

C90500 铜合金深冷泵泵体铸造缺陷的消除

于汇峰

(大连深蓝泵业有限公司, 辽宁大连 116031)

摘要: 介绍了C90500铜合金深冷泵泵体容易产生的铸造缺陷以及缺陷的消除方法。在普通砂型铸造C90500铜合金泵体过程中, 常因铸造工艺设计、熔炼工艺及清理焊补工艺等不当操作导致铸件产生缩孔、缩松、气孔和裂纹等铸造缺陷。依据材质特性、铸件结构特点及铸造生产经验设计了砂型铸造C90500铜合金深冷泵泵体的铸造工艺; 通过制定合理的冒口、冷铁等铸造工艺、熔炼工艺、切割冒口方法及补焊修复工艺, 彻底消除了C90500合金深冷泵泵体铸造缺陷, 得到了符合质量要求的合格铸件。

关键词: 深冷泵; C90500铜合金; 铸造缺陷; 消除方法

C90500合金属于铸造锡青铜类, 其化学成分见表1^[1]。该合金具有很高的耐磨性和良好的耐蚀性, 低温环境中具有较高的化学稳定性, 被广泛应用于深冷泵, 在液氧、液氮、液氩及LNG液化天然气和LPG液化石油气等领域下使用^[2]。由于使用环境苛刻, 质量要求已远远超过国产普通泵的技术范围, 基本由国外著名品牌泵制造公司生产, 其进口设备价格昂贵, 供货周期长, 售后服务费用高。随着LNG液化天然气和LPG液化石油气等领域的发展, 打破国外深冷泵的技术垄断势在必行。C90500材质深冷泵对铸件产品有着特别高的要求, 不允许有铸造缺陷。因此, 消除C90500铜合金深冷泵泵体的铸造缺陷, 对我国自主建设深冷泵装置具有重要意义。

C90500砂铸铜合金的铸态组织为 α 相+($\alpha+\delta$)共析体, 见图1。 α 相是Sn溶于Cu中的固溶体, 具有Cu一样的面心立方晶格并保留良好的塑性。由于Sn的固溶强化, 合金具有比Cu更高的硬度; δ 相是以中间化合物($\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$)为基的固溶体, 硬而脆^[3]。

1 铸造缺陷及分析

1.1 铸造缺陷描述

C90500铜合金泵体铸造采用碱性酚醛树脂砂进行造型、制芯, 合金熔炼采用中频感应坩埚炉, 浇注温度为 $(1\ 120 \pm 10)^\circ\text{C}$ 。使用焊条方式切割浇、冒口, 经过机械加工后, 铸造缺陷通常在加工及无损检验过程中发现, 见图2。

C90500铜合金深冷泵泵体结构复杂, 法兰厚大, 泵体壁厚较薄。砂型铸造时, 按照顺序凝固的方式设计铸件的冒口和冷铁, 由于材质具有糊状凝固的特性, 冒口的设置难以补缩铸件整体。在未设置冒口、冷铁的位置均容易产生缺陷, 特别在铸件的法兰、厚大的止口区域, 导致铸件存在分散性的缩孔, 在泵体等承压过程中发生泄漏。

在中频炉感性炉熔炼过程中, 脱氧过程处理不彻底、使用硅钙粉作为脱氧剂、熔炼过程时间较长及浇注过程中延长铜液与空气间的接触时间等操作, 在熔炼和浇注过程会产生吸气状况, 导致铸件产生大量的气孔缺陷。气孔会随铜液一同上浮至铸件的上表面, 导致铸件上箱表面形成密集性针状类气孔缺陷。

铸件浇注后, 采用焊条、碳弧气刨等热量较大的方式切割铸件浇、冒口, 均会导致铸件切割冒口处产生炸裂状裂纹缺陷。

作者简介:

于汇峰(1986-), 男, 学士, 工程师, 研究方向为铸造工艺。E-mail: 18641109074@163.com

中图分类号: TG291

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2019)04-0408-04

收稿日期:

2018-11-07 收到初稿,
2019-02-21 收到修订稿。

表1 C90500 (ASTM B584) 铜合金的化学成分要求
Table 1 Chemical composition requirements of C90500 copper alloy (ASTM B584)

主要元素					杂质元素					
Cu	Sn	Pb	Zn	Ni+Co	Fe	Sb	S	P	Al	Si
86.0~89.0	9.0~11.0	0.30	1.0~3.0	1.0	0.20	0.20	0.05	0.05	0.005	0.005

1.2 原因分析

C90500铜合金铸造性能相对铸钢材质较差,其结晶温度范围宽,呈糊状凝固,流动性差,补缩困难,容易产生枝晶偏析和分散的微观缩孔,高温强度低,热裂倾向大,冷裂倾向小^[3]。该合金具有较小的体积收缩率,但由于结晶温度范围宽,当晶界尚有液相或刚刚凝固时,高温强度很低,铸件极易产生缩孔、缩松或裂纹缺陷。同时,在砂型铸造条件下,C90500铜合金容易产生反偏析^[3],使铸件成分不均匀,内部形成许多小孔洞。铸件在后序加工后产生大面积孔洞类的缺陷往往难以彻底清除,最终导致铸件报废。

C90500合金具有极强的吸气性,常常在最后凝固部位发生铜液“上涨”现象。在熔炼温度下,气体(氢)在熔体中有相当大的饱和溶解分压,在1 230 ℃熔炼条件下,气体溶解分压为 $5.8 \times 10^3 \text{ Pa}$ 。为减少熔液吸氢,C90500宜在弱氧化性、氧化性气氛或在覆盖剂保护下进行快速熔炼^[4],预防铸件产生严重的气孔缺陷。

2 缺陷消除方法

2.1 缩孔、缩松缺陷消除

根据铸件的结构特点,需对C90500合金深冷泵进行合理的铸造工艺设计。将铸件的重要加工面设置在工艺下方,以减少铜液内夹渣对其产生的影响,并配合增加冷铁和放置合理的冒口,见图3。

2.1.1 增加冷铁

根据C90500材质特性,铸造工艺设计要考虑采取快速冷却措施,使具有糊状凝固特性基本上按层状凝固方式进行。因此,在铸件关键的承压部位或重要的加工面均设置冷铁,在产前准备中制作出随形冷铁,并在造型过程进行放置(图4),可使铸件表面迅速形成柱状晶的激冷层,提高铸件关键部位的致密性。

2.1.2 放置冒口

虽然C90500铜合金结晶温度范围宽,呈糊状凝固,但冒口的使用还需尽量放大,并设置在铸件的上方。由于材料吸气倾向性较大,冒口的合理设置可以在满足铸件补缩要求的同时将型腔内气体快速地排出型腔外部。

2.2 气孔缺陷消除

2.2.1 浇道的设置

C90500铜合金具有极强的吸气性,浇道的设置采



图1 C90500铸态组织 $\alpha + (\alpha + \delta)$ 100 ×
Fig. 1 As-cast microstructure $\alpha + (\alpha + \delta)$ of sand cast C90500 alloy

