

一体化压铸技术的发展历程及应用现状

何廷余¹, 于德水², 李东洋², 刘清², 高杰³, 韩星⁴

1. 东莞市平泽五金制品有限公司 广东东莞 523000

2. 苏州亚德林股份有限公司 江苏苏州 215200

3. 比亚迪股份有限公司 广东深圳 518122

4. 山东宏桥轻量化科技有限公司 山东滨州 256200

摘要: 介绍了节能减排背景下, 汽车轻量化发展需求, 引出一体化压铸技术。深入分析了一体化压铸独到之处的来源, 总结了其应用现状, 总结出一体化压铸量产应用所面临的难点, 最后详细论述了如何建立一体化压铸的竞争优势, 提升产品的竞争力。

关键词: 轻量化; 一体化压铸; 量产应用; 竞争策略

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2024.07.005

全球能源危机和全球变暖问题的加剧, 受到了广泛关注和各行各业的剧烈变革, 推动了节能减排落实并持续推进, 其中汽车行业首当其冲^[1]。汽车轻量化是节能减排的有效手段之一^[2], 据国际研究机构试验表明, 对于传统汽车, 车辆每减重10%, 油耗可下降6%~8%, CO₂排放可减少约8.5g/km, 而对于新能源汽车来说, 减重10%可使其续航里程增加5%~8%^[3, 4]。在“碳达峰”“碳中和”政策和《节能与新能源汽车技术路线图2.0》的驱动下, 新能源汽车呈现了井喷式的发展^[5]。新能源汽车的快速发展衍生出众多创新技术和产品, 其中一体化压铸技术引领了汽车行业的一系列变革。

一体化压铸技术, 是将原本设计中需要组装的数十个甚至上百个零件, 经重新设计、高度集成, 利用超大吨位压铸机, 通过先进压铸工艺, 一体成形为一个超大尺寸的铝制部件, 实现原有功能的一项技

术^[6]。特斯拉称之为“Giga-casting”, 沃尔沃称之为“Mega-casting”, 实现一体化成形过程所用的加工系统为“Giga-Press” (源于设备供应商意德拉压铸机型号)。

一体化压铸, 又分为广义和狭义两大类。广义的一体化压铸指替代冲压-焊接件, 将多个零件变成一个压铸件; 狭义的一体化压铸主要指压铸过程使用6000t及以上的大型压铸机。

技术起源

与过往相关技术相比, 一体化压铸技术的独到之处主要体现在三方面: 超大尺寸的产品、极限压铸技术和免热处理压铸铝合金。

车用压铸产品的发展如图1所示。早在20世纪70年代, 铝合金压铸产品已经开始批量应用在缸体、变速器壳体等动力总成部件, 且日趋成熟。20世纪90年

代，奥迪等主机厂成功验证了减振塔、纵梁等车身薄壁结构件的压铸成型工艺，为了满足产品性能要求，采用了高强韧压铸铝合金和T7热处理工艺，只是当时并无太多的市场需求，没有得到行业的关注和重视。进入21世纪，在节能减排政策推动和汽车轻量化技术发展驱动下，高真空压铸技术实现了长足发展，车身压铸结构件也得到了广泛应用。2019年起，基于“化繁为简、降本增效”，以“后底板”为代表产品的一体化压铸件由特斯拉实现量产^[7]，并迅速获得汽车行业的狂热追捧^[8~10]。

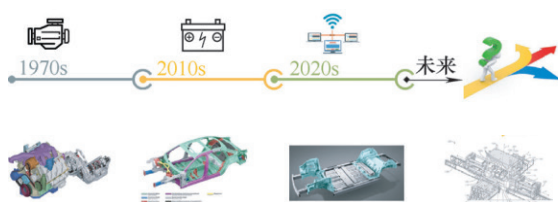


图1 汽车压铸产品的发展历程

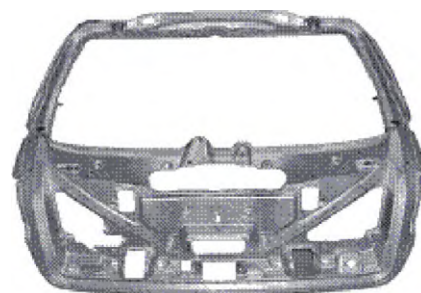
事实上，在此之前，大尺寸压铸结构件有不少开发案例，如尾门内板、前机舱防火墙、车门框架以及中控支架等（见图2），只是外形尺寸比目前略小。然而，受成本和市场等因素影响，当时大尺寸压铸件并未得到大规模应用。

