

我国先进镁合金材料产业 2035 发展战略研究

李芳¹, 管仁国^{2,3}, 铁镛³, 刘楚明⁴, 乐启炽⁵, 宋江凤⁶, 曾小勤^{7,8}, 蒋斌⁶

(1. 中国有色金属学会, 北京 100038; 2. 大连交通大学连续挤压教育部工程研究中心, 辽宁大连 116028; 3. 东北大学材料科学与工程学院, 沈阳 110819; 4. 中南大学材料科学与工程学院, 长沙 410083; 5. 东北大学材料电磁过程研究教育部重点实验室, 沈阳 110819; 6. 重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400030; 7. 上海交通大学材料科学与工程学院, 上海 200240; 8. 上海交通大学轻合金精密成型国家工程研究中心, 上海 200240)

摘要: 本文在梳理我国镁合金材料产业发展现状的基础上, 分析了其发展面临的国内外主要问题, 展望了我国镁合金材料产业在高性能稀土镁轻质结构合金材料、高强高导热镁合金材料、高强高导电镁合金材料、超高强镁合金材料等 11 个方面的未来市场需求前景。面向 2030 年和 2035 年的阶段性发展规划, 本文从提高自主创新能力、优化资源配置、加强企业合作力度、构建完善的镁合金材料整体研究体系、完善平台建设等方面提出了促进我国先进镁合金材料产业可持续发展的相关战略。最后, 从注重研究体系的构建、优化产业发展格局、构建高质高效产业、完善配套政策体系、构建精尖人才体系等方面提出了对策建议, 以期满足国民经济、国家重大工程和社会可持续发展对先进镁合金材料的需求。

关键词: 金属材料产业; 镁合金; 稀土镁合金材料; 低能耗; 高效率; 2035

中图分类号: F426.32 **文献标识码:** A

Development Strategies for China's Advanced Magnesium Alloy Industry Toward 2035

Li Fang¹, Guan Renguo^{2,3}, Tie Di³, Liu Chuming⁴, Le Qichi⁵, Song Jiangfeng⁶,
Zeng Xiaolin^{7,8}, Jiang Bin⁶

(1. The Nonferrous Metals Society of China, Beijing 100038, China; 2. Engineering Research Center of Continuous Extrusion, Ministry of Education, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, Liaoning, China; 3. School of Materials Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 4. School of Materials Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China; 5. Key Laboratory of Electromagnetic Processing of Materials, Ministry of Education, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 6. College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China; 7. School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 8. Light Alloy Net Forming National Engineering Research Center, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: In this paper, we introduce the development status of China's magnesium alloy material industry, analyze the main problems faced by its development in China and abroad, and prospect the future market demand in China for magnesium alloy materials such as high-performance rare earth-magnesium alloys with lightweight structures, magnesium alloys with high strength and high thermal conductivity, magnesium alloys with high strength and high electrical conductivity, and ultra-high-strength magnesium alloys. We also present a phased development plan for the industry toward 2030 and 2035 and propose relevant strategies for promoting the sustainable

收稿日期: 2020-07-18; 修回日期: 2020-09-03

通讯作者: 李芳, 中国有色金属学会高级工程师, 研究方向为计算材料学; E-mail: 2006Lfang@163.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“新材料强国 2035 战略研究”(2018-ZD-03)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

development of this industry in China. These strategies include promotion of independent innovation capabilities, optimization in resource allocation, strengthening of corporate cooperation, establishment of a complete research system for magnesium alloy materials, and improvement in platform construction. To satisfy the demand for the advanced magnesium alloy materials by national economy, national major projects, and social sustainable development, China should optimize its scientific research system, optimize the industrial development pattern, create high-quality and efficient industries, improve relevant policy systems, and build a sophisticated talent system.

