

全金属型铸造技术在齿轮箱铝铸件生产的应用

刘 怡 解西锋
(成都中电锦江信息产业有限公司)

摘 要 通过对齿轮箱的箱体和箱盖两种铸件结构的分析,选用全金属型重力铸造工艺生产。采用“缩管法”冒口设计理论和“均温法”金属型设计理论,确定适合的铸造工艺及金属型参数。针对齿轮箱铸件在设计和生产中存在的问题提出解决方案,实现了铸件的正常生产。与砂型铸造和配砂芯金属型铸造比较,薄壁铝合金铸件全金属型铸造优点明显。

关键词 金属型铸造;齿轮箱体;薄壁铝铸件

中图分类号 TG249.3 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2022.07.025

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of All-metal Mold Gravity Technology in Gearbox Aluminum Alloy Castings

Liu Yi, Xie Xifeng

(Process Technology Department of CEC Jinjiang Info Industrial Co., Ltd.)

Abstract: Through structure analysis of body and cover of gearbox, all-metal mold gravity casting process was selected to determine the appropriate process and metal mold parameters based on riser design theory of “shrinkage pipe method” and metal mold design theory of “temperature equalization method”. In view of the problems existing in the design and production of gearbox castings, solutions were put forward to realize the normal production of castings. Compared with sand mold casting and metal mold casting with sand core, all-metal mold casting has superior advantages for thin-wall aluminum alloy castings.

Key Words: Metal Mold Casting, Gearbox Body, Thin-wall Aluminum Alloy Castings

在载荷相对较小但是有轻质要求的机械产品中,铝合金变速箱是一个很好的选择。铸造铝齿轮箱采用砂型铸造生产时易出现铸件内外品质差、成本高等问题;采用压铸工艺生产铝合金变速箱存在孔洞缺陷几率高,设备、模具投入和运行费用高,不易实现经济型批量生产等问题。而采用金属型重力铸造生产(硬模件),由于其力学性能好、组织致密、精度较高以及良好的经济性,是理想的铝齿轮箱生产方法。

薄壁箱体金属型铸件多采用砂芯(普通型砂、树脂砂或其他),这是因为金属芯抽芯困难,或起模斜度大,不满足零件尺寸要求,或零件、模具极易拉伤;铝液冷却

速度快,充型困难,铸件浇不足;铸件易产生裂纹;全金属型腔易憋气等。因此,全金属型铸造在薄壁箱体或腔体铸件上的应用受到很大限制。

本课题结合“缩管法理论”和“均温理论”,以齿轮箱箱体和箱盖为对象,采用全金属型铸造工艺,研究了铸件的铸造工艺和金属型设计,以期在全金属型铸造技术在薄壁箱体或腔体铸件上的应用提供参考。

1 铸造工艺的可行性分析及设计

箱体和箱盖结构分别见图 1 和图 2。铸件材质均为 ZAlSi12 铝合金,箱体最大轮廓尺寸为 307 mm×

收稿日期:2022-03-22;修改稿收到日期:2022-04-20

第一作者简介:刘怡,男,1963 年出生,高级工程师,成都(610500),E-mail:liuyi1963@163.com

引用格式:刘怡,解西锋. 全金属型铸造技术在齿轮箱铝铸件生产的应用[J]. 特种铸造及有色合金,2022,42(7):913-916.

LIU Y, XIE X F. Application of all-metal mold gravity technology in gearbox aluminum alloy castings[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2022, 42(7):913-916.

[12] 刘世伟. 激光冲击处理技术研究[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2000.

[13] LU J Z, WU L J, SUN G F, et al. Microstructural response and grain refinement mechanism of commercially pure titanium subjected to multiple laser shock peening impacts[J]. Acta Materialia, 2017, 127(17): 252-266.

[14] CHEN S, MU J, WANG Y D, et al. Formation of omega phase induced by laser shock peening in Ti-17 alloy[J]. Materials Characterization, 2020, 159: 110 017.

[15] DING K. FEM simulation of two sided laser shock peening of thin sections of Ti-6Al-4V alloy[J]. Surface Engineering, 2003, 19 (2): 127-133.

