

振动压力下高强度 ZL205A 铝合金壳体铸件的制备与性能分析

王蕴弢

(南京科技职业学院, 江苏南京 210048)

摘要: 为提升ZL205A铝合金壳体铸件的致密度和力学性能, 确定最佳工艺参数以降低其缩松缺陷, 提出振动压力下高强度ZL205A铝合金壳体铸件的制备并分析性能。采用熔炼-浇注-振动压力凝固一体化工艺制备铸件, 设计包含压力梯度和振动频率梯度的共28组参数组合。分别对每组铸件密度、硬度、力学性能以及缩松面积分数展开测试。结果显示, 在同一振动频率下, 铸件密度、布氏硬度、抗拉强度、屈服强度及断面收缩率均随压力增加而上升, 缩松面积分数则持续降低; 同一压力下, 在0~50 Hz区间性能逐步提升, 50 Hz后随频率继续升高性能有所回落。当压力为0.6 MPa、振动频率为50 Hz时, 铸件密度和硬度保持最佳状态, 抗拉强度可达490 MPa以上, 屈服强度也保持较高水平, 同时缩松面积分数保持在4.5%以下。

关键词: 振动压力; ZL205A铝合金; 壳体铸件; 力学性能; 断面收缩率; 缩松面积分数

中图分类号: TG146.21; TG157 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4977 (2026) 02-0195-07

DOI: 10.27014/j.cnki.zhuzao.2026.0028

作者简介:

王蕴弢(1978-), 女, 副教授, 主要研究方向为机械工程。电话: 13813818706, E-mail: 493689072@qq.com

基金项目:

江苏省高等学校基础科学(自然科学)研究项目: 无人机与无人车空地协同任务规划与控制方法研究(22KJD520003)。

收稿日期:

2025-10-20 收到初稿,
2025-12-04 收到修订稿。

引用格式:

王蕴弢. 振动压力下高强度 ZL205A 铝合金壳体铸件的制备与性能分析 [J]. 铸造, 2026, 75(2): 195-201.

WANG Yuntao. Preparation and performance analysis of high-strength ZL205A aluminum alloy shell castings under vibration pressure [J]. Foundry, 2026, 75(2): 195-201.

ZL205A铝合金作为一种高强度铝铜系铸造合金, 凭借其优异的室温力学性能、良好的耐热性及铸造工艺适应性^[1-2], 在航空航天和高端装备制造等领域的壳体类承力构件中应用广泛。此类壳体构件常需长期承受振动压力复合载荷, 对铸件的致密度、力学性能均匀性及抗缺陷能力提出了严苛要求^[3]。若铸件存在缩松等凝固缺陷, 易在振动载荷下产生应力集中, 进而导致构件早期失效^[4-5], 因此优化ZL205A铝合金壳体铸件的制备工艺、提升其在振动压力工况下的综合性能, 已成为当前铸造领域的研究重点之一^[6]。

当前领域有一些较为先进的研究成果。杨启欣等^[6]采用金属型铸造工艺制备了ZL205A铝合金铸件, 通过控制浇注温度、模具预热温度等参数, 结合X射线衍射与金相分析表征铸件的组织物相, 并通过工艺优化降低铸件表面缺陷率。但其研究未涉及振动压力这类动态载荷对铸件组织与性能的影响, 金属型铸造的静态凝固模式难以应对振动环境下对铸件致密度与抗疲劳性能的特殊要求。张颖等^[7]采用脉冲磁场时效处理工艺, 以不同磁场强度、时效时间处理ZL205A铝合金试样, 提升合金硬度与抗拉强度。但该方法仅仅针对铸件后续时效环节进行调控, 未从铸造凝固源头改善缩松等固有缺陷, 且脉冲磁场对复杂壳体铸件的均匀处理效果有限。杜旭初等^[8]针对大型ZL205A铝合金舱体铸件的成形难题, 采用ProCAST软件模拟充型与凝固过程, 设计阶梯式浇注与发热冒口系统, 结合砂型-金属型复合铸造工艺实现大型铸件的完整成形, 有效减少了大型构件的宏观缩孔。但其研究聚焦于铸件尺寸与成形完整性, 未深入探究振动压力载荷对铸件微观组织及力学性能的耦合影响, 难以直接指导承受动态载荷的中小型壳体铸件制备。慕育仕等^[9]通过在挤压铸造ZL205A合金中添加不同含量的Sc与Zr元素, 利用光学显微镜与拉伸试验机分析微合金化对合金晶粒细化效果及力学性能的影响, 发现Sc与Zr可协同抑制晶粒长大、提升合金屈服强度。但该方法依赖合金元素添加实现性能调控, 未结合振动、压力的协同作用, 且挤压铸造对复杂型腔壳体铸件的成形适应性较差, 难以兼顾构件结构复杂度与性能稳定性。

