

半固态流变压铸铝合金三角臂开发与应用研究

冯伟标¹ 陈 颂² 李 涛¹ 王希诚¹ 梁小康³ 张 帆² 李大全² 彭立明⁴
(1.东风汽车集团有限公司技术中心;2.有研工程技术研究院有限公司;3.爱柯迪股份有限公司;
4.上海交通大学材料科学与工程学院)

摘 要 以底盘关键受力结构件“三角臂”为研究对象,采用铝合金半固态流变压铸成形工艺替代传统钢板焊接工艺实现轻量化,铝合金三角臂本体的静载强度、模态分析及耐久仿真分析均满足性能要求,且静载强度、刚度均显著优于原钢制三角臂。结合高固相半固态流变压铸工艺特点,通过拓扑优化实现了产品半固态“层流充型”的过程控制。金相分析结果显示,半固态 α -Al呈近球状且分布均匀,Si颗粒变质正常;经X射线、荧光探伤检测发现,关键受力位置无气孔、缩孔、缩松缺陷,致密度高。开发出的半固态流变压铸铝合金三角臂质量为2.41 kg,相对原钢制三角臂本体减重39.9%,并通过台架性能试验和整车搭载验证。

关键词 半固态;三角臂;铝合金;轻量化

中图分类号 TG146.21;TG249.2⁺6

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.06.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Development and Application of Aluminum Alloy Control Arm by Semi-solid Rheo-diecasting

Feng Weibiao¹, Chen Song², Li Tao¹, Wang Xicheng¹, Liang Xiaokang³, Zhang Fan²,
Li Daquan², Peng Liming⁴

(1.Technical Center, Dongfeng Motor Corporation; 2.GRIMAT Engineering Institute Co., Ltd.;
3.IKD Co., Ltd.; 4.School of Material Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University)

Abstract: Taking the crucial structural part of chassis, that is control arm, as object, the semi-solid rheological die casting process of aluminum alloy was adopted to realize lightweight instead of traditional steel plate welding process. The static load strength, modal analysis and durability simulation analysis of the control arm body meet the performance requirements, and the static load strength and stiffness are significantly superior to that of original ones. Considering the characteristics of high solid fraction semi-solid rheo-diecasting process, the process control of laminar flow filling was realized by topology optimization. Metallographic analysis demonstrates that semi-solid α -Al is subglobular and evenly distributed, and Si particles are normally modified. X-ray and fluorescent flaw detection results reveal that oxide inclusion, shrinkages and porosities are prevented from critical stress positions, indicating desirable density. The weight of developed aluminum alloy control arm by semi-solid rheological die casting is 2.41 kg, which is reduced by 39.9% than the original ones, and the component passes the bench performance test and vehicle verification test.

Key Words: Semi-solid, Control Arm, Aluminum Alloy, Lightweight

随着汽车轻量化需求日趋迫切,尤其是新能源汽车的应用日益广泛,为了保证更低的能耗、更长的续航里程和更敏捷的操控,对底盘产品性能要求也越来越高,因此开发更高强度的铝合金底盘产品需求更为迫切。试验证明,若汽车整车质量降低10%,燃油效率可提高6%~8%;汽车整备质量每减少100 kg,百公里油耗可

降低0.3~0.6 L^[1]。同时,簧下质量的降低,还能进一步增加车辆的操控能力。在乘用车底盘系统中,如控制臂、转向节、卡钳等都使用铝合金铸件替代铸铁件,可使每台车底盘减重25 kg左右。但目前国产车底盘产品仍主要采用铸铁件,高端车型如奥迪A4、A6、Q5、宝马5系、7系和路虎揽胜等车型已推出了全铝悬架^[2]。

收稿日期:2023-03-08;修改稿收到日期:2023-03-31

基金项目:科技部“十三五”国家重点研发计划资助项目(2013YFB0301000)

第一作者简介:冯伟标,男,1986年出生,工程师,武汉(430058),E-mail:fengwb@dfmc.com.cn

通信作者:陈颂,男,1990年出生,工程师,北京(101407),E-mail:chensong@grinm.com

引用格式:冯伟标,陈颂,李涛,等.半固态流变压铸铝合金三角臂开发与应用研究[J].特种铸造及有色合金,2023,43(6):756-762.

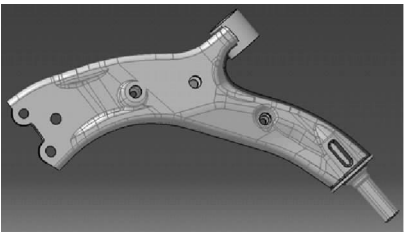
FENG W B, CHEN S, LI T, et al. Development and application of aluminum alloy control arm by semi-solid rheo-diecasting[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(6):756-762.

