

# 化铣用可剥保护材料技术与应用前景展望

李金虎, 于建龙, 吴明霞, 徐生亮, 郑翔翔, 李轩羽

(中昊北方涂料工业研究设计院有限公司, 兰州 730101)

**摘要:** 化铣用可剥保护材料是航空航天与高端制造等领域的关键功能材料, 本文分析了该材料的国内外技术现状、市场规模与发展趋势。全球市场规模持续扩大, 亚太地区增长最快, 欧美企业主导高端市场。技术方面, 水性环保与多功能集成型产品是研发重点。中国在北方涂料院等企业的带动下已取得技术突破, 但产业链协同仍显不足。未来, 伴随特种装备升级换代、民机需求释放及新能源等新兴领域应用拓展, 该材料将向智能化、功能集成化及绿色可持续方向演进。本文还针对中国在该领域的发展瓶颈提出对策, 以促进行业创新与升级。

**关键词:** 化铣; 可剥保护材料; 航空航天; 市场分析; 技术趋势; 应用前景

中图分类号: TQ637 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)11-0031-06

## Technology and Application Prospect of Strippable Protective Materials for Chemical Milling

LI Jin-hu, YU Jian-long, WU Ming-xia, XU Sheng-liang, ZHENG Xiang-xiang, LI Xuan-yu

(North Paint & Coatings Industry Research and Design Institute Co., Ltd. of China Haohua, Lanzhou 730101, China)

**Abstract:** The strippable protective material for chemical milling is a key functional material in aerospace, high-end manufacturing and other fields. This paper analyzes the current technical status, market size and development trends of this material at home and abroad. The global market size continues to expand, with the fastest growth in the Asia-Pacific region, European and American enterprises dominate the high-end market. In terms of technology, water-based environmentally friendly and multi-functional integrated products are the focus of research and development. China has achieved technological breakthroughs under the leadership of enterprises such as the North Institute, but the industrial chain collaboration is still insufficient. In the future, with the upgrading and replacement of special equipment, the release of civil aircraft demand and the expansion of applications in emerging fields such as new energy, this material will evolve towards intelligence, functional integration and green sustainability. This paper also proposes countermeasures for the development bottlenecks in this field in China to promote industry innovation and upgrading.

**Key words:** chemical milling; peelable protective material; aerospace; market analysis; technological trends; application prospects

## 0 引言

化学铣切(简称化铣)作为一种特殊的加工技术,

广泛应用于航空航天、特种装备及高端制造领域, 其通过控制特定部位的化学腐蚀来实现零件成型与减重。在这一工艺中, 可剥保护材料发挥着至关重要的作用, 它能够精确保护非加工区域, 确保化铣加工的精度与质量。随着高端装备制造技术的飞速发展, 对化铣用可剥保护材料的性能要求日益提高, 如耐强腐蚀性、精准剥离性、环保性等, 使其成为新材料领域的

收稿日期: 2025-09-28

基金项目: 甘肃省科技厅-科技重大专项 25ZDGA004。

作者简介: 李金虎(1996—), 男, 本科, 助工, 主要从事化铣、临时保护可剥涂料的开发工作。E-mail: 2550496921@qq.com。

重要研究方向。

近年来,全球可剥保护材料市场持续增长。据 QY Research 调研显示,2024 年全球可剥盖膜(可剥保护材料的一种)市场规模已达到约 6.62 亿美元,预计 2031 年将增长至 9.64 亿美元,其间年复合增长率达 5.6%<sup>[1]</sup>。这一增长主要源于航空航天、特种装备等领域需求的持续释放,尤其是新一代特种装备、民用飞机对轻量化、高性能材料的迫切需求。同时,随着环保法规日趋严格,高固体分及水性环保型可剥保护材料成为近年来的研发热点,将推动行业技术升级与产品迭代。中国作为制造业大国,在化铣用可剥保护材料领域经历了从技术引进到自主创新的转变。北方涂料院从 20 世纪 70 年代开始研发化铣保护材料,先后推出了光敏型化铣保护涂料、HX-150 化学铣切保护涂料等。2008 年,该单位选择 SEBS 热塑性弹性体为基体材料,摒弃了传统的橡胶材料,在一定程度上改善了保护涂料耐热性不高、质量稳定性差、化铣后涂层略微褪色等缺陷<sup>[2]</sup>。产品适应刷涂、无气喷涂、空气喷涂、浸涂等多种施工方式,能充分满足化铣使用要求,在多个航空公司实现批量供货。云煤集团弹性体创新院完成的“空天装备用系列新型化铣保护涂料的研发与应用”项目,成功打破了国外技术垄断,荣获 2024 年度云南省科学技术进步奖三等奖<sup>[3]</sup>。该成果标志着中国在高端可剥保护材料领域已具备一定的技术积累与创新能力。然而,与国际先进水平相比,中国在材料稳定性、应用广度及市场占有率方面仍存在差距。

