

HT200 制动鼓的失效分析及其新材质的研制

程和法, 黄笑梅, 陈翌庆, 苏 勇

(合肥工业大学材料科学与工程学院, 安徽合肥 230009)

摘 要: 通过对 HT200 汽车制动鼓宏观及微观失效形式的分析, 认为引起制动鼓失效的原因是制动时的强烈摩擦而使制动面上产生拉应力及反复受热, 其失效机制是在拉应力和热疲劳共同作用下表层产生裂纹并不断扩展, 以及由摩擦造成的热磨损。通过加入 Cu、Cr 元素进行微合金化处理改善了制动鼓显微组织和力学性能, 以提高制动鼓的工作寿命。

关键词: 制动鼓; 失效分析; HT200; 微合金化

中图分类号: TG143; TG15.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3738(2001)10-0036-03

Failure Analysis of HT200 Wear Brake Drum and Improvement of Its Material

CHENG He-fa, HUANG Xiao-mei, CHEN Yi-qin, SU Yong

(Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Through macro and micro-examination of the damaged wear brake drum of HT200, it was believed that the cause for the failure of wear brake drum was frequent creation of tensile stress and heating in the surface because of strong friction during braking. The mechanism resulting in the failure of wear brake drum was that the cracks in the surface were initiated and extended by tensile stress combined with thermal fatigue, and heavy wear of the working face at elevated temperature resulted from friction. The microstructure and mechanical properties of wear brake drum were improved by means of microalloying with Cu and Cr to increase its service life.

Key words: wear brake drum; failure analysis; HT200; microalloying

1 引 言

制动鼓是汽车刹车系统中的一个重要零件, 其性能的好坏直接影响到汽车的制动性能甚至安全性。根据制动的工作原理, 制动鼓的服役条件十分恶劣, 要受到刹车片强大的压力及相互间巨大的静或动摩擦力的综合作用, 特别在山区复杂环境中运行时, 由于制动力矩大且制动频繁, 制动鼓的负荷更大。目前汽车制动鼓多数以普通 HT200 材质铸造而成, 在山区环境中运行时由于负荷大常造成其过早失效, 这对汽车的制动性能和车辆的安全构成很大的危害, 迫切需要对这种材质加以改进, 以提高其性能和工作寿命。由于造成制动鼓失效是多种因素的综合作用, 因此, 本工作在对制动鼓失效形式和失效机理分析的基础上, 通过加入微量合金元素以改

善材质的微观组织, 提高其强度、硬度、耐热疲劳强度等综合性能, 以提高制动鼓的性能和工作寿命。

2 制动鼓失效形式分析及失效机理探讨

2.1 失效制动鼓的宏观及微观分析

观察失效后的制动鼓的内表面可见, 在整个内表面上沿轴向近似平行地排列着大量较宽且深的裂纹, 长度接近鼓身的高度, 这是制动鼓失效的主要特征, 而在大的裂纹之间还存在许多较浅的无定向细微裂纹(图 1)。为进一步揭示制动鼓失效的本质, 将图 1 样品沿与裂纹垂直的方向切割制成金相试样在显微镜下观察其微观结构, 见图 2。从微观上看裂纹是由表层内部曲折向前扩展的, 其传播的路径基本上是沿着厚大的片状石墨和石墨之间距离较短的方向, 裂纹深度可达 25mm, 从主裂纹上还顺着石墨片延伸出很多细小的裂纹, 可见石墨的形态与分布对裂纹的产生与传播起着重要作用。另外裂纹周围的基体存在严重的氧化现象, 说明制动鼓表面受

收稿日期: 2000-09-08; 修订日期: 2000-11-13

作者简介: 程和法(1962-), 男, 合肥工业大学副教授, 博士生导师; 韩复生研究员

到高温的作用,制动鼓内表面上除了严重的开裂现象外,磨损也非常严重,图1可见到沿圆周方向较深的磨痕,因磨损使得制动鼓的厚度减小。因此制动鼓失效的主要形式为内工作表面上沿轴向开裂和严重磨损。

