

应用 3D 打印砂型技术实现一体化铸造大型汽车铝合金底盘

陈耀波, 孔德飞, 林晓春, 袁浩锋, 彭昌旺, 李家宁

(佛山市稳炫智能科技有限公司 爱司凯佛山3D打印中心, 广东佛山 528000)

摘要: 传统的汽车底盘上百个甚至上千个零部件通过焊接组合而成, 不仅制造工艺复杂, 生产效率慢, 而且底盘的强度和精度都大打折扣。随着科技技术的不断成熟, 以及汽车更新换代的加速, 一体化铸造汽车底盘由以前的构想逐步通过新的技术得以实现。本文通过应用3D打印砂型技术, 结合传统重力铸造, 阐述大型铝合金底盘的铸造成功案例。在本案例中, 通过团队集体的努力, 解决了大型薄壁件充型难的问题, 解决了大型砂型3D打印尺寸精度, 砂型成形和砂型合模装配精度等的难题。

关键词: 3D打印; 砂型铸造; 汽车底盘; 一体化铸造

随着科技的发展, 以及市场降本的需求, 一体化铸造汽车底盘的优势越来越明显。传统的汽车底盘由许多零部件焊接而成, 不仅工艺复杂, 而且焊接过程的热变形对底盘的精度影响较大, 焊接产生的高温也使底盘的强度降低, 一体化铸造汽车底盘应运而生。相对于传统汽车底盘, 一体化汽车底盘优势明显, 由原来集散的零部件变成一个零件, 生产效率大幅提升, 并且一体成形的铸件, 强度和精度更高, 为新能源汽车在市场竞争中起到了降本增效的作用。一体化汽车底盘在功能使用上确实比传统汽车底盘优势明显, 但是同样也带来了新的难点。相比传统汽车底盘, 一体化汽车底盘零件结构更大更复杂也让铸造成形难度增加, 特别是新车型的底盘开发。大部分的汽车制造和研发企业都看到了一体化汽车底盘的优点, 但都望而却步, 主要原因有: 第一是一体化汽车底盘成形工艺上缺乏相应成功的经验, 大型薄壁件在重力作用下铸造成形非常困难; 第二是大部分汽车研发企业在一体化汽车底盘上尚处于研发未定型阶段, 贸然投入模具制造样件, 成本太高; 第三是大型薄壁件在铸造成形过程中, 如何保证工艺实现与尺寸精度; 第四是大型铸件需要超大的砂型实现, 如何生产超大砂型并且能保证精度与轮廓度等等。本文通过爱司凯风暴S1800(3DP)砂型打印设备(图1)实现大型铝合金汽车底盘的一体化铸件(图2), 实现国内首个通过3D打印技术铸造成形一体化大型(薄壁)铝合金底盘件的成功案例。

作者简介:

陈耀波(1970-), 男, 本科, 主要研究方向为铝合金一体化铸造。电话: 13902273268, E-mail: simon3268@industry-cm.com

中图分类号: TG146.2⁺1;
TG221

文献标识码: A
文章编号: 1001-4977(2025)03-0298-06

收稿日期:

2024-09-05 收到初稿,
2025-01-07 收到修订稿。



(a) S1800砂型打印机



(b) 砂型打印过程

图1 爱司凯风暴S1800砂型打印设备

Fig. 1 AMSKY Storm S1800 sand mold printing equipment

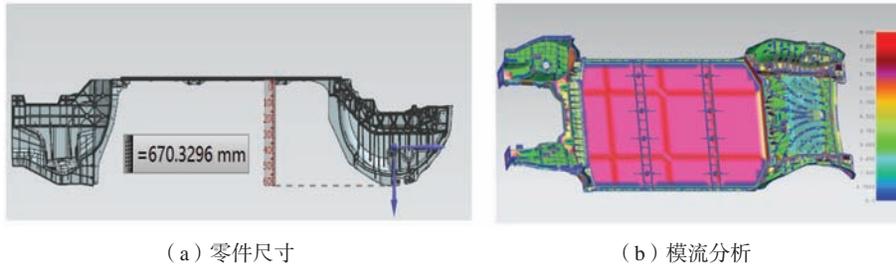


图2 大型汽车底盘零件数据与分析

Fig. 2 Data and analysis of large automobile chassis parts

1 工艺分析和设计

应用3D打印砂型技术实现铸造一体汽车底盘主要难点在于:

