

气瓶支架轻量化集成设计实践

唐平生

(东风精密铸造有限公司, 湖北十堰 442714)

摘要: 气瓶支架是新能源车型上的重要部件, 目前侧置式结构普遍采用多块钢质型材切割后焊接, 座式结构普遍采用铝质型材切割后焊接。铸造工艺可以做到等强度、变截面、空心型、复杂化、薄壁型结构, 而焊接工艺难以实现。本文重点介绍气瓶支架制造工艺优化设计和分析结果, 其中轻量化的支架本体采用熔模铸造工艺制造, 气瓶支架总成结合了多材质多工艺复合制造。

关键词: 新能源车型; 气瓶支架; 熔模铸造; 轻量化; 多材质; 复合结构

汽车轻量化可以减少油耗, 降低污染物排放^[1]。目前国内各个车企都在加大研发力度, 主机厂与各个零部件供应商的轻量化技术路线主要集中在材质轻量化、材质高强度以使零部件减薄和减少使用量等来实现重量减轻。在结构上重新优化设计作为重点, 并复合多种材质多种工艺产品进行轻量化集成式设计模式的厂家, 目前还比较少。为实现整车减重的“斤斤计较”目标, 需综合应用到轻合金材质、多种低成本制造工艺的集成式设计技术。熔模铸造作为一种能够适应多种合金, 并能实现复杂形状近净成形的工艺^[2], 可以为轻量化设计提供更大的柔性, 从而发挥重要作用。本文介绍东风精密铸造有限公司(以下简称东风精铸)针对新能源汽车用气瓶支架的产品和工艺优化所开展的工作。

1 东风精铸开展产品轻量化的历史

各大整车厂通过追求载荷与自重比的不断增加, 持续展现新车型的轻量化水平, 对零部件企业轻量化设计与制造能力提出全新要求, 这与东风精铸进行产品轻量化的理念高度融合。材料轻量化、结构轻量化、先进生产工艺是汽车轻量化的三大路径, 这三大轻量化路径目前东风精铸均已具备, 特别是结构轻量化设计与制造能力方面, 经过近二十年积累已从单件简单轻量化进入到模块轻量化这样一个全新的阶段, 由单件开发、被动开发、来图加工已向模块集成、系统化开发、同步开发实现全面升级, 见表1。

2 气瓶支架结构设计

2.1 总体思路

目前的侧置式气瓶支架均采用多块钢质型材切割后焊接组成固定支架, 然后与底部防护框架部分组成支架总成。其中支架的厚度受工艺因素限制而较厚, 造成总成重量较重。另一方面焊缝较多, 焊缝尖角导致应力集中现象以及焊缝强度的不稳定性, 导致连接支架的强度减弱且在焊缝处易锈蚀。该连接支架具备较充足的轻量化、性能提升与外观美化的空间, 可以采用熔模铸造工艺一体化成形支架主体部分后, 将底部支撑部分的方管以及薄板采用标准型材, 通过焊接与连接支架组成气瓶支架总成, 实现气瓶支架的最优工艺组合, 提升总成的强度, 减轻重量, 达到满足产品使用性能的前提下降低制造成本的目标。结构优化的变化如图1和图2所示。

作者简介:

唐平生(1973-), 男, 工程师, 研究方向为汽车零部件结构轻量化设计技术。电话: 13986905016, E-mail: tangps@df.com.cn

中图分类号: TG249.5

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2021)02-0175-05

收稿日期:

2020-10-27。

2.2 核心部件轻量化工艺方案




东风精铸经过近二十年产品结构轻量化的实践积累,以及熔模铸造工艺在薄壁复杂结构件方面取得的技术突破,形成了面对复杂的冲压焊接件进行轻量化优化和工艺替代的能力。对该气瓶支架总成上的核心受力部位进行分析,见图3,由20余块大小不一形状各异的钢板冲压后焊接而成,冲压件品种数量多,工时长,且焊接件易变形,不美观。结合产品外形相对紧凑,具备按轻量化整体铸造的可能性。最初按两种结构方案考虑,方案1(图4)的整体铸造工艺性差,不

适合后续产品量产。方案2采用铸焊结合式轻量化结构,铸出核心部件后,再选用合适的轻量化型材少量焊接即可,如图5所示。

2.3 结构轻量化设计方法

产品原结构见图6,结构爆炸图见图7。针对产品功能、外形尺寸、受力模式、机加与铸造工艺性、装配方便性、取模高效性等因素综合考虑后,该核心部件的总体设计思路是以铸代焊。总体造型适合一体化框架式轻量化结构,大圆弧面适当设计工艺孔以减少

表1 东风精铸轻量化发展历程
Table 1 Development history of lightweight process in Dongfeng investment casting Co., Ltd.

