DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.09.012

商用车制动盘铸造工艺研究

秦鹏鹏,汤　森,张俊涛,李　建
(驻马店中集华骏铸造有限公司,河南 驻马店 463000)

摘　要:为进一步提高商用车制动盘的安全性能和使用性能,提高制动盘的耐磨性、耐热性、散热性等,对制动盘材质进行分析研究;为解决实际生产中遇到的问题,提高制动盘生产的成品率,减少铸造缺陷,对铸造工艺进行分析研究。结果表明,通过对商用车制动盘的材质、铸造工艺进行分析,采取调整化学成分、优化铸造工艺参数等方法可以很好的解决制动盘的性能问题和铸造缺陷,提高产品的使用性能和成品率。

关键词:商用车制动盘;使用性能;铸造缺陷;工艺参数

中图分类号:TG251　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)09-0934-04

Research on Casting Process of Commercial Vehicle Brake Disc

QIN Pengpeng, TANG Sen, ZHANG Juntao, LI Jian
(Zhumadian CIMC Huajun Foundry Co., Ltd., Zhumadian 463000, China)

Abstract: In order to further improve the safety and service performance of commercial vehicle brake disc, improve the wear resistance, heat resistance and heat dissipation of the brake disc, the materials of the brake disc was analyzed and studied; In order to solve the problems encountered in practical production, improve the yield of brake disc production and reduce the casting defects, the casting technology was analyzed and studied. The results show that by analyzing the materials and casting process of the brake disc for commercial vehicles, adjusting the chemical composition and optimizing the casting process parameters, the performance problems and casting defects of the brake disc can be well solved, and the service performance and yield of products can be improved.

Key words: commercial vehicle brake disc; performance; casting defect; process parameters

盘式制动器工作表面为平面且两面传热,圆盘旋转容易冷却,不易发生较大变形,制动效能较为稳定;制动器裸露在空气中不怕泥砂侵袭,杂质更容易得到清洗避免加剧磨损,维修也更方便;而鼓式制动器单面传热,内外两面温差较大,导致制动鼓容易变形,同时长时间制动后,制动鼓因高温而膨胀,制动效能减弱;进入刹车鼓内的杂质或摩擦过程中脱落的磨粒很难自动清理,加速刹车鼓的磨损。

目前盘式制动器已广泛应用于乘用车,在商用车中,盘式制动器在国外已经开始逐步取代传统鼓式制动器,在国内新车型及高端车型中逐渐被采用,未来将会在卡车桥领域得到普遍应用。对商用车制动盘铸造工艺的研究能发现和了解生产制造过程中常见的铸造缺陷和问题,采取适当的改善措施有效减少制动盘生产过程的铸造缺陷,提高产品的质量稳定性和成品率。

收稿日期:2019-06-04

作者简介:秦鹏鹏(1986-),河南周口人,学士.主要从事铸铁铸造工艺方面的工作.电话:15290152721,
E-mail:qinpeng0394@163.com

1　商用车制动盘的材质选择及结构

制动盘是盘式制动器摩擦副中的旋转元件,其形状是以两端面工作的金属圆盘。制动盘作为盘式制动器的摩擦偶件,除应具有作为构件所需要的强度和刚度外,还应有尽可能高而稳定的摩擦系数,以及适当的耐磨性、耐热性、散热性和热容量等。在材质方面 C—C 纤维复合材料密度低、制动能量高,但在摩擦系数稳定性和昂贵的制造及运营成本方面仍有大量的工作要做。陶瓷材料具有优良的高温摩擦磨损性能,但仍没有解决大尺寸部件的脆性问题。材料表面强化技术可大大改善制动盘表面的摩擦磨损性能,所要解决的问题是涂层与基体间结合的可靠性问题。铝基强化复合材料可减重 50%以上,但其使用温度相对较低,限制了它在更大的范围内推广使用。锻钢和铸钢材质由于材质本身成型性能的限制主要用于结构简单的实心制动盘,大都用在高速列车制动盘上[1]。综上所述,对比各种材质的成本、成型性能和商用车制动盘结构的复杂性,目前灰铸铁是商用车制动盘最优的选择,也是当前国内外商用车制动盘普遍选用的材质。

