材料、陶瓷材料等领域，虽然中国在中低端产品生产能力上具有一定优势，但在高端材料的性能优化、质量控制、表面处理等方面，与国际先进水平仍有较大差距，特别是高端材料的分析测试仪器几乎被国外产品垄断，也因此导致国产材料纯度和组织性能的稳定性方面与国际领先水平相比仍有较大差距^[10]，难以满足超精密装备对于材料的高性能需

求（表1）。

1.3 超精密装备应用中关键材料极度缺乏

在超精密装备的制造工艺流程中，对特种材料的选择和应用也有极为严苛的要求。目前，中国在这类特殊材料方面仍存在严重短缺，在半导体和电子元器件生产领域这种问题则更为突出。例如，高纯靶材、光刻胶、电子陶瓷、抗反射涂层材料等受中美贸易战影响严重，半导体用溅射靶材方面日美厂家占据垄断地位，中国高端靶材主要从美国、日本、韩国进口^[11]。电子陶瓷材料制造主要分布在美国、日本、欧洲，中国电子陶瓷企业在国内市场份额仅为23%，而且集中在中低端产品，国际市场份额更低。中国超精密光学玻璃、光学涂层材料、高性能透明陶瓷等高端材料的生产和研发也一直对进口原材料严重依赖^[12]。在航空航天领域，耐高温合金和高强度金属材料也是当前亟待解决的材料缺口，其关键生产工艺技术及设备仍然无法达到国际先进水平，高端金属材料的合金配比和生产工艺的精度仍需大量的技术突破。

2 问题原因分析

2.1 实验室中的科学研究和实际生产严重脱节

众所周知，实验室的科研成果要想真正转化为生产力，还有相当长的路要走。短板的领域往往不是实验室的研发水平没有达到，而是实验室成果向最终产品转化这一步没有走好或者力度不够。这种现象在高端装备材料领域更为明显，相关的所谓突破性进展往往停留在实验室阶段，未能有效转化为工业应用。这种实验室科研与实际生产之间的脱节成为制约技术发展的核心问题之一。例如，高熵合金在理论上展示了超强的低温超塑性及优异的抗氧化性能。然而在实际铸造过程中，由于元素密度差异导致易发生分层现象，成品率极低，难以实现大规模工业化^[13]。类似的问题也出现在纳米金属材料的研发中。纳米晶铜在实验室中显示出2 GPa强度的惊人性能，但这一性能很

表1 超精密装备材料关键性能指标与技术现状

Table 1 Key performance indicators and technological status of ultra precision equipment materials

关键性能指标	技术需求	技术现状	现有技术差距分析
强度和刚度	杨氏模量≥200 GPa 屈服强度≥1.5 GPa	传统铸铁材料杨氏模量 100—150 GPa， 屈服强度 0.3—0.5 GPa； 钛合金屈服强度最高 1.2 GPa	传统材料力学性能无法同时满足兼顾不同技术指标的高要求
热膨胀	热膨胀系数小于等于 1×10 ⁻⁶ /°C@ (20—100°C)	花岗岩热膨胀系数 6×10 ⁻⁶ /°C， 超因瓦合金 1.5×10 ⁻⁶ /°C但成本高	现有低膨胀材料应用成本高昂，生产能力有待提高
耐磨性与 耐腐蚀性	硬度 1 500 HV， 耐盐雾腐蚀 1 000 h	硬质合金硬度 1200—1400 HV， 陶瓷涂层耐盐雾性能约 500 h	硬质材料制备工艺复杂，纳米涂层技术尚未成熟，表面抗磨损能力不足
高温稳定性	高温(>800°C)强度保持率≥80%， 蠕变变形 0.1%	镍基高温合金在 800°C强度保持率 约 70%，蠕变达 0.5%	现有材料的高温性能衰退明显，长期稳定性差，新型材料仍处于实验室阶段
加工精度	表面粗糙 0.01 μm， 精度误差 0.1 μm/m	激光选区熔化粗糙度 5—10 μm， 电子束熔丝精度误差 0.5—1 μm/m	高硬度材料超精细加工技术受限，新型材料 (如钛合金、CFRP)加工成本高、工艺复杂
多材料协同性	界面强度>母材强度的 90%， 热膨胀系数差异≤10%	现有复合材料界面结合强度仅 50%—70%，热膨胀差异超过 20%	新型异质材料界面失效问题突出，缺乏系统性的设计方法
长期可靠性	极端环境下寿命(高温/腐蚀/疲劳)≥10 年，失效预测误差≤5%	材料寿命预测误差普遍 20%， 极端环境下寿命不足 5 年	材料失效机理不明确，缺乏高精度寿命评估模型
智能化设计	材料研发周期缩短 50%， 性能预测准确率超过 95%	传统研发周期 5—10 年， AI 辅助设计准确率仅 60%—70%	人工智能算法与材料数据库不完善，跨学科 协同设计能力薄弱