Keywords: metal material industry; magnesium alloy; rare earth–magnesium alloy; low energy consumption; high efficiency; 2035

一、前言

基础材料领域的高速发展给世界各国社会、经济、文化体系等各方面带来了重大变化。作为先进基础材料产业的一个重要门类，我国镁合金材料产业自响应落实“十三五”系列战略措施以来，自主研发了 10 余种镁合金材料并成功应用于航空、航天、国防军工、汽车等领域，大幅降低了镁合金产品的成本，提升了产品市场竞争力。我国镁资源丰富，受汽车节能减排及轻量化等需求刺激，有望促进镁合金材料消费市场的进一步发展，为产业发展带来机遇与挑战。

紧跟全球绿色节能发展趋势，我国镁合金材料产业整体正朝低能耗、高效率、高质量方向发展，不断进行产业升级改造。我国镁合金材料相关工艺技术研究起步晚于欧美发达国家，虽然在部分镁合金材料领域突破了一批核心关键技术，但在研发效率、生产质量、市场拓展、环境保护等方面仍存在较大差距。未来，我国镁合金材料产业需以国家战略需求为基准，紧跟国际研究热点，在不断提升行业整体水平的同时，加强先进镁合金材料的研发力度，着力提高自主创新能力。通过优化组织实施方式，助力国家重大工程急需的先进镁合金材料“产学研”体系通道畅通，促进相关科研成果转化并实现产业化运用，实现我国从材料大国向材料强国的战略性转变，满足国民经济、国家重大工程和社会可持续发展对先进镁合金材料的需求。

二、我国先进镁合金材料产业发展现状与问题

(一) 发展现状

1. 镁合金材料产业升级趋势明显

“十三五”以来，我国镁合金材料产业实施自主创新战略，通过“产学研用”结合，紧紧依靠科技进步与技术创新来提高材料质量的均一性，有效

提高了中高端材料产业有效供给能力和水平。新常态下，我国逐步改变高投入、高消耗、高污染、高排放的传统模式，向低投入、低消耗、高产出、低污染的发展模式转型，短流程、低成本、低能耗的新工艺和新方法不断涌现 [1]。

2. 原镁产能与市场消费情况

近年来，我国镁产业运行总体平稳，产量、出口量持续增长。目前全球原镁产量主要来自于中国，根据中国有色金属工业学会统计，2019 年，我国原镁产量为 9.69×10^5 t，同比增长 12.2%；在价格方面，受供给增加影响，原镁均价为 15 949 元/t，同比下跌 3.3%，镁冶炼企业实际盈利水平同比小幅下降；在资源消费及市场方面，我国镁资源的消费量为 4.85×10^5 t，同比增长 8.6%，增幅同比提升 1.6 个百分点，但国外对镁资源需求回升，我国 2019 年全年累计出口各类镁产品约 4.52×10^5 t，同比增长 10.2%，出口量占我国镁产量的 46.6% [2]。

3. 镁合金材料产业技术研发进展

近年来，针对国际上镁合金材料存在力学性能较差的弱点，我国积极开展了先进镁合金材料的研制工作，在稀土镁合金、大尺寸铸棒、大型复杂件的工程技术方面取得重要突破，研制的部分高强镁合金大尺寸复杂铸件、高强耐热镁合金大规格挤压型材/锻件等达到世界先进水平。具体来看，2019 年，南京云海特种金属股份有限公司在技术研发和生产整合方面取得重大进展，生产的锻造镁合金轮毂在汽车主机企业得到应用。上海交通大学轻合金精密成型国家工程研究中心开发了新型高性能轻质镁稀土合金材料，成功应用于直升机关键复杂承力部件，轻量化效果显著，并已实现批量稳定制造，填补了我国新一代直升机用高强耐热镁合金材料空白。重庆大学国家镁合金材料工程技术研究中心研制出 AT、AE、VW 系列等 40 多种新型镁合金，其中有 16 种合金成为国家标准牌号，十几种合金得到工程应用和产业化推广。东北大学开发了大规格

镁合金扁铸锭生产技术，目前能够生产最大截面为 1450 mm×400 mm 的镁合金大扁锭；开发了镁合金宽幅板带卷轧制成套技术，已实现产业化应用。中南大学和长春应用化学研究所等单位开发出高强高韧稀土镁合金、高性能压铸镁合金和稀土镁合金批量生产技术 [3]，成功应用于航空、航天、国防军工、汽车、电子产品等领域，大幅降低了稀土镁合金产品的成本，提升了市场竞争力，填补了国内相关领域的空白。

