

## HOE 400/250 罩式炉等温球化退火对 GCr15 轴承钢硬度和组织的影响

王莹莹<sup>1</sup> 杨鹏远<sup>2</sup>

(1 东北特钢集团大连高合金棒线材有限责任公司技术处,大连 116105;

2 东北特钢集团大连特殊钢有限责任公司,大连 116105)

**摘要** 对比分析了 GCr15 轴承钢 780 ℃ 15~20 ℃/h 炉冷至 660 ℃ 的普通连续球化退火和 780 ℃ 加热,30 ℃/h 冷却至 720 ℃ 2 h 再以 20 ℃/h 炉冷至 660 ℃ 的等温球化退火后钢的硬度和组织。结果表明,在相同退火时间条件下,采用连续球化退火工艺 GCr15 钢的 HB 硬度值为 184~202,球化组织级别为 2.0~3.5,采用优化的等温球化退火工艺,GCr15 钢 HB 硬度值为 191~198,球化组织级别为 2.0~2.5,取得较好的效果。

**关键词** HOE 400/250 罩式炉 GCr15 轴承钢 连续退火 等温球化退火 组织 硬度

## Effect of Isothermal Spheroidizing Annealing Process in HOE 400/250 Bell-Type Furnace on Hardness and Structure of Bearing Steel GCr15

Wang Yingying<sup>1</sup> and Yang Pengyuan<sup>2</sup>

(1 Technical Department, Dalian High Alloy Wire and Rod Co Ltd, Dongbei Special Steel Group, Dalian 116105;

2 Dalian Special Steel Co Ltd, Dongbei Special Steel Group, Dalian 116105)

**Abstract** The hardness and structure of bearing steel GCr15 by normal continuous spheroidizing annealing at 780 ℃ with 15~20 ℃/h furnace cooling to 660 ℃, and by isothermal spheroidizing annealing at 780 ℃ with 30 ℃/h cooling to 720 ℃ for 2 h then with 20 ℃/h furnace cooling to 660 ℃ are compared and analyzed. Results show that at same annealing time condition, by using continuous annealing process the HB hardness value of steel GCr15 is 184~202 and the spheroidizing structure rating is 2.0~3.5, while by using isothermal spheroidizing annealing process the HB hardness value of steel GCr15 is 191~198 and the rating of spheroidizing structure is 2.0~2.5 to get better effect.

**Material Index** HOE400/250 Bell Furnace, Bearing Steel GCr15, Continuous Annealing, Isothermal Spheroidizing Annealing, Structure, Hardness

高质量退火组织的获得是基于先进的热处理设备和合理的工艺制度。近年来,奥地利 EBNER 公司和德国 LOI 公司等世界一流装备技术的引进,使得国内轴承钢盘条的球化退火质量得到极为可靠的保证,球化、硬度和脱碳等指标的合格率均接近 100%。

奥地利 EBNER 公司的 HOE 400/250 罩式炉采用辐射加热和强制对流传热相结合,炉料温度出现局部过热的情况得以避免。炉温均匀后,炉料间的温差可始终保持在 10 ℃ 以内,从而确保组织的均匀转变,获得理想的组织和力学性能。同时,采用经过高度净化的氮气(露点 ≤ -60 ℃,含氧量 ≤ 5 × 10<sup>-6</sup>)作为保护气氛,可有效防止钢材表面氧化和脱碳<sup>[1]</sup>。

本文以 GCr15 钢为例,研究其合理的球化退火工艺。GCr15 钢主要用于制造各种轴承的滚珠、滚柱和套圈等。轴承在服役过程中承受极高的交变载荷,要求其具有较高的抗接触疲劳性能和耐磨性能,因此轴承钢需具有隐晶回火马氏体+细小渗碳体颗

粒组织。为获得此种组织,则要求轴承钢具有良好的球化珠光体组织<sup>[2]</sup>。本文分别采用普通(缓冷)球化退火和等温球化退火工艺对 GCr15 轴承钢进行处理,以此来研究 GCr15 钢球化退火的行为,探索适合 GCr15 轴承钢盘条的合理球化退火工艺制度,为工业应用提供依据。

