

高温不锈钢轴承钢 Cr14Mo4 的热处理、组织和性能

魏果能 许达俞 峰

(钢铁研究总院结构材料研究所,北京 100081)

摘要 试验研究了电渣重熔 Cr14Mo4 钢(% : 1.03C、14.36Cr、3.98Mo) Φ 22 mm 热轧材 750 ~ 950 °C 退火、950 ~ 1 200 °C 淬火、450 ~ 550 °C 回火后钢的组织 and 性能。结果表明, (890 ± 20) °C 退火后钢的 HB 硬度值 207 ~ 255; 1 100 ~ 1 120 °C 淬火 500 ~ 525 °C 四次回火后钢的组织由细针状回火马氏体、残余奥氏体和碳化物组成, HRC 硬度值 61, 断裂韧性 K_{IC} 为 31.5 ~ 32.1 MPa · m^{1/2}; Cr14Mo4 钢 200 °C 高温接触疲劳寿命 L_{10} 为 1.1×10^5 , 并且 Cr14Mo4 钢具有较好的耐磨性能。

关键词 不锈钢轴承钢 Cr14Mo4 热处理 组织 机械性能 高温接触疲劳寿命

Heat Treatment, Structure and Properties of High Temperature Stainless Bearing Steel Cr14Mo4

Wei Guoneng, Xu Da and Yu Feng

(Structural Material Research Institute, Central Iron and Steel Institute, Beijing 100081)

Abstract The structure and properties of electroslag remelting steel Cr14Mo4 (1.03C, 14.36Cr, 3.98Mo) Φ 22 mm hot rolled products annealed at 750 ~ 950 °C, quenched at 950 ~ 1 200 °C and tempered at 450 ~ 550 °C have been studied. Results showed that HB hardness value of steel annealed at (890 ± 20) °C was 207 ~ 255; structure of steel quenched at 1 100 ~ 1 120 °C and tempered at 500 ~ 525 °C consisted of fine acicular tempered martensite, residual austenite and carbide with HRC hardness value 61 and fracture toughness K_{IC} value 31.5 ~ 32.1 MPa · m^{1/2}; high temperature contact fatigue life L_{10} of steel Cr14Mo4 at 200 °C was 1.1×10^5 and the steel Cr14Mo4 has higher wear resistance.

Material Index Stainless Bearing Steel Cr14Mo4, Heat Treatment, Structure, Mechanical Properties, High Temperature Contact Fatigue Life

高温不锈钢轴承钢 Cr14Mo4 具有良好的尺寸稳定性, 足够的高温硬度和很好的抗软化性, 并兼有优越的抗腐蚀能力。本文研究了 Cr14Mo4 钢的热处理工艺、组织和机械性能。

1 试验材料及方法

试验用料 Cr14Mo4 钢为 500 kg 电渣锭, 其化学成分(%)为: 1.03C、14.36Cr、3.98Mo、0.13V、0.43Mn、0.28Si、0.003S、0.026P。对比用高温轴承钢 Cr4Mo4V 的化学成分(%)为: 0.82C、4.15Cr、4.26Mo、1.05V、0.31Mn、0.28Si、0.003S、0.017P。

退火温度 750 ~ 950 °C, 冷却速度 5 ~ 35 °C/h; 淬火温度 950 ~ 1 200 °C, 淬火后进行深冷和未深冷的处理工艺; 回火温度 450 ~ 550 °C。热处理试验用钢取自 Φ 22 mm 热轧材, 加工成 Φ 15 mm × 15 mm 的试样。

断裂韧性试样尺寸为 (mm) 20 × 24 × 110, 断裂韧性试验在 MTS880 万能力学试验机上进行。

磨损试验在 Mn-200 型试验机上进行, 上轴转速为 180 r/min, 下轴转速为 200 r/min, 试验负荷 80

kg, 每对试样运转总数为 10 万转; 管形试样尺寸: 外径 30 mm, 内径 16 mm, 高 10 mm, 试验温度为室温。

高温接触疲劳寿命试验在 ZYS-1 型高温接触疲劳试验机上进行, 接触应力选择 3 920 MPa, 转速为 2 900 r/min, 4109 滑油循环润滑。

2 试验结果与分析

2.1 退火工艺、组织和机械性能

从图 1 可见, 在 780 °C 退火时, 组织中的链状碳化物比较严重(图 1a)。退火温度为 920 °C 时, 球化组织中出现少量短条状碳化物(图 1c)。

