

异构骨架砂型铸造工艺设计及生产验证

李燕霞, 刘畅, 白日新

(河北汉光重工有限责任公司, 河北邯郸 056028)

摘要: 异构骨架材质为ZL104, 内腔结构复杂。根据其结构特点, 采用手工造型砂型铸造方法对铸造工艺进行设计。通过实际生产验证, 铸件内、外部质量达到技术指标的要求, 获得了合格的铸件, 证明了工艺方案的合理性和可行性。

关键词: 异构骨架; ZL104; 砂型铸造; 工艺设计

铸造铝合金具有价格低廉、力学性能和铸造性能良好、大小批量均适用等诸多优点, 一直是武器装备研发中的热点。近年来武器装备轻量化要求的提出, 对具有高强度、良好耐磨、耐腐蚀的铸造铝合金的需求越来越迫切。随着铝合金铸造工艺的逐渐成熟, 铸造铝合金在舰船装备中的应用也越来越多。舰炮和导弹发射装置等武器装备的控制柜、架体、箱体等诸多铸件均采用了铸造铝合金材料^[1]。

1 铸件技术要求及结构特点

1.1 技术要求

异构骨架要求材质为ZL104, II类铝合金铸件, T6热处理状态。根据国家标准GB/T1173—2013铸造铝合金的要求, 铸件化学成分必须满足表1要求, 铸件力学性能必须满足表2要求。铸件机械加工面较多, 加工后表面质量需满足II类铸件标准要求。

1.2 结构特点

异构骨架铸件毛坯重量约58 kg, 最大外轮廓尺寸为1 150 mm × 660 mm × 300 mm, 主体壁厚11 mm, 局部壁厚18 mm, 如图1所示。铸件整体呈对称结构, 加强筋较多, 加强筋交叉处、铸件壁交接处、凸台位置容易产生缩松、缩孔等缺陷; 铸件空腔结构较复杂, 壁薄镂空会影响金属液充型, 且砂芯设计难度较大。ZL104铝合金具有良好的铸造性能、抗蚀性和切削性能, 强度和硬度一般, 需要通过T6热处理来进一步提高铸件力学性能^[2]。

作者简介:

李燕霞(1988-), 女, 硕士, 工程师, 从事铸造工艺及模具设计工作。E-mail: liyanxia_120@163.com

中图分类号: TG292

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2021)

05-0590-04

收稿日期:

2020-12-15 收到初稿,

2021-01-25 收到修订稿。

表1 铸件化学成分要求

Table 1 Chemical composition requirements of casting

w_B /%

Si	Mg	Mn	Fe (S)
8.0 ~ 10.5	0.17 ~ 0.35	0.2 ~ 0.5	≤0.6

表2 铸件力学性能要求

Table 2 Mechanical properties requirements of casting

热处理状态	抗拉强度/MPa	伸长率/%	硬度HB
淬火+人工时效	≥225	≥2	≥70

2 工艺设计

2.1 造型方案

异构骨架结构复杂，具有多处角度和圆弧面结构，更适宜采用手工进行组芯造型。造型材料选择呋喃树脂砂。砂型表面采用醇基涂料涂抹均匀，并进行点火烘干。

造型时将冒口、浇口杯设置在上箱。浇注系统设置在砂芯中，各砂芯组合成整体芯，砂芯外使用湿型砂和砂箱紧固。底箱作为基准平面，使用前进行平面校准。

2.2 模具

模具材质为红松，各芯盒采用拆分式的结构，便于起模。起模方向设置起模斜度，加工余量设置为5 mm，收缩率取1.2%。

2.3 防变形设计

在铸件两侧面位置设置工艺筋，如图2所示，一方面，防止铸件敞口角度在浇注、清砂及热处理的过程中产生变形；另一方面，可以加强浇注时两侧臂之间的铝液流动，保证金属液充型顺畅。此外，该工艺筋还可作为机械加工工艺台，方便机械加工时装卡，在机械加工完成后边切削去除。

2.4 砂芯

异构骨架结构复杂，腔体较多，内部分布有交叉的加强筋，直接造型极为困难，因此采用砂芯。铸件多处角度、圆弧结构增大了砂芯分型和定位难度。铸件整体厚度尺寸较大，如采用整体外皮，敲击取模时容易损坏模样，甚至造成砂芯变形，且这种方法在下芯时不易测量组合尺寸，操作难度较大，不利于铸件尺寸一致性的保持。综合考虑后决定采用砂芯组合的形式进行造型，砂芯方案见图3。