(编辑:刘晨辉)

236.8 mm×90.5 mm,平均壁厚为 4 mm,最厚处为 27 mm;箱盖最大轮廓尺寸为 260 mm×167 mm×39 mm,平均壁厚为 4 mm,最厚处为 16 mm。两种铸件结构薄壁面积较大,厚大部分主要分布在中心孔周围凸台及安装螺钉的位置,因此这些部位易出现缩孔。采用全金属型铸造工艺,外形和型芯均使用模具钢(进行碳氮氧复合 QPQ 表面处理)。

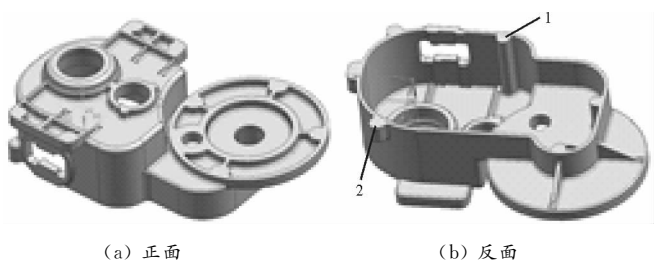


图 1 箱体
Fig.1 Gearbox body

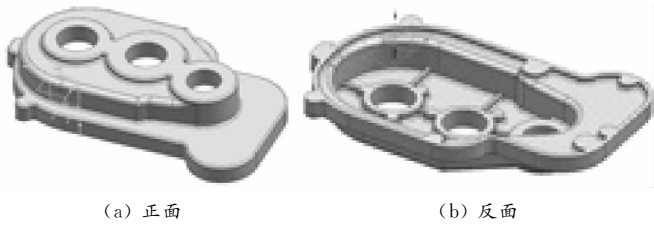


图 2 箱盖
Fig.2 Gearbox cover

1.1 铸件结构改进

为了增大齿轮箱内部空间,对初始箱盖结构进行改进,见图 3。考虑到平面太大,使用顶杆结构从模具上顶出箱盖时,铸件残留温度较高,扁平形状的模具极易变形,而且铸件的平面越大,变形程度越大,残余应力越大,导致在后道工序中增加矫正工序,严重时铸件被顶坏。因此,为了减少平面面积,将非干涉位置进行沉降,以减少平面尺寸,并在保证内部尺寸足够的情况下保留孔系的位置不变。

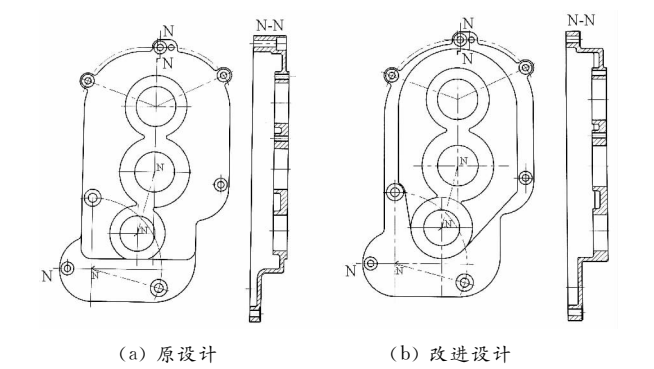


图 3 箱盖改进
Fig.3 Modification of gearbox cover

1.2 采用全金属型重力铸造工艺的可行性

采用砂型铸造时铸件箱体两个“耳朵”(图 1 中 1、

2)在造型过程中由于结构的限制只能使用活块木模,造型时极易发生偏移和翘曲。而采用金属型铸造时,为了减少这种缺陷产生,需在耳朵下方的空腔设置呈对称分布的抽芯机构。因此采用立式浇注工艺,见图 4。箱盖类似于箱体结构,且高度较低,工艺具有相似性,为了工艺的一致性,也采用箱体类似的浇注位置和抽芯方式。