不同退火加热温度(冷却速度为 15 °C/h) 钢的硬度和机械性能见表 1。

在加热温度为 890 °C 时, 随着退火冷却速度的提高, 退火硬度在提高, 但冷却速度在 5 ~ 35 °C/h 退火范围的 HB 硬度值为 207 ~ 255, 符合技术标准要求。

Cr14Mo4 钢适合球化退火温度为 (890 ± 20) °C, 以 15 ~ 30 °C/h 冷却到 600 °C 以下出炉。

2.2 淬-回火工艺、组织和性能

2.2.1 淬火加热温度和钢的组织

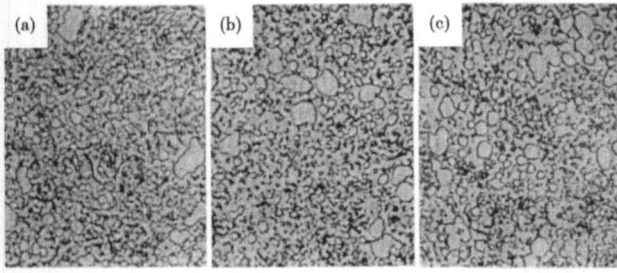


图 1 Cr14Mo4 钢退火组织 ×500; (a) 780 °C, 10 °C/h; (b) 890 °C, 15 °C/h; (c) 920 °C, 5 °C/h

Fig. 1 Annealed structure of steel Cr14Mo4, ×500: (a) 780 °C, 10 °C/h; (b) 890 °C, 15 °C/h; (c) 920 °C, 5 °C/h

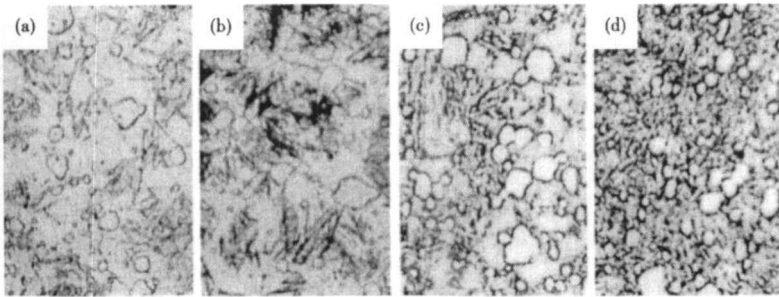


图 2 Cr14Mo4 钢淬火及淬火-回火组织 ×500; (a) 1 200 °C, 油; (b) 1 200 °C, 油, 560 °C 2 h; (c) 1 120 °C, 油, 520 °C 2 h; (d) 1 100 °C, 油, 520 °C 2 h

Fig. 2 Structure of quenched and quenched-tempered steel Cr14Mo4, ×500: (a) 1 200 °C, oil; (b) 1 200 °C, oil, 560 °C 2 h; (c) 1 120 °C, oil, 520 °C 2 h; (d) 1 100 °C, oil, 520 °C 2 h

从图 2 可见, 1 200 °C 奥氏体化时, 晶粒度长大, 淬火后得到粗针状马氏体, 钢中残余奥氏体含量很高。1 120 °C 和 1 100 °C 淬火-回火后, 组织为回火细针状马氏体 80% ~ 85%, 残余奥氏体 7% ~ 10%, 碳化物 10% ~ 14%。