鉴于现有研究在振动压力工况适配性和多物理场协同调控方面的不足,本研究以提升ZL205A铝合金壳体铸件在振动压力下的综合性能为目标,通过设计不同压力梯度与振动频率梯度,探究振动压力参数对铸件性能的影响,明确振动与压力的协同作用机制,以此确定最优制备工艺参数。

1 试验材料

试验用ZL205A铝合金选用西南铝业(集团)有限责任公司生产的铸锭,该合金以铝为基体,通过铜、钛和锆等元素合金化,具有高强度、优异的耐热性及铸造工艺性能,适用于承受振动压力的壳体类构件^[10-11]。该合金的化学成分如表1所示。

表1 ZL205A合金的化学成分
Tab. 1 Chemical composition of ZL205A alloy

主要元素								杂质元素			
Cu	Mn	Ti	Cd	V	Zr	B	Al	Fe	Si	Mg	其他元素
4.600~5.300	0.300~0.500	0.150~0.350	0.150~0.250	0.050~0.300	0.050~0.200	0.005~0.060	余量	≤0.150	≤0.060	≤0.050	≤0.300

采用的铸型为HT300灰铸铁金属型,预热温度 $200\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$,型腔尺寸与目标壳体铸件一致,长宽高为 $150\text{ mm} \times 80\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 。

2 铸件制备

在铝合金铸件凝固过程中施加振动压力,可通过机械扰动破碎初生枝晶、促进补缩,减少气孔、缩松等缺陷,是提升铸件致密度与力学性能的关键技术。通过设计不同压力与振动频率参数,探究其对ZL205A铝合金壳体铸件性能的影响。

在设计振动压力制备参数时,压力选取0.3 MPa、0.4 MPa、0.5 MPa、0.6 MPa四个梯度;振动频率设置为0(无振动,对照组)、25 Hz、50 Hz、75 Hz、100 Hz、125 Hz、150 Hz七个水平。为保证振动效果与频率匹配,由于低频时需较大振幅保证扰动效果,高频时需减小振幅以避免过度冲击,因此振幅随频率升高呈梯度减小,其他参数保持一致,具体参数组合如表2所示。

试验采用熔炼-浇注-振动压力凝固一体化工艺制备

表2 振动压力制备参数组合
Tab. 2 Vibration and pressure preparation parameter combinations

压力 /MPa	振动 频率/Hz	振幅 /mm	振动 时间/s	保压 时间/min	浇注 温度/ $^{\circ}\text{C}$
0.3~0.6	0	0	30	5	710 ± 5
0.3~0.6	25	1.5	30	5	710 ± 5
0.3~0.6	50	1	30	5	710 ± 5
0.3~0.6	75	0.8	30	5	710 ± 5
0.3~0.6	100	0.6	30	5	710 ± 5
0.3~0.6	125	0.5	30	5	710 ± 5
0.3~0.6	150	0.4	30	5	710 ± 5

ZL205A铝合金壳体铸件,仅振动压力参数按表2进行调整,其余步骤保持一致。熔炼设备采用洛阳万基铝加工有限公司生产的GW-80型中频感应熔炼炉,额定功率80 kW,控温精度 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,可实现合金快速升温与均匀化。振动装置选用苏州苏试试验仪器股份有限公司生产的SVD-100型电磁振动台,支持垂直方向稳态强迫振动,激振力范围0~100 kN,频率调节精度 $\pm 0.1\text{ Hz}$,满足试验参数要求。成形模具采用HT300灰铸铁金属型,预热温度 $200\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$,型腔尺寸与目标壳体铸件一致。具体制备过程如下。