难在大规模生产中实现^[14]。又如某些纳米铝合金导线声称其导电率提高了 20%，但由于表面氧化层问题，电路板的故障率却暴增 15 倍^[15]。这些现象揭示了微观性能与宏观可靠性之间的矛盾，实验室中的优异表现与实际应用中的失效形成鲜明对比。

科研与生产脱节的原因首先是科研成果评价体系的问题。目前，我国科研界基本上仍然是以论文和科研项目等作为主要的评价指标，尤其高校和科研院所人才引进和培养阶段论文侧重程度非常高，导致其关注的焦点和企业的实际需求存在显著差异。以大学和专业研究院所为主的实验室科研界往往将攻关焦点和追求放在材料的极限性能上，追求突破性创新。而工业生产则更关心材料的稳定性/一致性、加工工艺的可行性、成本的可控性，以及现有生产设备的兼容性等

实际问题。这些实际问题在实验室科研界的工作中往往得不到充分的关注，导致了科研成果难以有效地进入产业化应用。此外还有实验室技术的成熟度问题，生产企业对科研成果的转化能力和承受风险的能力问题，以及市场机制不健全、激励机制不明确和知识产权不明晰等问题，都极大降低企业对实验室技术转化意愿。

2.2 材料生产与市场需求存在脱节

材料生产和市场需求的脱节，往往表现为生产侧过度集中于某些常规产品，而对高端、定制化、特种材料的供给严重不足，导致市场上的技术短缺与过剩并存，进而影响了行业的整体发展。总体上，国内企业仍以仿制国外产品为主且质量不稳定，自主创新产品规模不足，材料生产往往无法及时跟进超精密装备

的高端、定制化需求，关键零部件、核心工艺和基础材料等相当大的比例仍然依赖国外产品，同时国产新材料也难以融入全球新材料供应体系。例如，国内碳化硅、氮化镓等新型半导体材料的研发水平并不落后，但是生产却远远滞后，导致这些领域的市场需求无法得到及时满足，迫使企业不得不依靠进口。

这一现象的根源在于材料生产和市场需求之间缺乏有效的对接和组织机制。产业供给存在结构性矛盾，导致中低端产能过剩而高端产品及关键材料保障不足。但在面对快速发展的高端装备需求时，生产侧的反应速度和灵活性显得相当滞后。与此同时，市场对定制化、高性能材料的需求未能充分激发生产企业的研发动力，导致供需双方不能形成良性互动。另外，材料生产企业核心技术与专用装备相对落后，技术与市场匹配度不高，在新材料的研发过程中往往缺乏与下游应用企业的紧密合作和协同创新，无法形成从研发到产业化的通畅链条，这也是导致材料生产和市场需求脱节重要原因。

2.3 缺乏系统机制和研发创新推动力

材料行业的产业链体系尚不健全，主要反映在相关材料标准体系和市场机制不完备，材料检验检测的基础能力薄弱，无法满足高端装备所需材料生产的产业需求。同时，受到全球化的影响，一些高端材料可以在全球范围内采购，国内企业缺少研发动力。由于高端材料不能生产，中低端材料又产能过剩，同行之间往往陷入极限压缩成本的恶性竞争（“内卷”）。

前述问题的形成有一定的客观和历史原因。① 高端装备材料和特殊材料的产业化难度大，需要巨大的人力、物力和资金投入，而这类材料的市场总量并不大，属于典型的高投入、高风险领域。② 在整个制造业产业链中，材料企业离终端用户远（处于产业链上游），对于高端装备所需特殊材料的需求难以把握，也难于得到资源支持。③ 缺乏能够合理降低研发成本（如对材料进行不断分析检测的检测中心）和提供反

复迭代试验的“公共平台”（如试验线、验证线），这些问题是任何材料企业（包括大企业集团）都无法独自解决的。也正是这些问题造成了材料领域科研端和生产端之间长期缺乏有效的联动与协调，科研人员过于关注发表论文和获取实验室项目经费。此外，政府层面也缺乏有效的协调机制，使得整个行业在面对材料技术难题时，缺少足够的合力与长期推动的动力。