目前,底盘常用铝合金及其成形工艺主要是中等强度的 Al-Si-Mg 系合金低压(差压)铸造工艺或者变形 6xxx 系铝合金锻造件。近年来也有部分研究者使用挤压铸造工艺来开发高性能轻量化三角臂^[3-4]。与传统液态成形工艺相比,半固态成形具有以下优势:半固态浆料粘度高、充型平稳,可减少卷气,铸件能进行 T6 热处理强化;凝固收缩较小,可实现近净成形;成形温度低,可减少对模具的热冲击,增加模具寿命;生产效率高、与液态压铸成形工艺相当,工作环境好;铸件组织均匀,性能优异^[5-9]。作为近年来发展起来的一种新型近净成形制备工艺,半固态压铸成形件性能可接近于锻件,工艺成本又与压铸相当,尤其符合汽车工业对于综合性能与成本的要求。基于以上优点,国外基于半固态压铸成形工艺开发底盘关键受力承载件控制臂^[10-11],对其产品结构设计、组织、性能开展了系统研究。

本研究以量产乘用车车型底盘用控制臂产品为研究对象,参考已有半固态压铸产品开发案例^[12-14],在钢制件的基础上进行结构拓扑优化,对比分析了不同结构对于本体强度、刚度的关键影响因素。通过全过程数值模拟仿真来预测本体铸件性能及工艺特点,并对铸件本体进行系统的品质分析及缺陷等级评价,最后通过台架试验及整车道路测试验证其性能。结果验证了半固态压铸成形工艺制备高性能、轻量化底盘关键承载件的可行性,旨在为开发更多轻量化结构件提供参考,为车身及底盘轻量化提供优选制造工艺。

1 试验材料

试验采用 319S、A357 和 A356 半固态流变压铸铝合金,其力学性能见表 1。可以看出,319S-T6 具有最高的屈服强度和抗拉强度,但伸长率较低,抗冲击性能较差,不能满足三角臂抗冲击、耐久疲劳性能要求。



(a) 原钢制三角臂



(b) 优化方案 3



(c) 优化方案 4



(d) 优化方案 5

图 1 三角臂拓扑优化方案

Fig.1 Topology optimization scheme of control arm

2.2 动载强度校核

对三角臂实际使用过程中的 7 种典型工况(冲击、单边离地、倒车制动、紧急制动、急加速、前进驻车制动和倒车驻车制动)进行强度校核分析,结果见表 3。可以看出,方案 1~方案 5 的三角臂的最大应力值由 432

A357-T6 和 A356-T6 的伸长率均大于 5% (塑性材料)^[15],满足三角臂抗冲击、耐久疲劳性能要求,为最大限度提高三角臂的轻量化效果,故选用性能更高的 A357-T6 作为半固态三角臂开发用材,其合金成分见表 2。

表 1 半固态铸造铝合金的力学性能

Tab.1 Mechanical properties of semi-solid aluminum alloy			
合金	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%
319S-T6	≥390	≥310	≥4
A357-T6	≥320	≥250	≥7
A356-T6	≥300	≥230	≥9

表 2 A357 合金的化学成分

Tab.2 Chemical composition of A357 alloy								%
w _B								
Si	Mg	Ti	Fe	Mn	Cu	Zn	Sr	Al
6.50~7.50	0.45~0.60	≤0.20	≤0.15	≤0.03	≤0.05	≤0.05	0.01~0.05	余量

2 结构设计与仿真校核

2.1 结构设计及优化

与传统压铸技术相比,半固态压铸技术最大的优点在于浆料在压铸填充的过程中流动平稳,不易发生卷气且凝固补缩小,从而减小孔洞类缺陷。若充型凝固过程控制不当,也可能产生如气孔、充型不良、焊合、缩松、缩孔等缺陷。因此,在半固态压铸件结构设计时,尽量设计均匀壁厚,存在壁厚差的采取平缓过渡,以保证充型过程的稳定性,减小汇流。

基于上述原则,采用拓扑优化技术,对半固态铝合金三角臂进行结构优化(见图 1)。优化后的三角臂本体质量为 2.41 kg,相对原钢制三角臂本体质量减少 1.60 kg,减重比例为 39.9%。

MPa 下降至 166.8 MPa,说明拓扑优化对降低零件最大应力值,提高零件安全系数有显著的改善效果。模拟结果显示,三角臂最大应力值出现在紧急制动工况(后铰接处)。方案 3 设计的弧面外轮廓较窄,紧急制动工况下最大应力超过了材料屈服强度,在此基础上增加了弧

面轮廓的投影面积,并将四周加强筋壁厚增加以提升整体的强度刚度;方案 5 在方案 4 基础上在前铰接区域通过增加加强筋的方式进一步提升整体的强度及刚度水平;方案 1~3 中紧急制动工况应力值均大于 A357-T6 的屈服强度(250 MPa),方案 4 和方案 5 的 7 种典型工

