DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.04.011

高铁用高性能制动盘的生产技术

熊六一,朱　伟,胡美华
(宁波金汇精密铸造有限公司,浙江 宁波 315135)

摘　要:探讨了高铁高性能制动盘铸件的技术要求、工艺设计方案、质量控制和生产过程管理。结果表明,结合温硬化树脂砂组芯工艺,生产了内腔复杂、清理工具无法深入、缺陷无法修复、尺寸和清理要求非常高的铸件,找到了优异的生产方法。

关键词:高铁;高性能;制动盘;组芯工艺

中图分类号:TG269　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)04-0350-04

Production Technology of High Performance Break Discs for High Speed Trains

XIONG Liuyi, ZHU Wei, HU Meihua
(Ningbo Jinhui Precision Casting Co., Ltd., Ningbo 315135, China)

Abstract: The technical requirements, process design, quality control and production process management of high performance brake disc casting for high speed rail (HSR) were discussed. The results show that the core process is combined with temperature hardening, an excellent method has been found to produce the casting with complex inner cavity, impenetrable cleaning tools, unrepairable defects, and very high requirements for size and cleaning.

Key words: high-speed railway (HSR); high-performance brake disc; core package process

制动盘是目前交通运输、坦克和军用战机等机械装备中广泛应用的核心部件,为其在日常运行和紧急制动情况下提供了必要的安全保障。制动盘的设计、材料选择、制动方式将会对整个设备的制动效果产生直接影响,从而影响这些设备运行的稳定性、平稳性和安全可靠性[1]。

本文重点讨论高速铁路用高性能制动盘。我国处于高速铁路发展快速时期,目前我国及世界各国高速列车设计已达到 400 km/h,列车最高试验速度达到 450~580 km/h,速度越高对制动系统制动盘的要求越高。2017 年我国目前运营动车组已经超过 2 400 组,一列 8~16 节车厢高速列车,需要 64~192 个制动盘,制动盘用量在 15~45 万件,>300 km/h 高速列车用铸钢制动盘几乎依赖进口,价格昂贵。数据显示,2014 年高铁制动盘存量替换市场容量约 60 亿元,预计达到 2020 年可以达到 100 亿元,市场潜在的需求和替换容量巨大。随着列车时速提高,紧急制动时制动能量急剧增大 (200~300 km/h 高速列车的制动能量是普通列车的 4~9 倍),列车制动盘表面温度剧烈升高导致显著的高温磨耗,在剧烈冷热循环条件下加剧了热裂纹萌生与扩展,为了保证较好的制动性能,设计者在材料选择方面更加苛刻,在散热设计方面结构更加复杂,更需要优质的工艺来生产。

1　制动盘概况

1.1　制动盘铸件的形状及其轮廓尺寸

高铁高性能制动盘,通常情况下是一个圆盘,有单摩擦面的轮盘和双摩擦面的轴盘,有整体的也有分体式的,有板状散热筋也有柱状散热筋的。本文讨论的制动盘是双摩擦面壁厚比较均匀且薄,平均壁厚在 26 mm,热节分散,轮廓尺寸为 ϕ600 mm×120 mm,铸件重量约 120 kg。铸件形状见图 1。

1.2　制动盘的成分及性能要求

铸件的化学成分和力学性能见表 1、表 2。

1.3　物件的外观及其无损检测要求

制动盘铸件外观要求高,两个摩擦工作面是关键区域不允许有任何缺陷存在,不允许焊修。两个工作面连接柱是按照空气动力学设计成鱼形板,不允许有脉纹、毛刺、粘砂等缺陷,影响空气流通使散热效率下降,从而影响制动效果。

收稿日期:2019-09-17

作者简介:熊六一(1977-),青海乐都人,工程师.主要从事铸造专业相关的工作.电话:13895482392,
E-mail:379692014@qq.com

图 1 铸件形状
Fig.1 The casting shape

表1 铸件化学成分要求 w(%)
Tab.1 Chemical composition requirements of the casting

元素	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr	Ni
含量	0.18~0.25	≤0.6	0.80~1.25	≤0.020	≤0.020	0.50~0.80	0.60~1.10	0.8~1.28

