

60Si2CrVAT 弹簧钢的生产实践

张春红¹, 黄平惠², 田巧丽¹

(1. 贵阳特殊钢有限责任公司技术中心, 贵州 贵阳 550005; 2. 贵州师范大学, 贵州 贵阳 550001)

摘 要:采用 30 t EBT 电弧炉—30 t LF(VD)钢包精炼炉—浇注 700 kg 铸锭的工艺, 生产 60Si2CrVAT 弹簧钢, 经 $\phi 650$ mm 半连轧机组开坯、高精度圆钢半连轧机轧制成 $\phi 13\sim\phi 28$ mm; 无芯磨床磨光, $Ra\leq 3.2\ \mu\text{m}$ 。检验结果表明, 钢中 $w(\text{O})\leq 13\times 10^{-6}$, $w(\text{H})\leq 1.3\times 10^{-6}$, A, B 类细系夹杂 ≤ 1.0 级, 其制品的抗疲劳寿命超过 300 万次。

关键词:60Si2CrVAT 弹簧钢; 冶炼; 轧制; 力学性能

中图分类号:TG142.75 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-9356(1006)07-0013-03

Production Practice of Spring Steel 60Si2CrVAT

ZHANG Chun-hong¹, HUANG Ping-hui², TIAN Qiao-li¹

(1. Technical center of Guiyang Special Steel Co., Ltd., Guiyang 550005, Guizhou, China;
2. Guizhou Normal University, Guiyang 550001, Guizhou, China)

Abstract: Spring steel 60Si2CrVAT is produced in Guigang by 30 t EBT arc furnace-30 t LF(VD) ladle furnace-700 kg ingot casting process. The ingot is bloomed by 650 mm semi-continuous rolling mill, sequenly rolled to $\phi 13\sim\phi 28$ mm by high-quality round bar semi-continuous rolling mill and polished to $Ra\leq 3.2\ \mu\text{m}$ by centerless ground machine. Test results show that the oxide content is $<13\times 10^{-6}$ and the hydrogen content $<1.3\times 10^{-6}$, A, B thin series rating of inclusions ≤ 1.0 . The fatigue life of the products is over three million times.

Key words: spring steel 60Si2CrVAT; melting; rolling; mechanical property

60Si2CrVAT 是根据铁道部货车提速要求设计的转 K2 等型号的转向架圆柱螺旋弹簧用高性能弹簧钢。转向架弹簧起着缓冲、减震、联接、支撑、传力等作用, 其长期在交变、冲击、突变的载荷作用下易出现疲劳破坏, 因此不但对其化学成分、力学性能、晶粒度、淬透性和非金属夹杂物等质量指标有严格的要求, 而且还要求其表面光滑、无缺陷、无脱碳、疲劳寿命不低于 300 万次。目前, 国内钢厂采用 EAF 电弧炉→LF/VD 精炼→浇注 2 t 方锭和 EAF 电弧炉→LF/VD 精炼→连铸大方坯生产 60Si2CrVA 钢的工艺已有报道, 其质量检测结果符合铁道部要求。

1 技术要求

与 GB1222—84 标准对比, 铁道部用 60Si2CrVAT 弹簧钢在化学成分、力学性能以及晶粒度、非金属夹杂等检验项目上均加严了要求, 具体对比结果见表 1。由于铁道部用 60Si2CrVAT 钢的要求较 GB1222—84 提高了很多, 且以上项目又是提

表 1 铁道部 60Si2CrVAT 弹簧钢要求与 GB1222—84 标准对比

Table 1 Requirements of spring steel 60Si2CrVAT from railway and GB1222—84

项目	GB1222—84 要求	铁道部要求
w(P)/%	≤ 0.030	≤ 0.015
w(S)/%	≤ 0.030	≤ 0.015
A/%	≥ 6	≥ 9
Z/%	≥ 20	≥ 30
晶粒度/级	5~8(协议项)	≥ 7
非金属夹杂	协议项	A, B ≤ 1.5 C, D ≤ 1.0
w(O)/ 10^{-6}	—	< 13
w(H)/ 10^{-6}	—	< 1.3

