DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.05.007

不同成分灰铸铁制动盘的性能研究

梁鹏飞[1],范金辉[1],周　技[2],吴兴远[2]

(1. 东华大学 机械工程学院,上海 201620;2. 广德亚太汽车智能制动系统有限公司,安徽 广德 242234)

摘　要:以制动盘用高碳当量灰铸铁和普通灰铸铁为研究对象,通过扫描电镜和 DSC 热分析仪,研究两种灰铸铁的断口形貌、切削加工性能及导热性能。结果表明,高碳当量灰铸铁和普通灰铸铁拉伸试样的断裂方式均为解理断裂和沿晶断裂复合机制,其中高碳当量灰铸铁穿晶解理断面较大;机加工后高碳当量灰铸铁表面粗糙度为 0.4,普通灰铸铁表面粗糙度为 1.18,高碳当量灰铸铁的加工刀具磨损程度更小,加工性能更好;对比分析 DSC 曲线,高碳当量灰铸铁的共析和共晶转变峰值高于普通灰铸铁,导热性能更好。

关键词:高碳当量;灰铸铁;制动盘;性能

中图分类号:TG250.6; TG115　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)05-0457-04

Study on Performance of Gray Cast Iron Brake Disc with Different Compositions

LIANG Pengfei[1], FAN Jinhui[1], ZHOU Ji[2], WU Xingyuan[2]

(1. College of Mechanical Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China; 2. Guangde Asia-Pacific Automotive Intelligent Braking System Co., Ltd., Guangde 242234, China)

Abstract: The fracture morphology, machinability and thermal conductivity of high carbon equivalent gray cast iron and common gray cast iron for brake disc were studied by SEM and DSC thermal analyzer. The results show that the fracture modes of tensile samples of high carbon equivalent gray cast iron and ordinary gray cast iron are the combined mechanism of cleavage fracture and intergranular fracture. After machining, the surface roughness of high carbon equivalent gray cast iron is 0.4, and that of ordinary gray cast iron is 1.18. High carbon equivalent gray cast iron has lower tool wear and better machining performance. DSC curves show that the eutectoid and eutectic transition peaks of high carbon equivalent gray cast iron are higher than that of ordinary gray cast iron, and the thermal conductivity is better.

Key words: high carbon equivalent; gray cast iron; brake disc; performance

高碳当量灰铸铁被广泛应用于汽车制动盘、发动机缸体和缸盖等领域的生产中[1-3]。与普通灰铸铁不同,高碳当量灰铸铁石墨数量多,合金化处理后基体组织的分布和形态改变,对其各项性能产生影响。本文在组织和力学性能的基础上,以制动盘用高碳当量灰铸铁和普通灰铸铁为对象,研究其断口形貌、切削加工性能和导热性能。

1　试验材料及方法

试验灰铸铁制动盘材质为高碳当量灰铸铁和普通灰铸铁,熔炼所用生铁为特级 Q10,废钢为 Q235 钢板,生铁、废钢和回炉料的比例为 10%、30% 和 60%。采用 5 t 的中频感应电炉熔炼,出铁温度控制在 1 520~1 550 ℃。采用复合孕育处理,从孕育到浇注结束时间控制在 8 min 之内,孕育处理温度为 1 460~1 500 ℃,浇注温度为 1 380~1 460 ℃。灰铸铁铁液化学成分检测结果如表 1。

表 1 铁液成分检测 w(%)
Tab.1 Composition testing of molten iron

成分	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni
普通灰铸铁	3.27	1.92	0.75	0.03	0.05	0.35	0.19	0.13
高碳当量灰铸铁	3.73	1.74	0.78	0.03	0.08	0.37	0.27	0.16

对制动盘本体进行取样,金相试样长:20~30 mm,宽:15~20 mm,在德国莱卡 DMI8C 金相显微镜下进行组织观察与分析。采用 Foundrax 全自动布氏硬度机和 Foundrax 全自动布氏压痕测量系统对试样进行硬度测试,载荷为 612.5 N,保荷时间为 15 s,测试结果取 3 次测量平均值。采用 TM-300ID 微机控制电子式万能试验机对圆形试样进行拉伸实验,拉伸速度为 1 mm/min。制动盘断口形貌观察分析采用的是 Quanta250 型环境扫描电子显微镜,采用

