DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.09.004

不同成分的钒钛灰铸铁组织及性能研究

孙　兰,鲜　广,蒋　繁,范洪远
(四川大学 机械工程学院,四川 成都 610065)

摘　要:通过成分设计、配料、熔炼、浇注等工序的有效控制铸造了钒钛灰铸铁制动鼓,研究了不同成分的钒钛灰铸铁制动鼓组织和性能变化。结果表明,随着钒钛含量增加,石墨得到细化,石墨形态由 A 型向 D 型石墨转变;随着钒钛含量的增加,灰铸铁的强度和硬度增加,导热性能下降。碳硅钒钛含量进一步增加,会出现粗大厚片状或块状石墨,强度和硬度显著下降;可以通过控制灰铸铁中钒钛元素含量,提高其抗拉强度、硬度及导热性能。

关键词:灰铸铁;制动鼓;石墨形态;导热性

中图分类号:TG251　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)09-0763-03

Study on Microstructure and Properties of Vanadium Titanium Gray Cast Iron with Different Compositions

SUN Lan, XIAN Guang, JIANG Fan, FAN Hongyuan
(School of Mechanical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The vanadium-titanium gray cast iron brake drum was cast by effective control of composition design, batching, melting and pouring. The microstructure and properties of the brake drum with different composition were studied. The results show that with the increase of vanadium and titanium content, the graphite is refined and the graphite form changes from A type to D type. With the increase of vanadium and titanium content, the strength and hardness of gray cast iron increase, but the thermal conductivity decreases. When the content of carbon, silicon, vanadium and titanium increases further, coarse and thick flake or block graphite will appear, and the strength and hardness will decrease significantly. The tensile strength, hardness and thermal conductivity of gray cast iron can be improved by controlling the content of vanadium and titanium.

Key words: gray cast iron; brake drum; graphite morphology; thermal conductivity

制动鼓是汽车鼓式制动器的重要组件,是汽车主要保安件之一,对行车安全起着举足轻重的作用[1]。汽车轻量化的发展方向要求制动鼓也要轻量化,以减轻车重并节省资源,满足绿色制造的发展理念和要求,但这对制动鼓材料的性能和制动鼓的设计就提出了更高的要求,使得开发高性能的铸铁制动鼓成为必然和十分迫切。由于灰铸铁具有良好的导热性、减震性、耐磨性以及优良的铸造性能和低的制造成本,因此机动车辆的制动鼓几乎都采用灰铸铁件,主要牌号为 HT200 和 HT250[2-3]。

钒钛灰铸铁相比于普通灰铸铁,强度更高、耐磨性更好,适宜于制备汽车制动鼓。更具优势的是,我国攀枝花地区钒钛资源丰富,使用本地原料生产的铸铁件中自带 V、Ti 等合金化元素,因而钒钛铸铁的性能更好;并且,天然引入 V、Ti 元素不会增加额外的成本。但是,若铸铁中的 V、Ti 元素含量过高反而会恶化组织和性能,因此,钒钛铸铁中的 Ti、V 的控制极其关键,钒钛铸铁制动鼓的组织和性能还需要进一步优化。本文作者研究分析了不同成分的钒钛灰铸铁制动鼓组织和性能变化,探寻出最佳的成分配比方案。

1　试验材料与方法

1.1　成分设计

为了解钒、钛、碳、硅元素含量对灰铸铁显微组织及性能的影响,设计了 4 种不同的成分钒钛灰铸铁(表 1)。由于钒钛元素均是碳化物形成元素,使铸铁中自由碳减少,为获得较多的石墨组织,需要较高的碳含量,但又为了得到更多的珠光体,提高铸铁的强度,需减少铸铁组织中铁素体和粗大石墨,碳含量又不能过高,因此本实验确定了灰铸铁中碳含量为 3.00%~3.30%。同时为保证灰铸铁具有良好的流动性,减小缩孔、缩松和白口倾向,碳当量控制在 4.0%

收稿日期:2021-06-30
基金项目:四川大学-攀枝花市科技合作专项资金项目(2019CDPZH-9)
作者简介:孙　兰(1977—),女,河北保定人,副教授.研究方向:铸造灰铸铁、不锈钢及耐热钢.Email:sunlan@scu.edu.cn

表1 钒钛灰铸铁C、Si、V、Ti元素成分实测含量 w(%)
Tab.1 Measured content of C, Si, V, Ti in vanadium titanium gray cast iron

编号	C	Si	V	Ti
1#	2.99	1.80	0.14	0.048
2#	3.03	1.72	0.18	0.056
3#	3.10	1.80	0.22	0.098
4#	3.28	1.81	0.19	0.180

左右,其中硅含量设计为1.70%~1.85%,锰含量设计为0.80%,磷、硫元素的含量分别控制在0.10%和0.06%以内。

1.2 实验方法

从攀枝花某企业实际生产的制动鼓本体中切取试样,其中金相试样尺寸为10 mm×10 mm×10 mm,制备好试样后分别用OlympusG×51型金相显微镜观察不同成分的钒钛铸铁的石墨形态。采用激光闪射法测试灰铸铁的导热系数和热扩散系数。采用HB-3000型布氏硬度计进行硬度检测,按照GB/T9439-2010分别加工5个标准拉伸试样,在RGM-4300型电子拉伸试验机上测定钒钛灰铸铁的抗拉强度,拉伸速率为2 mm/min。

