

高压 / 低压 / 挤压 / 半固态铸造技术进展

——2026 全国压铸行业年会暨第二十一届中国国际压铸会议评述

陈佳豪^{1, 2}, 张祉睿^{1, 2}, 李怀东^{1, 2}, 杨安同^{1, 2}, 鲍琳琳³, 游 翼³, 李美婷³, 蔡晓臣³

(1. 武汉理工大学, 高温轻合金及应用技术全国重点实验室, 湖北武汉 430070;

2. 武汉理工大学, 现代汽车零部件技术湖北省重点实验室, 湖北武汉 430070;

3. 中国机械工程学会铸造分会, 辽宁沈阳 110020)

摘要: 高压、低压、挤压及半固态铸造技术作为铸造轻合金实现高端装备结构件轻量化的核心和先进成形方法, 在应对未来制造体系低碳化需求中发挥着重要作用。本文根据2026全国压铸行业年会暨第二十一届中国国际压铸会议报告, 梳理了近年来相关技术的最新研究成果和行业专家关注的重要问题, 总结了压铸技术及其跨界融合发展的新方向。

关键词: 一体化压铸; 铝合金; 镁合金; 半固态铸造; 绿色低碳; 轻量化

中图分类号: TG249.2; TG249.9; TH162 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4977 (2026) 07-0714-10

DOI: 10.27014/j.cnki.zhuzao.2026.0092

Recent Advances in HPDC, LPDC, Squeeze and Semi-Solid Casting Technologies

——Review of the 21st China Die Casting Congress

CHEN Jia-hao^{1, 2}, ZHANG Zhi-rui^{1, 2}, LI Huai-dong^{1, 2}, YANG An-tong^{1, 2}, BAO Lin-lin³,
YOU Yi³, LI Mei-ting³, CAI Xiao-chen³

(1. State Key Laboratory of Light Superalloys, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, Hubei, China; 2. Hubei Key Laboratory of Advanced Technology for Automotive Components, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, Hubei, China; 3. Foundry Institution of Chinese Mechanical Engineering Society, Shenyang 110020, Liaoning, China)

Abstract: High pressure die casting (HPDC), low pressure die casting (LPDC), squeeze casting and semi-solid casting serve as the core and advanced forming methods for achieving the lightweighting of structural components in high-end equipment using cast light alloys, playing important roles in meeting the low-carbon demands of future manufacturing systems. Based on the reports of the 21st China Die Casting Congress, this paper reviews the latest research advances in relevant technologies in recent years and the key issues of concern to industry experts, and summarizes the development trends of die casting processes and their interdisciplinary integration.

Key words: mega casting; aluminum alloy; magnesium alloy; semi-solid casting; green and low-carbon; lightweight

压铸技术是实现汽车、通信、航空航天及轨道交通等领域轻合金零部件成形的重要工艺, 已在新能源汽车、人形机器人和低空飞行器等行业获得广泛应用。随着“双碳”战略对装备高集成度与高安全性的需求日益增长, 大型薄壁复杂铸件的综合性能与制造工艺面临更高要求, 这促使轻合金压铸技术在新材料设计、特种成形工艺调控、凝固过程组织演变和全流程质量智能控制等研究方向^[1-3]深入发展, 力求契合未

来制造体系对高性能低碳化零部件的需求。

2026全国压铸行业年会暨第二十一届中国国际压铸会议于2026年3月25-27日在湖北省武汉市举行, 来自10余个国家的700余名铸造行业知名专家、学者和企业界代表参会。本次会议设置一个主会场三个分会, 共收录46篇相关报告, 涵盖了国内外科研工作者在压铸铝合金和镁合金等方面的研究进展。本文针对会议学术报告的主要内容, 梳理了近年来高压、低压、挤

基金项目: 湖北省技术创新计划项目 (2025BAB084)。

收稿日期: 2026-04-11 收到初稿, 2026-05-19 收到修订稿。

作者简介: 陈佳豪 (2002-), 男, 硕士, 主要研究方向为汽车轻量化设计与成形制造技术。E-mail: 2911106890@qq.com

通信作者: 游翼, 女, 工程师。E-mail: youyi@foundrynations.com

引用格式: 陈佳豪, 张祉睿, 李怀东, 等. 高压 / 低压 / 挤压 / 半固态铸造技术进展: 2026 全国压铸行业年会暨第二十一届中国国际压铸会议评述 [J]. 铸造, 2026, 75 (7): 714-723.

Chen Jiahao, Zhang Zhirui, Li Huaidong, et al. Recent advances in HPDC, LPDC, squeeze and semi-solid casting technologies: review of the 21st China die casting congress [J]. Foundry, 2026, 75 (7): 714-723.

压及半固态铸造技术的最新研究成果, 希望能够为行业发展提供有益的启发与帮助。

1 一体化压铸技术

1.1 全球一体化压铸市场与设备应用分析

随着一体化压铸技术在新能源汽车车身结构件制造中逐步实现产业化应用, 大型压铸设备装机规模、市场应用格局及实际产能释放情况, 已成为行业发展阶段的重要指标。但目前产业界对压铸设备装机量、产能测算等信息存在统计偏差, 难以真实反映行业实际发展水平。

ALUMAG®的Gaertner系统调研并统计了锁模力 $\geq 6\,000\text{ t}$ 的超大型压铸及半固态压铸装备在中国市场的布局与装机情况, 重点分析了该类设备制备铝、镁合金一体化轻量结构件的产能利用率, 并简要概述了亚、欧、北美地区的相关市场现状^[4]。调研结果表明, 中国目前实际安装的大型压铸机数量为109台, 另有约35~40台处于宣布规划但未安装状态, 若计入本田等未正式官宣的规划设备, 潜在规划设备数量将进一步增加。此外, 若基于设备锁模力、生产工时等参数测算, 中国一体化压铸设备的理论年产能可达877万件, 而当前实际年产量仅约390万件, 产能释放仍有较大空间, 预计到2031年行业仍将保持产能增长态势。

全球一体化压铸市场的区域发展呈现显著的非均衡特征, 中国已成为技术落地快、规模化程度高的产业主阵地。欧洲市场以德国为代表, 虽在半固态压铸技术探索及6 000 t高性价比装备验证上取得进展, 但整体布局滞后, 多数车企仍处于初步技术验证或依赖外协代工阶段。北美市场作为技术发源地虽由特斯拉引领, 但绝大多数车企尚未实现大规模装机, 其产业链配套成熟度与量产规模均远不及中国市场。

