DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.12.014

薄壁铝合金横梁铸造工艺设计及优化

李　彬[1],唐一丹[2],曾　明[1],李玉和[1],廖慧敏[1]
(1.西华大学 材料科学与工程学院,四川 成都 610039;2.西华大学 土木建筑与环境学院,四川 成都 610039)

摘　要:铝合金横梁铸件的结构复杂,整体较薄。为保证金属液的充型,避免产生浇不足和冷隔等铸造缺陷,设计了垂直缝隙式浇注系统,采用磷酸盐无机树脂砂造型;利用华铸 CAE 软件对设计的工艺进行模拟,并根据缺陷预测对工艺方案进行优化,最终得到了最佳的工艺方案。

关键词:薄壁横梁;造型材料;缝隙式浇道;工艺优化
中图分类号:TG292　　文献标识码:A　　文章编号:1000-8365(2019)12-1291-03

Casting Process Design and Optimization of Thin-wall Aluminum Alloy Crossbeam

LI Bin[1], TANG Yidan[2], ZENG Ming[1], LI Yuhe[1], LIAO Huimin[1]
(1. School of Materials Science and Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China; 2. School of Civil Architecture and Environment, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: The structure of aluminum alloy crossbeam casting was complex and the wall was thin. In order to ensure the mold filling of metal liquid and avoid the casting defects such as insufficient pouring and cold insulation, a vertical slit casting system was designed with phosphate inorganic resin sand modeling. The HZCAE software was used to simulate the design process and optimize the process according to defect prediction. Finally, the best casting process scheme is obtained.

Key words: aluminum alloy crossbeam; molding materials; slot gating system; process optimization

横梁作为一种重要的结构零件,在许多机床、行车等大型机械设备中都可见到其身影,由于横梁在工作时会受到较大的载荷,因此要求其力学性能要高,铸件的质量要能够得到保证[1]。某铝合金横梁要求采用普通的砂型铸造生产,但铸件的壁厚差异较大,最小壁厚仅为 5 mm,如何在保证金属液充型的同时又确保铸件的质量是设计的最大难点。为解决上述问题,本文设计了一套铸造工艺方案,并利用模拟软件对其进行工艺模拟,根据模拟结果研究了缺陷产生的原因,进一步优化工艺,从而得到一理想的铸造方案。

1　铸件特点

横梁整体为一空壳结构,两端有厚大的支耳,内部有较多交叉纵横的加强筋,铸件的三维图如图 1。横梁材质是 ZL114A,最大轮廓尺寸为 2 505.0 mm×565.0 mm×299.5 mm,最大壁厚 49 mm,最小壁厚为 5 mm,主要壁厚 5~7 mm,较薄。技术要求中指出:质量不少于 74 kg,铸件外表面无冷隔、裂纹和缩松等缺陷,内部需 X 光检验,不能有裂纹、气孔和偏析等缺陷。横梁的设计难点在于:①整体较薄,铝液充型阻力大,易产生冷隔和浇不足;②壁厚差异过大,易导致凝固时间差异大,从而产生裂纹、缩松等缺陷;③为保证薄壁部位完整,需提高充型速率,但可能会造成充型紊乱,产生气孔和夹渣[2,3]。

2　铸造工艺设计

该横梁铸件壁薄且结构复杂,在选取铸造收缩率时,应视其为受阻收缩;技术要求中规定质量公差的下偏差为 0,因此在设置起模斜度时,最好选取增加铸件壁厚的形式;而针对工艺设计中存在的难点,本文着重从造型材料选择和浇注系统设计方面来解决。

2.1　造型材料的选择

由于铸件壁厚较薄,金属液易受到型腔中气体的阻隔而生产冷隔等缺陷,为保证金属液能顺利地充填型腔,造型材料的发气量必须要小。造型材料一般可划分为无机粘结剂砂和有机粘结剂砂两大类,其中,无机粘结剂砂因成本低廉且不含有害物质、符合现今的绿色环保理念而被广泛使用。在无机粘结剂中,磷酸盐粘结剂以其较高的强度、好的溃散性和旧砂再生回

