DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.03.011

激光切割机用横梁的无模铸造工艺优化设计研究

王怡飞,单忠德,杨浩秦,宋亚星

(机械科学研究总院集团有限公司 先进成形技术与装备国家重点实验室,北京 100083)

摘　要:激光切割机作为现代机械加工中重要的特种加工设备,其Y轴横梁结构复杂,制造难度大。为避免横梁结构砂铸过程中出现气孔、缩松、浇不足等缺陷,设计了双侧底注式浇注系统。结果表明,采用无模铸造成形技术设计了铸造型芯,采用Procast软件仿真优化了浇冒口工艺,最终确定了激光切割机横梁的铸造工艺方案。

关键词:铸造工艺;无模铸造;建模仿真

中图分类号:TG292　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)03-0248-04

Research on Optimization Design of Moldless Casting Process for Beams Used in Laser Cutting Machines

WANG Yifei, SHAN Zhongde, YANG Haoqin, SONG Yaxing

(State Key Laboratory of Advanced Forming Technology and Equipment, China Academy of Machinery Science and Technology Group Co., Ltd., Beijing 100083, China)

Abstract: Laser cutting machine was an important special processing equipment in modern machining. The Y-axis beam was complex and difficult to manufacture. In order to avoid the defects such as porosity, shrinkage and loose, and insufficient pouring in the process of sand casting of beam structure, a two-side bottom pouring system was designed. The results show that the casting core is designed by the model-free casting technology, the casting riser process is optimized by Procast software simulation, and the casting process scheme of the beam of the laser cutting machine is finally determined.

Key words: casting process; patternless casting; modeling and simulation

激光切割机主要由床身、导光系统、横梁、激光头和传动系统等构成，其中横梁是主要移动部件，起着支撑激光头的作用,是激光切割机机械结构核心部件,其铸造成形质量将直接影响激光切割机的质量性能[1,2]。

激光切割机所配置Y轴横梁通常由铝合金材料制造,结构复杂。在实际生产制造过程中,这种复杂结构铸件容易产生冷隔、缩松和浇不足等缺陷,废品率较高。因此,本文基于无模铸造和数值模拟技术研究了中大型铝合金复杂薄壁件的铸造工艺,以获得品质良好的机床横梁铸件。

1　铸造方案设计

1.1　激光切割机铝合金Y轴横梁

激光切割机横梁零件三维实体图如图1。零件外形轮廓尺寸为2 480 mm×540 mm×280 mm，重约75 kg,材质为ZL114A,主体截面尺寸303 mm×260 mm,壁厚6 mm,两端支耳壁厚40 mm。横梁整体结构复杂,壁厚分布不均匀且梁体壁薄细长,腔体加强筋众多,纵向筋与环向筋纵横交错,属于典型的超细长、大型复杂薄壁铸件。

考虑到碱性酚醛树脂自硬砂中不含N、P、S等有害元素,型砂容让性好,在高温下发生的二次硬化现象,可减少铸件的裂纹倾向[3],因此选用碱性酚醛树脂砂造型。铸件材料为ZL114A,浇注时易产生氧化膜夹层,形成针孔类缺陷,浇注时需确保金属液流充型平稳[4]。铸造方案选用底注式浇注,横梁平放平浇,以梁体下底面作为分型面。