1.2 一体化压铸铝合金工艺与组织性能研究

大型压铸件的综合力学性能与服役可靠性评估是目前行业持续关注重点课题。武汉理工大学吴孟武教授系统阐述了铸件组织非均匀性与动态力学性能的研究进展^[5]。针对传统基于均匀材料假设的理论无法满足车身碰撞安全性评估的问题, 其通过高速拉伸试验揭示了压铸铝合金在中高应变率下的应变硬化效应, 明确了应变率强化与温度软化的竞争机制。为解决传统Johnson-Cook本构模型预测偏差大的问题, 研究提出将应变率敏感系数作为变量进行修正, 使仿真结果与试验数据高度吻合。该成果强调了建立“工艺-组织-动态力学性能”定量映射体系对于精准预测铸件性能的重要性。小鹏汽车的潘飞探究了回炉料比例对一

体化压铸铝前舱地板性能的影响^[6]。研究证实, 在充分净化处理后, 铝液的成分与洁净度保持稳定, 铁含量及孔隙率未随回炉料比例的升高而明显增加。在力学性能方面, 铸件的抗拉强度与屈服强度无明显波动, 伸长率先降后增现象则源于远端疏松等铸造缺陷, 而非回炉料本身所致。台架试验进一步证明, 高比例回炉料部件的碰撞性能完全达标。这证实了在保证熔体洁净度的前提下, 高比例利用回炉料不会显著损害大型铸件性能, 为企业降本增效提供了可靠的工程实践依据。

铝合金熔体在长程充型过程中的流动行为特征及微观缺陷演变机制, 是决定大型压铸件成形良品率与最终性能的关键所在。清华大学何祖年针对免热处理高压压铸铝硅合金, 研究了不同浇道速度下的合金流动性与孔隙缺陷问题^[7]。结果发现, 不同铝硅合金的流动性存在差异, 如图1所示。其中AlSi9MnVZr合金存在临界内浇道速度, 当浇道速度超过40 m/s后, 流动长度趋于稳定, 如图2所示, 沿流动长度方向, 铸件孔隙会发生层状孔洞向刀状缩孔的转变, 该转变区域被定义为“流动末端”。同时报告提出了“流动停止点”的概念, 即浇道中产生足够压力并阻止熔体继续向前补缩的位置, 浇道速度超过临界值后, 停止点会提前形成, 导致流动末端孔隙率显著升高。将浇道速度控制在临界值附近, 可同时实现较高的流动性与较低的流动末端孔隙率。华南理工大学赵海东^[8]针对1 683 mm长流程Al6SiMg压铸件的研究指出, 长距离充型中的预结晶析出会导致硅元素向远端偏析, 且表层组织受温度梯度影响产生结构差异, 如图3^[8]所示。随着充型距离增加与压力衰减, 表层厚度逐渐变薄, 内部收缩缺陷增加。微观分析揭示, 微小单体预结晶(小于120 μm)属无害缺陷, 而预结晶聚集并伴随收缩孔是导致性能失效的最危险组合。该结论纠正了行业内“盲目降硅”的误区, 指明可通过优化模温、增压工艺及控制有效流动距离来提升一体化压铸性能。

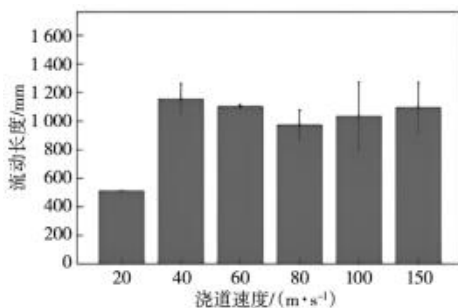
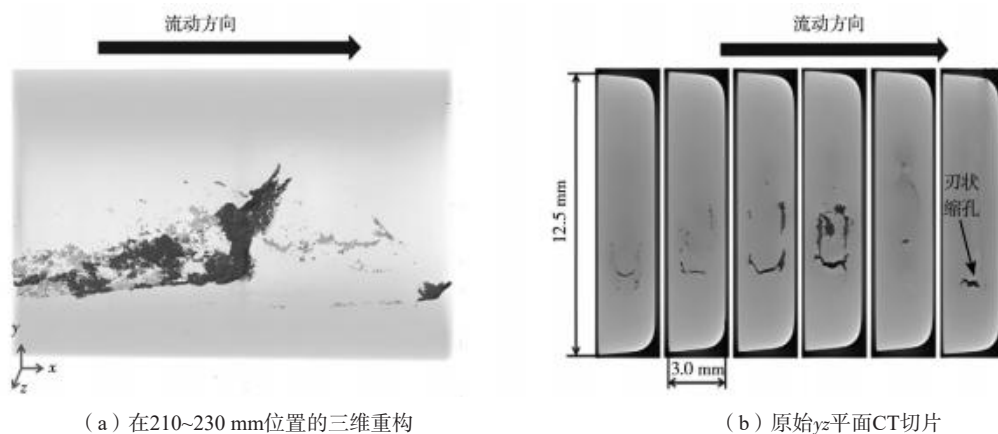


图1 不同浇道速度下AlSi9MnVZr合金的流动性测试结果
Fig. 1 Fluidity test results of the AlSi9MnVZr alloys under different gate speeds

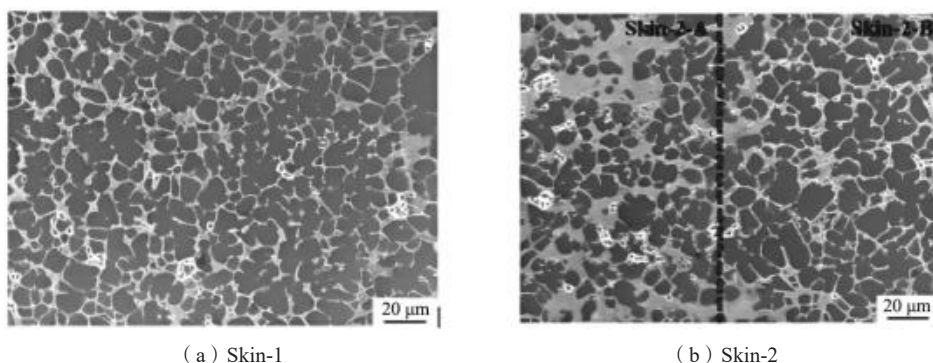


(a) 在210~230 mm位置的三维重构

(b) 原始yz平面CT切片

图2 层状孔洞向刃状缩孔演化的三维重建

Fig. 2 3D reconstruction of pore evolution from the lamellar holes to the blade-shaped shrinkage cavities