收稿日期:2019-07-24
作者简介:李　彬(1996-),四川南充人,硕士研究生.研究方向:复杂薄壁铝合金压铸工艺.电话:18482156825,E-mail:mkakaroto@163.com
通讯作者:曾　明(1965-),四川成都人,教授,博士.研究方向:金属材料成型与加工.电话:13008159602,E-mail:zmcgyxh@163.com

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

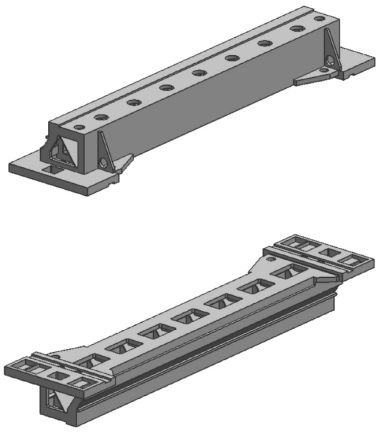


图 1 横梁铸件三维图
Fig.1 Three dimensional drawing of cross beam castings

用性好等特点，得到了越来越多的重视[4,5]。荆金龙等[6]发明了一种铝合金铸造用新型改性磷酸盐无机粘结剂，该粘结剂的强度高、粘结性能优良、溃散性好，并且发气量低，因此本文选用该粘结剂作为造型材料的粘结剂，造型制芯均用磷酸盐无机树脂砂。

2.2 浇注及分型面

横梁的支耳是厚壁部位，为了更好地实现顺序凝固、方便补缩，厚壁支耳必须位于顶部；为保证铸件的尺寸精度，最终将分型面选在了横梁的顶面，并随铸件外形开设，如图 2。

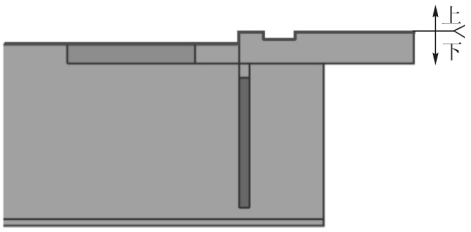


图 2 浇注位置及分型面
Fig.2 Schematic diagram of pouring position and parting surface

2.3 砂芯设计

横梁内腔结构复杂，需使用砂芯成型。为保证内腔品质、节约工装设备，共设计了 3 种砂芯，如图 3。其中，1# 砂芯共 7 个，用于形成铸件的 7 个大内腔；2# 砂芯为镜像对称的两个砂芯，用于形成两端被筋板隔断的两个小内腔以及支耳上的方孔，为增加砂芯的强度，加大了 2# 砂芯芯头的尺寸；3# 砂芯用于成型侧壁加强筋的圆孔。

2.4 浇注系统的设计

ZL114A 的力学性能高、铸造性能好，其中，流动性好这一特点有利于保证充填 5 mm 的壁厚，但铝液化学性质活泼，因此浇注系统要能保证铝液充型平稳，避免出现冲击和飞溅，从而减少铝液氧化[7]；横梁壁薄，为获得完整铸件，金属液充型时间要短。针对这些要求，设计了垂直缝隙式浇注系统如图 4，直浇道和横浇道、分配浇道和集渣筒分别采用 ϕ45 mm 和 ϕ65 mm 的陶瓷管成型，经计算，共设计了 8 个 16 mm 厚的缝隙浇道，分别从对应于内部环形加强筋的位置引入。

