

# GCr15 钢的快速球化退火工艺

汪东红<sup>1</sup>, 杨 霄<sup>2</sup>, 陈其伟<sup>1</sup>, 朱国辉<sup>1</sup>

(1.安徽工业大学材料科学与工程学院,安徽马鞍山 243002;2.宝山钢铁股份有限公司,上海 201900)

**摘要:**根据“离异共析”原理,对 GCr15 钢采用低温奥氏体化和快速球化退火新工艺,该工艺使得球化退火的奥氏体化保温时间和等温转变时间总和缩短到 2 h 以内,与传统退火工艺相比节约能源 50%以上。

**关键词:**快速球化;退火;离异共析;GCr15

中图分类号:TG156.1 文献标识码:A doi:10.3969/j.issn.1671-7872.2009.03.010

## Fast Spheroidizing Annealing for GCr15

WANG Dong-hong<sup>1</sup>, YANG Xiao<sup>2</sup>, ZHU Guo-hui<sup>1</sup>, CHEN Qi-wei<sup>1</sup>,

(1.School of Materials Science and Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China;2. Baoshan Iron & Steel Co. Ltd., Shanghai 201900, China)

**Abstract:**A new technique of low austenitizing temperature and fast spheroidizing annealing technique is worked out by DET (divorced eutectoid transformation) for GCr15. The fast spheroidizing annealing technique, which reduces the conventional technology spheroidizing annealing austenitization holding and isothermal spheroidizing time in 2 h, also saved energy nearly over 50% compared to the old annealing technology.

**Key words:**fast spheroidizing;annealing;DET; GCr15

GCr15 是一种传统的高铬轴承钢,主要用于制造各种轴承的滚珠、滚柱和套圈等,被广泛应用于高速旋转高负荷的机械零部件,要求具有高的强度、弹性极限和耐磨性。GCr15 的热轧组织往往由片层状珠光体组成,同时还存在少量的晶界碳化物。这种微观结构具有较高的硬度和较低的塑性,加工性能较差。因此高碳钢在后续加工之前需要进行球化退火,使钢中的碳化物球化,提高其加工性能和使用性能。根据美国 ASM 推荐的球化退火工艺,无论是连续的球化退火工艺还是等温的球化退火工艺都需要较长的退火时间,奥氏体化后退火工艺需要 10~16 h<sup>[1]</sup>,导致生产效率降低、耗费大量能源。因此快速球化退火得到了广泛的研究。

根据金属学原理,实现碳化物快速球化的关键在于通过控制相变的热力学和动力学来改变奥氏体向珠光体转变的模式—从传统的片层状转变机制改变为“离异共析”的转变形式,“离异共析”的转变形式是将奥氏体直接转变成球状珠光体,转变时间大为缩短<sup>[2]</sup>。文中鉴于“离异共析”原理的实验研究,分析等温退火快速球化工艺参数对 GCr15 球化组织和性能的影响,提出 GCr15 轴承钢快速球化退火的工艺参数。

## 1 实验

实验材料取自热轧态的  $\Phi=50$  mm 的 GCr15 钢,用线切割机截得直径为 10 mm,长为 7 mm 的圆柱试样。化学成份(wt%)为:C 0.96, Mn 0.31, Si 0.21, Cr 1.46。

### 1.1 GCr15 钢淬火试验

试样在箱式电阻炉分别加热到 790, 810, 830, 850, 870 °C,分别保温 5, 10, 20, 30 min;然后直接水冷。实验工艺如图 1 所示。采用 OLYMPUS 金相显微镜观察金相组织,用扫描电镜(SEM)进一步观察各种试样的

收稿日期:2008-11-13

基金项目:安徽省自然科学基金重点项目(2006KJ081A)

作者简介:汪东红(1984-),男,安徽宿松人,硕士生。

微观组织。力学性能采用洛氏硬度机测量。

### 1.2 GCr15 钢快速球化退火试验

试样选择 790, 810, 830, 850 °C 4 个奥氏体化的加热温度, 保温 10 min 来进一步分析奥氏体化温度对后续等温球化退火过程的影响。在奥氏体化加热保温后随炉冷却到 690, 700, 720 °C 等温球化处理, 等温 60 min 炉冷(约 200 °C/h)到 650 °C 后空冷。具体的实验工艺如图 2。采用 OLYMPUS 金相显微镜观察金相组织, 用扫描电镜(SEM)进一步观察各种试样的微观组织。力学性能采用布氏硬度机测量。

