

不间断氩气精炼工艺对 JDA1b 铝硅合金液制备质量影响

李卫¹, 林兆富¹, 徐慧¹, 唐晓亮², 梁蒙², 余洪², 史晗³, 包有宇³

(1. 重庆长安汽车股份有限公司, 重庆 400023;

2. 辰致(重庆)轻量化科技有限公司, 重庆 402760;

3. 凤阳爱尔思轻合金精密成型有限公司, 安徽滁州 233100)

摘要: 在汽车轻量化趋势下, 一体化压铸技术因高效经济成为研究焦点。本研究以JDA1b压铸铝硅合金为对象, 在集成式熔化系统中对比了氩气与氦气不间断精炼工艺。通过SEM-EDS、元素分析及渣量检测发现: 氦气精炼会生成大型异质颗粒, 导致杂质超标; 氩气精炼则有效脱氢除杂, 抑制AlN内生夹杂物, 显著提升铝液洁净度(具体表现为低夹杂物含量和低密度当量)。研究表明, 铝液质量受元素损耗、回炉料纯度及密度当量共同影响, 其中生产稳定性、回炉料管控、浮渣清理及密度当量监测是关键控制要素。本研究证实氩气精炼更符合一体化压铸对高纯度铝液的要求, 为优化工艺提供了理论和试验依据。

关键词: 铝硅合金; 不间断氩气精炼; 集成式熔化; 高纯度铝液

中图分类号: TG146.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4977 (2026) 01-0074-07

DOI: 10.27014/j.cnki.zhuzao.2026.0011

作者简介:

李卫(1988-), 男, 高级工程师, 学士, 主要研究方向为熔体质量控制与净化。
E-mail: liwei202320112@changan.com.cn

通信作者:

唐晓亮, 男, 高级工程师, 硕士。电话: 13637929988, E-mail: tangxiaoliang@cztech.cn

收稿日期:

2025-05-23 收到初稿,
2025-07-30 收到修订稿。

引用格式:

李卫, 林兆富, 徐慧, 等. 不间断氩气精炼工艺对 JDA1b 铝硅合金液制备质量影响 [J]. 铸造, 2026, 75(1): 74-80.

LI Wei, LIN Zhaofu, XU Hui, et al. Influence of continuous argon refining process on the reparation quality of JDA1b Al-Si alloy melt [J]. Foundry, 2026, 75(1): 74-80.

在汽车轻量化和节能减排的大背景下, 采用免热处理铝合金材料进行一体化压铸制造大铸件已成为不可阻挡的趋势^[1]。随着铸造技术迅速发展, 对铝液质量要求也随之不断提高^[2]。影响铝合金质量的主要原因是高含氢量和熔融态夹杂物。在金属凝固过程中, 氢气的析出和液固相变引起的收缩导致气孔和缩松等缺陷, 进而影响材料的拉伸强度、屈服强度、伸长率和耐腐蚀性^[3-4], 本课题所指高纯度铝液, 主要针对一体化压铸对熔体的严苛要求, 其核心指标包括: 夹杂物(尤其是尺寸大于20 μm的硬质夹杂和内生AlN)数量需显著减少, 同时熔体密度当量需低于特定阈值(如2%)。

铝合金熔融夹杂物按形貌可分为两种^[5-6]: 一是宏观组织粗大、分布不均匀的夹杂物, 这种夹杂物会引起铸件的泄漏或腐蚀, 在一定程度上降低了合金的硬度和塑性; 另一种夹杂物弥散分布在铝合金熔体中, 随着夹杂物含量的增加, 铝合金熔体的粘度变大, 最终导致铝合金铸件性能变差, 甚至报废。因此, 免热处理铝合金材料的熔炼具有重要的研究意义。

熔炼通常分为熔化和精炼两部分。工业化常用的熔化方式为分布式和集成式, 分布式即为采用转水包作为铝液的中转方式, 为压铸机提供铝液。该种方式存在多次浇注过程和静置时间, 影响供铝效率, 同时与空气接触频繁, 导致氧化和吸气, 影响铝液质量。因此常采用集成式的熔化方式通过减少金属液与空气的接触, 来减少氢气以及氧化夹杂的出现以及增加供铝的效率^[7]。