(a) Skin-1

(b) Skin-2

图3 不同类型表层的微观组织

Fig. 3 Microstructures of different types of surfaces

1.3 一体化压铸技术行业实践与创新进展

当前,企业正从材料研发、工艺协同等维度系统性突破一体化压铸技术瓶颈。在合金材料方面,蔚来汽车的刘华初利用热力学相图计算(CALPHAD)方法实现合金成分设计到工艺优化的全流程精准调控,打破传统“试错法”局限,不仅成功量产了高容铁率的New2号免热处理铝合金,还验证了高比例再生铝的低碳应用,并针对性开发出半固态与钎焊专用合金,兼顾了性能与成本^[9]。在工艺设备协同方面,东风电子科技的汪亮针对大型一体化压铸模具与周边设备的协同匹配难题,提出“模具设计+设备选型+早期工艺规划”的协同理念,通过优化压铸机锁模力与冲头压射力的匹配、强化模具刚性结构设计、严控高真空抽气时间以及协同压铸岛与自动化后处理产线的节拍,大幅缩短了大型一体化压铸模具开发周期^[10]。针对模具自身的材料与寿命短板,天工国际的于洋通过热力学优化制备出满足大型压铸需求的大截面模具钢,所研发的粉末冶金模具钢使用寿命提升了2~5倍^[11];同时结合增材制造专用粉末与激光熔覆修复技术,构建了涵盖材料选型、性能提升与旧件延寿的系统化方案,有

效降低了模具的全生命周期成本。

2 镁合金半固态铸造成形技术与产业化研究进展

2.1 镁合金产业发展机遇与全球应用布局

镁合金作为下一代交通运输装备关键轻量化材料,其在汽车三电系统部件等领域的新应用持续涌现,技术成熟度与系统效益显著提升,已成为新能源汽车轻量化转型的核心支撑材料。然而,全球镁合金产业仍面临区域发展失衡、产业链高度集中以及历史碳强度较高等核心挑战,这制约了其规模化与可持续化应用。系统梳理镁合金的应用价值、产业机遇与发展瓶颈,对行业顶层布局与战略规划具有重要指导意义。

Tauber博士阐述了汽车领域镁合金材料应用的机遇与挑战,指出采用镁合金轻量化材料可在电池容量不变的前提下显著提升车辆续航里程,单台乘用车可实现约30 kg的减重效果,这一优势在全球新能源汽车市场渗透率持续提升的背景下,将释放巨大的市场空间^[12]。同时,报告介绍了国际镁协会主导构建的镁合金全生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)体

系,明确了政策端碳中和目标、市场端轻量化刚需、技术端低碳工艺创新三大产业发展核心驱动力,通过数据印证再生镁生产能耗仅为原生镁的5%。此外,还介绍了国际镁协会制定的镁行业全球脱碳战略路线图,如图4^[12]所示。报告强调,镁合金正成为下一代交

通出行的关键轻量化材料,可从全生命周期维度实现车辆降本减碳,并提出行业需以低能耗高效率生产工艺为核心,扩大再生镁应用规模,通过轻量化创新与供应链安全、区域多元化及循环战略的结合,让镁合金成为可持续交通领域不可或缺的战略金属材料。