本文旨在系统梳理化铣用可剥保护材料的国内外技术发展现状、市场容量与格局、技术发展趋势,并重点分析其在特种装备及民用飞机领域的应用需求与前

景,进一步展望在其他行业的拓展潜力。通过深入剖析行业面临的挑战与机遇,以期可为可剥材料科研机构、企业提供参考,推动中国化铣用可剥保护材料行业的健康发展。

## 1 化铣用可剥保护材料的技术概述

化铣用可剥保护材料通过在零件表面形成临时性保护层,使化铣液仅作用于未保护区域,从而实现复杂结构的高精度加工,其不仅须具备优异的耐腐蚀性,还须在加工完成后易于剥离,且不损伤基体材料。近年来,随着化铣技术的进步,可剥保护材料已从单一功能向高性能、环保化、多功能化方向快速发展。

### 1.1 化铣工艺的基本原理及对保护材料的性能要求

化铣工艺的核心技术是利用化学腐蚀液对金属或非金属材料进行可控腐蚀,以达到减重、成型或表面处理的目的。在这一过程中,可剥保护材料通过选择性保护实现加工区域的精确控制。其技术原理决定了保护材料必须满足以下几方面性能要求:1)耐腐蚀性——保护材料必须能够有效抵抗化铣液的强烈腐蚀,确保在加工过程中不破裂、不渗透<sup>[4]</sup>;2)剥离性能——加工完成后,保护材料应能够从基体表面完整剥离,不能残留;3)环保性与安全性——随着环保法规的日益严格,可剥保护材料正向水性、高固体分、低 VOC、无有害物质的方向发展<sup>[5]</sup>。

### 1.2 可剥保护材料的分类与特点

可剥保护材料可根据其成分、应用场景和功能特点进行多种方式分类。按材质主要分为弹性体基、聚合物基两大类;按应用方式则可分为喷涂型、刷涂型和预成型膜等。不同类型的可剥保护材料具有各自独特的特点和适用范围,详见表 1。

表 1 化铣用可剥保护材料的主要类型及特点

分类方式	类型	主要特点	典型应用
按成分分类	弹性体基	柔韧性好,耐腐蚀性强,易剥离	航空航天复杂结构件
	聚合物基	强度高,耐磨性好	大型平面件
按应用方式分类	喷涂型	适合复杂形状,覆盖均匀	发动机叶片等复杂零件
	刷涂型	施工设备简单,适合小批量生产	维修与小型部件
	预成型膜	厚度均匀,操作简便	平面或简单曲面
按环保性分类	溶剂型	性能稳定,应用广泛	传统化铣加工
	水基型	环保无毒,安全性高	食品、电子等新兴领域
	高固体分型	柔韧性好,耐腐蚀性能优异,易剥离且溶剂挥发少	航空航天复杂构件

从材料科学角度分析,可剥保护材料的性能主要取决于其分子结构与配方设计。北方涂料院化铣团队从基础材料分子结构入手,创新性地采用热塑性弹性体复合体系,成功研发出溶剂型化铣、水性化铣、2K 双

组分化铣、阳极氧化保护、电镀保护、线密封保护、快干修补胶等具有完全自主知识产权的新型化铣保护涂料。这种基于分子结构设计的创新思路,代表了可剥保护材料技术发展的重要方向。

### 1.3 可剥保护材料的技术发展历程

可剥保护材料的技术发展大致经历了3个主要阶段:初期阶段的产品以橡胶基为主,保护性能一般,剥离效率低;发展阶段出现了聚氨酯、丙烯酸酯等合成聚合物基产品,耐腐蚀性和剥离性能显著提升;高性能化阶段则向水性环保、功能集成化、智能化方向快速发展。

