

终轧温度和冷却工艺对 $\Phi 36$ mm GCr15 轴承钢网状碳化物的影响

邓湘斌 胡昭锋 冯杰斌 张正波 叶德新
(宝钢特钢韶关有限公司, 韶关 512123)

摘要 试验研究了终轧 905 ~ 930 °C, 空冷, 终轧 905 ~ 930 °C, 穿水返红至 675 ~ 707 °C, 终轧 845 ~ 870 °C, 穿水返红至 661 ~ 698 °C 对 $\Phi 36$ mm GCr15 轴承钢棒材网状碳化物的影响。结果表明, 轧后空冷的 GCr15 轴承钢棒材的网状碳化物级别较高为 3 级; 轧后棒材经穿水后返红温度为 661 ~ 707 °C 时, 网状碳化物为 1.5 ~ 2.5 级, 能满足冷加工用途 GCr15 轴承钢的要求(网状碳化物 ≤ 2.5 级); 低温精轧和降低终轧温度能明显改善 GCr15 轴承钢热轧材的网状碳化物。

关键词 GCr15 轴承钢 $\Phi 36$ mm 热轧材 控轧控冷 网状碳化物

Effect of End-Rolling Temperature and Cooling Process on Carbide Network in $\Phi 36$ mm Bearing Steel GCr15

Deng Xiangbin, Hu Zhaofeng, Feng Jiebin, Zhang Zhengbo and Ye Dexin
(Shaoguan Co Ltd, Baosteel Special Steel, Shaoguan 512123)

Abstract The effect of end-rolling at 905 ~ 930 °C, air cooling, end-rolling at 905 ~ 930 °C, cooling to 675 ~ 707 °C by crossing water, and end-rolling at 845 ~ 870 °C, cooling to 661 ~ 698 °C by crossing water on carbide network in $\Phi 36$ mm hot-rolled bar of bearing steel GCr15 has been tested and studied. Results show that the rating of carbide network in bearing steel GCr15 bar air-cooling after rolling is 3, higher than requirement, the rating of carbide network in bar cooling to 661 ~ 707 °C by crossing water after rolling is 1.5 ~ 2.5 to meet the requirement for bearing steel GCr15 for cold working service (rating of carbide network ≤ 2.5); and the carbide network in hot-rolled products of bearing steel GCr15 may be obviously improved by finishing rolling at lower temperature and decreasing end rolling temperature.

Material Index Bearing Steel GCr15, $\Phi 36$ mm Hot-Rolled Products, Controlling Rolling and Controlling Cooling, Carbide Network

GCr15 是应用最为广泛的高碳铬轴承钢。随着轴承套圈产线的升级换代, 棒料的加热方式越来越多的由煤气(天然气)改为电感应加热方式。感应加热时间短效率高, 但严重的网状碳化物来不及溶解, 可能部分保留至轴承套圈, 影响轴承寿命。因此, 新国标送审稿对热轧材网状亦做出了上限要求。

为了满足用户对网状级别的高要求, 各轴承钢生产厂都在积极地研究并寻找解决的办法和途径。众所周知, GCr15 轴承钢为过共析钢, 在轧后的冷却过程中, 二次碳化物会沿原奥氏体晶界析出形成网状碳化物, 其 A_{r1} 相变点为 700 °C, A_{cm} 相变点为 900 °C^[1], 加快棒材轧后在 700 ~ 900 °C 的冷却速度, 能有效防止碳化物沿晶界呈网状分布^[2-3]。降低形变终轧温度, 得到较细小的奥氏体晶粒, 在随后冷却过程中, 能减少粗厚的网状碳化物沿晶界析出^[4-5]。