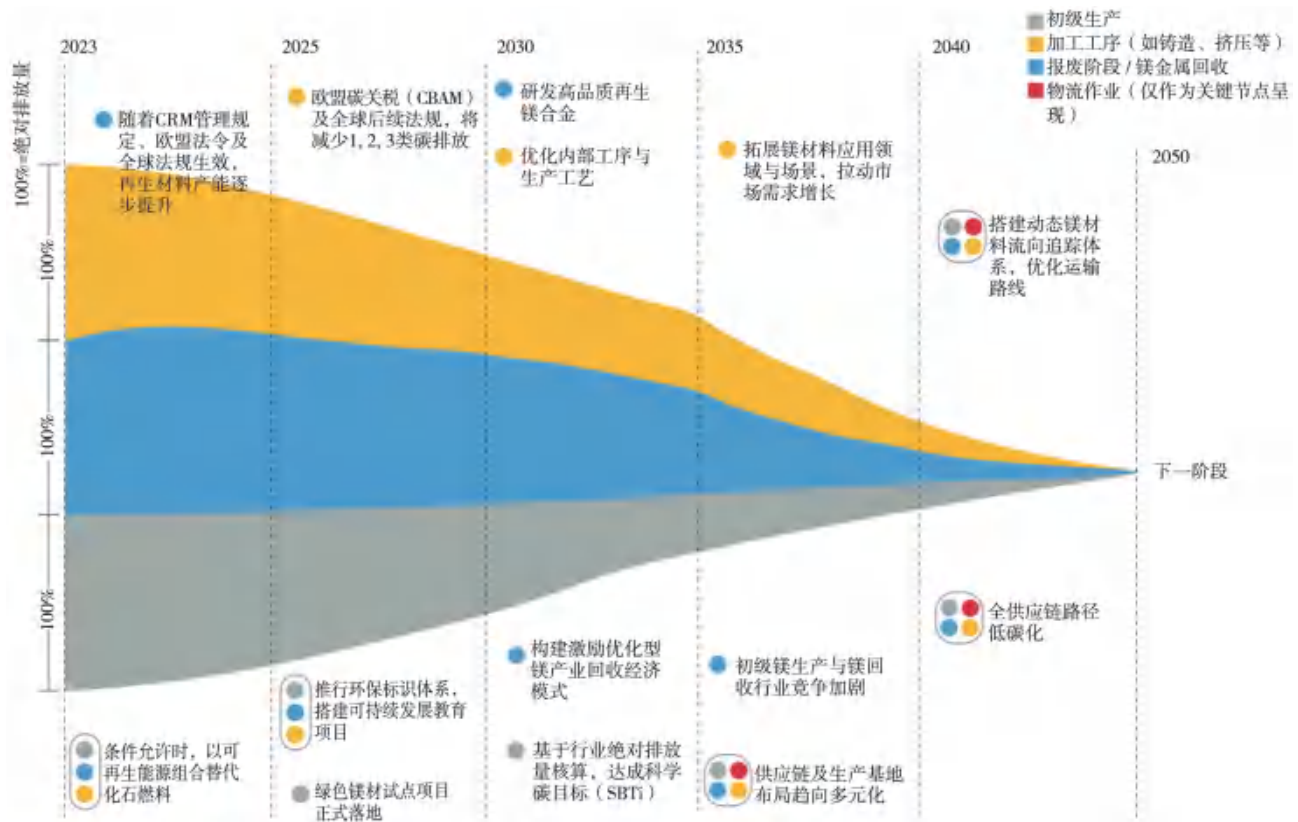


图4 镁行业全球脱碳战略路线图

Fig. 4 Global decarbonization strategic roadmap for the magnesium industry

2.2 镁合金熔炼工艺与半固态铸造成形装备

当前镁合金铸造仍面临熔炼过程安全风险高、大型复杂件成形缺陷控制难、半固态铸造成形装备适配性不足和生产过程环保压力大等行业痛点,因此,针对镁合金专用铸造成形装备、熔炼技术与成形工艺开展创新优化,对推动镁合金铸造技术的产业化升级具有重要意义。

史杰克西热能设备有限公司的施克庆介绍了镁合金从铸锭到铸型的全流程可持续熔炼技术^[13]。该方案采用熔化室与保温室分离的双室炉设计,结合五面均匀控温与流式熔化器技术,实现了熔体温度在 $\pm 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内的高精度控制与 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预热干燥处理,大幅消除了沉淀与氧化层,为连续高压压铸生产提供了极具安全与效能的设备支撑。力劲集团技术中心的李永兴总结了镁合金全品类成形装备体系及TPI半固态触变铸造模组技术的应用优势^[14]。报告指出,力劲已经构建了涵盖热室、冷室、TPI模组及EM注射成形的镁合金全

维度成形四大装备体系,可适配全场景生产需求。其中,EM注射成形与TPI模组是两大核心半固态铸造成形技术路径,其结构原理对比如图5^[14]所示,EM注射成形机与TPI模组分别定位于薄壁小件与厚壁复杂大尺寸件的规模化生产,为镁合金全场景成形制造提供了互补的系统装备解决方案。海天智胜金属的付帮银对镁合金注射成形装备的技术迭代与多场景应用进行了系统介绍^[15]。该公司采用无外置熔化炉与无 SF_6 保护气体的环保注射工艺,开发了三大产品系列,特别是配备双直径 180 mm 螺杆的 $7\text{ }000\text{ t}$ 超大型双注射装备,通过双螺杆实时控制成功制备超大型镁合金结构件,可实现高质量、大尺寸镁合金铸件在汽车结构件等领域的应用。针对压铸机压射头、压射室等关键部件在极端工况下服役寿命短的难题,武汉科技大学潘应君团队开发了 Mo_2FeB_2 金属陶瓷复合材料,并采用表面熔覆技术进行强化,如图6所示^[16]。该复合材料具备优异的耐磨、耐蚀及抗铝液侵蚀性能,能与钢铁基材实现良

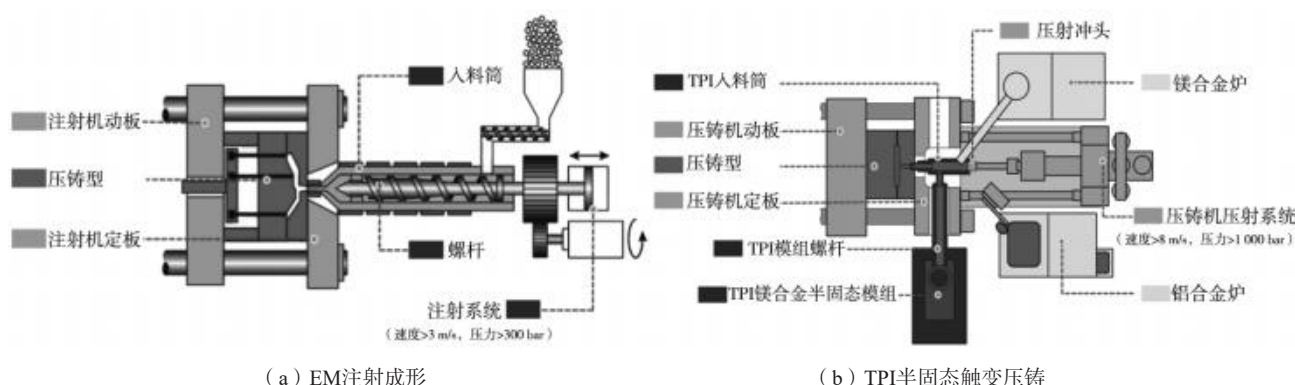


图5 镁合金半固态铸造成形原理对比

Fig. 5 Comparison of semi-solid casting principles for the magnesium alloys

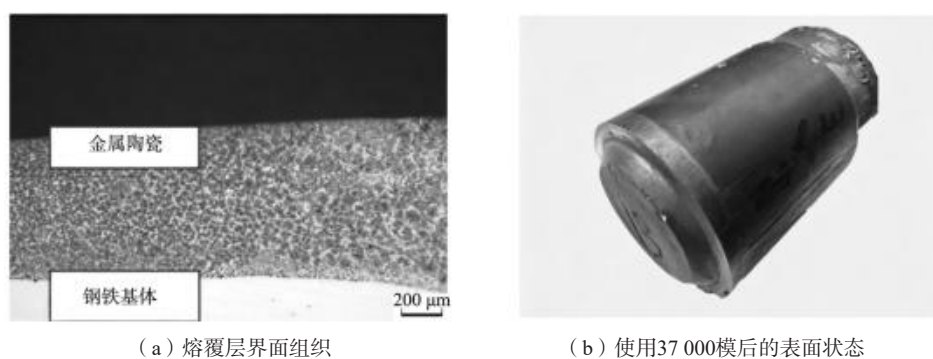


图6 金属陶瓷复合材料微观组织与实物图

Fig. 6 Microstructure and physical appearance of the metal-ceramic composite material

