

高强韧铝铸件铸锻一体技术及其应用

程志强, 张远东, 韦升财, 李琦, 方晓琴

(深圳市北工实业有限公司, 广东深圳 518111)

摘要: 某新能源汽车用骨架铸件采用高强韧铝合金零件实现“以铝代钢”, 针对其尺寸、结构、重量及技术要求特点, 进行了基于新型铸锻一体工艺的研究。通过实际试制、检测, 装机测试满足了使用需求, 为相关行业轻量化提供了新方案。

关键词: 铸锻一体; 高强韧; 以铝代钢

随着全球节能减排、绿色发展的迫切需求, 各行业零部件轻量化成为必然趋势, 铝合金铸件在航空航天、船舶、电力、医疗卫生和汽车^[1]等诸多领域得到了迅猛的发展, 薄壁、结构复杂、近净成形、无缺陷、本体性能均匀的框架类、箱体类、壳体类等优质的铝合金铸件被开发出来, 并投入使用。

对于传统机车行业, 尤其是高铁已经成为我国的名片, 相关设计人员已经从目前全面掌握设计理念和思想, 轻量化是必然之路, 越来越多的零部件采用轻量的铝合金、镁合金。本文所述高强韧汽车用骨架铸件也正是在此种情况下采用比强度优异的铝合金替代铸钢以实现轻量化。

此类铸件要实现“以铝代钢”对产品质量要求较高, 传统的压铸由于不能热处理强化, 无法满足技术指标要求, 因此需要采用创新工艺技术, 本文正是针对于此开展相关研究, 以期对我国相关行业零部件轻量化提供新思路。

1 铸件结构及技术要求

铸件采用ZL101A合金材料, 图1为骨架铸件三维图, 轮廓尺寸为100 mm × 80 mm × 40 mm, 铸件均匀壁厚5 mm, 铸件重量0.55 kg。技术指标要求: 抗拉强度 ≥ 260 MPa, 伸长率 $\geq 6\%$ 。基于上述技术指标及铸件结构尺寸特点分析, 因为产品重量较轻, 不适合采用铸造质量较优的低压铸造方法, 且目前低压铸造也难以达到该技术指标要求, 尤其是高伸长率要求。从质量及结构上分析, 重力铸造及高压铸造方法相对适合生产本产品, 但远远不能满足技术指标要求。

作者简介:

程志强(1971-), 男, 主要从事铝合金铸锻一体成形技术研究。电话: 0755-84112701, E-mail: 13927476865@139.com

中图分类号: TG249.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2023)

04-0447-04

收稿日期:

2022-06-23 收到初稿,

2022-08-10 收到修订稿。

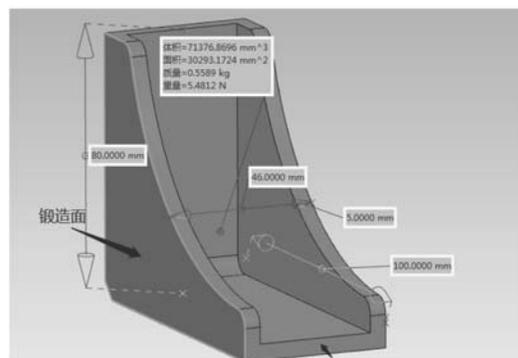


图1 铸件数模图

Fig. 1 3D model of the casting

因此,本文针对这样有高强韧要求的结构简单零件,基于新型铸锻一体技术,开发出一种制备高强韧零部件的新方法。

2 工艺对比分析

如本文产品采用高压铸造方案制造,则基本工艺如图2所示,图中右下侧阴影部分为高压铸造料饼及浇道系统,在压铸机高压锤头的作用下将料筒中铝液高速推入型腔(图中上侧阴影部分),并在锤头压力下铸件成形凝固,存在以下问题。