为了去除铝液中存在的氢和熔融夹杂物, 对铝液的精炼工序非常必要。工业化常用的精炼方式为气泡浮选法, 以吸附和去除熔体中的氢和微米级夹杂物^[8]。这个过程为通过除气砖^[9]或者旋转除气机^[10]将氩气不间断的送入熔体底部, 以提高气泡吸附效率、回收率和经济可行性。然而, 此种精炼方法存在一定的局限性, 具体而言, 氩气与铝熔体的相互作用会诱发AlN内源性夹杂物的形成^[11]。此外, 连续的精炼过程可能会进一步降低熔体的清洁度, 这是因为不间断的气体注入可能导致熔体中悬浮的夹杂物数量增加, 最终导致熔体的整体清洁度下降。



当前关于铝液品质的研究主要聚焦于分布式熔化方法,尤其是转水包系统中实施的短暂精炼过程。本研究则在集成式熔化方法的基础上,对铝液品质进行了进一步的提升,从而促进了高品质一体化压铸大型铸件所需的铝液供应效率及其质量的发展。研究结果显示,采用氩气精炼技术,在连续精炼的集成式熔化系统中,能够有效实现高质量铝液的制备,为一体化压铸工艺中铝液的高效供应和质量控制提供了新的技

术路径。

1 试验材料和方法

本研究采用的工厂级的不间断精炼的集中式熔化方式如图1所示,采用上海交通大学研发的JDA1b压铸铝硅合金作为研究材料,JDA1b合金是一款免热处理的含稀土压铸铝合金,具有优越的铸造性能和流动性^[12-13]。

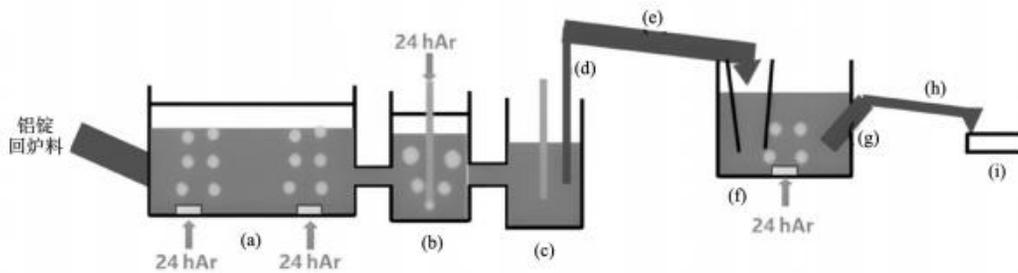


图1 不间断精炼集中式熔化系统
Fig. 1 Continuous refining centralized melting system

利用熔化炉对铝合金锭及回炉料进行熔化处理,并将熔融铝液导入保温室图1(a)内,铝液温度730℃,在保温室底部,通过透气砖连续24 h通入Ar气以实施精炼,气体流速设定为15 L/min。同步通过旋转除气机图1(b)连续24 h通入Ar气进行二次精炼,铝液温度715℃,此时气体流速根据转子速度调整为17 L/min。经过双重连续精炼工艺处理后的铝液,将进行成分分析及密度当量测试。经检测合格后的铝液,将被泵送至定量炉图1(f)中,以备后续的压铸工序使用。

2 结果与分析

2.1 N₂ 精炼效果分析

评价铝熔体中夹杂物的类型、数量和尺寸分布,目前工业界和学术界常采用的标准方法包括:金相显微镜观察(定量金相法)、扫描电子显微镜结合能谱分析(SEM-EDS,用于形貌观察和成分鉴定)、PoDFA(多孔盘过滤法,用于定量分析夹杂物类型和含量)和LiMCA(液态金属洁净度分析仪,用于在线监测夹杂物数量浓度和尺寸分布)等^[3, 5-6]。本研究主要采用SEM-EDS进行微观形貌观察和成分定性分析,并结合渣量检测进行宏观评估。

在经过连续氮气精炼处理过程中,对除气机表层的混合铝液进行了取样,并利用SEM-EDS技术进行微观形态和成分表征。研究结果表明,铝液中散布着大量的大型异质颗粒(如图2中红色框所示),其粒径显

著超过100 μm。对两个具有代表性的区域进行了能谱分析,发现这些异质颗粒内部富含氧元素(含量超过38%),同时检测到了Ca、C、N和Cl等在合金中本不存在的元素,Sr、Mg、Si、La和Ce等元素的含量超出标准。