北方涂料院的研发历程生动展示了这一技术演进路径。从传统的液体氯丁橡胶、乙烯基或丁基橡胶<sup>[6]</sup>,到丁苯橡胶SBS、SIS热塑性弹性体“第二代”高性能复合可剥防护涂层,再到目前成熟的“第三代”SEBS热塑性弹性体,未来布局研发中的“第四代”水性、双组分产品,其性能不断提升,更加绿色环保,而施工周期和材料成本则持续降低。这种技术演进不仅满足了高端装备制造对化铣工艺日益增长的要求,也推动了可剥保护材料应用领域的不断拓展。

## 2 国内外技术发展与市场现状分析

化铣用可剥保护材料作为高技术壁垒的特种功能材料,其全球市场格局与技术发展水平在不同国家和地区呈现出显著差异。深入分析国内外技术发展与市场现状,有助于准确把握行业动态,推动中国在该领域的创新与发展。

### 2.1 国际技术现状与市场格局

在国际市场上,化铣用可剥保护材料的技术主导权主要集中在欧、美、日等发达国家的少数化工巨头手中。从技术层面看,国际先进企业已实现高性能、多功能化产品的规模化生产,并持续向绿色环保方向迭代。

在市场格局方面,全球可剥保护材料市场呈现寡头竞争态势。全球核心厂商包括Amcor、Toray Plastics和DuPont Teijin Films等,前十大厂商占据全球约41%的市场份额<sup>[7]</sup>,2024年全球可剥保护材料区域市场分布见表2。这种市场集中度高的特点,反映了行业存在较高的技术、品牌和客户壁垒。

表2 2024年全球可剥保护材料区域市场分布

地区	市场份额/%	主要驱动因素	领先企业
北美	36	航空航天产业发达,特种装备投入大	3M、DuPont、PPG
欧洲	33	高端制造业强大,环保法规严格	Amcor、Mondi Group
亚太	26	制造业转移,消费电子产业发达	Toray Plastics
其他地区	5	新兴市场增长潜力大	区域本地企业

从区域市场分布来看,北美是全球最大的可剥保护材料市场,占据约36%的市场份额,欧洲和亚太地

区分别占有约33%和26%的份额<sup>[8]</sup>。北美市场的领先地位主要得益于其发达的航空航天和特种装备,如美国拥有波音、洛克希德·马丁等全球航空航天巨头,对高性能化铣保护材料需求旺盛。

### 2.2 国内技术发展与市场容量

中国化铣用可剥保护材料产业经历了从无到有、从弱到强的发展历程。近年来,随着中国航空航天、特种装备等高端制造业的飞速发展,国内企业在可剥保护材料领域取得了显著技术进步。北方涂料院研发的《化铣用工艺保护材料》项目就是典型代表,该项目突破了国外技术垄断,研发的涂料实现了耐强腐蚀、易剥离、零残留等关键技术突破,经权威机构评价,成果整体技术达到了国际先进水平。该技术已成功应用于多种型号的空天设备以及核电等大国重器的关键部件制造,体现了中国在高端可剥保护材料领域的技术实力。

哈电集团研发的“第三代”高性能复合可剥防护涂层具有良好的耐磨、防腐、耐紫外线等特性,以及优异的柔韧度和较高的断裂伸长率,可满足发电机转子等产品部件在吊装、运输、存储等条件下长期防护的要求。这类技术的突破,为中国重大装备的制造与运输提供了可靠保障。

从市场容量看,中国可剥保护材料市场已成为全球增长最为迅速的区域之一。根据调研数据,中国市场约占全球可剥盖膜市场的26%<sup>[9]</sup>,且增长率高于全球平均水平。这主要得益于中国航空航天产业的快速发展、国家现代化建设的持续推进以及高端装备制造业的转型升级。特别是随着中国商飞C919、特种装备等重点型号的批产,对高性能化铣保护材料的需求将持续释放。