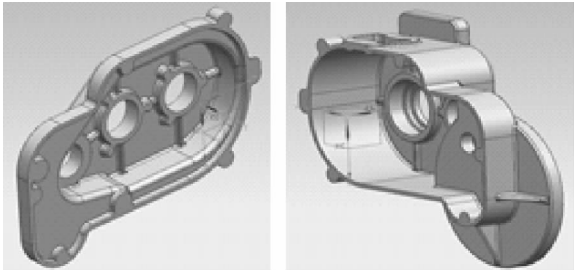


图 4 箱盖和箱体结构示意图
Fig.4 Structure diagram of gearbox body and cover

1.3 铸造工艺设计

箱体的全金属型铸造工艺采用底注式浇注,左、右分型,以保证均匀充型。箱体的铸造工艺见图 5。箱体中间的型腔深,且凸台厚度比其他部分壁厚大,要求熔液在进入型腔后形成自下而上顺序凝固的温度场,可增加冒口的数量,在需打孔的凸台处采用紫铜棒冷却(见图 5a),模具的主型腔芯部,采用风冷。在上部设置冒口,采用侧底注方式浇注,并将浇口开设在外部有凸台的位置,有利于对凸台轮廓的成形,浇注系统见图 5b。

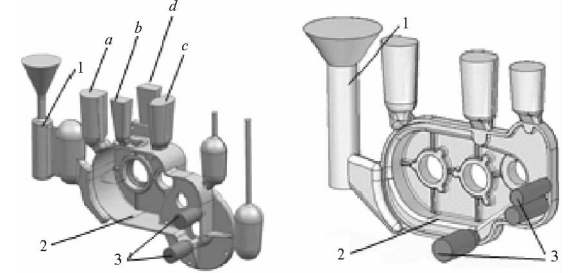


图 5 箱体和箱盖浇注工艺模拟图
Fig.5 Gating process diagram of gearbox body and cover
1.浇冒口系统 2.铸件 3.紫铜棒

按照“缩管法”冒口设计理论^[1,2],计算和设计出箱体冒口主要尺寸,见表 1。

其中,补缩处热节模数 M_h 按冒口根部被补缩处热

表 1 箱体冒口模数及尺寸

Tab.1 Riser modulus and dimension of gearbox body							
冒口	补缩处热节模数	冒口中径/mm	冒口颈/mm	冒口颈模数	冒口底部/mm	冒口顶部/mm	冒口高度/mm
a	3.5	27.6	30×15	5.0	φ30	φ35	100
b	4.8	32.7	25×15	4.7	25×20	30×25	100
c	4.0	29.7	30×25	6.8	35×30	40×35	100
d	2.9	25.2	30×10	3.8	30×10	35×15	87.5

节计算;补缩量以整个铸件体积为基数计算,收缩率取3%;冒口中径 $D_m=2W+D_p$;冒口保温壁厚 $W=2M_n$;缩管直径 $D_p=(2/\pi \cdot V_{op})^{1/3}$;缩管体积 V_{op} 等于平均分配到每个冒口内的补缩量;冒口高度 $H=H_p+H_m$;缩管高度 $H_p=2D_p$,根据“均温法”要求的模具结构进行调整;冒口最小压力头 H_m 取20 mm;冒口底部、顶部尺寸按冒口锥度关系算出,其冒口锥度约为 0.3° 。

2 金属型模具的设计

根据铸件结构及铸造工艺,设计箱体和箱盖金属型模具。箱体的模具主要有左型块、右型块、推板、顶杆、上模抽芯块等模具零件,垂直分型,金属型芯固定在左型块(定模)上;箱盖模具仅有动、定模垂直分型以及推板、顶杆。

根据“均温法”原理,箱体金属型壁厚选择15~30 mm,但是由于铸件较长,高度和宽度较小,型腔的结构较深,因此,模底板较厚。金属型模具厚度(动模+定模)应该是铸件高度(90 mm)加上动、定模模底板高度(各25 mm),为140 mm。再根据铸件形状和在硬模机上的安装方法,设计动、定模结构,配上推板、顶杆。用同样方法设计出箱盖金属型模具。

模具的制作过程需注意以下4点。

(1)模具型腔的尺寸^[2]:
$$A_x=(A_p+A_pK\pm\delta)\pm\Delta A_x$$
式中, A_x 为型腔尺寸,mm; A_p 为铸件平均尺寸(考虑最小容许尺寸和公差以后),mm; K 为综合线收缩率,% ,一般取1%; δ 为涂料厚度,mm,一般取0.1~0.3; ΔA_x 为型腔制造公差,mm。