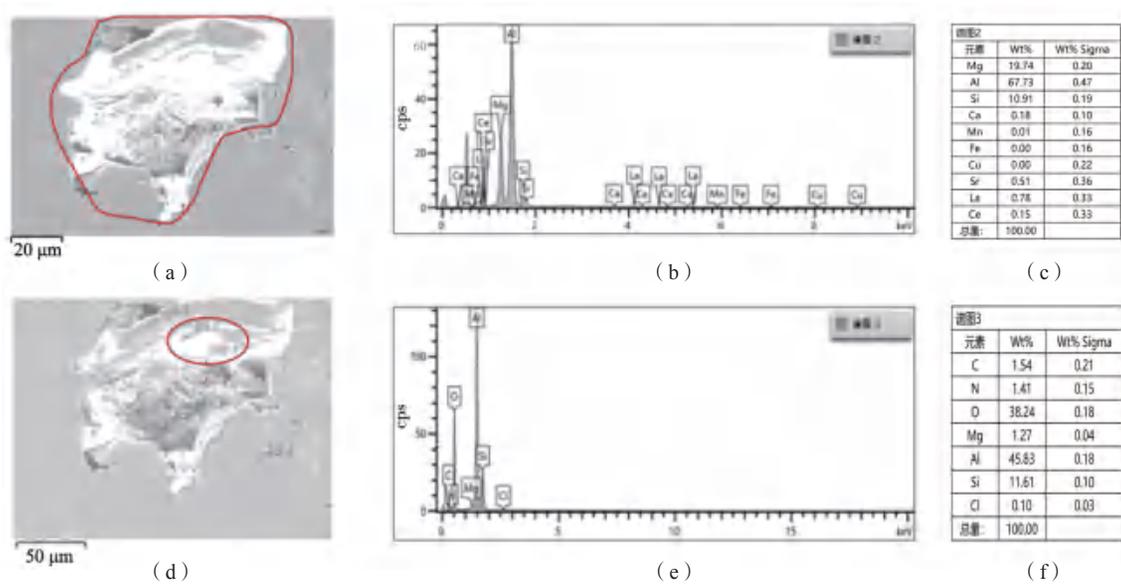
这些异常元素的来源可归因于以下几个方面:C元素可能来源于脱模剂等残留物质,及在当前熔化过程中添加的再生料^[14-15];N可能来源于炉子内部大量通入的氮气以及铝液与氮气反应生产的AlN^[16];Ca和Cl元素可能来源于残留的熔剂^[17];含量超标的Sr、Mg、Si、La和Ce等元素可能来源于底部持续通入氮气带来的表面成分偏析。

此类现象在经历短暂精炼的熔化方式即分布式中较为罕见。因此,在集中式熔炉上采用氮气精炼的方法,对于某些质量要求较低的压铸件,尽管会产生尺寸超过100 μm的夹渣,但仍然能够满足使用要求,并且显著提升经济效益。因此,氮气广泛应用于铝合金的短暂精炼过程中。

综上所述,在确保铸造合金基本质量要求的前提下,氮气精炼的应用能有效降低生产成本。尽管氮气精炼在实现高质量熔体连续精炼方面存在一定的局限性,但其经济性和实用性在特定应用场景下仍具有显著优势。

2.2 Ar 精炼效果分析

本节深入探讨了通过Ar精炼手段对铝合金微观结

图2 N₂精炼表面铝液的SEM-EDS表征Fig. 2 SEM-EDS characterizing of the aluminum liquid on surface during the N₂ refining process

构的调控机制，详细剖析并阐释了氩气精炼的作用机理，同时考察了精炼流程中元素损耗的现象、出渣量以及密度当量等关键质量指标的变化趋势，最终旨在揭示氩气精炼技术在铝合金生产领域的重要应用潜力和实际价值。

2.2.1 Ar精炼效果

如图3所示为经过不间断Ar精炼所获得表层铝液的SEM-EDS表征图谱，从图中可以观察到，经过双重精炼后的表层铝液中没有明显的异质颗粒，但一些微米尺寸（<10 μm）的夹杂仍然存在。同时根据能谱分析，铝液中只存在铝合金中的正常元素，没有发现N和Ca等杂质元素，这一结果表明，氩气精炼可以有效降低熔炼金属液中的杂质含量，符合一体化压铸技术对高品质铝液的需求。