钢厂合金棒材生产线配备了先进的控冷装备, 生产高碳铬轴承钢已经有较长时间, 经过相关工艺试验, 网状碳化物得到明显改善, 可满足球化退火材

≤ 2.5 级的要求。

本文根据轴承钢的特点及现场工艺设备布置情况, 对 $\Phi 36$ mm GCr15 棒材进行轧后冷却试验, 采用热轧空冷、轧后控冷和控轧控冷三组工艺进行对比。考虑到球化退火对网状碳化物改善作用, 本试验还增加了球化退火对碳化物网状的影响。

1 工艺流程及水箱布置

280 mm(或 210 mm、160 mm)方坯→加热炉加热→6 机架粗轧→6 机架中轧→4 机架预精轧→1[#]水箱→4 机架精轧→2[#]水箱→减定径机组→3[#]水箱→冷床。

水箱布置: 1[#]水箱长 6 m, 位于预精轧和精轧之间; 2[#]水箱长 12 m, 位于精轧和减定径机组之间; 3[#]水箱长 3 m, 位于减定径机组和冷床之间。

2 试验内容

试验坯料为 160 mm 方 GCr15 轴承钢初轧坯, 冶炼流程为: 铁水→KR 脱硫→转炉→LF 精炼→RH 精炼→连铸机。主要化学成分(%)为: 0.99C,

表 1 $\Phi 36$ mm GCr15 轴承钢轧制工艺参数对网状碳化物的影响
Table 1 Effect of rolling process parameters of $\Phi 36$ mm bearing steel GCr15 bar on carbide network in steel

工艺	冷却方式	坯料数量/块	开轧温度/℃	预精轧出口温度/℃	精轧入口温度/℃	终轧温度/℃	水箱开启情况	最高返红温度/℃	轧态		退火态	
									试样数/个	网状/级	试样数/个	网状/级
方案 1	轧后空冷	3	1 030 ~ 1 060	905 ~ 935	920 ~ 945	905 ~ 930	无	-	9	3.0	9	3.0
方案 2	轧后控冷	6	1 030 ~ 1 060	905 ~ 935	920 ~ 945	905 ~ 930	2 [#] 、3 [#] 水箱	675 ~ 707	6	2.0	2	1.5
									12	2.5	8	2.0
方案 3	控轧控冷	6	1 030 ~ 1 060	905 ~ 935	840 ~ 875	845 ~ 870	1 [#] 、2 [#] 、3 [#] 水箱	661 ~ 698	9	2.0	7	1.5
									9	2.5	8	2.0
											3	2.5

注:冷却水温度及流量:常温,60 ~ 90 m³/h;使用便携式测温仪测量最高返红温度。

0.20Si,0.35Mn,1.48Cr,0.009P,0.002S。

试验是在正常生产情况下进行的,用160 mm方初轧坯轧制成 $\Phi 36$ mm GCr15棒材。该规格棒材先经过1[#]水箱,由精轧机组出成品,再经过2[#]、3[#]水箱。穿水过程工艺记录及检测结果如表1。生产时分别截取了轧态试样和退火态试样,退火态试样随该批圆钢一起在多功能辊底式退火炉进行退火。按GB/T 18254-2002进行网状碳化物评定。

3 检测结果与分析讨论

3.1 试验方案及检测结果

由表1结果可知,方案1采用轧后空冷,网状评定全部为3.0级。

方案2采用轧后控冷,1[#]水箱未开启,只是用2[#]、3[#]水箱进行轧后穿水,终轧温度在905 ~ 930℃,最高返红温度在675 ~ 707℃,所有试样网状碳化物评级满足 ≤ 2.5 级的要求。

方案3是进行了控轧控冷,1[#]水箱开启,轧件进入精轧机组温度在840 ~ 875℃,并且使用2[#]、3[#]水箱进行轧后穿水,控制终轧温度在845 ~ 870℃,最高返红温度在661 ~ 698℃,所有试样网状碳化物评级满足 ≤ 2.5 级的要求。