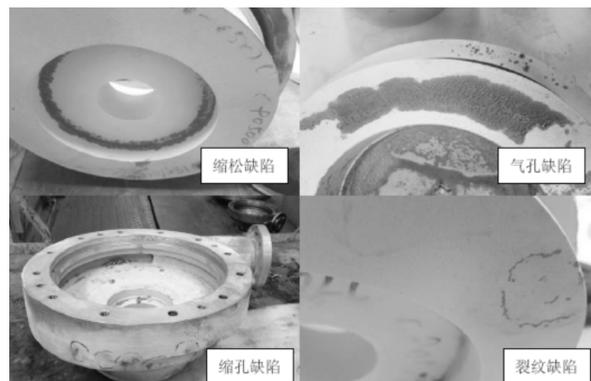


图2 C90500合金泵体的铸造缺陷
Fig. 2 Casting defects in C90500 alloy cryogenic pump body

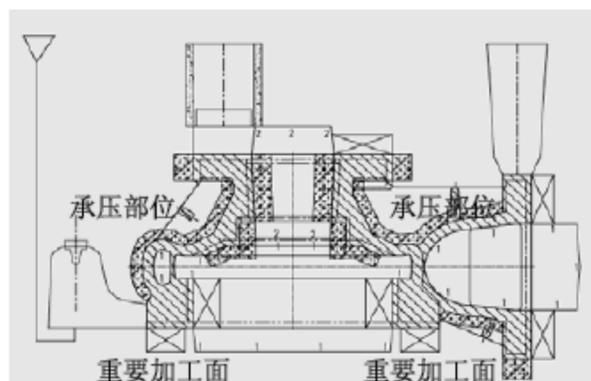


图3 C90500深冷泵铸造工艺
Fig. 3 Casting process of C90500 cryogenic pump

用底注雨淋式的内浇道，铜液可快速平稳的充型，减少铜液与空气接触的时间，可预防气孔缺陷产生。同时，浇注过程中，铜液的氧化夹渣物可通过液体得到充分地上浮至铸件的冒口内，预防铸件氧化夹渣物的产生。

2.2.2 改进熔炼工艺

在熔炼前，对金属原材料进行烘烤炙热，去除材料中的锈蚀及水汽。采用中频感应炉进行熔炼装炉时，依次加入覆盖剂、电解铜、电解镍。整个熔炼过程用氩气保护，炉料全部熔化后，使铜液过热至1 200~1 250 ℃。加入磷铜预脱氧，磷在磷铜中以化合物 Cu_3P 的形式存在，在1 000 ℃时分解；当磷铜加入合金后，脱氧反应可在整个熔炼炉中进行，其反应如下： $5Cu_2O+2P=10Cu+P_2O_5$ 。反应生成的 P_2O_5 沸点为347 ℃，在合金中呈气态，以气泡形式上升，一部分 P_2O_5 气泡溢出液面外，另一部分气泡在上升过程中继续与合金中的 Cu_2O 发生反应，生成 $CuPO_3$ 。 $CuPO_3$ 熔点低、密度小，在合金中呈球状，容易聚集上浮到渣中。磷铜除了使合金脱氧外，氧化反应生成的 P_2O_5 气泡有除气和去除夹杂的作用，并兼有精炼的作用^[5]。熔炼后期向铜液中连续吹3~5 min氩气除气，并取样块做炉前检验。浇注圆柱试样，检验脱氧效果。若圆柱试块收缩良好即可调整温度出炉。浇注前，向型腔内通入氩气1~2 min。

2.2.3 浇注过程温度控制

铸件在浇注过程中，控制型腔温度为120 ℃左右，浇注温度1 120 ℃，全流进行浇注。

2.3 裂纹缺陷消除

2.3.1 C90500铜合金的冒口切割方法

在对C90500铜合金浇冒口切割过程中发现，当采用焊条或碳弧气爆等热方式进行切割时，在铸件局部受热容易形成热裂纹缺陷，切割后的浇冒口部位在液体渗透检验后产生线状缺陷。原因是铸件在高温切割的作用下，冷却过程中Cu-Sn重新生成 δ 相（ $Cu_{31}Sn_8$ ）中间化合物的固溶体，强度和塑性降低，热脆性增加，易形成裂纹缺陷^[6]。因此，在切割浇、冒口时避免过热方法进行切割。

2.3.2 补焊修复缺陷方法

一些铸造缺陷需要进行焊补修复，但在焊补修复C90500合金铸件时，由于填充金属含有较高的Sn量，扩大了焊缝金属液相点和固相点之间的温度范围，增加了焊缝金属的凝固时间，增加了热脆倾向。焊补时应以小熔池（减少熔深）、快速焊为宜^[4]。

C90500合金的补焊修复缺陷过程采用以下工艺：预热150 ℃，层间温度180 ℃，焊接方法GTAW，填充金属ERCuSn-C（ $\Phi 2.0$ mm），电流种类DCEN，电流

