

GCr15 轴承钢碳化物控制及其对压碎负荷的影响

官跃辉¹, 张林¹, 张剑锋¹, 陆长河¹, 翟蛟龙², 石长民³

(1 江阴兴澄合金材料有限公司线材研究所, 江阴 214429; 2 江阴兴澄特种钢铁有限公司棒材研究所, 江阴 214429; 3 山东东阿钢球集团有限公司技术部, 东阿 252201)

摘要:碳化物均匀性是影响轴承疲劳性能主要因素之一, 对钢厂采用不同工艺生产的 GCr15 钢制成的钢球进行压碎试验, 并对压碎后的钢球进行碳化物网状、带状分析。试验结果表明, 延长高温扩散时间后, 压碎负荷值提升; 在此基础上进行控轧控冷, 压碎负荷值进一步提升, 并且提升幅度更显著。碳化物颗粒处于 2.5 ~ 6 μm, 碳化物颗粒越大, 压碎负荷值越小; 坯料高温扩散温度 1 220 ~ 1 240 °C、时间 16 h, 且盘条终轧温度 750 ~ 800 °C、冷却速度 4 ~ 5 °C/s 工艺生产的原材料制成钢球后的压碎负荷均值最高, 达到了 251.581 kN。

关键词: GCr15 轴承钢; 碳化物网状; 碳化物带状; 钢球; 压碎负荷

Carbide Control of GCr15 Bearing Steel and Its Influence on Crushing Load

Guan Yuhui¹, Zhang Lin¹, Zhang Jianfeng¹, Lu Changhe¹, Zhai Jiaolong², Shi Changmin³

(1 Jiangyin Xingcheng alloy material Co., Ltd., Institute of Wire rod, Jiangyin 214429;

2 Jiangyin Xingcheng Special Steel Works Co., Ltd., Institute of Bar, Jiangyin 214429;

3 Shandong dongge steel ball Group Co., Ltd., Department of Technology Dong'e 252201)

Abstract: Carbide uniformity is one of the main factors affecting the fatigue performance of bearings. The crushing test steel balls made of GCr15 raw materials produced by different processes in steel mills is carried out, and the crushed steel balls are analyzed by carbide network and banded structure test. The experimental results show the crushing load increases with the prolongation of the high temperature diffusion time, and the crushing load increases more significantly with the controlled rolling and cooling on this basis. When the carbide particles are between 2.5 and 6 μm, the larger the carbide particles are, the smaller the crushing load value is. The average crushing load of the steel ball is the highest which reach to 251.581 kN. While the high temperature diffusion temperature of the billet is 1 220-1 240 °C, the time is 16 h, and the final rolling temperature of the coil is 750-800 °C, and the cooling speed is 4-5 °C/s.

Key Words: GCr15 Bearing Steel; Carbide Network; Carbide Streak; Steel Ball; Crushing Load

钢球的工作特点是承受集中点接触应力和交变载荷, 因此, 对钢球的非金属夹杂类型和尺寸、成分均匀性、碳化物分布等要求都十分严格。高碳铬轴承钢中使用最广的牌号 GCr15, 具备高耐磨性、高接触疲劳强度和优良的冲击韧性等特性, 广泛用于钢球制造^[1-2]。压碎负荷作为检测钢球接触疲劳寿命指标之一, 具有设备相对简单、检测周期短等特点, 受到钢球厂的广泛关注和重视。本试验选择三种不同工艺生产的 GCr15 钢为试验材料, 使用相同工艺制成钢球, 进行压碎负荷试验, 对压碎后的有效钢球样品断面形貌及组织进行分析, 研究碳化物网状、带状及碳化物颗粒大小对压碎负荷值大小的影响, 这样可以反推钢球原材料方面的缺陷^[3], 从而为钢厂在原材料碳化物控制方向提供一定的依据。