况最大应力值均低于材料的屈服强度,但考虑到方案 4 安全系数只有 1.03,小于工程设计一般要求的 1.1,而方案 5 的安全系数为 1.50,高于原钢制三角臂的安全系数(1.22),满足设计要求。图 2 为方案 5 的应力校核结果。

表 3 三角臂拓扑优化方案强度校核结果

方案	典型工况最大应力 /MPa							判断标准/ MPa	评级 结果
	垂直冲击	弯道单边离地	倒车制动	紧急制动	急加速	前进驻车制动	倒车驻车制动		
1	44.5	149	166	432	149	231	14.5	<250	不合格
2	59.9	123	142	372	259	25.8	14.1		不合格
3	47.1	131	126	292	196	23.1	13.7		不合格
4	43.1	113.1	116.8	243.9	147.5	19.7	12.4		合格
5	29.0	68.2	78.9	166.8	113.7	13.6	8.2	<440	合格
钢	153	277	249	362	224	83	38		—

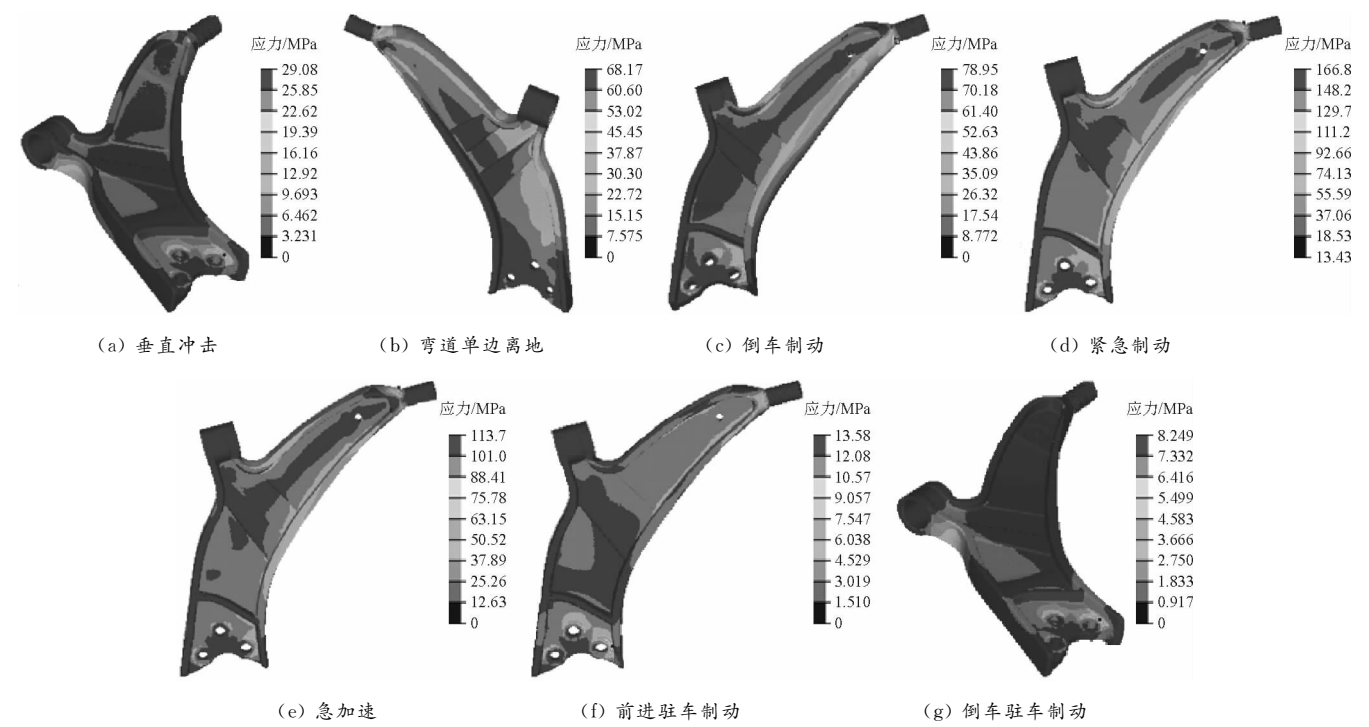


图 2 三角臂典型工况应力校核结果(方案 5)

Fig.2 Stress analysis results of control arm under typical conditions of scheme 5

2.3 静载强度校核

进一步对方案 4、方案 5 校核三角臂纵向静载破坏力——前后铰接固定,球销中心点加载力为 33 kN,方向为 X 轴向后,加载示意图见图 3。图 4 为三角臂纵向静载破坏力校核结果。可以看出,最大应力值出现在前铰接内侧,低于 A357-T6 的抗拉强度(310 MPa)。方案 5 相比于方案 4 在极限工况下,超过 260 MPa 的应力集中区域显著降低,最大变形量从 4.5 mm 降至 3.57 mm;在极限工况下,刚度提升有利于防止因变形量较大导致零件塑性变形安装位置移位导致失效。最终确定方案 5 为最优方案,且静载强度满足设计要求。