高钢材疲劳寿命的有效途径, 因此严格控制冶炼、加工和热处理的工艺是极其必要的。

2 工艺路线

采用炉外真空精炼可有效去除钢液中的气体、脱硫改善钢的性能、排除各类夹杂物、均匀化学成分和稳定钢材性能; 而增大压比可消除内部缺陷、改善

作者简介: 张春红(1971-), 女, 大学本科, 助理工程师; E-mail: ggiszx@126.com; 修订日期: 2006-04-17

钢的组织 and 细化晶粒。为了达到铁道部的要求,在工艺设计上不仅采用了钢包真空精炼,且采用 2 种锭型生产,以通过对比找出差别,确定质量好又经济的生产工艺:①30 t EBT 电弧炉(长春电炉厂)→30 t LF(VD)精炼炉(自制)→浇注 700 kg 方锭→ $\phi 650$ mm 轧机(华冶机械厂)开坯 130 mm×130 mm→ $\phi 500$ mm 轧机(意大利)轧材 $\phi 13\sim\phi 28$ mm→退火→冷拔→磨光→上交。②30 t EBT 电弧炉(长春电炉厂)→30 t LF(VD)精炼炉(自制)→浇注 2 t 方锭→5 t 空气锤(自制)开坯(150 mm×150 mm)→ $\phi 500$ mm 轧机(意大利)轧材 $\phi 13\sim\phi 28$ mm→退火→冷拔→磨光→上交。其中 700 kg 锭中间尺寸为 280 mm,2 t 锭中间尺寸为 440 mm,生产 $\phi 28$ mm 材,压比分别为 127 和 314。

2.1 冶炼工艺

碳能提高钢的强度;铬和锰可增强钢的淬透性以满足大截面弹簧的强度要求;硅能显著提高钢的屈服强度和疲劳强度;钒能细化奥氏体晶粒度,增加钢的强韧性,降低热处理时钢的脱碳敏感性。因此,有效控制钢的化学成分并使其均匀

化是十分重要的。

炼钢炉料由废钢、生铁组成,废钢占 70%~80%,生铁 20%~30%。氧化期钢液温度 $T_{gs}\geq 1540\text{ }^{\circ}\text{C}$,连续脱碳量 $\geq 0.20\%$,确保钢液沸腾良好,去气、去夹杂,氧化过程保证流动性良好的泡沫渣。用透气性良好的红包出钢,出钢至 3 t 以上开始向包中加入渣料(石灰石、精炼渣、AD 粉)。电弧炉出钢条件:钢水温度 $T_{gs}\geq 1660\text{ }^{\circ}\text{C}$,钢水中 $w(\text{P})\leq 0.008\%$ 、 $w(\text{S})\leq 0.050\%$ 。

LF(VD)精炼炉座包温度 $T_{zb}\geq 1560\text{ }^{\circ}\text{C}$,座包入 LF 工位,送电加热 15 min 以上,以碳化硅粉调渣,待炉渣变白且流动性良好时停电,取样全分析。进入真空前喂铝线和钛线,在 $T_{gs}\geq 1630\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时座包入 VD 工位抽真空,真空度 $\leq 67\text{ Pa}$,保持 15 min。

浇注过程采用氩封保护,氩气压力为 0.4~0.5 MPa;浇注温度 1520~1525 $^{\circ}\text{C}$;浇注速度:700 kg 方锭,锭身 $\geq 200\text{ s}$,补缩 $\geq 180\text{ s}$;2 t 方锭,锭身 $\geq 300\text{ s}$,补缩 $\geq 300\text{ s}$ 。2 炉 60Si2CrVAT 弹簧钢的化学成分见表 2。