1 试验材料和方法

试验材料: 钢球牌号为 GCr15, 为国内特钢厂生产的高纯净度二火材高碳铬轴承钢, 制作钢球的工艺流程为: 100 t BOF-LF-RH-CCM (390 mm × 510 mm)-高温扩散-开坯(200 mm × 200 mm)-低温加热-控轧控冷-热轧盘条(Φ12 mm)-球化退火-拉拔(Φ9.6 mm)-冷镦钢球(Φ13.494 mm)-粗磨-淬火+回火热处理(加热至 830 ~ 850 °C 保温 1 h, 回火温度 155 ~ 165 °C)-精磨(抛光)-检验-入库。其主要化学成分见表 1。

选择同一批次连铸坯料, 分别对坯料进行 1 220 °C 7 h 和 16 h 高温扩散, 且高温扩散 16 h 的坯

表 1 试验 GCr15 钢化学成分/%
Table 1 Chemical composition of test GCr15 steel/%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	O	Ti	Ca
0.95 ~ 1.05	0.15 ~ 0.35	0.25 ~ 0.45	≤0.018	≤0.005	1.40 ~ 1.60	≤0.10	≤0.10	≤0.0005	≤0.001	≤0.001

表 2 试验方案
Table 2 experimental plan

试验材料	高温扩散时间/h	高温扩散温度/℃	终轧温度/℃	冷却速度/(℃·s ⁻¹)	有效钢球数
材料 1	7	1 220 ± 20	830 ~ 880	1 ~ 3	75
材料 2	16	1 220 ± 20	830 ~ 880	1 ~ 3	75
材料 3	16	1 220 ± 20	750 ~ 800	4 ~ 5	75

料在轧制过程中,分别使用常规工艺和控轧控冷工艺生产盘条,以上所得母料经过同等工艺生产成Φ13.494 mm 的钢球,最终对选定的试验钢球进行表面探伤检查,确保无表面缺陷。根据不同种类材料选择足量钢球进行压碎负荷试验,具体方案见表 2。

试验方法:压碎试验在上海申克 WE-300 型试验机上进行,试验加载速度为 1 kN/s,按 JB/T1255-2001 标准规定,每组试验 3 粒钢球,以便于试验结果的统计和评价,试验主要考察钢球能够承受的最大载荷,并分析其与碳化物的相关性,查找碳化物对钢球压碎负荷值的影响,指导原材料生产过程中的碳化物控制。压碎试验模型如图 1 所示(上下接触面板为磁性的,确保了三个钢球处于稳定状态)。

有效样品选择:钢球压碎时断口形貌不一,但根据经验选择开裂形态小于等于 3 块的更有利于试验结果分析^[3],并对开裂钢球的开裂源逐个进行电镜扫描(SEM)分析,去除因夹杂导致开裂的钢球样品,最终所得开裂钢球作为有效样品。

2 试验结果及讨论

碳化物网状、带状都属于二次碳化物,碳化物带状主要研究方向为碳化物颗粒大小、聚集程度等,在

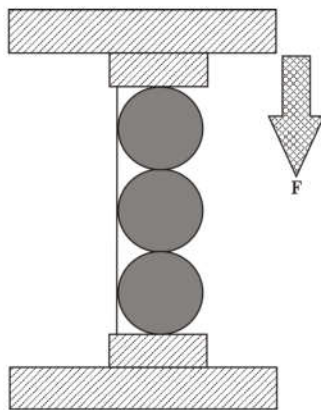


图 1 压碎负荷试验模型
Fig. 1 Crushing load test model

材料生产过程中主要影响因素为高温扩散工艺;而碳化物网状主要是在冷却时沿晶界析出形成,其主要影响因素为轧制过程中的控轧控冷工艺。所以本试验中材料 1、2 钢球网状处于同等级别,而对碳化物带状进行研究分析;材料 2、3 钢球的带状处于同等级别,分析碳化物网状差距。