图 3 三角臂纵向静载工况加载示意图

Fig 3 Loading diagram of control arm under longitudinal static conditions

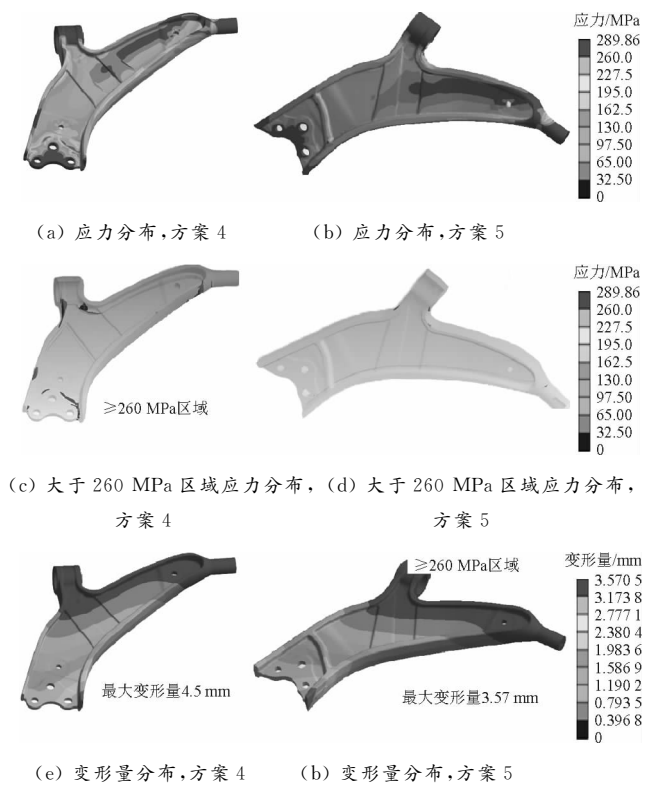


图 4 三角臂纵向静载工况校核结果

Fig.4 FEA results of control arm under longitudinal static condition

2.4 疲劳强度校核

对方案 5 的三角臂进行了耐久性能分析。结果表明,三角臂最大损伤值出现靠近前铰接处的加强筋过渡圆角表面,疲劳损伤值为0.066,远小于设计要求值1,

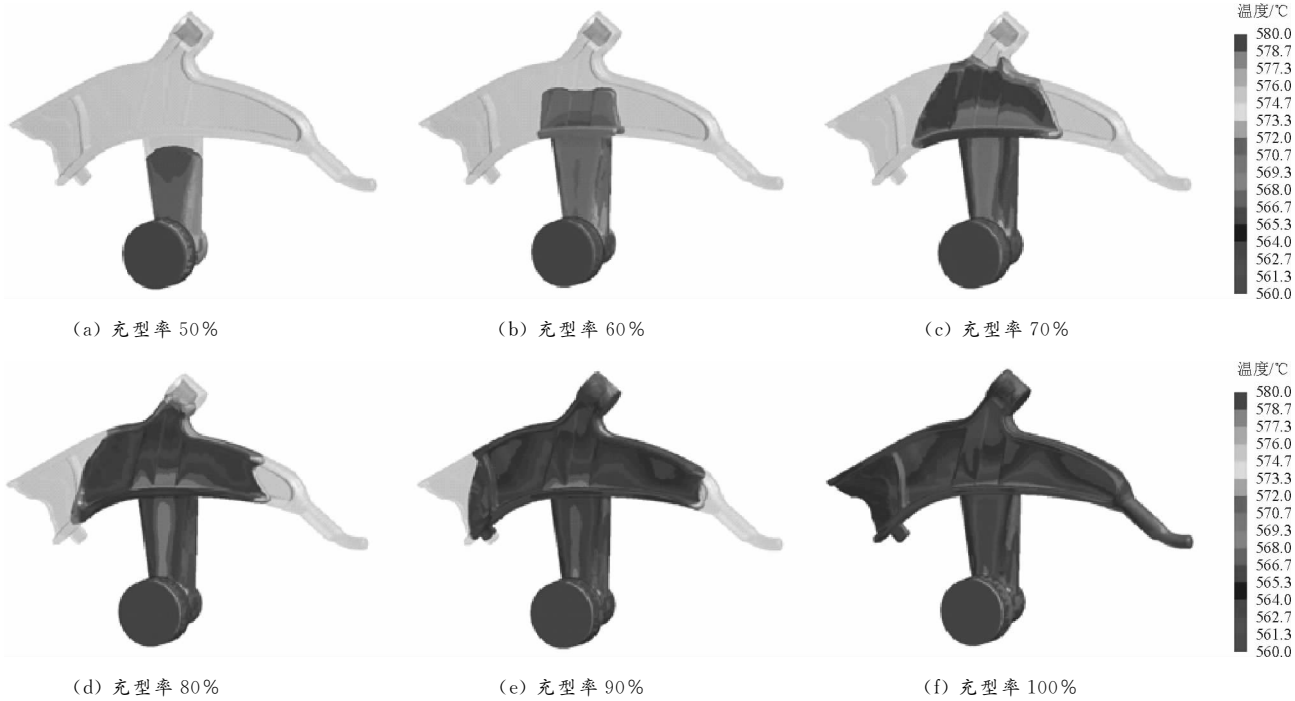


图 5 方案 5 三角臂充型仿真分析结果

Fig.5 Filling simulation result of control arm in scheme 5

因此方案 5 中三角臂满足寿命要求。

综上所述,方案 5 中三角臂的动强度、静强度及疲劳寿命校核结果均匀满足零件设计要求,故方案 5 为最终设计方案。

3 成形工艺分析与优化

由于半固态金属充型温度较低,在充型过程中,两股金属液汇流处易出现氧化或冷隔缺陷,在设计浇注系统时,应重点考虑。浇注系统的设计应遵循以下原则:①在料柄设置台阶,去除氧化夹渣;②尺寸优化浇道,扩展补缩通道;③拐弯处设缓冲区,改善平面充型;④浇口居中设置,减小充型距离;⑤增大浇口截面,保证层流充型;⑥加大浇口圆角,降低卷气风险;⑦在充型汇流处或充型最远端合理设置排溢系统,促进排渣排气。

基于上述原则,使用 ProCAST 软件对三角臂成形工艺进行仿真分析,工艺参数见表 4。

表 4 铸造工艺参数

Tab.4 Process parameter of casting					
冲头直径/mm	充型速度/ (m · s ⁻¹)	浆料初始 温度/℃	模具温 度/℃	模具 材质	铸件 材质