根据砂型不同作用可将各个砂芯分为三类：第一类，中心芯，这类砂芯主要形成的是铸件的外形，是砂芯中的关键部分，对于铸件的形状尺寸都具有重要的作用；第二类，浇注系统砂芯，这类砂芯的主要作用在于承载了浇注系统；第三类，贴皮芯，这类砂芯围合在中心芯周围形成外皮。砂芯组合造型的关键在于砂芯之间定位必须明确，保证位置准确。各砂芯依靠彼此之间的定位结构组成整体砂芯，砂芯组合造型后利用砂箱及湿型砂进行紧固定位，防止各砂芯因金属液的流入而涨裂变形^[3]。

2.5 浇注系统

将铸件横向放置，为了快速平稳充型，保证金

属液充型顺畅，采用两侧隙缝式浇注方法。这种浇注方法的优点是，浇注时液流沿铸型高度方向自下而上顺序通过缝隙浇口，平稳充填铸型，既有利于排气排渣，又具有自下而上顺序凝固条件，有利于冒口及时补缩^[4]。

考虑到砂型铸造易产生夹杂，所以采用半封闭式浇注系统。设置专用浇注系统，直浇道、横浇道、内浇道总截面积比为 $\sum F_{直} : \sum F_{横} : \sum F_{内} = 1 : 4.7 : 1.7$ ^[5]，隙缝浇道中圆柱尺寸为 $\Phi 35$ mm，厚度与壁厚相同。横浇道截面设计为梯形，总截面面积为 26.5 cm^2 ，多段搭接，搭接处设置过滤网，一方面降低铝液对铸型的冲击力，防止冲砂；另一方面，可以避免铝液产生紊流，发生卷气。

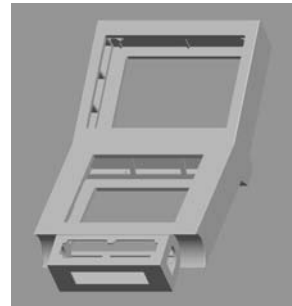


图1 异构骨架结构图

Fig. 1 Heterogeneous skeleton

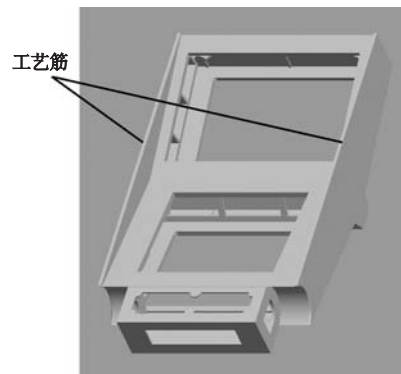


图2 工艺筋设计

Fig. 2 Process bars design

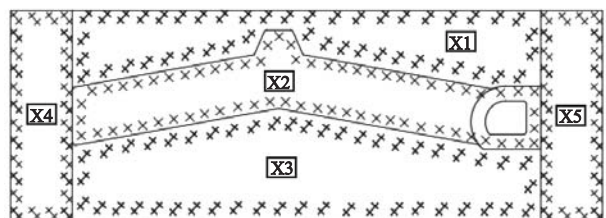


图3 砂芯设计图

Fig. 3 Sand cores design

2.6 补缩系统

采用热节圆法（即 $\Phi_{冒}=1.2\Phi_{热节圆}$ ）在各个热节部位设置13个排气补缩冒口，分别排布在铸件顶部，如图4所示。全部采用明冒口，有利于金属液在充型过程中的排渣、排气及液态补缩。在铸件底部及凸台厚大处放置冷铁，一方面保证由下向上的顺序凝固方式；另一方面加强厚大处的补缩，避免该处出现缩孔缩松等缺陷^[6]。冷铁选择与铸件同材质，冷铁形状根据冷铁安放位置铸件形状确定。

3 生产验证

按照工艺设计方案进行一型一件的工艺布局。造型操作前工艺人员对模具结构、尺寸及配合性进行检查，确定无误后投入生产。造型操作前对模具涂抹脱模剂，涂抹要适量、均匀，彻底晾干后制备砂芯。浇注速度控制在18~20 s内，整个铸造过程稳定。浇注结束8 h后进行淬火热处理和完全人工时效热处理操作。

3.1 熔炼工艺

采用中频感应电炉对铝合金进行熔炼，当温度达到710℃时，将铝液倒入电阻保温炉内，升温到680~700℃时补充镁块，之后进行精炼、变质处理。处理完成后在炉前采用纯净铝液制作试块，冷却凝固后进行光谱分析检测，确定化学成分合格后以备浇注。采用吊包浇注，控制浇注温度于690~700℃范围内。

3.1.1 精炼处理

精炼的主要目的是清除熔液内的气体和非金属夹杂物，均匀合金成分。精炼温度为710~735℃。将占炉料重0.15%~0.2%经干燥的精炼熔剂放入铝液中。精炼15 min后扒去表面熔渣。精炼过程并不能完全去除铝液中的气体，还需要进行二次除气操作，精炼完成后静置15 min，再使用精炼机进行15 min的除气，该操作中只通气，不通粉。