材料 1 和材料 2 钢球中的碳化物带状为典型的两种不同类型,材料 1 的高温扩散时间短,碳化物颗粒相对较大,且聚集程度更集中,碳化物带较窄,如图 2;而材料 2 的扩散时间更长,碳化物颗粒细小、相对均匀弥散分布,但碳化物带明显更宽,如图 3。可见,坯料在后续轧钢高温扩散时间偏长时,能使富碳富铬区的碳化物浓度降低、碳化物颗粒细小弥散化,从而降低与基体组织的浓度差;而当扩散时间短



图 2 GCr15 钢铸坯 1 220 °C 7 h 高温扩散的 Φ13.494 mm 成品钢球(材料 1)碳化物带状组织

Fig. 2 Band structure of Φ13.494 mm finished steel ball of GCr15 steel with cast bloom high temperature diffusion annealing at 1 220 °C for 7 h , Material 1

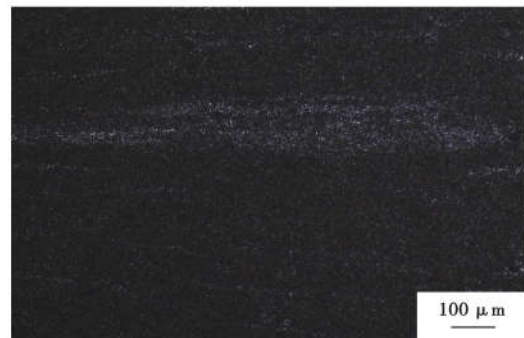


图 3 GCr15 钢铸坯 1 220 °C 16 h 高温扩散的 Φ13.494 mm 成品钢球(材料 2)碳化物带状组织, × 100

Fig. 3 Band structure of Φ13.494 mm finished steel ball of GCr15 steel with cast bloom high temperature diffusion annealing at 1 220 °C for 16 h , Material 2

时,碳元素未能充分扩散,碳化物颗粒尺寸偏大且聚集,带状相对较严重^[4-5]。

对材料 2 和材料 3 钢球的碳化物网状进行金相评级对比分析,未进行特殊控轧控冷工艺的材料 2 的碳化物网状更差,晶界非常明显,按 GB/T 18254-2016 评级达到了 3.0 级甚至 3.5 级,如图 4 (a);而进行控轧控冷工艺的材料 3 的碳化物并未出现明显网状情况,未看到明显晶界,按 GB/T 18254 金相评级仅有 1.0 或 1.5 级,如图 4 (b)。低温控轧工艺,

可以抑制再结晶晶粒长大,保留轧制变形引起的细小晶粒,使析出的碳化物厚度较为细薄,分布更弥散,改善了初期碳化物网状形成;同时结合控冷工艺,可以破坏碳化物沿晶界扩散析出所需的时间及温度两个条件,确保迅速跨过碳化物网状析出所需的合适温度,缩短碳化物沿晶界析出时间,使其无法形成断续或连续的网络状,能够明显抑制碳化物网状的形成^[6-7]。