2.2.2 Ar精炼机理

精炼过程的核心机制在于氢的移除，其中氢原子倾向于在铝合金的夹杂物、沉淀相以及晶界等界面区域聚集。这些氢原子以间隙原子的形态在晶体缺陷区

域进行扩散。铝合金内部的微观缺陷，例如晶界和裂纹，为氢原子的扩散提供了通道^[18]。同时，这些缺陷亦作为氢的吸附位点，增强了合金的吸氢能力。

如图4所示，在铝的熔融状态下，晶界和裂纹等缺陷不复存在。铝熔体中的主要缺陷转化为夹杂物与熔体相接触的固液界面。

在精炼前，一层致密的Al₂O₃薄膜覆盖在熔体表面，起到隔离空气和吸收氢气的的作用。在此阶段，氢原子在熔体内缺乏扩散的途径，因此，熔体表面与内部之间的浓度梯度成为氢原子扩散的驱动力，导致其扩散速率低且影响范围有限。当熔体表面的氢原子聚集与空气中的氢分子解离达到动态平衡时，熔体内的宏观氢含量趋于稳定^[19-20]。

精炼过程中，随着氩气泡上升至熔体表面，夹杂物被携带而出，迅速降低了铝熔体内的氢含量。随着精炼时间的延长，表面浮渣积累并达到吸氢饱和状态^[21]。此时，氢原子依靠微弱的浓度梯度向熔体内部扩散，并在除气机位置通过二次精炼实现上浮。因此，

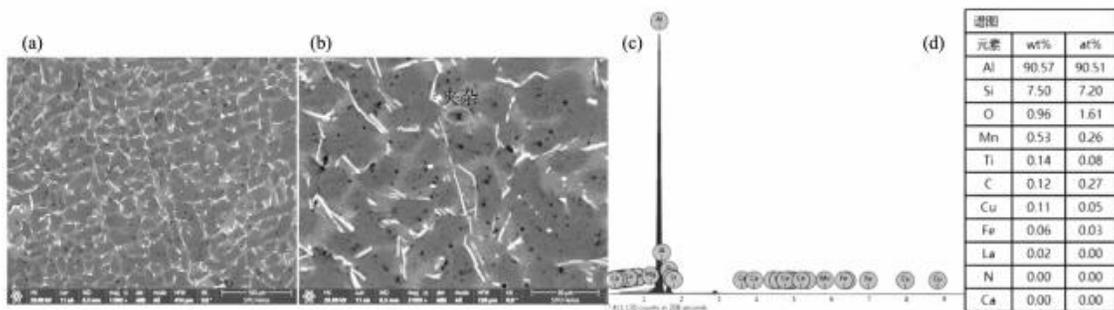


图3 Ar精炼表面铝液的SEM-EDS表征

Fig. 3 SEM-EDS characterizing of the aluminum liquid on surface during argon refining process

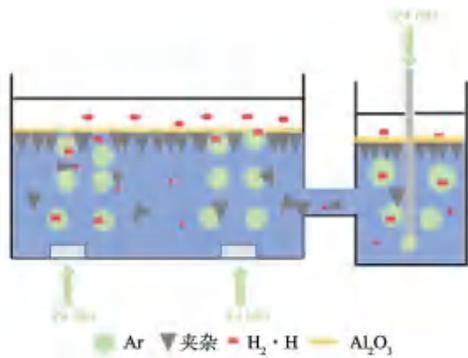


图4 不间断精炼集中式铝液中Ar气泡和杂质去除示意图
Fig. 4 Schematic illustration of argon bubbles and impurity removal in a continuous refining centralized aluminum liquid

在精炼操作中，表面浮渣的及时清除显得尤为重要^[22]，这一理论也为清渣操作的必要性提供了科学依据。

2.2.3 元素损耗问题

在深入探讨精炼工艺的过程中，本研究揭示了不间断精炼技术具有显著的杂质去除效率。然而，该技术的应用伴随着一个显著缺陷，即持续通入Ar的过程中，液面的持续翻滚现象加剧了熔体的燃烧损失。为了量化这一现象对易损耗元素Sr的影响，本研究连续收集并分析了七组数据。如图5所示，对Sr在停止生产和正常生产两种不同工况下12 h内的损耗量进行了对比分析。研究发现，在停止生产的状态下，Sr的损耗量显著上升，平均每12 h的损耗量达到0.005wt.%。与此相对，正常生产条件下，Sr的损耗量得到了有效的抑制。通过对试验数据的深入分析，可以得出以下结论：正常连续生产能够有效减少24 h不间断精炼过程中液面翻滚的严重程度，从而降低熔体与空气接触的几率，避免不可忽视的氧化烧损。因此，在实际生产过程中，应尽量保持生产的连续性，以实现资源的高效利用和工艺的优化。