2.2.2 淬火加热温度、钢中残余奥氏体和碳化物

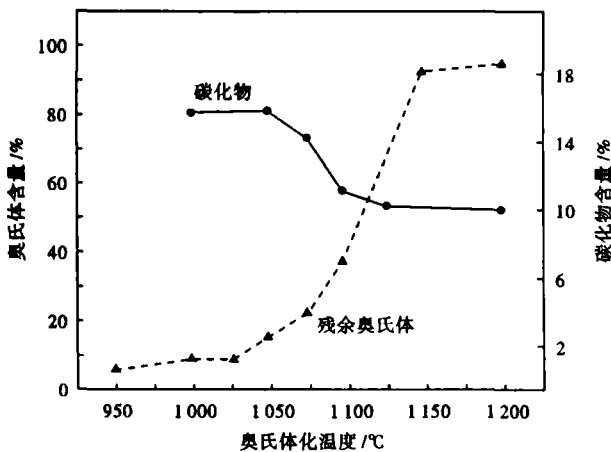


图 3 Cr14Mo4 钢淬火奥氏体化温度对钢中残余奥氏体和碳化物含量的影响

Fig. 3 Effect of austenitizing temperature of steel Cr14Mo4 for quenching on amount of residual austenite and carbide

表 1 退火温度对 Cr14Mo4 钢机械性能的影响
Table 1 Effect of anneal temperature on mechanical properties of steel Cr14Mo4

退火温度/ °C	硬度值 (HB)	机械性能		
		σ_s /MPa	ψ /%	δ /%
750	300	-	-	-
850	250	799	17.5	13.0
900	238	774	20.5	14.5
950	238	760	27.5	17.5

钢中残余奥氏体的数量随淬火加热温度的上升而增加, 加热温度达到 1 150 °C 时, 钢中奥氏体含量达到 90% 以上, 当加热温度达到 1 200 °C 时, 钢中基本上成为奥氏体组织(图 3)。钢中碳化物的含量随淬火加热温度的上升而减少, 在 1 050 ~ 1 125 °C 温度下碳化物的含量显著减少。钢中碳化物相经测定, 碳化物类型主要为 $M_{23}C_6$ 、 M_7C_3 、 M_2C 。

2.2.3 淬火加热温度和硬度

钢的硬度随着淬火加热温度的提高而增加, 温度为 1 120 °C 时, 硬度出现峰值为 HRC61, 当淬火加热温度超过 1 120 °C 时, 因钢中残余奥

氏体量增加, 使钢的硬度下降(表 2)。

表 2 Cr14Mo4 钢淬火温度对淬火硬度的影响
Table 2 Effect of quenching temperature of steel Cr14Mo4 on quenched hardness

淬火温度/°C	硬度值(HRC)
1 050	55.5
1 080	57.0
1 120	61.0
1 150	58.0
1 200	49.0

2.2.4 淬火-回火温度对钢的高温机械性能的影响

钢的高温强度随着淬火加热温度的提高而有所提高, 尤其在试验温度较低时更显著; 断面收缩率和延伸率的变化较少(图 4)。最高的奥氏体温度不能超过 1 150 °C。

2.2.5 回火温度对不同淬火温度淬火后硬度的影响

随着奥氏体化温度的增高, 得到最大硬度的回火温度就提高(图 5)。奥氏体化温度高于 1 100 °C 时, 回火出现二次硬化现象, 奥氏体温度愈高, 二次硬化愈明显, 出现二次硬化的回火温度也愈高。

2.2.6 回火温度和断裂韧性

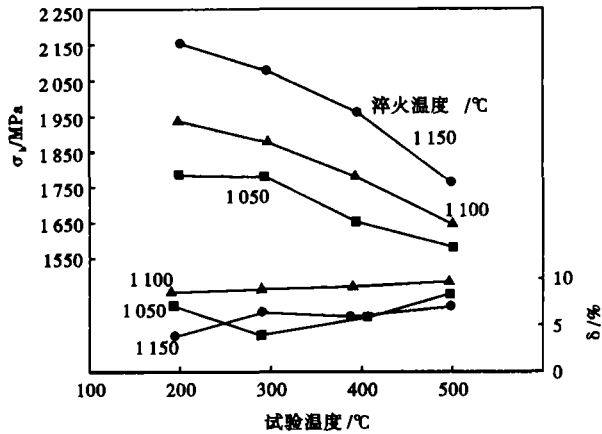


图4 Cr14Mo4 钢淬火温度对高温机械性能的影响
Fig. 4 Effect of quenching temperature on high temperature mechanical properties of steel Cr14Mo4