2 实验结果及分析

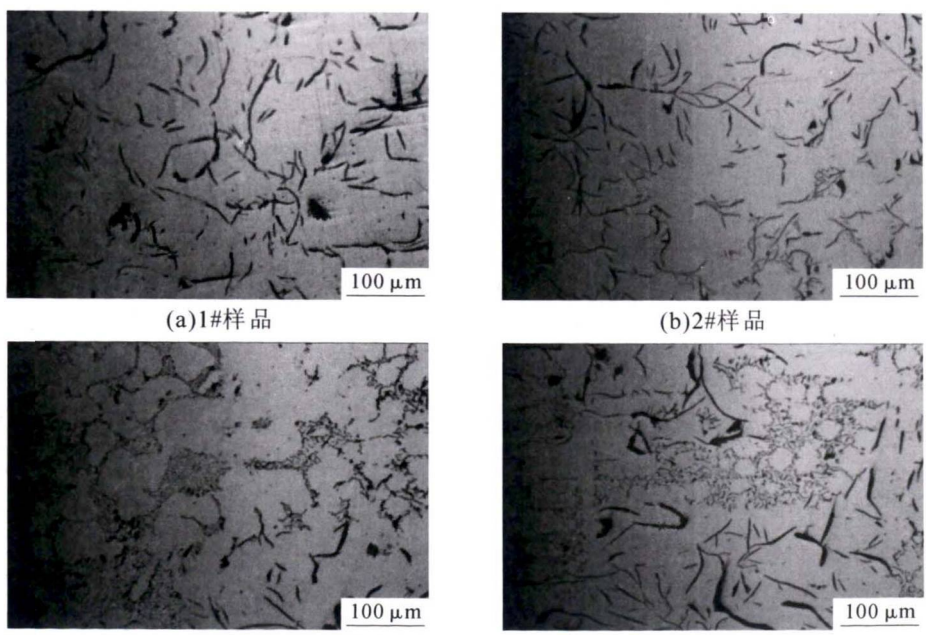
2.1 金相组织分析

图1(a)~(d)是不同成分的钒钛灰铸铁组织的金相组织照片。可看出,钒钛灰铸铁的金相组织中石墨主要为A型石墨及D型石墨。在碳硅钒钛含量较少时,如图1(a)中,石墨形态为典型的片状A型石墨,呈无方向性均匀分布。随着钒钛元素含量的增加,如图1(b)中,试样中片状石墨长度变短,宽度稍有降低。随着钒钛含量的增加,如图1(c)中,片状A型石墨开始向细小蜷曲的D型石墨方向生长。随着碳硅钒钛含量的同时增加,如图1(d)中,细小蜷曲的D型石墨含量减少,开始出现粗大厚片状或块状石墨即C型石墨。

这是由于钒是强碳化物形成元素,阻碍石墨化的进行,会降低碳原子的扩散速度,促使初生奥氏体枝晶的析出,导致共晶转变时石墨形核和长大的空间减小,改变石墨平板生长的性质,使石墨向细小蜷曲的D型石墨方向生长。同时钛元素的加入使铁水凝固过程的过冷倾向加大,促进了初生奥氏体的析出有利于D型石墨的形成,使石墨形态由A型石墨向D型石墨转变[4]。钛也是强碳化物形成元素,形成碳化物可以细化石墨(当钛元素含量>0.1%时),还有利于促进奥氏体枝晶的形成,发达的奥氏体枝晶使铁液聚集于枝晶间隙,石墨在狭小区域内大量形核,但由于石墨的生长条件较差,困而在奥氏体枝晶间隙内形成细小卷曲的D型石墨[5],如图1(c)。而在图1(d)中,碳硅钒钛含量均增加时,由于高的碳当量,在液态下形成厚大片的石墨。

2.2 力学性能

图2为不同成分的钒钛灰铸铁的硬度和抗拉强度结果比较。可以看出,3#样品的硬度和抗拉强度均高于其他样品,其和1#、2#样品相比,其在碳、硅含量稍有增加的情况下,钒含量由0.14%增加至



(a)1#样品 (b)2#样品 (c)3#样品 (d)4#样品

图1 不同成分的钒钛灰铸铁的石墨形态
Fig.1 Graphite morphology of vanadium titanium gray cast iron with different compositions

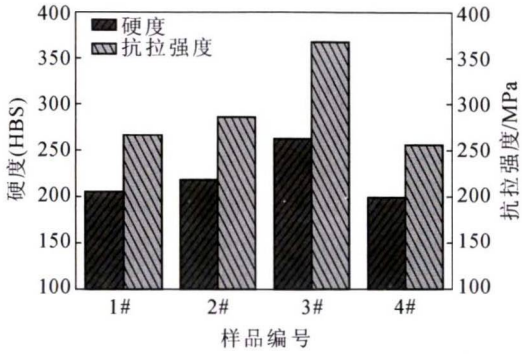


图 2 不同成分的钒钛灰铸铁的硬度和抗拉强度

Fig.2 Hardness and tensile strength of vanadium titanium gray cast iron with different compositions

