

热轧工艺参数对 GCr15 轴承钢晶粒度的影响

刘靖¹ 张艳² 赵杰³ 席军良³

(北京科技大学, 1 材料科学与工程学院, 2 新金属材料国家重点实验室, 北京 100083;

3 石家庄钢铁有限责任公司, 石家庄 050031)

摘要 为实现奥氏体再结晶控制轧制, 根据石钢 30 t 转炉生产的 GCr15 轴承钢再结晶图, 结合现场 1 150 ~ 910 °C 14 道次轧制 Φ35 mm 圆钢的工艺制度, 通过 Gleeble 1500 热模拟试验机对 GCr15 连铸坯切取的试样进行 1 150 ~ 910 °C 6 道次的模拟试验。模拟试验结果表明, 通过累计变形量 82%, 试样的再结晶率达 91%, 晶粒度为 6 级。若提高 Φ530 mm 轧机的实际轧制的压下量, 使累计变形量由 52% 提高至 60%, 可使 Φ35 mm GCr15 轴承钢的晶粒进一步细化。

关键词 GCr15 轴承钢 再结晶 控制轧制 晶粒度

Influence of Hot Rolling Parameters on Grain Size of GCr15 Bearing Steel

Liu Jing¹, Zhang Yan², Zhao Jie³ and Xi Junliang³

(1 School of Science and Engineering; 2 State Key Laboratory for Advanced Metal and Materials, University of Science and Technology, Beijing 100083; 3 Shijiazhuang Iron and Steel Co Ltd, Shijiazhuang 050031)

Abstract In order to be carried out austenite recrystallization control rolling, based on recrystallization diagram of GCr15 bearing steel produced by a 30 t converter at Shijiazhuang Steel and combined actual technology of Φ35 mm round bar rolled by 14 pass at 1 150 ~ 910 °C at situ, the simulation test to samples cut from concasting billet of GCr15 bearing steel has been carried out by using Gleeble 1500 thermal simulation machine with 6 pass at 1 150 ~ 910 °C. Simulation test results showed that with accumulated deformation 82%, the grain size rating of samples was 6 with recrystallization ratio 91%. As increasing the percent reduction of Φ530 mm rolling mill to increase the accumulated deformation from 52% to 60%, the grain of Φ35 mm GCr15 bearing steel shall fine further.

Material Index GCr15 Bearing Steel, Recrystallization, Control Rolling, Grain Size

石钢的 GCr15 轴承钢生产工艺路线为: 30 t 转炉 → 连铸坯 (150 mm × 150 mm, 220 mm × 200 mm) → 推钢加热炉 → Φ530 mm × 1 半闭口轧机 → 热剪分段 → Φ400 mm × 3 轧机 → 推钢式冷床 → 冷剪定尺剪切 → 包装、标识、称重 → 钢材缓冷 → 理化检验。

为使轴承钢生产稳定, 提高产品质量, 通过对石钢现有工艺的模拟研究, 摸索出较为合理的轴承钢轧制的工艺制度, 以满足不同用户要求。

1 石钢 GCr15 轴承钢再结晶规律图

试验用钢取自转炉生产的 150 方连铸坯断面的 1/4 处, 试样成分见表 1。根据试验变形量为 10% ~ 80% 的要求, 将试样加工成阶梯型试样。在不同温度下, 对试样进行轧制, 将变形后的试样立即淬水, 沿轴

表 1 GCr15 轴承钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of GCr15 bearing steel /%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
0.99	0.23	0.28	0.013	0.005	1.44	0.02	0.03

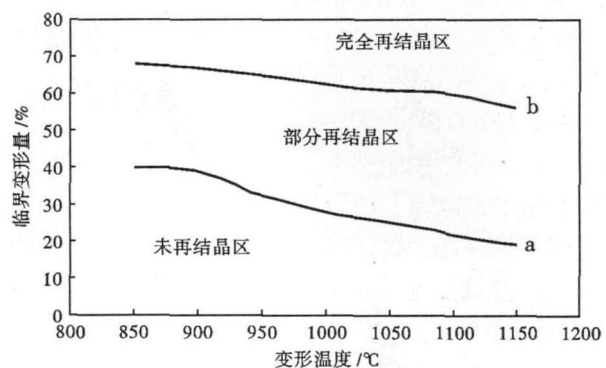


图 1 GCr15 轴承钢再结晶图

Fig. 1 Recrystallization diagram of GCr15 bearing steel

向纵向剖开, 经过研磨、侵蚀后观察不同变形量下的再结晶情况^[1]。图 1 为 GCr15 轴承钢再结晶图^[2]。

2 模拟轧制研究

2.1 试验方案

试验用钢采用石钢 30 t 转炉冶炼的 GCr15 连铸坯, 在其断面 1/4 处, 线切割加工成 Φ8 mm × 15

表 2 石钢生产的 $\Phi 35$ mm GCr15 轴承钢压下量、变形速率与轧制温度参数Table 2 Process parameters of reduction, deformation rate and rolling temperature for $\Phi 35$ mm GCr15 bearing steel produced at Shijiazhuang Steel