(1) 合金熔炼:将ZL205A铸锭切割成5 kg块状,加入熔炼炉,升温至 $730\text{ }^{\circ}\text{C}$ 使其完全熔化;通入纯度99.99%的氩气,流量0.6 L/min,进行除气处理15 min,随后加入含量0.2%Al-Ti-B中间合金细化晶粒,搅拌5 min后静置3 min。

(2) 浇注成形:控制熔融合金温度在 $710\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$,沿浇道缓慢注入预热后的铸铁模具,浇注时间控制在8~10 s。

(3) 振动压力施加:浇注完成后立即将模具固定于振动台,按表2设定的压力、频率及振幅参数启动振动,持续30 s后保持压力至合金完全凝固^[13-14]。

(4) 后处理:待模具内铸件凝固,便拆除模具,让铸件在空气中自然冷却到室温。接着去除浇冒口,再用砂轮机对表面毛刺进行打磨处理,最终获得尺寸为 $150\text{ mm} \times 80\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 的壳体铸件试样,以供后续性能测试。

3 测试方法

3.1 密度测试

依据国标GB/T 5163—2006,用阿基米德排水法测合金密度。试验采用上海精密科学仪器有限公司生产

的JA203M型电子密度计。从壳体铸件中部切取10 mm × 10 mm × 10 mm立方体试样，经砂纸打磨、无水乙醇清洗吹干后，在空气中称量试样的质量 m_1 。将试样完全浸入去离子水中，称量其在水中的表现质量 m_2 。根据阿基米德原理，试样密度 $m_2\rho$ 按式(1)计算：

$$\rho = \frac{m_1\rho_s}{m_1 - m_2} \quad (1)$$

式中， ρ_s 为水的密度，取1 g/cm³。每个试样重复测量3次，取平均值作为结果。

3.2 洛氏硬度测试

采用莱州华银试验仪器有限公司生产的HB-3000B型硬度计进行洛氏硬度测试。试样厚度不小于10 mm，经磨削达到规定表面粗糙度后，使用1.588 mm硬质合金球压头，在980 N载荷下保压10 s，读取压痕直径并计算硬度值。每个试样测试5个区域，去除极值后取平均值。

3.3 拉伸性能测试

使用深圳三思纵横科技股份有限公司UTM5105型电子万能试验机进行拉伸试验。试样为标准圆棒试样，标距段直径5 mm，标距长度25 mm，以2 mm/min的速率拉伸，记录载荷-位移曲线。根据曲线和试样尺寸计算抗拉强度、屈服强度和断面收缩率。每个参数组合测试3个平行试样，取平均值。

3.4 缩松情况测试

采用金相法统计缩松面积分数。从铸件热节部位切取试样，经打磨、抛光后，用0.5% HF溶液腐蚀。使用蔡司Axio Observer Alm金相显微镜观察，选取5个代表性视场，通过AxioVision图像分析软件计算缩松面积占视场面积的比例，取平均值作为缩松面积分数。

4 结果分析

4.1 密度分析

分别分析不同振动压力参数下，每种ZL205A铸件的密度，以此分析振动压力对铸件的影响，分析结果如表3所示。

通过表3可知，同一振动频率下，铸件密度随压力增大呈递增趋势，以0组为例，压力从0.3 MPa提升至0.6 MPa时，密度从2.760 g·cm⁻³增至2.790 g·cm⁻³；25 Hz组中，相同压力跨度下密度从2.775 g·cm⁻³升至2.805 g·cm⁻³。这一现象源于压力的补缩作用，压力增大可压缩合金凝固过程中因收缩而形成的孔洞，挤压晶间残余液相填充孔隙，减少缩松、气孔等缺陷，进

表3 铸件密度分析
Tab. 3 Density analysis of castings g·cm⁻³

振动频率/Hz	压力0.3 MPa	压力0.4 MPa	压力0.5 MPa	压力0.6 MPa
0	2.760	2.770	2.780	2.790
25	2.775	2.785	2.795	2.805
50	2.790	2.805	2.815	2.820
75	2.780	2.795	2.805	2.810
100	2.770	2.785	2.795	2.800
125	2.765	2.775	2.785	2.790
150	2.755	2.765	2.775	2.780