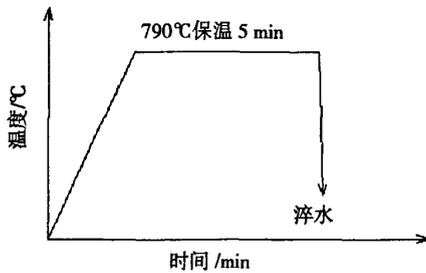


图 1 GCr15 钢淬火试验工艺

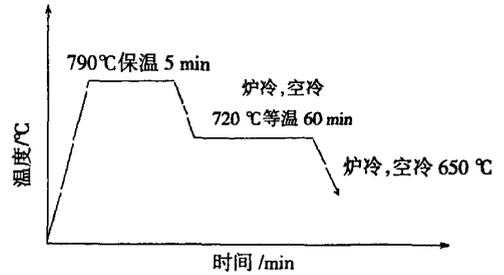


图 2 GCr15 钢快速球化退火试验工艺

## 2 实验结果和分析

### 2.1 奥氏体化温度和时间对残留碳化物粒子的影响

根据“离异共析”的原理, 离异共析的核心是碳化物依附于原有的碳化物颗粒非均匀形核形成球状的颗粒, 铁素体通过碳的扩散向奥氏体基体生长形成等轴状晶粒。因此, 实现离异共析转变的关键是在基体中保持足够的弥散的未溶碳化物粒子作为后续的非均匀形核的核心。为此, 在加热过程中奥氏体转变完成之后必须在奥氏体基体上残留足够的未溶碳化物颗粒作为随后冷却过程中珠光体离异共析转变的核心<sup>[9]</sup>。通过淬火试验研究奥氏体化温度和奥氏体化保温时间对奥氏体化时未溶碳化物粒子的影响。

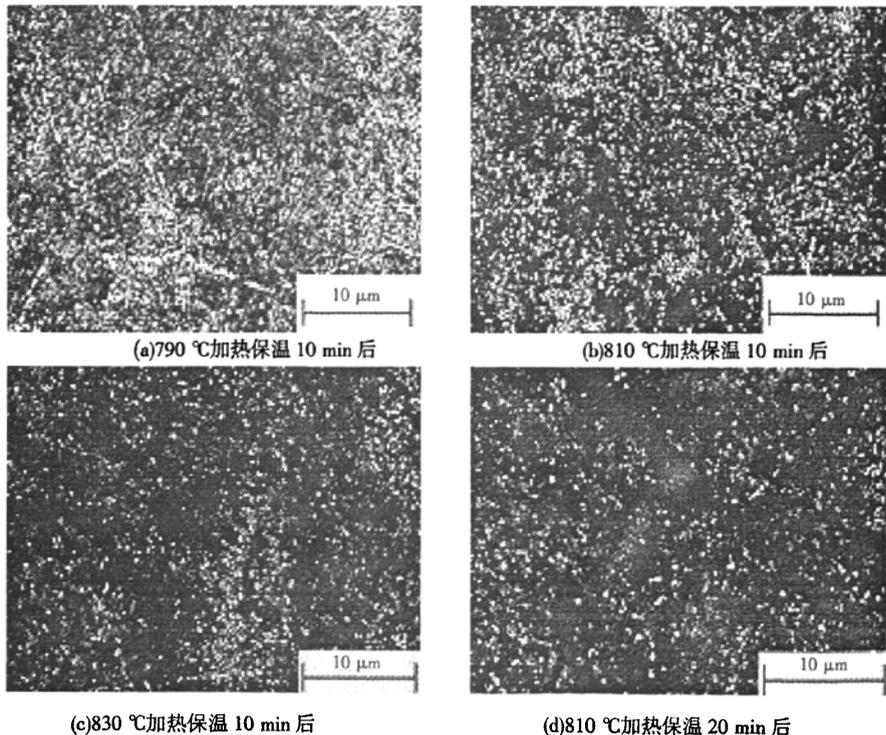


图 3 不同加热温度和保温时间后淬火实验下 GCr15 钢的显微组织

图3是不同加热温度和保温时间后淬火试验下试样的显微组织。从图3(a)可以看出790℃,试样组织中珠光体分解不完全,碳化物粒子不明显,同时存在大量网状碳化物。当加热温度升高到810℃时如图3(b),组织中存在大量的未溶碳化物粒子,晶界的碳化物网状减少。即使存在少量的网状碳化物,也已经断开成为沿晶界分布的粒状碳化物。该碳化物在随后的冷却过程中由于晶界扩散速度较快,会优先生长,完全消除网状碳化物特征。