图 1 是一种商用车制动盘铸件三维示意图，该商用车制动盘毛坯最大直径 ϕ436 mm，总高 184 mm，双盘面厚度 49 mm，单盘面厚度 18.5 mm，通风孔厚度 12 mm；毛坯重 55 kg，成品重 42 kg。

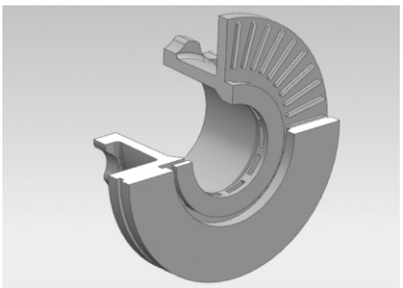

图 1 商用车制动盘铸件三维示意图
Fig.1 3D schematic diagram of commercial vehicle brake disc casting

该商用车制动盘抗拉强度要求≥111 MPa，硬度要求 156~235 HBW，金相组织要求：片状 A 型石墨，石墨长度 2~5 级，均匀分布于珠光体基体上，自由铁素体不超过 15%，碳化物不超过 10%，二者总和不超过 10%，不允许有网状碳化物；内部质量即缩孔、缩松要求高致密度区≤2 级、一般致密度区≤3 级、低致密度区≤4 级。

根据性能和金相要求设计化学成分 w（%）如下：3.6～3.9 C，1.8～2.2 Si，0.6～0.9 Mn，0.15～0.20 Cr，0.3～0.5 Cu，0.2～0.4 Mo，0.03～0.05 Sn，P≤0.05，0.05～0.10 S，同时碳当量 CE：4.25%~4.50%。

商用车制动盘灰铸铁材质化学成分选择高碳：3.6%~3.9%C 和高碳当量 CE：4.25%~4.50%的目的主要是为了提高材质的导热性、减震性和铸造性能；同时为了避免高碳当量引起的粗大片状石墨造成的加工“麻点”缺陷，采取了合成铸铁熔炼工艺、炉内加入含 N 合金等措施。Mo 是较温和的反石墨化元素，对石墨有阻碍作用，可以细化珠光体，亦可细化石墨，从而改善石墨片，改善灰铸铁性能；同时，Mo 具有较温和的碳化物形成作用，形成的碳化物极为稳定，尤其在高温状态下，可有效提高制动盘的耐热性能。Cu 是一种稳定并细化珠光体的合金元素，因此 Cu 的加入可以增加和稳定基体中的珠光体组织，改善灰铸铁的力学性能；同时 Cu 的加入可以有效提高灰铸铁的耐磨性、耐腐蚀性，也可以提高铁液的流动性，显著改善铸造性能[2]。Sn 是重要的微量元素之一，当 Sn%＜0.1%时能强烈促进珠光体的形成，因为 Sn 在共晶凝固过程中富集在与石墨片相邻的奥氏体中；共析转变时，阻碍奥氏体中的碳向石墨片扩散，从而使珠光体数量增加。Sn 在金属基体中的溶解度有限，加入量不可过多，否则易使铸铁脆化，冲击韧度下降，增加成本。

2 商用车制动盘的铸造方法的选择及铸造工艺分析

商用车制动盘毛坯单重 55 kg 左右，最小壁厚 18.5 mm 左右，壁厚相对比较均匀，通常采用湿型砂造型；目前以机器静压紧实造型为首选，适合机械化大批量生产，型腔硬度均匀、质量稳定。静压线的型砂质量是产品质量的决定性因素，静压造型线生产制动盘型砂主要性能指标：型砂粒度 50/100 目，水分：3.3%～4.5%，紧实率：35%～46%，透气性：90～160，湿压强度：160～260 kPa，抗剪强度：30～65 kPa，湿劈强度：30～65 kPa，含泥量：9%～16%，灼减：4.0%～7.0%，有效粘土：5.5%～12.0%。

