

## 淬回火工艺对弹簧钢 60Si2CrVAT 力学性能的影响

李 英 聂爱诚 吴小林 赵 晗  
(江阴兴澄特种钢铁有限公司, 江阴 214429)

**摘 要** 兴澄特钢采用 100 t EBT EAF-LF(VD)-300 mm × 320 mm 方坯连铸工艺生产平均成分(%)为: 0.57C, 1.65Si, 1.04Cr, 0.13V 的 Φ18 mm 高强度弹簧钢 60Si2CrVAT。成品钢材 S+P 含量 ≤ 200 × 10<sup>-6</sup>, 平均氧含量 ≤ 12 × 10<sup>-6</sup>。因在 900 °C 以下 V 的碳氮化物不能完全溶解, 热处理试验得出, 采用 910 °C 60 min 淬火、410 °C 90 min 回火, 钢的抗拉强度为 1 950 ~ 1 970 MPa, 延伸率为 9% ~ 12%。

**关键词** 弹簧钢 60Si2CrVAT 淬火 回火 力学性能

## Effect of Quenching and Tempering Process on Mechanical Properties of Spring Steel 60Si2CrVAT

Li Ying, Nie Aicheng, Wu Xiaolin and Zhao Han  
(Xingcheng Special Iron and Steel Co Ltd, Jiangyin 214429)

**Abstract** The Φ18 mm high strength spring steel 60Si2CrVAT (0.57C, 1.65Si, 1.04Cr, 0.13V) was produced by 100 t EBT EAF - LF(VD) - 300 mm × 320 mm billet casting process at Xingcheng Special Steel. The S + P content in finished steel was ≤ 200 × 10<sup>-6</sup> and average oxygen content ≤ 12 × 10<sup>-6</sup>. Because the V carbon-nitride couldn't be dissolved completely below 900 °C, the heat treatment test was carried out to obtain that the tensile strength was 1 950 ~ 1 970 MPa and elongation was 9% ~ 12% by quenched at 910 °C for 60 min and tempered at 410 °C for 90 min.

**Material Index** Spring Steel 60Si2CrVAT, Quenching, Tempering, Mechanical Properties

我国铁路车辆的提速, 要求进一步延长车辆用弹簧钢的疲劳寿命, 提高弹簧的静挠度, 以确保铁路运输的高效和安全。预计今后几年, 国家将投入 20 多亿元对现有的铁路进行更新改造, 弹簧钢需求量在 5 万 t 以上, 并且要求弹簧在尺寸规格不变的情况下, 设计应力能达到 1 100 MPa, 疲劳寿命由原来的 100 万次提高到 200 万次甚至 300 万次以上<sup>[1]</sup>。

兴澄公司采用 100 t EBT + 100 t LF + 100 t VD + R12 m 大方坯连铸(300 mm × 320 mm)工艺生产 60Si2CrVAT 铁路提速弹簧钢, 已成功地批量生产出了疲劳寿命达 300 万次的铁路车辆用弹簧, 其主要技术要求见表 1。但还存在个别炉号性能不

能完全达到铁标的要求, 为此通过对其拉伸断口、化学成分进行了分析, 并采用正交试验的方法找出了最佳的热处理制度。

表 1 为铁路提速用弹簧钢 60Si2CrVAT 与普通质量弹簧钢主要技术要求的对照。

### 1 生产 60Si2CrVAT 钢的主要工艺措施和冶金质量

兴澄特钢生产高强度弹簧钢 60Si2CrVAT 的主要工艺措施为:

(1) 采取有效措施控制钢中有害杂质元素(如铅、锌、砷、铋及其他低熔点金属), 强化脱磷和脱硫工艺操作, 使硫、磷含量达到特优级钢标

表 1 弹簧钢 60Si2CrVAT 和 60Si2CrVA 技术要求  
Table 1 Technical requirements for spring steel 60Si2CrVAT and 60Si2CrVA

钢种	S/%	P/%	[O]/10 <sup>-6</sup>	非金属夹杂物/级	一般疏松、中心疏松、偏析/级	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	延伸率(δ <sub>5</sub> )/%	断面收缩率/%
60Si2CrVAT	≤0.020	≤0.020	≤13	A、B≤1.5, C、D≤1.0	≤1.0	≥1 900	≥1 700	≥9	≥30
60Si2CrVA	≤0.030	≤0.030	无要求	无要求	≤2.5	≥1 860	≥1 665	≥5	≥20

准,采用真空脱气处理使弹簧钢氧含量达到  $10 \times 10^{-6}$  以下。

(2) 优化成分并进行了微合金处理。降碳提锰,内控碳在中下限,锰、铬在中上限,以提高弹簧钢的韧性。同时采用计算机成分微调技术,保证了上述有效成分目标命中率。

(3) 采取了夹杂物控制技术:①采用 LF 精炼和 VD 真空脱气处理,使非金属夹杂物充分上浮;②选择专用的精炼渣和中间包保护渣充分吸附夹杂物;③采用夹杂物变性处理。