当奥氏体化温度提高到830℃时如图3(c),奥氏体化的样品中残留碳化物减少。当碳化物粒子的数量减少到不能足以完全以长大的方式达到珠光体的平衡体积分数时,需要一部分珠光体通过均匀形核长大的方式实现转变,从热力学和动力学的角度,当珠光体以均匀形核长大的方式实现转变时,会形成片层状的珠光体,破坏快速球化的过程。

从图3(a),(b),(c)看出,过高的奥氏体化温度会导致碳化物的完全溶解,从而后续冷却过程中缺少形核位置,形成传统的片层状碳化物<sup>[9]</sup>。过低的加热温度会导致珠光体分解不完全以及网状碳化物的存在,从而导致球化组织不能满足要求。从实验结果看奥氏体化的温度选择在810℃比较有利于快速球化退火的。

从图3(b),(d)看出,随着保温时间的延长,碳化物颗粒逐渐减少,特别是一些短棒状细小的碳化物粒子消除,因此选择合理的加热温度,适当延长保温时间有利于获得球状的残留碳化物粒子,使碳化物粒子能够较为均匀的分布。需要注意的是,碳化物粒子数量减少会导致随后冷却过程中碳化物生长过程核心数目的不足。保温时间短造成材料局部成份不均匀,导致不均匀组织的产生<sup>[9]</sup>,适当地降低奥氏体化温度,延长保温时间,有助于缓解透烧加热产生的成份不均匀,同时保留足够多的剩余碳化物颗粒。故本试验的最好保温时间是10 min。

## 2.2 等温快速球化退火工艺对球化组织的影响

不同等温快速球化工艺处理后GCr15钢的显微组织如图4(a),(b)。从图4(a),(b)看出,经过720℃的等温退火,790,810℃奥氏体化的试样均得到了球化的组织,但是830℃奥氏体化的试样中出现了少量的片层状珠光体。从表1看出,830℃GCr15钢奥氏体化的硬度基本达到标准的上限,这主要跟组织中少量的片状珠光体有关。830℃奥氏体化由于温度高,残留碳化物的数量减少到不能足以完全以长大的方式达到珠光体的平衡体积分数时,必然需要一部分珠光体通过均匀形核长大的方式来实现转变。对于790℃奥氏体化的样品中存在一些短的未溶碳化物细棒状,碳化物的分布与810℃奥氏体化的相比不太均匀。810℃奥氏体化的样品中碳化物较为细小,分布均匀。由此可见等温球化的试验结果与上述淬火实验奥氏体化温度分析的结果一致,即选择810℃作为奥氏体化的温度是有利的。

当选用较低的等温温度690℃进行球化退火时,等温退火的温度较低,意味着珠光体转变在较大的过冷度下进行,提高了珠光体相变的驱动力,导致了片层状珠光体的形成,组织中均含有少量的片层状珠光体。如图4(c),等温后空冷时有形成片状的趋势,导致组织中出现拉长的球状颗粒。表1中数字显示,720℃等温时硬度较低,正好在标准中间值附近;690℃的硬度基本达到标准的上限,如图4(d),这主要跟组织中有少量的片状珠光体有关。

图4(e),(f)是GCr15钢810℃奥氏体化保温10 min后冷却到720℃等温进行快速球化退火,分别等温90,60 min炉冷至650℃后空冷的微观结构。退火时间延长会导致碳化物颗粒的长大,引起样品硬度降低。表1表明采用60 min球化退火的样品硬度为HB186,当退火时间从60 min增加到90 min,样品的硬度降低到HB179。因此在生产实践中最终产品性能可以通过调整退火时等温时间来控制。

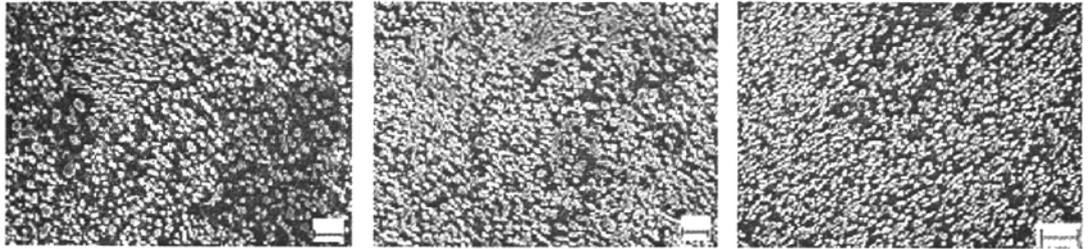
快速球化退火采用的工艺去除加热时间和冷却时间,奥氏体化保温时间和等温转变时间总和不到2 h(这个时间与工件大小无关)。这主要是由于“离异共析”的转变形式是将奥氏体直接转变成球状珠光体,转变时间大为缩短<sup>[9]</sup>。

