

# ZL208 铝合金端盖熔模铸造工艺设计

陈复生

(新乡市航空锻铸有限公司, 河南新乡 453049)

**摘要:** 某航空气压调节器端盖采用ZL208铝合金, 经熔模铸造硅溶胶制壳工艺生产而成。通过设计合理的浇注系统、硅溶胶制壳工艺, 并采用蒸汽脱蜡及合适的焙烧工艺、熔炼浇注工艺、热处理工艺, 获得了尺寸精度高、内部质量好的铸件, 产品合格率达到85%以上。该工艺方法不仅操作简单, 且制壳时对环境无污染, 应用较为广泛。

**关键词:** ZL208合金; 浇注系统; 硅溶胶制壳; 熔炼浇注工艺; 热处理工艺

产品为航空用气压调节器端盖, 工作环境较为复杂, 要求具有较高的耐热强度, 能承受高温、高压下载荷的冲击。通过分析选用ZL208铝合金来制作。但该产品结构较为复杂, 壁厚变化较大, 且ZL208铝合金铸造性能较差<sup>[1]</sup>, 采用原来的石膏型、硅酸乙酯-水玻璃型壳熔模铸造时, 出现了疏松、呛气、浇不足等缺陷<sup>[2-3]</sup>, 产品合格率仅有30%, 且对环境污染较严重<sup>[4]</sup>。本研究通过对产品的结构、材料等进行分析, 决定对该产品硅溶胶制壳熔模铸造工艺进行研究, 通过设计合理的铸造工艺, 改善该产品的内外部质量, 提高产品的合格率, 并减少制壳时的环境污染。

## 1 铸件结构和合金特点

### 1.1 铸件结构

气压调节器端盖产品如图1所示。该产品轮廓尺寸为134 mm × 98 mm × 68 mm, 结构较为复杂, 壁厚变化较大, 最厚处壁厚为22 mm, 最薄处3 mm, 在铸造过程中3 mm壁厚处易产生冷隔、浇不足缺陷。

### 1.2 合金特点

气压调节器端盖所采用的ZL208合金, 合金牌号为ZAlCu5Ni2CoZr, 符合HB 962—2001标准<sup>[5]</sup>, 其化学成分如表1所示。该合金是高强耐热铝合金, 含有Cu、Mn、Ni、Co、Zr、Sb、Ti等合金元素, 成分较为复杂, 经T7处理后可形成复杂的化合物相, 存在于晶界, 阻止晶粒滑移而提高热稳定性, 其工作温度可达400 ℃, 但室温力学性能较低, 铸造性能较差。

## 2 浇注系统设计

浇注系统在熔模铸造过程中, 不仅起着合金液导流充型作用, 而且影响着铸件凝固时的温度场, 疏松、气孔等缺陷都与冒口的设计密切相关。原来浇注系统采用了顶注式, 局部过热且充型不稳, 易产生氧化夹渣, 出现呛气、疏松等缺陷。为解决上述问题, 在试制过程中, 铸件最厚大部位上部安放一个冒口, 采用底注和侧注结合的方式, 利用横浇道连通浇冒口和直浇道以及5个内浇道, 产品浇注系统如图2所示。内浇道增多, 不仅能适当降低浇注温度, 分散热量, 减少局部过热产生疏松缺陷, 还使得整个充型过程快速平稳, 减少浇不足缺陷的产生。并在其他厚大部位增加了冷铁, 显著减少了疏松缺陷。

作者简介:

陈复生(1967-), 男, 高级工程师, 从事铸锻造工艺及其热处理工作。电话: 0373-3381239, E-mail: cfs116@163.com

中图分类号: TG249.5

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2020)03-0297-04

收稿日期:

2019-07-23 收到初稿,  
2019-12-04 收到修订稿。

### 3 精铸工艺

#### 3.1 制作蜡型

##### 3.1.1 压制蜡模

采用C-162H型中温蜡作为模料，设备选用立式射蜡机，其中射蜡机主要工艺参数的设定如表2所示。准备好模具，按顺序装配压型，调整注蜡口使其对准设备注蜡嘴射蜡，充型结束后，模具冷却约1 min后取出蜡型，并立即放入常温水中冷却。

##### 3.1.2 修补蜡型

清理批缝、注蜡口等位置，使蜡模表面光滑、完整，并用卡尺测量蜡型尺寸，保证蜡模合格。

##### 3.1.3 蜡模组焊

组焊时，先组焊内浇口和蜡型，再组焊横浇道、直浇道和冒口，浇冒系统与蜡型连接处以R2-R5圆弧过渡。采用1%皂粉液清洗模组，去除模组表面油脂、蜡屑等杂物，然后再用清水清洗去除残留皂液，用风管吹后放置在蜡型架上晾干待用。组焊完成后的蜡模如图3所示。

