

## 终轧温度对 GCr15 轴承钢网状碳化物析出的影响

杨洪波<sup>1</sup> 朱伏先<sup>1</sup> 马宝国<sup>2</sup> 刘相华<sup>1</sup>

(1 东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室, 沈阳 110004; 2 宝山钢铁股份有限公司特殊钢分公司, 上海 200940)

**摘要** 研究了终轧温度(750~900 ℃)和成品规格(Φ12 mm 和 Φ5.5 mm)对 GCr15 轴承钢网状碳化物析出的影响。结果表明,当轧制规格为 Φ12 mm、终轧温度为 800 ℃时,碳化物网状级别最低,为 1.5,终轧温度降至 750 ℃时,碳化物网状级别增加至 2.0;当轧制规格为 Φ5.5 mm、终轧温度为 850 ℃时,碳化物网状级别最低,为 1.5,终轧温度在 800 ℃时碳化物网状级别又升高至 2.5。小规格轧材终轧温度过低,不利于网状碳化物析出的抑制,最佳终轧温度与轧制规格有关。

**关键词** GCr15 钢 网状碳化物 终轧温度 轧制规格

## Effect of Finishing Temperature on Precipitation of Carbide Network in Bearing Steel GCr15

Yang Hongbo<sup>1</sup>, Zhu Fuxian<sup>1</sup>, Ma Baoguo<sup>2</sup> and Liu Xianghua<sup>1</sup>

(1 State Key Laboratory of Rolling and Automation, Northeastern University, Shenyang 110004;  
2 Special Steel Branch, Baosteel Co Ltd, Shanghai 200940)

**Abstract** Effect of finishing temperature (750~900 ℃) and product size (Φ12 mm and Φ5.5 mm) of rod on precipitation of carbide network in bearing steel GCr15 has been studied. Results show that as rolling Φ12 mm rod, with finishing temperature 800 ℃, the rating of carbide network is minimum i. e. 1.5, with decreasing finishing temperature to 750 ℃, the rating of carbide network increases to 2.0; as rolling Φ5.5 mm rod, with finishing temperature 850 ℃, the rating of carbide network in minimum i. e. 1.5, with decreasing finishing temperature to 800 ℃ the rating of carbide network increases again to 2.5. For the light rod, the too low finishing temperature is not available to inhibit the precipitation of carbide network in steel. Therefore the optimum finishing temperature is related to specification of rolled products.

**Material Index** Steel GCr15, Carbide Network, Finishing Temperature, Specification of Rolled Product

过共析钢在轧后冷却过程中沿晶界析出的网状碳化物,会增加钢的脆性,降低轴承零件的疲劳寿命<sup>[1,2]</sup>。许多文献曾报道,降低终轧温度可以抑制网状碳化物的析出<sup>[3,4]</sup>。本文对 GCr15 轴承钢在不同终轧温度下网状碳化物的析出情况进行了工业试验研究。

### 1 试验材料与方法

试验用料化学成分如表 1 所示。在宝钢股份有限公司特殊钢分公司条钢厂 34 架轧机长型材生产线进行了小批量 GCr15 轴承钢的轧制试验,轧后将试验料空冷至室温。轧制规格分别为 Φ12 mm 和

表 1 Φ12 mm 和 Φ5.5 mm 的试验用钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of test steel of Φ12 mm and Φ5.5 mm rod / %

直径规格/ mm	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Cu	Mo	Ti
12	1.00	0.31	0.007	0.005	0.24	0.04	1.46	0.08	0.01	0.002 4
5.5	0.98	0.33	0.009	0.005	0.22	0.06	1.44	0.09	0.02	0.002 0

Φ5.5 mm。

按照 GB/T18254-2002《高碳铬轴承钢》的检测规则及评级标准,检测轧材的碳化物网状级别。

### 2 试验结果与分析

由图 1(a~d)可以看出,在 900~800 ℃,随着终轧温度的降低,Φ12 mm 轧材网状碳化物的析出量逐渐减少,终轧温度为 801 ℃时,碳化物级别已降

低至 1.5 级,但是终轧温度为 751 ℃时析出的网状碳化物又有所增加,此时碳化物网状级别为 2.0 级。因 GCr15 轴承钢在平衡条件下网状碳化物的析出温度为 700~900 ℃,大量析出碳化物的温度在 700~850 ℃<sup>[5]</sup>,当终轧温度在 900~800 ℃时,未再结晶的奥氏体经变形,晶粒拉长,并且在晶粒内增加变形带和位错密度,为细化珠光体球团尺寸、分散碳

化物析出创造了条件;且这一温度范围不是大量过剩碳化物析出温度,与 $\Phi 50 \sim 100$  mm 轧材相比,因 $\Phi 12$  mm 轧材规格小,在此温度终轧,空冷条件下整断面冷却较快,阻止了过共析碳化物沿晶界析出,从而得到较低网状级别。在 $800 \sim 750$  °C 轧制时,为未析出的碳化物继续析出创造了条件,使最终网状碳化物级别较高。由此可见, $\Phi 12$  mm 轧材终轧温度过低( $\leq 800$  °C),不利于抑制网状碳化物析出。

由图 1(e~h)可以看出,对于 5.5 mm 轧材,在 $900 \sim 850$  °C,随着终轧温度的降低,网状碳化物的

析出量减少,终轧温度为 $849$  °C 时,碳化物的网状级别已降低至 1.5 级;但是终轧温度在 $850 \sim 750$  °C 时,析出的网状碳化物又有所增加,终轧温度为 $809$  °C,碳化物的网状级别又升高到 2.5 级,终轧温度为 $762$  °C 碳化物的网状级别 $\geq 3$  级。由于变形诱导析出作用,变形量越大,碳化物的析出温度越高,使得在 $809$  °C 终轧下先共析碳化物已基本析出完毕。这样,即使在轧制过程中其也得到破碎,但由于形核点较少,造成碳化物仍有一部分以网状形式出现,可见网状碳化物的析出与轧制规格有关。