对于传统球化退火工艺而言,奥氏体化温度较高,保温时间较长,奥氏体基体上碳化物颗粒基本上溶入奥氏体<sup>[9]</sup>。奥氏体以空冷或更低的冷却速度冷却至A<sub>1</sub>

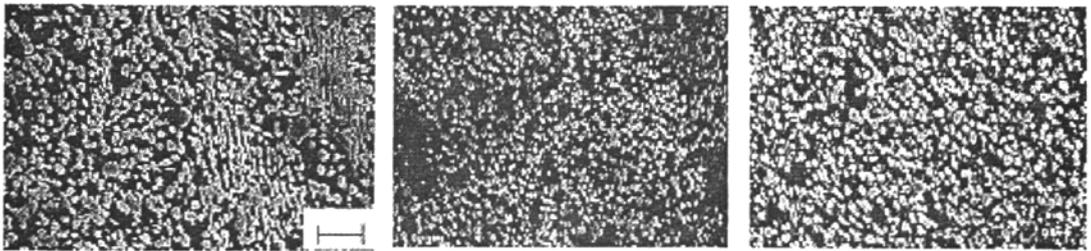
表1 快速球化退火后GCr15钢的硬度和显微组织级别

快速球化工艺	硬度 HB	组织评级
790℃奥氏体化 720℃等温 60 min 炉冷	207	2~3
810℃奥氏体化 720℃等温 60 min 炉冷	186	2
810℃奥氏体化 720℃等温 90 min 炉冷	179	2
810℃奥氏体化 690℃等温 60 min 炉冷	204	3
810℃奥氏体化 720℃等温 60 min 空冷	207	4
830℃奥氏体化 720℃等温 60 min 炉冷	187	3

点以下,会形成由铁素体和渗碳体片层构成的珠光体组织,这种微观结构低的界面能使其渗碳体的球化比较困难,需要足够长的退火时间使片状渗碳体在  $A_1$  温度以下通过渗碳体破裂、断开而逐渐球化,虽然这个过程在特定温度下是一个自发的过程,但其包括球化之前形成片状珠光体的时间,片状渗碳体破裂、断开与逐渐球化的时间,奥氏体化保温时间(4~6.5 h)和等温转变时间(2~6 h),总和长达十几个小时。



(a) 790 °C奥氏体化(720 °C等温 60 min) (b) 830 °C奥氏体化(720 °C等温 60 min) (c) 810 °C奥氏体化(720 °C等温 60 min 后空冷)



(d) 810 °C奥氏体化(690 °C等温 60 min) (e) 810 °C奥氏体化(720 °C等温 60 min) (f) 810 °C奥氏体化(720 °C等温 90 min)

图4 不同等温快速球化退火工艺实验 GCr15 的显微组织

### 3 结 论

(1) 实现碳化物快速球化的工艺关键在于,低温奥氏体化以保证有足够的未溶碳化物粒子作为后续非均匀形核的核心,加热到 790~830 °C 保温 10 min 等温退火工艺的组织硬度满足国标要求。

(2) 等温温度 720 °C 较为合适。在生产实践中,可以通过调整退火的等温时间来控制最终产品性能。

(3) 采用快速球化退火工艺去除加热时间和冷却时间,奥氏体化保温时间和等温转变时间总和仅需约 2 h(时间与工件大小无关)。而传统工艺奥氏体化保温时间和等温转变时间总和需要 10~16 h,两者相比,可节约能源 50% 以上。

#### 参考文献:

- [1] Verhoeven J D. The Role of the Divorced Eutectoid Transformation in the Spheroidization of 52100 Steel[J]. Metall Mater Trans, 2000, V31A:24-31.
- [2] ZHU Guo-hui, ZHENG Gang. Directly spheroidizing during hot deformation in GCr15 steels[J]. Materials Science and Engineering, 2008, v2(1):72-75.
- [3] Verhoeven J D, Gibson E D. The Divorced Eutectoid Transformation in Steel[J]. Metall Mater Trans, 1998, V29A:1181-1189.
- [4] Nobuhisa Tabata, Shozaburo Nakano, Yasuhiro Nakagawa, et al. Development of Thermomechanically Control-Processed High Carbon Chromium Steels for Ball Bearing without Annealing[R]. Kawasaki Steel Technical Report, 1992, 26:68.
- [5] 贺毅,王学前. 高碳钢球化机制与 Ac1f 透烧球化退火工艺[J]. 金属热处理, 2002, 27 (5) :39-43.

(责任编辑:何莉)