(1) 零件结构复杂而且体积超大, 具体尺寸为 3 806 mm × 1 545 mm × 695 mm。

(2) 为了满足产品轻量化设计, 整体壁厚较薄, 因此零件整体设计壁厚都在3~5 mm范围, 尤其是电池包平板架构与前后副车架区域, 其中前后副车架区域部分壁厚只有3 mm。

(3) 零件结构复杂, 电池包位置大面积薄壁平面, 前后副车架位置薄壁而且有较大高度差, 铸件高点 and 低点落差670 mm。

(4) 零件尺寸精度要求高(按 GB/T 6414—2017 中CT10的要求)。

(5) 铸件需要满足抗拉强度 ≥ 270 MPa, 伸长率 $\geq 5\%$, 屈服强度 ≥ 180 MPa。

根据零件的技术要求, 通过自主开发工艺数据库搜寻匹配相关数据与我们技术团队经验汇总分析, 零件由于体积超大收缩比例是关键工艺参数, 通过数据与技术团队汇总计算得出初步数据是, 零件Y方向设置1:1.027、X方向设置1:1.021、Z方向设置1:1.01等工艺数据。

基于零件整体尺寸超大而且有较大高度差, 通过砂型重力铸造方面零件充型是较大难点, 通过数据库与技术团队汇总议定通过3D打印砂型柔性方式顶铸铸造方案, 利用多年对3DP砂型打印应用技术理解, 通过该技术灵活性与多样性合理设计浇注系统。在浇注过程中实现逐层次充型确保零件每个特征得到充型与工艺得到满足, 浇注工艺设计基本融合了底铸和顶铸的优势基础上进行开发设计^[1]。

图3所示, 为了兼顾前后副车架部分和中间电池包薄壁大平面部分的充型, 采用阶梯式对称进水的设计工艺方式。

如图4所示, 红框中的两侧因为铸件壁厚只有3 mm, 该区域与中间绿色箭头的两个浇口相距较远, 如果只从中间两个绿色箭头所示的浇口进行充型, 那

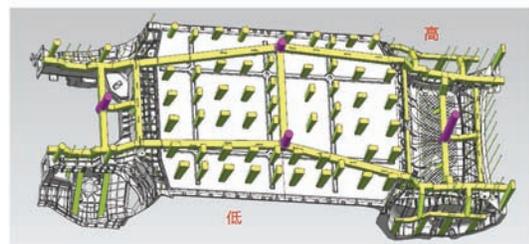


图3 铸造工艺设计方案

Fig. 3 Casting process design

么铝液流动到两侧红框处部分时, 温度已经相比浇注温度快速下降了约30 °C, 当铝液降低了30多度再进行红框区域充型时, 已经明显出现冷隔和裹气的现象, 那么铸件的整体充型是失败的

为了解决两侧充型的问题, 在目前暴露出来的问题点上进行优化设计, 在铸件的两侧边, 各增加1个浇口, 如图4中红色箭头所示。增加了两处浇口, 解决了铝液浇注后爬行远温度降低造成冷隔浇不足的问题, 铝液在红框处红色箭头所示地方就近进水优先充型两侧薄壁区域。

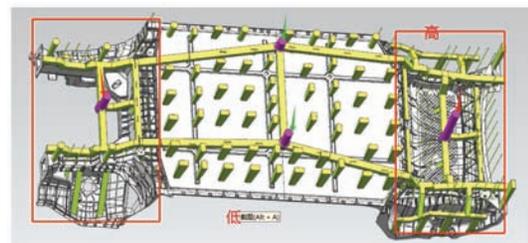


图4 两侧铸件壁厚

Fig. 4 Wall thickness of castings on both sides

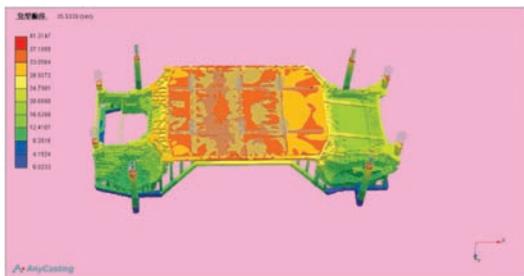
解决了两侧薄壁区域的充型, 还要解决中间区域大平面的充型问题。在铸件两侧得到充型保证的前提下, 中间壁厚相对厚实一点, 但是问题在于大平面比较大, 铝液在大平面上充型阻力系数比较大, 在重力铸造条件下, 容易出现裹气现象, 造成浇不足。为了解决这一问题点, 通过团队的论证和模流数据分析,