表 2 60Si2CrVAT 弹簧钢化学成分

Table 2 Chemical composition of spring steel 60Si2CrVAT

炉号	锭型	$w(\text{C})$	$w(\text{Si})$	$w(\text{Mn})$	$w(\text{Cr})$	$w(\text{V})$	$w(\text{P})$	$w(\text{S})$	$w(\text{Ni})$	$w(\text{Cu})$
52264	2 t 方锭	0.63	1.66	0.55	1.07	0.13	0.014	0.004	0.04	0.09
52706	700 kg 锭	0.58	1.58	0.50	1.08	0.13	0.013	0.003	0.04	0.13

2.2 轧制工艺

终轧温度控制在 A_{c3} 附近,60Si2CrVAT 弹簧钢的 A_{c3} 为 780 $^{\circ}\text{C}$,生产中控制终轧温度 $T_{zz}=780\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 820\text{ }^{\circ}\text{C}$,开轧温度 $T_{kz}\geq 1060\text{ }^{\circ}\text{C}$,空冷,取样检验金相组织为珠光体+极少量小条状铁素体(图 1),晶粒度 7~8 级,且 2 种不同锭型的结果未见明显差异。

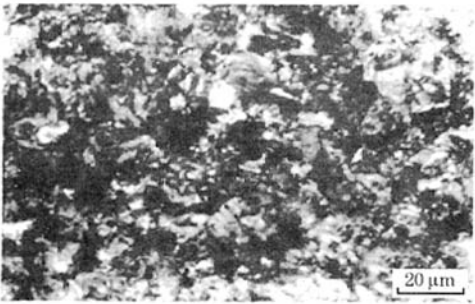


图 1 60Si2CrVAT 弹簧钢热轧状态显微组织

Fig.1 Microstructure of spring steel 60Si2CrVAT

万方数据 hot rolled

3 检验结果与分析

3.1 钢材非金属夹杂物及气体分析

$\phi 13\sim\phi 28$ mm 热轧材软化退火后无芯磨床磨光到 $\phi 12\sim\phi 26$ mm,表面光亮,无缺陷、无脱碳, $R_a=3.2\text{ }\mu\text{m}$ 。对退火材取样检验非金属夹杂物和钢材气体结果见表 3。采用 EBT 电弧炉初炼钢液,无渣出钢,非金属夹杂物级别低,经 LF(VD)精炼真空脱气,钢中 $w(\text{O})\leq 13\times 10^{-6}$, $w(\text{H})\leq 1.3\times 10^{-6}$ 。

3.2 力学性能分析

关于热处理工艺对 60Si2CrVA 弹簧钢力学性能的影响,国内已进行了广泛的研究^[1]。根据研究结果,分别用制定的 3 种不同热处理制度对圆钢进行热处理后,加工成拉伸试样(按照 GB1222—84 要求,试样直径 $\phi 14$ mm,标距 50 mm),在 WEW-600 型微机控制液压试验机上进行力学性能测试,实测结果见表 4。

从实测结果看出,870 $^{\circ}\text{C}/60\text{ min}$ 油淬+425 $^{\circ}\text{C}/$

60 min 回火,可得到 60Si2CrVAT 弹簧钢的最佳力学性能指标;但在相同的热处理制度下,1 支 $\phi 20$ mm 试样测试强度指标不合格。分析其原因是,60Si2CrVAT 弹簧钢材控轧组织为珠光体+极少量铁素体,钢材晶粒度为 7~8 级,这种组织和晶粒度

水平的热轧材在完全奥氏体化后速淬、回火,所得到的回火马氏体组织完全可达到标准要求的力学性能。可是,如果奥氏体化组织由于淬火不足而产生了马氏体+贝氏体+残余奥氏体的组织,就会出现钢材塑性指标良好而强度指标不合格的现象^[2]。

表 3 60Si2CrVAT 钢的非金属夹杂物及气体的检验结果
Table 3 Non-metallic inclusions and gas content in spring steel 60Si2CrVAT

