

挤压铸造技术在汽车结构件中的应用

黄毅¹ 罗继相^{1,2} 郭称发¹ 杨家洲¹ 杨锐彬¹

(1.广州金邦液态模锻技术有限公司; 2.武汉理工大学物流工程学院)

摘要 介绍了几种典型挤压铸造件在汽车制造中的应用实例。通过对典型零件的研究,证明挤压铸造是提高铸件性能的有效工艺方法之一,可部分替代那些性能要求高而用其他铸造方法性能无法实现,只能用锻造的产品,在汽车制造业用铝合金替代部分铸铁、铸钢生产高品质铸件是可行的。

关键词 挤压铸造;汽车;结构件;应用

中图分类号 TG249.2;TG146.21

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.08.024

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of Squeeze Casting Technology in Automobile Structural Parts

Huang Yi¹, Luo Jixiang^{1,2}, Guo Chengfa¹, Yang Jiazhou¹, Yang Ruibin¹

(1.Guangzhou Kinbang Liquid Die Forging Technology Co., Ltd.;

2.School of Logistic Engineering, Wuhan University of Technology)

Abstract: The application examples of several typical squeeze castings in automobile manufacturing industry were presented. Through the analysis of typical parts, it is proved that squeeze casting is the effective process to improve the properties of castings, which can replace the partial forging to produce those parts with high performance requirements. It is feasible to replace some cast iron and cast steel with aluminum alloy in automobile manufacturing industry and produce high quality castings.

Key Words: Squeeze Casting, Automobile, Structure Parts, Application

挤压铸造使液态金属在高压下成形、凝固或伴有微量塑性变形,可消除铸件内部缩孔、缩松等缺陷,使铸件组织致密,可通过热处理大幅提高铸件力学性能^[1],接近或相当于锻件水平,具有良好的应用前景。

随着新能源汽车的发展和汽车轻量化的要求,挤压

铸造技术在汽车结构件上的应用越来越广泛,如控制臂类、连杆类、发动机支架、轮边支架类等底盘件采用铝合金制造,取代部分锻造生产高性能复杂结构件,替代低压铸造、差压铸造和金属型重力铸造生产可靠性要求高的结构件^[2]。

收稿日期:2020-09-15;修改稿收到日期:2021-03-12

第一作者简介:黄毅,男,1980年出生,工程师,广州(511340),E-mail:1005837408@qq.com

引用格式:黄毅,罗继相,郭称发,等.挤压铸造技术在汽车结构件中的应用[J].特种铸造及有色合金,2021,41(8):1 040-1 043.

HUANG Y, LUO J X, GUO C F, et al. Application of squeeze casting technology in automobile structural parts[J]. Special Casting & Non-ferrous Alloys, 2021, 41(8):1 040-1 043.

3 结 论

(1)生产大型 G10MnMoV6-3 低合金索夹的 C 当量要求≤0.49%,其化学成分为:C 为 0.08%~0.10%,Si 为 0.35%~0.45%,Mn 为 1.40%,Mo 为 0.25%~0.32%,V 为 0.07%,余为 Fe。

(2)大型 G10MnMoV6-3 低合金索制定出加工余量为 15~20 mm,销轴孔和减重孔按机加成形。

(3)索夹热处理方式采用淬火+回火。淬火升温速度为 80~130 ℃/h,温度升至 965±15 ℃后保温 8 h 出炉快速冷却至 300 ℃。回火升温速度为 100 ℃/h,温度升至 650±10 ℃保温 8 h 后,炉内自然冷却。