(4) 控制连铸坯的碳偏析:①控制钢水的过热度;②采用合适的二冷配水;③组合式电磁搅拌。

实施所制定的高纯净弹簧钢生产工艺后,取得了预期的冶金效果:成品钢材 S + P 含量  $< 200 \times 10^{-6}$ , 气体含量平均氧  $< 12 \times 10^{-6}$ 、氢  $< 1.2 \times 10^{-6}$ , 非金属夹杂物 A、B 类均  $\leq 1.5$  级, C、D 类均  $\leq 1.0$  级。

对兴澄公司 2 年生产的 60Si2CrVAT 钢材的性能进行统计分析,小规格( $\Phi 18$  mm 以下)一次检验合格率达到 98.32%;而大规格( $\Phi 18$  mm 以上)一次检验合格率达到 91.87%。说明轧制规格(压缩比)对钢材的性能有一定的影响。

## 2 淬、回火试验工艺

六因素四水平的正交试验试样,取自  $\Phi 18$  mm 的 60Si2CrVAT 棒材,共取 10 个炉号的试料。按 GB/T2975-1988 要求,加工成标准力学性能试样。10 炉的元素化学成分含量差别很小,其平均值如表 2 所示。

表 2 正交试验 60Si2CrVAT 弹簧钢化学成分平均值,10 炉/%

Table 2 Average chemical composition of spring steel 60Si2CrVAT of orthogonal test, 10 heats /%

C	Si	Mn	P	S	Cr	V
0.57	1.65	0.60	0.010	0.006	1.04	0.13

根据 GB/T1222-1984 的规定,60Si2CrVAT 的淬火温度范围为  $(850 \pm 20)^\circ\text{C}$ , 回火温度为  $(410 \pm 50)^\circ\text{C}$ , 但由于钢中含有微合金化元素 V, 其碳氮化物在  $900^\circ\text{C}$  以下较难溶解<sup>[2]</sup>, 因此在试验时选取淬火温度  $870 \sim 910^\circ\text{C}$ , 保温 60 min, 油淬, 回火温度  $400 \sim 420^\circ\text{C}$ , 保温 90 min, 水冷, 试样为 8 mm

的比例试样。

## 3 试验结果

其拉伸性能平均结果见表 3。由表 3 可以看出:在相同的保温时间和淬火介质情况下,最佳的淬火温度为  $910^\circ\text{C}$ , 回火温度为  $410^\circ\text{C}$  时,其钢材的塑性和抗拉强度最优化。

表 3 淬回火温度对 60Si2CrVAT 弹簧钢机械性能的影响  
Table 3 Effect of quenching and tempering temperature on mechanical properties of spring steel 60Si2CrVAT

淬火温度/ $^\circ\text{C}$	回火温度/ $^\circ\text{C}$	抗拉强度/ MPa	延伸率 A/ %	断面收缩 率 Z/%
870	400	1 870	8.0	37.0
		1 900	9.0	36.5
	410	1 800	7.0	36.0
		1 780	8.0	36.0
	420	1 570	9.0	38.5
		1 600	10.0	34.5
890	400	1 870	9.0	39.5
		1 850	9.0	39.5
	410	1 850	10.5	39.0
		1 810	8.5	35.0
	420	1 790	10.0	40.5
		1 790	10.0	36.5
910	400	1 990	8.0	27.5
		1 960	8.0	35.5
	410	1 950	12.0	38.0
		1 970	9.0	33.5
	420	1 860	10.5	38.5
		1 850	9.0	40.0

试制的长寿命高性能弹簧钢经加工成 K2、K4 弹簧进行疲劳试验表明,达到了铁路提速车辆的 500 万次疲劳寿命要求。

## 4 结论

通过正交试验可以得出 60Si2CrVAT 最佳淬火温度为  $910^\circ\text{C}$ , 60 min, 油淬, 回火温度为  $410^\circ\text{C}$ , 90 min, 水冷, 其钢材的性能最优。

国家 863 项目基金资助(编号 2003AA331180)

### 参考文献

- 徐德祥, 尹钟大. 高强度弹簧钢的发展现状和趋势. 钢铁, 2004, 39(1): 68
- 高惠菊, 刘攀, 艾家和, 等. 新一代高性能合金弹簧钢的开发与应用. 钢铁, 2004, 39(10): 69

李英(1970-), 女, 工程师, 材料工程硕士, 从事弹簧钢材料方面的科研工作。

收稿日期: 2006-03-22