而提升致密度。

同一压力下，密度随振动频率的变化则呈现先升后降特征，以0.6 MPa压力组为例，其微观组织如图1所示。

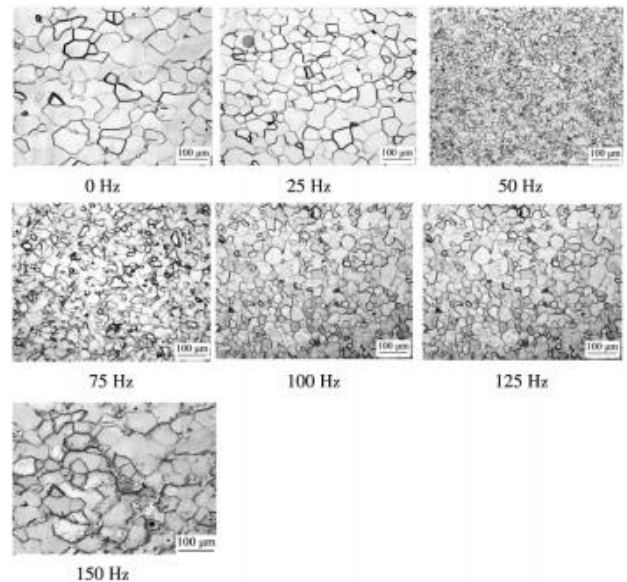


图1 不同振动频率下铸件微观组织

Fig. 1 Microstructures of castings under different vibration frequencies

分析表3和图1，频率从0增至50 Hz时，密度从2.790 g·cm⁻³升至2.820 g·cm⁻³，达到所有参数组合中的最大值；频率继续升高至150 Hz时，密度回落至2.780 g·cm⁻³，与0组接近。这是因为≤50 Hz的低频振动可通过机械扰动破碎初生枝晶，降低液相流动阻力，促进溶质均匀分布与气泡逸出；而>50 Hz的高频振动易导致熔体产生湍流，反而卷入空气形成微小气泡，同时过度振动可能破坏凝固界面稳定性，削弱补缩效果，导致密度下降。

4.2 硬度分析

依次分析不同振动压力参数下每组铸件的硬度情况，分析结果如图2所示。

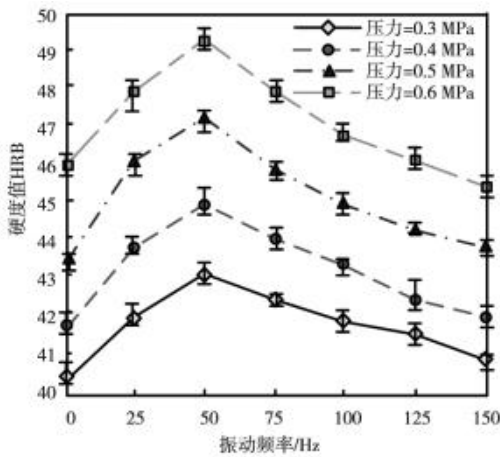


图2 不同振动压力下铸件硬度分析

Fig. 2 Hardness analysis of castings under different vibration pressure parameters

由图2可知,当压力为0.3 MPa时,硬度随频率从0增至50 Hz,由约HRB 40.3升至43.0,随后频率继续升高,硬度逐步回落至150 Hz时的HRB 40.5,整体提升幅度有限。压力提升至0.4 MPa后,硬度峰值50 Hz时约HRB 45.0,与全频率区间的硬度范围均明显上移。0.5 MPa压力下,50 Hz时硬度达HRB 47.2,且全频率区间硬度稳定在HRB 43.5~47.2。而0.6 MPa压力组的硬度表现最优,50 Hz时硬度攀升至HRB 49.4,即使频率偏离50 Hz,硬度仍高于低压力组的峰值水平。从机理上看,低频振动可破碎初生相,促进第二相均匀析出,而压力的施加能强化晶界结合力并抑制软质相偏聚,二者协同提升了硬度。当频率超过50 Hz后,过度振动加剧合金元素偏析,且压力对组织致密化的促进作用难以抵消晶粒粗化和第二相团聚的负面影响,故硬度随频率升高而下降。同时,更高的压力在凝固过程中能施加更强的静水压力,这不仅能有效抑制孔隙和晶间缺陷的形成,还能改变溶质元素的扩散条件和相变驱动力,从而促进硬质相更细小、更均匀地析出,因此压力越大,硬度越高。

