

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.02.011

ZL205A 高强度铝合金薄壁壳体铸造工艺研究

陈复生, 秦秀丽, 陈 明

(新乡市航空锻铸有限公司, 河南 新乡 453049)

摘 要:某航空壳体铸件为 ZL205A 铝合金, 其壁厚不均, 最小壁厚 2.2 mm。根据其结构特点及合金性能, 确定了砂型铸造生产工艺, 设计了合理的开放式浇注系统, 优化了造型、制芯、熔炼、浇注及热处理工艺参数。结果表明, 厚大部位放置冒口、冷铁; 砂芯烘烤温度为 300 ± 10 °C, 保温 2 h; 采用六氯乙烷 (C_2Cl_6) 和氩气复合精炼; 浇注温度控制在 735 ± 5 °C; 热处理采用分段加热的方式时, 可获得符合要求的薄壁 ZL205A 高强度铝合金优质铸件。

关键词: ZL205A 合金; 薄壁铸件; 铸造工艺

中图分类号: TG292

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2021)02-0117-04

Research on Casting Process of ZL205A High Strength Aluminum Alloy Thin-walled Casting

CHEN Fusheng, QIN Xiuli, CHEN Ming

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

Abstract: The casting of an aero shell was ZL205A aluminum alloy with uneven wall thickness, the minimum wall thickness was 2.2 mm. According to its structural characteristics and alloy properties, the sand casting process was determined, a reasonable open gating system was designed, and the process parameters of molding, core making, smelting, pouring and heat treatment were optimized. The results show that the riser and cold iron are placed in the thick part. The core was baked at 300 ± 10 °C for 2 h. Using hexachloroethane (C_2Cl_6) and argon composite refining; The pouring temperature is controlled at 735 ± 5 °C; The high quality casting of thin wall ZL205A high strength aluminum alloy can be obtained when the heat treatment is performed by the way of section heating.

Key words: ZL205A alloy; thin-walled castings; casting process

ZL205A 合金是一种铝-铜-锰系高强度铸造铝合金, 它加入 Cu、Mn、Ti、Cd、Zr、V 和 B 等合金元素, 具有强度高、塑性好、硬度高、机械加工性优良等优点, 广泛应用于航空航天领域, 如飞机、导弹、卫星、兵器、雷达等, 化学成分见表 1^[2]。

但该合金的铸造工艺性能一般, 成分较为复杂, 其结晶温度范围较宽, 难以实现顺序凝固, 铸造性能较差, 壁厚敏感性大, 热裂倾向大, 较易产生缩孔、疏松、热裂等铸造缺陷^[1]。因而对壁厚差较大, 最小壁厚处较薄的壳体类零件的铸造工艺研究, 具有较高的实用价值。

1 铸件的结构特点及技术要求

1.1 铸件的结构

气压电动调节阀壳体产品如图 1 所示。该产品

选用 ZL205A 合金, 单重 0.4 kg, 外形最大轮廓尺寸 $85.5 \text{ mm} \times 78.5 \text{ mm} \times 74.5 \text{ mm}$, 内腔最厚处为 26 mm。如图 1 中 A 所示。外形壁厚为 2.2 mm, 如图 1 中 B 所示; 内腔厚大处不方便设置冒口进行补缩, 并有 3 个 7 mm 的筋和外圆连接, 连接处又形成热节。两端面为装配面, 组织性能要求高。该铸件在铸造过程中容易出现欠铸、疏松缺陷。

1.2 铸件的技术要求

壳体铸件所用 ZL205A 合金化学成分要符合 HB962-2001 标准, 经 T6 处理后, 要求抗拉强度 $R_m \geq 490 \text{ MPa}$, 伸长率 $A \geq 3\%$, 布氏硬度 $HB \geq 120$ ^[2]。100%进行 X 光检查, 内部不允许有冷隔、裂纹, 圆形针孔不允许超过 4 级, 长形针孔不允许超过 2 级, 海绵疏松和分散疏松不允许超过 2 级; 低倍检查针孔度要求 2 级以上; 荧光检查表面不允许有裂纹、疏松、氧化夹渣等缺陷。