最终选定将铸件沿宽度方向倾斜 3° 让铸件大平面保持一定斜面让其在浇注过程中形成倾向重力充型,如图4中所示的高侧和低侧。通过以上设计构想,主要目的希望能达到铝合金液在型腔中流程短,降温慢,阻力小,充型顺畅^[2]。

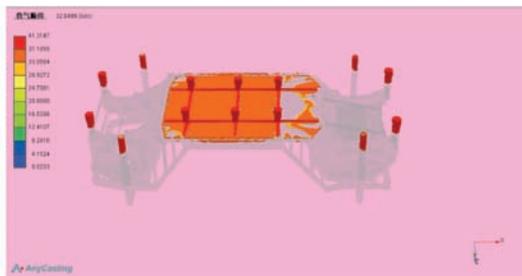
通过3D打印方式灵活设计不同浇道,根据不同设计流速打印不同规格流道使铝液充型到每个零件特征,解决铝液流动距离太长导致浇不足等问题。同时,电池包位置由于大面积薄壁平面容易发生充型不足风险,通过设计多流向引流通道与冒口使铝液充型到每个位置得到补充,也是通过3D打印砂型技术充分柔性设计各种通道,实现复杂多样零件技术要求。在

铸造过程发现问题可以马上重新设计新工艺方案,重新再次验证,减少修模时间与成本,极大提高铸造企业产品向高难度高复杂件领域发展。

最终模流数据分析如图5所示,图5(a)显示,在设计分层次进水浇注方案模流过程中,两侧薄壁区域优先充型,且就近浇口铝液温度下降不多,能够得到完整充型。两侧端充型接近完成后,中间大平面接着进行充型,带有一定角度倾斜让铝液在重力作用下,大平面基本上也得到了完整的充型。如图5(b)显示,当所有充型都完成后,优先充型的两侧端优先冷却,冷却过程中能在大平面和冒口等高温部位得到补缩,最后冷却的是中间大平面和大冒口和浇道。



(a) 两侧薄壁区域优先充型



(b) 中间部位最后冷却

图5 铸造模拟分析

Fig. 5 Casting simulation analysis

经过充分进行论证和依据模流分析数据结果,确定工艺方案是可行的,然后进行下一步砂型设计和砂型生产。

2 砂型分型和设计

这种大型复杂结构零件如果使用传统模具制作成本极高,且生产周期在90~120天以上才能交付。通过3D打印砂型可大幅降低成本,且制作周期只需要30天即可交付。因此我们通过自建工艺数据库提取过往底盘零件工艺数据与拼模设计工艺。因为这次砂型设计已经超出打印设备行程尺寸,所以通过精密拼模砂型工艺满足一体化设计要求。实现这中大型一体化高低落差薄壁件砂型设计十分复杂,因此先把整体铸造工艺设计完成后再进行每个砂型拆分与拼接,设计过程复杂。

为了实现一体化砂型结构我们以图6为主要砂型的拆分,我们整体砂型结构设计为四层十五块,合计砂型重量八吨,如图6所示。主体上砂型分为下砂、前后四侧边砂、以及上砂。为了保证砂型拼接精度,以零件单元结构为基准,每块砂型拼接结构都有X、Y、Z方向为拼接基准,而且每个连接位置都以榫接结构方式设计,使每个砂型之间为相互约束配合,保证三个方向都能控制尺寸偏差,减少砂型组装后累积误差影响

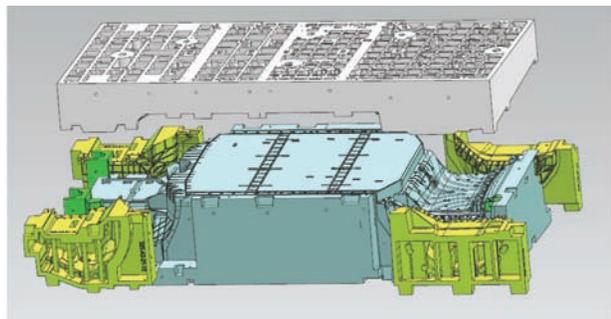


图6 主要砂型分为下砂和四侧边侧砂以及上砂

Fig. 6 The main sand mold is divided into lower sand, four side sand and upper sand

铸件的精度,如图7所示。

3 砂型打印

通过爱司凯风暴S1800砂型打印设备实现铸造整体砂型打印过程,成型砂箱 $1\ 800\ \text{mm} \times 1\ 000\ \text{mm} \times 730\ \text{mm}$ 。根据成型砂箱尺寸计划打印12箱,1台设备打印周期约8天,砂型制作比传统方式周期与成本有着明显优势。首先要把设计每块砂型数据转化成SLT层片化数据导入设备中形成打印文件,打印设备根据数据进行打印准备,3DP喷墨打印方式是采用自硬呋喃树脂与固化剂与成形砂按比例混合下交联反应固化成形一