对以上三种状态材料的最终钢球压碎负荷值

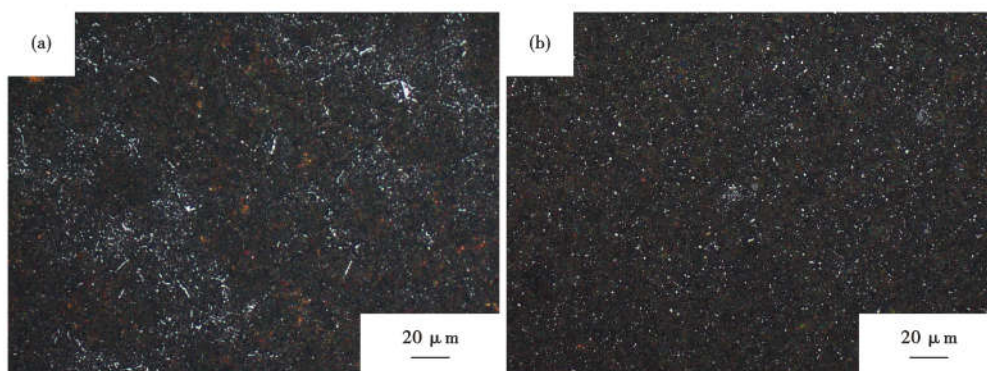


图 4 GCr15 钢终轧温度 830 ~ 880 °C 成品钢球(材料 2)(a)和终轧温度 750 ~ 800 °C 成品钢球(材料 3)(b)的网状碳化物
Fig. 4 Carbide network of GCr15 steel finished steel ball with finished rolling at 830-880 °C (material 2) (a) and with finished rolling at 750-800 °C (material 3) (b)

数据统计如图 5,材料 1 钢球的压碎负荷均值为 201.133 kN,材料 2 钢球的整体压碎负荷均值为 216.919 kN,而材料 3 钢球的压碎负荷均值达到了 251.581 kN,材料 3 钢球明显高于材料 1、材料 2 钢球的压碎负荷值。

材料 2 比材料 1 的钢球压碎负荷均值更高,可以看出,碳化物颗粒细小、均匀弥散分布,带更宽的形态更有利于压碎负荷值的提升,究其原因可能是,碳化物颗粒较大且聚集程度集中的带状形态,在淬火后,会形成大块的粗针状过热马氏体组织,较周围

基体硬度相对更高,与基体的结合力更差,在承受压碎负荷这种单点集中应力变形时,易形成微裂纹源,降低抗疲劳强度,导致钢球开裂。

为了进一步统计碳化物颗粒大小对压碎负荷值的影响,采用电镜对每个样品中最大的 10 个碳化物颗粒均值进行标定统计分析,其相关性如图 6 所示。

由图 6 可见,碳化物颗粒处于 2.5 ~ 6 μm,其压碎负荷值处于 216 ~ 262 kN,同时发现破碎钢球样品中碳化物颗粒的大小与压碎负荷值存在明显的相

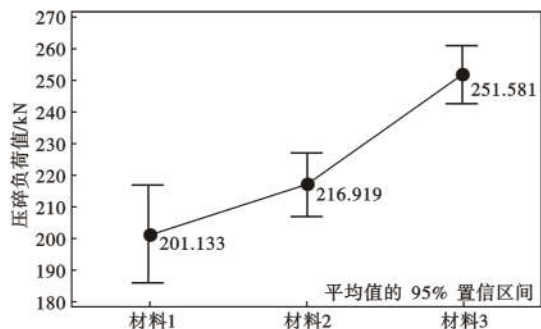


图 5 不同状态材料的压碎负荷值统计

Fig. 5 Statistics of crushing load values of materials in different states

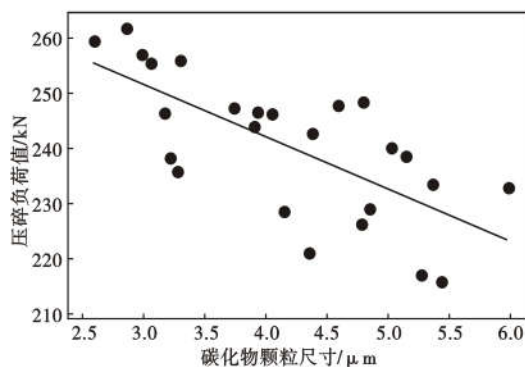


图 6 碳化物颗粒尺寸与压碎负荷值的相关性

Fig. 6 Correlation between carbide particle size and crushing load value

关性,碳化物颗粒越大,压碎负荷值越小。其原因可能是大尺寸碳化物颗粒都是由碳、铬偏析聚集而形成的亚共晶碳化物,具有很高的脆性和硬度,但强度和塑性很差,危害类似脆性夹杂,它破坏了微观组织间的连续性,在淬火时易产生细微裂纹源^[8],在受到集中应力变形时,会引起钢球最终破裂。