2 铸件工艺方案设计

因产品采用 ZL205A 合金, 合金流动性较差, 且内腔较为复杂, 故采用砂型型板造型、重力浇注铸造

收稿日期: 2020-11-24

作者简介: 陈复生(1967-), 河南新乡人, 高级工程师。主要从事铝合金材料及成形工艺方面的工作。

电话: 0373-3381239, E-mail: cfs116@163.com

表1 ZL205A合金化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition of ZL205A alloy

合金牌号	合金代号	主要元素				
		Cu	Mn	Ti	其他	Al
ZAlCu5MnCdVA	ZL205A	4.6~5.3	0.3~0.5	0.15~0.35	0.15~0.25 Cd 0.05~0.20 Zr 0.005~0.060 B 0.05~0.30 V	余量

工艺对该产品较为适合,主要工艺流程如图 2。

2.1 壳体型芯的制备

该产品内腔较为复杂,尺寸精度要求较高,为了形成符合要求的壳体内腔,采用覆膜砂制备 2 个芯子,试制时发现产品内腔厚大部位出现了严重疏松,为了决此问题,在芯子厚大部位安放了钢制冷铁,在极易出现缩松的部位增加了激冷砂,加快厚大部位的冷却速度,使晶粒细化,组织致密,如图 3、图 4 所示。通过试验验证发现制芯时烘烤温度 380±10 °C,保温时间 15 min;二次补烘温度 300±10 °C,保温时间 2 h 时,可以使芯子具有足够的强度和较小的发气量,故而能形成产品复杂的内腔,且能防止产品浇注过程中出现呛火。

2.2 壳体浇注系统工艺设计

浇注系统起着把合金液体金属引入型腔的作用,要求充型平稳,避渣效果好,且不易卷入气体。

根据该薄壁铸件的合金特点及其充型要求,采用中注开放式浇注系统较为合理,浇注系统最小截面比取 $F_{直}:F_{横}:F_{内}=1.0:2.0:2.5^{[3]}$,浇注系统阻流截面直浇道截面积 $F_{直}$ 按下列公式计算^[4]:

$$F_{直}=0.11G$$

式中, $F_{直}$ 为直浇道最小截面积,cm²;G为铸件毛重,kg。

该铸件 $G=6\text{ kg}$, 则 $F_{直}=0.66\text{ cm}^2$, $F_{横}=1.32\text{ cm}^2$, $F_{内}=1.65\text{ cm}^2$,直浇道采用底部尺寸为 $\phi 9\text{ mm}$ 的圆锥形直浇道,下部与横浇道连接处安放不锈钢过滤网,减少氧化夹渣进入型腔,防止夹渣缺陷的产生。横浇道采用梯形截面,内浇道采用厚度逐渐减小的缩口形式,保证充型速度,对铸件重要部位两端和厚大部位处以及筋与外圆形成的热节处安放 4 个冒口进行补缩,防止疏松缺陷的产生。根据 ZL205A 壳体铸件整体壁厚分布和合金凝固特性,铸件浇注温度选取为 725~735 °C。浇注系统工艺布置图如图 5。