1.2　砂型砂芯设计

砂芯的功用是形成铸件内腔、孔和铸件外形难以起模的部位。该铸件梁体轴向尺寸大,内部结构复杂,对应砂芯制造难度大,尺寸精度难以保证。

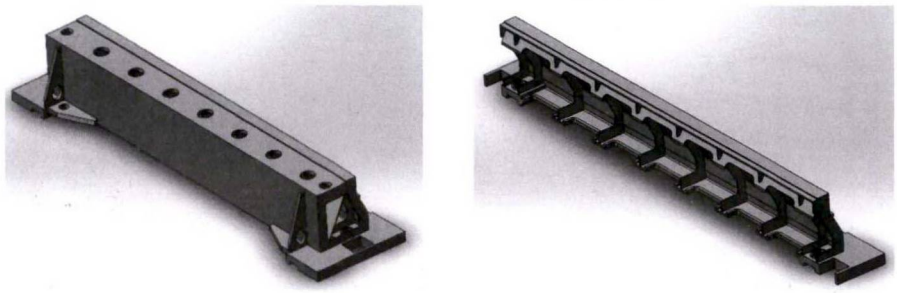
针对此问题，本方案采用无模铸造技术实现砂

收稿日期:2020-01-15

基金项目:国家杰出青年科学基金资助项目(51525503)

作者简介:王怡飞(1996-),河南新乡人,硕士生.主要从事砂型3D打印技术方面的工作.电话:15510453682,E-mail:camwangyifei@163.com.

通讯作者:单忠德(1970-),山东高密人,博士,博士生导师,中国工程院院士.主要从事先进制造技术与装备方面的工作.电话:010-88301815,E-mail:Shanzd@cam.com.cn.



(a)横梁外观图　　(b)横梁剖视图

图 1 横梁三维结构

Fig.1 Three-dimensional structure of the beam

型(芯)数字化切削成形:①根据横梁型腔的几何特点,将复杂结构砂芯进行子单元剖分;②在各砂芯子单元上设计出坎合结构,利用砂型切削技术制备子单元砂芯;③将各子单元通过坎合结构的配合来装配组芯。

采用无模铸造技术制造砂型(芯),减小了砂芯的制作难度并提升了尺寸精度[5]。

梁体砂芯主体结构对称,可由两个部分 A-1,A-2 组合而成,各部分组元间通过圆台状坎合结构连接。根据相关研究,倾斜角为 10°的圆台结构坎合强度较高[6]。对各砂芯子单元设置具有 10°倾斜角的圆台坎合结构,砂芯位置对应图及组装示意图如图2。

1.3 铝合金横梁浇注系统设计

铝合金易氧化,且氧化物密度与铝液相近,混入铝液中的氧化物很难浮起,易引起夹杂缺陷[7],浇注过程应减少扰动,保证金属液流快速平稳充型。浇注系统按照各组元的断面积比例关系分类,可分为封闭式、开放式和半封闭式浇注系统。其中,开放式浇注系统由于金属液在浇注系统中呈无压流动状态,充型平稳,对型腔冲刷力小,能够减少铝合金铸件浇注时金属液的氧化[7,8]。铝合金熔体流动性较好,确定合适的浇注温度和压头高度可弥补开放式浇注系统充型能力的不足。

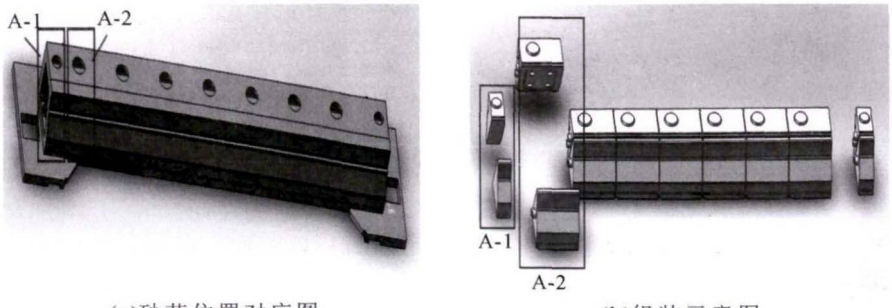
本文以开放式浇注设计为原则,底注式浇注系统为基础,设计以下两种浇注方案。方案一为"底注+垂直缝隙式"浇注,在铸件正面选用底注式系统,铸件背侧选用阶梯垂直缝隙式系统。其中直浇道 2 个,横浇道 2 个,扁形内浇道、缝隙式内浇道各有 4 个。方案二为"双侧底注式"浇注,在横梁轴向方向的两端对称布置浇道,共有直浇道 2 个,横浇道 2 个,扁形内浇道 4 个,各浇注组元截面比同方案一。$\Sigma F_{直}:\Sigma F_{横}:\Sigma F_{内}\approx 1:2:3$ 两方案均采用相同的池口式浇口杯、陶瓷泡沫过滤器、梯形横浇道、圆锥式直浇道和相应浇口窝。采用 SolidWorks 软件对两种浇注系统进行三维模型绘制,如图 3。