4.3 拉伸性能分析

4.3.1 抗拉强度

分别分析每一铸件截取的试样在拉伸作用下的抗拉强度,分析结果如图3所示。

由图3可知,不同压力条件下,抗拉强度随振动频率的变化均呈现先升高后降低状态,且峰值对应频率一致集中在50 Hz。同时,随着压力从0.3 MPa递增至0.6 MPa,抗拉强度的整体水平与峰值幅度均同步提升。压力为0.3 MPa时,抗拉强度最高达到455 MPa左右,整体提升幅度有限。压力提升至0.4 MPa后,抗拉强度峰值达到465 MPa左右。0.5 MPa压力下,50 Hz

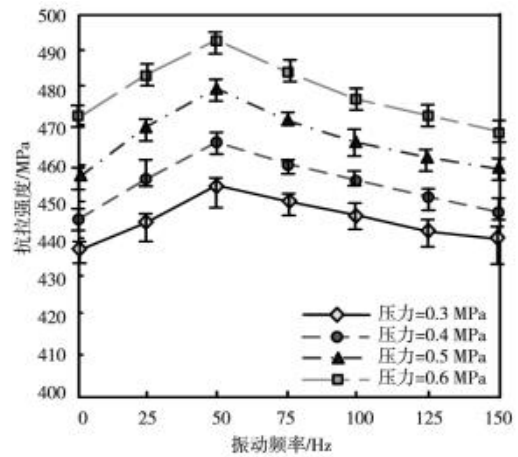


图3 抗拉强度分析

Fig. 3 Tensile strength analysis

时抗拉强度达480 MPa,且全频率区间强度稳定在460~480 MPa。而0.6 MPa压力组的抗拉强度表现最为优异,50 Hz时强度攀升至近495 MPa,强度明显高于低压力组的峰值水平。从微观机理分析,振动频率处于50 Hz附近时,适度机械振动可有效破碎初生 α -Al枝晶,细化晶粒,并促进Cu、Mn等合金元素在基体中均匀分布,为后续压力强化提供更优组织基础。压力的施加则一方面通过补缩作用减少缩松、气孔等缺陷,另一方面强化晶界结合力,抑制位错滑移时的晶界分离,二者协同使抗拉强度显著提升。当频率超过50 Hz后,过度振动会加剧合金元素偏析,破坏凝固界面稳定性,导致 Al_2Cu 、 Al_2CuMg 等第二相团聚或形态劣化;此时压力对组织致密化的促进作用难以抵消微观组织劣化的负面影响,抗拉强度随频率升高而下降。因此,0.6 MPa压力与50 Hz振动频率的组合为抗拉强度调控的最优参数。

4.3.2 屈服强度

分析每一铸件截取试样在拉伸作用下的屈服强度,分析结果如图4所示。

通过图4分析可知,压力为0.3 MPa时,屈服强度在各振动频率下处于较低区间,且随频率波动的幅度较小。当压力提升至0.4 MPa,屈服强度的整体水平明显上移。0.5 MPa压力下,屈服强度进一步提高。而0.6 MPa压力组的屈服强度表现最为优,全频率区间内,其屈服强度基值均高于其他压力组。因此压力越大,屈服强度越高,在0.6 MPa压力与50 Hz振动频率下,铸件屈服强度达约435 MPa,充分验证了振动压力协同作用对ZL205A铝合金铸件屈服性能的强化效果。

4.3.3 断面收缩率

分别分析每一铸件截取试样在拉伸试验下的断面收缩率,分析结果如表4所示。

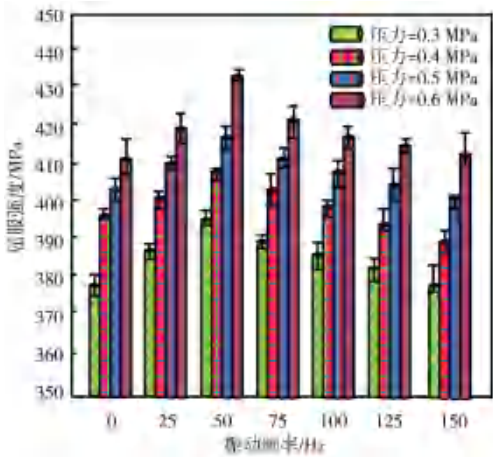


图4 屈服强度分析
Fig. 4 Yield strength analysis

表4 断面收缩率分析
Tab. 4 Analysis of cross-sectional shrinkage rate %

振动频率/Hz	压力0.3 MPa	压力0.4 MPa	压力0.5 MPa	压力0.6 MPa
0	7.2	8.0	8.8	9.5
25	7.8	8.6	9.5	10.2
50	8.5	9.3	10.5	11.8
75	8.0	8.8	9.8	10.8
100	7.5	8.3	9.2	10.0
125	7.3	8.1	8.9	9.6
150	7.0	7.8	8.5	9.2

