

热处理对喷射成形 GCr15 轴承钢组织和性能的影响

李 荣 程光辉 郭 江
(济源职业技术学院冶金化工系, 济源 459000)

摘 要 GCr15 轴承钢母材在中频感应炉熔化后的钢液,经导流管进入雾化室的金属流被惰性气体弥散成微米级液滴,并沉积在收集器上,成直径 130.28 mm、中心厚度 40.84 mm 的沉积坯(/%:1.01C,0.23Si,0.29Mn,1.48Cr,≤0.027P,≤0.020S)。取沉积坯的1/4在箱式电阻炉进行热处理试验。结果表明,喷射成形 GCr15 轴承钢的组织是细化的等轴晶和细小的碳化物组成的组织,具有低的合金元素的偏析;860 ℃淬火、160 ℃回火试样的硬度最高,HRC 值为 61,其组织和性能最佳。

关键词 喷射成形 GCr15 轴承钢 组织 淬火回火 硬度

Effect of Heat Treatment on Structure and Properties of
Spraying Formed Bearing Steel GCr15

Li Rong, Cheng Guanghui and Guo Jiang
(Department of Metallurgical and Chemical Engineering, Jiyuan Vocational and Technical College, Jiyuan 459000)

Abstract The liquid melted in a medium frequency induction furnace by parent metal of bearing steel GCr15 through a guided tube enters in spraying room and the metal strand is sprayed by inert gas to liquid droplet with micrometer size and deposited at collector to form a deposited billet with diameter 130.28mm and center thickness 40.84 mm (/%: 1.01C, 0.23Si, 0.29Mn, 1.48Cr, ≤0.027P, ≤0.020S). The test of heat treatment of 1/4 deposited billet is carried out in a box electric resistance furnace. Results show that the structure of spraying formed bearing steel GCr15 is refined structure of equiaxial crystal and fine carbide with low alloy elements segregation; the hardness of sample quenched at 860 ℃ and tempered at 160 ℃ is highest that is HRC 61 with optimum structure and properties.

Material Index Spraying Forming, Bearing Steel GCr15, Structure, Quenching and Tempering, Hardness

轴承钢要求具有高抗压强度、高耐磨性以及高弹性模量^[1]。GCr15 轴承钢经过适当的热处理后具有比较高的弹性极限、接触疲劳强度、硬度和耐磨性,以及足够的韧性、耐蚀性及淬透性^[2-3]。特别是主加 Cr 元素,能够提高钢的淬透性,形成弥散的合金渗碳体,从而提高了钢的硬度、耐磨性和耐蚀性^[4-5]。

一般来说,轴承钢的热处理工艺包括两个环节,首先是进行球化退火处理,其目的是降低硬度,便于切削加工,同时获得均匀分布的细粒状珠光体,为最终热处理做准备。淬火和低温回火是热处理的第二个环节,也是决定轴承钢最终性能的关键性工序^[5]。

1 试验材料和方法

本试验材料为 GCr15 轴承钢,喷射成形试样是在上海宝钢前沿技术研究所自行设计、制造的喷射成形设备上实验获取的,其主要化学成分如表 1。

(1)制备试样。将金属原料 GCr15 钢母材在中频感应炉中熔化,熔体加热到一定温度(一般超过液相线温度 100~150 ℃),将塞棒拔起,金属液流

表 1 喷射成形 GCr15 钢的化学成分 / %
Table 1 Chemical composition of spraying forming steel GCr15 / %

项目	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
喷射成形	1.01	0.23	0.29	1.48	≤0.30	≤0.027	≤0.02
YB9-68	0.95 ~ 1.05	0.15 ~ 0.35	0.20 ~ 0.40	1.30 ~ 1.65	≤0.30	≤0.027	≤0.02

经导液管进入雾化室,在雾化室中金属流被惰性气体弥散成微米级液滴,液滴随后沉积于收集器上。喷射结束后,在收集器上得到沉积坯试样。喷射成形的试样呈饼状,截面轮廓呈现类似高斯分布,直径约为 130.28 mm,中心厚度约为 40.84 mm。选用沉积坯的1/4作为研究对象。