### 1 罩式炉设备组成及退火原理

#### 1.1 设备组成及主要参数

HOE 400/250 罩式炉由电加热外罩、工作底座、内罩及导流屏、冷却罩、阀座构成(图 1),其主要参数如表 1,主要用于 Φ5~26 mm 轴承钢、弹簧钢等线材的球化退火及软化退火。

HOE 400/250 罩式炉采用镍铬合金的电阻丝加热。炉内传热方式包括内罩与盘条的辐射换热、保护气体与盘条及内罩的对流换热和盘条内部传热 3 种。退火过程中,通过转速高达 1 000 r/min 的高温循环风机,形成炉内保护气体的强对流循环状态,大大提高了加热效率和炉温均匀性,也可以实现非常

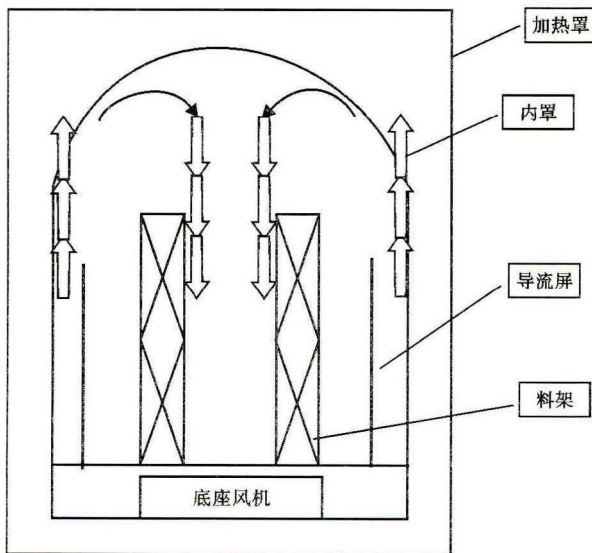


图 1 罩式炉的设备组成及传热方式

Fig. 1 Equipment composition and heat transfer mode of bell-type furnace

表 1 HOE 400/250 罩式炉设备组成及主要参数

Table 1 Equipment composition and main parameters of HOE 400/250 bell-type furnace

设备组成	数量/台	项目	技术参数
电加热外罩	1	最高温度/℃	900
		电加热功率/kW	680
		加热体材质	Ni30Cr20
		控制组数	3
		控制冷却用鼓风机/kW	3
工作底座	2	最大负荷/t	30
		风机功率/kW	70/35/16
		风机速度/(r·min <sup>-1</sup> )	1 000/750/500
		叶轮直径/mm	1 300
内罩及导流屏	2	直径/mm	4 300
		装料直径/mm	3 800
		装料高度/mm	2 300
		工作温度/℃	600 ~ 850
冷却罩	1	冷却空气流量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	12 000
		风机功率/kW	3 × 1.1
		风机速度/(r·min <sup>-1</sup> )	1 000
		出炉温度/℃	≤ 120
阀座	2	保温阶段和控冷阶段温差: ± 10 ℃	
微机控制中心	1	西门子 S5-150S 编程逻辑控制器	

匀速的缓冷,完全可以满足轴承钢球化退火的要求。

### 1.2 退火工作原理

罩式炉主要用于对轴承钢和弹簧钢进行退火处理,其目的是要降低钢材的硬度,改善切削加工性能,获得需要的组织。

以 GCr15 钢的球化退火为例,GCr15 钢的  $A_{c1}$  为 745 ℃,  $A_{cm}$  为 900 ℃,  $A_{r1}$  为 700 ℃。760 ℃ 是球化退火温度的下限,奥氏体晶粒内微区域成分均匀化温度为 840 ~ 850 ℃,即加热温度的上限<sup>[3]</sup>。若