商用车制动盘通常选用带有通风孔的结构，通风孔位于两个制动盘面中间，能加快制动盘冷却速度，降低制动盘温度；但是，通风孔结构增加了制动盘结构复杂性，铸造成型难度更大。通风孔结构在两个制动面中间，只有通过整体砂芯形成；制动面与连接法兰之间的筒体是凹型结构，需要借助外包芯成型；制动盘内孔如果采用自带芯容易在翻箱、合箱时塌箱，所以最好还是下芯；综上，每个制动盘一般需要 3 个砂芯。制动盘砂芯基本包裹 80%铸件表面，砂芯的质量特别是通风孔砂芯对制动盘质量影响非常高。为了保证砂芯的尺寸精度、强度、表面质量、耐火度等性能，目前以热芯盒制芯为主，覆膜砂的粒度和性能直接影响覆膜砂砂芯质量。制动盘覆膜砂粒度一般选择 70/140 目，覆膜砂主要性能指标：热拉强度：≥2.0 MPa，热弯强度≥3.2 MPa，冷拉强度≥3.2 MPa，冷弯强度≥4.5 MPa，发气量≤25.0 mL/g，熔点≥80 ℃。

因为下芯较多，在分型时制动盘主体放在下箱，为了保证产品尺寸精度，避免错箱，减少飞边、毛刺等，在设计时把整个制动盘都放在下箱。这样设计还有一个优点就是可以利用灰铁材质冷却凝固时石墨化膨胀，铸件全部在下箱，静压头较高和制动盘壁厚偏薄且相对均匀的特点省去冒口补缩，提高工艺出品率，节省成本。

生产中选用的是 KW 静压造型线，型板尺寸 1 240 mm×740 mm，可以布置一箱 2 件。浇注系统选用半闭合半开放式结构，浇口比用比例：$S_{直}$:$S_{横}$:$S_{内}$=1.2:1:1.5，内浇道开设在下制动盘面外径上，分别采用 3 个扁平内浇道分散进液，内浇道厚度在 3~5 mm，降低内浇道的吸动区，利于横浇道的挡渣；

同时也可以降低清理工作的劳动强度。在直浇道与横浇道连接处设置泡沫陶瓷过滤器,过滤器规格选用孔径 10~15 ppi,过滤器厚度选用 18~22 mm;放置泡沫陶瓷过滤器后，通过过滤器的漂浮分离机制、吸附机制、整流机制,达到挡渣、稳流、减少铁液氧化的作用。同时,从直浇道注入的金属液,通过过滤器的阻流和集渣包的设计，金属液在直浇道内短暂停留,密度小的渣子上浮分离,可达到底注式浇注系统的优点;另一方面,可有效的减轻和消除浇注紊流,避免铁液因卷气造成氧化夹渣。

我司 KW 静压线砂箱高度上箱 250 mm，下箱 350 mm。制动盘高度 190 mm，铸件全部布置在下箱。直浇棒最小截面直径 48 mm,单个横浇道截面高 24 mm,宽 30 mm,单个铸件采用 3 个内浇道分散进液,单个内浇道最小截面高 4.5 mm,宽 75 mm。采用 5 t 中频电炉熔炼，出炉温度 1 450~1 550 ℃;浇注包容量 1.25 t,单箱浇注重 150 kg,单箱浇注时间 16 s,浇注温度 1 350~1 430 ℃。下芯头高度 40 mm,斜度 5°,上芯头高度 30 mm,斜度 10°。

图 2 是商用车制动盘上型模型三维图,图 3 是商用车制动盘下型模型三维图,图 4 是商用车制动盘砂芯组合示意图。

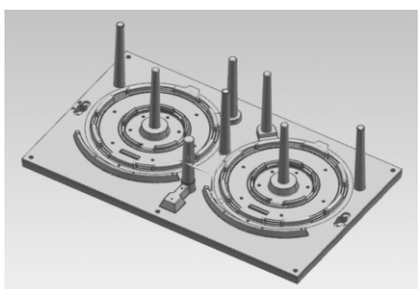

图 2 商用车制动盘上型模型三维图
Fig.2 3D view of the upper model of the Commercial Vehicle brake disc

