

限制淬透性 GCr4 轴承钢的组织 and 性能

魏果能 俞峰 许达

(钢铁研究总院结构材料所,北京 100081)

摘要 试验研究了成分为:1.00% C,0.40% Cr,0.03% Mo,0.034% Al, 10×10^{-6} [O]的 GCr4 轴承钢经感应穿透加热-表面淬火(840 ± 10)℃ + 回火 150 ~ 160 ℃ 后的组织和性能。结果表明,热处理后 GCr4 钢表面层由孪晶马氏体和位错马氏体组成,心部组织为屈氏体 + 索氏体。GCr4 钢的淬透性(J60,3.0 mm)明显低于 GCr15 钢(1.01% C,1.52% Cr, 11×10^{-6} [O])的淬透性(J60,4.5 mm);其感应加热淬火 + 回火的冲击韧性和断裂韧性 K_{Ic} 分别比(840 ± 10)℃ 淬火 + (150 ~ 160)℃ 回火的 GCr15 钢提高 66% ~ 104% 和 67%。GCr4 钢接触疲劳寿命较 GCr15 钢提高 12% ~ 26%。

关键词 GCr4 限制淬透性轴承钢 组织 冲击韧性 断裂韧性 接触疲劳寿命

Structure and Properties of Restricted Hardenability GCr4 Bearing Steel

Wei Guoneng, Yu Feng and Xu Da

(Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

Abstract The structure and properties of GCr4 bearing steel - 1.00% C, 0.40% Cr, 0.03% Mo, 0.034% Al, 10×10^{-6} [O] heat treated by cross section induction heating and quenching (840 ± 10)℃ + tempering (150 ~ 160 ℃) have been tested and researched. Results showed that after heat treated the case structure of GCr4 steel consisted of twinned martensite and dislocation martensite, and the core structure was troostite + sorbite. The hardenability of GCr4 steel (J60, 3.0 mm) was markedly lower than that of GCr15 bearing steel - 1.01% C, 1.52% Cr, 11×10^{-6} [O] (J60, 4.5 mm), the impact toughness and fracture toughness K_{Ic} of GCr4 steel increased respectively by 66% ~ 104% and 67% as compared with that of steel GCr15 heat treated by (840 ± 10)℃ quenching + (150 ~ 160)℃ tempering, and the contact fatigue life of steel GCr4 increased by 12% ~ 26% as compared with that of steel GCr15.

Material Index Restricted Hardenability GCr4 Bearing Steel, Structure, Impact Toughness, Fracture Toughness, Contact Fatigue Life

GCr4 轴承钢含 0.40% Cr,通过感应穿透加热-表面淬火处理后,便兼有全淬透性 GCr15 轴承钢和低碳合金渗碳钢两者特性的新轴承材料。

1 试验材料及方法

EAF + VD 精炼生产的试验材料 GCr4 钢和对比用钢 GCr15 的化学成分列于表 1。

采用 K6PS1-8/250-100 宽频可控中频装置及 GC2405 型感应淬火设备,对 GCr4 轴承套圈及相关试样进行感应穿透加热-表面淬火处理:工艺 I 为 720 ℃ 预热后再加热到(840 ± 10)℃ 进行保温;工艺 II 为试样直接加热到(840 ± 10)℃ 进行保温;3% 的 NaCl 水溶液淬火。150 ~ 160 ℃ 2 h 回火。GCr15 淬火加热

温度为(840 ± 10)℃,油淬,150 ~ 160 ℃ 2 h 回火。

断裂韧性试验在 MTS880 万能力学试验机上进行,试样尺寸(mm)为 20 × 24 × 110,GCr4 钢的试样模拟铁路轴承挡边淬硬层实际使用条件,保留试样两侧边淬硬层,磨去上、下两底面淬硬层。

接触疲劳寿命试验在 JP-52 型接触疲劳试验机上进行,各组 20 个试样,接触应力选择为 4 263 MPa,转速为 2 800 r/min,20 号机油循环润滑。

2 试验结果与分析

2.1 经感应加热淬火后 GCr4 钢的显微组织

GCr4 钢经感应穿透加热-表面淬火处理后的表面层组织为隐针马氏体和分布比较均匀的细小碳化

表 1 试验 GCr4 钢与 GCr15 钢的化学成分/%
Table 1 Chemical compositions of test GCr4 and GCr15 steel /%