好的冶金结合。应用结果表明,该技术不仅大幅延长了核心部件的使用寿命,还显著降低了铝镁合金的损耗,有效提升了压铸产品的整体质量。

2.3 镁合金产品开发与产业化应用

随着轻量化需求的日益增长,镁合金应用场景的全面拓展与其先进成形工艺的性能验证,已成为推动产业跨越式发展的核心驱动力。东莞宜安科技股份有限公司的曾超辉对镁合金核心应用场景及行业趋势进行了全面展望^[17]。报告强调,镁合金作为轻量化战略材料,在汽车大型承载结构件中应用可实现减重超过30%、降本超过20%,并已拓展至VR设备、人形机器人及低空飞行器等新兴领域。同时客观分析了原材料波动与装备瓶颈等挑战,指出在政策驱动与技术快速迭代背景下,全产业链创新将引领镁合金产业迎来爆发式增长机遇。精诚工科汽车系统有限公司的张露露开展了不同成形工艺下镁产品对比验证工作^[18]。结果表明,高压压铸镁方案较铝合金减重25%、综合降本35%,而半固态成形镁方案在实现减重27%、降本37%的同时,将出品率提升至55%,抗拉强度稳定在230 MPa以上,耐蚀性达到高压压铸镁产品的1~2倍,不同工艺试样的腐蚀结果如图7^[18]所示。报告进一步指出,通过稀土微合金化改性可使高端车用镁合金盐雾

试验耐蚀性达到720 h,明确了未来高性能材料的研发路径。

针对汽车轻量化零部件的复杂制造需求,镁合金半固态成形技术的正向开发与成套装备创新已成为攻克大型厚壁件成形缺陷并实现规模化量产的关键路径。一汽铸造有限公司的王天华分享了汽车镁合金产品的应用态势与半固态产品开发案例^[19]。针对材料耐热及强塑性匹配不足的挑战,一汽铸造自主/联合开发了七种涵盖不同应用场景的高性能镁合金,并掌握了微弧氧化等表面处理技术。以链条室下罩盖为例,采用耐热镁合金配合半固态工艺,实现了较铝合金件减重31%,本体屈服强度大于134 MPa、伸长率大于8%的优异性能,验证了半固态工艺在提高镁合金部件性能方面的工程价值。辰致(重庆)轻量化科技有限公司的李文俊分享了镁合金尾门内板半固态注射成形工艺的正向开发成果^[20]。该团队构建了涵盖材料、设计、防腐与设备的四大核心技术板块,通过多零件集成化设计将原9个钣金件集成为1个压铸件,实现减重40%以上,且各项性能指标均满足整车要求。报告明确了当前大尺寸结构件成形的瓶颈,并提出政策强驱动与经济性拐点将是支撑镁合金产业跨越式发展的黄金趋势。伊之密股份有限公司的陈勇围绕镁合金半固态厚壁成形解决方案及工业化应用进行了系统阐述^[21]。其

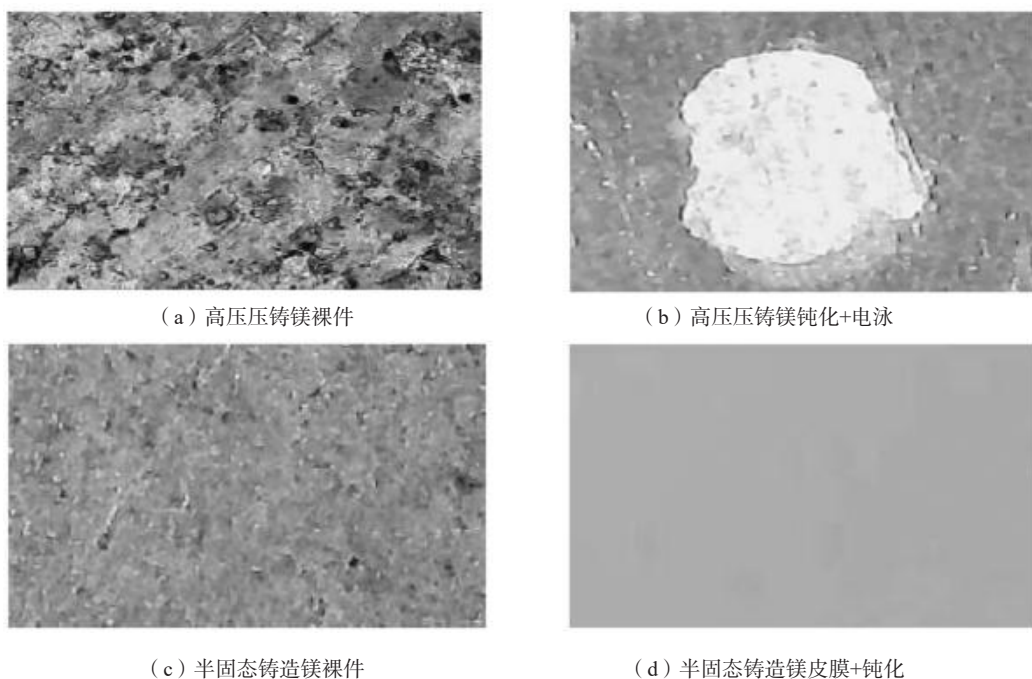


图7 不同成形工艺下镁合金腐蚀情况对比

Fig. 7 Corrosion comparison of the magnesium alloys under different forming processes

团队牵头制定了相关行业标准，并研发出高响应压射系统、多点热流道及高频精准控温等成套装备技术，有效解决了厚壁件易缩松及补缩难的问题。试验验证显示，该技术使铸件得料率提升至85%，能耗降低30%以上，且全程无需SF₆保护气体，目前已在一体化结构件及减震塔等典型产品上实现了规模化生产支撑。