收稿日期:2018-12-12

作者简介:梁鹏飞(1992-),河南洛阳人,硕士生.研究方向:铸铁铁液质量的控制及铸造工艺的研究.
E-mail:741286186@qq.com

通讯作者:范金辉(1970-),河北沧洲人,副教授,硕士生导师.主要从事金属凝固与铸件质量控制方面的工作.
E-mail:fanjhbox@126.com

数控机床对灰铸铁制动盘毛坯进行切削加工，并使用 JB-6C 触针式表面粗糙度测量仪进行制动面粗糙度检测，用粗糙度和刀具磨损程度来衡量切削加工性能。导热性能分析采用 STA449F3 型同步热分析仪，测试过程中保护气体 N_2 的速率为 20 mL/min，加热速率为 20 ℃ /min，加热至 1 530 ℃，再自然冷却至室温，仪器自动记录测试过程中试样 DSC 随温度变化的曲线图。

2 试验结果与分析

2.1 金相组织分析

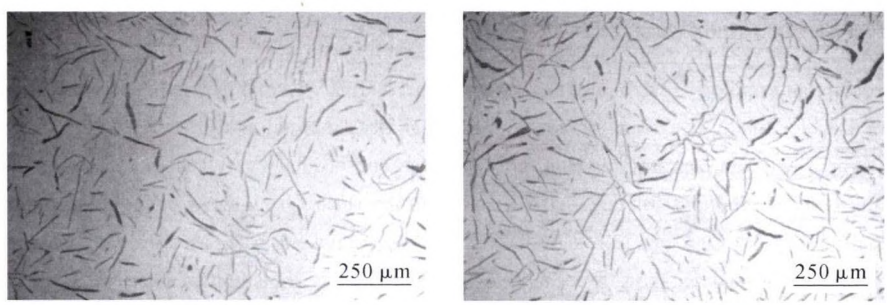
灰铸铁制动盘金相组织要求为：A+B 型石墨总数大于等于 85%，石墨长度级别为 3~6 级，珠光体含量大于 90%。试样石墨形貌如图 1 所示，由图中可以看出高碳当量灰铸铁和普通灰铸铁石墨分布均匀性都较好，石墨长度级别为 3~5 级，高碳当量灰铸铁石墨数量更多，中等片状 A 型石墨分布更加密集。由珠光体低倍形貌图 2(a)和 2(b)可知，试样珠光体数量都大于 95%，无大块白亮的铁素体出现。由珠光体高倍形貌图 2(c)和 2(d)可知，灰铸铁基体珠光体组织的层片间距差别不大。高碳当量灰铸铁和普通灰铸铁金相组织都满足技术要求。

2.2 力学性能分析

使用 Foundrax 全自动布氏硬度机和 TM-300ID 微机控制电子式万能试验机检测的普通和高碳当量灰铸铁制动盘试样各项力学性能如表 2。普通灰铸铁制动盘的力学性能控制要求为：楔压强度≥170 MPa、抗拉强度≥200 MPa 和硬度 190~245 HBW；高碳当量灰铸铁制动盘的力学性能控制要求为：楔压强度≥130 MPa、抗拉强度≥180 MPa 和硬度 170~220 HBW。由表 2 可知，高碳当量灰铸铁和普通灰铸铁制动盘本体试样各项力学性能均满足要求。