（二）存在的主要问题

1. 产业发展起步晚、底子薄，关键设备进口依赖度高，受制于人现象突出

我国高性能镁合金材料产业起步晚、底子薄，在应用上整体仍处于产业链和价值链的中低端。同时，相关战略政策的执行率较低，关键工艺技术与国外差距较大，高端设备大多依靠进口。研发所需的技术和设备常受国外出口限制，使得镁合金材料的研发面临困难，尤其是许多高端核心材料的研发举步维艰、性能提升缓慢、产能也严重不足。另外，相关企业研发、生产和服务的智能化水平较低，标准、检测、评价、计量和管理等支撑体系缺失，产品性能稳定性、质量一致性需要进一步提高。

2. 科研体系尚未健全，研发投入不足，人才队伍建设有待提高

目前，健全的科研体系欠缺，以企业为主导的研发机制仍需要进一步完善，“产学研用”合作不紧密，结合仍存在壁垒。相关科研单位的研发投入经费少，人才队伍建设不完善，缺乏激励政策和研发平台，科技人员创新动力不足。另外，对新技术投资风险的保障政策缺失，科研单位的新技术很难在企业中获得推广应用。

3. 镁合金材料产业结构性产能过剩、市场供求失衡等深层次矛盾与问题逐步显现

受国际国内经济形势变化特别是全球新型冠状病毒肺炎疫情的影响，金属材料市场需求低迷，镁合金材料产业长期积累的结构性产能过剩、市场供求失衡等深层次矛盾和问题逐步显现。目前我国镁产业运行总体平稳，产量、出口量持续增长，但在冶炼环保水平、深加工产品应用等方面存在短板，产业转型升级的任务依然艰巨 [4]。另外，我国镁合金材料产业的产能规模庞大，对资源、环境等影

响深远，在节能、节材、环保的短流程制备加工技术开发与应用方面仍任重道远。

三、我国先进镁合金材料产业的市场需求前景分析

（一）高性能稀土镁轻质结构合金材料

相较于普通镁合金材料，高性能稀土镁轻质结构合金材料在添加稀土后，具有强度高、韧性好、耐热耐蚀等显著优势，解决了制约镁合金材料广泛应用的关键问题，是推进我国航空、航天、汽车、轨道交通等领域轻量化发展的关键基础材料 [5]。我国镁、稀土资源丰富，合金成型及加工技术成熟，市场应用空间大，稀土镁合金轻质结构材料产业体系完整，可实现自产自销。

高性能稀土镁轻质结构合金材料未来的市场需求主要集中在：①高性能镁稀土母合金、稀土镁合金短流程低成本制备技术开发及推广应用；②面向应用的新型高性能稀土镁合金材料开发；③先进加工成型技术及配套装备研发；④完善稀土绿色冶炼分离技术，加快推广应用；⑤面向材料生命周期的系统研究，建立“产学研用”协同发展平台；⑥加快高性能稀土镁轻质结构材料应用速度，在未来 3~5 年内实现军用领域向民用领域转化，逐渐扩大市场规模，到 2035 年将替代普通镁合金材料的比例达到 30%。

（二）高强高导热镁合金材料

随着航空、航天、新一代武器装备、高速列车以及新能源汽车等领域的不断发展，高功率密度电磁器件的数量及排布密度不断增加，而运行过程中产生的热量必须即时导出，否则温度过高将严重影响设备运行的稳定性和可靠性，大大缩短各类器材的使用寿命，因此如何在轻量化背景下，快速有效导出器件生热是亟需解决的重要问题。

高强高导热镁合金材料及其制品生产成套技术是支撑飞机、高速列车、汽车以及电脑等散热组件发展的先进基础材料及关键技术，对实现上述装备轻量化、提高系统运行稳定性和使用寿命具有重要作用 [6]，到 2035 年，将替代同类普通高导热合金材料使用量超过 30%。传统的高导热金属如 Ag、Cu，由于密度太大（分别约为 10.5 g/cm³、8.9 g/cm³）、