(2)球化退火。将试样 1[#]~10[#]在箱式电阻炉中升温到 790 ℃,保温 3 h,再以 30 ℃/h 降温速率降至 650 ℃,出炉空冷。留 4[#]、6[#]试样观察球化退火组织。

(3)淬火。试样分成两组:1[#]、3[#]、7[#]、9[#]和 2[#]、8[#]、10[#]。将第 1 组试样放入箱式电阻炉中,用石英砂覆盖,升温至 860 ℃,保温 25 min,快速从炉子里取出试样放入油中冷却至室温。第 2 组试样升温至

835 ℃,其余操作步骤与第 1 组相同。留 1[#]、9[#]、10[#]试样观察组织。

(4) 回火。回火试样分两组:2[#]、7[#]第 1 组;3[#]、8[#]第 2 组。将 2[#]、7[#]放入箱式电阻炉,升温至 180 ℃,保温 2 h,出炉空冷。3[#]、8[#]升温至 160 ℃,保温 2 h,出炉空冷。

2 试验结果及分析

2.1 微观组织

2.1.1 喷射成形 GCr15 钢的组织

由图 1 可以看出,喷射成形 GCr15 钢的组织由等轴晶粒(枝晶在三维空间均衡发展,各方向上的一次轴近似相等的晶粒)和细小的碳化物组成。随着晶粒尺寸的降低,合金渗碳体网络变得细小弥散。在喷射试样的显微组织的晶内组织中,白色片层为铁素体,黑色片层为渗碳体,晶界上条状物为合金碳化物。采用定量微分析方法测得珠光体平均片间距为 85 nm,而且全部为细密的珠光体,珠光体团的尺寸在 10 μm 以内,其中碳化物片的厚度在 0.1 μm 以内。晶粒度为 80 ~ 120 μm。

由图 1(b) 看出,由于喷射成形过程的细化作用,喷射态合金中 Cr 元素分布的均匀性明显优于铸态合金,有效地减少合金元素的偏析程度,其显微组织明显优于常规工艺的轴承钢。

2.1.2 球化退火的组织

喷射成形 GCr15 钢经过球化退火,原始的片状珠光体转变成粒状珠光体。如图 2(a),黑色的基体是铁素体,上面均匀分布着细小球状及点状的合金渗碳体。

球化过程中也可能形成不理想的组织,如晶界的条带状渗碳体球化不完全、形成团聚分布的大粒状渗碳体(图 2b),晶界处的球化不完全是因为晶界的渗碳体多而粗大,在球化保温阶段溶解的渗碳体过少,在球化阶段不能完全溶解并析集到邻近稳定的球状碳化物上,所以形成了短棒状的渗碳体。团聚分布的大粒状渗碳体可能是富铬渗碳体,由于球化退火加热温度略高于 A_{c1} 线,此温度下,合金元素扩散速度很

慢,原组织有铬富集的片状渗碳体,铬来不及扩散形成了这种富铬的渗碳体,其特征是颗粒大,成团聚状分布。

2.1.3 淬回火组织

从图 3 中 4 种淬回火后的金相照片可以看出,淬火温度为 860 ℃ 的组织中(图 3c,d)马氏体片或针的尺寸明显小于淬火温度为 835 ℃ 的组织(图 3a,b)。当淬火温度较低时(图 3a),珠光体晶界上不连续的碳化物还来不及溶解和球化,有的仍呈带状,而多以较大的颗粒形式沿原始晶界分布,导致碳化物的分布不均匀。随着回火温度的升高,碳化物颗粒明显变小(图 3),这是由于随着回火温度的升高,碳原子的扩散能力变强,逐渐溶入马氏体片中。

通过分析得出试样经 860 ℃ 淬火和 160 ℃ 回火处理后,合金的组织性能最佳,不仅可以获得较好的马氏体组织,而且不稳定碳化物颗粒能更好的溶入马氏体组织中。

2.1.4 脱碳层组织

图 4 是淬回火试样表面脱碳层的组织形貌。从图 4 中可以观察到浅色区域仍保持着回火组织的形貌,针状的回火马氏体基体上弥散分布着粒状碳化物,深色区域是铁素体。在加热过程中,钢中的碳与