3 低压/挤压/半固态铸造技术开发与应用

3.1 低压铸造与大型一体化技术产业化

低压铸造凭借充型平稳、致密度高及可热处理等优势，已成为大型中空及薄壁一体化结构件的首选成形工艺。江苏凯斯福轻合金有限公司孙晶莹等采用低压铸造技术开发了一体式铝合金前机舱，实现了结构集成与轻量化的重大突破^[22]。他们在实际案例中对比发现，低压铸造成形方案的减重效果较优；针对薄壁充型难题，通过多浇口与温度场精准控制有效解决了冷隔问题，结合冒口与补缩通道设计消除了内部疏松，最终将铸件热处理变形控制在2 mm以内，显著提升了部件的综合力学性能。针对底盘铝合金副车架制造中存在的性能离散、变形控制困难及表面质量差等问题，航特装备制造股份有限公司田方旭等从微观组织调控、尺寸形变控制及表面处理等维度进行了系统性改进^[23]。研究表明，通过优化A356合金固溶时效工艺可有效细化组织，采用前端修模与定制分区防护工

装能够成功控制形变，同时彻底解决阳极氧化发黑缺陷，满足严苛的车规级质量要求。

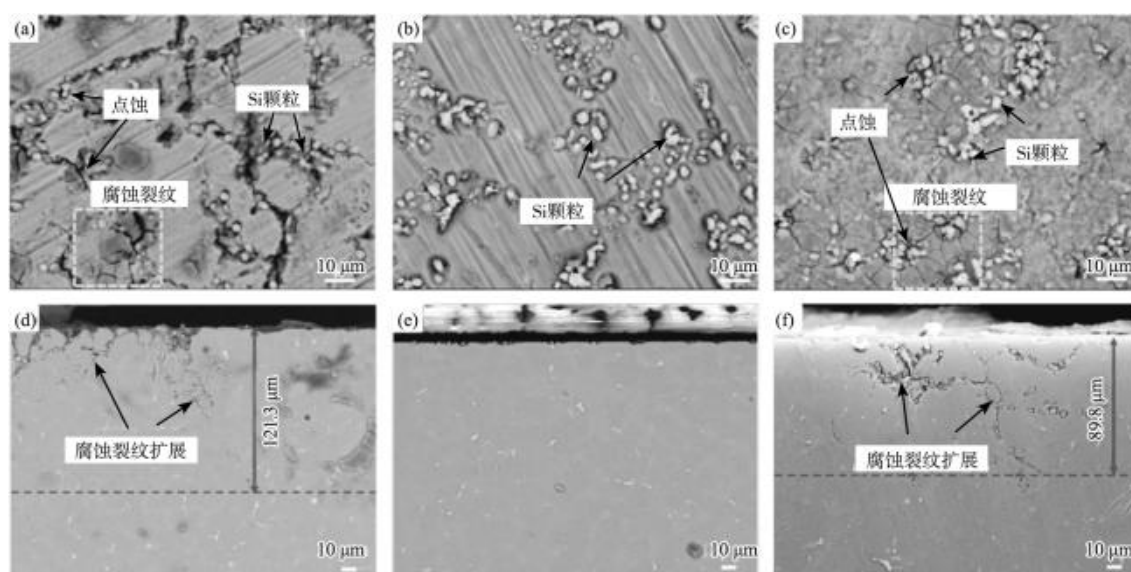
自动化装备与智能化产线也被广泛用于大型一体化铸造工艺的提效优化中。浙江万丰科技开发股份有限公司吴军等针对大质量、大尺寸电池托盘生产中的机器人自动化集成效率低与设备稳定运行难问题，提出了整合全工序的低压铸造产线智能化解决方案^[24]。该方案采用两台机器人无缝衔接完成整形、切割与下线全流程，显著提升了大型铸件的自动化生产效率与量产稳定性。

3.2 挤压铸造技术的应用与开发

先进合金材料微观组织调控与特种连接工艺优化，是突破新能源汽车热管理系统部件性能瓶颈的关键途径。魏桥苏研院团队针对热管理气密件的服役需求，自主研发了6D10、356UY及CB01等新型专用铝合金，如表1^[25]所示，通过精准调控Si、Mg元素占比促进 β -Mg₂Si强化相的析出，有效提升了合金的抗拉强度、屈服强度与硬度。同时，通过微合金化手段添加Mn元素以抑制粗大有害的 β -Fe相，并引入适量复合稀土元素实现熔体的变质、净化与除氢，大幅改善了组织的均匀性与合金塑性。经T6热处理后，共晶硅发生球化并消除了内部腐蚀通道，如图8^[25]所示，样件的腐蚀深度被严格控制在30~40 μm 以内，耐蚀性能得到进一步强化。在成形后的装配连接工艺方面，研究团队针对不同应用场景实施了专项突破。针对主流激光焊接易

表1 不同Si和Mg元素含量对A356.2合金性能的影响
Tab. 1 Effects of different silicon (Si) and magnesium (Mg) contents on the properties of A356.2 alloys

材料	Si	Mg	Ti	Fe	热处理	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	断后伸长率/%	布氏硬度HB
A356.2	7.08	0.37	0.10	0.11	T6	299.38	268.58	8.45	110.78
						310.85	267.07	8.72	110.01
Si-4.5	4.53	0.20	0.10	0.11	T6	254.58	199.18	10.35	87.85
						257.32	196.71	13.93	87.36
Si-3.0	3.08	0.12	0.10	0.11	T6	190.46	133.05	10.72	72.56
						197.14	138.08	15.15	69.06



(a, d) 未添加微量元素; (b, e) 添加适量微量元素; (c, f) 添加过量微量元素

图8 T6热处理后A356.2样件经腐蚀性测试后的表面形貌

Fig. 8 Surface morphologies of the T6 heat-treated A356.2 specimens after corrosion testing

产生鼓包与气孔裂纹的局限, 山东魏桥轻量化宏和技术团队创新性地提出了“中心+环形1:3”双光斑配合150 Hz摆动排气的复合焊接工艺。该工艺结合复合光斑和惰性气体保护焊接技术, 使气密件的爆破压力跃升至30 MPa以上, 远超行业10 MPa的标准要求。对于适配车企现有产线的真空钎焊工艺, 所研发的CB01材料成功解决了传统加工中的毛刺与热裂缺陷, 获得了焊脚饱满、无气泡的高质量连接, 为企业提供了兼顾高气密性与低成本的工程应用方案。

3.3 半固态流变铸造技术与薄壁低缺陷构件成形

半固态流变铸造凭借充型平稳与卷气量少的特性, 已成为解决超薄壁构件内部气孔缺陷以及提升高温服役性能的有效方案。华中科技大学吕书林针对1.6 mm超薄家电烤盘在380 °C热喷漆工序中易因卷气膨胀导致鼓包报废的问题, 引入半固态流变铸造技术优化ADC12铝合金成形工艺, 精确测定了其固液相区间, 并将半固态制浆温度严格控制在582~590 °C, 如图