φ100	0.4	582~588	230~250	H13	A357

3.1 充型过程模拟

图 5 为三角臂充型仿真分析结果。可以看出,在零件的中心位置设置浇口,有利于实现半固态压铸平稳充型,缩短了充型过程中金属浆料流动距离,可有效降低冷隔风险;充型前沿的半固态金属熔体保持了“层流”流

动,避免了湍流,有效降低了卷气和夹杂风险;最后充型的位置均会设计集渣包,进一步降低铸件内部出现铸造缺陷的风险。

3.2 凝固过程模拟

三角臂凝固仿真分析结果见图 6。可以看出,后铰

接处有明显的热节,存在缩松风险,其余部位基本实现了顺序凝固,缩松风险较低。通过模具热平衡,添加点冷,可降低后铰接处热节位置潜在缩孔、缩松缺陷风险,考虑到该部位后续需加工螺纹孔,评估认为该部位的缩孔、缩松缺陷对零件使用性能影响较小。

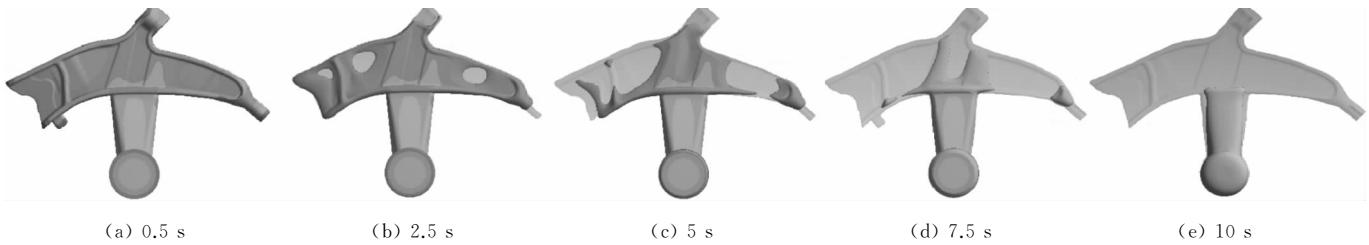


图 6 三角臂凝固过程分析结果

Fig.6 Analysis results of solidification sequence of control arm

4 性能验证与结果分析

在 540 ℃×4 h+170 ℃×7 h 热处理后,对三角臂本体分别进行金相(ZEISS Axio Observer 3)、X 射线(日联 UNT-160kv)、力学性能等测试表征,并通过台架测试来评价三角臂本体性能能否满足设计使用要求。首先,对不同区域取样,以三角臂充型内浇口为起点,分别从内浇口处、内浇口前端、内浇口两侧及充型最远端分别取 5 片拉伸试样,取样示意图见图 7。图 8 为三角

臂本体不同部位的力学性能。可以看出,不同区域试样的抗拉强度为 340~350 MPa,屈服强度为 275~337 MPa,伸长率为 7.7%~12.5%,均满足 A357-T6 性能指标要求。不同取样部位的抗拉强度、硬度相当,无明显差异,试样 4 和试样 5 屈服强度较试样 1~3 略低,试样 5 的伸长率最优,其余部位伸长率相当。测试结果表明,半固态铝合金三角臂本体材料性能均匀性好,内浇口的设置对材料性能影响小。