能使 GCr15 钢组织由原来的片状珠光体和渗碳体组织球化,就可以得到硬度低,有利于切削加工的钢材。

GCr15 钢的原始组织为片状珠光体(铁素体 + 渗碳体),硬度较高,当其被加热到稍高于 760 ℃ 时,片状珠光体开始向奥氏体转变,渗碳体片开始溶解,但由于温度低尚未能完全溶解,扩散速度也比较缓慢,因此片状渗碳体将逐步断成许多细小的链状或点状,弥散地分布于奥氏体的基体上。同时,由于加热温度较低,扩散较慢,碳化物又未完全溶解,因此奥氏体的成分也不均匀。在随后的缓慢冷却中,或以未溶的碳化物小质点为核心,或以奥氏体中富碳区产生的碳化物为核心,不断均匀地析出碳化物。由于球状碳化物的界面比片状碳化物的界面小,比较稳定,所以形成球状碳化物需要的界面能也较小,加上球化退火采用的冷却速度很缓慢,有充分的扩散时间,所以析出的碳化物是球状小颗粒,在缓冷过程中或等温过程中随时间的延长而聚集长大,最后 GCr15 钢的硬度降低为 HB179 ~ 207。

## 2 GCr15 钢球化退火工艺参数的确定

### 2.1 加热温度

球化退火工艺是将钢加热到  $A_{c1}$  以上 20 ~ 30 ℃ 保温,GCr15 钢的  $A_{c1}$  为 745 ℃,故在 760 ~ 840 ℃ 温度范围内退火都可以得到粒状珠光体,但是加热温度过低(760 ℃),溶于奥氏体中原始片状珠光体的化学成分极不均匀,冷却过程中点状碳化物在高温停留时间短,来不及长大,表现为细小的粒状和少量密集点状堆积。加热温度过高(850 ℃),碳化物溶解过多,奥氏体成分均匀化,冷却时会出现粗片状珠光体和少量粗粒状碳化物。要想得到最佳组织及适中的硬度值,每一个设备均有它的最佳退火温度,过高或过低的加热温度均得不到正常的球化组织。经生产实践 HOE 400/250 罩式炉 GCr15 钢球化退火的最佳加热温度为 780 ℃,此时退火组织 2.0 级及 2.5 级占 99%,退火硬度全部合格且很均匀(平均 HB 196)<sup>[3]</sup>。

### 2.2 保温时间

对 HOE 400/250 罩式炉进行测定,正常生产时装炉量在 20 t 左右,装炉 10 ~ 14 盘,每盘重 1 ~ 1.5 t,炉料分 7 个区放置,每区用专用料架摆放 1 ~ 2 吊,此炉摆料升温至 780 ℃ 用时为 7 ~ 8 h,炉内盘条心部均温时间约需 2 h,保温时间不足会使组织中球状珠光体变小,因此奥氏体应选择适当的保温时

间才能使球化效果更加良好<sup>[4]</sup>,实际生产中保温时间为4~5 h。

### 2.3 冷却速度

退火的冷却方式一般分为缓冷型和等温型两种。缓冷型适用于装炉量大时,它操作比较方便,但生产周期长;等温型则适用是难于球化以及球化质量要求高的钢(如滚动轴承钢)。

缓冷型必须采用非常缓慢地冷却速度(一般为15~20 °C/h)才能使奥氏体在连续冷却过程中完成珠光体转变,否则会形成马氏体,使钢变硬,无法进行切削加工。而这样低的冷却速度在实际生产条件下是很难实现的,即使能够设法实现,生产周期也显得过长,极不经济。

等温型是快冷至适当温度保温(温度略低于 $A_{r1}$ ,冷却速度一般 $\leq 30$  °C/h),使奥氏体在这个温度下进行等温转变,形成珠光体。由于快冷的过冷度大,析出的碳化物相对弥散、细小,在保温过程中得到细小均匀分布的球化物,这样既可以使奥氏体转变为硬度不太高的珠光体,完成转变所需时间又不太长,方便易行,而且可以缩短生产周期。另外,等温型形成的组织比较均匀,并能严格地控制退火后的硬度。