价格高,难以满足实际应用要求。镁合金材料具有低密度的优势,是满足应用需求的潜在材料体系之一,但常用镁合金的导热系数与铝合金相比还有明显差距,因此,导热系数 $>125\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 的高强度高导热镁合金材料及其制品的制备加工技术是该领域发展的主要方向。

(三) 高导电镁合金材料

手机、全球定位系统(GPS)/北斗卫星导航系统和宽带网络系统等会因高频电磁波干扰产生噪声影响通信品质,普通笔记本电脑运行时容易受电磁信号外泄影响导致信息或数据泄漏。另外,人体如果长期暴露于强力电磁场下或者脑部长期近距离接触电磁源,则可能容易诱发癌症病变。因此,电磁屏蔽既能防止电子设备发射的电磁波对其他设备及人体产生影响,同时也能保护该电子设备不受其他设备的干扰。优良的电磁屏蔽效果是信息家电发展必备且势在必行的选择。电磁屏蔽效果主要取决于电磁仪器设备外壳材料的导电性能情况,导电性能越好,对应的电磁屏蔽效果越优。

传统的高导电金属如Ag、Cu,由于密度太大且价格高,难以满足信息家电领域的应用需求,从而对密度比铝合金低、导电率大于常用铝合金的散热材料提出了迫切需求。镁合金材料具有低密度优势,是满足上述需求的潜在材料体系之一,但与铝合金相比常用镁合金材料的导电率还有明显差距。因此,导电率 $>17\text{ MS}/\text{m}$ 的高强度高导电镁合金材料及其制品的制备加工技术是该领域今后发展的主要方向,在产品减轻重量、提高系统运行安全性、保障相关人员健康等方面发挥着重要作用。预计到2035年,高导电镁合金材料替代同类普通材料的用量将超过25%。

(四) 超高强镁合金材料

超高强镁合金材料是支撑航空、航天、新一代武器装备、高速列车以及新能源汽车等高端装备不断升级发展的先进基础材料。我国在超高强变形镁合金研发与应用方面处在世界前列。但从进一步扩大镁合金材料应用的角度来看,现有的高强度镁合金材料在比强度、比刚度、断裂韧性以及性能稳定一致性等方面还有明显不足,使镁合金材料在上述领域的应用及提高其终端产品竞争力方面受到严重

制约,是当前亟需解决的发展难题。超高强镁合金材料及其强韧化变形加工技术是镁合金领域发展的主要方向,预计到2035年,超高强镁合金材料替代同类普通材料量将超过20%。

(五) Mg-Al系、Mg-Zn系、ZK系镁合金材料

当前,镁合金牌号众多,已在多领域大量应用的合金系列为Mg-Al系合金,特别是在铸造过程中表现出工艺稳定、烧损较小、室温条件下有着优异力学性能和高强耐腐蚀行为的AZ91镁合金[7]。在变形镁合金方面,获得大量应用的是Mg-Zn系合金,其在热处理过程中表现出优异的时效强化行为。在该系列中,从合金牌号ZM81的相关研究来看,其表现出比Mg-Al合金更优异的力学性能。ZK系合金主要为Mg-Zn-Zr系镁合金,是目前应用最多的变形镁合金之一,代表是ZK61镁合金,其经高温成型冷却和人工时效处理后,抗拉强度大于300 MPa,具有良好的塑性及耐腐蚀性,可加工性良好,能制造形状复杂的大型锻件。