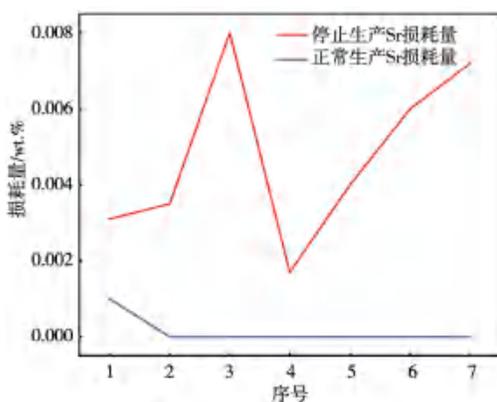


图5 Sr在停止生产和正常生产情况下12 h的损耗量
Fig.5 The loss rates of strontium over a 12-hour period under the conditions of production halt and normal production

2.2.4 出渣量分析

出渣量指在精炼和熔炼过程中，从铝熔体表面清除的、主要由氧化物、熔剂残留物、夹带的夹杂物等组成的非金属浮渣的总质量。通常以占处理铝液总质量的百分比（出渣比例/%）表示，是衡量熔体纯净度和精炼效果的重要指标之一。表1展示了在压铸岛试验中，加入不同比例的铝锭与各级回炉料对除气机出渣量的影响数据，共包含了12组试验数据。在此分类中，1级回炉料指的是未经切割的废产品（通常成分接近目标合金，表面氧化层相对较少，油污等外来污染较低），2级回炉料包括浇道和料柄（成分基本符合要求，但可能附着较多脱模剂残留和氧化皮），而3级回炉料是指从真空枝和渣包中直接获取的、未经重熔处理的材料，其成分可能因偏析而不稳定，含有大量氧化皮、夹渣以及较高含量的脱模剂残留和油污，洁净度最差。

利用表1中的试验数据，进行了线性回归分析，以探究铝锭比例和1级回炉料比例、2级回炉料比例、3级回炉料比例与出渣量之间的关系。线性回归分析的结果如表2所示。

在本研究中，将铝锭比例、1级回炉料比例、2级回炉料比例和3级回炉料比例作为自变量，而出渣比例作为因变量进行线性回归分析。根据上表的数据，得出的模型算式为：出渣比例= $-6.527+7.983 \times$ 铝锭比例 $+2.139 \times$ 1级回炉料比例 $+4.830 \times$ 2级回炉料比例 $+18.448 \times$ 3级回炉料比例。

通过对模型进行F检验，发现模型在统计上是显著的（ $F=7.805$ ， $p=0.010<0.05$ ），这表明至少有一个自变量对出渣比例有显著影响。进一步的具体分析表明，铝锭比例的回归系数为7.983（ $t=2.521$ ， $p=0.040<0.05$ ），说明铝锭比例对出渣比例有显著的正向影响。而1级回炉料比例的回归系数为2.139（ $t=1.056$ ， $p=0.326>0.05$ ），表明1级回炉料比例对出渣比例没有显著影响。同样，2级回炉料比例的回归系数为4.830（ $t=1.769$ ， $p=0.120>0.05$ ），也说明2级回炉料比例对出渣比例没有显著影响。最后，3级回炉料比例的回归系数为18.448（ $t=2.857$ ， $p=0.024<0.05$ ），表明3级回炉料比例对出渣比例有显著的正向影响。

在铝合金的遗传特性研究^[23-26]中，已知回炉料的纯度将直接影响铝液的品质。为了验证回炉料纯度对铝液的遗传效应，本研究对3级回炉料进行了试验性的重熔处理。试验中，将3级回炉料分为两个类别：一类是使用油性脱模剂进行脱模生产的油性回炉料，另一类是使用水性脱模剂进行脱模生产的水性回炉料。

在试验操作中，对油性回炉料、水性回炉料以及铝锭实施了试验级别的熔炼与精炼工艺。在此基础

表1 加入不同比例的铝锭与各级回炉料的除气机出渣量

Tab. 1 The slag outputs from degasser under the additions of different proportions of aluminum ingots and various grades of recycled materials

序号	铝锭/kg	1级回炉料/kg	2级回炉料/kg	3级回炉料/kg	清渣频次/(h·次 ⁻¹)	渣量/kg	总量/kg	出渣比例/%
1	10 719	0	7 562	0	6	47.80	18 281	0.26
2	17 297	0	12 127	0	6	49.60	29 424	0.17
3	19 348	0	12 184	0	6	43.00	31 532	0.14
4	17 104	0	11 512	0	6	36.70	28 616	0.13
5	17 593	0	11 539	0	6	23.30	29 132	0.08
6	15 559	0	11 743	0	6	59.65	27 302	0.22
7	8 406	3 023	2 521	1 127	6	78.05	15 127	0.52
8	5 917	1 168	2 407	404	6	49.90	9 838	0.51
9	3 413	452	327	0	6	25.70	4 192	0.61
10	9 902	4 500	1 779	1 224	6	40.10	17 647	0.23
11	7 939	4 320	1 375	843	6	46.30	13 778	0.34
12	8 060	3 842	1 880	1 107	6	54.1	14 859	0.36