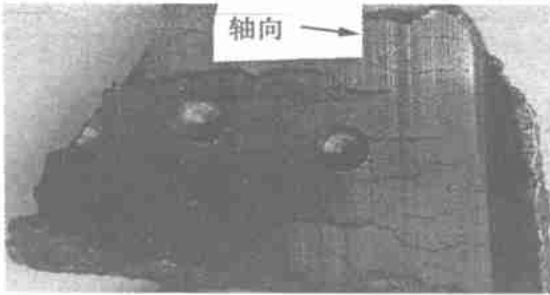


图1 损坏的制动鼓内表面形态

Fig. 1 Morphology of internal surface of damaged wear brake drum

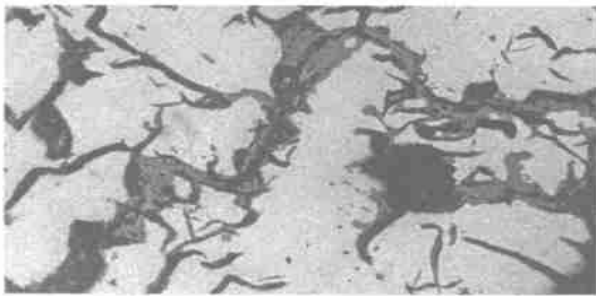


图2 制动鼓截面上裂纹形态 100 ×

Fig. 2 Morphology of cracks in cross section of damaged wear brake drum

2.2 制动鼓失效机理的探讨

制动时刹车片对制动鼓的径向压力在制动鼓内产生周向的拉应力,同时刹车片与制动鼓之间沿周向产生巨大的相对滑动摩擦力在其表层造成拉应力,这两个应力是造成轴向裂纹并扩展的重要因素,当它们叠加的结果超过该条件下材质的强度时便会产生裂纹并扩展,裂纹方向是沿着与周向拉应力相垂直的轴向,在拉应力作用下向内部扩展加深。另外,表面裂纹的萌生与扩展还与受热及热疲劳因素有关,当刹车片与制动鼓产生动摩擦时,巨大的摩擦功转变为热能被制动鼓表面吸收,制动鼓内表层温度便迅速升高,据文献[1]报道表面温度最高可达900℃以上,图2中的氧化现象也证明了这一点,因此制动鼓表面在频繁的制动中反复受高温的作用。温度的急剧升高使材质的强度大幅度下降,从而促进裂纹的萌生与扩展,同时使表层局部材质因膨胀

受阻而产生压缩塑性变形,而因材质的导热使热量迅速散失后,表层材质因温度的降低而收缩,造成残余拉应力,如此反复在表面产生裂纹并进一步扩展,即形成热疲劳裂纹^[2],此种裂纹是无定向的龟裂纹,开始时比较细而浅,但这是造成制动鼓表面裂纹的又一裂纹源,那些处于轴向受上述周向拉伸应力状态的热疲劳裂纹更快地扩展形成轴向粗大的裂纹,这是制动鼓表面开裂失效的主要机理。另外因摩擦产生的高温还因对基体的氧化作用而促进裂纹的扩展,高温作用还使制动鼓材质的强度和硬度大幅度降低,受刹车片的强烈摩擦而造成严重热磨损,这是其失效的又一机制。普通HT200材质制动鼓的强度和硬度均较低,经检测分别为: σ_b 185MPa和193HB;显微组织粗大(图3),由粗大的片状石墨、片状珠光体及磷共晶所组成。粗大石墨自身及其与基体的结合强度低而成为主要的裂纹源和裂纹传播途径;粗大的珠光体强度低而抵抗裂纹的萌生和扩展能力差、硬度低而耐磨性差,从而造成制动鼓过早地失效,尤其在频繁制动和较大制动载荷下。为此必须细化和强化制动鼓组织以提高力学性能,增强对裂纹的抗力及提高耐磨性。而从热疲劳性来看,由文献[2]给出的评价热疲劳性能的热疲劳系数:

$$R = \frac{\alpha}{\sigma} \cdot \frac{1}{\epsilon} \cdot E^{-1} \cdot E^{-1} \quad (1)$$

其中, α ——导热系数, β ——膨胀系数, E ——弹性模量, σ 、 ϵ ——平均温度下的抗拉强度和伸长率。可知尽管随石墨尺寸的减小,导热系数降低,弹性模量 E 升高,而膨胀系数变化不大^[3],对热疲劳抗力不利(R 下降),但从球墨铸铁热疲劳性能远比灰铸铁高的结果^[4],可知细化石墨提高灰铁强度 σ 、和塑性 ϵ 对耐热疲劳性 R 是有利的。另一方面,同时还应考虑到,由于制动鼓在工作中因摩擦产生大量的热量也必须尽快传导出去,而灰铸铁中的石墨尺寸和形态对其导热性至关重要,文献[5]指出灰铁的热扩散系数与石墨长度具有近似线性的正比关系,认为长的A形石墨对制动鼓的耐热性有利。由此可见要提高制动鼓的性能,主要还应从细化和强化基体以提高其强度和硬度着手,而石墨组织则不宜过于细化以免降低其导热性。