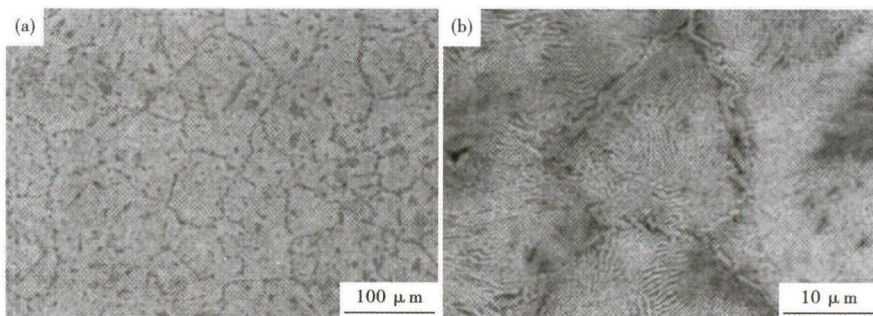


图 1 喷射成形 GCr15 钢的组织形貌:(a)等轴晶;(b)单个晶体

Fig. 1 Morphology of structure of spraying-formed steel GCr15: (a) equiaxed crystal; (b) single crystal

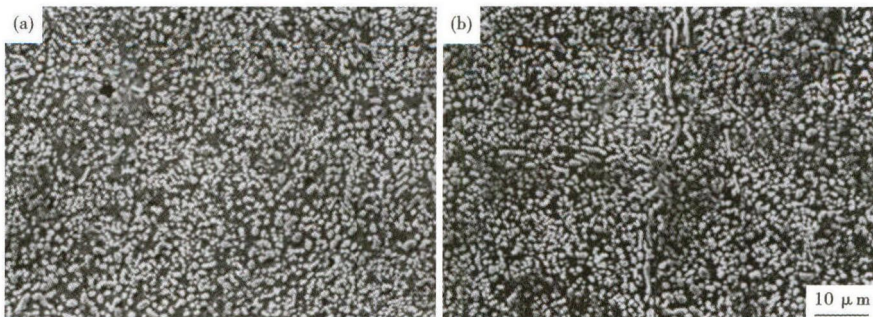


图 2 球化退火后喷射成形 GCr15 钢组织形貌:(a)球化完全;(b)球化未完全

Fig. 2 Morphology of structure of spheroidizing-annealed spraying formed steel GCr15: (a) completely spheroidizing; (b) partially spheroidizing

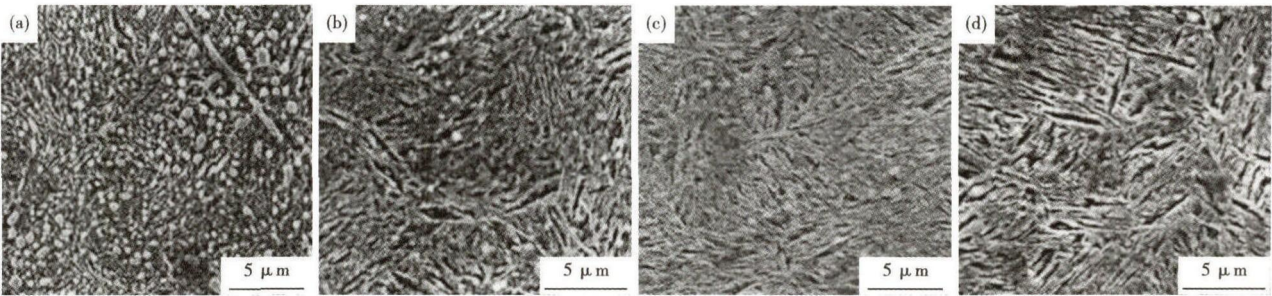


图 3 (a)835 °C-160 °C ,(b)835 °C-180 °C ,(c)860 °C-160 °C ,(d)860 °C-180 °C 淬-回火后的喷射成形 GCr15 钢组织形貌
Fig.3 Morphology of structure of spraying formed steel GCr15 quenched-tempered at 835 °C-160 °C (a) , 835 °C-180 °C (b) 860 °C-160 °C (c) and 860 °C-180 °C (d)

