

重卡制动鼓铸件结疤缺陷的工艺对策

李 建¹, 刘 洋¹, 闫启栋², 秦鹏鹏¹, 谢文博¹, 汤 森¹

(1. 驻马店中集华骏铸造有限公司, 河南驻马店 463000;

2. 禹州市恒利来新材料股份有限公司, 河南禹州 452570)

摘要: 重卡制动鼓铸件具有外廓尺寸较大、轴向较高、壁厚较大等特点。生产过程中制动鼓法兰内圆角处易出现结疤缺陷, 严重时导致铸件报废, 造成生产成本的增加。通过生产全工序跟踪、纵向和横向综合分析, 推测出采用湿型粘土砂机器造型生产制动鼓时法上述缺陷产生的机理, 并结合实际生产提出了控制型砂质量、合理调整型砂参数指标、缩短浇注时间以及增大排气量等工艺措施。经过一系列的生产测试和验证, 成功地消除了制动鼓法兰内圆角处结疤缺陷。

关键词: HT250; 制动鼓; 结疤; 铸造工艺; 型砂

重型卡车制动鼓是汽车制动系统关键部件, 其制动效果和服役可靠性对于车辆的安全行驶起到至关重要的作用。我公司采用德国KW静压造型线生产制动鼓, 在正常生产过程中, 间断性地出现制动鼓法兰内R角处结疤缺陷, 且位置固定, 集中在X轴方向。在冬季和夏季, 此缺陷比例明显增多, 严重影响产品质量和生产成本。针对这一问题, 公司技术人员从混砂、熔炼、造型、浇注等全工序现场观察生产过程, 结合铸造工艺, 统计废品数量、缺陷形态及分布位置, 分析缺陷产生的原因。通过优化铸造工艺、调整混砂工艺以及改善型砂指标等方面分别实施, 有效地解决了制动鼓法兰内圆角结疤缺陷。

1 结疤缺陷

1.1 制动鼓三维图

该类制动鼓产品采用HT250铸造成形, 外形轮廓尺寸 $\Phi(480\sim 520)$ mm $\times$ 300 mm、最大壁厚38~45 mm、质量在80~90 kg范围内, 铸件三维几何实体如图1所示。

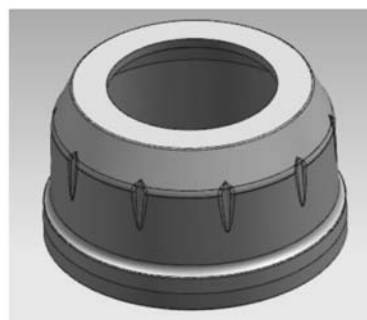


图1 重卡制动鼓三维示意图

Fig. 1 3D diagram of brake drum of heavy truck

1.2 结疤特征

结疤缺陷的表现形式是在铸件表面有局部凸出的长条或块状疤痕, 其边缘与铸件本体分离, 下面夹有一层砂或涂料。把金属瘤状物或夹砂层清除后, 铸件表面就出现不规则的凹坑, 凹坑中有一条形状不规则的突出物^[1]。在铸件的拐角处, 容易出现这种形式的缺陷, 如图2所示。

1.3 结疤形态及分布

此缺陷多出现质量较大的制动鼓内法兰面与筒体交接内圆角处, 有明显的金属凸起物, 长度在10~50 mm, 高度在1~6 mm, 根部与铸件法兰面相连, 距筒体内壁约

作者简介:

李建(1976-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为铸铁熔炼、铸造材料及铸造工艺。电话: 13525329399, E-mail: jian.li_zmd@cimc.com

通讯作者:

刘洋, 男, 助理工程师。电话: 18937333330, E-mail: yang.liuzmd@cimc.com

中图分类号: TG245

文献标识码: A

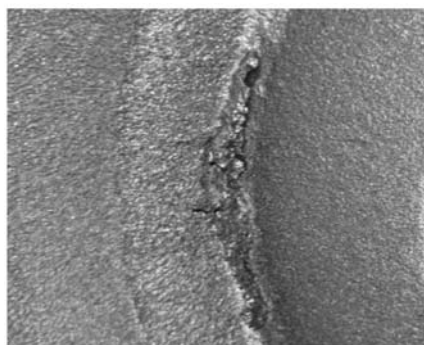
文章编号: 1001-4977(2024)

11-1583-05

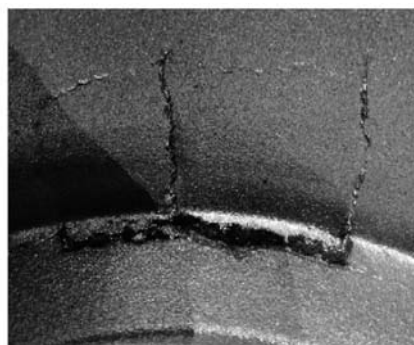
收稿日期:

2024-07-16 收到初稿,

2024-08-21 收到修订稿。



(a) 结疤1



(b) 结疤2

图2 重卡制动鼓结疤缺陷图

Fig. 2 Diagrams of the brake drum scab defects of heavy truck

8 mm, 相对应的筒体内壁有明显缺失现象。

2 结疤形成的机理

结疤缺陷属于夹砂类缺陷中的一种,形成的原因主要分为两个方面:一方面是因为浇注过程中高温铁液进入型腔后,型腔表面受到急剧的热作用,随着内腔温度的升高和长时间的高温烘烤,紧靠铸件表面的型砂被迅速加热,超过600℃,膨润土就会失去结构水,加热到800℃以上,晶格破坏,变成失去粘结力的死粘土。同时表层型砂中的SiO₂在被加热到573℃,开始出现由β石英到α石英的转变, Si—O四面体原子之间的网状连接伸直,产生体积膨胀,而里层型砂中的石英未达到相变温度阻碍表层砂层膨胀,产生相变应力,形成脱层现象。另一方面铁液充型过程中,液面由下往上逐渐上升,对上面型腔烘烤时间过长,导致型砂表层水分向内迁移至表层2~5 mm区域内形成一个高水分、低热湿强度的凝聚层,使膨润土的粘接力下降。由于型砂的热湿剪强度不够阻止膨胀砂层的横向滑移的剪切力,热湿拉强度不够阻止砂层拱出,铁液进入因开裂或脱离的砂层空间,而脱离本体的砂层占据了型腔内的铁液空间,从而形成铸件结疤缺陷。

3 改善方案及对策

3.1 缺陷识别及统计

通过对不同结构一定数量的制动鼓缺陷产品逐一排查,发现其缺陷位置固定,全部集中制动鼓铸件法兰内圆角处,如图3所示,根据统计的缺陷废品生产流水号,发现浇注前中后期铸件都有存在结疤缺陷,基本排除浇注温度及浇注前后变化对缺陷的影响。

3.2 缺陷原因分析及对策

3.2.1 铸造工艺

实际高温铁液浇注过程中,型腔表面经过铁液高



图3 重卡制动鼓结疤缺陷位置示意图

Fig. 3 Schematic diagram of scab defect location of brake drum of heavy truck

温烧灼发生膨胀,因此防止结疤的措施是铁液能否对铸型内腔表面形成一定压力。缩短浇注时间能使铁液在型腔表面型砂高温烘烤下产生膨胀形变之前快速充满型腔,缩短型砂产生膨胀和形成高水分、低强度凝聚区的时间;快速排出型腔内的气体,有利于铁液的快速充型,同时也能减轻水分迁移的过度凝聚,减小水分凝聚区的厚度。