9^[26]所示。通过采用带凹槽的梅花型搅拌头进行6~8 s快速旋转冷却制浆, 大幅提升了浆料温度均匀性并有效抑制了充型卷气。在优化的制浆参数下, 大批量试制件的不良率从10%降至3.8%, 效果显著。对铸件不同充型位置取样并观察微观组织, 如图10所示, 可知采

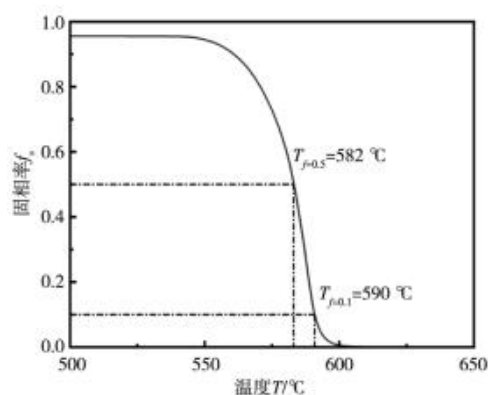


图9 ADC12合金固相率随温度的变化曲线

Fig. 9 Change curve of solid fraction versus temperature for the ADC12 alloy

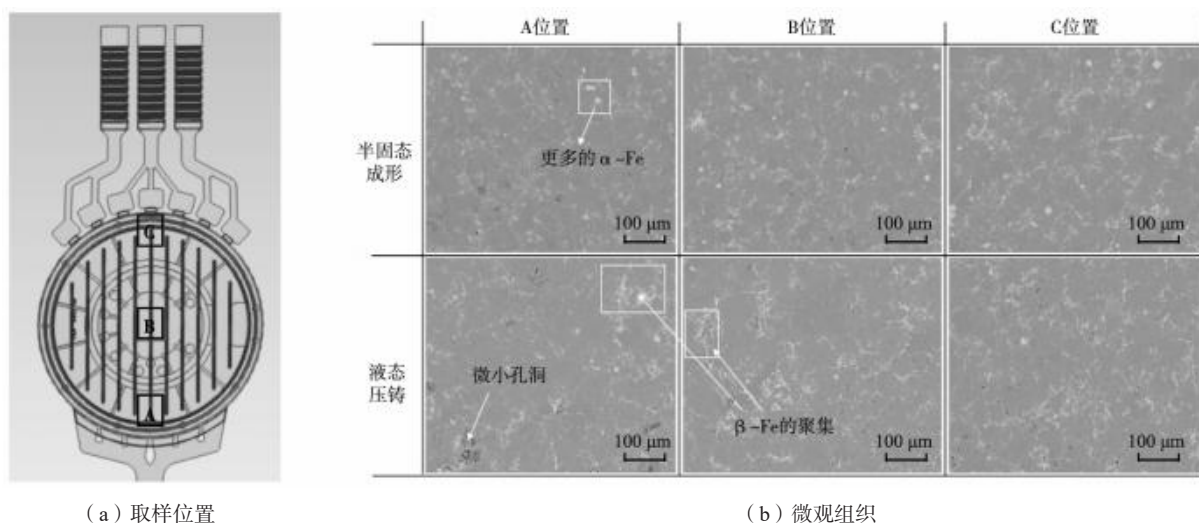


图10 取样位置及不同成形方式下各位置的微观组织

Fig. 10 Sampling positions and the microstructures at different positions under different forming methods

用半固态流变铸造有效减少了有害的长条状 β -Fe相, 促进了有益颗粒状 α -Fe相的均匀分散析出, 消除了显微疏松缺陷, 并将气孔数量降至传统液态成形工艺的50%。最终铸件在保持原有强度的基础上, 伸长率大幅提升, 导热性能提升约20%, 为高气密、高表面质量的薄壁轻合金产品提供了极具工业价值的量产新范式。

4 压铸技术发展趋势

4.1 压铸技术的拓展与挑战

压铸技术正加速向高精尖与前沿新兴领域渗透。华为技术有限公司王志刚^[27]指出, 光通信及算力中心行业对铸件提出了极端制造要求。在光模块中, 锌合金需满足极薄壁厚与极小公差, 且必须克服蠕变变形导致的信号外泄问题。在车载雷达及光机领域, 铝合金面临着极高的导热要求以及严苛的消光、无挥发污染等特种表面处理挑战。针对超算中心激增的散热需求, 具有极高热导率的铜合金成为第三代核心材料, 但目前铜合金超高压铸温度对模具材料的严重侵蚀仍是制约其量产的最大瓶颈。在具身智能领域, 中信戴卡王晓迪^[28]展示了人形机器人框架骨骼的高效压铸解决方案, 通过“材料-结构-工艺-热处理”完整体系, 实现了成本降低60%、减重15%的突破。

布勒中国的王思宁指出中国压铸技术发展正聚焦三大核心方向^[29]: 大型一体化压铸中国布局虽全球领先, 但需克服产能利用率偏低的挑战; 镁合金压铸凭借轻量化优势应用广泛, 但在超大型件领域仍受限于后处理与高投入等瓶颈; 可钎焊压铸成功解决了高端

液冷部件的兼容难题, 但对工艺与设备提出了更严苛的要求。未来, 行业将持续向高效、高端及多元化全面升级。

4.2 AI 与仿真技术的应用

人工智能与高级仿真技术的发展正在重塑压铸生产链。德维仿真的Chinnadit-Baitiang与Wei β ^[30]展示了SimCast与AI Analyzer无缝集成的智能化方案, 该技术构建的“仿真-分析-优化”闭环实现了准确率超90%的参数预警, 成功将废品率从7%~10%大幅缩减至2%~3%。小米汽车科技有限公司的刘利兵等^[31]针对AI技术在一体化压铸质量控制中的落地应用, 展示了“感知-控制-决策”三级智能化管控方案, 该技术构建的五大核心应用闭环实现了分析准确率达99.5%的缺陷识别与效率提升60倍的参数推荐, 为一体化压铸质量控制体系的智能化升级提供了系统化工程参考。朱家慧等系统阐述了MAGMASOFT软件在铸造全流程数值模拟中的应用优势^[32]。针对半固态铸造, 该软件搭载了独立模拟模块与专属材料数据库, 其流变参数与实测值高度吻合, 可1:1还原真实生产工况。依托DOE优化功能, 该技术能精准预判并解决缩孔、冷隔、卷气及变形等潜在问题, 大幅减少试模浪费。此外, 针对600℃高温工况下传统模具涂层厚度检测设备失效的技术瓶颈, 德国Fraunhofer IGC研究所邓芳田等^[33]提出利用光学相机采集铸件表面特征以反推涂料状态的非接触式创新思路。所构建的最优“端到端直接预测”AI模型, 在不干扰生产节拍的前提下, 将涂层厚度反推误差严格控制在3 μm 以内, 实现了远超传统人工经验的高精度在线监测。