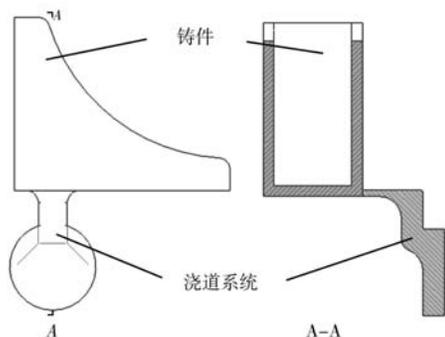


图2 高压铸造工艺简图

Fig. 2 Brief process drawing of the HPDC

(1) 高速充型,大量卷气、卷渣不仅造成产品内部缺陷从而降低力学性能,同时不可进行热处理强化(高温鼓泡变形),难以达到高强韧要求。

(2) 铸件在压铸机料筒锤头作用下凝固,虽然有压力,但由于产品壁厚薄而均匀,难以形成压力梯度,产品近浇道附近与远端基本近于同时凝固,堵塞压力通道,因此锤头压力无法传递到远端,远端部分难以获得理想的压力作用而形成致密组织的铸件。

同时,大量生产实践已经验证,ZL101A合金不适用于高压压铸,极易造成粘模,而难以成形或者仅少数模次后就不得不终止生产的情况。

本文采用的铸锻一体成形是一种结合了挤压铸造与锻造两种成形工艺优点的新工艺技术。

如图3所示,该技术与高压铸造不同之处在于增加了锻造系统模块,通过技术分析在铸件需要的部位先预留3 mm锻造量,因此具有以下优点。

(1) 预留锻造量相当于增加了充型阶段铸件壁厚,可以有效提高铸件充型能力,因此可以降低充型速度,从而达到少卷气或者无卷气的目的,解决了卷气、卷渣引起的内部缺陷问题,更重要的是使得所生产的铸件可以进行高温热处理强化,从而达到高强韧目的。

(2) 锻造模块对高压铸造锤头压力作用不到的远端进行强力“锻造”,将预留锻造量在锻锤作用下锻

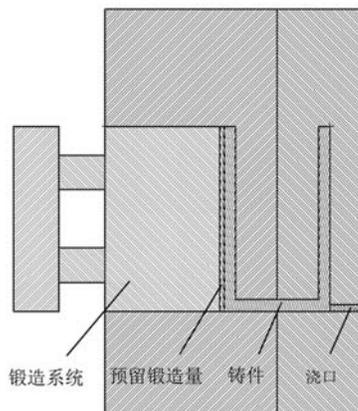


图3 铸锻一体工艺剖面简图

Fig. 3 Cross-section drawing of the squeeze-forging process

回型腔(达到产品原设计尺寸),此时预留锻造量起到类似低压铸造“冒口”的作用,对铸件进行强力补缩,避免产生裂纹、缩孔等缺陷。

(3) 铸件在压射室锤头和锻锤压力的共同作用下,将产品挤压得到致密组织,达到了高强韧目标。

针对本文产品,通过工艺结构分析,为了更好地保证产品质量,如图1所示选择产品最大面作为挤压面,锻造系统作用面积最大使“锻锤”作用在铸件上锻造力最大化,达到更好的压力凝固及锻造微变形强化作用。同时,在最大面上预留锻造量也更大,相当于可以起到补缩作用的“冒口”合金液更多,更好的对铸件收缩进行补充,避免裂纹、缩孔等缺陷,满足高强韧要求。