时间轴	2004~2008年	2009~2018年	2019~
轻量化阶段	V1.0 单件轻量化	V2.0 集成轻量化	V3.0 模块轻量化
代表产品	 减重率30%	 减重率40%	 减重率50%
关键词&支撑技术	六个替代、六个千方百计 “六个替代”技术 “六个千方百计”设计原则	薄壁、高强、集成 CAE分析与验证技术高性能铸 造材料技术复杂薄壁成形工艺	系统、多元、组合 系统解读能力系统结构设计、多材 料、多工艺连接与装配技术
技术资源技术能力	铸件产品设计黑色金属材料 静强度试验台架	CAE分析铸件集成设计 疲劳试验台架等	模块分析、竞拆、有色材料、模块 验证、连接技术、多体验证台架等

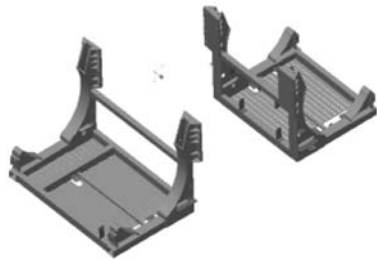


图1 原冲焊结构
Fig. 1 Structure of cutting and welding

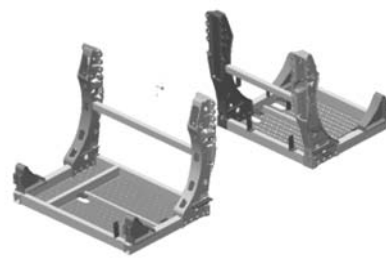


图2 轻量化复合结构
Fig. 2 Lightweight composite structure



图3 核心部件焊接结构
Fig. 3 Welding Structure of core part



图4 方案1-整体铸造
Fig. 4 Plan1-Integral casting



图5 方案2-铸焊结合
Fig. 5 Plan2- combination of welding and casting

接触面降低铸造难度,所有装配孔的端面设计成圆台面,需焊接的接触部位设计成仿形式凸台面,圆角依据厚度及外形变化设计成大小不同的渐变圆角以实现过渡顺畅壁厚均匀,同时预留装配凸台以实现左右件尽可能通用。通过一系列适合熔模铸造工艺的结构轻量化优化,将原17块分体件整合成一体化铸件,见图8,产品结构可实现直接铸造成形,不需机械加工。

计算机仿真可以对优化后的结构进行应力分析^[3],图9所示区域应力较大,主要原因是该区域为由固定端向施力端区域过渡起点,重心远,力矩大。为改善此类固定端稍显突变的受力结构,可通过加高该处装配凸台,以便将固定端尽量向产品重心靠近,同时轮廓外延加大以增强产品抗扭能力等(如图10)。强化方案经CAE分析后,该处应力值大幅下降至安全范围内,结构设计达标。

2.4 熔模铸造工艺可行性分析

为提高取模效率,并实现金属液利用率不低于60%等目标,按内侧无取模活块式结构设计成两个内浇

道,并采取合适的浇注系统方案,见图11。经凝固模拟数值分析,轻量化产品结构的铸造工艺性较好,具备量产工艺条件,模拟结果如图12所示。

3 材料改进

气瓶支架承受复杂的疲劳工况,其结构强度直接影响产品寿命,进而影响车辆的行驶安全。综合考虑安全性、焊接工艺性等,结合轻量化目标,选择东风精铸自主研发并已成功应用的高强度高韧铸钢材料ZGD650-830,代替原设计的Q235A材料。表2为这两种材料的性能对比。

