DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.07.013

启帆 STS 关节型工业机器人铸件设计初探

王　伟,黎佩瑜,李伟华
(广州启帆工业机器人有限公司 采购部,广东 广州 511356)

摘　要:广州启帆工业机器人有限公司自主设计和研发的 STS 关节型工业机器人本体主要由铸件组成,对铸件需求量大且质量要求高;铸件设计是否合理,不仅影响铸造生产复杂程度和周期,还影响铸件合格率、质量稳定性以及经济性。本文总结了启帆 STS 关节型工业机器人铸件特点,并以 SRD6-1400 型机器人铸件为例,从铸件选材、铸造方法、铸件结构 3 个方面进行铸件设计和试制,最终试制结果良好,为工业机器人铸件设计提供了有效参考。

关键词:工业机器人;铸件设计;铸件选材;铸造方法;铸件结构

中图分类号:TG243　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)07-0683-05

Primary Exploration of Casting Design for STS Articular Industrial Robot

WANG Wei, LI Peiyu, LI Weihua
(Guangzhou STS Industrial Robot Co., Ltd., Guangzhou 511356, China)

Abstract: The characteristics of STS articular industrial robot casting for sail hoist were summarized, and taking SRD6-1400 robot casting as an example, the casting design and trial production are carried out from three aspects of casting materials selection, casting method and casting structure. The results show that the casting is qualified and the quality is stable.

Key words: industrial robot; casting design; materials selection; casting process; casting structure

广州启帆工业机器人有限公司(以下简称"启帆")是由国机集团国机智能科技有限公司控股,主要从事直角和关节型工业机器人本体及其周边配套设备的研发与制造,涵盖喷涂、码垛、搬运、机床上下料、切割、焊接、抛磨等多个行业。启帆 STS 关节型工业机器人有多个系列,如 SRF、SRD、SRH、SHR、SAR 等,负载能力从 3 kg 到 500 kg,运行范围从 540 mm 到 3 200 mm,可以满足多个行业的不同需求。启帆 STS 关节型工业机器人本体基本由铸件组成,铸件在机器人本体中的占比达 85%及以上。铸件需求量大,铸件质量要求较高,比如关节、手臂、手腕等,要能承受较大的受力和力矩,尤其是大负载机型,一旦发生断裂,严重时将造成安全事故。

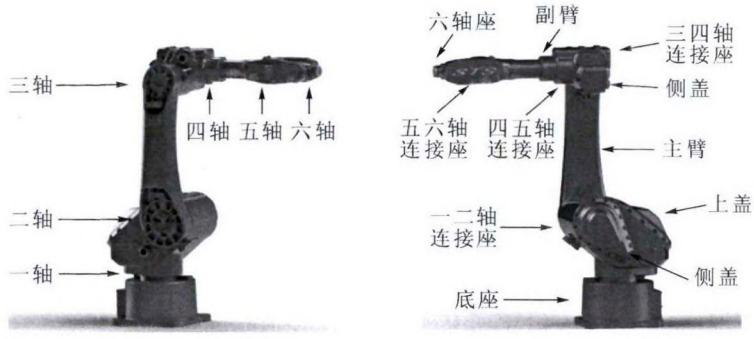
受国家智能装备扶持政策的导向,国内机器人行业如火如荼,竞争也日益激烈。合理的机型设计与稳定的产品质量,无疑是提升竞争力的强有力手段。机器人铸件的合理设计,不仅能极大地降低铸造生产难度,缩短生产周期,而且有利于铸件合格率提高和质量稳定。因此,本文首先对启帆 STS 关节型工业机器人铸件特点进行总结,以 SRD6-1400 型机器人为例,从铸造材料、铸造方法、铸件结构等多个方面对铸件进行设计,并对设计的铸件试制,以便为工业机器人铸件设计提供有效参考。