(六) 轻稀土 Mg-RE 系镁合金材料

我国稀土资源储量居于世界第一位,在稀土开采、冶炼分离等方面具有优势。但目前16种稀土元素(Pm除外)的应用是不平衡的,存在轻稀土闲置、滞销等问题,导致国内以La、Ce等元素为主的稀土形成了大量积压。目前,随着汽车轻量化、电子通信等领域相关产业需求的不断扩大,各大终端企业和材料生产厂家一直致力于轻量化部件的研发,对镁合金材料的性能要求达到前所未有的高度,甚至产生许多结构功能一体化的需求。这给稀土镁合金的发展带来了新的机遇,尤其是轻稀土镁合金的开发应用,充分发挥La、Ce等稀土在镁合金材料中的优势作用,应用前景十分广阔。

与Mg-Al、Mg-Zn系合金相比,稀土元素合金化后的Mg-RE系合金,铸造过程中的工艺性能更加稳定,且在力学相关实验中表现出更加优异的力学行为[8]。La、Ce稀土在镁合金中应用发展比较成熟的是AE系镁合金,主要是以混合稀土形式加入,典型代表如AE44、AE41镁合金,具有优异的力学性能,尤其是在延伸率上远远超过AZ91、AM60等传统非稀土镁合金[9]。Mg-RE系合金良好的流动性使其易于压铸成型,价格优势明显,可

满足民用产品的规模化生产，如已应用于汽车变速箱壳体等零部件。另外，轻稀土在 Mg 中的固溶度很低，有利于提高镁合金的导热性能，未来在与第五代移动通信技术相关的电子产品、基站、接入网络设备等的结构件上应用潜力很大。面向民用市场的高性能轻稀土镁合金材料的应用开发，有助于促进稀土元素的平衡应用，解决 La、Ce 等高丰度稀土元素的积压问题，扩大稀土在新领域的应用，加快稀土产业转型升级，彰显稀土资源在我国高新技术产业中的战略价值和支撑作用。

（七）新型超塑性镁合金材料

新型超塑性镁合金材料生产成本相对较低、利润较高，在镁合金材料生产和应用中竞争优势明显。已有研究表明，我国研发的新型超塑性镁合金性能指标优于日本生产的同类产品，具有室温强度高（抗拉强度 >350 MPa、屈服强度 >250 MPa），冲压过程中的超塑性变形能力强（中、低温延伸率为 100%~200%，高温延伸率为 700%~800%）。未来需进一步加强该类材料研究，为航空、航天技术领域的发展提供支撑。

（八）新型高强高塑铸造镁合金材料

铸造镁合金有着优良的铸造性能、加工切削性能及高的比强度和比刚度等优点，在航空和航天领域已广泛用于飞机蒙皮、舱体、发动机部件等结构复杂、大体积薄壁件的制造。随着航空、航天、汽车、轨道交通等领域的不断发展，对轻型复杂结构薄壁零件的需求旺盛，因此发展铸造流动性高、强度优良（抗拉强度 >300 MPa）、塑性高（伸长率 >10%）的新型铸造类镁合金材料意义重大。

（九）超轻 Mg-Li 合金材料

Mg-Li 合金的密度为 1.35~1.65 g/cm³，具有超轻高塑性特征，是一种超轻合金材料。美国已将 Mg-Li 合金应用于制造装甲运输车、航空和航天领域的非结构与次级结构件等。俄罗斯采用 Mg-Li 合金制成了航天器用的电器仪表件和外壳等零部件。日本把 Mg-Li 合金用于电子产品壳体和音响振膜等。我国近年来将 Mg-Li 合金应用于卫星仪表壳体件的制造中。在未来，随着研究的深入及技术的发展，超轻 Mg-Li 合金将会在航空、航天、

汽车、计算机、通信和消费电子产品等领域有着更加深入广泛的应用。

（十）高性能耐高温系镁合金

目前，高性能耐高温系镁合金已经在汽车发动机罩盖、缸体、引擎活塞及高速飞行器舱体等零部件上有着广泛应用。目前，各国研究者关于高性能耐高温系镁合金的研究大部分还是聚焦于 Mg、Al、Zn 系的性能调控及稀土元素的合金化行为。其中，高温力学性能最好的是以 Mg-Gd 系为代表的镁稀土合金体系。目前亟需解决同步提高强度和塑性的问题，具体措施包括控制析出相形态分布、细化组织和降低杂质含量。另外，镁合金铸造性能应被重视，即合金设计时需综合考虑力学性能和铸造性能。就性能指标而言，超高强（强度 >400 MPa）耐热（使役温度 >250℃）镁合金是目前国家亟需攻关的一类关键材料。随着技术不断地开发与发展，高性能耐高温系镁合金将会在汽车动力系统部件、航天飞行器等对材料强度、耐高温能力及材料轻量化有着苛刻要求的领域中得到广泛应用。