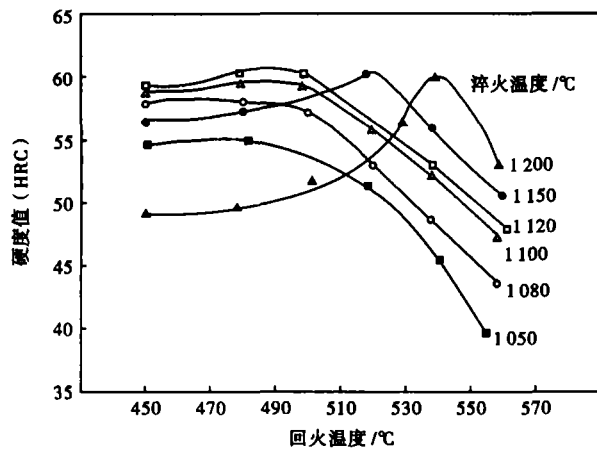


图5 回火温度对不同淬火温度淬火后 Cr14Mo4 钢硬度的影响
Fig. 5 Effect of tempering temperature on hardness of steel Cr14Mo4 quenched at different temperature

1 120 °C 淬火,各回火温度断裂韧性 K_{IC} 值均最高(表3),可能是与钢中残余奥氏体含量较高有关。采用扫描电镜对断口形貌进行观察,发现3种淬火温度下的断口均为准解理穿晶断裂。

Cr14Mo4 钢合适的淬回火工艺为:1 100 ~ 1 120 °C 油淬, -76 °C 冷处理, 500 ~ 525 °C 回火4次,每次回火2 h,空冷。

表3 Cr14Mo4 钢不同淬-回火后的断裂韧性 K_{IC} 试验结果
Table 3 Test results of fracture toughness K_{IC} value of steel Cr14Mo4 with different quenching and tempering temperature

淬火温度/ °C	断裂韧性 K_{IC} / (MPa · m ^{1/2})		
	480 °C 回火	500 °C 回火	520 °C 回火
1 120	32.5	32.0	32.1
1 100	31.8	31.5	31.8
1 050	30.5	31.0	31.4

2.3 钢的磨耗试验

磨耗试验时每个钢号试验4对试样,磨耗量取其平均值,Cr14Mo4 磨耗量为0.045 4 g,Cr4Mo4V 磨耗量为0.117 7 g。Cr14Mo4 钢的耐磨耗性能明显优于Cr4Mo4V,这主要是由于Cr14Mo4 钢中含有较高碳化物的原因。

2.4 钢的高温硬度

钢的高温硬度和高温接触疲劳寿命试验的试样均按本研究所制订的热处理工艺进行处理。钢的高温硬度随试验温度的提高而降低,在300 °C时的高温硬度为HRC58.5(表4)。

2.5 钢的高温接触疲劳寿命试验

Cr14Mo4 的高温接触疲劳寿命要低于Cr4Mo4V 的高温接触疲劳寿命(表5),这主要是由于Cr14Mo4 钢中碳-铬含量较高,因此钢中共晶碳化物比较粗大有关。

表4 Cr14Mo4 钢的高温硬度
Table 4 High temperature HRC hardness value of steel Cr14Mo4

试验温度/°C	硬度值(HRC)
室温	61.5
250	59.5
300	58.5
350	56.5
400	56.0
450	55.0

表5 Cr14Mo4 和 Cr4Mo4V 钢 200 °C 接触疲劳寿命对比
Table 5 Comparison of contact fatigue life between steel Cr14Mo4 and Cr4Mo4V at 200 °C

钢种	接触疲劳寿命		
	$L_{10} \times 10^5$	$L_{50} \times 10^5$	斜率 b
Cr14Mo4	1.1	6.8	1.23
Cr4Mo4V	1.3	14.0	1.13

3 结论

(1)Cr14Mo4 钢退火处理后可获得良好的球化组织,钢的HB 硬度值为207 ~ 255。淬-回火工艺处理后,钢的组织由回火细针状马氏体、残余奥氏体和碳化物所组成,钢的HRC 硬度值为61,断裂韧性 K_{IC} 为31.5 ~ 32.1。300 °C 时钢的高温HRC 硬度值为58.5。

(2)Cr14Mo4 钢的耐磨耗性能优于Cr4Mo4V 钢,高温接触疲劳寿命稍低于Cr4Mo4V, L_{10} 为 1.1×10^5 。

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