1　STS 关节型机器人铸件特点

图 1 为启帆 STS 关节型 SRD6-1400 六轴工业机器人照片。启帆 STS 关节型机器人的轴数通常是从下往上开始计数的。图 2 为该机器人铸件三维模型。图中铸件名称也是按照自下往上的顺序命名。从图 2 可以看出,不仅机器人本体主要零件是铸件,而且相关的配件,比如轴连接座上盖、侧盖也是铸件,也就是说,关节型机器人基本是由铸件组成的。

如表 1 所示,将铸件分成四类,同时从铸件受力、结构复杂程度以及其它要求三个方面分析每类铸件的特点。从表 1 可以看出,启帆 STS 关节型机器人主要是底座、关节、手臂 3 类。壳盖类铸件是前三类铸件的配件,因此单独列一类。底座类铸件起支撑作用,承受自身和工作负载的压应力,要有较高的抗压强度,同时应有较好的减震性。底座类铸件外形简单,与一般基座类似,圆台和方台类型居多,内部空腔用于排布电气线路。

收稿日期:2019-03-21
作者简介:王　伟(1981-),河南周口人,本科.主要从事公司运行与采购管理方面的工作.
E-mail:gysealswangwei@163.com
通讯作者:李伟华(1985-),湖北武汉人,硕士,铸造工程师.电话:18680200350,E-mail:liweihua007@126.com



(a)机械本体效果图　　(b)机械本体效果图

图 1 启帆 STS 关节型 SRD6-1400 六轴工业机器人

Fig.1 STS articular SRD6-1400 Six axis industrial robot

图 2 启帆 STS 关节型 SRD6-1400 六轴工业机器人铸件三维模型

Fig.2 3D module castings of STS articular SRD6-1400 Six axis industrial robot

表 1 启帆 STS 关节型 SRD6-1400 六轴工业机器人铸件分类与特点

Tab.1 Kinds and characteristics of STS articular SRD6-1400 Six axis industrial robot castings

类别	名称	特点		
		受力情况	结构复杂程度	其它要求
底座类	底座	承受较高的抗压强度	一般	减震、平稳
关节类	一二轴连接座 三四轴连接座 四五轴连接座 五六轴连接座	承受较大的拉应力和力矩，尤其是一二轴连接座	复杂	组织致密，不渗漏 质量轻，减轻自身负载
手臂类	主臂 副臂 六轴座	承受较大的拉应力和力矩，尤其是主臂	比较复杂	组织致密，不渗漏 质量轻，减轻自身负载减震、平稳
壳盖类	一二轴连接座上盖 一二轴连接座侧盖 三四轴连接座侧盖 五六轴连接座右侧盖	基本不受力 （五六轴连接座右侧盖除外）	一般	组织致密，不渗漏 质量轻，减轻自身负载

关节类与手臂类铸件是主要受力零件，尤其是位于低轴数的，比如一二轴连接座与主臂。当手臂伸直工作时，一二轴连接座和主臂承受的力矩最大，铸件必须能承受较大的拉应力和力矩。机器人在运行过程中，对手臂的减震、平稳要求更高。

关节类铸件结构复杂，要连接两个不同方向的轴，比如一轴是竖直的，二轴是水平的，从而导致铸件空间上通常是扭曲的。手臂类铸件则长度更长，通常为中空，用于电气线路走线，需要具有较大的抗弯强度。手臂铸件截面通常有圆柱形、方形、椭圆形等，内腔安置加强筋，整体结构较为复杂。关节类铸件内部和手臂铸件两端会安装电机、减速机、传动齿轮等，有较多的润滑油密封区，而且润滑油还有一定的压力，这就要求铸件内部组织致密，不能有渗漏或漏油。

壳盖类铸件基本不受力，主要起防护罩的作用，避免内部的元器件、零件外露，以免造成不必要的机器人故障和事故。对于某些关节的壳盖类铸件，其防护的内部有传动齿轮。齿轮运转时，润滑油会飞溅到壳盖铸件内壁，因此要求其组织致密，不得有渗漏或漏油。