3 相关建议

要深刻认识到，科技成果只有同国家需要、市场需求相结合，完成从科学研究、实验开发、到推广应用的“三级跳”，才能真正实现创新价值、实现创新驱动发展。以下从3个方面提出具体的推进建议。

3.1 改革评价体系，强化技术成果转化

为了实现科研成果的转化，必须增强科研与工业应用之间的沟通与协作，确保科研成果在满足性能要求的同时，能够兼顾实际应用的可行性。要解决这一问题，不仅需要在科研阶段注重材料的加工工艺和应用条件，更需要生产环节的参与，通过产学研合作，形成科研与生产的良性互动，切实推动高端材料的自主研发和产业化应用。

（1）改革科研评价体系，培养跨学科复合型人才。建立以需求为导向的科研评价机制和以“卡脖子”技术难题攻关为导向的人才培养模式，转变目前科研评价体系过度关注论文数量和经费规模的倾向，重点考量科研成果的实际应用价值和产业贡献。政府、科研机构、企业共同推动科研界与工程界的深度融合，鼓励科研人员与生产端的紧密合作，培养既懂科研又懂生产的跨学科复合型人才，推动技术成果的产业化。企业应加大对高端设备和生产工艺的投资，提升其自主创新能力与生产水平。政府则应通过完善跨部门、跨领域的协同机制，推动政策、科研和生产的有机结合，形成长效机制，从而为材料科技的创新提供源源不断的动力，推动超精密装备材料的技术突破与产业

化发展。

(2) 创新产学研用合作模式，完善利益分配方式。

为了突破产学研脱节的瓶颈，应当推动关键基础研究、装备开发和装备应用这3支队伍的深度合作，建立科研人员派驻企业制度，让科学家和工程师在充分沟通的基础上分工合作，做各自擅长的事。创建高校科研机构、研发型企业、应用型企业三者的合作新模式，同时建立完善的利益分配方式与体系，切实体现科技创新的价值，并加强知识产权保护。通过政策引导，推动科研机构、高校和企业之间采用建立实体性联合研发团队等方式，共同攻关高端装备所需的关键材料技术，形成从基础研究到技术转化的闭环。

(3) 建立新型科技成果转化服务平台。通过组建创新联合体、建立实体性联合研发团队等方式，面向产业需求共同凝练科技问题、联合开展科研攻关、协同培养科技人才，推动企业主导的产学研融通创新。建设全国性的科技成果转化服务平台，形成技术孵化、产业化和市场化的全链条支持体系。通过设立产学研协同创新基金和企业资助平台，促进技术研发的资金流动和资源共享，推动科研成果迅速投入到实际生产中。建立技术转化的标准化流程，减少中间环节，提高成果转化效率，解决高端材料科技成果转化的“最后一公里”问题。

3.2 建立完善的产业链与市场对接机制

(1) 加强政府主导的产业链协同。政府应发挥在产业链整合中的主导作用，推动全产业链上下游和不同技术领域的企业、科研机构、高校之间的协同合作。具体来说，可以通过政策引导、项目支持和资金扶持等手段，建立跨部门、跨领域的协作机制，打破行业壁垒，促进材料科研、装备制造企业和下游应用单位之间的有效对接。通过制定长远的科技发展规划，识别未来材料产业发展的关键方向，合理调配资源，推动技术发展。

(2) 精准识别市场需求，优化生产布局。面对市

场对高端装备材料的不断升级需求，生产端应具备灵活的调整机制。加强对各行业需求的精准预测和实时监测，及时调整生产侧的布局，避免低端材料的过度生产，提升高端、定制化材料的生产能力。同时，在政策层面应当注重培育材料领域的研发型企业，适当扶持生产高端材料和关键基础材料的企业。

(3) 提升生产柔性响应速度。在超精密装备材料的生产中，柔性生产尤为重要。尤其是在高端材料的定制化需求日益增长的背景下，生产线需要具有更强的灵活性。企业应加大对智能化生产设备的投入，充分利用人工智能新成果，优化生产工艺，提高生产效率和产品质量。同时，政府应从政策上支持生产企业对新型生产技术和设备的研发投入，推动生产端实现从精密到超精密、从标准化到个性化的转型。

3.3 试点总体部制新模式，实现资源有机整合

“总体部”制度起源于航天工程的管理实践，尤其是载人航天工程中的成功应用，在解决超精密装备材料领域中的复杂技术问题方面具有极大的潜力。总体部制是科技研发体制机制的创新，是整合不同学科和技术领域资源，集中力量办大事的一种尝试，有望为材料领域的技术攻关提供系统性解决方案。