120~200 A，电压12~16 V，焊接速度100~160 mm/min，采用Ar气体保护。

焊补后对铸件进行消除内应力的退火处理，650 ℃保温3 h，空冷或随炉冷却^[7]。

3 生产验证

按照上述制定的冒口、冷铁等铸造工艺、熔炼工艺、切割冒口方法及补焊修复工艺，经过实际生产过程验证，消除了C90500合金深冷泵泵体铸造缺陷，得到了符合质量要求的合格铸件，见图5和图6。

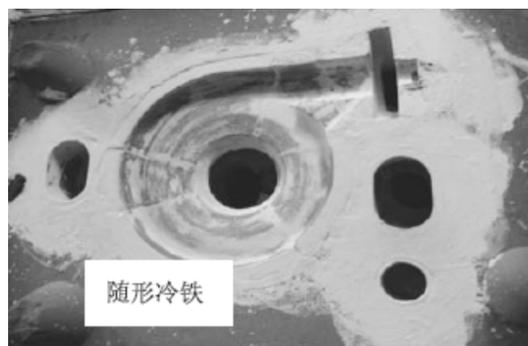


图4 随形冷铁造型

Fig. 4 Chill shape along with sand molding



图5 浇注后的铸件状态

Fig. 5 Casting with gating and risering system

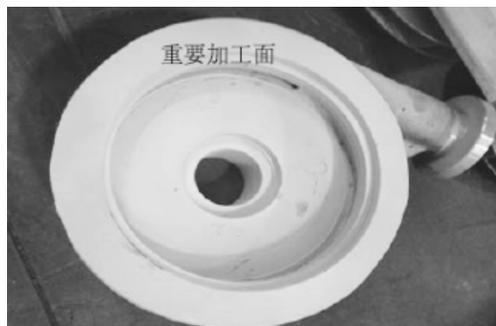


图6 无损PT检验合格

Fig. 6 Nondestructive PT test, qualified

4 结论

C90500铜合金深冷泵体在砂型铸造过程中,铸件容易产生缩孔、缩松、气孔和裂纹等缺陷。通过采用增加冷铁、合理设置浇冒口、改进合金熔炼工艺、冷割法清理冒口及正确的补焊修复工艺等一系列措施,消除了C90500铜合金深冷泵的砂型铸造缺陷。

参考文献:

- [1] 全国铸造标准化技术委员会.最新铸造标准手册[M].北京:机械工业出版社,1994.
- [2] 孙大涌.先进铸造技术[M].北京:机械工业出版社,1995.
- [3] 中国机械工程学会铸造分会.铸造手册:铸造非铁合金[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [4] 美国焊接学会.焊接手册[M].(第4卷)北京:机械工业出版社,1985.
- [5] 赵祖德.铜及铜合金手册[M].北京:科学出版社,1993.
- [6] 潘奇汉.新型铸造铜合金[J].铸造,1991(11):1-5.
- [7] 周善佑.铜合金的热处理[J].上海金属(有色分册),1985(2-3):50-53.

Removal of Casting Defects in C90500 Alloy Cryogenic Pump

YU Hui-feng

(Dalian Deepblue Pump Co., Ltd., Dalian 116031, Liaoning, China)

Abstract:

This paper mainly introduces the casting defects in C90500 copper alloy cryogenic pump body and the methods to eliminate them. In the process of common sand casting C90500 copper alloy pump body, casting defects such as shrinkage, dispersed shrinkage, blowhole and crack are often caused by unreasonable casting process design, improper operation of melting process and welding and repair process, etc. According to material characteristics of C90500 alloy, structural feature of pump body and combined with production experience, sand casting process of C90500 copper alloy cryogenic pump body was designed. Practical production verified that casting defects in C90500 alloy pump body could be eliminated by designing reasonably gating and risering system, controlling strictly the melting process, selecting proper riser cutting method and repair welding technology.

Key words:

cryogenic pump; C90500 alloy; casting defects; elimination method