参 考 文 献

[1] 张军,段汉桥,高建华,等.ZG35CrMnSi 合金钢厚大卷筒离心铸造技术[J].特种铸造及有色合金,1998(2): 19-21.
[2] 张忠诚,张枫霞,王忠民,等.ZGCr29Ni9Mo4N 高强度钢的耐蚀性及力学性能分析[J].特种铸造及有色合金,2014, 34(2): 132-134.
[3] 杨世杰,卢赛尔体育场项目投标策略与重难点浅析[J].工程建设与设计,2018(9): 270-272.
[4] 杨世杰,黄韬睿,沈佳勇,等.G10MnMoV6-3 低合金钢索盖铸造及调质处理质量控制[J].热加工工艺,2020, 49(23): 54-58.
[5] 卜恒勇,李红梅,郭建政,等.合金元素对低合金钢铸造性能的影响[J].特种铸造及有色合金,2014, 34(4): 350-353.
[6] 王宁.中频炉熔炼 G10MnMoV6-3 的可行性研究[J].机械工人(热加工),2007(8): 62-63.

(编辑:刘卫)

1 挤压铸造技术在汽车转向节中的应用

转向节属于底盘安全件,具有连接、承载、转向功能,服役条件复杂。某铝合金挤压铸造转向节原型搭载在 SUV 车型,原生产工艺为球墨铸铁砂型铸造,质量为 4.5 kg。拟采用挤压铸造工艺生产 A356 铝合金转

向节,根据乘用车底盘零部件的 8 种典型工况对初步结构进行强度分析,根据 CAE 分析结果优化结构,最终得到铝合金转向节优化模型和铸件见图 1,质量为 2.19 kg,相对铸铁件减重比例达 56.6%。转向节优化模拟 8 种典型工况 CAE 分析结果见表 1^[3],应力分布均满足要求,小于技术条件要求的屈服强度 230 MPa。

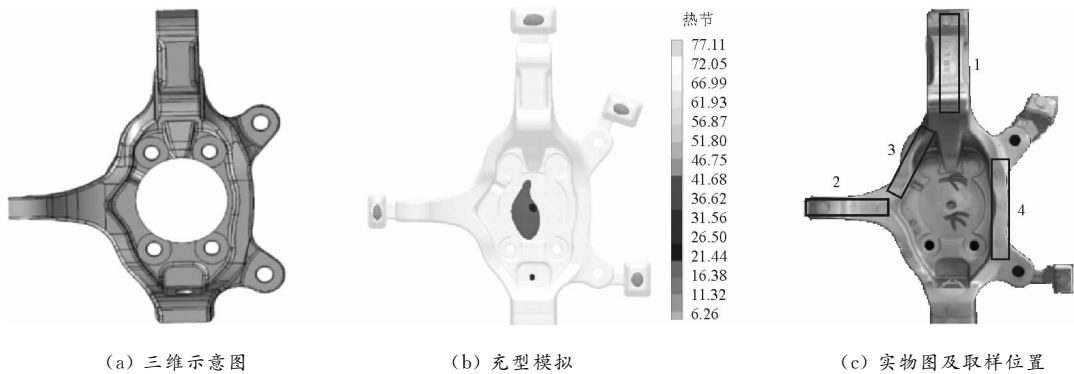


图 1 左转向节设计模型及实物图

Fig.1 Design model and products of left steering knuckle

表 1 铝合金转向节优化模型分析结果

Tab.1 Optimized model analysis of aluminum alloy steering knuckle

steering knuckle									
分析 工况	工况 1	工况 2	工况 3	工况 4	工况 5	工况 6	工况 7	工况 8	目标 要求
最大应 力/MPa	85	163	57	122	84	46	29	139	≤230

采用 HVSC-800PL 卧式挤压铸造机,在模具设计上采用间接挤压工艺。对转向节用挤压工艺进行前期模流分析,发现凝固过程中最后的液相区在零件前轮中心中部偏下,见图 1b,铸件热节也在此处,存在缩孔或缩松的可能性^[4]。为保证充型平稳及凝固能够很好地补缩,中间与轮毂连接的圆孔部位结合水冷加局部挤压进行改善。由于前期设计分析详细,在后期试模过程中,除在模具上加开排气槽和修改挤压销间隙外,整个试制过程顺利。