钢种	C	Cr	Mo	Mn	Si	S	P	Ti	Al	[O]
GCr4	1.00	0.40	0.03	0.18	0.21	0.008	0.010	0.005	0.034	0.001 0
GCr15	1.01	1.52	0.08	0.36	0.30	0.010	0.012	0.005	-	0.001 1

物;过渡层的组织为马氏体、屈氏体和碳化物;心部组织主要为屈氏体和部分索氏体及碳化物(图 1)。表面层马氏体组织主要为孪晶马氏体和少量的位错马氏体;过渡层中的马氏体组织也是由孪晶马氏体

和位错马氏体组成,屈氏体的渗碳体片间距为 0.08 μm ;心部屈氏体和索氏体组织的渗碳体片间距分别为 0.08 μm 和 0.14 μm 。

2.2 钢的淬透性

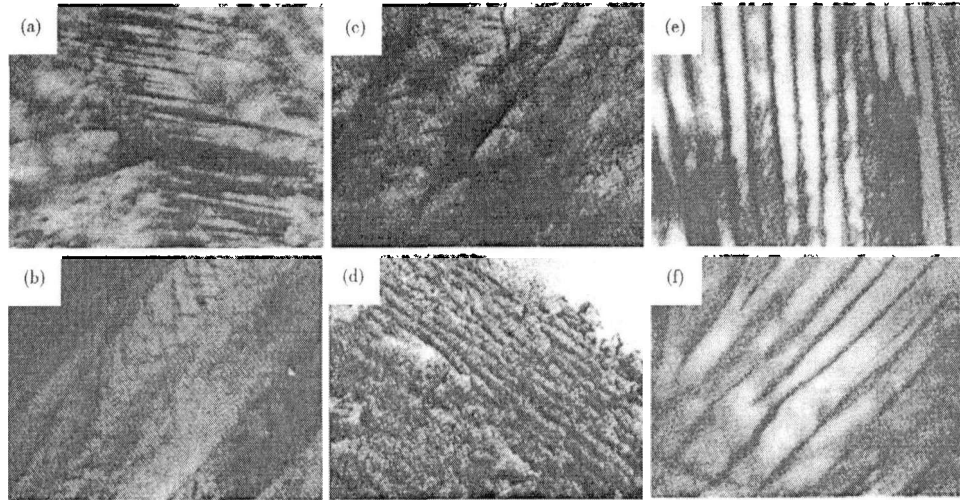


图 1 GCr4 钢经感应加热淬火后的表面层、过渡层和心部的组织形貌,TEM:表面层- (a) 孪晶马氏体, (b) 板条马氏体, $\times 30\,000$;过渡层- (c) 孪晶和板条马氏体, $\times 30\,000$, (d) 屈氏体, $\times 25\,000$;心部- (e) 屈氏体, (f) 索氏体, $\times 45\,000$

Fig. 1 Morphology of case, transition region and core structure of steel GCr4 treated by induction heating and quenching: case- (a) twinned martensite, (b) lath martensite, $\times 30\,000$; transition region - (c) twinned and lath martensite, $\times 30\,000$, (d) troostite, $\times 25\,000$; core- (e) troostite, (f) sorbite, $\times 45\,000$

从图 2 可见, GCr4 和 GCr15 钢的 J60 分别为 3.0 mm 和 4.5 mm。GCr4 钢油冷时末端淬火试样直径 $\Phi 8$ mm, 水冷时 $\Phi 15$ mm; GCr15 钢油冷时 $\Phi 25$ mm。GCr4 钢经感应穿透加热-表面淬火处理, 其硬化层深度达 2.5 mm, 表面硬度值(HRC)为 61.5 ~ 63.0, 心部硬度值(HRC)为 44 ~ 50。

2.3 钢的机械性能

2.3.1 冲击韧性和断裂韧性

GCr4 钢的冲击试样的热处理工艺 I 为试样预

热后进行感应加热, 然后进行喷水淬火, 工艺 II 为试样直接加热, 然后喷水淬火。工艺 I 和 II 的冲击韧性值分别较 GCr15 钢提高 66% ~ 104% 和 35% ~ 58% (图 3a)。工艺 I 由于是预热后再加热, 较工艺 II 可以缩短在高温下的保温时间, 可以获得更细的晶粒, 有利于冲击韧性值的提高。