世界首台压铸机于1849年问世，至今已有超过170年的历史，期间先后出现了真空压铸、半固态压铸及充氧压铸，实时监控反馈系统逐步融入了密封技术、局部挤压技术、模温控制技术及微量喷涂技术，如图3所示。

在一体化压铸技术之前，最大吨位压铸机为4000t级，且持续了近20年，在此期间压铸机吨位发展停滞的原因是无相应的产品需求。目前的一体化压铸技术，最初由福特提出，在福特F150车型上应用。如今，特斯拉真正让一体化压铸技术带着“颠覆光环”，走进人们视野并实现了大批量生产应用。

铝合金的发展史也有百余年（见图4），在汽车行业的应用也日益广泛和成熟。据调研^[11]表明，车用铝产品的成型工艺分布比例为：77%铸件、10%型材、10%板材以及3%锻件。

压铸铝合金的发展与应用，则与产品需求和工况保持同步，一体化压铸技术所涉及的免热处理合金，其实德国莱茵费尔登和美国铝业早在二三十年前就已



a) 尾门内板



b) 前机舱防火墙



c) 中空支架



d) 车门框架

图2 早期大型压铸件

经成功开发，可惜当时应用市场非常有限。

一体化压铸本质上属于较为古老且成熟的压力铸造（简称“压铸”），即熔融或半熔融的金属以高速压射入金属铸型内，并在压力下结晶的铸造方法，主要特点是高速、高压。无论从产品尺寸、设备吨位方

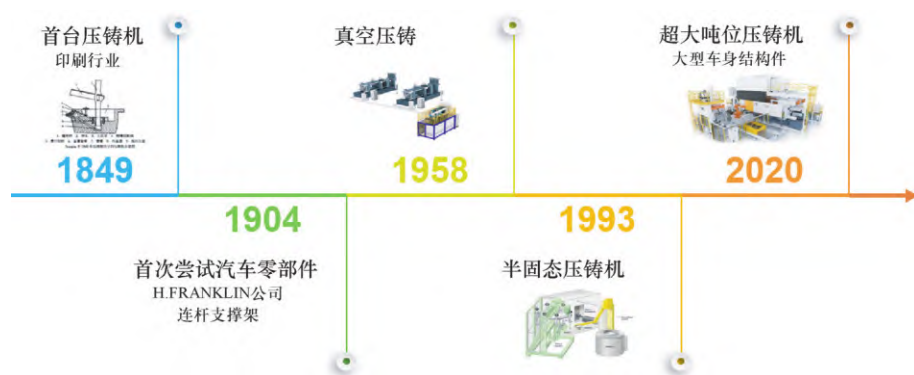


图3 压铸技术发展历程

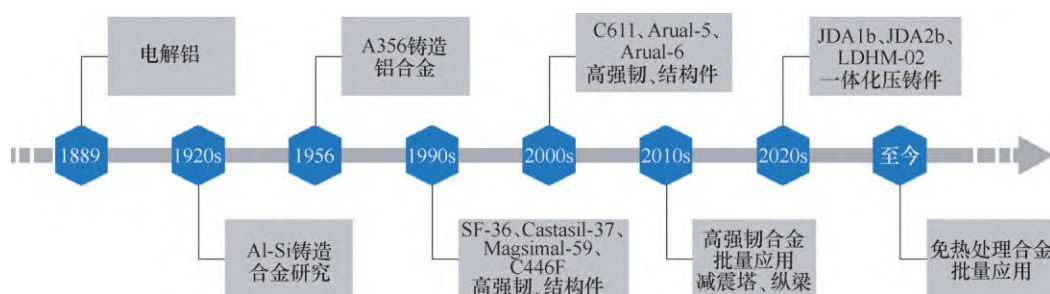


图4 压铸铝合金

面讨论,还是从免热处理压铸铝合金领域分析,一体化压铸并不是创新性或颠覆性的技术,准确地说应该是车身结构件压铸技术的传承与拓展。

然而必须正视的是，一体化压铸技术的蓬勃发展，对现有汽车工业生产组织方式产生了冲击。从1886年世界上第一辆汽车的诞生，汽车工业先后经历了数次变革：福特的流水线方式开创了工业造车时代的新方式，丰田的精益求精看板模式让大量的企业减少浪费，大众的模块化造车平台则让造车效率进入到新的时代。新兴的一体化压铸技术（见图5）会直接影