从表 1 可以看出，关节类、手臂类、壳盖类铸件均要求质量轻，以进一步提高机器人负载与自重比。探索新的高强度轻质材料，这也是今后工业机器人结构优化设计的发展方向之一[1]。

2　STS 关节型机器人铸件材料

表 2 为启帆 STS 关节型 SRD6-1400 六轴工业机器人铸件材质与材质特性[2-6]。从表 2 可以看出，除了底座是铸铁件，其余底座以上的均为铸铝件。该机型工作负载是 6 kg，采用铸铝的关节和手臂，足以满足其受力要求，相比铸铁和铸钢，质量减少约 65%，极大提高机器人负载与自重比。

底座类铸铁件通常选用球铁 QT500-7。球铁抗拉强度比灰铁、铸钢高；刚性比灰铁大，但稍低于铸钢；减振性虽比灰铁差，但比钢好。壳盖类铸铝件通常选用 ZL102，其铸造性能优良，有很好的流动性和致密度；力学性能不高，可不用热处理，直接铸态使用；适用于不受力或承受小载荷的薄壁、复杂的铸铝件，如各种仪表的框架、壳体、罩盖等。

关节类和手臂类铸铝件通常选用 ZL101A 或 ZL104。该两款合金力学性能均明显高于 ZL102，且热处理后力学性能大幅提升；均具有较好的铸造性能，ZL104 可以用于较复杂的铸件，但 ZL101A 杂质元素含量更低、力学性能更高，可以用于更大载荷的铸件。具体选用哪一种，还要结合铸件结构、铸造生产和机器人使用情况综合考虑。

铸件选择球铁还是铸铝，不仅与机器人工作负载有直接关系，还与机器人结构、运行范围、使用环境有较大关系。比如启帆 STS 关节型 SRD20-1700 机器人，一、二轴关节和手臂铸件采用球铁，而三轴及以上则采用铸铝；又比如 SRD165-2650 机器人，铸件全部采用球铁，而 SHR165-3200 机器人，同样是 165 kg 的负载，其三轴及以下采用球铁，三轴以上采用铸铝。

3　STS 关节型机器人铸件铸造方法

目前砂型铸造是最为常用的铸造方法，其砂型可分为粘土砂型、水玻璃砂型、树脂砂型 3 大类。目前铸铁件和铸铝件广泛使用粘土湿型砂和呋喃树脂砂。粘土湿型砂强度低，易于变形，铸件尺寸精度较低，铸件表面粗糙度较差。呋喃树脂砂铸件尺寸精度

表 2 启帆 STS 关节型 SRD6-1400 六轴工业机器人铸件材质与特性[2-6]

Tab.2 Material kinds and features of STS articular SRD6-1400 Six axis industrial robot castings

类别	名称	材质	特性
底座类	底座	QT500-7	良好的抗拉强度、较好的吸振性、减振性、铸造与切削加工性
关节类	一二轴连接座	ZL101A	良好的力学性能，优于 ZL104；较好的铸造性能，接近 ZL104；较好的抗蚀、切削加工及焊接性能
	三四轴连接座		
	四五轴连接座		
	五六轴连接座		
手臂类	主臂		
	副臂		
	六轴座		
壳盖类	一二轴连接座上盖	ZL102	较低的力学性能，可不用热处理；优良的铸造性能，如流动性与致密度；良好的耐蚀、耐磨
	一二轴连接座侧盖		
	三四轴连接座侧盖		
	五六轴连接座右侧盖	ZL104	较好的力学性能，接近 ZL101A；良好的铸造性能，接近 ZL102；较好的抗蚀、切削加工及焊接性能

可达 CT8~10,表面粗糙度 R_a=25～50 μm,比粘土湿型砂、水玻璃砂好[2-6]。树脂砂特别适合于单件小批量的铸铁、铸钢和非铁合金铸件。

目前砂型铸造模具(比如模样与芯盒)常用的是木模或铝模。木模价格低廉、易加工、质量轻,但强度低、易吸潮变形与损伤,尺寸精度低。铝模强度较高、较耐磨、表面光滑、尺寸精度高、质量较轻、易加工[2-6]。启帆 STS 关节型机器人铸铁件和铸铝件,前期研发阶段采用木模试制样件,等到后期铸件设计稳定、批量生产时,则采取铝模。