2.3 断口形貌分析

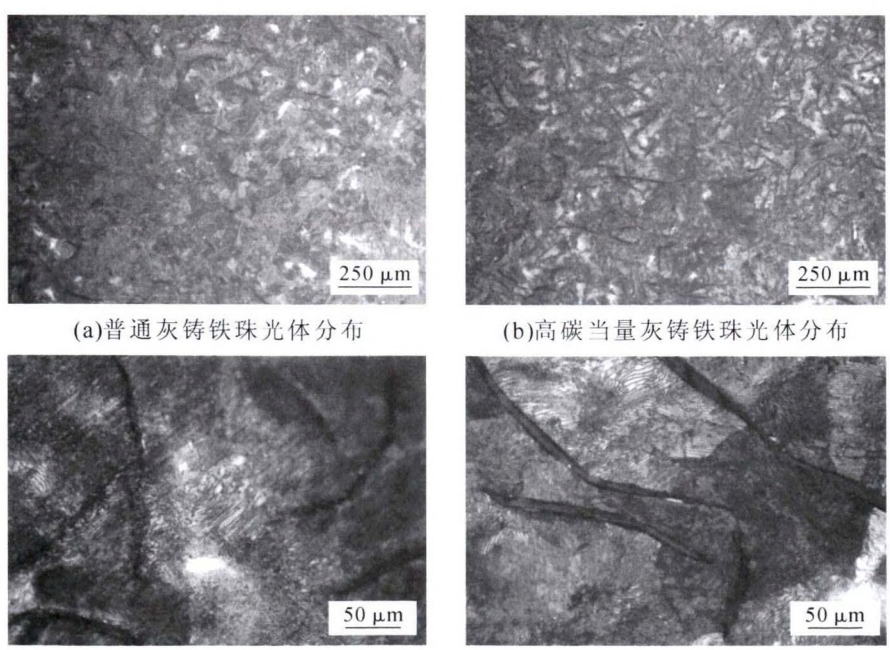
灰铸铁中，由于片状石墨的切口效应造成的应



(a)普通灰铸铁　　(b)高碳当量灰铸铁

图 1 不同成分灰铸铁石墨分布及形态

Fig.1 Graphite distribution and morphology in different compositions of gray cast iron



(a)普通灰铸铁珠光体分布　　(b)高碳当量灰铸铁珠光体分布

(c)普通灰铸铁珠光体片间距　　(d)高碳当量灰铸铁珠光体片间距

图 2 不同成分灰铸铁珠光体分布及片间距

Fig.2 Pearlite distribution and interplanar spacing in different compositions of gray cast iron

表2 不同成分灰铸铁制动盘的力学性能
Tab.2 Mechanical properties of different compositions of gray cast iron brake discs

编号	制动盘	楔压强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	布氏硬度 (HBW)
1	普通灰铸铁	214	293	210
2	普通灰铸铁	216	295	211
3	普通灰铸铁	219	281	208
4	高碳当量灰铸铁	159	204	176
5	高碳当量灰铸铁	161	201	176
6	高碳当量灰铸铁	161	210	179

力集中，使灰铸铁在较低的拉伸应力下发生脆断。因此，灰铸铁的性能取决于其石墨组织和基体，并以石墨为主，其断口形貌主要受石墨的形状和大小的影响[4]。通过断口形貌去分析研究显微组织结构对断裂起因、断裂方式和断裂机制的影响，对灰铸铁制动盘拉伸断口形貌进行分析。

图 3 所示为普通和高碳当量灰铸铁制动盘拉伸试样的断口形貌。试样裂面内断裂途径都顺着穿晶平面，断裂平面的取向随晶粒的不同而改变，晶粒的变化引起裂纹沿不同平面产生分支，呈现放射的河流状花样。裂纹形成后向四周放射，解理面随晶粒的取向不同不断发生改变，且大部分解理面表面存在石墨片，表明裂纹极易沿石墨片扩展。两种灰铸铁制动盘试样均为低载荷拉伸断裂，晶粒边界分开及穿晶解理的应力大体相等，沿晶断裂择优途径不连续或者解理应力较低时，就会产生解理断裂，因此试样的断裂方式均为解理断裂和沿晶断裂复合机制。

对比图 3(a)、(b)所示的试样拉伸断口形貌，断面都呈结晶状，其中强烈反光的小刻面是穿晶解理断口面[5]，断口组织都比较均匀，穿晶解理断裂说明裂纹在奥氏体枝晶处受阻，枝晶在断裂过程中发挥了较大的作用；其中高碳当量灰铸铁试样断面上层片状石墨较多，灰铸铁珠光体基体组织中的铁素体塑性变形较大，其穿晶解理断面较大。

2.4 切削加工性能分析

在采用同种机床、刀具和相同机加工参数的条件下，利用 JB-6C 表面粗糙度测量仪测得不同成分灰铸铁制动盘制动面粗糙度数据如表 3 所示。为保证制动盘安装后能满足汽车制动性能要求，一般制动盘的粗糙度 R_a 不应大于 3.2，高碳当量灰铸铁制动盘加工表面粗糙度 R_a 平均值为 0.4，普通灰铸铁制动盘表面粗糙度 R_a 平均值为 1.18，两种灰铸铁制动盘均满足粗糙度控制要求，高碳当量灰铸铁制动盘比普通灰铸铁制动盘加工表面粗糙度更好。