采用铸造过程数值模拟软件 Procast 进行三维模型网格划分、铸型设置、界面换热及过程条件的赋值,进而对所设计的方案分别进行数值模拟。前处理模块参数设置详见表 1,计算结果如图 4。

表1 Procast仿真参数设定表

Tab.1 Procast simulation parameter setting table

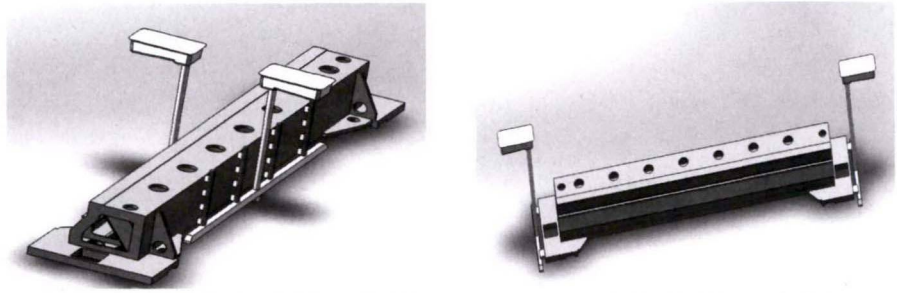
参数名称	实际参数设置
铸件材料	ZL114A
砂型材料	硅砂
界面换热系数	h=500 W/m^2/K
浇注方式	重力浇注
浇注温度	730 ℃
浇注时间	13 s
边界条件	自然空冷
运算停止条件	整个铸件温度低于 200 ℃时



(a)砂芯位置对应图　　(b)组装示意图

图 2 砂芯组装示意图

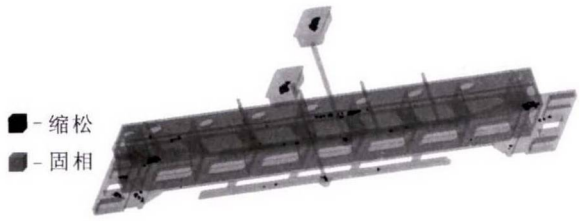
Fig.2 Schematic diagram of sand core assembly



(a)“底注+垂直缝隙式”组合浇注系统　(b)“双侧底注式”浇注系统

图 3 浇注系统示意图

Fig.3 Schematic diagram of the gating system



(a)方案一铸造缺陷分布

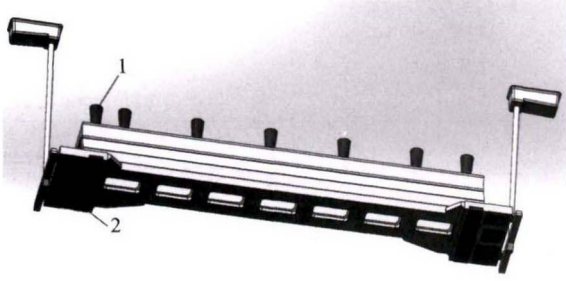


(b)方案二铸造缺陷分布

图 4 两种铸造方案的缺陷分布预测图

Fig.4 Defect distribution prediction diagram of two casting schemes

图 4 为铸件缺陷预测分布图。从图中看出方案一的铸造缺陷主要分布于横梁筋板、拐角等热节及上表面芯部区域。方案二的缺陷分布情况与方案一类似,但缺陷总量较少。又鉴于方案一“垂直缝隙式+底注式”组合浇注系统制作工艺复杂,成本较高,综合考虑选定方案二“双侧底注式”式浇注系统,并进行工艺优化。