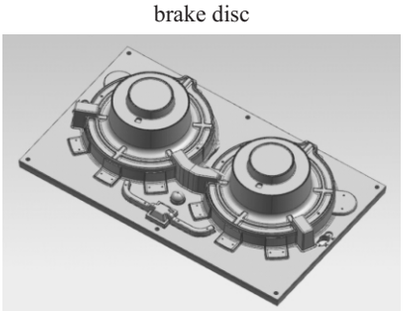

图 3 商用车制动盘下型模型三维图
Fig.3 3D view of the lower model of the Commercial Vehicle brake disc

3 商用车制动盘铸造过程中容易产生的缺陷及预防措施

由于制动盘制动面放在了最上方,容易在上盘

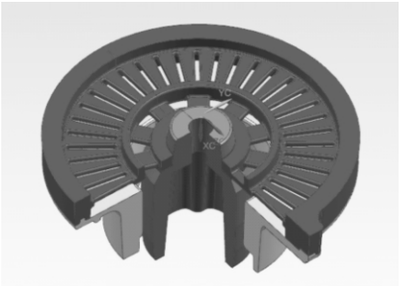

图 4 商用车制动盘砂芯组合(剖切)示意图
Fig.4 Schematic diagram of the Commercial Vehicle brake disc core assembly (cutting)

面产生气孔、夹渣、落砂缺陷;为了减少和预防产生气孔、夹渣、落砂缺陷,在设计铸造工艺时注意以下几个方面:①在上下型腔接触部位设置 0.3~0.5 mm 的间隙防止合箱时挤砂，挤砂会造成型砂落入型腔随铁液冲入,最后富集在铸件上表面造成落砂、砂眼缺陷;②因为成型工艺使用的覆膜砂芯子较多,覆膜砂芯遇铁液燃烧后产生大量气体，因此排气工艺的设计尤为重要；排气棒尽可能设置在砂芯或外圆面附近,排气面积要大于浇注系统引流面积,保证浇注过程排气通常，同时排气棒造型后需要桶开与大气连通,利于气体顺利排出;③在制动面外圈设计一圈间隔溢流环,溢流环底面高出铸件最高面,高 30 mm 宽 30 mm 压在制动盘面上 1~2 mm；溢流环的主要作用是承接最先达到型腔的初期铁液,将裹带有砂、渣、气的铁液引出铸件本体,使缺陷都聚集到溢流环内与本体分离;④制动盘面是加工面,在设计时相应增加该面的加工余量，即使有一些轻微的气孔、夹渣、落砂缺陷,加工后可以去除,降低加工料废率。

制动盘通风孔内容易出现多肉、砂眼缺陷,因为通风孔风道较多且不易打磨修补，一旦出现就会造成铸件报废。制动盘的通风孔都是由热芯盒覆膜砂芯形成，所以覆膜砂芯的质量对制动盘通风孔影响至关重要。为了减少制动盘通风孔内出现多肉、砂眼缺陷需要注意以下几个方面：①通风孔覆膜砂芯固化要适当，内外要均匀，加热温度一般设置在 230~260 ℃，固化时间根据厚度一般在 80~100 s 左右,以芯子固化后颜色金黄色为最佳,剖开后内外层全部固化为标准；②通风孔芯子不能有局部砂虚或缺失，设计热芯盒时要合理设计排气通道避免气流紊乱,射砂口设置在芯子最高面上,复杂结构放到下面；同时制芯时气压要适当，射砂气压调到 0.3~0.4 MPa,射砂时间 4~6 s。