3.2 检测结果分类统计

各冷却方案 $\Phi 36$ mm热轧材网状碳化物级别的统计列于表2。

表 2 轧后冷却工艺对 $\Phi 36$ mm GCr15 轴承钢网状碳化物级别的影响

Table 2 Effect of cooling process after rolling on rating of carbide network in $\Phi 36$ mm bar of bearing steel GCr15

项目	试样数/个	网状/级	网状平均级别/级
轧后空冷	18	3.0	3.0
轧后控冷	36	1.5 ~ 2.5	2.25
控轧控冷	36	1.5 ~ 2.5	2.07
穿水轧态 ⁽¹⁾	36	2.0 ~ 2.5	2.29
穿水退火态 ⁽²⁾	36	1.5 ~ 2.5	2.03

注:(1)包括轧后控冷、控轧控冷的轧态试样,各18个样;(2)包括轧后控冷、控轧控冷的退火态试样,各18个样。

从 $\Phi 36$ mm GCr15轴承钢网状碳化物级别(表2)统计分析可知:

(1)轧后空冷(方案1)试样全部为3.0级;轧后控冷和控轧控冷的试样全部 ≤ 2.5 级。穿水快速冷却能改善网状碳化物分布和评级。

(2)轧后控冷(方案2)的试样网状碳化物平均级别为2.25级;控轧控冷(方案3)的网状碳化物平均级别为2.07级。控轧控冷工艺对网状碳化物的改善更明显。

(3)穿水后轧态试样的网状碳化物平均级别为2.29级;穿水后退火态试样的网状碳化物平均级别为2.03级。球化退火过程能改善网状碳化物的分布和评级。轧后空冷的试样退火前后评级无差别,说明当网状碳化物封闭且较厚时,球化退火无法改善网状碳化物评级。

(4) $\Phi 36$ mm GCr15轴承钢网状碳化物形貌如图1所示。

3.3 结果分析与讨论

本次试验最高返红温度在661 ~ 707℃,避免了大量碳化物析出。所有穿水轴承钢网状碳化物评级均 ≤ 2.5 级。轴承钢网状碳化物的形貌如图1,轧后空冷轴承钢棒材沿晶界分布的碳化物较厚,且封闭;轧后控冷轴承钢棒材的网状碳化物较薄,且不封闭;控轧控冷轴承钢棒材的网状碳化物分布弥散,控制较好。

方案1工艺在后续退火过程中,由于轧后空冷轴承钢棒材网状碳化物较厚,碳化物不易溶解,碳化物仍沿晶界分布呈网状,虽然形貌有所改善,但评级较差;方案2工艺经过穿水冷却的棒材,网状碳化物较薄,分布弥散,在退火过程中容易溶解并分散分布,不再呈网状分布。