优化铸造工艺,提高浇注速度,增加排气面积,缩短浇注时间,实现快速浇注,降低砂胎局部受烘烤的时间,可减少因型腔表面水分迁移形成高水分、低强度区域。

3.2.2 型砂混制质量

湿型砂不可太干,否则膨润土未被充分润湿,造成砂胎易碎,表面干强度低,易被铁液冲刷掉。也不可以太湿,混好的型砂易在砂斗内搭桥,造型时型砂流动性差,型腔填充不实,砂胎表面易出现紧实不均,同时水分增加,也会增大结疤缺陷的倾向。因此旧砂温度、水分含量以及混砂时间的合理控制对型砂

质量以及稳定性至关重要。

另外,型砂中的水分含量过高时,膨润土在达到临界水分的情况下,强度呈现下降趋势,现场实际生产时会出现紧实率合格能够满足造型所需,但型砂湿压强度和热湿拉强度偏低。由此判定型砂自由水含量相对增加,为了降低自由水含量,通过减少含泥量中的惰性组分,保障在减少型砂水分含量的情况下型砂紧实率和强度值稳定^[2]。

3.2.3 型砂热湿拉强度和韧性

膨润土作为湿型砂粘接剂,可使型砂具有足够的湿态强度和热态强度,保障型腔在历经长时间铁液冲刷及烘烤下不产生变形、脱落。因此选用优质钠基膨润土尤为重要。

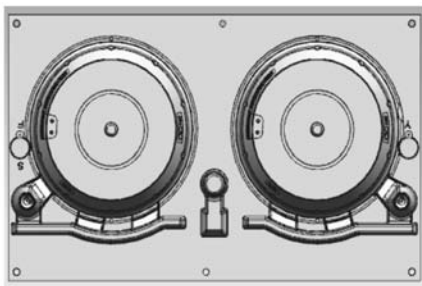
另外加入一定量的 α -淀粉可以有效地提高型砂韧性,

降低造型脱模过程中存在的潜在裂纹风险,同时,在高温铁液充型过程中燃烧,形成空洞,为型砂受高温灼烧受热膨胀提供一定的空间,降低型腔变形、脱落的风险。

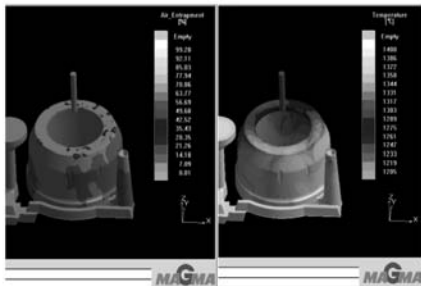
4 方案实施及效果

4.1 该类制动鼓原铸造工艺设计及布局

该类灰铸铁制动鼓产品采用德国KW静压造型线生产。原铸造工艺设计一模两件,上下分型,分散单边内浇口,边冒口补缩,底注工艺。单箱浇注质量220 kg左右,浇注温度1 390~1 420 °C,单箱浇注时间22~25 s,此工艺在生产过程中铸件结疤缺陷比例较大,不合格品占比10%左右。工艺布局图及卷气、温度场数值模拟结果如图4所示。



(a) 工艺布局



(b) 卷气和温度场预测

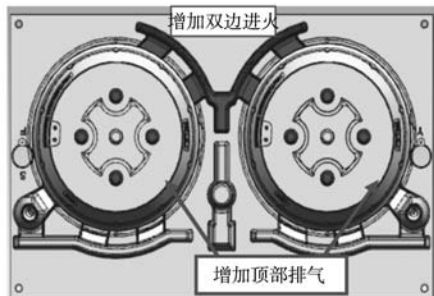
图4 原铸造工艺布局及卷气和温度场数值模拟分析

Fig. 4 Original casting process layout and numerical simulation analysis of air entrapment and temperature field