通过研究等温温度即珠光体转变温度对球化过程的影响规律,发现若将等温温度降低,即使在奥氏体中有大量的未溶碳化物,也将导致大量的片状珠光体形成,因而让珠光体在比较高的温度下长时间保温对球化组织的形成也是很重要的。为此作者做了一个对比试验,将轴承钢在780 °C加热2 h后在不同的温度下等温2 h,然后以20 °C/h冷却至660 °C下再空冷的试验(表2)。从试验结果可以看出,在720 °C等温是合理的<sup>[5]</sup>。

## 3 两种 GCr15 钢球化退火工艺的对比

### 3.1 工艺要点的对比

普通球化退火(即采用缓冷型冷却方式的退火)的工艺要点是:以15~20 °C/h的缓慢冷却速度随炉冷却。

等温球化退火(即采用等温型冷却方式的退

火)的工艺要点是:

(1)选择尽可能低的奥氏体化温度(稍高于 $A_{c1}$ );

(2)选择尽可能高的等温温度;

(3)足够长的等温时间,使转变和球化完成。

### 3.2 工艺曲线的对比

图2和图3分别为HOE 400/250罩式炉现阶段操作规程中所采用的GCr15钢普通球化退火工艺曲线和正在试验研究的等温球化退火工艺曲线。

普通球化退火曲线(图2)包括两个阶段:奥氏体化加热和保温;缓冷(以15~20 °C/h炉冷)至一定温度出炉空冷。

等温球化退火曲线(图3)包括三个阶段:奥氏体化加热和保温;速冷至等温温度保温一定时间;降至一定温度出炉空冷。

### 3.3 退火后组织和硬度结果的对比

#### 3.3.1 试验过程

分别以普通球化退火工艺和等温球化退火工艺对轴承钢盘条进行退火处理,在现场盘条原料放置区选择一盘直径大小合适的GCr15盘条(尽量选择直径为12~16 mm的盘条,方便剪断和检验硬度),

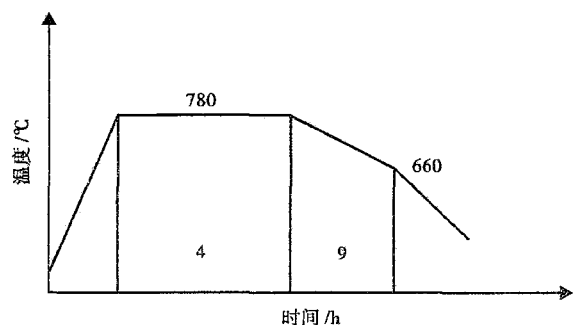


图2 GCr15钢普通连续球化退火工艺曲线

Fig. 2 Curve of general continuous spheroidizing annealing process for steel GCr15

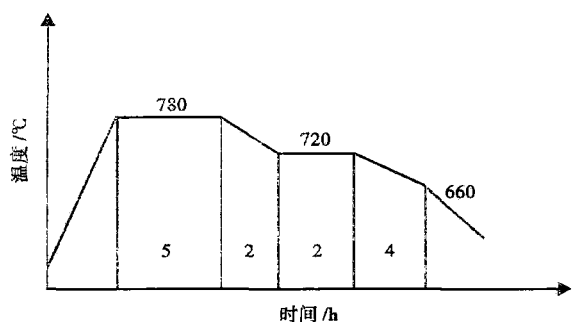


图3 GCr15钢等温球化退火工艺曲线

Fig. 3 Curve of isothermal spheroidizing annealing process for steel GCr15

表2 等温温度对GCr15钢HB硬度值的影响

Table 2 Effect of isothermal temperature on HB hardness value of steel GCr15

转变温度/°C	硬度值/HB
660	220
680	204
700	198
720	195

本次试验使用 Φ12 mm 的轴承钢作为试验料,截去盘条头部一端 1~2 圈后,再截取 2 圈盘条作为试验料(去掉盘条头部以保证原始试验料硬度、组织的均匀性),将试验料截成长度约为 20 cm 的 28 支试验料棒,将这 28 支料棒分成 2 组,每组 14 支。将每组 14 支料棒用铁丝分别拴在罩式炉即将球化退火的 14 盘 GCr15 盘条的中间部位(此罩式炉已采用托偶试验的方式对其温度的均匀性进行了鉴定,能够保证炉温的均匀性),两炉共计 28 盘 GCr15 盘条每盘拴挂好料棒后分别执行上述普通球化退火工艺和等温球化退火工艺。退火结束后,按炉内料的摆放位置将 28 支料棒取下用标签拴挂好,写明摆放位置和退火工艺,然后对其取料进行硬度和组织的检验。