响整车四大件（车身、底盘、动力总成及电器元件）和汽车制造四大工艺（冲压、焊装、涂装及整装），让造车理念进入到一个新的时代。

应用现状

目前,一体化压铸技术应用集中在乘用车白车身的下车体,其中后底板已经在多款车型上实现量产,前机舱和中底板已进入准量产阶段,大尺寸电池壳体和非承载式车身车架正处于开发阶段,而处在技术前沿的一体化下车体(见图6)、一体化上车体、一体化

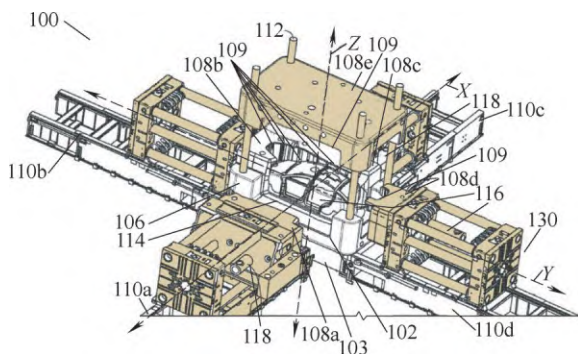


图5 特斯拉超大一体化压铸机专利示意

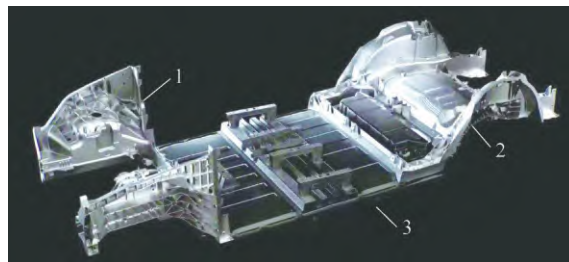


图6 一体化压铸技术应用于下车体
1—前机舱 2—后底板 3—前底板

侧位，甚至一体化压铸车身（见图7），已经列入研发或论证日程。

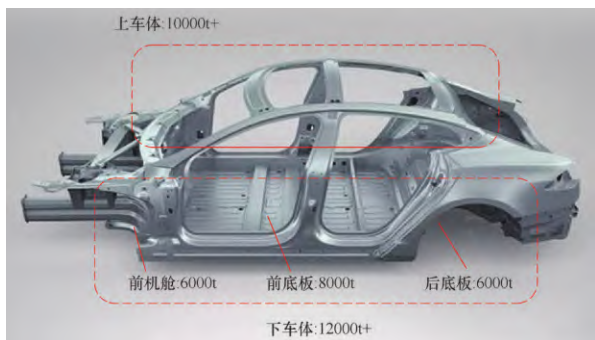


图7 一体化压铸技术应用于白车身

竞争策略

虽然一体化压铸技术吸引了众多主机厂、压铸厂、设备商、模具厂、高校科研院所以及资本市场的广泛关注与重视，整个行业都在大力开发应用一体化压铸件，但是一体化压铸技术的推广落地仍然面临巨大挑战。

目前一体化压铸推广应用最大的问题有两方面：

- 1) 受原材料成本和产品合格率两个因素影响，成本居高不下。
- 2) 产品不同区域性能差异太大，压铸末端延伸率甚至不到3%。

作为一体化压铸技术产业的重要组成部分，汽车厂、压铸机及相关设备厂、压铸材料研发商、压铸厂、模具厂及科研院所等，要基于清晰的产品定位，充分发挥铝合金材料的优势，明确产品所要求的工艺目标，做到全产业链低碳循环，使一体化压铸产品具备良好的竞争优势，携手共同迎接上述挑战。

1.清晰的产品定位

一体化压铸产品，要基于消除冗余、简化工艺、降低成本的集成原则，以铝代替中等强度要求的钢制部件，以达到低成本、高效率的目的，而对于B柱、门环等安全部件，热成型技术和高强钢更具优势。工艺思路应该在初始阶段就融入产品设计工作中，使产品结构符合压铸工艺特征，也就是冲压工艺难以实现、而压铸工艺轻松应对的产品结构，同时避免空腔结构和容易引起缺陷的大平面和热节。

2.准确的材料认知

材料的物理属性决定了力学性能范畴，在绝对力学性能上，铝合金要远逊于钢铁材料，面对当今发展迅速的高强钢，铝合金最大的优势就是复杂结构的成型性，因此铝合金的强度劣势需要在产品设计中通过结构创新来弥补。另外，在合金成分设计时，要满足流动性、粘模性、收缩性等工艺性的性能要求，同时兼顾结构相关、碰撞相关、强度相关的产品特性的性能要求。