图 9 为三角臂本体取样金相组织图。可以看出,α-Al 呈球状均匀分布,Si 相变质正常,符合半固态组织要求,α 晶粒平均尺寸约为 109.8 μm。

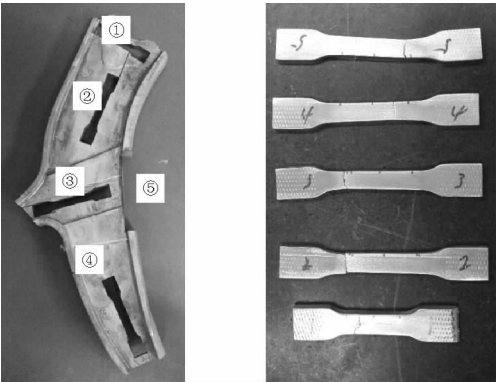


图 7 三角臂本体拉伸试样取样示意图

Fig.7 Sampling diagram of tensile specimens of control arm body

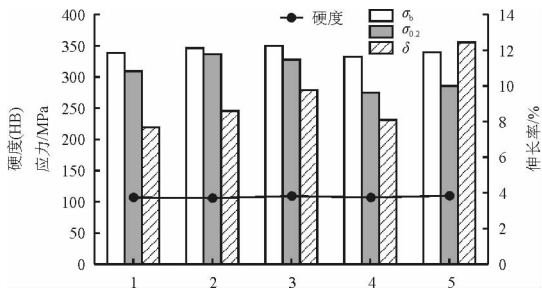


图 8 三角臂本体不同部位取样力学性能

Fig.8 Mechanical properties of control arm body at different sampling positions

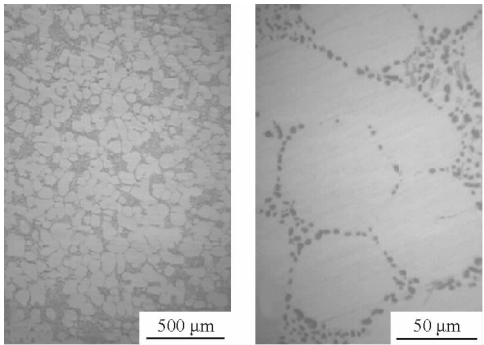


图 9 三角臂本体取样部位金相组织分析

Fig.9 Metallographic structure analysis of sampling position

采用 X 射线无损探伤设备对三角臂不同部位进行探伤检查,结果见图 10。结果表明,位置①有可见缩孔,其他位置无可见气孔、裂纹等缺陷,与前期凝固 CAE 仿真分析结果相符。对零件表面进行荧光渗透探伤,前铰接、后铰接及球铰接 3 处安装点无外观裂纹缺陷,对前铰接和后铰接进行切片探伤,前铰接处未发现缺陷,后铰接心部存在不同程度的缩松缺陷,机加工后基本消除,不影响零件使用功能。

三角臂按表 5 规定试验条件进行 X 向极限力与变

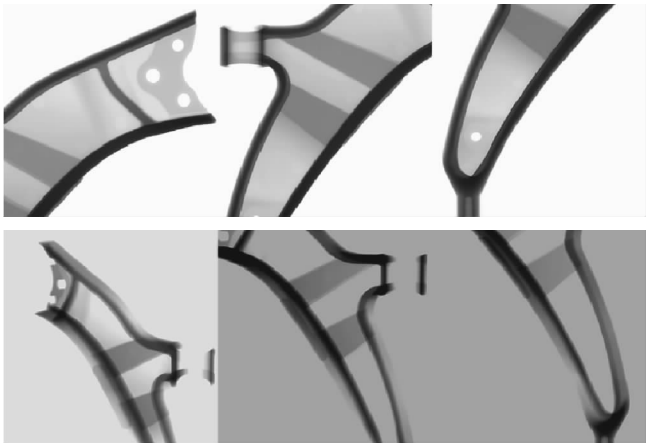


图 10 三角臂 X 射线无损探伤结果

Fig.10 X-ray non-destructive detection results of control arm

表 5 三角臂台架试验结果

Tab.5 Bench test results of control arm

方案	试验项目		样件编号				结论	备注
			1	2	3	4		
铝合金三角臂	极限力及变形试验-纵(X)向力 ≥ 33 kN	加载力/kN	44	44	—	—	通过	接近设备量程上限, 样件未开裂
		变形量/mm	22.51	23.4	—	—	通过	
	极限力及变形试验-侧(Y)向力 ≥ 30 kN	加载力/kN	44	44	—	—	通过	接近设备量程上限, 样件未开裂
		变形量/mm	4.91	5.07	—	—	通过	
	疲劳耐久	100 万次	100	100	100	—	通过	
原钢制三角臂	极限力及变形试验-纵(X)向力 ≥ 33 kN	加载力/kN	35.8	36.5	36.8	38.2	通过	样件开裂
		变形量/mm	23	25.3	19.6	26	通过	
	极限力及变形试验-侧(Y)向力 ≥ 30 kN	加载力/kN	33.1	33.5	34.2	36.5	通过	样件开裂
		变形量/mm	12.4	15.2	11.5	7.9	通过	
	疲劳耐久	100 万次	100	100	100	—	通过	