1- 冒口;2- 冷铁

图 5 补缩系统示意图

Fig.5 Schematic diagram of the shrinkage system

1.4 铝合金横梁铸造工艺优化研究

从模拟的结果来看，横梁上表面芯部区域需要重点补缩,且上表面为工作表面,铸造质量需要予以保证。由方案二浇注系统设计,熔体自铸件两端向中间自下而上充型,熔体温度随流动而逐渐下降,充型能力逐渐衰退,最后充型区域易产生浇不足等缺陷。鉴于横梁顶端中部区域离内浇道最远，判断此处出现的铸造缺陷是由熔体充型能力不足所致，采用提升熔体浇注温度,增设冒口的措施来消除此处缺陷;铸件支耳位置缩松缺陷,则由冷铁的布置来消除。

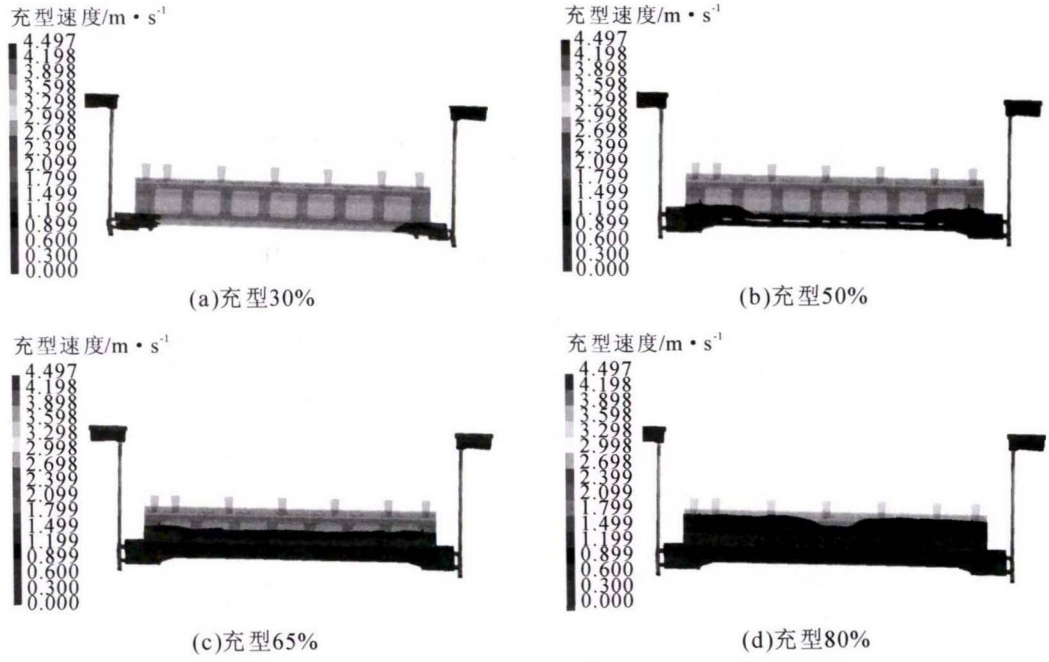
结合铸件结构特征与补缩需要，在铸件顶部热节位置添加多个明顶冒口，在铸件支耳热节处布置多块冷铁。优化后浇注系统如图 5。提升浇注温度至 740 ℃,以提高金属溶液的流动性,改善充型能力,避免出现浇不足缺陷。

通过 Procast 软件对铝合金横梁铸造工艺方案进行模拟优化，得到金属液充型速度场和缺陷分布情况。型腔充型 30%时,横梁支耳部位基本充型完毕,熔体开始向梁体部分充型,如图 6(a)所示;图 6(b)所示为充型约 50%时,自两端充型的熔体在梁体芯部汇流时情况，未发现金属液发生激烈的飞溅现象;熔体汇流后,充型愈发平稳,自下而上逐层充满型腔,如图 6(c)、(d)所示。整个充型过程中,仅型腔两端熔体在型腔芯部汇流时稍有紊流产生，整体过程充型平稳;预测缺陷分布情况如图 7 所示,可以看出铸件热节处及上表面芯部铸造缺陷被基本消除,优化后浇冒口系统发挥了良好的补缩效果,铸件质量明显提升，熔体完全凝固后能够确保铸件形状的完整性。