#### 3.2 硅溶胶型壳的制备

##### 3.2.1 涂料的配制

刚玉粉涂料由粘结剂、刚玉粉、润湿剂、消泡剂组成<sup>[6]</sup>，粘度要求25~40 s。粘结剂为硅溶胶，浓度为30%；刚玉粉粒度 $\geq 320$ 目；涂料配比硅溶胶(kg)：刚玉粉(kg)：润湿剂(mL)：消泡剂(mL)为

10：20~30：20：10~20。涂料配制时应先加入硅溶胶，开动搅拌机使其旋转，再依次加入润湿剂、刚玉粉、消泡剂，混合均匀后用詹士杯测粘度，粘度过高时加入蒸馏水，过低时加入粉料进行调整。

莫来石粉涂料由粘结剂、莫来石粉组成<sup>[7]</sup>，粘度要求10~22 s。粘结剂为硅溶胶，浓度为30%；莫来石粉粒度 $\geq 320$ 目；涂料配比硅溶胶(kg)：莫来石粉(kg)为10：20~30。为了提高型壳的透气性，减轻铸件的表面氧化，可在莫来石粉涂料浆内加入适量的石墨粉。

##### 3.2.2 制壳

第一层挂浆、撒砂。从模架上取下模组，以30°左右角度缓慢浸入涂料浆液中，稍作旋转，然后快速取出，再次旋转使浆料在模组上旋转流动并将多余的浆料滴除，使模组均匀敷上一层薄浆，然后将涂料后

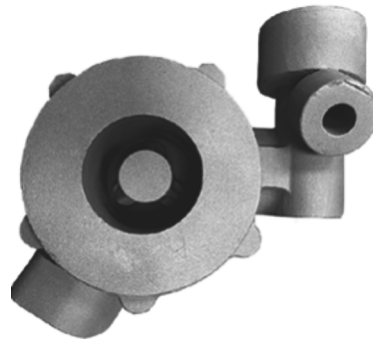


图1 端盖产品

Fig. 1 End cap structure

表1 ZL208合金化学成分  
Table 1 Chemical composition of ZL208 alloy

											$w_B/\%$	
Cu	Mn	Ni	Ti	Zr	Co	Sb	Ti+Co	Co+Sb	Si	Fe	Al	
4.5~5.5	0.2~0.3	1.3~1.8	0.15~0.25	0.1~0.3	0.1~0.4	0.1~0.4	$\leq 0.5$	$\leq 0.6$	$\leq 0.3$	$\leq 0.5$	余量	

的模组放入90目淋砂机中多个方向翻转，使表面均匀敷上一层刚玉砂，撒砂后挂在模架上自然干燥。

第二层挂浆、撒砂。为了增加型壳的强度、防止掉砂，挂浆之前先将型壳放入硅溶胶原液中浸胶，然后将浸胶后的型组进行第二层涂料的涂挂，并将挂浆后的型组放入装有30~60目莫来石的浮砂机中敷砂，敷砂后进行风干。

以同样的方法挂浆涂料第三、四、五、六层涂料，技术要求如表3所示，为了加强型壳强度和防止外层掉砂，第六层只挂浆，不进行撒砂。

##### 3.2.3 脱蜡

清理浇口端面，然后将端面放入沸水中荡洗。使用XHDJ系列电热蒸汽脱蜡釜进行脱蜡，脱蜡蒸汽压力在0.6~0.8 MPa之间，根据产品的结构，型壳的脱蜡时间控制在 $(10 \pm 0.5)$  min。脱蜡后检查型壳质量，型壳