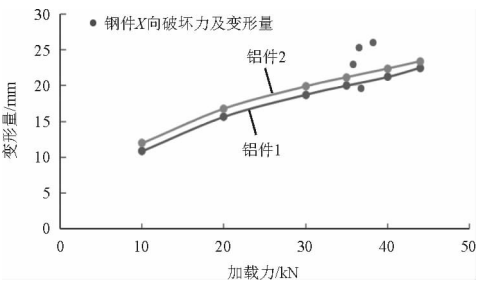


图 11 三角臂纵向(X)极限力及变形量

Fig.11 Ultimate force and deformation of control arm along longitudinal(X) section

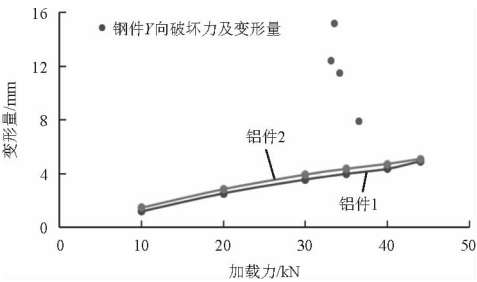


图 12 三角臂侧向(Y)极限力及变形量

Fig.12 Ultimate force and deformation of control arm along lateral(Y) section

形、Y 向极限力与变形、疲劳等 3 种工况的台架试验。结果显示,采用半固态流变压铸工艺生产铝合金三角臂极限力及变形试验-纵(X)向力、极限力及变形试验-侧(Y)向力及疲劳耐久均满足零件性能要求。对比分析半固态铝合金三角臂和原钢制三角臂极限力与变形量,发现半固态铝合金三角臂纵向/侧向加载至 44 kN 时,试样未发生断裂破坏,较原钢制三角臂的静载极限应力(33~38 kN)有显著提升;图 11 和图 12 分别为三角臂纵向(X)和侧向(Y)的极限应力及变形量。可以看出,在同等载荷条件下,半固态铝合金三角臂纵向变形量为 22.51 mm、23.4 mm,整体略低于原钢制三角臂(见图 11),侧向变形量为 4.91 mm、5.07 mm,远低于原钢制三角臂(见图12),最大变形量降幅达70%,表明半固态

铝合金三角臂静载强度、刚度均优于原钢制三角臂。最终,经过拓扑优化设计、有限元结构数值模拟仿真校核、半固态压铸成形工艺浇注系统优化、热处理工艺优化等,成功制备出高性能轻量化铝合金三角臂产品,通过台架测试考核。并最终通过整车道路搭载试验,搭载某 SUV 车型完成了 3 万 km 典型工况耐久路试验证,试样无功能失效和开裂,表明采用半固态压铸成形工艺开发制备铝合金三角臂满足整车功能需求,同时验证了半固态铝合金压铸成形工艺用于制备汽车底盘承载类结构件的可行性。但产品结构及减重效果仍有提升空间,后期开发类似底盘类零件时,考虑半固态压铸成形工艺、铝合金材料强度刚度特性及缺陷控制,可在产品设计前端进一步降低缺陷产生风险,提高零件的量产稳定性。

5 结 论

(1)考虑到轻量化减重需求及半固态压铸工艺特点,通过拓扑优化对 A357 半固态流变压铸铝合金三角臂进行结构优化设计,并通过数值模拟对其进行结构强度、刚度及耐久性能模拟评价。均优于传统钢板拼焊

件,本体质量为 2.41 kg,相对原钢制三角臂减重 39.9%。

(2)半固态流变压铸三角臂进行浇注系统优化设计,经过工艺数值模拟、样件试制、热处理工艺优化等环节,提升产品力学性能。经 $540\text{ }^{\circ}\text{C}\times 4\text{ h}+170\text{ }^{\circ}\text{C}\times 7\text{ h}$ 热处理后,组织无过烧;不同取样部位测试结果表明,半固态铝合金三角臂本体材料性能均匀性好,半固态铝合金三角臂本体抗拉强度为 $340\sim 350\text{ MPa}$,屈服强度为 $275\sim 337\text{ MPa}$,伸长率为 $7.7\%\sim 12.5\%$,均满足 A357-T6 性能要求。组织为典型半固态近球状组织,均匀细小,Si 颗粒变质良好,内部品质均匀稳定,X 射线探伤无明显孔隙缺陷。