4.3 标准化与绿色低碳发展

标准化建设与绿色低碳转型已成为压铸行业迈向高质量发展的核心驱动力。在标准化体系建设方面,全国铸造标准化技术委员会副秘书长朱家辉系统阐述了我国铸造标准体系的演进历程与管理现状,指出标准化工作对于规范企业生产流程、提升行业整体标准化水平具有深远意义,是助力压铸企业实现高质量发展的关键支撑^[34]。与此同时,压铸企业的绿色转型已进入实质性推进阶段,方圆标志认证集团黄湘琦强调,企业应通过构建专业的碳管理能力、探索多元化的节能脱碳路径以及创建零碳工厂,积极应对低碳发展的严峻形势,将可持续发展理念融入企业长期战略^[35]。

参考文献:

- [1] Miao Y S, Li Z Y, Tian Ye, et al. Progress in integrated die-casting technology for aluminum alloys [J/OL]. International Journal of Metalcasting, 2025-12-19. <https://doi.org/10.1007/s40962-025-01825-y>.
- [2] Luo A A, Sachdev A K, Apelian D. Alloy development and process innovations for light metals casting [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2022, 306: 117606.
- [3] Asghar O, Franceschi M, Ferro P, et al. A novel aluminium alloys design strategy for low usage of critical raw materials and high casting processability for automotive applications [J]. International Journal of Metalcasting, 2025, 19 (6) : 3538–3551.
- [4] Gaertner J. Mega & Giga casting in China and beyond: press installation & applications [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [5] Wu M W. Research on the heterogeneous microstructure and dynamic mechanical properties of large-scale integrated die-casting parts [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [6] Pan F. Effect of return material proportion on the performance of mega-cast aluminum front compartment floor [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [7] He Z N, Liu Y, Wan A, et al. Revealing the three-dimensional morphology and evolution mechanism of porosity at the flow end in non-heat-treated high-pressure die-cast AlSi9MnVZr alloy [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2026, 349: 119209.
- [8] Fu J, Zheng H, Guo L, et al. Microstructure, eutectic Si distribution, and mechanical properties of Al-6Si-Mg high pressure die castings with long mold filling distance [J]. Journal of Manufacturing Processes, 2025, 150: 391–406.
- [9] Liu H. CALPHAD-assisted design and implementation of die-cast aluminum alloys [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.

5 总结与展望

本文梳理了2026全国压铸行业年会暨第二十一届中国国际压铸会议中相关学术报告与产业前沿应用情况,展示了压铸领域的最新进展和未来跨界融合发展趋势,可为中国压铸产业的发展提供重要的指导和启示。高精度数字仿真与AI智能化技术配合大型一体化压铸成形、轻合金半固态铸造工艺以及前沿材料创新等,是未来压铸领域推动技术创新的主要手段。同时,依托规范化的标准体系引领,采用低碳清洁熔炼方案,优化可持续材料循环与生产流程等措施,可实现压铸产业的绿色低碳与可持续发展。

- [10] Wang L. Collaborative development practice of large-scale integrated die-casting molds and peripheral equipment matching [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [11] Yu Y. Comprehensive solutions for advanced materials and processes in mega casting [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [12] Tauber M. New magnesium lightweight applications for transport applications-the value chain for mg alloys & outlook [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [13] Li Y X. Taking lightweighting further: magnesium alloy in all dimensions molding technology and solutions [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [14] Shi K Q. Magnesium in high pressure die casting – from ingot to mold [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [15] Fu B Y. Development and application of large magnesium alloy thixomolding equipment [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [16] Pan Y J. Application of Mo₂FeB₂ cermet composite in key components of die-casting machines [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [17] Zhang L L. The development and application of magnesium alloy castings [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [18] Chen Y. Solutions and applications of semi-solid thick-wall forming for magnesium alloys [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [19] Wang T H. Key Technologies of magnesium alloy semi-solid processing and lightweight product development [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [20] Zeng C H. The trend of Mg applications [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [21] Li W J. Study on semi-solid injection molding process for magnesium alloy tailgate inner panel [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.

- [22] Sun J Y. Development of LPDC process for integrated aluminum alloy front cabin frame [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [23] Tian F X. From microstructural regulation to mass production: full-cycle development of aluminum alloy subframes for high-end new energy vehicles [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [24] Wu J. Intelligent solutions for low-pressure die casting production lines [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [25] Han Z C. Development and application of squeeze casting technology in thermal management systems for new energy vehicles [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [26] Lü S L. Rheo-diecasting of the al alloy component with thin-wall [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [27] Wang Z G. Analysis of the application of die casting in the optical communication industry [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [28] Wang X D. High-efficiency and lightweight solutions for the frame and skeleton of humanoid robots [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [29] Wang S N. Development and prospects of die-casting technology in China [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [30] Chinnadit-Baitiang C, Weiß L, et al. The future foundry intelligence through seamless integration between simulation SimCast and AI Analyzer [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [31] Liu L B. AI-driven quality control in mega-casting [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [32] Zhu J H. Design and development plan for aluminum-magnesium alloy semi-solid components based on MAGMASOFT® simulation analysis [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [33] Deng F T. Exploring the impact of mold coating thickness on thin-walled castings quality and developing in-line monitoring solution [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [34] Zhu J H. Strengthening the guidance of casting standards to empower high-quality industry development [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.
- [35] Huang X Q. Sustainable development in die casting [R]. The 21st China Die Casting Congress, Wuhan, 2026.