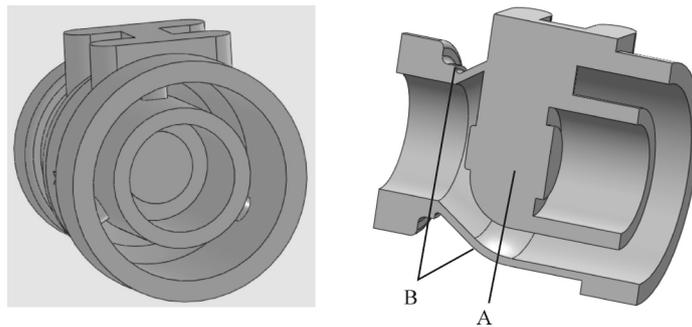


图 1 气压电动调节阀壳体
Fig.1 Pneumatic electric control valve casing

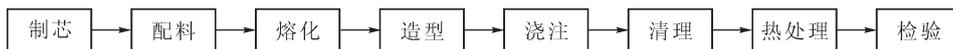


图 2 铸件生产工艺流程图
Fig.2 Flow chart of casting production process

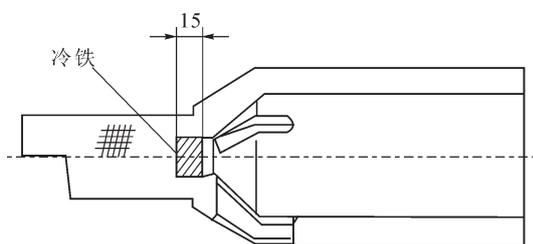


图 3 1 号芯示意图
Fig.3 Schematic diagram of core 1

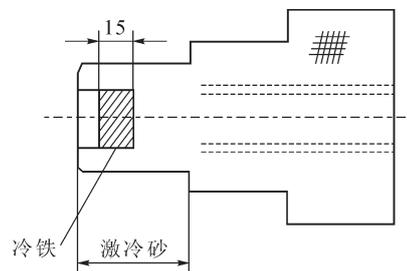


图 4 2 号芯示意图
Fig.4 Schematic diagram of core 2

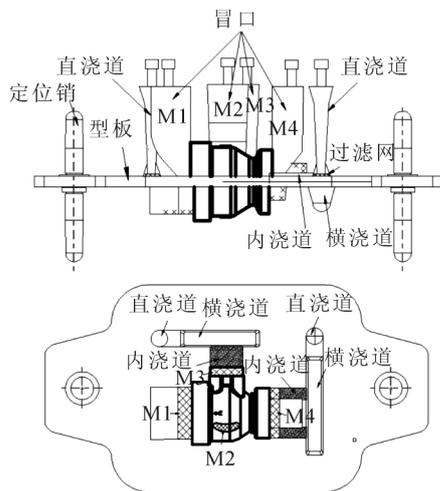


图5 浇注系统工艺布置图
Fig.5 Layout of gating system

3 壳体铸造生产的控制

3.1 原辅材料

原材料采用预制合金锭(ZLD205A)、回炉料、高纯度铝基中间合金,即铝铜(AlCu50A)、铝锰(AlMn10A)、铝钛(AlTi5A)、铝锆(AlZr4A)、铝钛硼(AlTi4BA)、铝钒(AlV4A)、纯金属镉(Cd)和精铝锭。合金熔化配料成分 w (%)为:5.0% Cu,0.45% Mn,0.28% Ti,0.16% Zr,0.032% B,0.20% V,Si \leq 0.06%,Mg \leq 0.05%,Fe \leq 0.15%,Al余量。精炼剂为六氯乙烷(C_2Cl_6)和氩气复合精炼,六氯乙烷占合金液总重量的0.6%,氩气流量为0.7~1.0 m³/h。

3.2 合金熔炼

该合金中合金元素种类多,各种合金元素含量要求严格,在熔炼过程中易出现合金元素偏析现象,影响产品性能。此外Cu原子比重较大,溶质原子在熔融状态下扩散能力较差,在铸造过程中易产生宏观偏析,产生成分严重不均匀,导致铸件性能不稳定。同时合金中杂质元素控制要求严格,稍不注意杂质元素就可能超标,导致性能下降,ZL205A合金对杂质元素的控制非常严格,远高于常用的其他铝合金,如Fe的含量 \leq 0.15%,其他杂质总量 \leq 0.10%。