炉号	A		B		C		D		气体质量分数/ 10^{-6}		
	细	粗	细	粗	细	粗	细	粗	w(H)	w(O)	w(N)
52706	1.0	0.5	1.0	0.5	0	0	0	0	1.2	11	48
52264	1.0	0.5	1.0	0.5	0	0	0	0	1.0	9	72

注:A 为硫化物,B 为氧化物,C 为硅酸盐,D 球状氧化物。

表 4 60Si2CrVAT 弹簧钢力学性能检验结果
Table 4 Mechanical properties of spring steel 60Si2CrVAT

炉号	规格/mm	力学性能				热处理工艺	
		R_{eL}/MPa	R_m/MPa	A/%	Z/%	淬火	回火
52706	$\phi 28$	1620,1680	1750,1820	脆断,10.0	脆断,37.0	870℃,60 min 油淬	420℃,60 min 空冷
	$\phi 28$	1785,1720	1965,1910	11.0,11.0	35.0,40.0	870℃,60 min 油淬	425℃,60 min 空冷
	$\phi 20$	1710,1730	1840,1860	12.0,12.0	38.0,40.0	870℃,60 min 油淬	425℃,60 min 空冷
	$\phi 20$	1780,1750	1910,1900	12.0,11.0	39.0,40.0	870℃,60 min 油淬	425℃,60 min 空冷
52264	$\phi 24$	1840,1860	1960,1990	10.0,10.0	38.0,36.0	870℃,60 min 油淬	425℃,60 min 空冷
	$\phi 24$	1740,1740	1920,1940	12.0,12.0	40.0,39.0	870℃,60 min 油淬	430℃,60 min 空冷

另外,60Si2CrVAT 属高强度钢,其对钢材表面质量要求很高,试样在磨削后表面光滑与否不容忽视。试样在拉伸过程中加载时受力均匀、慢匀速,也会真实地反映其力学性能指标。

试制的 60Si2CrVAT 弹簧钢材提供给铁道部某车辆厂加工成 K2 型提速弹簧后,经铁道部产品质量监督检验中心 4 方车检站检测,疲劳寿命达到了 300 万次以上。

3.3 成材率分析

用 700 kg 铸锭生产的磨光材,成材率为 69.4%,较 2 t 锭的成材率提高了 8%,在检验结果均达到要求条件下,用 700 kg 铸锭作原料更经济。

4 结 论

(1) 采用 EBT 电弧炉—LF(VD)精炼真空脱气

—700 kg 铸锭工艺冶炼 60Si2CrVAT 弹簧钢,其弹簧制品的疲劳寿命可达到 300 万次。

(2) 60Si2CrVAT 弹簧钢经 870℃,60 min 油淬+425℃,60 min 回火的热处理工艺,可获得满足要求的力学性能指标。

(3) 700 kg 铸锭的成材率高于 2 t 锭,可获得显著的经济效益。

参考文献:

[1] 高惠菊,沈永香,郭素娟,等.热处理工艺对弹簧钢 60Si2CrVAT 力学性能的影响[J].辽宁特钢,2004,(2):7-11.
[2] 周民俊,王君海,胡兴彤.第二轧钢厂生产的合金弹簧钢 60Si2CrA、60Si2CrVA 棒材力学性能不合格原因分析[J].大连特钢,2000,(1):14-16.

作者: [张春红](#), [黄平惠](#), [田巧丽](#), [ZHANG Chun-hong](#), [HUANG Ping-hui](#), [TIAN Qiao-li](#)
作者单位: [张春红, 田巧丽, ZHANG Chun-hong, TIAN Qiao-li \(贵阳特殊钢有限责任公司技术中心, 贵州, 贵阳, 550005\)](#), [黄平惠, HUANG Ping-hui \(贵州师范大学, 贵州, 贵阳, 550001\)](#)
刊名: [中国冶金](#)
英文刊名: [CHINA METALLURGY](#)
年, 卷(期): 2006, 16(7)
被引用次数: 4次

参考文献(2条)