由于箱体和箱盖是组合件,要求两个铸件的贴合面边缘在机械加工后轮廓线能良好吻合,模具尺寸的选择要以铸件毛坯图的尺寸为基准,再调整加工余量。

(2)尽可能减小模具脱模过程的阻力 模具长度方向尺寸比宽、高方向明显偏长,因此在长度方向上尽量减少不必要的孔洞结构。

(3)模具材质 模具材质为耐热模具钢,与铝液接触形成铸件的型块使用5CrMnMo钢锻件,浇口、冒口等采用45号钢。

(4)表面要求 对模具的动、定模型块及芯块表面进行氮化工艺处理或QPQ工艺处理,型腔表面打磨至要求的程度,不能在制造中形成倒拔模、凹坑等缺陷。模具主体最终选择QPQ工艺进行处理。

3 试生产及批量生产工艺改进

3.1 工艺参数试验

采用天然气火焰预热模具,随后在表面喷上涂料,

再升温至300℃左右,将熔炼好的ZL102合金液浇入,待凝固成形后取出铸件,检查铸件的表面品质及尺寸。

采用UT302A红外测温仪测量金属型预热温度,观察温度与铸件缺陷的关系,结果见表2。可以看出,300~350℃较合适。

表2 金属型工作温度试验

Tab.2 Working temperature test for metal mold ℃					
270	300	330	350	360	390
局部冷隔	无	无	无	轻微表面气孔	表面气孔

采用XCZ-101动圈测温仪及热电偶测量铝液温度,浇注温度与铸件缺陷关系见表3。可见,680~710℃是合适的浇注温度区间。

表3 浇注温度与铸件缺陷对应关系

Tab.3 Corresponding relationship between pouring temperature and casting defects ℃					
640	660	680	700	720	740
浇不足	局部冷隔	无	无	基本无缺陷	内腔表面气孔

留模冷却时间试验结果见表4。可以看出,70~90 s(夏天)或40~60 s(冬天)是合适的浇注后铸件留模冷却时间区间。

表4 留模冷却时间试验

Tab.4 Cooling time test for retention		
留模时间/s		铸件缺陷
夏季	冬季	
60	30	热裂
70	40	基本无缺陷
80	50	无
90	60	基本无缺陷
100	70	取出困难或变形、损坏

3.2 工艺试验中存在的问题及解决方案

试验得到的铸件表面完整,但箱体铸件机加工后在轴承孔处发现缩孔,呈环状分布,浇注位置上部较下部孔洞大,具体位置分布见图6。

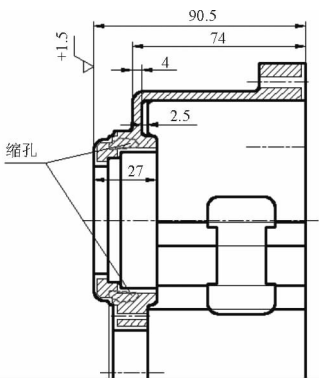


图6 箱体的缺陷位置示意图

Fig.6 Defect locations of gearbox body

解剖发现,铸件表面正常,但在铸件的轴承孔与壁交接位置的厚大部位却形成了缩孔,即使在凸台处增加冷却铜芯杆,缺陷仍无法消除。经过分析,由于铸件壁

厚较薄,通过侧底注式浇注,铝液难以对铸件的中心圆孔周围的凸台处进行有效补缩,因此需要铸件凸台的上部薄壁形成下薄上厚的结构形式,因此采取以下措施:①在模具的芯子里通入冷却空气,使主型芯顺利导出聚集在此处的热量,降低中间凸台的温度;②对铸件的壁厚做适当的梯度变化,见图 7,在冒口收缩的方向上增加铸件的壁厚,使铸件在凝固时有通畅的补缩通道;③在浇注初期对模具上部进行预热,保持适宜的模具温度,保证均温要求及实现正向温度梯度,使铝液有足够时间补缩。模具温度预热选择在 300~350 ℃ 之间。