3 制动鼓新材质的研制

由上述分析讨论可知,普通HT200材质制动鼓因组织粗大性能低,不能满足高负荷运行条件的性能要求,因此必须采取措施改善制动鼓的组织性和



图3 HT200 制动鼓的显微组织 200 ×

Fig. 3 Microstructure of wear brake drum of HT200

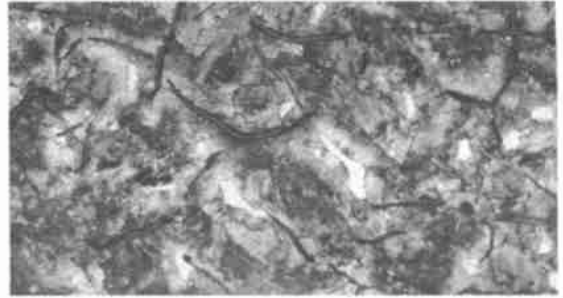


图4 加 Cr、Cu 制动鼓的显微组织 200 ×

Fig. 4 Microstructure of the wear brake drum with Cr and Cu

能,并以改善基体组织和性能为主。Cu、Cr 为促进珠光体形成元素,能细化珠光体提高强度和硬度,同时,Cr 还能改善铸铁的耐热性能,提高高温强度和耐热疲劳性能^[3]。为此通过加入 Cu、Cr 元素进行合金化以强化基体,同时通过适当孕育处理以防出现碳化物的方法来改善制动鼓的组织 and 性能。

制动鼓铁水在 3t 冲天炉内熔炼,Cr-Fe 合金在炉后配料中加入,而紫 Cu 则在炉前包内加入,孕育剂为 75Si-Fe,其总的孕育量为 0.5% (质量分数),制动鼓用普通湿砂型铸造,同时浇注 $\phi 30\text{mm}$ 的圆棒供抗拉试验、显微组织分析和测试硬度。

经化学分析新材质的化学成分(质量分数,%)为,3.29C、2.26Si、0.73Mn、0.67P、0.11S、0.32Cr、0.51Cu。显微组织分析结果(图4)可见新材质的组织中,石墨为 A 型,与图3相比细化且分布均匀,基体中珠光体量增加且显著细化,磷共晶数量增加但尺寸减小并均匀分布于基体上。抗拉试验和硬度试验结果显示新材质的抗拉强度 $\sigma_b = 243\text{MPa}$,硬度 210HB,明显高于原材质。这样组织和力学性能的制动鼓的耐磨性、耐热疲劳性、抵抗裂纹扩展能力和抗氧化性均将显著优于普通 HT200 材质制动鼓的性能,其工作寿命也必将大大延长。由新材质铸造的制动鼓处于装车试验阶段。

4 结 论

(1) 通过分析认为:因摩擦在制动鼓表面产生拉应力和反复受热是导致其失效的主要原因,其失效的机理是在拉应力和热疲劳共同作用下在表面产生裂纹并扩张以及表面材质在高温下的热磨损。普通 HT200 材质制动鼓因组织粗大,强度硬度及耐磨性低,耐热疲劳性能差导致其过早地失效。

(2) 在普通 HT200 材质的基础上加入(质量分数,%)0.32Cr、0.51Cu 进行合金化增加珠光体量并使之细化,磷共晶变细分散均匀,使制动鼓的强度和硬度提高。可望有效地提高制动鼓耐热疲劳性和抗裂纹能力以及耐磨性,延长其工作寿命。

参考文献:

- [1] 张嗣伟,等.石油钻机绞车刹车块摩擦性能研究[J].石油矿机机械,1983,(2):2326.
- [2] 平修二.热应力与热疲劳[M].北京:国防工业出版社,1982.
- [3] 中国机械工程学会铸造专业学会.铸造手册[M].北京:机械工业出版社,2000,175195.
- [4] 程和法,等.铁素体球铁高炉冷却壁的试验研究[J].现代铸铁,1994,(2):69.
- [5] Hecht R L, Dinwiddie R B, Wang H. The effect of graphite flake morphology on the thermal diffusivity of gray cast irons used for automotive brake discs[J]. Journal of Materials Science, 1999,(1):47754781.

(上接第7页)

- boron silicide ($\text{Mo}_5\text{Si}_3\text{-Mo}_5\text{SiB}_2\text{-Mo}_3\text{Si}$) [J]. Scrip Mater, 1998, 38(7): 11691176.
- [15] Lu G Y, Lederich R, Soboyejo W. Residual stresses and transformation toughening in MoSi_2 composites reinforced with partially stabilized zirconia[J]. Mater Sci Eng, 1996, A210: 2541.
- [16] Schwarz R B, Srinivasan S R, Petrovic J J, et al. Synthesis of molybdenum disilicide by mechanical alloying [J]. Mater Sci Eng, 1992, A155: 7583.

- [17] Niihara K, Suzuki Y. Strong monolithic and composite MoSi_2 materials by nanostructure design [J]. Mater Sci Eng, 1999, A261: 615.
- [18] Ito K, Matsuda K, Shirai Y, et al. Brittle-ductile behavior of single crystals of MoSi_2 [J]. Mater Sci Eng, 1999, A261: 99-105.
- [19] Lu T C, Evans A G, Hecht R J, et al. Toughening of MoSi_2 with a ductile (niobium) reinforcement [J]. Acta Metall Mater, 1991, 39(8): 18531862.