3 产品试制

3.1 熔体制备

产品要求采用ZL101A合金,化学成分符合GB/T 1173—2013《铸造铝合金》标准要求。主要成分如表1。

本文采用标准商用ZL101A合金锭,电阻炉石墨坩埚熔化后进行高纯氮气旋转喷吹除气15~20 min,静置10 min后扒渣,在700℃左右保温。

表1 ZL101A主要化学成分

Table 1 Main chemical composition of the ZL101A $w_B/\%$

合金代号	主要合金元素			主要杂质
	Si	Mg	Ti	Fe
ZL101A	6.5~7.5	0.25~0.45	0.08~0.20	≤0.2

3.2 铸锻一体工艺

铸件采用如图3所示工艺,在铸锻一体专机上进行试制,具体工艺参数如表2。铸件实物见图4。

表2 铸锻一体工艺参数
Table 2 Process parameters of the squeeze-forging

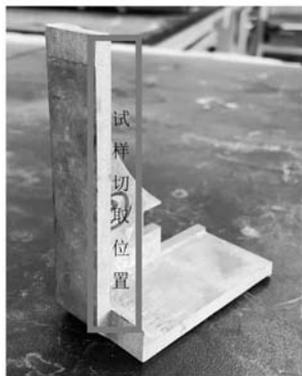
序号	项目	参数
1	模具温度	180~220 °C
2	浇注温度	680 ± 5 °C
3	充型速度	≤0.5 m/s
4	压射室锤头压力	40 MPa
5	锻锤压力	40 MPa



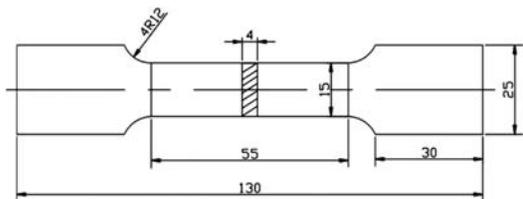
图4 铸件实物
Fig. 4 Casting photo

4 检验分析

对产品实物进行了力学性能检测，随机抽取了3件，进行本体剖切取力学性能检验试样，取样位置及试样加工尺寸如图5所示。



(a) 试样切取位置



(b) 试样加工尺寸

图5 本体力学性能试样切取位置及加工尺寸
Fig. 5 Cutting position and dimension of the tensile test

力学测试试验标准：GB/T 228.1—2010；试验用拉力机规格型号：长春科新WDW-3100；测试温度：室温25 °C。具体数据如表3，断后试样实物如图6。

表3 力学性能检测结果
Table 3 Tensile test results

项目	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%
产品技术要求	260	210	6
1#	322	259	11.5
2#	311	257	10
3#	302	258	9.0

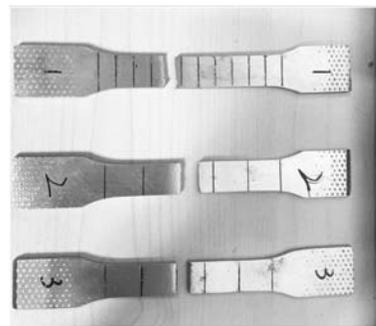


图6 试样拉伸断后实物
Fig. 6 Tensile bar after test

由表3测试数据可以看出，能达到同等低压铸造产品性能强度水平，伸长率更优，远超重力及高压铸造同类产品水平。装机试验后整体达到了设计要求，运行良好，满足使用要求，现已进行小批量供应。

同时对产品进行了金相分析，通过对比图7重力铸造和图8铸锻一体金相照片，可明显看出，经铸锻一体的合金组织细小均匀，晶粒有微塑性变形，达到了细晶强化及一定的塑性变形强化作用，实现了产品性能高强韧的目的。因为本文所述铸锻一体新工艺，是综合了高压铸造、挤压铸造以及锻造等工艺技术优点，充型阶段采用慢速充填，避免卷气、卷渣，从而减少了铸件内部产生气孔、氧化夹渣等严重降低产品力学性能的缺陷；充型完成后，铸件在料筒锤头压力作用下的同时，锻锤对铸件相应部位进行“锻造”，这样不仅使铸件多向受力，而且锻锤力可以更加直接地作