通过表4可知，相同振动频率下，断面收缩率随压力升高持续递增。当处于无振动0时，压力从0.3 MPa增至0.6 MPa状态下，收缩率从7.2%提升至9.5%。25 Hz组中，压力跨度下收缩率从7.8%升至10.2%，这是因为压力增大可挤压凝固过程中晶间残余液相，填充微小孔隙、减少缩松缺陷，强化了基体连续性与致密性，为颈缩变形提供更优组织基础。而在相同压力下，断面收缩率随振动频率出现先升后降趋势，峰值集中在50 Hz附近，在0.6 MPa压力下，频率从0增至50 Hz时，收缩率从9.5%攀升至11.8%，频率继续升至150 Hz时，收缩率回落至9.2%。这是由于低频振动可降低塑性变形时的应力集中；而频率超50 Hz后，过度振动易卷入气泡、破坏凝固界面稳定性，削弱基体塑性变形协调性，使收缩率随频率升高而下降。

从图5中可以看出，0.6 MPa压力和50 Hz振动频率下的应力应变曲线在颈缩阶段曲线下降较为平缓，说明材料在颈缩过程中能够保持一定的承载能力，使颈缩过程持续较长时间，从而获得较大的断面收缩率。而0.3 MPa压力和0 Hz振动频率下的应力应变曲线颈缩阶段曲线下降迅速，材料很快失去承载能力而断裂，断面收缩率较小。这是由于低频振动可降低塑性变形时的

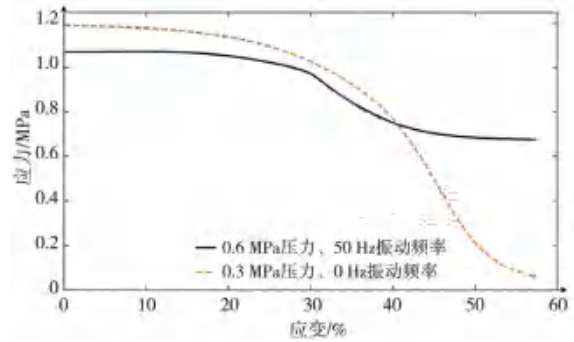


图5 颈缩阶段应力应变曲线
Fig. 5 Stress-strain curves during the necking stage

应力集中。而频率超50 Hz后，过度振动易卷入气泡、破坏凝固界面稳定性，削弱基体塑性变形协调性，使收缩率随频率升高而下降。

4.4 缩松情况分析

沿铸件高度方向取样，选取底部、中部和顶部等位置，以分析缩松分布与凝固顺序的关系。在同一高度但厚度不同的区域截取横截面样品。针对铸件热节，如内浇口根部和冒口根部等区域取样，验证缩松是否优先形成于局部凝固缓慢区域。在测试方式上，可采用金相分析法，将切割后的试样抛光腐蚀，借助显微镜观察基体组织，并运用图像分析软件定量计算缩松区域面积分数。测试过程如图6所示。