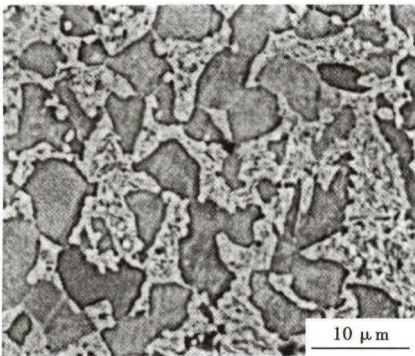


图 4 淬回火喷射成形 GCr15 钢表面脱碳层组织形貌
Fig.4 Morphology of surface decarburized layer structure of quenched-tempered spraying formed steel GCr15

表 2 球化退火和淬回火处理的喷射成形 GCr15 钢试样的硬度

Table 2 Hardness of samples of spheroidizing-annealed and quenched + tempered spraying-formed steel GCr15		
试样号	热处理工艺	洛氏硬度值 (HRC)
4#	球化退火 790 °C 3 h,30 °C/h 降至 650 °C 空冷	25
6#	球化退火 790 °C 3 h,30 °C/h 降至 650 °C 空冷	24
7#	835 °C 淬火 + 160 °C 回火	60
2#	835 °C 淬火 + 180 °C 回火	58
8#	860 °C 淬火 + 160 °C 回火	61
3#	860 °C 淬火 + 180 °C 回火	59

炉内的 O₂、H₂O、CO₂ 及 H₂ 等发生化学反应,形成含碳气体逸出钢外,使钢件表面含碳量降低。表面与内部产生浓度差,脱碳层逐渐加深。脱碳过程进行的速度取决于表面化学反应速度和碳原子扩散速度,在碳浓度差高的区域脱碳速度快,脱碳层也深。所以形成了表面脱碳不均匀的现象。

2.2 硬度分析

不同热处理工艺后试样的硬度测试结果如表 2,未经热处理的试样平均 HRC 硬度值是 34。从表 2 的结果得出,喷射成形 GCr15 钢试样球化退火后硬度下降,淬回火后的硬度明显高于热处理之前

的;不同热处理工艺下的硬度略有差别,淬火温度高的试样硬度也高;相同的淬火温度下,回火温度低的试样硬度要高。

3 结论

(1)喷射成形 GCr15 钢的组织是均匀细小的等轴晶,不存在枝晶组织。它在高倍观察下的显微组织是极其细小的片状珠光体组织,而且片状组织各个方向分布均匀,在晶界处,不连续分布着条带状或粒状碳化物,改善了铸态下网状的二次渗碳体结构。

(2)喷射成形 GCr15 钢经过球化退火,原始的片状珠光体转变成粒状珠光体。黑色的基体组织是铁素体,上面均匀分布着细小球状及点状的合金渗碳体;经过淬回火热处理后,其组织为隐晶马氏体以及残余奥氏体和碳化物。随着淬火加热温度的升高,在金相照片中白区所占比例逐渐增大,而黑区比例逐渐减小。随着淬火温度的升高,碳化物不断溶解在奥氏体中,碳化物的分布趋于均匀。

(3)试样经 860 °C 淬火、160 °C 回火后的力学性能和组织性能达到最佳。

河南省高等学校青年骨干教师资助计划项目 (2015GGJS-277)

参考文献

[1] 滑有录,王海龙. 喷射成形技术的发展与应用[J]. 金属铸锻焊技术,2010,39(2):192-195.
[2] 王盘鑫. 粉末冶金学[M]. 北京:冶金工业出版社,1998.
[3] 李正邦. 钢铁冶金前沿技术[M]. 北京:冶金工业出版社,1997.
[4] 张国宏,张志成,吴开明. 高碳铬轴承钢的成分设计和热处理工艺的研究进展[J]. 特殊钢,2015,36(3):9-11.
[5] 樊伟,王科社,查初亮. 高性能 GCr15 钢滚珠丝杠的热加工[J]. 金属热处理,2014,39(12):55-57.

李 荣(1980-),女,硕士(2005 年内蒙古科技大学),副教授,2002 年包头钢铁学院(本科)毕业,冶金材料制备和分析。E-mail:lirong_025@163.com

收稿日期:2016-02-03