GCr4 钢断裂韧性试样经预热后进行感应加热, 然后进行喷水淬火, GCr4 钢的断裂韧性 K_{IC} 为 32.09 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 。对比钢 GCr15 的断裂韧性 K_{IC} 为 19.16 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 。因此 GCr4 钢的断裂韧性 K_{IC} 比 GCr15 钢提高 67%。

GCr4 和 GCr15 钢虽然试样表面的组织均为细小回火马氏体, 硬度值(HRC)均为 63.0, 但 GCr4 钢的淬硬层深度仅为 2.5 mm, 其心部为屈氏体 + 马氏体混合组织, 硬度值(HRC)为 50 左右, 而 GCr15 钢的心部组织和硬度与表面相同, 这就是 GCr4 钢冲击韧性和断裂韧性值提高的主要原因。

2.3.2 拉伸试验

由图 3(b) 可见, 随着试验温度的提高, 钢的抗拉强度迅速降低, 塑性缓慢提升, 但温度超过 1 100 $^{\circ}\text{C}$ 后强度和塑性同时降低。

2.4 接触疲劳寿命

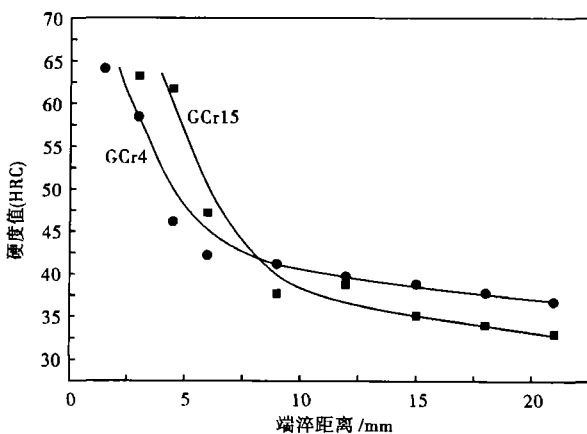


图 2 GCr4 钢和 GCr15 钢的淬透性曲线

Fig. 2 Hardenability curves of steel GCr4 and steel GCr15

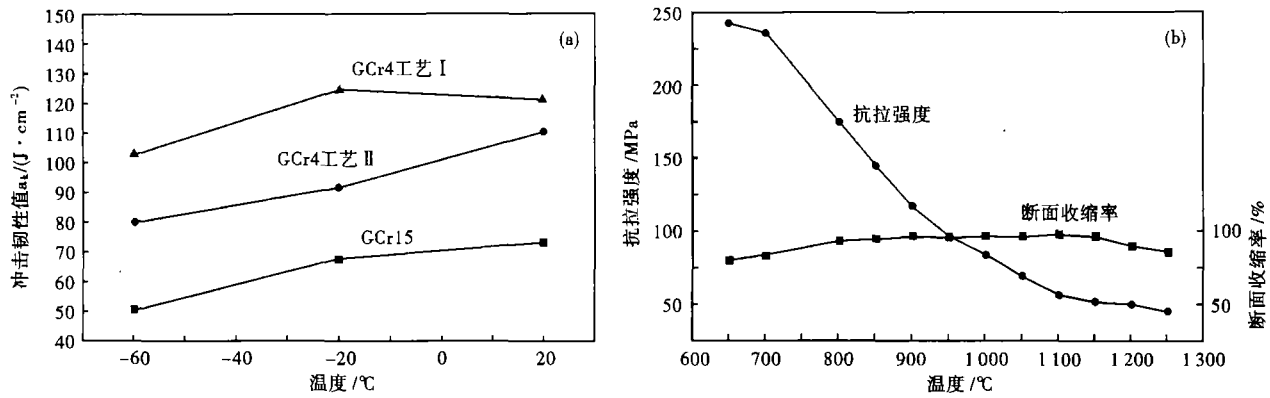


图 3 GCr4 钢和 GCr15 钢的冲击韧性值(a)和高温拉伸性能(b)

Fig. 3 Impact toughness value (a) and elevated temperature tensile properties (b) of steel GCr4 and steel GCr15