表 3 不同成分灰铸铁制动盘制动面表面粗糙度
Tab.3 Surface roughness of brake surface in different compositions of gray cast iron brake disc

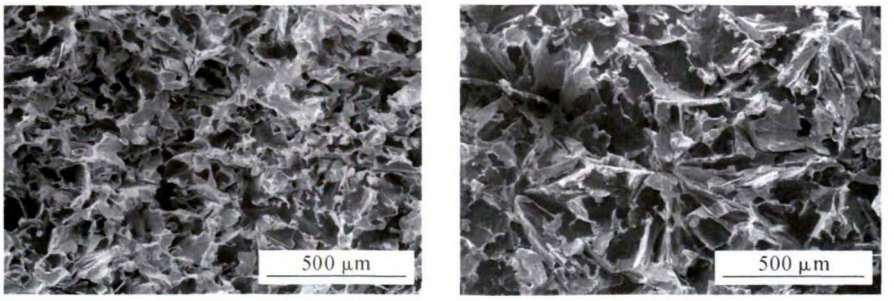
序号	高碳当量灰铸铁制动盘			普通灰铸铁制动盘		
1	0.393 4	0.396 0	0.401 1	0.989 3	1.145 8	1.041 2
2	0.411 3	0.402 4	0.410 6	1.513 2	1.339 0	1.551 6
3	0.401 2	0.412 7	0.401 9	1.008 8	1.464 5	1.085 9
4	0.398 7	0.401 2	0.402 7	1.044 5	1.057 3	0.974 5

切削加工性能好的材料，其耗刀量相对较低，刀具使用寿命长，生产成本较低。使用 4 把相同型号的 CBN 刀具分别精加工高碳当量和普通灰铸铁制动盘，每个刀刃加工 400 个制动盘，显微镜下观察加工后刀片的磨损形态，如图 4 所示。

高碳当量灰铸铁制动盘需加工制动面面积为 19 031 mm²，普通灰铸铁制动盘制动面面积为 15 917 mm²，加工普通灰铸铁制动盘的 CBN 刀具切削材料总面积比加工高碳当量灰铸铁制动盘刀具切削材料总面积少，而加工普通灰铸铁制动盘的刀具磨损痕迹更加明显，划擦面积更大。由表面粗糙度和刀具磨损程度来对比高碳当量和普通灰铸铁制动盘切削加工性能，对比情况见表 4。由表可知，高碳当量灰铸铁制动盘要比普通灰铸铁制动盘的切削加工性能更好。

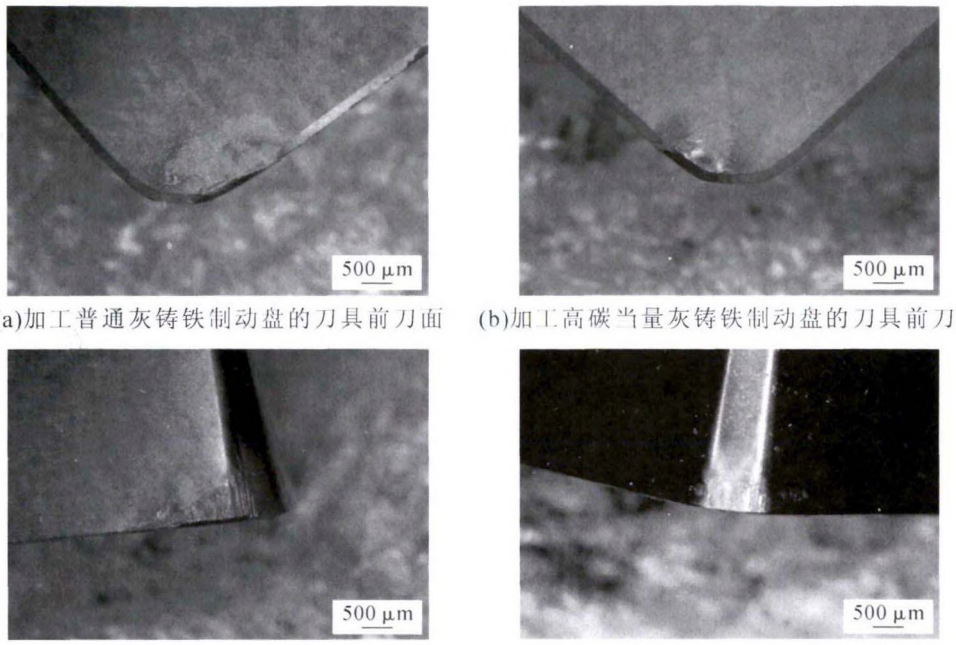
2.5 导热性能分析

对比分析普通和高碳当量灰铸铁的 DSC 曲线吸热峰峰值来反应其导热性能。差示扫描量热法(Differential Scanning Calorimetry，DSC)是指在