图 5 是通风盘芯子通风孔筋处局部砂虚缺陷图。

制动盘法兰面拐角处易出现粘砂缺陷，原因有

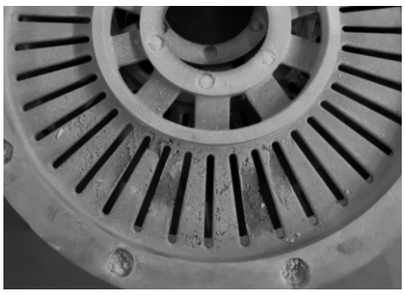

图 5 局部缺砂的制动盘砂芯
Fig.5 Local sand-deficient brake disc sand core

以下几个方面：①该部位处于分型面下部，铁液充型过程中，型腔和砂芯受到压力较大；②砂芯耐火度不够；③砂芯型砂使用粒度不合适，粒度大铁液容易侵入砂芯；④拐角处热量容易聚集，对芯子烘烤时间长。为了预防粘砂缺陷可采取以下几种措施：①采用合适粒度的覆膜砂，70/140 目为宜；②选用耐火度高的覆膜砂原料，同时在制芯完成后喷涂耐火涂料，加强芯子耐火度；③在保证产品质量的前提下，适当降低浇注温度。通过以上几点措施可以很好的预防和解决铸件粘砂缺陷。图 6 是制动盘粘砂缺陷图，图 7 是改善后的铸件表面情况。

图 6 制动盘铸件粘砂缺陷
Fig.6 Sand sticking defects of brake disc casting

4 结论

(1)灰铸铁具有高的强度、良好的导热性和耐磨性，一直是商用车制动盘常用的材料；高碳当量灰铸铁具有优良的导热性和铸造性能，是商用车制动盘材料的发展方向。

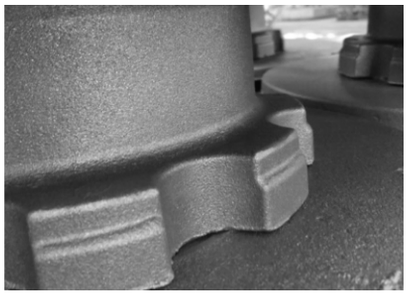

图 7 改善后的铸件表面情况
Fig.7 Surface condition of the improved casting

(2)Mo、Cu、Sn、N 等合金元素在制动盘材质中的微合金化作用是非常重要的，能够有效提高灰铸铁材质的铸造性能，提高产品成品率；同时显著提高制动盘的耐热、耐腐蚀和耐磨性，增加制动盘产品的使用时间、增强产品的稳定性。

(3)商用车制动盘优先采用湿型砂机器造型，铸造工艺设计时分型面选在制动面上表面，制动盘全部放到下箱，利于分型、下芯、保证尺寸精度；商用车制动盘多采用带通风孔式结构，砂芯较多一般 2~3 个，砂芯的质量对产品影响比较大，砂芯最好选用热芯盒覆膜砂芯制造，强度高，表面光滑。

(4)因制动盘制动面在上表面，为防止上制动面出现气孔、夹渣、落砂缺陷，要采取设置 0.3~0.5 mm 防挤压环、加强排气、设置溢流环和加大加工余量等措施加以预防，提高制动盘的成品率。覆膜砂芯的质量对制动盘影响至关重要，要合理设计作业参数，并严格按照作业标准执行；为提高覆膜砂芯的耐火度，提高铸件表面质量防止粘砂缺陷，可在砂芯表面喷涂耐火涂料。

参考文献：

[1] 齐海波. 高速列车制动盘材料的研究现状与发展趋势 [J]. 石家庄铁道学院学报，2001(1)：52-56.

[2] 孙少纯. 高碳当量高强度低铬铜合金灰铸铁的试验研究 [J]. 铸造设备研究，2000 (4)：25-28.

《铸件均衡凝固技术及应用实例》

《铸件均衡凝固技术及应用实例》由西安理工大学魏兵教授编著。共 8 章：1、铸铁件均衡凝固与有限补缩；2、铸铁件冒口补缩设计及应用；3、压边浇冒口系统；4、浇注系统大孔出流理论与设计；5、铸件均衡凝固工艺；6、铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺；7、浇注系统当冒口补缩设计方法；8、铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书 320 页，特快专递邮购价 226 元。

邮购咨询：李巧凤 029-83222071，技术咨询：13609155628