(1) 推动“总体部”制度试点应用。“总体部”能够通过统一的系统性设计和组织协调，汇集科研、工程、管理人才，打破科研、生产和市场需求之间的壁垒，实现资源的合理配置与优化调度。针对材料科学与技术领域技术壁垒高、离终端用户远、高投入、高风险等特点，通过“总体部”制合理精准调配资源，可以推动超精密装备材料产业链、技术链和创新链的深度融合，集中解决行业内的核心技术瓶颈。

(2) 创新跨学科协同攻关平台新模式。“总体部”通过协调不同学科领域的力量，能够在技术研发、生产应用和市场需求之间形成良性循环。为了有效推动高端材料的产业化，可以在“总体部”内设立专门的跨学科协同攻关平台，探索网络化和一体化相结合的

新型组织形式,汇集全国顶尖科研机构和高校的力量,联合企业解决关键技术难题。例如,可以针对超精密装备领域的高端光学材料、高性能金属材料等问题,组建专项攻关联合体,集中力量进行深度研究与技术突破。

(3) 探索技术密集型高科技企业孵化新途径。采用“总体部”制可以有效整合科研、工程应用和市场化各方面人才,通过跨学科跨领域长期稳定的合作,加强不同学科和技术领域团队间的技术共享、信息共享和资源互补。不仅可以凝聚各方力量,形成攻克技术难题的合力,而且有利于实现创新技术的落地应用。同时,以此为基础开展科技创新型企业的高效孵化,使科研成果切实转化为经济效益和产业升级的推动力,更加充分的实现其综合价值。

4 结语

作为技术创新的重要载体,超精密装备代表了现代制造科学的前沿发展趋势,并将在推动国民经济快速增长与国防建设中发挥重要作用。目前,中国在超精密装备材料科学与技术相关领域,仍面临科研与生产脱节、生产能力与市场需求脱节及技术创新瓶颈等诸多挑战。这些问题深刻制约了我国高端装备制造业的发展。

为解决上述问题,本文提出了3个方面的解决方案。① 强化产学研协同与科技成果转化,通过促进科研机构、高校和企业之间的深度合作,推动科研成果的转化与应用,解决科研与生产脱节的问题。② 建立完善的产业链协同与市场需求对接机制,优化产业结构,确保高端材料生产与市场需求的精准对接,解决生产与市场脱节的问题。③ 试点“总体部”制度整合资源,通过跨学科、跨领域的协作,集中攻克关键技术难题,推动技术突破与产业化应用。总之,只有通过协同创新、资源整合、跨学科和总体部方式合作与发展,才能解决当前面临的技术难题,实现我国超精

密装备领域的自主创新与持续发展,为高端装备制造注入强大的动力。

参考文献

- 1 李国鹏,韩淋,潘教峰,等.《2023 技术聚焦》折射新一轮科技革命与产业变革的形势及制高点. 中国科学院院刊, 2024, 39(8): 1447-1457.
Li G P, Han L, Pan J F, et al. 2023 *Technology Focus*: Reflecting the situation and technological high grounds of latest round of sci-tech revolution and industrial transformation. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2024, 39(8): 1447-1457. (in Chinese)
- 2 谢曼,千勇,王慧. 面向2035的新材料强国战略研究. 中国工程科学, 2020, 22(5): 1-9.
Xie M, Gan Y, Wang H. Research on new material power strategy by 2035. *Strategic Study of CAE*, 2020, 22(5): 1-9. (in Chinese)
- 3 郭靖雅,胡小月,王成勇,等. PCD 刀具激光加工技术及其装备研究进展. 工具技术, 2024, 58(4): 3-12.
Guo J Y, Hu X Y, Wang C Y, et al. Research progress of PCD tool laser machining technology and its equipment. *Tool Engineering*, 2024, 58(4): 3-12. (in Chinese)
- 4 屠海令,李腾飞,马飞. 我国关键基础材料发展现状及展望. 中国工程科学, 2017, 19(3): 125-135.
Tu H L, Li T F, Ma F. The development status and prospect of China's critical basic materials. *Strategic Study of CAE*, 2017, 19(3): 125-135. (in Chinese)
- 5 千勇. 关键基础材料的发展及创新. 钢铁研究学报, 2021, 33(10): 997-1002.
Gan Y. Development and innovation of key basic materials. *Journal of Iron and Steel Research*, 2021, 33(10): 997-1002. (in Chinese)
- 6 Williams J C, Boyer R R. Opportunities and issues in the application of titanium alloys for aerospace components. *Metals*, 2020, 10(6): 705.
- 7 Xu M, Shin D, Sberna P M, et al. High-strength amorphous silicon carbide for nanomechanics. *Advanced Materials*, 2024, 36(5): e2306513.
- 8 陈磊,刘阳钦,唐川,等. 面向超精密加工的微观材料去除