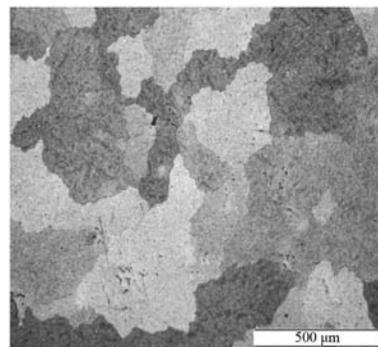


图7 ZL101A重力铸造金相照片
Fig. 7 Microstructure of the ZL101A by gravity casting

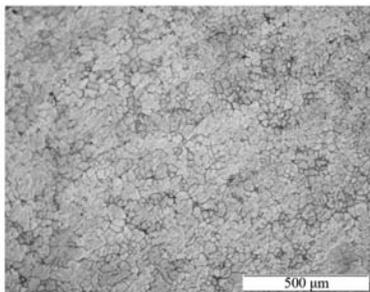
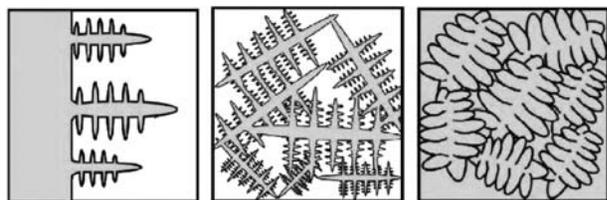


图8 采用铸锻一体 ZL101A金相照片

Fig. 8 Microstructure of the ZL101A by squeeze-forging

用在铸件相应部位, 效果更加显著。

根据金属凝固原理^[2], 合金从液态凝固结晶成固态基本过程如图9所示, 金属液接触型壁后, 由于温度降低开始沿型壁产生初生枝晶, 随着整体型腔继续降温, 枝晶长大, 之后每个枝晶进一步长大并交织凝



(a) 初生枝晶 (b) 轴向长大 (c) 交织凝固

图9 合金凝固结晶示意图

Fig. 9 Sketch of crystallization and solidification

参考文献:

- [1] 范子杰, 桂良进, 苏瑞意. 汽车轻量化技术的研究与进展 [J]. 汽车安全与节能学报, 2014, 5 (1):142-145.
[2] 崔忠圻, 刘北兴. 金属学与热处理原理 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2019.

固, 最终形成如图8所示典型等轴细晶微观金相组织状态。

本文铸锻一体工艺, 则是在金属液接触型壁后, 同样如图9a生长一定初生枝晶后, 启动锻锤, 将预留的3 mm空隙锻实, 则枝晶在锤头作用下移动、破碎, 成为非均匀形核核心, 根据形核率与晶粒度关系式:

$$Z_v=0.9(N/G)^{3/4} \quad (1)$$

式中: Z_v 为单位体积内晶粒数; N 为形核率; G 为晶粒长大速度。

因此, 在锻锤作用下由于枝晶破碎后形成大量非均匀形核核心, 形核率 N 急剧增大, 而在压力作用下晶粒长大速度 G 被严重抑制, 因此 N/G 比值成倍增大, 形成如图9所示细小均匀的组织结构。同时由于锻造的作用使铸件组织具有一定的塑性变形, 因此在抗拉强度显著提高的情况下, 又保有优异的伸长率。

5 结论

(1) 通过系统结构分析采取了合理的铸锻一体铸造工艺方案, 并配合合理的铸造工艺参数, 获得了质量优异的高强韧汽车骨架铸件。

(2) 通过该案例在运行试验实例结果显示, 采用比强度优异的铝合金代替钢铁部件实现轻量化目的可行, 并且为轻量化提供了技术新思路。

Integrated Casting and Forging Technology of High Strength and Toughness Frame Aluminium Castings and Its Application

CHENG Zhi-qiang, ZHANG Yuan-dong, WEI Sheng-cai, LI Qi, FANG Xiao-qin
(Shenzhen Beigong Industrial Co., Ltd., Shenzhen 518111, Guangdong, China)

Abstract:

A frame casting using in new energy car changed design from iron to aluminum for lighter. According to the dimension, construction, weight and technical requirements, exactly suited the new technology of squeeze-forging, base on which, did test for this part. Through the actual trial production and testing, the installation test met the use requirements, and provided a new scheme for the relevant industries to lighten.

Key words:

squeeze-forging; high strength and ductility; aluminum replace iron