该合金采用高纯度铝锭和中间合金作为原材

料,故要求对熔炼过程严格控制,Fe作为合金中最为有害的元素,在熔炼过程中为减少增铁现象,要吹砂净化炉料和熔化工具,并保持环境干燥,对坩埚和工具进行表面防护,预热坩埚和工具到500℃,呈暗红色,然后均匀涂上一层涂料,涂好的工具在使用前进行预热。

将配好的预制合金锭、回炉料、中间合金(铝锰、铝钒、铝钛、铝锆)加入炉内,待全部熔化后稍加搅拌,升温至700℃ \pm 10℃,加入铝铜、金属镉,熔化后搅拌3 min;然后将合金液升温至750℃ \pm 10℃,加入已预热的铝钛硼进行细化处理,搅拌10 min。

为了保证合金质量,采用六氯乙烷和氩气复合精炼除气,可以有效的减少合金中的气体和氧化夹杂,同时可以避免熔炼过程中出现合金元素偏析现象。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0.7~1.0 m³/h,时间为30 min。

氩气精炼后静置20 min撇渣,然后进行炉前除气检查:用小勺取合金液浇入锭模中,观察其表面状态,若合金液面凝固时没气泡冒出,表示合金除气已经合格;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除气不合格,需再进行除气。除气合格后,调整合金液至725~735℃,浇注成分试块和力学性能试棒后准备浇注。

3.3 合金浇注

将造好的上下箱合箱组型,采用重力浇注,浇注时对准浇口,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,浇至冒口高度1/2时停止浇注,视冒口凝固情况,重新舀取金属液点冒口。浇注完毕后,铸件于砂箱中冷却 \geq 30 min,方可开箱取出铸件。按照上述工艺进行多个批次的生产,铸件低倍检查针孔度达到了I级,经X光、荧光检查合格率达到90%以上,化学成分见表2。

经过几个炉批合金熔化可以发现,按照同样的配料工艺和熔炼工艺所得到的合金化学成分略有偏差,但都符合标准的规定,因此可以确定合金配料和熔炼工艺能够有效地指导生产。

表2 部分批次化学成分表 w (%)

Tab.2 Chemical composition of some batches

炉批号	Cu	Mn	Ti	Cd	Zr	B	V	Fe	Si
20-561	5.2	0.43	0.27	0.22	0.15	0.02	0.18	0.001	0.015
20-562	5.1	0.43	0.26	0.21	0.14	0.01	0.19	0.001	0.015
20-563	5.1	0.42	0.28	0.21	0.15	0.01	0.17	0.001	0.018
20-564	5.2	0.42	0.27	0.22	0.14	0.02	0.19	0.001	0.017
标准	4.6~5.3	0.3~0.5	0.15~0.35	0.15~0.25	0.05~0.20	0.005~0.06	0.05~0.30	\leq 0.15	\leq 0.06

4 壳体铸件热处理控制

热处理工艺一般包括加热、保温、冷却 3 个过程,这些过程互相衔接,不可间断。加热是热处理的重要工序之一,将合金加热至高温单相区恒温保持,使过剩相充分溶解到固溶体中,然后快速冷却,以得到过饱和固溶体的热处理工艺,目的是使合金中各种相充分溶解,强化固溶体,并提高韧性及抗蚀性能,消除应力与软化,以便继续加工或成型。合金在热处理时,各项工艺参数必须严格控制,才能保证产品的性能指标符合要求。

合金的组织 and 性能密切相关,改变合金组成相的数量、大小、形态和分布,便可以调整材料的各项性能,获得所需的性能指标。热处理正是通过影响材料的微观组织达到影响材料性能的目的。T6 状态就是要析出大量的 θ' 相和少量的片状 θ' 相,这种结构的配合使合金的强度达到最高。设备采用立式快速淬火炉,炉温均匀性 $\leq 3^\circ\text{C}$,毛坯室温装炉,不允许超过 300°C ,由于铸造时 ZL205A 合金会存在低温点共晶产物,升温到固溶温度的时间控制在 2~5 h。热处理采用分段加热:(375 ± 5) $^\circ\text{C}$,保温 1.5 h;(470 ± 5) $^\circ\text{C}$,保温 1.5 h;(530 ± 5) $^\circ\text{C}$,保温 1 h;(538 ± 5) $^\circ\text{C}$,保温 16 h。淬火水温必须低于 60°C ,淬火转移时间不大于 15 s,试棒放入毛坯中间加热,减少淬火前的热损失,同时淬入水中,停留时间不少于 5 min。铸件淬火后进行人工时效处理,T6 处理时效温度(175 ± 5) $^\circ\text{C}$,保温时间 5.5 h,如图 6。