在市场格局方面,中国可剥保护材料市场呈现外资巨头与国内领先企业共同竞争的局面。国际巨头如奎克化学(AC)、德国汉高等凭借品牌和技术优势占据高端市场较大份额;而国内企业如北方涂料院、云煤集团、哈电集团等则凭借国产化替代、快速响应能力和成本优势,在特定细分领域构建了自身竞争力。然而,总体来看,中国企业在高端产品领域的市场份额仍有较大提升空间。

## 3 技术发展趋势与创新动态

化铣用可剥保护材料技术正处在一个快速创新的阶段,多种技术路线并行发展,将推动产品性能不断提升,应用领域持续拓展。深入了解当前技术发展趋势与创新动态,对于把握行业未来方向、制定正确的研发策略具有重要意义。

### 3.1 环保化与可持续性发展

环保化已成为可剥保护材料技术发展的首要趋

势。随着全球环保法规日趋严格以及用户环保意识不断增强,传统的溶剂型可剥保护材料正逐渐被水性环保型产品替代。

北方涂料院研发的水性化铣保护涂料、双组分化铣保护涂料是这一趋势的典型代表。与传统溶剂型产品相比,水性产品不仅 VOC 含量大幅降低,而且在化铣过程中不会释放有害物质,显著改善了工作环境,降低了对操作人员的健康危害。而且这种环保型产品在性能方面也和溶剂型产品相当,体现了环保与高性能可以兼得的理念。

循环利用是环保化的另一个重要维度。波音公司部署的自动化回收生产线,可将退役复合材料部件的碳纤维回收率提升至 92%,再生碳纤维的拉伸强度保持率达 95%,已用于次级结构部件制造<sup>[8]</sup>。这一技术对于可剥保护材料的可持续发展具有重要借鉴意义,未来可研发易于回收再利用的可剥保护材料,降低全生命周期环境影响。

### 3.2 高性能化与多功能集成

为满足航空航天、特种装备等领域对化铣工艺日益增长的要求,可剥保护材料正持续向高性能化方向发展。这种高性能化主要体现在更宽的适用温度范围、更长的保护周期、更优异的耐腐蚀性能等方面。

北方涂料院研发的高性能复合可剥防护涂层,具有良好的耐磨、防腐、耐紫外线等特性,以及优异的柔韧度和较高的断裂伸长率,能够满足特种装备等产品部件在吊装、运输、存储等条件下长期防护的要求,并且氟、氯、硫等微量元素含量均在  $1.5 \times 10^{-5}$  以下,满足核电设备防护使用要求。

多功能集成是另一个重要趋势。现代制造业希望一种保护材料能够同时满足多种需求,从而简化工艺流程,降低综合成本。空客 ZEROe 氢动力飞机项目成功开发出氢燃料兼容复合材料,通过乙烯基酯树脂的化学改性,使材料在液态氢 ( $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 环境下的脆化程度大幅降低<sup>[9]</sup>。虽然这是结构材料,但其技术思路可用于开发特殊环境下使用的多功能可剥保护材料。

自修复功能是近年来备受关注的研究方向。3M 公司推出的微胶囊型自修复复合材料,当裂纹扩展至 0.3 mm 时,内置的修复剂胶囊破裂释放氰基丙烯酸酯,可在 24 h 内完成损伤自愈,经测试该材料使飞机蒙皮的疲劳寿命延长 22%<sup>[10]</sup>。将自修复功能引入可剥保护材料,可显著提升其可靠性和使用寿命,是未来技术发展的重要方向。

## 4 特种装备及民用飞机的应用需求与前景

特种装备及民用飞机作为高端装备制造的代表,对化铣用可剥保护材料的性能要求最为严格,同时也

是技术创新的重要驱动力。随着全球航空运输量的持续增长以及特种装备更新换代的需求释放,特种装备及民用飞机领域为化铣用可剥保护材料提供了广阔的市场空间与技术发展动力。

### 4.1 特种装备应用需求与特点

特种装备对可剥保护材料的需求具有高性能、高可靠性和特殊适应性等特点。由于特种装备往往在极端环境下执行任务,其零部件需要满足更为苛刻的使用要求,这对化铣过程中的保护材料提出了极高挑战。

现代特种装备为满足各种性能要求,大量采用复杂型面与特殊结构,化铣工艺在其中扮演着关键角色。例如,特种装备蒙皮、进气道等部位需要精确化铣以达到减重与气动双重目的,这就要求可剥保护材料能够适应复杂曲面,提供精准保护<sup>[11]</sup>。北方涂料院研发的化铣保护涂料已稳定应用于多种空天装备的制造,保障了关键部件的精密加工,为高性能特种装备的制造提供了支撑。