表2 线性回归分析结果 (n=12)

Tab. 2 Results of linear regression analysis (n=12)

项目	非标准化系数		标准化系数	t	p	共线性诊断	
	B	标准误	Beta			VIF	容忍度
常数	-6.527	2.980	-	-2.190	0.065	-	-
铝锭比例	7.983	3.166	3.267	2.521	0.040*	64.161	0.016
1级回炉料比例	2.139	2.026	1.520	1.056	0.326	79.231	0.013
2级回炉料比例	4.830	2.730	4.140	1.769	0.120	209.287	0.005
3级回炉料比例	18.448	6.457	3.650	2.857	0.024*	62.360	0.016
R ²				0.817			
调整R ²				0.712			
F				F(4, 7) = 7.805, p = 0.010			
D-W值				1.834			

上,对熔炼过程中产生的铝渣进行了称重分析。试验结果如图6所示,油性回炉料在熔炼过程中的渣产生率为17.4%,水性回炉料的渣产生率为8.0%,而铝锭的渣产生率仅为1.5%。据此数据可见,三级回炉料本身含有较高的渣量,这些夹渣在熔炼过程中不可避免地转移至铝液之中。

关于油性回炉料相较于水性回炉料具有更高渣量的现象,可以归因于熔化过程中残留的切屑液和油污在高温作用下产生的烟气和水气,这些气体促进了铝液的吸气和氧化夹杂的形成^[27]。因此,油性3级回炉料在熔炼过程中进一步增加了出渣量。根据遗传效应原理,若未经适当处理便将此类回炉料加入熔炼炉中,将导致整体渣量的增加。

2.2.5 密度当量分析

密度当量是一种快速评估铝熔体中氢含量和氧化夹杂物含量的综合指标。其原理是基于熔体凝固时析

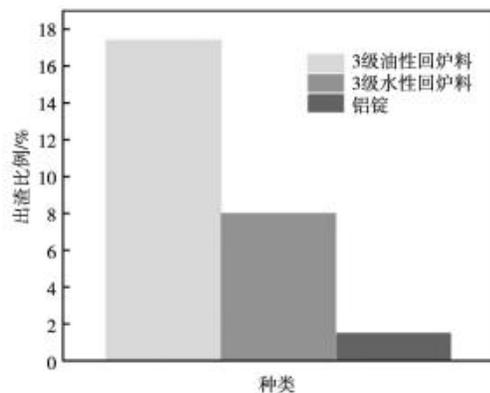


图6 不同3级回炉料和铝锭重熔出渣量

Fig. 6 The quantity of slag produced during the remelting process of various grade 3 recycled materials and aluminum ingots

出气体和夹杂物对试样密度的负面影响。测试方法通常是将同一熔体浇注的试样分别在常压和真空(或低压)下凝固,密度当量DI(%)计算公式为:DI=

$[(\rho_{\text{low}P} - \rho_{\text{atm}P})/\rho_{\text{low}P}] \times 100\%$, 其中 $\rho_{\text{low}P}$ 为低压(或真空)凝固试样密度, $\rho_{\text{atm}P}$ 为常压凝固试样密度。 DI 值越低, 表明熔体中氢和氧化夹杂含量越低, 熔体质量越优^[28]。在本研究的连续生产流程中, 共计采集了50组密度当量数据, 分析结果显示, 所有数据点的密度当量值均低于2%, 见图7。据此可以推断, 在所研究的条件下, 铝液的质量表现较为优良。