3.1.2 变质处理

变质的目的是细化晶粒，提高铸件性能。铝液达

到规定变质温度720~730℃后进行变质处理。称取新料量0.2%~0.6%的铝锶变质剂，彻底干燥后压入铝液中。铝锶变质可优化共晶硅形态及分布，改善力学性能，提高铝液流动性。变质40 min后方可浇注。变质处理完成后对变质效果进行判定，合金液呈光亮的镜面，浇注试棒时，断口呈银白色，组织细小如丝绒状证明变质良好。

3.2 热处理工艺

铸件在热处理前应清砂，去除浇冒口，且保证表面洁净、无油污及其他腐蚀性物质，不允许有扭曲、裂纹、夹砂等宏观缺陷。

3.2.1 淬火处理

采用较大型下落式淬火炉对铸件毛坯进行淬火处理，设置保温温度为 (535 ± 5) ℃，保温时间为6 h，冷却介质为60℃热水。装炉时，零件应合理堆放，不允许在其角度方向上方放置重物，以免变形；保证风路畅通，使零件受热条件和冷却条件基本一致。淬火处理完成后及时对铸件进行基本的尺寸测量，并进行校形。

3.2.2 时效处理

淬火处理完成后的铸件经至少8 h室温放置后方可进行人工时效处理。采用台式时效炉对铸件进行时效处理，设置保温温度为 (175 ± 5) ℃，保温时间为10 h，保温结束后采用空气冷却。时效处理结束，对铸件尺寸进行检测，随炉试料进行力学性能测试。

4 检验结果

经检验铸件毛坯整体质量良好，轮廓清晰，内外表面平整，未发现裂纹、缩孔、缩松、冷隔等铸造缺陷。局部分型面出现轻微批缝，打磨清理即可，如图5所示。对随炉试样进行检验，铸件化学成分检测结果符合技术条件要求，如表3所示；力学性能检测结果符合技术条件要求，如表4所示。通过后后期机械加工检验，铸件尺寸合格，且已加工面无目视缺陷，已经通过客户联合验收。

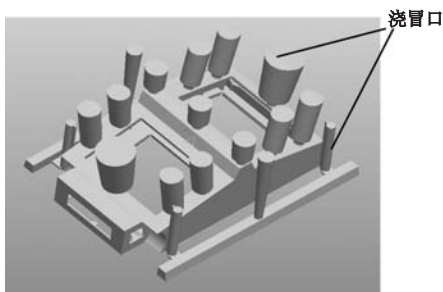


图4 铸造工艺图

Fig. 4 The 3D casting process diagram



图5 铸件实物图

Fig. 5 Produced heterogeneous skeleton casting

表3 化学成分检测结果

Table 3 Chemical composition testing results

	$w_B/\%$		
Si	Mg	Mn	Fe (S)
9.85	0.26	0.27	0.15

表4 力学性能检测结果

Table 4 Mechanical properties testing results

热处理状态	抗拉强度/MPa	伸长率/%	硬度HB
淬火+人工时效	288	3.2	98.5

5 结论

(1) 两侧缝隙浇注方法的使用, 有效避免了薄壁铸件在浇注过程中产生的液流不稳的现象, 充型充分, 有利于补缩和排气, 有效控制铸件质量。

(2) 砂芯组合的形式相较于外皮形式, 在下芯时

更容易测量检查, 有利于保证铸件尺寸一致性。

(3) 实际生产验证后获得了合格的铸件, 证明了此工艺方案的合理性和可行性, 为今后研制更加复杂的多角度异构骨架铸件打下了坚实的基础。

参考文献:

- [1] 陈延伟, 刘佳琳, 赵亚鹏. 铸造铝合金在舰船装备应用中存在的问题及发展趋势 [J]. 铸造. 2020, 69 (4): 329-334.
- [2] 李念奎, 凌泉, 聂波, 等. 铝合金材料及其热处理技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2012.
- [3] 李燕霞. U型支架铸造工艺设计 [J]. 铸造. 2020, 69 (1): 89-92.
- [4] 铸造用模手册编写组. 铸造用模手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [5] 柳百成, 黄天佑. 铸造成形手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [6] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册: 铸造工艺 [M]. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 2002.

Design and Production Verification of Heterogeneous Skeleton Sand Casting Process

LI Yan-xia, LIU Chang, BAI Ri-xin
(Hebei Hanguang Industry, Co., Ltd., Handan 056028, Hebei, China)

Abstract:

The heterogeneous skeleton made of ZL104 has complex internal cavities. According to its technical requirements and structure characteristics, the manual sand mold casting method was adopted and the casting process was designed. The actual production was performed to validate the rationality and feasibility of the process scheme. The testing results indicate that the internal and surface quality of the castings can meet the requirements of the technical indicators, and the qualified castings have been obtained.

Key words:

heterogeneous skeleton; ZL104; sand casting; process design