1. [周民俊; 王君海; 胡兴彤](#) [第二轧钢厂生产的合金弹簧钢60Si2CrA、60Si2CrVA棒材力学性能不合原因分析](#) 2000(01)
2. [高惠菊; 沈永香; 郭素娟](#) [热处理工艺对弹簧钢60Si2CrVAT力学性能的影响](#) 2004(02)

本文读者也读过(10条)

1. [杨顺虎. 肖波. 乔湘丽. YANG Shun-hu. XIAO Bo. QIAO Xiang-li](#) [热处理工艺对60Si2CrVAT力学性能的影响](#)[期刊论文]-[冶金标准化与质量](#)2008, 46(4)
2. [韩伟旗. 张素萍. 郑永瑞. 薛正学. 戴永刚. HAN Wei-qi. ZHANG Su-ping. ZHENG Yong-rui. XUE Zheng-xue. DAI Yong-gang](#) [轿车悬架簧用弹簧钢线材的生产实践](#)[期刊论文]-[金属制品](#)2009, 35(5)
3. [丛洁](#) [热处理工艺对铁路提速弹簧60Si2CrVAT力学性能的影响](#)[会议论文]-2007
4. [周丹. 吴晓东. 张仰东. 谈盛康. 徐萌. ZHOU Dan. WU Xiao-dong. ZHANG Yang-dong. TAN Sheng-kang. XU Meng](#) [60Si2CrVAT弹簧钢的氧含量控制](#)[期刊论文]-[钢铁研究](#)2009, 37(6)
5. [谢文新. 沈建军](#) [60Si2CrVAT弹簧钢EAF-LF\(VD\)-CC工艺实践](#)[期刊论文]-[特殊钢](#)2003, 24(3)
6. [李家征. 祁立国. 王宏斌. 刘占玲. 张志强. 刘永军. LI Jia-zheng. QI Li-guo. WANG Hong-bin. LIU Zhan-ling. ZHANG Zhi-qiang. LIU Yong-jun](#) [BOF+LF+CC\(EMS\)生产65Mn的工艺实践](#)[期刊论文]-[河北冶金](#)2007(1)
7. [刘丽华. 肖同友. 霍松波. 乐可襄. 黄贞益](#) [用UHP-LF/VD-CC工艺流程生产弹簧钢的质量控制](#)[期刊论文]-[炼钢](#)2003, 19(6)
8. [孙行琴. 吴炜](#) [转K2铁路弹簧钢工艺技术研究](#)[期刊论文]-[江苏冶金](#)2008, 36(1)
9. [张仕广. 张剑锋. 李红星. ZHANG Shi-guang. ZHANG Jian-feng. LI Hong-xing](#) [60Si2CrVA圆钢硬度超标问题的解决措施](#)[期刊论文]-[轧钢](#)2005, 22(5)
10. [林涛. 张兴春. 王磊英. 姚忠. 齐治畔](#) [60 t Consteele电弧炉-60 t LF\(VD\)冶炼60Si2CrVAT弹簧钢的工艺实践](#)[期刊论文]-[特殊钢](#)2004, 25(6)

引证文献(4条)

1. [付成辉. 马凤杰](#) [脱碳深度对60Si2CrVAT弹簧钢疲劳性能的影响](#)[期刊论文]-[重庆科技学院学报: 自然科学版](#) 2011(6)
2. [吴晓东. 谈盛康. 王忠英. 孙光涛. 肖波](#) [弹簧钢60Si2CrVAT的生产工艺实践](#)[期刊论文]-[炼钢](#) 2011(5)
3. [周丹. 吴晓东. 张仰东. 谈盛康. 徐萌](#) [60Si2CrVAT弹簧钢的氧含量控制](#)[期刊论文]-[钢铁研究](#) 2009(6)
4. [安丽乔. 刘玉宝. 刘德义. 刘世程](#) [脱碳深度对60Si2CrVAT弹簧钢疲劳性能的影响](#)[期刊论文]-[大连交通大学学报](#) 2009(3)