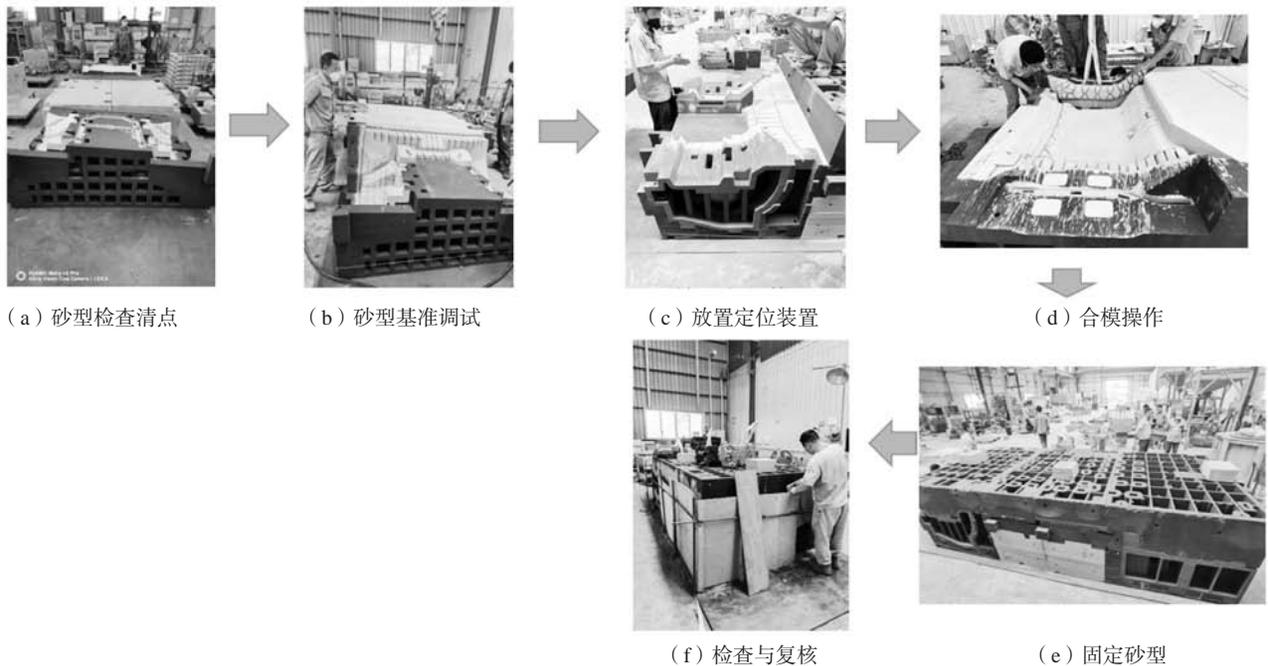
(a) 清理砂型

(b) 砂型上涂料

(c) 拆件吊装、填砂处理

图10 现场清理与组型

Fig. 10 On site cleaning and mold assembly



(a) 砂型检查清点

(b) 砂型基准调试

(c) 放置定位装置

(d) 合模操作

(f) 检查与复核

(e) 固定砂型

图11 在合模过程中，复核砂型尺寸和铸件理论壁厚，以确保铸造合格率

Fig. 11 During the mold closing process, the sand mold size and the theoretical wall thickness of the casting are reviewed to ensure the casting qualification rate