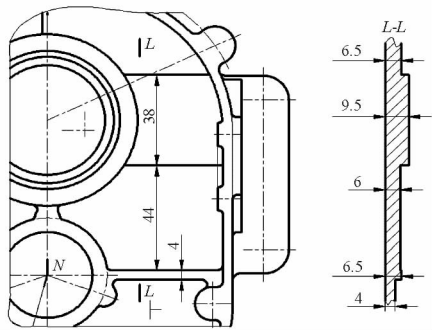


图 7 调整箱体壁厚示意图

Fig.7 Schematic diagram of wall thickness adjustment of gearbox body

此外,为了减少模具对铸件的激冷效果,并便于脱模和保护模具,必须在模具的表面喷涂涂料,避免造成铸件局部激冷出现冷隔、浇不足或冷裂缺陷。同时随着生产持续进行,模具温度会升高,过高的模具温度会使铸件出现蜂窝状气孔和热裂缺陷,缩短模具寿命,此时喷涂涂料是一种有效的模具降温手段。持续批量生产后,按均温理论设计的金属型模温相对平稳,模具的吸热和放热达到平衡。对于箱体,夏季模具温度控制在 (350±30) ℃ 内,浇注周期稳定在 3 min 一次,留模时间控制在 70~90 s;冬季控制模具温度在 (350±30) ℃ 范围内,浇注周期稳定在 2.5 min,留模时间控制在 60 s 以内。对模具的冒口系统进行了重新设置,使模具开模方式简单,冒口容易清理。原始方案及改进后的箱体浇冒口系统示意图见图 8。

改进工艺铸造箱体加工发现,箱体铸件圆盘部分变形较严重,这是因为铸件的脱模方向不一致,导致铸件主型腔拉着铸件带向动模,定模上脱模不易,导致铸件的圆盘变形。采用增大动模边的脱模力,使铸件圆盘被动模带出,因此圆盘的底孔做出,并且动模侧圆盘边缘设置两个 $\phi 8$ mm 占台(见图 8b 中的 1 和 2),调整起模斜度,使开模时铸件留在动模上,再用顶杆顶出。在定模侧将小孔做出,设置两个芯子顶杆起模斜度要比另外两个大,除调整脱模力外,还便于铸件检测和机械加工(见图 8b 中的 3 和 4)。

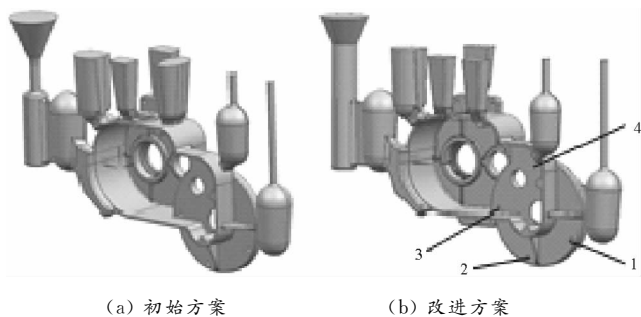
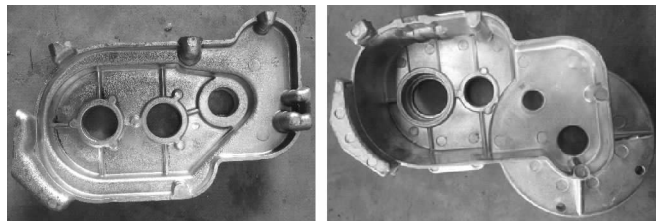


图 8 箱体浇冒口系统

Fig.8 Running and feeding system of gearbox body

箱盖的工艺适应性较箱体好,在模具温度范围为 300~350 ℃ 情况下均可成形,对环境温度的适应性也好,浇注周期在 130 s 左右,留模时间在 40~80 s,且模具主型芯中间生产过程中不用冷却空气,操作简便,一次性开发成功。最终齿轮箱组合产品见图 9,表面品质与压铸件近似,但内部品质和力学性能高于压铸件。



(a) 箱盖铸件

(b) 箱体铸件

图 9 箱盖、箱体铸件实物图

Fig.9 Entity of gearbox cover and body

4 结 语

在中等批量的薄壁铝合金铸件生产中,全金属型铸造工艺是一种较好的方法,产品品质较好且形状尺寸控制好,生产成本低,操作工艺过程不复杂。“缩管法”冒口设计理论和“均温法”金属型设计理论是开发应用全金属型铸造工艺的有效方法。

参 考 文 献

- [1] 刘怡.用缩管法设计铝铸件冒口[J].铸造技术, 1992(4): 17-21.
- [2] 耿鑫明.金属型铸件生产指南[M].北京:化学工业出版社,2008.

(编辑:刘晨辉)

欢迎使用在线稿件处理系统

投稿、查稿、审稿

敬请登录 www.special-cast.com