3.明确的工艺目标

一体化压铸件属于超大尺寸薄壁件，若进行T6热处理容易导致严重变形，大幅降低产品合格率，为此一体化压铸产品几乎全部选择免热处理合金。一方面，免热处理合金的应用的确解决了超大尺寸薄壁件的变形超差问题，但也存在未经热处理的产品处在铸态的劣势，该劣势本质上未能充分发挥材料性能，属于一种材料浪费。

另一方面，在实际生产过程中，免热处理并非无热处理，开模取件并冷却可近似固溶，后处理、中转、运输会发生自然时效，白车身电泳则会起到一定的人工时效作用，这都会对产品的性能、尺寸稳定性产生影响。在产品和工艺设计中要充分考虑这两点，严格控制含气量、含渣量、密度等熔体参数，浇排系统的设计、压射速度的设定、真空工艺的调整都需要经过可靠的计算。

4.优质的低碳循环

优异的再生循环特征是“碳达峰”“碳中和”背景下另一大优势，水电铝和再生铝的应用可显著降低碳排放和综合成本。近年来，各大车企推出的车型日新月异，零部件也随之加快更新迭代速度，而压铸属于典型的批量生产工艺，因此在产线设计时，柔性化、自动化和智能化就显得尤为重要，否则重资产投入会大幅提高生产成本。

5.全球布局结合本地服务

一体化压铸件尺寸大、结构复杂，长距离运输无疑会显著增加运输成本、提高质量风险，所以依据市

场分布，进行产能和服务的布局成为各大公司的关键策略。近几年，众多压铸厂商加快围绕东北、华北、华中、华东及华南几大汽车制造基地的布局，一体化压铸产业链更是在全球进行战略布局，比如投资墨西哥工厂以服务北美市场，投资东欧、北非工厂以服务欧洲市场。目前几大龙头企业均在推进“全球布局、本地服务”，以降低成本和碳足迹。

结语

(1) 一体化压铸——未来已来、未来可期 特斯拉完成了一体化压铸件量产的从0到1，众多汽车厂商正在进行从一到百的壮举，一体化压铸拥有广阔的市场。

(2) 客观认知——创新而非颠覆 无论是产品还是设备，亦或是材料，从本质上分析，一体化压铸是在传统压铸基础上增加了高真空系统和超大尺寸，是改进创新，而非颠覆技术。

(3) 直面市场——趋于白热化，寻求竞争优势 受益于主机厂、压铸厂、科研院所以及资本市场的推动，一体化压铸技术的热度达到空前高度，接下来必将是惨烈的竞争，各方急需建立合适的竞争优势。

(4) 竞争策略 清晰的产品定位、准确的材料认知、明确的工艺目标、优质的低碳循环、精准的战略布局，是建立竞争优势的重要途径。

参考文献

[1] 伍赛特.汽车节能减排技术研究及展望[J].应用能源技术, 2019 (7) : 29-33.

[2] 谢群, 宋禹田.轻量化是汽车工业可持续发展的保证[J].轻合金加工技术, 2013, 41 (12) : 14-16.

[3] 王建萍.世界油耗法规升级及汽车行业的应对策略(上)[J].汽车与配件, 2018 (27) : 34-41.

[4] 李文哲.汽车企业节能新技术评价及油耗目标优化方法[D].长沙: 湖南大学, 2017.

[5] 刘晓洁, 别玉娟, 陈自兵.新能源汽车发展对制造工艺影响分析[J].内燃机与配件, 2021 (6) : 208-209.

[6] 杨英春, 韩星, 张晓庆, 等.轻量化驱动下的一体化压铸技术简析[J].铸造工程, 2023, 47 (4) : 11-15.

[7] 特斯拉一体压铸工艺[J].中国铸造装备与技术, 2021, 56 (2) : 1-3.

[8] 陶永亮, 娄梦妮.新能源汽车销量促进压铸产业及一体化压铸发展[J].铸造设备与工艺, 2022 (2) : 52-55.

[9] 方宇.特斯拉“鲶鱼效应”下的造车新锐[J].经理人, 2021 (7) : 36-38.

[10] 乔侠, 杨磊, 刘双勇.一体化压铸技术发展与应用研究[J].汽车工艺师, 2023 (8) : 30-33, 52.

[11] 杨洋, 赵明宇, 王冠宇.铝合金轻量化在汽车中的应用[J].黑龙江科学, 2022, 13 (16) : 42-44. **AUTO1950**

汽车工艺师 2024年 第7期 广告目次 Advertisement Catalogue

单位名称	查询编号	位置
汽车工艺师		封面
金粉商城	8000	封二
《汽车工艺师》杂志订阅	0001	封三
公益广告	8000	封底
公益广告	8000	1
公益广告	8000	2