团队协同下一次浇注成功。

7 铸件清理、检测

待砂型冷却后从砂型中取出铸件，在取零件时要注意造成二次变形情况。零件取出后，初步检查零件整体充型完整，没有发现严重铸造缺陷等问题。

对铸件进行检测，如图12所示，制作专用检具对铸件进行矫正和检测，成功验证了工艺设计的合理性。

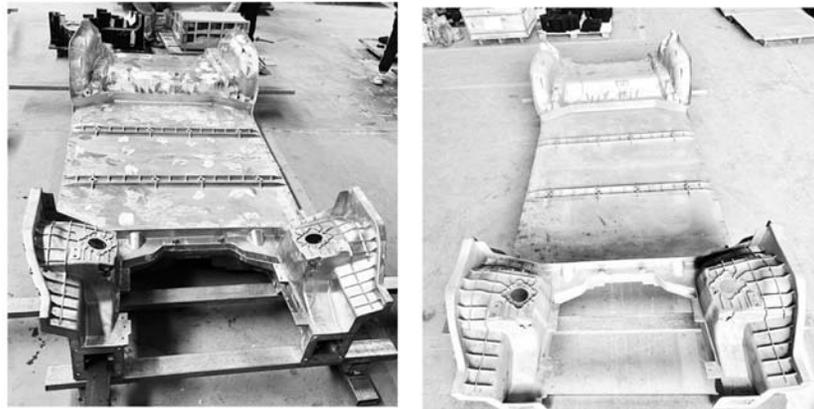
(1) 零件尺寸检测：通过对零件检测长度方向，理论长度3 806 mm，实测3 803.7 mm，偏差小于3 mm；宽度方向理论尺寸1 545 mm，实测1 543.1 mm，偏差小

于2 mm；高度方向理论尺寸695 mm，实测692.2 mm，偏差小于2.5 mm，检测结果整体尺寸达到工艺设定技术要求，尺寸控制在CT10以内。

(2) 铸件通过热处理后材料性能合格。

为了满足汽车底盘功能测试要求我们在零件进行本体取样测试结果如下：抗拉强度 ≥ 270 MPa，屈服强度 ≥ 180 MPa，伸长率 $\delta_5 \geq 5\%$ ，硬度HB 80。

项目总结：整个项目完成交付周期35天，通过3D打印技术与我们多年技术积累工艺数据库融合快速制造复杂各类前沿需求零部件，为企业后续量产提前做好工程验证提供专业化服务，助力新能源汽车产业迭代升级。



(a) 一体化汽车底盘毛坯交付状态1

(b) 一体化汽车底盘毛坯交付状态2

图12 一体铸造成形汽车底盘毛坯

Fig. 12 Integrated casting of automobile chassis blank

8 结束语

随着3DP打印技术渐已成熟已经进入“大和快生产时代”，该技术的打印效率与成本会越来越符合大规模生产的条件。本文通过3D打印技术的应用，灵活设计铸造工艺，实现了大型薄壁件的重力铸造成形，在重力铸造大型薄壁件上实现了突破，如目前新能源汽车一体化底盘和大型一体化电池包等。最近特斯拉汽车公司正在验证大型压铸底盘零件的镂空特征，通过

3D喷墨打印技术与压铸形成柔性批量化生产模式，如果能实现此方式则代表智能化生产模式已经进入新的时代，我们也将会在带领行业进入全新模式的发展道路上而做出贡献。3D打印技术的成熟在此次大型薄壁件铸造的成功上起到了关键的作用，在汽车研发阶段为新产品开发设计提供了强有力的推动作用，加快了汽车的研发周期和技术的更新换代。

参考文献:

- [1] 唐博. 汽车用大型薄壁件的铸造工艺研究 [J]. 铸造技术, 2013 (11): 163-165.
- [2] 余瑾, 杨天云, 杨兵, 等. 大型铝合金薄壁件低压铸造工艺研究 [J]. 特种铸造及有色合金, 2011, 31 (10): 1001-2249.
- [3] 杨永泉, 刘文辉. 喷墨砂型打印技术浅析 [C]// 中国机械工程学会铸造分会. 2015中国铸造活动周论文集.

Application of 3D Printing Sand Mold Technology to Achieve Integrated Casting of Large Automotive Aluminum Alloy Chassis

CHEN Yao-bo, KONG De-fei, LIN Xiao-chun, YUAN Hao-feng, PENG Chang-wang, LI Jia-ning
(Amsky Foshan 3D Printing Center, Foshan Wenxuan Intelligent Technology Co., Ltd., Foshan 528000, Guangdong, China)

Abstract:

The traditional automobile chassis comprises hundreds or even thousands of parts through welding. Not only the manufacturing process is complex, the production efficiency is slow, and the strength and accuracy of the chassis are greatly reduced. With the continuous maturity of science and technology and the acceleration of automobile replacement, integrated casting automobile chassis has gradually been realized through new technologies from the previous concept. This article explains the successful casting cases of large aluminum alloy chassis by applying 3D printing sand mold technology and combining it with traditional gravity casting. In this case, through the collective efforts of the team, the problem of difficult filling of large thin-walled parts was solved. Additionally, the issues of dimensional accuracy in large sand mold 3D printing, sand molding, sand mold clamping, and assembly accuracy were also resolved.

Key words:

3D printing; sand casting; automobile chassis; integrated casting