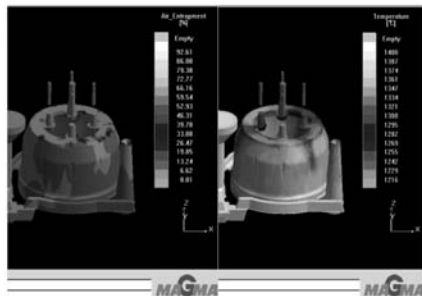
4.2 改进方案一,铸造工艺设计优化

为减少或消除结疤缺陷的产生,在原铸造工艺的基础上增加双边分散内浇口,提高充型速度,缩短浇注时间,减缓铁液对型腔的局部烘烤。同时在结疤缺陷对应位置上增加4个顶排气棒,加大排气量。控制浇注过程铁液流动更加平稳,型腔内气流及时逸出,减

少砂胎内水分含量,降低高水分凝聚区的厚度^[3]。该工艺单箱浇注时间17~20 s,较原工艺减少5 s左右,没有发现因提升浇注速度导致其他问题的发生,改进后铸造工艺布局及浇注过程中温度场和卷气状态如图5所示,与图4显示结果对比变化不大,而制动鼓实际生产验证结疤缺陷改善效果不明显,仅降低不到3个点。



(a) 工艺布局



(b) 卷气和温度场预测

图5 改进后铸造工艺布局及卷气和温度场数值模拟分析

Fig. 5 Improved casting process layout and numerical simulation analysis of air entrapment and temperature field

4.3 改进方案二，控制型砂混制过程参数及优化型砂技术指标

为了提升型砂的混制质量，首先在保证型砂混制设备和在线检测装置运行正常前提下，从新砂粒度、旧砂容量、旧砂水分、旧砂灰分、旧砂温度、混砂时间以及型砂均匀性等方面进行调整^[4]，调整前后参数如表1所示。

其次，生产此类制动鼓时，型砂混制所需原材料的选择至关重要，特别是膨润土，应选择优质钠基膨

润土，技术指标见表2^[5]，稳定控制其吸蓝量、强度、复用性及膨润值等技术指标。根据产品结构和大小合理调整加入量，确定匹配的型砂参数，同时加入膨润土量的2.5% α -淀粉，提高型砂的韧性。

最后，根据该类重卡制动鼓轮廓大小及结构，对型砂湿压强度、紧实率、热湿拉强度、有效膨润土、灼烧减量、含泥量及破碎指数等性能指标进行优化、调整^[6]，调整前后型砂性能如表3所示。

通过控制型砂混制过程参数及优化型砂技术指

表1 型砂混制参数
Table 1 Molding sand mixing parameters

时间点	新砂粒度/目	旧砂容量/t	旧砂水分含量/%	旧砂灰分含量/%	旧砂温度/℃	混砂时间/s
调整前	70~140	≥200	1.2~1.5	≤13.5	≤48	90
调整后	50~100	≥260	1.5~2.0	≤12.5	≤45	100

表2 优质钠基膨润土技术标准
Table 2 Technical standard of high quality sodium bentonite

吸蓝量/[g·(100 g) ⁻¹]	湿压强度/kPa	热湿拉强度/kPa	膨润值/mL	粒度	复用性/%	含水量/%
≥37	≥120	≥3.5	≥90	200目过筛率≥90%	≥70	夏季≤12 冬季≤15

表3 调整型砂工艺后性能对比
Table 3 Performance comparison before and after adjusting molding sand process

时间点	湿压强度/kPa	紧实率/%	水分/%	热湿拉强度/kPa	有效膨润土/%	灼烧减量/%	含泥量/%	破碎指数
调整前	190~210	41~44	4.1~4.4	≥3.0	8~9	5~6	11.5~14.5	≥72
调整后	200~220	39~42	3.9~4.2	≥3.5	9~10	5.5~6.5	10.5~13.5	≥75

标，该类重卡制动鼓法兰内圆角处结疤缺陷得到明显改善，但是型砂改善需要一定时间的反复循环作用，型砂各项指标方可稳定。经过三个月的生产测试并持续改进，铸件结疤缺陷得到有效遏制且消除^[7]。工艺改进后制动鼓法兰内圆角处状态如图6所示。