针对组合焊接用的型材,也依据各区域应力情况,满足强度要求并综合考虑轻量化目标,合理调整型材材质和规格,优先选择常用的标准型号。

4 轻量化方案效果评估

4.1 强度分析

对结构进行各工况下强度分析,结果见表3。优化

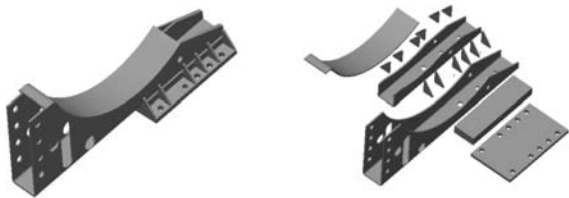


图6 原结构

Fig. 6 Original structure



图7 原结构爆炸图

Fig. 7 Original structural explosion diagram



图8 轻量化效果图

Fig. 8 Lightweight structure

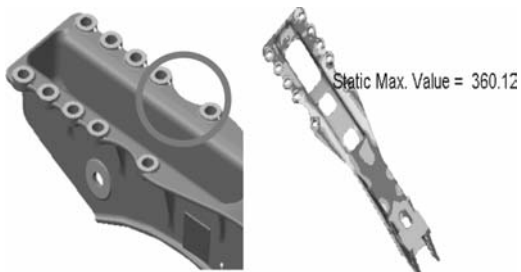


图9 高应力区结构

Fig. 9 Structure of high stress zone



图10 高应力区改善效果

Fig. 10 Improved structure of high stress zone

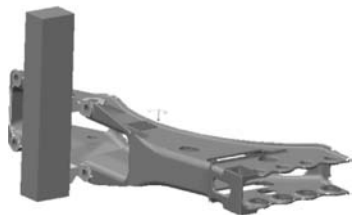


图11 浇注系统方案

Fig. 11 Pouring system layout



图12 凝固模拟结果

Fig. 12 Solidification simulation result

方案各个工况下应力值未高于材料许用应力，安全系数均超过1.0，且高于原方案的安全系数。优化结构满足强度要求。

4.2 工艺性与成本分析

经过优化，气瓶支架总成总重由原来的218 kg/辆降低至153 kg/辆，每台车减重量为65 kg，减重率为

29.8%。核心部件采用熔模铸造方法生产，结构优化成薄壁高强结构，见图13，不仅考虑到少、小热节，还考虑到熔模铸造生产时，蜡模压型可以少分型少活块，制壳时易撒砂易干燥，易抛丸清砂，少变形易校正等，从而有利于提高工艺质量和生产效率。综合评估，优化后的产品方案成本可降低30%以上。铸件和型材焊接组合后的部件总成见图14。

表2 材料性能对比
Table 2 Comparison of materials properties

材料名称	密度 $\rho / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	屈服强度 $R_{p0.2} / \text{MPa}$	抗拉强度 R_m / MPa	伸长率 $A / \%$	硬度HB
Q235A	7.8	235	375	25	170~210
ZGD650-830	7.8	650	830	11	220~260

表3 强度分析结果
Table 3 Strength analysis results

工况	原结构				复合结构			
	支架1		支架2		支架1		支架2	
	最大应力	安全系数	最大应力	安全系数	最大应力	安全系数	最大应力	安全系数
5 g下+2 g前	265.31	0.89	266.4	0.88	257.1	2.53	369.7	1.76
5 g下+2 g后	353.44	0.66	248.1	0.95	379.6	1.71	274.4	2.37
5 g上+0.5 g前	285.61	0.82	234.5	1.00	302.0	2.15	268.7	2.42
5 g上+0.5 g后	273.66	0.86	245.9	0.96	280.0	2.32	277.5	2.34
5 g上+3 g左	283.45	0.83	247.3	0.95	253.4	2.57	251.2	2.59
5 g上+3 g右	375.67	0.63	242.5	0.97	351.0	1.85	342.1	1.90
5 g下+3 g左	375.67	0.63	242.5	0.97	351.0	1.85	342.1	1.90
5 g下+3 g右	283.45	0.6	247.3	0.95	253.4	2.57	261.2	2.59



图13 核心部件（熔模铸件）轻量化最终方案
Fig. 13 Light weight core parts (investment casting)



图14 铸件和型材焊后的总成件示意图
Fig. 14 Assembly diagram by welding of investment casting part and profiles

5 结论

(1) 对多零件组合的总成部件进行再设计，选择其中的核心部分进行结构优化，转化为轻量化的整体熔模铸件。这种基于功能和轻量化目标的集成式产品设计，是装备轻量化的有效手段，也是熔模铸造发挥优势的重要领域。

(2) 针对气瓶支架总成部件, 灵活采用多工艺多材质的复合式空心框架式结构, 实现了更优的制造效益。

(3) 轻量化集成设计技术在钢质气瓶支架上的成熟应用, 为该产品进一步向铝质结构转换, 实现深度轻量化集成提供了良好的理论与实践支持, 铝质结构可实现减重率60%。

参考文献:

- [1] 李伟, 张鑫, 成龙. 汽车铸件轻量化的技术路线分析 [J]. 汽车工艺与材料, 2017 (7): 23-32.
- [2] 吕志刚. 我国熔模精密铸造的历史回顾与发展展望 [J]. 铸造, 2012 (4): 347-356.
- [3] 马波. 精铸轻量化模拟仿真流程与评价标准浅谈 [J]. 铸造技术, 2012 (1): 88-90.

Practice of Lightweight Integrated Design of Cylinder Bracket

TANG Ping-sheng

(Dongfeng Investment Casting Co., Ltd., Shiyan 442714, Hubei, China)

Abstract:

Gas cylinder bracket is an important part of new energy vehicles. Currently, the side-mounted structure generally adopts multi-block steel profile bycutting and welding, while the seat structure generally adopts aluminum profile. Using casting technology can achieve the parts with same strength, variable cross section, hollow shape, complex and thin wall structure, but the welding technology is difficult to achieve. The paper mainly introduces the optimization design and analysis results of cylinder bracket manufacturing process, in which the lightweight part body is made by investment casting process, and the cylinder bracket assembly is a combination of multi-material and multi-process composite manufacturing.

Key words:

new energy vehicles; cylinder bracket; investment casting; lightweight; multi-material; composite structure