挤压铸造转向节经 T6 处理,固溶温度为 530 ℃,保温 8 h,在 40 ℃水冷,时效温度为 180 ℃,保温 6 h,从铸件本体取样测试力学性能,取样位置见图 1c,材料拉伸性能检测结果见表 2,从表 2 可知,材料性能满足设计要求。

表 2 铝合金转向节材料力学性能检测结果

Tab.2 Mechanical properties of aluminum alloy steering knuckle

力学性能指标	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%
位置 1	309	246	10.6
位置 2	304	250	10.9
位置 3	307	244	10.6
位置 4	308	251	13.9
要求值	≥303	≥230	≥10

对挤压铸造铝合金转向节样件加工并与对偶件装配后进行台架试验,测试仪器为 SCHENCK 160 KN/100 mm 液压伺服试验设备,试验加载力的大小、方向、加载频率等试验参数均与原铸铁转向节相同。对转向节进行典型工况的静强度及疲劳耐久试验,样件均未出现裂纹、变形等状况,满足要求。

2 挤压铸造技术在汽车气囊支撑臂中的应用

气囊支撑臂是汽车轮边驱动桥的核心支撑零件,见图 2,其与汽车箱体、减震器气囊模块、驱动系统相连,具有承载汽车后部载荷,支撑驱动桥并为减震气囊起缓冲作用,在汽车行驶状态下,承受着多变的冲击减震载荷,其主要失效方式为疲劳破坏。

汽车气囊支撑臂原来主要由球墨铸铁生产,为了实现汽车轻量化,由铸铁件、铸钢件向铝合金锻造件发展,以实现气囊支撑臂产品的轻量化。铝合金气囊支撑臂用于某新能源汽车,材料为 A35.2 合金,力学性能要求:本体取样抗拉强度>300 MPa,屈服强度>210 MPa,伸长率>8%。

该产品在开发初期台架试验中曾发生断裂,后经对产品结构改进,见图 3。①处的产品边界往箭头所指方向左移 5 mm;②处取消过渡圆弧成直线,螺栓安装孔面抬高 5 mm。改进后的零件整体刚度得到加强,受力情况更加合理,产品本体取样力学性能测试结果见表 3,后经多轮台架试验,产品性能完全满足设计要求,产

品台架试验见图 4。



图 2 气囊支撑臂
Fig.2 Airbug briacket

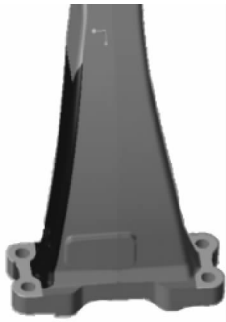


图 3 零件修改部位
Fig.3 Modified position
of the components

表 3 力学性能测试结果

Tab.3 Tested results of mechanical properties			
序号	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%
1	324.7	289.5	11.5
2	315.2	301.6	10.7
3	321.6	302.1	12.1
4	330.5	313.4	11.1
5	322.3	312.7	11.5
6	317.7	295.1	10.8



图 4 台架试验
Fig.4 Bench test

3 挤压铸造技术在汽车控制臂中的应用

图 5 为铝合金控制臂。材质为 A356.2 合金,最大外形尺寸为 320 mm×154 mm,平均壁厚为 12 mm,结构根据拓扑优化,提取骨架,结合装配要求最终设计成带弧形弯曲外形的杆系结构。其在 3 个位置上存在装