接触疲劳寿命试验的试验数据按 Weibull 数理统计方法处理,结果见表 2,疲劳寿命 P-N 曲线见图 4。试验结果表明:GCr4 钢额定接触疲劳寿命 L_{10} 比 GCr15 钢提高 12% ~ 26%,平均寿命 L_{50} 提高 12% ~ 19%,工艺 I 提高的幅度比工艺 II 要高。

表 2 GCr4 钢和 GCr15 钢的接触疲劳寿命试验结果
Table 2 Test results of contact fatigue life of steel GCr4 and steel GCr15

钢种和工艺	接触疲劳寿命				斜率 b
	$L_{10} \times 10^7$	$\frac{L_{10}(GCr4)}{L_{10}(GCr15)}$	$L_{50} \times 10^8$	$\frac{L_{50}(GCr4)}{L_{50}(GCr15)}$	
GCr15	4.21	-	1.81	-	1.27
GCr4 加热后喷水淬火(工艺 I)	5.31	1.26	2.22	1.19	1.33
GCr4 加热后直接淬火(工艺 II)	4.31	1.02	2.08	1.15	1.28

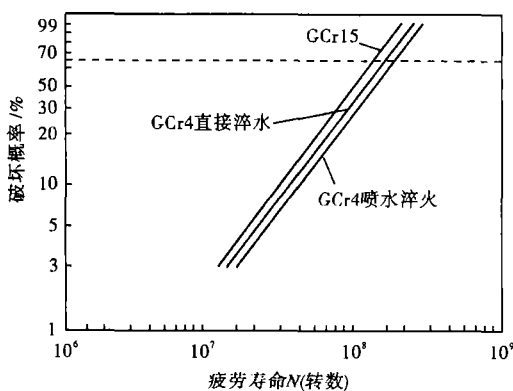


图 4 GCr4 钢和 GCr15 钢的接触疲劳寿命试验 P-N 曲线图
Fig. 4 Failure probability - cycle number (P-N) curves of contact fatigue life test of steel GCr4 and steel GCr15

GCr4 钢的奥氏体极不稳定,在淬火时心部和表层的奥氏体转变时间及组织上有差异,导致表层存在残余压应力,感应淬火时加热时间短,可以获得 10 级以上的非常细小的奥氏体晶粒,有利于马氏体相变时

得到较细的马氏体组织和提高接触疲劳寿命^[1]。

感应加热后喷水淬火工艺的 L_{10} 和 L_{50} 比直接喷水工艺提高 7% ~ 10%,体现出 GCr4 钢淬火时对工艺因素的敏感性。GCr4 钢喷水淬火时试样接触冷却水的时间较直接淬火时短,并且试样表面不易形成气泡而提高了冷却能力,致使试样表层马氏体转变均匀和充分,使表层组织和硬度更均匀;同时在表面可以获得更高的残余压应力,有利于提高接触疲劳寿命。

3 结论

(1) GCr4 钢经感应穿透加热-表面淬火处理后,表层组织为隐针马氏体;过渡层为马氏体、屈氏体;心部为屈氏体和部分索氏体;其硬化层深度达 2.5 mm,表面硬度值(HRC) 61.5 ~ 63.0,心部硬度值(HRC) 44 ~ 50。

(2) GCr4 钢经感应加热淬火后,冲击韧性值较 GCr15 钢提高 66% ~ 104%,断裂韧性 K_{IC} 提高 67%。GCr4 钢经感应加热后,喷水淬火和直接淬火工艺的额定接触疲劳寿命 L_{10} 分别比 GCr15 提高 26% 和 12%,平均寿命 L_{50} 分别提高 19% 和 12%。

(3) GCr4 钢淬透性较低,淬火时奥氏体极易发生珠光体转变,要充分发挥钢的优越性能,必须采用完善的感应穿透加热-表面淬火处理技术。淬火工艺中的预热工序和直接喷水淬火是重要的工艺因素。

参考文献

1 斯别克托尔 A Г. 轴承钢的组织与性能. 上海:上海科学技术文献出版社,1983

魏果能(1940-),男,教授,1965 年西安交通大学毕业,轴承钢材料和工艺研究。

收稿日期:2007-04-02