3.3.2 试验结果

硬度和组织的检验结果如表 3 所示。

由表 3 可知,采用两种球化退火工艺得到的组织和硬度结果都能满足标准的要求,两种工艺曲线都是适宜的。采用等温球化退火工艺得到的球化组织级别在 2~2.5 级,组织非常均匀;硬度值都在 HB 191~198 范围内波动,平均值为 194,可以看出此工

艺能够严格地控制退火后的硬度,硬度值波动极小。而普通球化退火工艺与之比较,球化组织级别出现 2.0~3.5 级;硬度值也相差较大,波动范围在 HB 183~202。由此可见,等温球化退火工艺在组织和硬度的均匀性方面较普通球化退火优势更为明显。

4 结论

(1)罩式炉采用辐射加热和强制对流传热相结合,炉温均匀性好,氮气保护气氛可有效的防止钢材表面氧化和脱碳。

(2)奥氏体化温度的选择对 GCr15 钢球化退火效果起着决定性作用。过高或过低的加热温度均得不到正常的球化组织。罩式炉 GCr15 钢球化退火的最佳加热温度为 780 ℃。

(3)奥氏体化保温时间对 GCr15 钢球化退火效果也有影响。保温时间不足会使组织中球状珠光体变小。因此奥氏体化应选择适当的保温时间才能使球化效果更加良好,保温时间为 4~5 h。

(4)等温球化退火的等温温度选择 720 ℃是合理的。

(5)等温球化退火工艺在组织和硬度的均匀性方面较普通球化退火优势更为明显。

表 3 普通连续退火和等温退火后 GCr15 钢组织级别和 HB 硬度值对比

Table 3 Comparison of structure rating and HB hardness value of steel GCr15 treated by using general continuous annealing process and isothermal annealing process

位置	普通连续退火		等温退火	
	HB 硬度值	组织/级	HB 硬度值	组织/级
1 上	197	3.0	195	2.0
1 下	193	2.0	191	2.0
2 上	193	2.5	197	2.0
2 下	191	2.5	193	2.0
3 上	193	3.0	193	2.0
3 下	184	3.5	195	2.5
4 上	202	2.5	195	2.0
4 下	187	3.0	198	2.0
5 上	202	2.5	195	2.0
5 下	183	3.0	193	2.5
6 上	193	2.5	193	2.0
6 下	191	2.5	193	2.5
0 上	200	2.5	195	2.5
0 下	189	3.0	191	2.0

参考文献

[1] 江运宏,周 靖. GCr15 轴承钢棒线材的球化退火[J]. 热处理, 2009,24(3):11-16.  
 [2] 杨洪波,马宝国,朱伏先,等. GCr15 球化退火行为和力学性能的研究[J]. 中国冶金,2008,18(10):20-23.  
 [3] 董立岩. 温度和冷却速度对 PGCr15 轴承钢球化质量的影响[J]. 特殊钢,2000,21(2):35-37.  
 [4] 王洪霞. GCr15 钢球化退火新工艺的研究[J]. 盐城工学院学报, 2011,24(4):26-29.  
 [5] 戴 伟. GCr15 钢球化退火工艺设计[J]. 武汉理工大学学报, 2002,26(1):138-140.

王莹莹(1983-),女,工程师,2006 年辽宁科技大学(本科)毕业,金属材料及热处理研究。  
 E-mail:wyy8528820@163.com

收稿日期:2015-02-12

**欢迎全国冶金、机械、耐材及相关  
 行业在《特殊钢》杂志上刊登工艺设备  
 和技术、产品研发宣传广告**