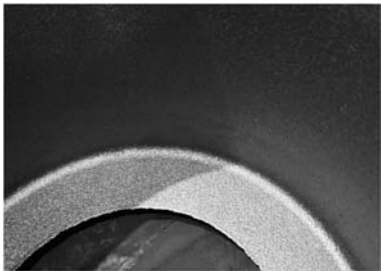


图6 工艺改进后制动鼓法兰内圆角处状态
Fig. 6 State of the brake drum flange inner filleted corner position after process modification

以上改进措施的实施验证结果表明，铸造工艺不完善是导致铸件结疤缺陷的次要因素，而型砂混制过程参数及型砂技术指标不合理是造成铸件结疤缺陷的

主要因素。

5 结论

(1) 铸造工艺方面，采取分散、双边、扁平及多道内浇口，铁液能迅速、平稳地填充型腔，缩短型腔局部烘烤时间；增加铸件顶部排气，减少型腔内水分含量，改变或减弱高水分凝聚区位置及层厚。从数值模拟和测试结果来看，缺陷问题改善效果不明显。

(2) 型砂制备方面，从旧砂量、旧砂水分、旧砂温度、旧砂灰分以及混砂时间等方面控制混砂过程参数；从混砂优质辅料的选择，不同产品型砂参数的匹配以及加入一定量 α -淀粉来稳定达到型砂紧实率、水分、湿压强度、热湿拉强度、有效膨润土、灼烧减量、含泥量及破碎指数等技术指标，在保证生产节拍前提下适当增加型砂混制时间，保证型砂均匀，降低自由水的含量；同时调整新砂粒度和除尘风门大小，降低型砂平均细度数，提高型砂透气性。通过控制型砂混制过程参数及优化型砂技术指标，铸件结疤缺陷问题得到有效改善。

参考文献:

- [1] 陈国桢, 肖柯则, 姜不居. 铸件缺陷和对策手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996: 336-482.
- [2] 张光明, 傅骏. 浅议铸铁件夹砂类缺陷的防止 [J]. 铸造技术, 2008 (3): 1473-1782.
- [3] 王文清, 李魁盛. 铸造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 2189-2357.
- [4] 黄天佑, 金仲信. 粘土湿型砂及其质量控制 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 2529-2612.
- [5] 姜小刚, 曹玉亭, 王文胜. 确保迪砂线型砂紧实率一致性的措施 [J]. 现代铸铁, 2019 (2): 2470-2764.
- [6] 巩济民. 铸造原辅材料实用手册: 砂型铸铁分册 [M]. 北京: 国家开发大学出版社, 2018: 2712-2988.
- [7] 王景德. 铸件夹砂缺陷及其防止 [J]. 铸造技术, 1984 (4): 3079-3191.

Process Countermeasures on the Scab Defects of Heavy Truck Brake Drum Castings

LI Jian¹, LIU Yang¹, YAN Qi-dong², QIN Peng-peng¹, XIE Wen-bo¹, TGNG Sen¹

(1. Zhumadian CIMC Huajun Casting Co., Ltd., Zhumadian 463000, Henan, China; 2. Yuzhou New Materials Co., Ltd., Yuzhou 452570, Henan, China)

Abstract:

The heavy truck brake drum castings have the characteristics of larger outline sizes, higher axial height, larger thickness, and so on. During production process, the scab defects were prone to appear on the brake drum flange inner filleted corner positions, leading to casting scrapped when serious, and resulting in an increase in production costs. Through tracking of whole production process and comprehensive analysis of longitudinal and horizontal, the generation mechanisms of the defects mentioned above were speculated when the brake drums were manufactured by using of wet clay sand machine molding, and the process measures, such as controlling the quality of molding sand, adjusting the parameters of molding sand reasonably, shortening the pouring time, increasing the exhaust volume and so on, were put forward combining with the actual production. After a series of production tests and verification, the scab defects on the brake drum flange inner filleted corner positions were eliminated successfully.

Key words:

HT250; brake drum; scab; casting process; molding sand