3 结论

通过对不同轧制工艺生产的 GCr15 钢材料制成钢球压碎后的碳化物形态分析,及其在试验中有效开裂钢球样品压碎负荷值的统计分析,得出以下结论:

(1) 钢厂通过延长坯料高温扩散时间,可以改善碳化物带状,获得细小、弥散分布的碳化物颗粒;通过控轧控冷工艺能够明显改善碳化物网状。

(2) 延长高温扩散时间后,压碎负荷值提升;在此基础上进行控轧控冷,压碎负荷值进一步提升,并且提升幅度更显著;碳化物网状评级越高,压碎负荷值越小;碳化物颗粒细小、均匀弥散分布,带更宽的形态更有利于压碎负荷值的提升。

(3) 当碳化物颗粒尺寸处于 2.5 ~ 6 μm,碳化物

颗粒的大小与压碎负荷值存在明显的相关性,整体碳化物颗粒越大,压碎负荷值越小。

(4) 采用坯料高温扩散温度 1 220 ~ 1 240 ℃、时间 16 h、终轧温度 750 ~ 800 ℃、冷却速度 4 ~ 5 ℃/s 工艺生产的 GCr15 钢盘条,制成 Φ13.494 mm 钢球后,其压碎负荷均值最高达到了 251.581 kN。

参考文献

[1] 李文兴,刘振明. GCr15 轴承钢碳化物高温扩散的研究[J]. 河北冶金,2012,195(3):23-26.
 [2] 李文竹,马惠霞,黄磊,等. 高碳铬轴承钢网状组织遗传性及其危害[J]. 金属热处理,2012,37(8):36-37.
 [3] 赵高明,周勇,马林. 热处理工艺对钢球压碎载荷值的影响[J]. 轴承,2014,10:35-38.
 [4] 王伟,董庆,魏丽华,等. 高温扩散对轴承钢盘条带状组织的影响[J]. 热加工工艺,2020,49(17):112-114.
 [5] 曹文全,俞峰,王存宇,等. 高端装备用轴承钢冶金质量性能现状及未来发展方向[J]. 特殊钢,2021,42(1):1-10.
 [6] 邓湘斌,胡昭锋,冯杰斌,等. 终轧温度和冷却工艺对 Φ36 mm GCr15 轴承钢网状碳化物的影响[J]. 特殊钢,2017,38(4):57-59.
 [7] 韩逊. 控轧控冷改善 GCr15 钢网状碳化物[J]. 特钢技术,2011,17(68):27-31.
 [8] 王晓燕,宗铎,黄文涛,等. GCr15 栓塞裂纹分析[J]. 热加工工艺,2016,45(16):260-262.



下 期 要 目

含 0.029% 铌 F40MnVS 钢连铸坯微米级大颗粒 NbC 特征及生成机理研究	谢 有等
KR-BOF-RH 流程高牌号无取向硅钢 W310 超低硫冶炼研究与实践	徐小伟
氧含量对硫系易切削钢 Y1215 中硫化物的影响	屠兴圻等
罐箱用 316L 不锈钢(4.4 ~ 4.6)mm × 20 50 mm 冷轧退火板白斑缺陷分析及控制	孟保功等
ZG-12 超低磷钢 90 t BOF-RH-CC 工艺的生产实践	杨丽梅等
保护气氛电渣重熔对 DZ2 高速车轴钢成分及夹杂物影响	邬中华等
唐钢新区铁水 KR 高效脱硫的工业试验研究	潘宏伟等
弧形连铸机生产 S355NL/Q355NE 钢 Φ1 200 mm 连铸圆坯的工艺实践	周开明等
钎具钢 55SiMnMo 轧材表面裂纹的成因分析及工艺改进	赵景存等
节镍型奥氏体不锈钢 14.0Cr-1.1Ni-9.2Mn-0.030Cu 组织及性能研究	吴海林等
445J2 超纯铁素体不锈钢和 316L 超低碳奥氏体不锈钢在溴化锂溶液的点蚀分析	武卓杰等