道次	压下量/ mm	变形速率/ s^{-1}	轧制温度/ $^{\circ}C$		
			下限	中限	上限
1	28.0	5.23	1 131	1 153	1 181
2	22.7	6.03	1 127	1 150	1 176
3	25.9	4.95	1 124	1 149	1 174
4	23.5	5.57	1 090	1 116	1 150
5	24.6	6.99	1 078	1 114	1 132
6	22.7	8.57	1 069	1 110	1 125
7	48.1	7.43	1 068	1 101	1 119
8	17.9	7.30	1 067	1 096	1 110
9	14.5	7.27	1 037	1 087	1 100
K5	14.8	8.90	1 008	1 031	1 059
K4	14.2	12.92	975	991	1 011
K3	18.1	8.85	973	989	1 003
K2	19.3	15.78	936	957	982
K1	12.4	11.47	874	908	944

mm 圆柱形试样和 $\Phi 10$ mm \times 85 mm 哑铃试样两种,用于不同变形量的要求。现场生产 $\Phi 35$ mm 轴承钢的工艺制度见表 2。

表 3 为 Gleebe 1500 试验机模拟工艺方案,其中 1 道对应实际轧制工艺的 2 道;2 道对应实际轧制工艺的 7 道;3 道对应实际轧制工艺的 K5 孔;4 道对应实际轧制工艺的 K4 孔;5 道对应实际轧制工艺的 K2 孔;6 道对应实际轧制工艺的 K1 孔。

表 3 模拟试验工艺方案
Table 3 Process scheme of simulation test

道次	压下量/ mm	累计变形量/ %	变形速率/ s^{-1}	轧制温度/ $^{\circ}C$
1	2.7	18.00	6.03	1 150
2	3.7	42.67	7.43	1 100
3	1.4	52.00	8.90	1 030
4	2.0	65.33	12.92	990
5	1.7	76.67	15.78	960
6	0.8	82.00	11.47	910

2.2 试验结果及分析

按 GB/T6394-2002,对试样进行晶粒度测量和计算,计算公式为^[3]:

$$G = \left[-6.643 856 \times \lg\left(\frac{1}{p}\right) \right] - 3.288 \quad (1)$$

式中:G- 平均晶粒度级别数;p- 试样检验面上每毫米内的平均截点数。测量计算结果见表 4。

由表 4 可见,1 道次变形后,晶粒比较粗大,有大量未再结晶晶粒,晶粒度为 4.3 级。由再结晶全图可知,1 150 $^{\circ}C$ 下变形量 18% 时,再结晶百分数为 10% 左右。

表 4 各道次模拟轧制后 GCr15 轴承钢试样的晶粒度
Table 4 Grain sizes of samples of GCr15 bearing steel after each pass of simulation rolling

变形道次	截点数					晶粒度级别
	11.5	15	14.5	14.5	15	
1	11.5	15	14.5	14.5	15	4.3
2	17.5	19	16	18.5	17	5.0
3	21	25	19	24	14	5.4
4	22	21	24	24	20	5.7
5	23	27	25	23	20	5.8
6	29	29	23	25	25	6.1

2 道和 3 道次变形后,奥氏体再结晶明显增多,晶粒度为 5.0 级和 5.4 级。由再结晶全图可知,1 100 $^{\circ}C$ 下累计变形量 42.67% 时,再结晶百分数为 40% 左右;1 030 $^{\circ}C$ 下累计变形量 52.00% 时,再结晶百分数为 48% 左右。处于部分再结晶区。

随着轧制道次的增加,奥氏体再结晶数量随累计变形量的增加而逐渐增加,晶粒度分别为 5.7 级、5.8 级和 6.1 级。由再结晶全图可知,在此温度范围和变形量下,再结晶百分数分别为 82%、89% 和 91%,为再结晶区。

可见,在现有轧制工艺条件下,到 K4 孔以后可以实现完全再结晶。到成品孔时晶粒已比较均匀,奥氏体晶粒度级别可达到 6 级。结合再结晶全图分析,在模拟轧制的 3 道次实现完全再结晶是有可能的,因为在 1 030 $^{\circ}C$ 下,累计变形量由 52.00% 提高到 60% 左右时,根据再结晶全图,再结晶百分数可由 48% 左右提高到 80% 左右,即将进入完全再结晶区。模拟轧制的 3 道次对应现场的生产工艺的 9 道次或 K5 孔,所以应增加 $\Phi 530$ mm 轧机的变形量,使到第 9 孔的累计变形量达到 60%。可使轴承钢的晶粒度级别进一步提高。

3 结论

石钢二轧厂在现有的温度制度下,提高 $\Phi 530$ mm 轧机的压下量,由现在的累计变形量 52% 提高到 60%,可使轴承钢的晶粒度在 6 级以上。

参考文献

- 1 宋维锡. 金属学. 北京:冶金工业出版社,1980
- 2 赵杰. GCr15 钢轧制、冷却制度与组织关系研究:[硕士学位论文]. 北京:北京科技大学,2007
- 3 中华人民共和国国家标准 GB/T6394-2002:金属平均晶粒度测定方法. 北京:中国标准出版社,2003

刘靖(1965-),女,博士,副教授,轧制过程组织性能和复合板轧制研究。