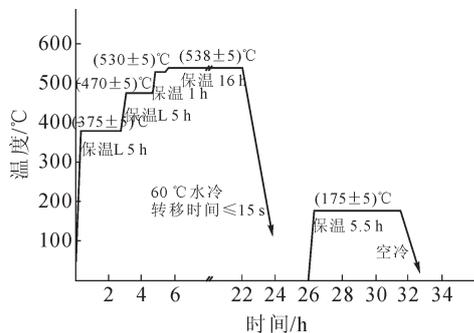


图 6 热处理工艺图

Fig.6 Schematic diagram of heat treatment process

生产的几个批次试样经理化检测合金的力学性能如表 3。

通过上表可以看出,合金的抗拉强度、伸长率和布氏硬度都高于标准规定要求,说明确定的热处理工艺可行。

表3 部分批次力学性能表

Tab.3 Mechanical properties of some batches

炉批号	力学性能 R_m /(N/mm ²)	伸长率 A(%)	布氏硬度 (HB)
20-561	509	10.4	156
	499	11.6	153
20-562	503	13.0	147
	494	12.8	150
20-563	495	16.8	148
	495	17.2	145
20-564	502	11.7	151
	496	13.5	149
标准	≥ 490	≥ 3	≥ 120

5 结论

(1)通过试验验证发现,采用覆膜砂制芯时,烘烤温度(380 ± 10) $^\circ\text{C}$,保温时间 15 min;二次补烘温度(300 ± 10) $^\circ\text{C}$,保温时间 2 h 时,可以使芯子具有足够的强度和较小的发气量。

(2)浇注系统采用开放式,在厚大部位及热节处安放冒口和冷铁能有效的避免产品出现疏松、夹渣等缺陷。

(3)ZL205A 合金熔炼时,采用六氯乙烷(C_2Cl_6)和氩气复合精炼,能使合金除气较为彻底,合金针孔度达到 1 级,六氯乙烷占合金液总重量的 0.6%,氩气流量为 0.7~1.0 m^3/h 。

(4)最小壁厚为 2.2 mm 的 ZL205A 铸件,合金的浇注温度控制在 $730\pm 5^\circ\text{C}$ 时,能浇注成合格的铸件。

(5)ZL205A 铸件热处理采用分段加热: $375\pm 5^\circ\text{C}$,保温 1.5 h; $470\pm 5^\circ\text{C}$,保温 1.5 h; $530\pm 5^\circ\text{C}$,保温 1 h;(538 ± 5) $^\circ\text{C}$,保温 16 h。淬火水温低于 60°C ,转移时间不大于 15 s,人工时效处理温度 $175\pm 5^\circ\text{C}$,保温时间 5.5 h 时,力学性能符合标准要求。

参考文献:

[1] 罗传彪,樊振中,洪润洲. ZL205A 高强度铝合金大型支架铸件的研制[J]. 特种铸造及有色合金, 2013, 33(6):574-577.
 [2] HB962-2001. 铸造铝合金[S].
 [3] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造工艺, 铸造手册 [M]. 北京:机械工业出版社, 2003.
 [4] 杜旭初,洪润洲,罗传彪,等. 高强度 ZL205A 铝合金壳体铸件铸造工艺要点[J]. 铸造技术, 2010, 31(3):329-331.