表 2 铸件的力学性能指标
Tab.2 Mechanical properties of casting

抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率(%)	断面收缩率(%)	-40 ℃冲击功 /J		本体硬度 /HBW
				试棒	本体	
≥1 050	900	7	24	27	20	330~375 (室温)
≥650	520	17	50	35	30	300~365 (650 ℃)

2 金汇公司生产条件

本公司一直在温硬化树脂砂组芯造型工艺方面投入了大量的研究，保证铸件的尺寸精度和持续生产的稳定性，浇注后有非常好的溃散性，方便复杂内腔的清理。这个件连接柱之间缝隙小，清理要求高，适合选用这个温硬化组芯造型工艺。

3 工艺设计

3.1 制动盘铸件工艺方案

该产品两个重要工作面都不允许有缺陷，中间靠连接柱连接热节分散，有平做立浇(图 2a)，两个摩擦工作面都是冒口补缩，用工艺补贴控制凝固顺序，平做平浇(图 2b)上面的工作用冒口补缩，下面的工作面使用冷铁激冷，调节温度场实现顺序凝固，但是中间的连接柱太细，无法形成补缩通道。综上所述，最后选择了平做立浇工艺，通过冒口补贴和冷铁结合的方式，调整整个铸件的温度场分布，实现顺序凝固。

3.2 造型工艺选择

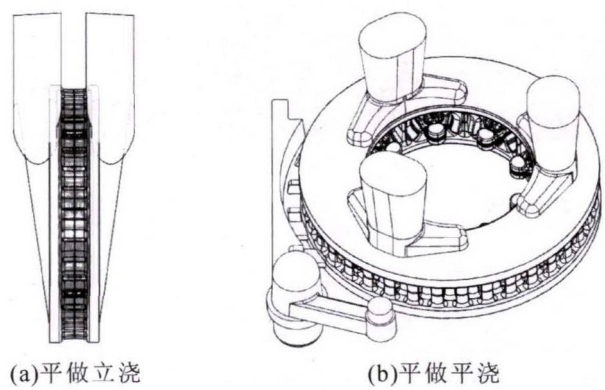
选用温芯盒射壳组芯造型工艺。

3.3 工艺参数确定

由于环保温硬化组芯造型工艺，浇注过程中型壳强度会上升，确保铸件的尺寸精度，浇注完成后钢液凝固强度上升，型壳强度会下降，对铸件的收缩不产生阻力，铸件相当于自由收缩。基于上面的工艺特点，工艺收缩率都按照 2%设计，由于是射芯机射壳，整体尺寸非常稳定，唯一对尺寸影响较大的就是分型负数。

3.4 浇注系统、冒口及其冷铁设计

浇注系统：如上图 2(a)所示的浇注系统方案，考虑到平做立浇，选用底注方式，用完全开放的浇注系统，快速大流量低流速的浇注模式，由于连接筋板导致内腔特别复杂，要快速浇注，液面上升速度不小于 20 mm/s[2]。



(a)平做立浇　　(b)平做平浇

图 2 浇注方法
Fig.2 Pouring method

冒口设计：根据模数及补缩距离计算确定冒口数量和尺寸，铸件的浇注重量在 220 kg，浇冒口重 120 kg，工艺出品率为 54.5%。

冷铁设计:在上面放冒口,下面放上冷铁,减少壁厚差防止裂纹和缩松的产生,也通过冷铁形成冷却末端,提高冒口的补缩效率[3]。

3.5 凝固模拟分析

从凝固模拟温度场分布(图 3)和缺陷判定结果(图 4)来看,工艺设计中参数设定比较合理,按此工艺生产的铸件能够满足顾客标准的要求,按此工艺进行开模和生产。

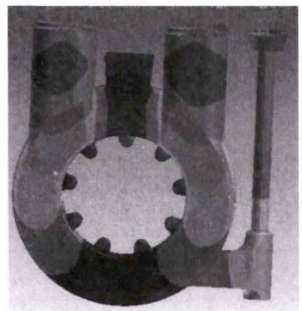


图 3 温度场分布
Fig.3 Temperature distribution

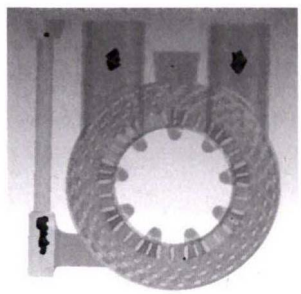


图 4 缺陷分析
Fig.4 Casting defects analysis

4 生产过程

由下面的照片真实反应每个生产过程,从射壳、流涂、合箱、清理落砂到气割等工序。

如下图 5(a)射好的外壳涂刷完成、图 5(b)是芯子射芯完成并流涂、图 5(c)是浇注后落砂完成、图 5(d)是浇冒口气割完成,图 5(e)加工完成后铸件,图 5(f)为检测内部尺寸做的铸件解剖。