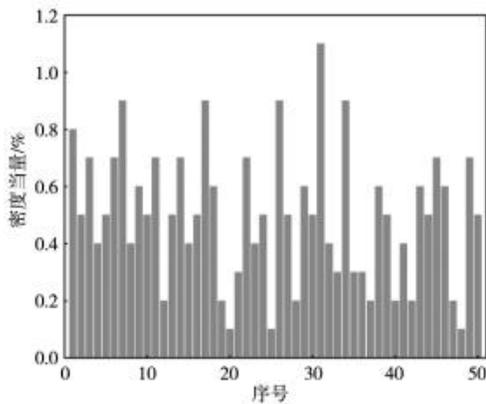


图7 密度当量变化值

Fig. 7 Variation values of density equivalents

3 结论

深入探究了在工厂级集成式熔化系统中, 采用氩气精炼技术制备适用于一体化压铸的高纯度铝液的可

行性。通过对氮气和氩气精炼效果的对比分析, 以及对元素损耗、出渣量和密度当量等关键指标的考察, 得出以下结论。

(1) 氩气精炼能够有效去除铝液中的氢和夹杂物, 显著降低铝液的密度当量至2%以下, 从而提升铝液的整体清洁度和品质。相较于氮气精炼, 氩气精炼避免了AlN等内源性夹杂物的生成, 且能够更有效地去除微米级夹杂物, 满足一体化压铸对高纯度铝液(低夹杂和低密度当量)的需求。

(2) 不间断精炼过程中, 表面浮渣积累并达到吸氢饱和状态, 氢原子依靠微弱的浓度梯度向熔体内部扩散, 降低铝液质量。因此, 及时清理铝液浮渣对于保证铝液质量至关重要。

(3) 虽然采用氩气精炼技术能够显著提升铝液质量, 但在连续精炼过程中, 液面翻滚现象加剧了易损耗元素的燃烧损失。因此, 在实际生产过程中, 应尽量保持生产的连续性, 并采取必要的措施降低熔体与空气接触的几率, 以避免不可忽视的氧化烧损。

(4) 回炉料的纯度直接影响铝液品质, 未经适当处理的回炉料会遗传渣量至铝液中, 导致整体渣量增加。因此, 在熔炼过程中应严格控制回炉料的品质, 并进行必要的预处理, 以避免其对铝液质量造成负面影响。

参考文献:

- [1] 兰乔, 刘保良, 常治宇, 等. 轻合金铸造技术发展历程与展望 [J]. 铸造技术, 2021, 42(2): 141-152.
- [2] KOTUS M, JANKAJOVÁ E, PETRÍK M. Quality control of aluminium melt in production process [J]. Research in Agricultural Engineering 2015, 61(12): 43-47.
- [3] HUDSON S W, APELIAN D. Inclusion detection in molten aluminum: current art and new avenues for in situ analysis [J]. International Journal of Metalcasting, 2016, 10: 289-305.
- [4] 翟薇, 常健, 耿德路, 等. 金属材料凝固过程研究现状与未来展望 [J]. 中国有色金属学报, 2019, 29(9): 1953-2008.
- [5] 马亮. 铝合金熔炼过程中常见夹杂净化技术探讨 [J]. 山西冶金, 2024, 47(6): 93-94.
- [6] 裴尧衡, 陈朝轶, 李军旗, 等. 铝熔体净化研究现状与趋势 [J]. 中国冶金, 2023, 33(4): 9-16.
- [7] 吴炳尧, 修毓平. 一体化压铸应稳慎徐图 [J]. 铸造工程, 2022, 46(6): 1-5.
- [8] LIU G Y, ZHANG L, MA W H, et al. Recent advances and future trend of aluminum alloy melt purification: A review [J]. Journal of Materials Research and Technology, 2024, 29: 100-115.
- [9] 周玉焕, 刘辉丽. 透气砖在铝合金精炼过程中的应用 [J]. 有色金属加工, 2015, 44(1): 23-25.
- [10] 杨璐. 铝熔体在线精炼净化设备现状及发展 [J]. 铝加工, 2022(4): 3-9.
- [11] DU S, ZHANG S G, WANG J W, et al. Sustainable recycling of aerospace-grade ultra-clean 7050 aluminum alloy melts through argon refining without secondary aluminum dross generation [J]. Journal of Materials Research and Technology 2023, 27: 2102-2116.
- [12] ZHANG P, LI ZM, LIU BL, et al. Effect of chemical compositions on tensile behaviors of high pressure die-casting alloys Al-10Si_y-Cu-xMn-zFe [J]. Materials Science and Engineering A, 2016, 661: 198-210.
- [13] ZHANG P, LI ZM, LIU BL, et al. Improved tensile properties of a new aluminum alloy for high pressure die casting [J]. Materials Science and Engineering A, 2016, 651: 376-390.
- [14] MORE K L, TORTORELLI P F, WALKER L R, et al. Microstructural evaluation of dross formation on Mg-and non-Mg-containing Al alloys from industrial furnaces [J]. Materials at High Temperatures, 2014(3): 453-460.
- [15] GAO H, ZHAO B, ZHAO Z B et al. A cluster of inclusions on Al-Si-Cu die casting cylinder block [J]. Engineering Failure Analysis, 2015, 55: 370-375.