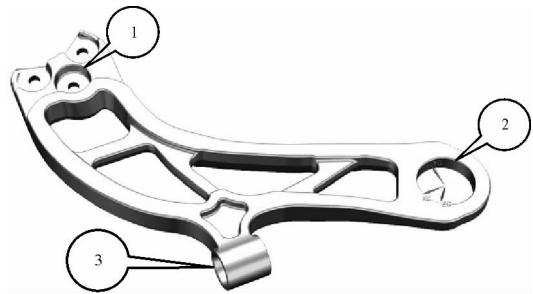


图 5 铝合金控制臂零件
Fig.5 Aluminum alloy control arm

配受力关系,对优化后的结构进行受力分析,见表 4,应力和变形满足设计要求。铝合金铸件整体质量为 2.5 kg,从该铸件结构特征来看,铸件结构简单、壁厚适中,适合于采用挤压铸造成形。图 6 为挤压铸造铸件浇排系统示意图。图 7 为局部挤压结构图^[5]。图 8 为动模水路结构。图 9 为挤压铸造控制臂 X 光探伤图。从图 9 可以看出,挤压铸造控制臂除在大孔处局部有微缩松外,其他部位未发现缩孔、缩松缺陷。

表 4 CAE 模拟分析结果

Tab.4 CAE simulation analysis results							
	工况 1	工况 2	工况 3	工况 4	工况 5	工况 6	工况 7
最大应力/MPa	69	117	101	219	94	37	18
最大位移/mm	0.34	0.52	0.42	0.96	0.43	0.19	0.058

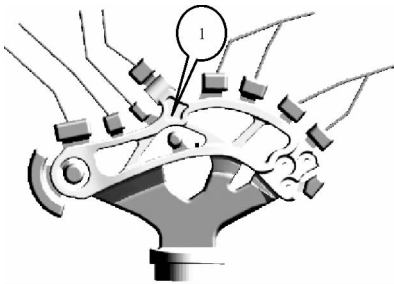


图 6 挤压铸造铸件浇排系统示意图
Fig.6 Schematic diagram
of squeezing casting tree

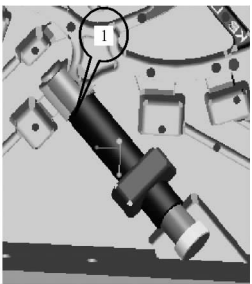


图 7 局部挤压结构
Fig.7 Partial squeezing
structure

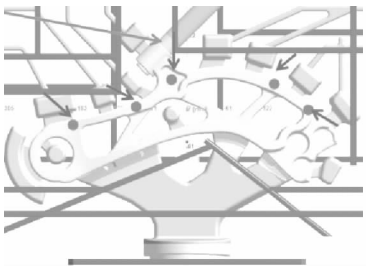


图 8 动模水路结构
Fig. 8 Water channel
structure of the mould

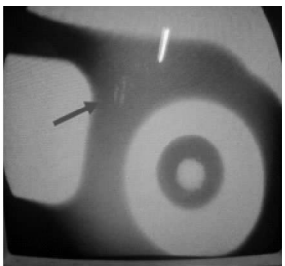


图 9 控制臂铸件 X 光探伤
Fig.9 X-ray detection of
control arm

图 10 是挤压比压为 100 MPa 条件下控制臂铸件的显微组织。可以看出,挤压铸造控制臂的金相组织为 α + 共晶体,在挤压铸造条件下,由于挤压力的存在提

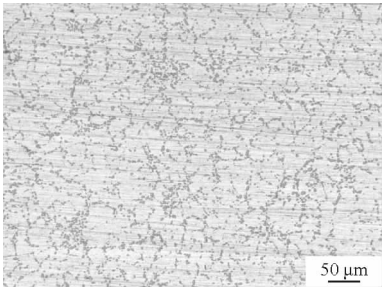


图 10 挤压铸造控制臂的显微组织
Fig.10 Microstructure of squeezing casting control arm

高了铸件的凝固速度,使初生 α 相得到一定的细化^[6]。从控制臂铸件本体取样进行力学性能测试,发现铸件各个位置力学性能相当,抗拉强度均大于 300 MPa,屈服强度大于 230 MPa,伸长率大于 8%。满足设计要求。经 100 万次台架试验,产品的各项性能指标完全满足技术要求,其中刚度指标高于原来铸钢件。