5 铸件质量及其检查

5.1 浇注的化学成分及其力学性能的检测结果

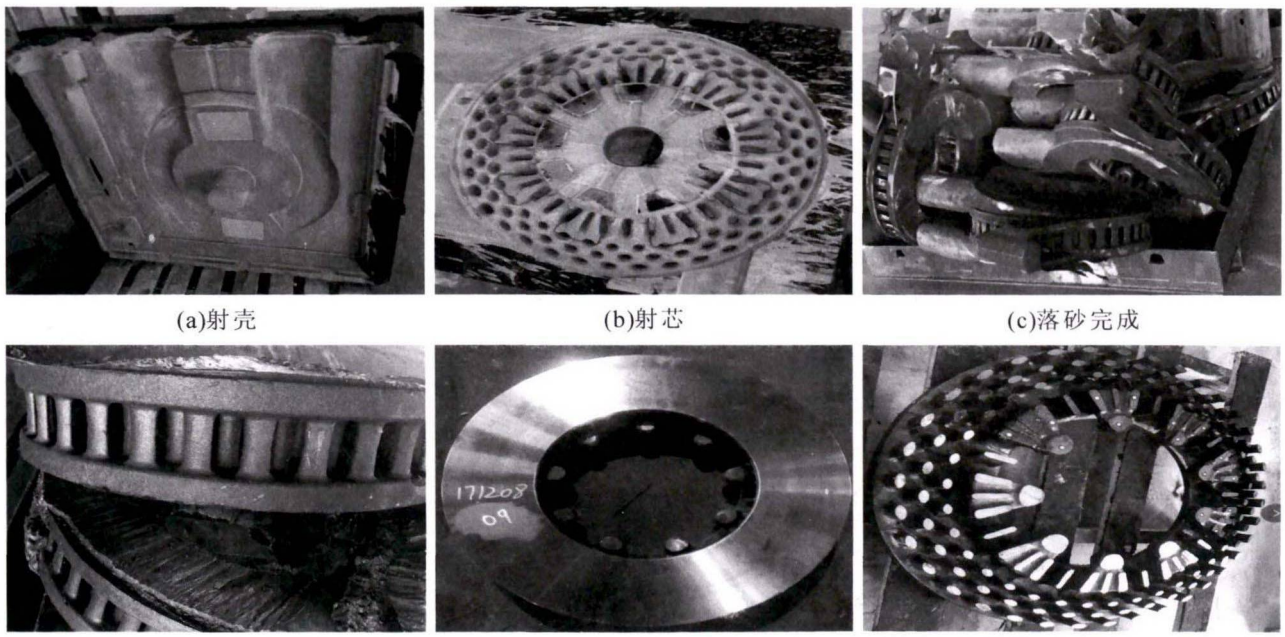
按照顾客要求 120°方向上下对称,本体上要取 6 组试棒,通过自己公司的检测结果,都满足顾客的要求。高温性能测试由于本司没有实验条件,顾客处检测结论合格。从以上的铸件的试棒、本体检测结论来看,都完全符合顾客标准,尤其是铸件本体的冲击值,大幅高于标准,顾客也给予了高度评价。制动盘铸件化学成分及力学性能检测结果见表 3~ 表 5。

5.2 铸件尺寸扫描检测

图 6 用 Creaform 3D 对整个铸件解剖进行扫描,用铸件的实际轮廓和设计的三维图进行重合,通过颜色判断铸件尺寸是否超差,红色为多肉区域,蓝色为缺肉区域,正常的显示为绿色,图 7 铸件成品图。

