

改善 GCr15 轴承钢小型棒材低倍质量的连轧工艺实践

付俊薇¹ 赵杰² 刘建培² 周建英²

(1 河北工业职业技术学院, 石家庄 050091; 2 河北钢铁集团石家庄钢铁有限责任公司, 石家庄 050031)

摘要 通过降低轧制速度, 增加粗轧道次压下量特别是后几道次的压下量, 使 GCr15 轴承钢 150 mm × 150 mm 铸坯连轧成 Φ30 ~ 45 mm 材的低倍质量明显提高, 缩孔出现率由改善轧制工艺前的 26% ~ 46% 降至 0, 超声波探伤合格率 100%, 一般疏松级别 0 ~ 1, 中心疏松级别 1 ~ 1.5。

关键词 GCr15 轴承钢 棒材连轧 缩孔残余 道次压下量 工艺改善

Practice of Continuous Rolling Process to Improve Macrostructure of Small Size Bar Products of Bearing Steel GCr15

Fu Junwei¹, Zhao Jie², Liu Jianpei² and Zhou Jianying²

(1 Hebei Industrial Vocational and Technical College, Shijiazhuang 050091;
2 Shijiazhuang Iron and Steel Co Ltd, Hebei Iron and Steel Group, Shijiazhuang 050031)

Abstract With decreasing rolling speed, increasing reduction in rough rolling passes especially in last passes, the quality of macrostructure of continuous rolling Φ30 ~ 45 mm round products of bearing steel GCr15 rolled from 150 mm × 150 mm casting billet increases obviously i. e. occurred ratio of residual shrinkage hole decreases to 0 from 26% ~ 46% before improvement of rolling process, qualified ratio of ultrasonic detection is 100%, rating of general porosity is 0 ~ 1 and rating of center porosity is 1 ~ 1.5.

Material Index Bearing Steel GCr15, Continuous Rolling for Bar Products, Residual Shrinkage Hole, Reduction in Pass, Process Improvement

石钢公司小型棒材连轧线自 2003 年开始生产 GCr15 轴承钢棒材, 其低倍质量一直不高, 随着规格增大低倍质量逐渐降低, 尤其 Φ25 mm 以上规格缩孔残余发生比例将近 30%, 这种质量状况严重制约了石钢小规格 GCr15 轴承钢的生产。

为解决此问题, 从铸坯凝固过程到轧钢变形过程进行了分析, 并对轧钢工艺进行了多次调整优化, 最终解决了生产 GCr15 轴承钢棒材的缩孔残余问题, 低倍质量得到明显提高。

1 工艺概况

石钢小型棒材连轧线所用原料为转炉厂提供的 150 mm × 150 mm × 12 000 mm 连铸坯, 主要钢种为优质碳结钢、低合金钢、弹簧钢、合金结构钢和轴承钢等。产品为热轧圆钢, 规格范围: Φ13.2 ~ 57 mm, 产品定尺长度 6 ~ 12 m, 设计生产能力 60 万 t/a。轧机产量为 150 t/h, 最大终轧速度为 18 m/s。全线 22 架轧机, 其中粗轧机组、中轧机组、精轧机组各 6 架以及 4 机架减定径机组, 全部平-立交替布置, 其中精轧机组 3 架立辊轧机为平/立可转换轧机。各架轧机均由交流电机单独驱动。轧件在第 1 ~ 10 机架采用微张力轧制, 在第 10 ~ 20 机架设有活套, 采

用无张力轧制。

2 质量分析

GCr15 轴承钢棒材上的缩孔残余是连铸坯中心缩孔在轧制之后的残余, 它严重影响钢材性能, 是不允许存在的。

中心缩孔的形成是由于铸坯在凝固过程中, 液相转变为固相时发生的体积收缩以及铸坯向外传热使铸坯中心已凝固部位继续冷却产生的体积收缩不能被钢液补充所引起^[1]。由于 GCr15 轴承钢水液相线和固相线温度相差相对较大, 使其在冷却过程中的线收缩要大于一般低碳钢, 因此 GCr15 轴承钢铸坯更易产生中心缩孔。

一般来说, 连铸坯的中心缩孔通过轧制工序的压缩变形, 是可以得到改善和压合的。该生产线连铸坯断面为 150 mm × 150 mm, 生产 Φ30 mm 的 GCr15 圆钢, 压缩比达到 31.8, 从总变形量看是可以压合缩孔的。但成品钢材缩孔残余的存在说明轧制深透性不够, 轧件芯部的金属流动性不足, 没有足够的变形来愈合铸坯的缩孔。

石钢 GCr15 轴承钢的化学成分见表 1。

表1 GCr15 轴承钢化学成分/%
Table 1 Chemical composition of bearing steel GCr15 /%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	O
0.95 ~ 1.05	0.15 ~ 0.35	0.25 ~ 0.45	≤0.025	≤0.025	1.40 ~ 1.65	≤0.30	≤0.25	≤0.10	≤0.001 2