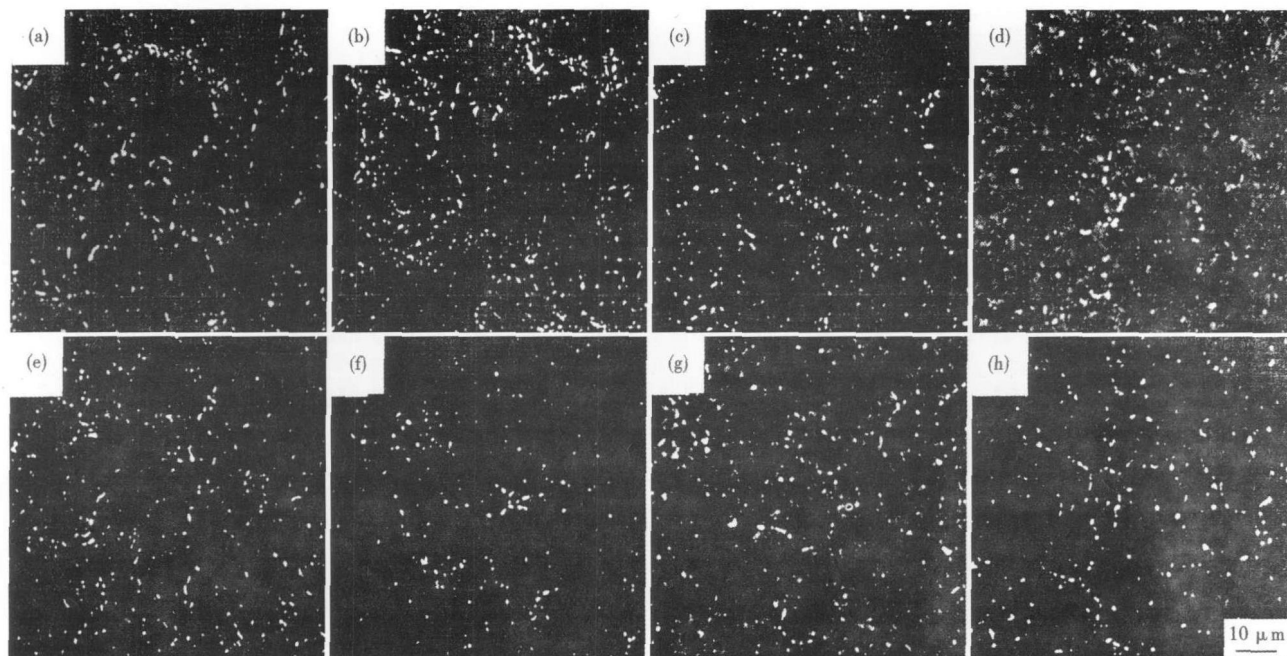


图 1 试验钢的网状碳化物- $\Phi 12$  mm 终轧温度和网状碳化物级别:(a)895 °C,  $\geq 3$ , (b)848 °C,  $\geq 3$ , (c)801 °C, 1.5, (d)751 °C, 2.0;  
 $\Phi 5.5$  mm 终轧温度和网状碳化物级别:(e) 898 °C, 2.5, (f) 849 °C, 1.5, (g) 809 °C, 2.5, (h) 762 °C,  $\geq 3$

Fig. 1 Carbide network of test steel,  $\Phi 12$  mm rod, finishing temperature and rating of carbide network: (a) 895 °C,  $\geq 3$ , (b) 848 °C,  $\geq 3$ , (c) 801 °C, 1.5, (d) 751 °C, 2.0;  $\Phi 5.5$  mm rod, finishing temperature and rating of carbide network: (e) 898 °C, 2.5, (f) 849 °C, 1.5, (g) 809 °C, 2.5, (h) 762 °C,  $\geq 3$

### 3 结论

(1) 轧制 $\Phi 12$  mm 轧材时,在 $900 \sim 800$  °C,随着终轧温度的降低,网状碳化物级别减少;终轧温度为 $800$  °C 左右时,碳化物网状级别最低,为 1.5 级;终轧温度在 $750$  °C 左右时,碳化物网状级别增加,为 2.0 级。

(2) 当轧制规格为 $\Phi 5.5$  mm 时,在 $900 \sim 850$  °C,随着终轧温度的降低,碳化物网状级别降低;终轧温度为 $850$  °C 左右时,碳化物网状级别最低,为 1.5 级;终轧温度在 $800$  °C 左右时,碳化物网状级别又升高至 2.5 级。

国家自然科学基金重点资助项目(50634030)

### 参考文献

- 1 Koot Sookos A, Gates J D. The Role of Secondary Carbide Precipitation on the Fracture Toughness of a Reduced Carbon White Iron. *Materials Science and Engineering A*, 2008, 490(1-2): 313
- 2 Zhu Guo-hui, Zheng Gang. Directly Spheroidizing during Hot Deformation in GCr15 Steels. *Frontiers Materials Science China*, 2008, 2(1): 72
- 3 孙慎宏, 李慧莉. GCr15 轧后控冷碳化物网状问题浅析. *特钢技术*, 2004, 9(3): 16
- 4 王东兴, 肖攸毅. 连轧 GCr15 轴承钢的控轧控冷工艺. *特殊钢*, 2004, 25(3): 48
- 5 钟顺思, 王昌生. 轴承钢. 北京: 冶金工业出版社, 2000

杨洪波(1980-), 女, 博士研究生, GCr15 轴承钢控轧控冷及球化退火工艺研究。

收稿日期: 2009-07-13