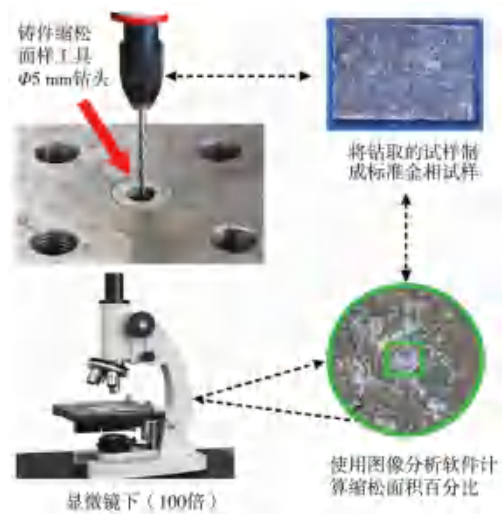


图6 缩松测试图
Fig. 6 Micrograph of shrinkage porosity

依次各振动压力参数下铸件缩松面积分数，分析结果如图7所示。

通过图7分析可知，0.3 MPa压力组的缩松面积分数始终处于最高区间，保持在6.3%~7.2%左右，且频率对其影响相对平缓，仅在50 Hz时略有降低，说明低压

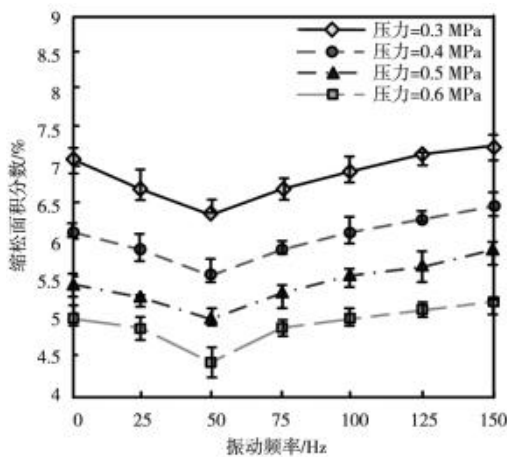


图7 缩松面积分数分析

Fig. 7 Analysis of shrinkage porosity area fraction

力下振动的补缩效果有限，凝固缺陷易残留。0.4 MPa组缩松面积分数保持在5.5%~6.2%左右，50 Hz时降至约5.5%。0.5 MPa组在50 Hz时缩松面积分数进一步降低至约5%。0.6 MPa压力组的缩松控制效果最优，全频率区间内，其缩松面积分数均低于其他组，且在50 Hz时达到约4.5%以下。从机理上看，振动频率为50 Hz时，适度的垂直稳态强迫振动可降低液相流动阻力，促进晶间残余液相向缩松区域补缩；同时，振动产生的机械扰动能加速气泡逸出，减少气孔型缩松的形成。而压力的提升，通过液压作用对凝固过程施加持续挤压力，一方面压缩合金凝固的体积收缩量，另一方面强

制液相填充微小孔隙，双重作用大幅降低了缩松的产生概率。当频率偏离50 Hz时，若频率过低，缺乏振动扰动会导致补缩动力不足，缩松易残留；若频率过高，过度振动会使熔体产生湍流、卷入空气形成微小气泡，且易破坏凝固界面稳定性，反而增加缩松类缺陷，因此缩松面积分数随频率偏离50 Hz而上升。因此，0.6 MPa压力与50 Hz振动频率组合下，可以保持最低的缩松面积分数。

5 结论

通过设计并实施熔炼—浇注—振动压力凝固一体化工艺，系统探究了不同压力与振动频率参数对ZL205A铝合金壳体铸件组织与性能的影响机制。研究表明，压力是提升铸件综合性能的主导因素，其补缩与致密化作用能显著提高铸件的密度、硬度、拉伸性能及塑性，并有效抑制缩松缺陷。振动频率的影响则存在明确的优化区间，频率为50 Hz时，适度的机械扰动能最佳地协同压力作用，细化组织、促进补缩与元素均匀分布；频率过高或过低均会导致性能下降。综合各项性能指标，确定0.6 MPa压力与50 Hz振动频率为最优工艺参数组合。在此条件下制备的铸件不仅实现了高致密度与低缺陷率，其抗拉强度超过490 MPa，屈服强度与断面收缩率亦保持在优异水平，为承受振动压力载荷的高性能铝合金壳体铸件的制备提供了可靠的工艺方案。

参考文献:

- [1] 郭廷彪, 钱丹晨, 王炳, 等. ZL205A合金热处理参数优化及其组织性能演变 [J]. 材料科学与工程学报, 2025, 43 (1): 23-30.
- [2] 赵海越, 曹岩, 黄亮, 等. 基于遗传算法的ZL205A铝合金切削参数多目标优化 [J]. 兵器材料科学与工程, 2023, 46 (5): 58-65.
- [3] 严侃, 张伟强, 高磊, 等. ZL205A铝合金电弧增材制造工艺及力学性能 [J]. 热加工工艺, 2024, 53 (24): 131-136.
- [4] 郝天, 王军, 刘永珍, 等. 稀土La和脉冲磁场对ZL205A铝合金铸态组织和力学性能的影响 [J]. 稀有金属与硬质合金, 2025, 53 (3): 70-76.
- [5] 丁志杰, 卫永莉, 祝立龙. 厚壁ZL205A铝合金铸件铸造工艺研究 [J]. 铸造, 2023, 72 (4): 455-457.
- [6] 杨启欣, 曹岩, 黄亮, 等. 金属型铸造ZL205A铝合金组织物相分析及工艺优化 [J]. 特种铸造及有色合金, 2023, 43 (4): 510-513.
- [7] 张颖, 麻永林, 刘永珍, 等. 脉冲磁场时效处理ZL205A铝合金的显微组织和力学性能 [J]. 金属热处理, 2025, 50 (1): 97-102.
- [8] 杜旭初, 黄粒, 厉沙沙, 等. 大型ZL205A铝合金舱体铸件铸造工艺研究 [J]. 铸造, 2024, 73 (6): 859-864.
- [9] 慕育仕, 任雁, 杜兰君, 等. Sc和Zr对挤压铸造ZL205A合金组织与性能的影响 [J]. 特种铸造及有色合金, 2024, 44 (10): 1375-1381.
- [10] 闫浩, 王世鑫, 李晓峰, 等. SLM成形Al-Cu-Mg合金的摩擦磨损性能 [J]. 粉末冶金工业, 2023, 33 (1): 17-23.
- [11] 茹菊红, 谢峰, 冯超, 等. 高强耐热铸造铝合金及其航空发动机复杂壳体铸件的性能研究 [J]. 材料工程, 2025, 53 (1): 186-194.
- [12] 赵志豪, 邓高生, 徐小林, 等. 冷轧Al-4Ti-1B变质剂对ZL205A合金组织和力学性能的影响 [J]. 热加工工艺, 2024, 53 (15): 59-65.
- [13] 张超, 赵升吨, 邢轲, 等. 重卡传动轴用高强7075铝合金热流变行为及径向锻造微观组织演变 [J]. 西安交通大学学报, 2024, 58 (8): 124-135.
- [14] KIM S, JOO Y. Energy-based key performance indicator for energy-intensive manufacturing processes: application to steel casting [J]. Energy, 2025, 317: 134543.
- [15] ARUNA M, KALIAPPAN S, SARAGADA D R, et al. SiC and MWCNT blending actions on functional performance of hybrid AA2024 alloy nanocomposite via two step stir cast route [J]. International Journal of Metalcasting, 2025, 19 (2): 726-736.

Preparation and Performance Analysis of High-Strength ZL205A Aluminum Alloy Shell Castings Under Vibration Pressure

WANG Yun-tao

(Nanjing Polytechnic Institute, Nanjing 210048, Jiangsu, China)

Abstract:

In order to improve the density and mechanical properties of ZL205A aluminum alloy shell castings and determine the optimal process parameters to reduce their shrinkage porosity defects, this study proposes the preparation of high-strength ZL205A aluminum alloy shell castings under vibration and pressure, and analyzes their performances. The castings were prepared using an integrated process of melting, pouring and solidifying under vibration and pressure, and a total of 28 parameter combinations including pressure gradient and vibration frequency gradient were designed. The tests on the densities, hardnesses, mechanical properties, and shrinkage porosity area fractions of each group of castings were carried out separately. The results show that, under the condition of same vibration frequency, all of the densities, brinell hardnesses, tensile strengths, yield strengths, and area reductions of the castings are increased with increasing pressure, while the shrinkage porosity area fractions are continuously decreased; Under the condition of same pressure, the performances are gradually improved in the range of 0-50 Hz, and then some decreased as the frequency continues to increase after 50 Hz. When the pressure is 0.6 MPa and the vibration frequency is 50 Hz, the density and hardness of the casting remain optimal, with a tensile strength of over 490 MPa and a high yield strength, at the same time, the shrinkage porosity area fractions remain below 4.5%.

Key words:

vibration and pressure; ZL205A aluminum alloy shell casting; mechanical property; reduction of area; shrinkage porosity area fraction