棒材轧制是轧件受到孔型的挤压及摩擦的综合作用,发生复杂的弹塑性变形,棒材的轧制过程属于大变形的金属塑性成形问题^[2]。

从轧制理论可知,影响轧制过程的因素一般分为两类:

(1)影响轧件金属本身性能的因素:化学成分、组织状态及热力学条件,即变形温度、变形速度、变形程度;

(2)影响应力状态条件的因素^[3]。

轧制变形的深透性和轧制速度、道次压下量、轧件温度、摩擦系数是相关的:

(1)压下量对棒材芯部的压实作用影响很大,随着压下量的增加,芯部的变形程度也会增加;

(2)棒材芯部宽展和压下方向上棒材芯部相对密度随摩擦系数的增加而增大,因此粗轧道次应加大摩擦系数来改善芯部质量;

(3)当轧件表面温度高于芯部温度时,金属变形主要集中在轧件表面,对芯部孔隙性缺陷压合作用较弱。在终轧温度允许的范围内应降低棒材表面温度,表面芯部温度梯度越大,越有利于轧制力向芯部渗透,利于芯部孔隙性缺陷的压合;

(4)当轧辊角速度在 0.5 rad/s 左右时,棒材芯部质量改善最为理想^[4]。

基于用户对 GCr15 轴承钢棒材表面质量要求很高,通过轧辊刻槽等来增加摩擦系数的做法要影响到钢材的表面质量,此方案不宜施行。另外,由于 GCr15 轴承钢必须采用高温扩散来消除碳化物液析

及带状,所以也不宜采用降温轧制。所以,为增加 GCr15 轴承钢变形的深透性,应该从提高压下量和降低轧速两方面着手。

3 轧制工艺调整方案

3.1 加热

由于 GCr15 轴承钢对碳化物不均匀性要求很高,为消除液析等缺陷,必须提高加热温度进行高温扩散,150 mm 方坯加热时间实际控制在 2 h 以上,加热段实际控制加热温度在 1 200 °C,所以钢坯的断面温差较小,芯部和表面温差实测 ≤ 20 °C。并且 GCr15 轴承钢本身的塑性在热轧区间受温度的影响很小,基于 GCr15 轴承钢对加热质量要求很高,本次工艺调整过程中不调整加热制度。

3.2 轧制

为减少对整个工艺系统的影响,本次工艺调整只调整粗轧工艺,中轧及精轧系统不作调整。主要从以下几个方面调整,来达到增加粗轧道次的变形深透性:

(1)降低轧制速度,从而降低变形速率,增加轧制深透性;

(2)调整粗轧区的压下规程,增大道次压下量,尤其后几道次的压下率增加较多,使铸坯的中心缩孔得以压合。

粗轧调整前后的轧制工艺比较见表 2。

4 工艺实践

在生产 GCr15 轴承钢时,按调整后的粗轧工艺,

表2 GCr15 轴承钢粗轧调整前后的轧制工艺参数比较

Table 2 Comparison between rolling process parameters for bearing steel GCr15 before and after adjustment of rough rolling passes

工艺	轧机	断面积/mm ²	辊缝/mm	压下量/mm	压下率/%	轧制速度/(m·s ⁻¹)	延伸系数
调整前	1H	17 571.4	30	40	26.7	0.35	1.305
	2V	12 777.2	30	57	35.0	0.48	1.375
	3H	10 125.4	22	39	31.7	0.61	1.262
	4V	7 985.0	19	39	31.7	0.77	1.268
	5H	5 543.4	15	38	39.2	1.11	1.440
	6V	4 071.5	12	37	33.9	1.51	1.361
调整后	1H	16 893.2	22	48	32.0	0.16	1.357
	2V	12 936.0	24	69	40.8	0.21	1.306
	3H	10 160.6	19	51	38.6	0.27	1.273
	4V	7 996.8	15	48	37.5	0.35	1.271
	5H	5 196.1	9	49	48.0	0.53	1.539
	6V	3 631.7	8	46	40.4	0.76	1.431

注:铸坯断面:150 mm × 150 mm × 12 000 mm

表 3 轧制工艺调整前后 GCr15 轴承钢轧材低倍高倍检验结果对比
Table 3 Comparison between examination results of micro- and macro-structure of rolled products of bearing steel GCr15 before and after adjustment of rolling process