5.3 铸件无损检测和顾客装配验证

后续铸件在做磁粉检测的过程中没有发现裂纹,超声波检查也没有发现缺陷,解剖断面也没有发现缺陷,样品一次性发 6 件给客户,客户的各项检测



(a)射壳 (b)射芯 (c)落砂完成

(d)气割完成 (e)加工完成 (f)解剖件

图 5 生产过程照片
Fig.5 Production process photoes

表3 制动盘铸件化学成分 w(%)

Tab.3 Chemical composition requirements for brake disc castings

元素	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr	Ni
标准	0.18~0.25	≤0.6	0.80~1.25	≤0.020	≤0.020	0.60~1.10	0.50~0.80	0.8~1.28
试棒 1 自检	0.22	0.37	0.90	0.018	0.010	0.79	0.65	0.82
试棒 2 自检	0.21	0.39	0.86	0.016	0.013	0.67	0.66	0.87
试棒 3 外检	0.20	0.35	0.83	0.017	0.011	0.77	0.69	0.89
试棒 4 外检	0.21	0.38	0.88	0.015	0.012	0.68	0.65	0.92

表 4 制动盘铸件的力学性能指标(常规)

Tab.4 Mechanical properties of brake disc casting

	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率(%)	断面收缩率(%)	-40℃冲击功 试棒 /J	硬度 /HBW
标准	≥1 050	≥900	≥6	≥24	≥27	330~375
试棒 1 自检	1 186	1 112	9.0	28.4	62/53/52	368
试棒 2TUV	1 165	1 106	8.4	27.6	61/54/56	365
本体 1 自检	1 155	1 088	8.8	26.8	62/58/58	362
本体 2TUV	1 158	1 067	9.2	25.4	56/52/52	370
本体 1 顾客	1 196	1 110	9.4	27.8	58/58/56	372
本体 2 顾客	1 201	1 108	6.8	24.8	62/64/64	374

表 5 制动盘铸件的力学性能指标(本体解剖取 6 组试块结果)

Tab.5 Mechanical properties of brake disc casting

	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率(%)	断面收缩率(%)	-40℃冲击功 本体 /J	硬度 /HBW
标准	≥1 050	≥900	≥6	≥24	≥20	330~375
本体 1 自检	1 134	1 056	9	40	48/38/38	365
本体 2 自检	1 128	1 057	10.5	32	44/42/38	370
本体 3 自检	1 128	1 061	10.0	43	34/34/46	368
本体 4 自检	1 113	1 058	7.5	25	54/40/48	362
本体 5 自检	1 100	1 056	7.5	28	32/42/44	362
本体 6 自检	1 116	1 064	10.0	45	30/42/38	366

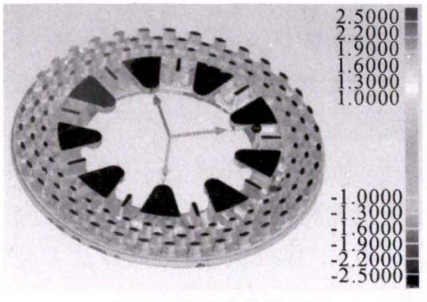


图 6 尺寸拟合检测

Fig.6 Size Fitting Detection

图 7 铸件

Fig.7 Casting

都是合格，装机验证合格，现在已经批量生产。

6 结束语

经过精心工艺方案论证，采用温硬化树脂砂组芯造型工艺技术，产品的化学成分、力学性能、外观尺寸、内在质量均达到并超越了顾客的采购技术标准，达到国际同类产品的先进制造水平，也得到了顾客的充分肯定。通过温硬化组芯工艺，为生产高质量要求、内腔特别复杂、无法清理、无法修复的铸件找到了新的工艺方法[4]。

参考文献：

[1] 齐海波，樊云昌，籍风秋. 高速列车制动盘材料的研究现状和发展趋势[J]. 石家庄铁道学院学报, 2001, 14(1): 52-57.

[2] 胡汉起. 铸钢及其熔炼技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.

[3] 李明. 铸钢件生产技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.

[4] 熊六一，胡美华，孔祥翔，等. 温硬化组芯工艺生产铁路缓冲器的方法 // 第十四届中国铸造协会年会论文集[C]. 2018-05-13.