（十一）高性能新型镁基复合材料

一般的镁合金材料具有绝对强度不高、刚度较低、耐磨性和抗蠕变性较差等问题，限制了其在一些结构件和高温环境下的应用，可通过添加颗粒、晶须或纤维等增强体加以有效解决。并且，通过增强体的类型、形状、尺寸、含量等的使用可有效调控镁基复合材料的各项性能以满足应用需求。镁基复合材料目前大多采用粉末冶金方法来制备小尺寸构件，大规格镁基复合材料的高质量和高效制备是产业界亟需解决的问题。

四、我国先进镁合金材料产业发展目标与发展战略

（一）先进镁合金产业发展目标

面向 2030 年，我国先进镁合金材料产业将建立健全的可持续发展创新及运用体系，同时整体实现大规模高程度自动化制造，在研发、生产及应用方面达到全球高水平，甚至部分相关技术或产品达到世界精尖水平。国内亟需的大部分高端镁合金材料不再依赖进口，实现自给自足；处于高尖端的超

高性能镁合金材料实现对外技术输出与支持,助力全球镁合金产业的整体水平的提升;重点提升装备轻量化材料研发能力和高性能低成本镁合金复杂精密加工能力;国家重大工程用镁合金材料国产化率达到 99%,促进交通运输领域节能 30% 以上、减排 40% 以上。

面向 2035 年,我国的高端镁合金材料产业整体在研发、生产及应用方面达到全球领先水平,实现大规模、智能化、绿色化制造,对全球镁合金产业的发展起主导作用。实现下一代高强度大型整体结构件设计及相关设备的产业化;实现国家重大工程用高性能镁合金材料国产化率达到 100%,促进交通运输领域节能 40% 以上、减排 50% 以上。

(二) 产业发展战略

1. 提高自主创新能力,优化产业链,促进产业化应用

围绕先进高性能镁合金材料的核心技术,着力提高自主创新能力,通过优化组织实施方式,支持国家重大工程亟需的镁合金材料产业化建设,促进一批镁合金材料实现产业化和规模应用。建立产业链上下游优势互补机制,缩短研发、产业化和规模应用的周期,促进镁合金材料企业加强技术创新,支持一批研究基础好的中青年创新骨干从事原创性研究,形成持续的创新能力,进一步增强我国镁合金材料产业的创新能力。实现我国从材料大国向材料强国的战略性转变,全面满足国民经济、国家重大工程和社会可持续发展对镁合金材料的需求。

2. 加强顶层规划,优化资源配置,培育优势产品

在顶层设计层面,加强国家对高性能镁合金材料基础研究的投入,加大对与世界高水平制造接轨的先进镁合金材料核心技术重视力度。着力突破镁合金材料产业发展的工程化问题,提高镁合金材料的基础支撑能力。加快完善有利于推动镁合金材料产业发展的政策和法规体系,制定镁合金材料产业发展指导目录和投资指南,建立相关的技术标准体系,完善产业链、创新链、资金链。遵循“谁投资、谁负责”的原则,加强对国有资本投资回报率的监管;突出国家对重点产业的聚焦支持,防止出

现“投资碎片化”,集中力量培育和塑造我国名牌镁合金材料产品。同时,在注重政府对先进镁合金材料产业发展战略引导作用的基础上,加快营造镁合金材料相关企业自主经营、公平竞争的市场环境,以企业为投资主体和成果应用主体,加强“产学研用”相结合,完善风险保障体系建设,充分发挥市场配置资源的基础性作用,提高资源配置效率和公平性。