铸铝件除了砂型铸造方法,还可用特种铸造方法,比如石膏型、壳型、金属型重力、低压、压铸等。铸铝件在后三种铸造方法中应用较为广泛[2]。金属型重力、低压和压铸都是金属型,只是浇注的方式不同而已。前者是依靠金属液重力,后两者是依靠外界压力,其中低压压力较小,压铸压力很高。这三种铸造方法的铸铝件表面质量、尺寸精度、力学性能都优于砂型铸造。

铸铝件具体采取何种铸造方法,不仅与铸件结构有直接关系,还与其需求量、经济性有很大关系[2-6]。压铸生产效率最高,但模具与设备投入最大,其次是低压铸造,最后是金属型重力铸造。目前启帆 STS 关节型机型人月出货量均百台左右,且铸铝件外观要求较高,因此采取金属型重力铸造是比较合适的。

4 STS 关节型机器人铸件结构工艺性

铸件结构设计时,首先铸件应有合适的壁厚[2-6](如表 3 和表 4)。铸件壁厚太薄,容易造成浇不足、冷隔等缺陷;壁厚过大,其内部晶粒粗大,容易产生缩孔、缩松、偏析,导致力学性能降低。在设计受力铸件时,不应单纯采取加厚来增强铸件强度。铸件壁厚可随铸件尺寸增大而适当增大,应选取合适的壁厚,既方便铸造又能充分发挥材料的力学性能。

其次铸件结构应避免铸造缺陷[2-6]。比如内壁应薄于外壁,使内外壁能均匀地冷却,减轻内应力和防止热裂;铸件薄厚壁的连接、转弯、等壁厚壁与壁的连接应采取逐步过渡与转变的形式,并用较大圆角连接,减少应力集中;壁厚力求均匀,减少厚实部分,防止壁的交接处形成热节。

表3 启帆砂铸件最小壁厚/mm
Tab.3 Minimum wall thickness of STS sand casting

合金种类	铸件轮廓尺寸					
球墨铸铁	<200	200~400	400~800	800~1 250	1 250~2 000	>2 000
	3~4	4~8	8~10	10~12	12~14	14~16
铝合金	<50	50~100	100~200	200~400	400~600	400~800
	3	3	4~5	5~6	6~8	8~10

表4 启帆砂铸件临界壁厚/mm
Tab.4 Critical wall thickness of STS sand casting

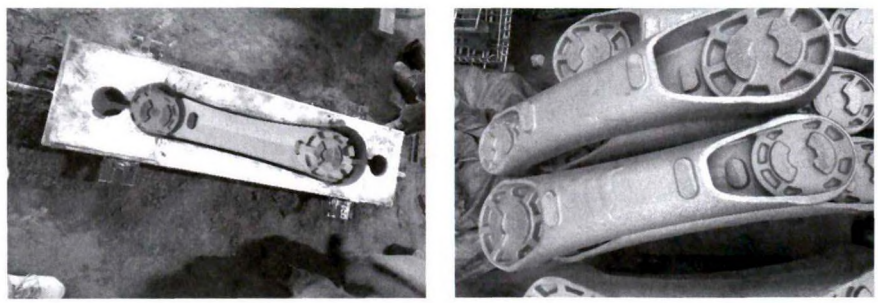
合金种类	铸件质量		
	0.1~2.5 kg	2.5~10.0 kg	>10 kg
QT500-7	14~18	18~20	60
铝合金	6~10	6~12	10~14

最后需要考虑铸造工艺与模具设计以及便于现场操作的事宜。一方面可参考铸造工艺与模具设计工具书,另一方面可咨询铸造供应商,根据供应商现有的设备、业务水平、操作习惯等进行修改和完善铸件结构。