特种装备维修保障领域对可剥保护材料的需求也不容忽视。特种装备在服役期间需要定期检修,部分部件可能需要再次化铣修复,这就要求保护材料不仅适用于制造过程,还能满足野外条件下的维修需求。

随着多用途、长航时特种装备的发展,未来特种装备对可剥保护材料的需求将呈现多元化和定制化特点,开发满足特定机型、特定部件要求的专用保护材料将成为又一重要趋势。

### 4.2 民用飞机市场需求与前景

民用飞机市场对可剥保护材料的需求主要体现在大批量、成本可控和环保合规等方面。随着全球航空运输业的复苏以及新型民机的不断推出,民用飞机市场为可剥保护材料提供了稳定的需求空间。

根据 BCC Research 数据,2024 年全球先进航空航天材料市场规模为 292 亿美元,而到 2029 年这一数字将飙升至 429 亿美元,以 8% 的复合年增长率勾勒出产业扩张的强劲曲线<sup>[8]</sup>。这一增长主要源于商业航空领域对轻量化材料的迫切需求,而轻量化很大程度上依靠化铣工艺实现,从而带动了对高性能可剥保护材料的需求。

环保与可持续性为民机制造商特别关注的问题。空客 ZEROe 氢动力飞机项目对材料提出了氢兼容性要求<sup>[9]</sup>,这意味着与之配套的化铣保护材料也需要适应这一趋势。同时,民机制造过程中对 VOC 排放的严格限制,也将推动水性可剥保护材料的需求持续增长<sup>[12]</sup>。

从市场容量来看,单通道客机的大批量生产,为可剥保护材料提供了稳定需求。以空客 A320neo 为例,其月产量已超过 40 架,每架飞机有数百个零件需要化

铣加工,对可剥保护材料的用量可观。加上波音 787、空客 A350 等宽体客机的生产,民机市场对可剥保护材料的总需求将持续增长。

## 5 其他行业应用前景分析

化铣用可剥保护材料作为一种重要的工业辅助材料,其应用前景不仅限于航空航天领域,在船舶、新能源、电子、交通运输等多个行业均展现出广泛的应用潜力<sup>[13]</sup>。多元化应用领域的拓展,既是行业增长的新动能,也是技术创新的重要驱动力。

### 5.1 航天领域应用前景

航天领域对可剥保护材料的技术要求甚至高于航空领域,尤其在耐极端温度<sup>[14]</sup>、抗辐射和长寿命<sup>[15]</sup>等方面具有特殊要求。随着全球航天产业的商业化、规模化发展,航天领域对可剥保护材料的需求正快速增长。

北方涂料院研发的化铣保护涂料,成功打破了国外技术垄断,其产品已在飞悦航空、特种装备技术研究院等核心单位实现应用,成为保障重点型号大国重器关键部件超高精度的幕后功臣。

可重复使用运载器是航天产业的发展方向,这对化铣保护材料提出了新要求。可重复使用意味着部件需要多次维修,化铣保护材料不仅需要满足制造过程中的使用要求,还需要适应使用过程中的维护需求。

商业航天的兴起为可剥保护材料带来了新的需求特点。相对于传统航天,商业航天更注重成本控制和生产效率,这要求保护材料在保证性能的同时,具有更低的价格和更简便的施工工艺。

### 5.2 新能源与电子领域应用潜力

新能源与电子行业作为快速发展的高技术领域,对精密制造工艺的需求日益增长,这为化铣用可剥保护材料提供了新的应用场景。特别是在动力电池、太阳能电池和半导体制造等领域,可剥保护材料展现出巨大的应用潜力。

在新能源领域,动力电池的电极板制造过程中可能需要化铣工艺来实现精确成型,这要求保护材料能够耐受酸性或碱性电解液环境,同时确保剥离后无残留<sup>[16]</sup>,避免影响电池性能。