3. 加强企业合作力度,拓展应用领域

通过多区域整合及资金合作来加强优秀企业之间的合作力度,助力形成在世界上具有一定影响力的知名企业集团。同时,积极响应我国工业化改革的进程,注重拓展镁合金材料的应用领域,扩大镁合金材料在材料产业中的消费市场。同时,引导企业进行产业结构调整 and 升级改造,提高产品质量和扩大生产规模,争取与世界先进制造水平接轨,快速助力我国镁合金材料在世界尖端制造领域占有一席之地。

4. 加强“产学研”建设,构建完善的镁合金材料整体研究体系

在“产学研”建设方面,注重镁合金材料相关用于制备及检测高端设备的自主开发运用,降低对进口设备的依赖力度,推进镁合金企业快速、高效、智能化的制造进程。构建完善的镁合金材料整体研究体系,集设计、性能及评价一体化,加快研发进程。以镁合金的产业末端为基础,构建完善材料大数据体系,促进形成与世界高水平相当的应用研究体系。同时,构建与国内相适应但又与国际接轨的整套镁合金产业相关的自主知识产权体系,集产权保护、创新扩展及运用一体化,开展相关科研成果在企业的适应性生产活动,全面促进镁合金材料产业往高水平方向发展。

5. 实施创新人才发展战略,完善平台建设,壮大人才队伍

在人才和平台建设方面,应实施创新人才发展战略,不断加大镁合金材料领域创新型人才的培养力度,加大科研投入,制定科研人员激励政策,重点支持一批研究基础好的中青年创新骨干从事原创性研究,形成持续创新能力。支持企业加强创新能力建设,建立适宜的人才发展及薪酬体系,吸引国内外人才进行交流和就业。同时,给镁合金相关企业的国际交流提供政策便利,促进企业间的国际合

作、管理及技术交流,提高镁合金企业与世界高端制造的接轨力度。积极搭建“产学研用”创新平台,以企业相关产业为基地,汇聚领域内院士、科技创新领军人才等高端创新人才,发挥其引领作用,使创新人才与产业紧密结合,形成良好的创新模式,构建可持续发展的科研团队。

五、对策建议

(一) 注重研究体系的构建

加大对镁合金材料产业的规划力度,紧跟国家材料产业战略布局的需要,构建符合中国国情的研究体系。加大对处于研发阶段的核心技术的重视力度,尤其是与世界高水平制造接轨的先进镁合金材料,在研发计划及进程上给予政策倾斜与支持。同时,充分利用大数据优势,在国内构建一套与世界高端制造标准联系紧密的集设计、制备、性能检测及评价一体化的镁合金材料研发系统,整体提升国内高端镁合金材料研发进程。

(二) 优化产业发展格局

依托国内外高校和科研院所的专家学者开展咨询,构建集研发、生产、应用于一体的健康绿色发展格局。充分发挥消费市场的自主调控功能,对资源进行合理分配,在对重点研发企业给予充足资金支持的同时,也需对处于起步阶段且有潜力的研发企业给予一定扶持,形成共同进步、共同成长的产业发展格局。

(三) 构建高质高效产业

结合国家战略需求,进一步提升科研成果与企业生产联系的紧密性,促进企业进行升级改造,朝高质量、高产能、智能绿色、低成本方向发展。同时,注重高端性能镁合金材料的工艺技术研发转化,助力高端性能镁合金生产早日与国际高端生产水平接轨。同时,先进镁合金材料产业产能在满足内需的基础上,实现出口,在全球树立中国自己的高性能镁合金产品品牌。

(四) 完善配套政策体系

在投资方面,国家应加大对从事产业试点升级改造及高端性能镁合金材料生产企业的扶持力度。

同时,在企业办理试点生产申请的审批手续和相关优惠政策方面进行政策倾斜,构建并逐步完善国家与企业间的配套政策体系,降低企业生产投资压力与风险,提升企业创新生产积极性,充分发挥资金的投资价值。