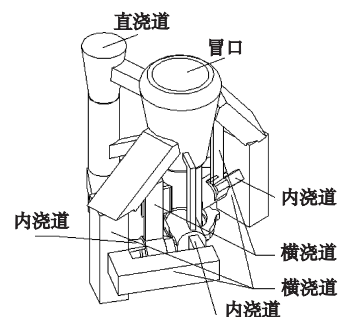


图2 产品浇注系统示意图

Fig. 2 Schematic diagram of product gating system

表2 射蜡机主要工艺参数  
Table 2 Main process parameters of wax ejector

蜡缸温度/°C	充型压力/(kg·cm <sup>-2</sup> )	保压时间/s
53.5 ± 1	30 ± 5	40

中的蜡液应脱净,浇口杯要整齐无裂纹,有细微裂纹的型壳,可用涂料进行修补,出现碎裂、成片剥落或裂纹超过0.5 mm的型壳应报废。

### 3.2.4 焙烧

型壳焙烧是为了去除残余的蜡料、水分及其挥发物。本研究采用台车式电阻炉对型壳进行焙烧,在低于500℃装炉,直线升温至(820±10)℃,保温(2±0.5)h。

## 3.3 熔炼及浇注工艺

### 3.3.1 原、辅材料

端盖的材质为ZL208。原材料为铸造铝合金锭、重熔锭、中间合金(AlCu50、AlMn10、AlSb4、AlCo5、AlNi10、AlZr4、AlTiB4、AlTi5)及纯铝锭,重熔锭用量不超过80%(重熔锭中杂质Fe≤0.4%);精炼剂为六氯乙烷(C<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>)和氩气复合精炼,六氯乙烷占合金液重量的0.6%,氩气流量为10 L/min。

### 3.3.2 合金熔炼

清理坩埚及工具上的锈迹、残渣氧化物、砂粒等污物,预热坩埚和工具到500℃,呈暗红色,然后均匀涂上一层涂料(25%滑石粉+6%水玻璃,余量为水),涂好的工具在使用前进行预热,预热温度为500℃,时间≥1h。

将按要求配好的预制合金锭、重熔锭、中间合金(AlMn10、AlCo5、AlNi10、AlZr4、AlTi5)加入炉内,待全部熔化后稍加搅拌,升温至(740±5)℃,加入AlCu50、AlSb4中间合金,熔化后搅拌3 min;然后将

合金液升温至(770±10)℃,搅拌(6±1) min;降温至740~750℃,加入已预热的铝钛硼进行细化处理,搅拌3 min。

为了保证除气质量,采用六氯乙烷和氩气除气机复合精炼,精炼时合金液温度为730~740℃,六氯乙烷分3~5次用钟形罩压入合金液。然后用氩气进行精炼,流量为10 L/min,时间为15 min。

氩气精炼后静置15 min撇渣,然后进行炉前除气检查。用小勺取合金液浇入铁模中,观察其表面状态,若合金液面凝固时没气泡冒出,表示合金内气体已经合格,合金液凝固时有许多小气泡冒出,凝固后显现出许多小凹点或小凸点表示合金未除气合格,需再进行除气。调整合金液至710~720℃,准备浇注。

### 3.3.3 合金浇注

在试验过程中采用了不同的浇注温度和型壳预热温度组合。经试验验证,较低的浇注温度和型壳预热

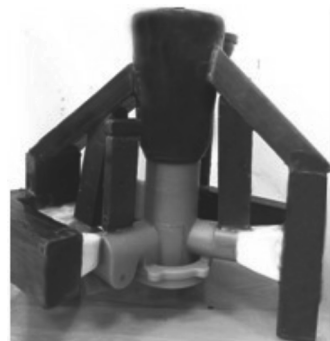


图3 组焊后蜡模

Fig. 3 Wax patterns after installing

表3 制壳用涂料及耐火材料  
Table 3 Coatings and refractories for shell making

层数	涂料种类	撒砂种类	干燥时间	温度/℃	湿度/%
面层(第1层)	刚玉粉涂料	90目刚玉砂	≥20 h(无风)	20~25	50~70
过渡层(第2、3层)	莫来石粉涂料	30~60目莫来石砂			
背层(第4、5层)	莫来石粉涂料	16~30目莫来石砂	≥6 h(强风)	20~28	30~70
封浆层(第6层)	莫来石粉涂料				

温度,铸件充型困难,冒口补缩不充分,会产生浇不足、冷隔缺陷;较高的浇注温度和型壳预热温度,铸件凝固时间长,会产生疏松缺陷。出壳数量多于4件时,铸件出现冷隔、浇不足缺陷较多,如图4所示。经过试验,确定了合理的工艺参数,如表4所示。

产品浇注采用重力浇注。从炉中取出型壳时,保持浇口朝下,将型腔内可能存在的杂物倒出,并用干燥的风管吹净型腔,为了浇注时固定型壳的位置,要借助砂子铺地辅助使型壳放平。浇注时要对准浇口,平稳、均匀而不间断地将金属液注入铸型,并保持浇口充满,不得断流,浇注至冒口1/2时停止浇注,视冒口凝固程度,重新舀取金属液点冒口。



图4 产品缺陷图

Fig. 4 Defect parts of products

铸件出箱时间 $\geq 8$  h, 铸件出箱后, 经清理残余型壳、切除冒口、高压水枪清理内腔、清理飞边毛刺和铝豆、打磨表面等过程后进行初检, 表面不允许有冷隔、裂纹、疏松和缩孔等缺陷。按照上述工艺参数进行生产, 产品每炉生产27件, 合格24件, 产品的合格率达到88.9%。铸件经低倍检查, 针孔度达到I级。