3 数值模拟

利用华铸 CAE 软件对工艺方案进行模拟，模拟时划分的网格数约为 318.6 万个；浇注温度设置为 730 ℃，浇注速度为 100 cm/s。

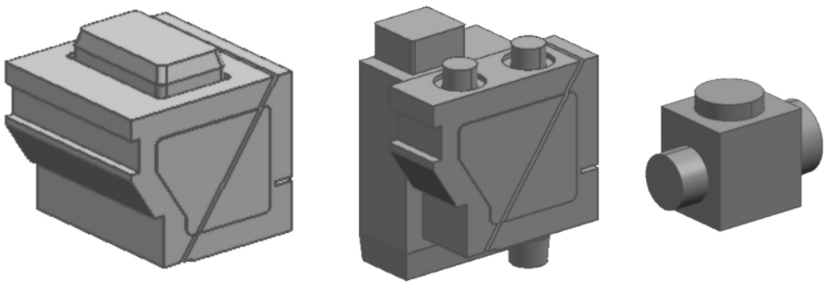
3.1 工艺模拟及分析

通过数值模拟，得到垂直缝隙式浇注系统的铝液进入型腔的时间为 2.91 s，充型时间为 23.06 s，符合所分析的快速充型要求；铝液充型过程如图 5，可见，液面平稳上升，未发现卷气、喷射等现象，证明该浇注系统同样符合充型平稳要求。

模拟得到的缺陷分布见图 6，两端支耳产生了大量的缩孔、缩松，中间壳体上表面以及底部厚壁部位同样也产生了较多的缩松，这是由于支耳是最厚的部位，凝固较慢，但其周围薄壁结构凝固快，支耳会向这些部位提供补缩金属液而自身却得不到补缩，因此产生了大量的缺陷；中间壳体上表面以及底部也因较厚而凝固得慢，进而出现较多缩松。为保证铸件质量，需对方案进行优化。

3.2 工艺优化

为消除横梁铸件中出现的缺陷，本文通过在两端支耳各设计 3 个明冒口、在中间壳体上表面设计 6 个小明冒口来进行补缩；底部厚壁处虽不便安放冒口对



(a)1#砂芯　(b)2#砂芯　(c)3#砂芯

图 3 砂芯示意图
Fig.3 Schematic diagram of sand core

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

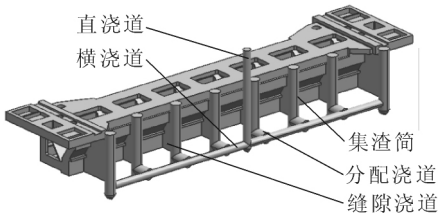
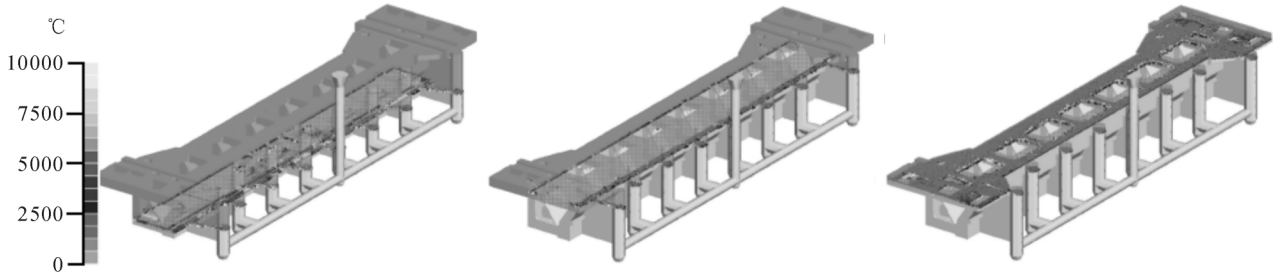


图 4 浇注系统示意图
Fig.4 Schematic diagram of slot gating system

其进行补缩，但垂直缝隙式浇注系统配合使用冷铁，可发挥补缩的作用，实现顺序凝固[8]，因此在底部和浇道一端的侧壁厚大部位设计了石墨冷铁；由于支耳较厚，为更好地发挥冒口的补缩效果，在支耳底部也增设了石墨冷铁。冒口及冷铁的具体位置见图 7。