5 STS 关节型机器人铸件试制与量产

图 3 为启帆 STS 关节型 SRD6-1400 六轴工业机器人主臂粘土湿型砂铸件试制照片。该铸铝件前期采取粘土湿型砂快速铸出试制样品,经装机调试并若干次局部结构修改后,铸件结构最终定型,既满足了铸造工艺与生产要求,又符合机器人使用要求。但从图 3 明显可以看出,粘土湿型砂的铸铝件表面粗糙度较差。

最后将该结构定型的铸件进行金属型重力铸造(图 4),试制样品表面良好,力学性能合格,X 射线探伤合格。首批次 100 套铸件全部合格。该机型历经4 个月顺利实现从研发到量产,目前已交付订单 200 台。



(a)造型　　(b)样件

图 3 启帆 STS 关节型 SRD6-1400 六轴工业机器人主臂粘土湿砂型铸件
Fig.3 Sand casting of STS articular SRD6-1400 Six axis industrial robot arm

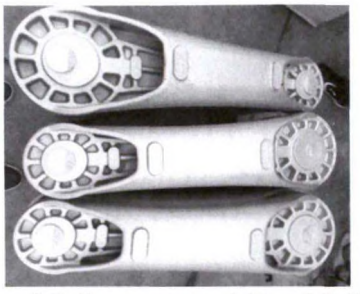


图 4 启帆 STS 关节型 SRD6-1400 六轴工业机器人主臂金属型铸件

Fig.4 Permanent mold casting of STS articular SRD6-1400 Six axis industrial robot arm

6 结束语

启帆针对 STS 关节型工业机器人铸件特点，从铸造材料、铸造方法、铸件结构等多个方面对铸件进行设计，取得了良好的效果，实现了快速研发和量产目的，可为工业机器人铸件设计提供了有效参考。

参考文献：

[1] 闻邦椿. 机械设计手册，工业机器人与数控技术[M]. 北京：机械工业出版社，2015.

[2] 柳百成，黄天佑. 材料工程大典（第 18 卷）- 材料铸造成形（上）[M]. 北京：化学工业出版社，2005.

[3] 聂小武. 实用有色合金铸造技术 [M]. 沈阳：辽宁科学技术出版社，2009.

[4] 陈瑛. PHD-26 变速器壳体铸件结构的改进 [J]. 铸造技术，2016，37(1):183-185.

[5] 周洪. 铸造工艺设计的 6 条原则及 9 个过程[J]. 铸造技术，2017，28(1):24-26.

[6] 李新亚. 铸造手册（第 5 卷 - 铸造工艺）[M]. 北京：机械工业出版社，2011.

TSFA便携式非接触红外测温仪

铸造测温的跨越

采用德国技术，激光/望远镜瞄准，只要扣动按键，炉内熔化温度、出炉温度、浇包温度、浇注开始与终了温度、冒口溢流温度就会瞬间显示。全程检测，快速、准确、方便。4米内目标不受距离影响。测温范围：1000~2000℃，铸铁、铸钢、铝铜不同合金发射率可调。

产品特点及技术参数

- 瞄准方式：激光/望远镜瞄准
- 目标距离：4 m 内测量与距离无关
- 激光聚焦：3600 mm距离激光聚焦为24 mm光斑
- 测量模式：最大值/最小值显示/记忆功能
- 扫描功能：对测量目标快速扫描并显示出测量的最大值
- 报警方式：高低温声光报警
- 存储功能：2000 个数据点

唐盛电子

纳米级短波精确测量物体温度，特别是熔融金属液态温度；带USB接口及软件，可设定仪器参数、存取数据可下载、连接计算机可以显示实时温度及温度曲线，对合金熔化及浇注温度的控制提供可靠的适时测量。

西安唐盛电子有限责任公司

地址：西安市雁翔路132号开元新村4单元201室

电话：029-83290862　　传真：029-88473613

Email: xatomson@163.com　　QQ：517221382