- [16] DAMOAH, L N W, ZHANG L F. Removal of inclusions from aluminum through filtration [J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 2010, 41: 886–907.
- [17] UTIGARD T A. The properties and uses of fluxes in molten aluminum processing [J]. JOM, 1998, 50 (11) : 38–43.
- [18] GRACHEV V A, TURAKHODJAEV N D. Influence of high-temperature treatment of melt on the composition and structure of aluminum alloy [J]. Archives of Foundry Engineering, 2017, 17 (4) : 2299–2944.
- [19] DIÑO, WILSON AGERICO, HIDEAKI KASAI, et al. Dynamical quantum filtering in hydrogen-surface reactions [J]. Surface Science, 1998, 418 (1) : 39–44.
- [20] NOBUHARA K, KASAI H, DIÑO W A et al. H₂ dissociative adsorption on Mg, Ti, Ni, Pd and La surfaces [J]. Surface Science, 2004, 566: 703–707.
- [21] LORDAN E, LAZARO-NEBREDA J, ZHANG Y J, et al. Effective degassing for reduced variability in high-pressure die casting performance [J]. JOM, 2019, 71: 824–830.
- [22] LI Q, HE K Z, WU N, et al. Purification of aluminum melt in crucibles by bubble flotation [J]. Procedia Manufacturing, 2019, 37: 438–442.
- [23] 《铸造有色合金及其熔炼》联合编写组. 铸造有色合金及其熔炼 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1980.
- [24] 苟昕, 牛旭东, 贾娟娟, 等. 利用炉料遗传性原理控制铝合金圆铸锭熔铸质量的探讨 [J]. 有色冶金节能, 2018, 34 (3) : 24–27.
- [25] 马朝禄, 张廷金, 韩树强, 等. 共晶型Al-Si变形合金熔铸工艺过程控制 [J]. 有色冶金节能, 2019, 35 (4) : 23–26.
- [26] 刘一峰, 杨翠颜, 刘智杰. Al-Si合金组织遗传性对6463铝合金含硅相的影响 [J]. 有色金属科学与工程, 2013, 4 (4) : 81–84.
- [27] 吴昊. 不同种类的回炉料对轮毂质量的影响 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2016.
- [28] 李卫, 吴世佳, 张鹏, 等. 铝液密度当量的影响因素 [C]// 重庆铸造行业协会. 2020重庆市铸造年会论文集. 重庆: 重庆长安汽车股份有限公司, 2020.

Influence of Continuous Argon Refining Process on the Preparation Quality of JDA1b Al-Si Alloy Melt

LI Wei¹, LIN Zhao-fu¹, XU Hui¹, TANG Xiao-liang², LIANG Meng², YU Hong², SHI Han³, BAO You-yu³

(1. Chongqing Changan Automobile Co., Ltd., Chongqing 400023, China; 2. Chenzhi Technology Co., Ltd., Chongqing 402760, China; 3. Fengyang Aiersi Light Alloy Precision Forming Co., Ltd., Chuzhou 233100, Anhui, China)

Abstract:

Under the trend of automotive lightweighting, integrated die-casting technology has emerged as a critical research focus due to its high efficiency and economic advantages. Taking the JDA1b Al-Si die-casting alloy as an object, the nitrogen-based and argon-based continuous refining processes within an industrial integrated melting system were compared in this study. It is found through the SEM-EDS, the element analysis and the slag quantity detection that the nitrogen refining promotes the formation of large-sized heterogeneous particles, leading to impurity levels exceeding specified standards. In contrast, the argon refining effectively removes hydrogen and inclusions, suppressing the generation of endogenous AlN inclusions, and significantly enhancing aluminum melt cleanliness (specifically manifested as low inclusion content and low density equivalent). The investigation results demonstrate that the aluminum melt quality was jointly influenced by the element burning loss, the scrap returns purity, and the density equivalent, and among of them, the production stability, the scrap returns control, the scum removal, and the real-time density equivalent monitoring are critical control parameters. It is confirmed through this investigation that the argon refining is more in accordance with the stringent requirements for high-purity aluminum melt in the integrated die-casting applications, providing theoretical and experimental foundations for the process optimization.

Key words:

aluminum-silicon alloy; continuous argon refining; integrated melting; high-purity molten aluminum