2 结论

(1)本文针对激光切割机横梁的型腔特点,基于无模铸造成形技术，对梁体砂芯进行子单元剖分和相应坎合结构设计。

(2)针对超细长中大型铝合金薄壁横梁铸件,设计了开放式两侧底注浇注系统，并进由工艺优化研究，使熔体平稳填充型腔，最终获得轮廓完整的铸件。其研究结果可为实际生产中大型铝合金铸件的



(a)充型30%　(b)充型50%

(c)充型65%　(d)充型80%

图 6 充型速度场优化方案

Fig.6 Optimization scheme of filling velocity field



图 7 优化方案铸件缺陷分布

Fig.7 Optimization scheme of casting defect distribution

铸造工艺设计提供技术参考。

致谢：感谢“永冠杯”第十届中国大学生铸造工艺设计大赛组委会提供铸件图纸。

参考文献：

[1] 王猛. HLH-2040 激光切割机结构分析与优化设计 [D]. 南京：东南大学, 2015.

[2] 金俊尉. 横梁倒挂式激光切割机的结构优化设计[D]. 南京：南京航空航天大学, 2015.

[3] 李远才，董选普. 铸造造型材料实用手册[M]. 北京：机械工业出版社，2015.

[4] 李有佳. 铝合金铸造工艺及缺陷研究[D]. 武汉：华中科技大学，2009.

[5] 单忠德. 无模铸造[M]. 北京：机械工业出版社，2017.

[6] 刘丽敏，单忠德，兰盾，等. 基于无模铸造精密成形技术砂型坎合组装方式研究[J]. 铸造技术, 2017, 38(2):354-359.

[7] 李晨希. 铸造工艺及工装设计[M]. 北京：化学工业出版社，2014.

[8] 赵成志，张贺新. 铸造工艺设计与实践[M]. 北京：机械工业出版社，2017.

(上接第 242 页)

[15] 付晋津. 欧洲冷凝式燃气采暖热水炉的典型结构和特点 [J]. 煤气与热力，2016，36(5): A23-A26.

[16] 朱禹韬. 2019 年小型商用壁挂炉市场稳步发展 [J]. 现代家电，2019(20): 56-57.

[17] 邢凡，楼英. 浅谈铸铝式冷凝锅炉换热器[J]. 中国建设信息供热制冷，2010(4): 44-45.

[18] 胡刚，徐蔚春. 铸铝冷凝换热器在燃气热水器的应用 // 中国土木工程学会燃气分会应用专业委员会、燃气供热专业委员会，2012 年年会论文集 [C]. 昆明，中国土木工程学会，2013: 207-212.

[19] 赵小军，黄渊. 冷芯组芯造型下 QSNT 缸体渗漏缺陷成因研究 [J]. 铸造技术，2018，39(5): 1004-1007.

[20] 王冬，周军，张兵，等. 重庆机电集团发动机铸铁缸体缸盖冷芯盒精密组芯造型线 [J]. 机械工业标准化与质量，2016(10): 31-35.

[21] 刘永跃，施良才，郑敏. V6 发动机 Al 合金缸体组芯低压铸造[J]. 现代铸铁，2010(2): 44-47.

[22] 王丽君. 大型离心式空压机机壳铸造组芯造型技术 [J]. 机械制造技术，2013，40(增): 67-69.

[23] 林志庆，杜在均，顾海兵，等. 国内最大射砂量冷芯盒射芯机的开发 // 重庆市机械工程学会铸造分会、重庆铸造行业协会. 2013(第 23 届)重庆市铸造年会论文集[C]. 重庆，重庆市机械工程学会铸造分会，2013: 326-329.