(五) 构建精尖人才体系

与国际前沿高端性能镁合金材料研发方向接轨,以“走出去,引进来,满足需求”为原则,落实人才引进及发展的战略措施,构建高端性能镁合金相关产业的精尖人才体系。加大对年轻创新团队的培养及扶持力度,鼓励其与经验丰富的国内外专家学者学习与交流。同时,在国外精尖人才引进方面给予大力的政策优惠及薪酬扶持,鼓励其来国内进行技术交流及服务。企业可以构建规范高效的人才管理制度,培养适应企业生产又高度自主创新的人才团队。最后,加强企业与科研机构相关专家学者的联系,组建与企业对口的精尖人才后备团队,助力企业的人才体系建设。

致谢

参加本课题研究的主要专家有:聂祚仁、姜花芬、杨斌、刘雪峰、王同敏、李谦、王经涛、王俊升、王渠东、王敬丰、任先京、刘成龙、李廷举、李才巨、李元东、李志辉、李润霞、陈体军、赵刚、赵红亮、赵鸿金、高峰、郭洪民、黄元春、阎峰云等,在此一并致谢!

参考文献

- [1] 中华人民共和国工业和信息化部. 有色金属工业发展规划(2016—2020年) [EB/OL]. (2016-10-18) [2020-08-10]. <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757017/c5288739/content.html>.
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. Nonferrous metal industry development plan (2016—2020) [EB/OL]. (2016-10-18) [2020-08-10]. <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757017/c5288739/content.html>.
- [2] 中华人民共和国工业和信息化部. 2019年镁行业运行情况 [N/OL]. 中国有色金属报, 2020-03-17(7) [2020-08-10]. <https://paper.cnmn.com.cn/Content.aspx?id=156359&q=4379&v=7>.
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. Operation of magnesium industry in 2019 [N/OL]. China Nonferrous Metals News, 2020-03-17(7) [2020-08-10]. <https://paper.cnmn.com.cn/Content.aspx?id=156359&q=4379&v=7>.
- [3] 杨力祥,肖旅,周海涛,等. 高强耐热稀土镁合金研究进展 [J]. 上海航天, 2019, 36(2): 38—44.
Yang L X, Xiao L, Zhou H T, et al. Current development of high-

- strength heat-resistant rare earth magnesium alloys [J]. Aerospace Shanghai, 2019, 36(2): 38–44.
- [4] 刘艳飞, 张艳, 于汶加, 等. 全球原镁需求预测及中国合理产能分析 [J]. 资源科学, 2015, 37(5): 1047–1058.
Liu Y F, Zhang Y, Yu W J, et al. Analysis and forecast of world primary magnesium demand and reasonable productivity for China [J]. Resources Science, 2015, 37(5): 1047–1058.
- [5] 蒋斌, 刘文君, 肖旅, 等. 航空航天用镁合金的研究进展 [J]. 上海航天, 2019, 36(2): 22–30.
Jiang B, Liu W J, Xiao L, et al. Development of magnesium alloys for aerospace application [J]. Aerospace Shanghai, 2019, 36(2): 22–30.
- [6] Zhong L P, Peng J, Sun S, et al. Microstructure and thermal conductivity of as-cast and as-solutionized Mg–Rare earth binary alloys [J]. Journal of Materials Science & Technology, 2017, 33(11): 1240–1248.
- [7] Anng N N, Zhou W. Effect of heat treatment on corrosion and electrochemical behaviour of AZ91D magnesium alloy [J]. Journal of Applied Electrochemistry, 2002, 32(12): 1397–1401.
- [8] 吴国华, 陈玉狮, 丁文江. 镁合金在航空航天领域研究应用现状与展望 [J]. 载人航天, 2016, 22(3): 281–292.
Wu G H, Chen Y S, Ding W J. Current research, application and future prospect of magnesium alloys in aerospace industry [J]. Manned Spaceflight, 2016, 22(3): 281–292.
- [9] Sabat R K, Mishra R K, Sachdev A K, et al. The deciding role of texture on ductility in a Ce containing Mg alloy [J]. Materials Letters, 2015, 153: 158–161.