方案3的控轧控冷工艺,通过开启1[#]水箱,降低棒材进入精轧温度至840 ~ 875℃,进行低温精轧,该温度范围碳化物已经开始析出,但在后续精轧

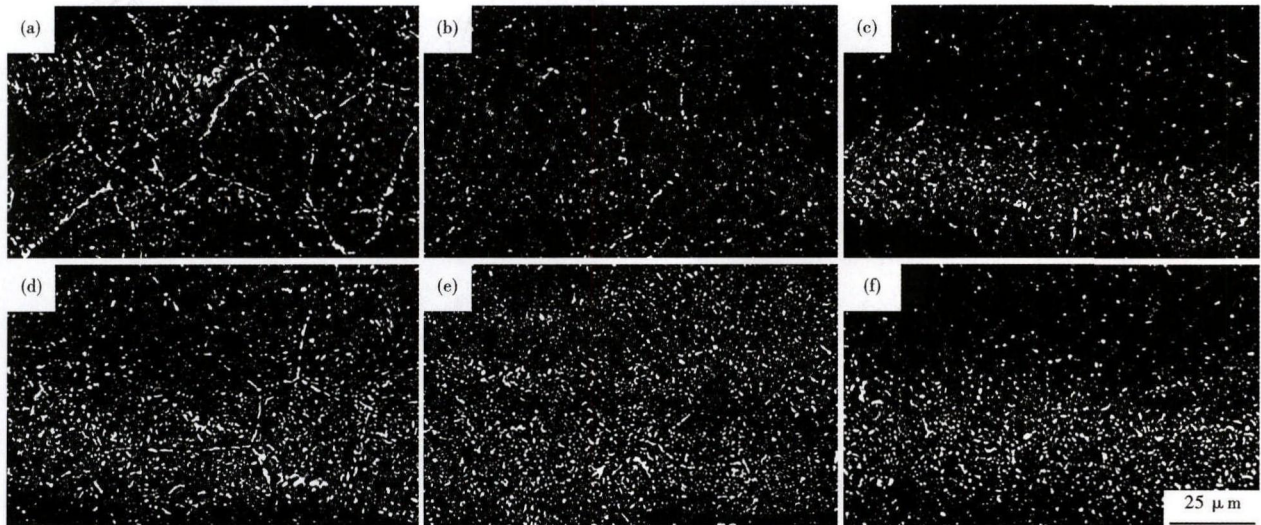


图 1 $\Phi 36$ mm GCr15 轴承钢网状碳化物形貌- 工艺,网状级别:(a) 轧后空冷,3.0;(b) 轧后控冷,2.5;(c) 控轧控冷,2.0;退火态试样,工艺,网状级别:(d) 轧后空冷,3.0;(e) 轧后控冷,2.5;(f) 控轧控冷,2.0

Fig.1 Morphology of carbide network in $\Phi 36$ mm bar of bearing steel GCr15- process, rating of carbide network: (a) air cooling after rolling, 3.0; (b) controlling cooling after rolling, 2.5; (c) controlling rolling and cooling, 2.0; annealed specimen, rolled process, rating of carbide network: (d) air cooling after rolling, 3.0; (e) controlling cooling after rolling, 2.5; (f) controlling rolling and cooling, 2.0

形变仍可将网状碳化物破碎,网状碳化物得到改善。同时终轧温度为 $845 \sim 870 \text{ }^\circ\text{C}$, 所得到的奥氏体晶粒比较细小,在随后冷却过程中,即使有网状碳化物析出,也是细薄的。这种细薄的网状碳化物,在之后的球化退火过程中比较容易弥散减轻。

4 结论

(1) GCr15 轴承钢棒材轧制穿水后最高返红温度在 $661 \sim 707 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,网状碳化物评级较好,能满足冷加工用途轴承钢的要求(网状碳化物 ≤ 2.5 级)。

(2) 在低温精轧和降低终轧温度过程中,再进行轧后控冷能明显改善网状碳化物。相比于轧后控冷,控轧控冷对 GCr15 轴承钢棒材网状碳化物改善更为显著。

(3) 球化退火能改善网状碳化物分布与评级。

参考文献

- [1] 于永泗,齐 民. 机械工程材料[M]. 大连:大连理工大学出版社,2007:223.
- [2] 袁旭迪,卫建国,夏伟栋,等. 高碳铬轴承钢棒材轧后控冷工艺[J]. 上海钢研,2006(4):26-29.
- [3] 夏伟栋,李 铮,郑雨暘,等. 连轧后水冷工艺对 GCr15 轴承钢 $\Phi 60$ mm 棒材网状碳化物的影响[J]. 特殊钢,2008,29(2):63-64.
- [4] 戴起勋. 金属材料学[M]. 北京:化学工业出版社,2005:75.
- [5] 王东兴,肖攸毅. 连轧 GCr15 轴承钢的控轧控冷工艺[J]. 特殊钢,2004,25(3):48-49.

邓湘斌(1980-),男,工程师,2004 年东北大学(本科)毕业,特殊钢产品开发。E-mail:13500209490@139.com

收稿日期:2017-02-26

=====

“讲文明树新风”公益广告

绿 色 环 保
爱 我 家 园