为验证优化方案是否能消除缺陷，对其进行了二次模拟，模拟结果如图 8 所示。可见，原方案中出现缩孔、缩松的部位已无缩孔和缩松，并且在铸件的



(a)充型20%　　(b)充型50%　　(c)充型80%

图 5 充型过程模拟
Fig.5 Mold filling process simulation

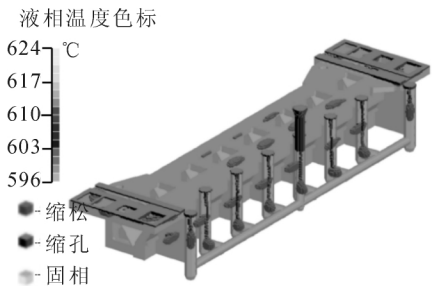


图 6 凝固缺陷分布示意图
Fig.6 Schematic diagram of solidification defect distribution

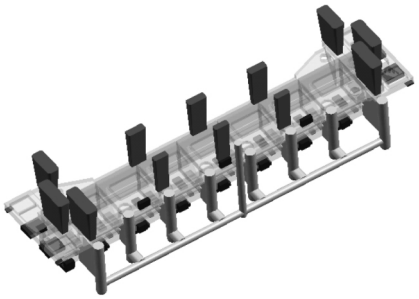


图 7 冒口及冷铁位置示意图
Fig.7 Schematic diagram of riser and chill iron

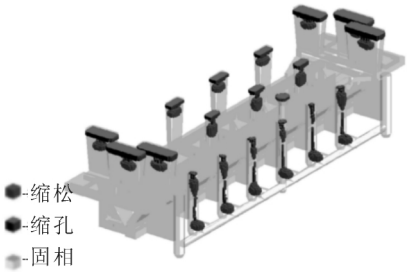


图 8 优化后的凝固缺陷分布示意图
Fig.8 Distribution diagram of solidification defects after optimization

其余部位未发现缺陷，证明优化方案是合理的。

4 结语

(1)为减小金属液充型阻力，造型材料采用发气量低的磷酸盐无机树脂砂。

(2)设计了垂直缝隙式浇注系统来保证金属液充型，避免薄壁部位出现浇不足和冷隔等缺陷。

(3)利用华铸 CAE 对工艺方案进行了数值模拟，证明了方案能保证充型平稳，预测到铸件的缺陷。根据模拟结果进行了工艺优化，通过冒口和冷铁的设计，成功地消除了铸造缺陷。

参考文献：

[1] 刘晨，米国发，王有超，等. 横梁铸钢件砂型铸造数值模拟及工艺优化[J]. 特种铸造及有色合金，2016，36(12)：1266-1269.

[2] 陈敏，丁旭，沈刚，等. 铝合金箱体件砂型铸造工艺设计及模拟分析[J]. 铸造技术，2017，38(12)：2903-2906.

[3] 董方涛，王宏伟，王中华，等. 铝合金复杂薄壁件铸造工艺研究[J]. 航天制造技术，2018(4)：54-56.

[4] 石南起，张磊，赵国平，等. 固化方式对磷酸盐有机 / 无机复合铸造粘结剂性能的影响[J]. 热加工工艺，2016，45(5)：52-55.

[5] 梁含雪，肖冬梅，甘曼莹，等. 新型磷酸盐粘结剂的制备及型砂性能初探[J]. 铸造技术，2017，38(2):388-391.

[6] 宁夏共享化工有限公司. 一种铝合金铸造用新型改性磷酸盐无机粘结剂及其制备方法：中国，CN104815943A[P]. 2015.08.

[7] 耿浩然，滕新营，王艳. 铸造铝、镁合金[M]. 北京：化学工业出版社，2006.

[8] 刘翔宇，孙剑波，崔喜贺，等. 垂直缝隙式浇注系统凝固特性的数值模拟[J]. 铸造技术，2015，36(9)：2304-2306，2314.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net