4 在商用汽车发动机悬置支架中的应用

某商用汽车 110 型发动机支架见图 11,生命周期长,性能要求高,台架试验零件需能够承受 250 kN 不破坏。零件平均壁厚为 25 mm,最大壁厚为 55 mm,采用 HVSC 8000 kN 间接挤压铸造机生产。支架材质为 A356.2 铝合金,按设计要求从产品最厚部位取样测得的力学性能见表 5。图 12 为支架厚大截面剖切图,可以看出,铸件没有缩松、针孔、夹渣等铸造缺陷。图 13 是挤压铸件与金属型重力铸件断口对比图。挤压铸件

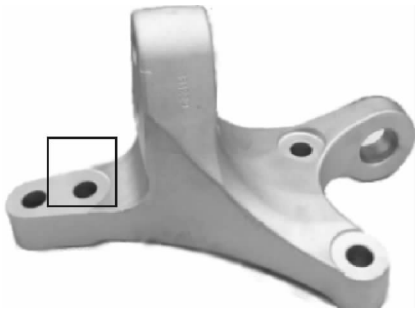


图 11 挤压铸造发动机后悬左支架

Fig.11 Enigne left bracket by squeezing casting

表 5 挤压铸造发动机后悬左支架力学性能

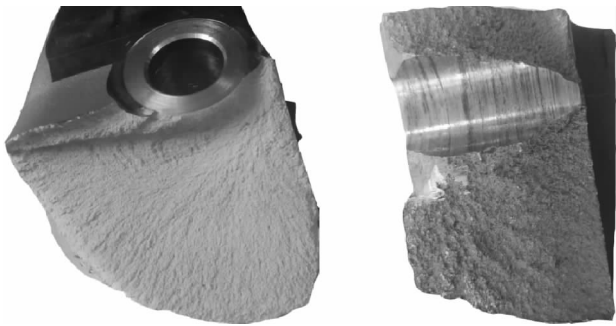
Tab.5 Mechanical proerties of squeezing casting engine left suspesion bracket

非比例抗拉强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	最大力/N	试样直径/mm	断后标距/mm	引伸计标距 Le/mm
276	340	9.5	9 675	6.02	32.85	25
273	341	10.4	10 136	6.15	33.13	25
274	337	9.2	9 472	5.98	32.75	25
277	337	10.1	10 054	6.16	33.02	25



图 12 支架厚大截面剖切图

Fig.12 Profile of thick section of bracket



(a) 挤压铸造 (b) 重力铸造

图 13 两种工艺生产的支架断口比较

Fig.13 Comparison of bracket fracture by two kinds of technologies

的断口晶粒比金属型重力铸造断口晶粒更加细小、致密。

产品经台架 100 万次疲劳台架试验未发现永久变形和裂纹等问题,在破坏性试验中,产品在 365.7 kN 作用下才发生断裂破坏,大于 250 kN 的规定值。

5 结 语

在汽车制造业用铝合金替代部分铸铁、铸钢已成为业界共识。随着新能源汽车的发展和汽车轻量化的需要,挤压铸造技术在汽车结构件上的应用将越来越广泛。

参 考 文 献

[1] 齐丕骧. 挤压铸造[M].北京:国防工业出版社,1984.
[2] 罗继相. 我国挤压铸造技术研究现状及展望[J].大连交通大学学报,2016(5): 30-36.
[3] 任俊成,衡俐琼,王泽忠,等. 挤压铸造铝合金转向节开发[J]. 特种铸造及有色合金,2017,37(7): 735-738.
[4] 林柏年.金属热态成形传输原理[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2000.
[5] 罗继相. 间接挤压铸造模具设计特点及研究[J].特种铸造及有色合金,2002(1): 38-40.
[6] 庞松,朱秀荣,徐永东,等. 压力对挤压铸造 AZ91-Ca 合金组织与力学性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金,2017,37(1):65-67.

(编辑:张正贺)

欢迎使用在线稿件处理系统

投稿、查稿、审稿

敬请登录 www.special-cast.com