(a)普通灰铸铁试样断口形貌　　(b)高碳当量灰铸铁试样断口形貌

图 3 不同成分灰铸铁制动盘拉伸断口形貌
Fig.3 Tensile fracture morphology of different compositions of gray cast iron brake discs



(a)加工普通灰铸铁制动盘的刀具前刀面　(b)加工高碳当量灰铸铁制动盘的刀具前刀面

(c)加工普通灰铸铁制动盘的刀具后刀面　(d)加工高碳当量灰铸铁制动盘的刀具后刀面

图 4 加工不同成分灰铸铁制动盘后的刀具前后刀面

Fig.4 Rake and flank face after machining different compositions of gray cast iron brake discs

表4 不同成分灰铸铁制动盘切削加工性能对比

Tab.4 Comparison of machinability in different compositions of gray cast iron brake discs

制动盘	加工盘数量	相对切削材料面积	表面粗糙度 R_a	刀具磨损程度
高碳当量灰铸铁	400	多	0.4	小
普通灰铸铁	400	少	1.18	大

程序控温下，测量输入到物质和参比物的功率差与温度关系的技术[5]。采用 STA449F3 型同步热分析仪对灰铸铁制动盘粉末试样进行差示扫描量热分析，得到的 DSC 曲线如图 5 所示。由图 5 可知，普通和高碳当量灰铸铁试样都存在两个较大的吸热峰，分别对应着灰铸铁的共析转变和共晶转变。对其 DSC 曲线进行分析，在热分析测试参数相同的条件下，高碳当量灰铸铁试样的共析和共晶转变峰值远大于普通灰铸铁，说明其导热性能更好。

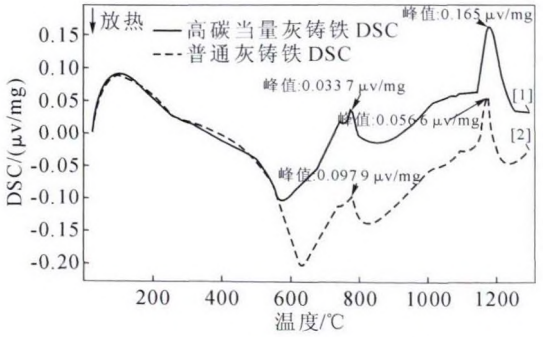


图 5 不同成分灰铸铁试样的 DSC 曲线

Fig.5 DSC curve of different compositions of gray cast iron samples

3 结论

(1)高碳当量灰铸铁和普通灰铸铁制动盘拉伸试样的断裂方式均为解理断裂和沿晶断裂复合机制，其中高碳当量灰铸铁穿晶解理断面较大。

(2)机加工后高碳当量灰铸铁表面粗糙度为 0.4，普通灰铸铁表面粗糙度为 1.18，加工高碳当量灰铸铁的刀具磨损程度更小，高碳当量灰铸铁的切削加工性能更好。

(3)对比分析高碳当量灰铸铁和普通灰铸铁的 DSC 曲线，高碳当量灰铸铁共析和共晶转变峰值远大于普通灰铸铁，其导热性能更好。

参考文献：

[1] 周文彬，征灯科，华勤，等. 制动盘用高碳当量灰铸铁的铌合金化[J]. 铸造，2010，59(3)：320-323.

[2] 邓刚. 新型高碳当量高强度灰铸铁组织与性能的研究[D]. 吉林：吉林大学，2006.

[3] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册第 1卷铸铁[M]. 北京：机械工业出版社，2005.

[4] 胡在矶. 加载方式对铸铁断口形貌的影响 [J]. 现代铸铁，2002，(2)：58-62.

[5] 胡芃，陈则韶. 量热技术和热物性测定[M]. 合肥：中国科学技术大学出版社，2009.