## 4 热处理工艺

检验合格后, 对产品进行T7热处理, 设备采用立式快速淬火炉。淬火温度 $(540 \pm 5)^\circ\text{C}$ , 保温时间5.5~6 h, 零件出炉至淬入水中间隔不大于15 s, 铸件在水中停留时间不得少于2 min。铸件淬火后放入时效炉中进行人工时效, 时效温度 $(215 \pm 5)^\circ\text{C}$ , 保温时间16~17 h (图5)。经理化检测, 抗拉强度达到284 MPa, 伸长率达到2.6%。

## 5 结论

(1) 制壳过程中, 第1层的干燥时间必须控制在无风的情况下干燥20 h以上, 第2~6层制壳过程中, 必须在强风的情况下干燥6 h以上;

(2) 浇注温度控制在 $(715 \pm 5)^\circ\text{C}$ , 型壳温度控制在 $(450 \pm 5)^\circ\text{C}$ , 出壳数量 $\leq 4$ 个时, 能有效避免产品出现冷隔、疏松等缺陷;

(3) 淬火温度控制在 $(540 \pm 5)^\circ\text{C}$ , 保温

### 参考文献:

- [1] 王社丽, 郑端. ZL208铝合金壳体铸件疏松缺陷分析及工艺改进[J]. 铸造技术, 2012, 33(2): 242-243.
- [2] 王狂飞, 李早, 周志杰, 等. 铝合金石膏型精铸呛火预防措施[J]. 铸造, 2017, 66(8): 831-834.
- [3] 轩敏鑫, 林亮, 秦秀丽. ZL208合金作动筒壳体石膏型低压铸造工艺设计[J]. 铸造, 2018, 67(10): 929-932.
- [4] 张玉林. 水玻璃型壳熔模铸造制壳工艺的环保化改进[C]// 2014中国铸造活动周论文集, 2014: 6.
- [5] 国防科学技术工业委员会. 铸造铝合金: HB 962-2001[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [6] 吴代建, 李锐, 何敬德, 等. 石英粉-硅溶胶面层涂料工艺性能改善研究[J]. 铸造, 2018, 67(3): 261-264.
- [7] 王萍萍. 铝、镁合金消失模铸造涂料的制备及其性能研究[D]. 太原: 中北大学, 2017.

表4 浇注工艺参数  
Table 4 Casting parameters

项目	型壳温度 / $^\circ\text{C}$	保温时间 /h	浇注温度 / $^\circ\text{C}$	出壳数量 /个	浇注时间 /s
改进前	$480 \pm 5$	$\geq 2$	$730 \pm 5$	8	8~10
改进后	$450 \pm 5$	$\geq 2$	$715 \pm 5$	$\leq 4$	5~8

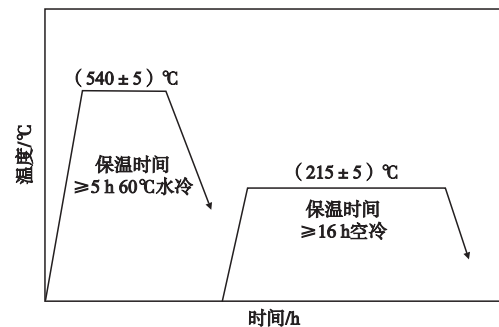


图5 热处理工艺图

Fig. 5 Heat treatment process chart

时间5.5~6 h, 转移时间 $\leq 15$  s, 时效温度控制在 $(215 \pm 5)^\circ\text{C}$ , 保温时间16~17 h时, ZL208合金的抗拉强度 $\geq 280$  MPa、伸长率 $\geq 2\%$ ;

(4) 通过设计合理的浇注系统并严格控制硅溶胶制壳工艺生产过程, 有效提高了该产品尺寸精度和内部质量, 使产品的合格率达到85%以上。但是合格率仍有待提高, 后续需改进工艺方法, 如采用真空浇注等工艺, 提升产品质量和合格率。

## Investment Casting Process of ZL208 Alloy End Caps

CHEN Fu-sheng

(Xinxiang Aviation Forging and Casting Co., Ltd., Xinxiang 453049, Henan, China)

### Abstract:

The end cap of a certain aeronautical air pressure adjuster, made of ZL208 aluminium alloy, is produced by silica sol investment casting process. Through adopting reasonable pouring system, silica sol shell-making process, steam dew-axing, and suitable roasting process, melting pouring process and heat treatment process, the castings with high dimensional accuracy and good internal quality are obtained. And the qualified rate of products is over 85%. The process is widely used because of simple operation and environmentally friendly and no pollution to the environment during making shells.

### Key words:

ZL208 alloy; gating system; silica sol shell making; smelting pouring process; heat treatment process