工艺	直径/ mm	缩孔出 现率/%	检验结果/级					脱碳层/ mm
			碳化物 带状	碳化物 液析	一般 疏松	中心 疏松	显微 孔隙	
调整前	35	26	1~2	0	0~0.5	0.5~1.5	无	0.12~0.18
	40	37	1~2	0	0~0.5	1~1.5	无	0.13~0.17
	45	46	1.5~2	0	0	1~1.5	无	0.15~0.19
调整后	35	0	1.5~2	0	0.5	1	无	0.13~0.16
	40	0	1.5	0	0~0.5	1	无	0.15~0.16
	45	0	1.5~2	0	0.5	1~1.5	无	0.17~0.18

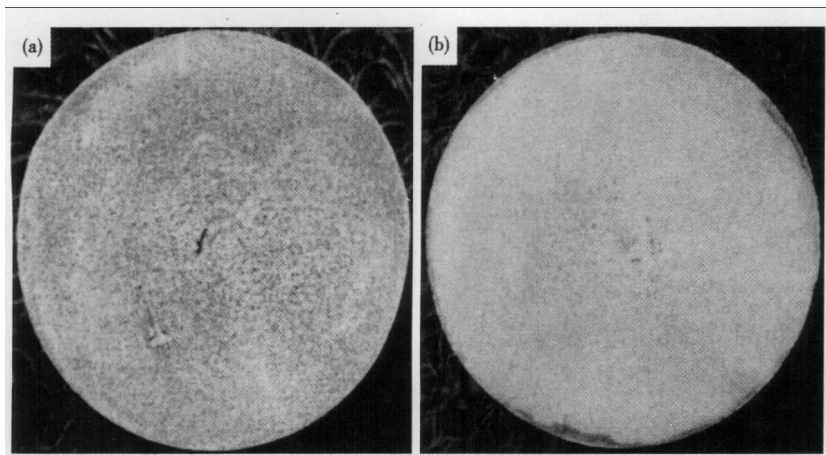


图 1 GCr15 轴承钢轧制工艺改善前 Φ30 mm (a) 和改善后 Φ45 mm (b) 连轧材的低倍形貌

Fig. 1 Macrostructure of continuous rolled products Φ30 mm round bar before rolling process improvement (a) and Φ45 mm round bar after rolling process improvement (b), bearing steel GCr15

表 4 轧制工艺调整前后 GCr15 轴承钢轧材在线超声波探伤结果对比

Table 4 Comparison between in-line ultrasonic detection results of rolled products of bearing steel GCr15 before and after adjustment of rolling process

工艺	直径/ mm	纵波探伤标准 (长横孔)/ (mm × mm)	探伤棒 材/支	残余缩孔 不合格/ 支	合格率/ %
调整前	35	0.8 × 25	3 256	623	80.87
	40	0.8 × 25	2 150	712	66.88
	45	0.8 × 25	659	356	45.99
调整后	35	0.8 × 25	1 955	1	99.99
	40	0.8 × 25	1 483	0	100
	45	0.8 × 25	1 291	0	100

首先试轧了直径 35、40、45 mm 几个规格, 钢材按 GB/T18254-2002 标准进行低倍、高倍检验, 各检验

项目均合格, 均未发现缩孔残余缺陷, 其主要项目工艺调整前后的检验结果见表 3。

为了全面验证钢材的质量, 除对轧材按 GB/T1825-2002 标准要求检验高、低倍项目外, 试验轧材全部进行连续 UT 探伤, 检验缩孔残余缺陷情况, 探伤标准执行 Φ0.8 mm × 25 mm (长横孔), 探伤合格率接近 100%, 工艺调整前后的探伤结果见表 4。

工艺调整前 Φ30 mm 圆钢有明显的缩孔残余(图 1a), 工艺调整后的 Φ45 mm 圆钢未出现缩孔残余(图 1b)。

5 结语

GCr15 轴承钢轧制工艺优化实施后, 该小型棒材连轧经过半年的生产运行, GCr15 轴承钢 ≥ Φ20 mm 规格棒材的缩孔残余出现率由 30% 降至 0, 并且 150 mm × 150 mm 铸坯轧制 GCr15 轴承钢的最大规格由 Φ30 mm 也扩大到 Φ45 mm, GCr15 轴承钢的低倍缩孔残余问题得到了彻底解决。

参考文献

- 1 张克强, 齐振亚, 王长栓, 等. 高碳钢方坯连铸中心缩孔去除. 钢铁, 2004, 39(1): 27
- 2 白桦, 孟宪举, 陈连生, 等. 基于 DEFORM 的棒材热轧过程的数值模拟及缺陷分析. 轧钢, 2008, 25(3): 28
- 3 赵志业. 金属塑性变形及轧制理论. 北京: 冶金工业出版社, 1980
- 4 黄永建, 刘才, 李会林. 影响棒材轧制芯部质量的因素. 中国钢铁业, 2009, 7(5): 17

付俊薇(1964-), 女, 副院长, 教授, 1988 年唐山工程技术学院毕业, 冶金工艺研究。

收稿日期: 2010-04-15