0.22%,钛含量由 0.048 %增加至 0.098%时,其强度由 266 MPa 大幅增加至 366 MPa，布氏硬度由 205 增加至 263，这是由于钒钛元素是强碳化物形成元素，在共晶转变前形成起到结晶核心的碳化物微粒,细化了石墨,使基体组织强化。同时,钒使铸件共析转变时促使奥氏体向珠光体转变,使碳以珠光体中渗碳体的形式存在,最终导致石墨的含量降低,珠光体含量增加,碳化物颗粒增多[5],使其强度硬度增加。

4# 样品相比于其他样品，强度硬度均降低,是因为 4# 样品碳硅钒钛含量均增加时，由于高的碳当量,在液态下形成厚大片的石墨,减弱了基体的连续性,使其力学性能显著下降。

2.3 导热性能

由于制动鼓是在强摩擦、冷热交替较为复杂的恶劣环境中工作。因此,制动鼓材料应具备良好的导热性能。表 2 比较了不同成分的不同成分的钒钛灰铸铁制动鼓的热扩散系数和导热系数。

表2 不同成分的钒钛灰铸铁导热性能

Tab.2 Thermal conductivity of vanadium titanium gray cast iron with different compositions

编号	热扩散系数 /(mm^2/s)	导热系数 /($W\cdot m^{-1}\cdot K^{-1}$)	计算的 C_p /($J/g\cdot K^{-1}$)
1#	15.790	39.939	0.352
2#	13.319	34.507	0.363
3#	12.960	33.759	0.357
4#	18.330	44.739	0.348

文献表明,普通灰铁中的石墨状态是碳在铁中最有利于导热的存在形式,灰铁的热导率是所有铁基合金中较高的,其值为 44~67 W/m·K[6]。

不同类型的片状石墨,其导热性亦不相同由于 A 型石墨片弯曲分技又互相连接,分布均匀,其导热性好于其他类型的石墨[7]。

在钒钛灰铸铁中，碳的存在形式为片状石墨和碳化物。其中片状石墨利于其导热性的增加,而铸铁中的碳化物主要是 Fe_3C 和合金碳化物,它们结构复杂,导热性远低于石墨和金属基体,急剧降低铸铁导热性,并随着碳化物量的增加而迅速下降。

在 1# 和 2# 样品中，石墨形态主要是 A 型石墨,其钒钛含量相对较低,因此其形成的碳化物含量相对较低,其导热性相比于 3# 和 4# 样品,其导热性能相对较好。而 3# 样品的碳钒钛含量增加,其石墨形态变为 D 型石墨,且碳化物含量高于 1# 和 6# 样品,其导热性能下降。4# 样品的导热性能相比于 1# 和 2# 样品明显增加,原因是其碳含量和钛含量显著提高,加入钒钛后,钒有促使珠光体形成并使之细化的作用,但少量的钛元素阻碍了珠光体的形成,同时铁液凝固时过冷倾向增大,导致珠光体含量减少,石墨含量增加,从而提高了其导热性能。

3 结论

(1)钒钛灰铸铁的石墨形态主要为 A 型石墨及 D 型石墨。随着钒钛含量增加时,石墨组织细化,促进石墨向 D 型石墨转变；碳硅钒钛含量进一步增加,会出现粗大厚片状或块状石墨。

(2)随着钒钛含量的增加,灰铸铁的强度和硬度增加;碳硅钒钛含量进一步增加时,其强度硬度显著下降。

(3)随着钒钛含量增加时,其导热性能下降;随着碳钒钛含量进一步增加,其导热性能明显增加。

参考文献:

[1] 洪观镇. 钒钛蠕墨铸铁汽车制动鼓材质研究及铸造工艺设计[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.

[2] 李莉,陈永泰,张方. 重型载重车辆灰铸铁制动鼓力学性能研究[J]. 铸造, 2012, 61(5): 539-542.

[3] 王国飞,范洪远,王均,等. 钒钛对灰铸铁制动鼓组织性能的影响[J]. 热加工工艺, 2015, 44(13): 50-52,56.

[4] 李小平,钟元龙,林元祖. 合金元素 Ti 对 D 型石墨形成条件的影响[J]. 钢铁钒钛, 2003, 24(4): 67-70.

[5] 鲜广,范洪远,郭智兴,等. 钒钛灰铸铁金相组织观察与分析[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(1): 38-41.

[6] 范洪远,唐正华,李伟. 温度对铸铁导热性的影响[J]. 材料导报, 1996 (3): 23-25.

[7] 范洪远,唐正华,李伟. 碳对铸铁导热性的影响[J]. 机械工程材料, 1996, 20(2): 44-48.