太阳能电池制造是又一潜在应用领域。高效太阳能电池往往需要复杂的表面结构来提高光吸收效率,化铣工艺是形成这些微结构的重要手段之一。太阳能电池材料多为硅片或化合物半导体,其化铣过程需要保护材料能够精确图形化,同时不引入污染杂质,这对可剥保护材料的洁净度和精确性提出了极高要求。

半导体制造领域对可剥保护材料的需求更为精细。随着芯片制程不断缩小,半导体器件结构日益复杂,化铣工艺在半导体制造中的应用不断增加。半导体

制造需要在原子级洁净环境下进行,这对保护材料提出了近乎苛刻的要求,不仅需要提供有效保护,还须确保剥离后零污染、零残留<sup>[17]</sup>。

### 5.3 交通运输与其他工业领域应用展望

除了航空航天、新能源和电子领域外,交通运输、重大装备制造等工业领域也为化铣用可剥保护材料提供了广阔的应用空间。这些应用场景可能对材料性能有不同侧重要求,形成了多样化的市场需求。

在交通运输领域,高速列车、豪华汽车等高端交通工具的制造过程中,化铣工艺广泛应用于装饰件、散热器等部件的生产,这些部件往往价值较高,且外观要求严格,需要可剥保护材料提供无损保护<sup>[18]</sup>。

重大装备制造是另一个重要应用领域。如水轮发电机组、核电站部件等重大装备的制造周期长、价值高,在加工、运输和存储过程中需要提供长期有效保护。传统防护方式如防锈油等存在清理难度大、周期长等问题,而可剥防护涂层可整张剥离,显著提高了效率。随着中国重大装备制造业的升级,这一领域的市场需求将持续增长。

## 6 发展建议与未来愿景

基于对化铣用可剥保护材料技术现状、市场格局和应用前景的全面分析,可以预见该领域未来发展潜力巨大,但也面临诸多挑战。为促进中国化铣用可剥保护材料行业的健康发展,需要从技术研发、产业协同、政策支持等多个维度采取有效措施。

### 6.1 技术研发与创新方向

面对日益增长的高端需求和国际竞争压力,中国化铣用可剥保护材料行业必须加大技术研发投入,找准创新方向,实现从跟跑到并跑乃至领跑的转变。未来技术研发应重点关注以下方向:

1) 环保型材料技术是未来的主导方向。随着环保法规的日益严格和用户环保意识的不断增强,开发水性、无溶剂、生物基等环保型可剥保护材料已成为行业共识。

2) 多功能集成技术是提升产品附加值的重要途径。现代制造业希望一种材料能够同时满足多种需求,从而简化工艺流程,降低综合成本,未来可研发具有自修复、传感指示、耐极端温度等多功能集成的可剥保护材料。

3) 数字化设计与应用技术是提高研发效率和使用效果的重要手段<sup>[19]</sup>。利用人工智能、大数据等数字化技术,可以加速新材料研发进程,实现精准配方设计。

### 6.2 产业协同与体系建设

化铣用可剥保护材料的发展不仅依赖于材料本身的技术突破,还需要整个产业链的协同创新和体系化

建设。建立产学研用紧密结合的创新体系,是推动行业持续发展的关键。

产学研用协同是加速技术转化的重要机制。云煤集团弹性体创新院开创性构建的“实验室—中试线—产业园”三级成果转化体系,为可剥保护材料技术的产业化提供了成功典范<sup>[3]</sup>。

标准化建设是规范市场秩序、提升产品质量的重要手段<sup>[20]</sup>。目前,中国可剥保护材料领域的标准体系尚不完善,特别是高端应用领域的产品标准、测试方法和应用规范有待建立和完善。行业龙头企业、科研机构 and 用户单位应共同制定行业标准,促进产品质量提升和市场规范发展<sup>[21]</sup>。

产业链协同是确保材料性能和应用效果的重要保障。可剥保护材料的效果不仅取决于材料本身,还与化铣工艺、施工设备等多方面因素相关。材料供应商应加强与设备制造商、最终用户的合作,提供整体解决方案而非单一材料产品。

### 6.3 政策支持与战略规划

化铣用可剥保护材料作为关键战略材料,其发展离不开政府的政策支持和战略引导。针对当前行业存在的短板和未来发展方向,应从以下方面加强政策支持:

1) 加大研发投入支持是弥补技术短板的关键措施。国家应在重点研发计划中设立专项,支持可剥保护材料基础研究、关键技术攻关和产业化应用。重点支持环保型、多功能、智能化等前沿技术研发,突破技术瓶颈。同时,鼓励地方政府结合区域产业特色,支持可剥保护材料在特定领域的应用研发和产业化。

2) 完善创新生态环境是激发创新活力的重要基础。我国应加强知识产权保护,保障创新主体的合法权益;建立公共研发服务平台,为中小企业提供技术咨询、测试评价等服务;鼓励风险投资、产业基金等社会资本投入可剥保护材料领域,形成多元化投入格局。

3) 促进国际合作交流是提升技术水平的有效途径。虽然可剥保护材料领域存在一定的技术壁垒,但国际交流与合作仍不可或缺。我们应支持国内企业、科研机构参与国际标准制定、国际技术联盟等活动,跟踪国际前沿技术动态;鼓励通过国际合作引进消化吸收先进技术,提升自主创新能力。

展望未来,随着技术不断创新和应用领域持续拓展,化铣用可剥保护材料行业将迎来更加广阔的发展前景。预计到2030年,环保型、多功能集成型产品将成为市场主流,中国企业在全球市场的影响力将不断提升。最终,化铣用可剥保护材料将为全球高端制造业的发展提供更强支撑,为人类技术进步和可持续发展作出更大贡献。

### 参考文献:

- [1] 2025—2031 global and China peelable lidding films industry research and 15th five year plan analysis report[R]. QY Research, 2025.
- [2] 秦瑞,李清材,孙哲,等. SEBS 新型可剥性化铣保护涂料的研制[J]. 材料保护, 2016(3): 52-54.
- [3] 云煤集团打破技术垄断创新铸就“中国精度”[R]. 国际煤炭网, 2025.
- [4] 孟江燕,王云英,林翠,等. 钛合金化学铣切保护涂料的制备及性能研究[J]. 材料工程, 2010(12): 5-7.
- [5] 王帅,于钦泰,杜丽梅. 环保型水基化铣可剥胶与溶剂型产品在航天铝合金材料化铣加工中的性能对比研究[J]. 云南化工, 2012(1): 9-12.
- [6] 李清材,韩敏,于建龙,等. 新型化学铣切临时保护可剥性涂料[J]. 现代涂料与涂装, 2014(9): 12-15.
- [7] 美国关税背景下全球与中国可剥盖膜市场规模分析及行业发展趋势研究报告[R]. DI Research, 2025.
- [8] 2025 年航空材料革新重塑飞行未来的科技全景[R]. BBC Research, 2025.
- [9] ZEROe hydrogen aircraft material compatibility report[R]. Airbus SAS, 2023.
- [10] 3M Corporation. Self-Healing microcapsule technology for aerospace coatings: US11203621B2[P]. 2021-12-21.
- [11] 曹钰,刘世参. 零件表面可剥离封存薄膜技术的发展概况[J]. 中国表面工程, 2000(2): 14-17.
- [12] 王帅,杨魁,于钦泰,等. 水基化铣可剥涂料碱化铣应用工艺研究[J]. 云南化工, 2016(1): 28-31.
- [13] 雷瑞丞,汪洋,刘兰轩,等. 可剥涂料改性研究进展[J]. 材料保护, 2021(5): 138-143.
- [14] 蒋坤. 有机硅改性酚醛树脂及高性能化铣可剥涂料的制备与应用[D]. 大连:大连海事大学, 2023.
- [15] 李庆春. TA12 钛合金深度化铣工艺及铣后性能研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2016.
- [16] 李文凯,王李军,周如东,等. 高性能化学铣切临时保护涂料的研制[J]. 涂料工业, 2019(7): 26-29.
- [17] 吴建云. 铝合金超精密化学铣切加工工艺研究[D]. 南昌:南昌航空大学, 2019.
- [18] 曹怀志. 一次性刻线在多台阶化铣中的应用研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2020.
- [19] Deep Mind Graph Net. AI-driven material design for high-temperature coatings[J]. Nature Materials, 2022, 21(4): 389-397.
- [20] GB/T 23455—2009 化学铣切临时保护涂料通用规范[S].
- [21] ASTM D 6132-13 Standard specification for peelable films for surface protection[S].