- 机理研究进展. 机械工程学报, 2023, 59(23): 229-264.
- Chen L, Liu Y Q, Tang C, et al. Research advance on material removal at microscale towards ultra-precision manufacturing. Journal of Mechanical Engineering, 2023, 59 (23): 229-264. (in Chinese)
- 9 金展鹏, 蔡格梅, 苏柳梅, 等. 走中国道路创建新材料制造科学体系——论材料科学与新兴产业链的全方位发展. 中国科学院院刊, 2016, 31(11): 1244-1252.
- Jin Z P, Cai G M, Su L M, et al. Chinese strategies of materials development and their manufacturing and fabrication—Comprehensive development of material science and its emerging industry chain. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(11): 1244-1252. (in Chinese)
- 10 武高辉, 匡泽洋. 装备升级换代背景下金属基复合材料的发展机遇和挑战. 中国工程科学, 2020, 22(2): 79-90.
- Wu G H, Kuang Z Y. Opportunities and challenges for metal matrix composites in the context of equipment upgrading. Strategic Study of CAE, 2020, 22(2): 79-90. (in Chinese)
- 11 Ju H B, Ding N, Xu J H, et al. The influence of crystal structure and the enhancement of mechanical and frictional properties of titanium nitride film by addition of ruthenium. Applied Surface Science, 2019, 489: 247-254.
- 12 杨锐, 马英杰, 程世婧. 海洋观测探测平台关键材料发展与展望. 中国科学院院刊, 2022, 37(7): 881-887.
- Yang R, Ma Y J, Cheng S J. Perspective on key materials for marine observation and exploration platform. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(7): 881-887. (in Chinese)
- 13 Pollice R, Dos Passos G G, Aldeghi M, et al. Data-driven strategies for accelerated materials design. Accounts of Chemical Research, 2021, 54(4): 849-860.
- 14 王国彪, 赖一楠, 卢秉恒, 等. “纳米制造的基础研究”重大研究计划结题综述. 中国科学基金, 2019, 33(3): 261-274.
- Wang G B, Lai Y N, Lu B H, et al. Review of the achievements of major research plan on “fundamental research on nanomanufacturing”. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2019, 33(3): 261-274. (in Chinese)
- 15 孟徽, 孟磊, 张兵. 构建我国材料领域科技创新发展新格局的思考. 科学管理研究, 2021, 39(3): 45-48.
- Meng H, Meng L, Zhang B. The suggestions on developing a new stage of scientific and technological innovation in the field of material. Scientific Management Research, 2021, 39 (3): 45-48. (in Chinese)

Materials science and technology in ultra-precision equipment

TAN Jun LIU Feng LUO Mingsheng

(Ji Hua Laboratory (Guangdong Provincial Laboratory of Advanced Manufacturing Science and Technology),
Foshan 528200, China)

Abstract The technological advancement of ultra-precision equipment is highly dependent on the development of advanced high-performance materials. The preparation and processing techniques of key materials directly impact the performance and service behavior of ultra-precision equipment. Nevertheless, the shortcomings in high-performance materials have become major weaknesses in China's high-end equipment manufacturing. This study systematically summarizes the application of advanced materials in ultra-precision equipment and provides an in-depth analysis of the current status of material preparation and processing technologies, and prospects for future development directions in this field are offered as well. Based on a thorough analysis of the main issues currently faced by China's ultra-precision equipment material industry, the study proposes solutions and development strategies from both technical and policy perspectives, aiming to facilitate the deep integration of various advanced materials and manufacturing technologies, thereby promoting the optimization and upgrading of ultra-precision equipment manufacturing technology and enhancing the competitiveness of related industries.

Keywords ultra-precision equipment, materials science and technology, challenges and opportunities

谭 军 季华实验室测试中心主任、研究员。广东省电镜学会理事,广东省材料学会理事。主要从事材料微观结构和服役行为研究。E-mail: tanjun@jihualab.ac.cn

TAN Jun Director and Researcher of Testing Center, Ji Hua Laboratory. Director of Guangdong Electron Microscopy Society and Director of Guangdong Materials Society. Mainly engaged in the research of material microstructure and driving behavior. E-mail: tanjun@jihualab.ac.cn

■ 责任编辑: 文彦杰