(3)对 A357 铝合金三角臂进行静载、耐久台架试验结果显示,采用半固态流变压铸工艺生产铝合金三角臂,通过极限力及变形试验-纵(X)向力、极限应力及变形试验-侧(Y)向力及疲劳耐久试验,满足零件设计性能验收要求;三角臂 X/Y 向极限力与变形量台试验结果表明,半固态铝合金三角臂静载强度、刚度均显著优于原钢制三角臂,与模拟仿真结果相吻合。

参 考 文 献

- [1] 彭晓东,李玉兰,刘江.轻合金在汽车上的应用[J].机械工程材料,1999(2): 3-6, 25.
- [2] 史东杰,刘伟波,王连波,等.乘用车悬架系统铝合金应用现状[J].轻合金加工技术,2015,43(6): 5-8.
- [3] 李宇飞,余振龙,石飞,等.挤压铸造工艺对汽车控制臂铸件组织及性能的影响[J].特种铸造及有色合金,2018,38(8): 864-866.
- [4] 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.
- [5] 罗守靖,田文彤,李金平.21 世纪最具发展前景的近净成形技术——半固态加工[J].特种铸造及有色合金,2001(S1): 175-180.
- [6] WU S S, WU X P, XIAO Z H. A model of growth morphology for semi-solid metals[J]. Acta Materialia, 2004, 52(12): 3 519-3 524.
- [7] 康永林,毛卫民,胡壮瞧.金属材料半固态加工理论与技术[M].北京:科学出版社,2004.
- [8] 毛卫民.半固态金属流变铸造技术的研究进展[J].特种铸造及有色合金,2010,30(1): 24-35,123.
- [9] 屈文英.半固态浆料微观组织演变及多相流动机理数值模拟研究[D].北京:北京有色金属研究总院,2019.
- [10] SEO P K, KIM D U, KANG C G. The characteristics of grain size controlled microstructure and mechanical properties of Al-Si alloy by thixocasting and rheocasting process[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2005, 162: 570-578.
- [11] NAFISI S, GHOMASHCHI R. Semi-solid Processing of Aluminum Alloys[M]. Switzerland: Springer International Publishing, 2016.
- [12] 任俊成,陈颂,李涛,等.半固态流变压铸铝合金主轴承盖[J].特种铸造及有色合金,2022,42(7): 917-920.
- [13] CHEN S, LI D Q, ZHANG F, et al. Structure optimization of semi-solid die cast steering knuckle and its experiment verification[J].Solid State Phenomena, 2022, 327: 149-155.
- [14] CHEN S, LI D Q, ZHANG F, et al. Die design for main bearing cap of engine block based semi-solid die casting process and the comparison analysis with squeeze casting process[J]. Solid State Phenomena, 2019, 285: 429-435.
- [15] 黎明发,张开银,黄莉.材料力学[M].北京:科学出版社,2007.

(编辑:彭瑾)

《特种铸造及有色合金》征订启事

《特种铸造及有色合金》杂志是中国科学技术协会主管、中国机械工程学会铸造分会和武汉机械工艺研究所共同主办的全国性科技期刊,是对国内外公开发行的中文核心期刊,中国科技论文统计与分析用刊,SA、CA、MA、AJ、Scopus 等国内外权威数据库及检索系统收录期刊,并获得全国优秀科技期刊一等奖、国家期刊奖、新中国 60 年有影响力的期刊、湖北省十大有影响力的自然学术期刊等。

本刊主要报道各种(黑色和有色合金)特种铸造方法、各种有色合金及复合材料成形的理论、工艺、设备、材料、测试与控制、计算机应用等方面的科技成果、生产技术和现场经验,并报道各相关学科和交叉学科,如挤压铸造(液态模锻)、半固态加工、电子封装、高熵合金、非晶合金(金属玻璃)、焊接、粉末冶金、合金化、热处理、表面处理等方面的学术研究和科技信息以及上述内容的国内外发展动向、行业活动、学术会议、消息动态等。

本刊诚征国内外广告,业务范围:铸造及有色合金材料、辅助材料、铸造及相关设备、铸造生产线、测控与控制设备、仪器仪表、计算机应用软件、铸造展会等。

本刊为月刊,标准(大)16 开,邮发代号 38-109。邮发订价每期 20 元,全年 240 元,如须快递,费用另计。全国各地邮局均可订阅,也可直接向本刊编辑部邮购,本刊还提供过刊、压铸宝典和年会专刊邮购服务。

特种铸造及有色合金杂志社(武汉)有限公司



地址:武汉市江岸区九万方路 26 号

邮编:430019

电话:027-85358206,85486024

传真:027-85358127

投稿网址:www.special-cast.com

邮箱:tzzz@special-cast.com

