

文章编号:1006-2777(2007)04-0012-03

## 40CrMnSiMoV 弹簧钢热处理工艺与力学性能研究

刘 斌,周裕强,殷 兵,陈 明

(南昌长力钢铁有限责任公司,江西 南昌 330012)

**摘 要:** 通过端淬试验及经各种工艺热处理试验,对弹簧钢 40CrMnSiMoV 的淬透性及热处理工艺与力学性能进行了试验研究。试验结果表明:此钢种不仅淬透性良好,而且力学性能强、韧性水平高。

**关键词:** 弹簧钢 40CrMnSiMoV;淬透性;热处理工艺;力学性能

**中图分类号:** TG335.6<sup>+</sup>2 **文献标识码:** B

### Research About Heat Treatment Process and Property of 40CrMnSiMoV Spring Steel

LIU Bin, ZHOU Yu-qiang, YIN Bing, CHEN Ming

(Nanchang Changli Iron and Steel Co., Ltd., Jiangxi Nanchang 330012, China)

**Abstract:** The subject mainly studies hardenability, heat treatment process and mechanical property of 40CrMnSiMoV spring steel by jominy test and different heat treatment process. The results show that the steel has excellent hardenability and comprehensive mechanical property.

**Key Words:** 40CrMnSiMoV spring steel; hardenability; heat treatment process; mechanical property

#### 1 概述

弹簧钢用于制造汽车、拖拉机减震板簧,要求有良好的综合性能,即要求有较高强度及足够的韧性,而且全截面要求为回火屈氏组织,保证钢具有抗永久变形的能力,这就要求钢具有较高淬透性能。众所周知, Si - Mn 系弹簧钢具有较满意的抗弹减性,但淬透性不足,致使淬火组织中的上贝氏体随弹簧截面增大而明显增多; Cr - Mn 系弹簧钢虽有良好淬透性,但抗弹减性较差<sup>[1]</sup>。目前南昌长力钢铁有限责任公司(南钢公司)生产传统钢种 60Si2Mn, SUP9 及 50CrVA 都具有某些不足之处: 60Si2Mn 具有较高强度,但韧性及淬透性较差,易造成钢板弹簧早期断裂; 50CrVA, SUP9 韧性较好,但强度不够高,不能做

高强度板簧,其淬透性较好,但做厚度在 20 mm 以上板簧,仍不易淬透。为此试验炼新钢种 40CrMnSiMoV 弹簧钢,以克服传统弹簧钢的不足。为验证新钢种成分设计合理性和为板簧设计及板簧生产热处理提供指导,对试验钢进行不同淬火温度的端淬试验,以及不同淬火温度和回火温度的热处理试验,比较不同工艺之间的优劣并探寻其中原因。

#### 2 试验钢技术要求

##### 2.1 化学成分

所冶炼的试验钢化学成分如表 1。

##### 2.2 性能目标

###### 2.2.1 淬透性试验性能要求

在距端淬末端 16 mm 处洛氏硬度值不小于

收稿日期:2006-12-21

作者简介:刘 斌(1974-),男,江西南昌人,助理工程师,从事钢铁产品检测试验工作。

HRC52。

### 2.2.2 力学性能要求

力学性能要求见表2。

表1 试验钢的化学成分

成分	含量, %	
	试样	试行标准
C	0.41	0.37 ~ 0.44
Cr	0.75	0.70 ~ 0.90
Mn	1.19	1.10 ~ 1.30
Si	0.78	0.70 ~ 1.00
Mo	0.17	0.1 ~ 0.2
V	0.07	0.06 ~ 0.12
P	0.017	≤ 0.015
S	0.014	≤ 0.015

表2 试验钢力学性能要求

$R_m$ , MPa	$ReL$ , MPa	$A$ , %	$Z$ , %
≥ 1 420	≥ 1 300	≥ 10	≥ 40

### 2.3 热处理工艺

从碳含量看:淬火采用850℃为中限,但考虑到此钢种合金元素较多,需更多合金元素溶入奥氏体,淬火温度选定范围为850℃~890℃。淬火介质为油,由于新钢种含碳量较传统弹扁低,为了保证高强度和较高的塑性,采用较低的回火温度范围420℃~480℃,回火出炉后水冷。

## 3 试验结果

### 3.1 端部淬火

取74.5 mm × 28.6 mm 弹簧钢加工成两根 $\Phi 25$  mm × 100 mm 的圆柱形端淬试样(1号和2号),1号样工艺采取860℃,30 min 端淬,2号样采用890℃,30 min 端淬。为了防止加热时氧化脱碳,试样底部加入生铁屑,端淬后试样圆弧磨去0.5 mm,进行洛氏硬度测定。两试样端淬曲线如图1。

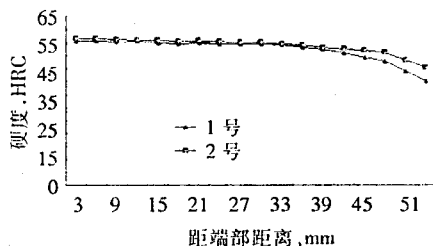


图1 端淬试验结果

由图1可看出:此试验钢由于其为中碳钢,端淬试验最高硬度为55HRC左右,由于合金元素较高,淬透性也高。端淬曲线在距末端较远的距离还保持较高硬度,其中1号曲线距末端45 mm 距离的保持硬度大于52HRC,而2号曲线图达到硬度52HRC 的点距离末端更远为50 mm,都远远超过J16 不小于HRC52 的预定目标。

### 3.2 热处理工艺与力学性能试验

在89 mm × 20 mm 规格弹簧钢中取样,制成平行长度为60 mm 的 $\Phi 10$  mm 试样共计8组,每组2根,淬火温度用860℃,890℃两种工艺,回火温度采用间隔为20℃的4种工艺,共8种工艺组合进行热处理试验,结果如表3。

表3 力学性能试验结果

工艺序号	热处理工艺	力学性能			
		$R_m$ MPa	$ReL$ MPa	$A$ %	$Z$ %
1	860℃/30 min 油淬	1 590	1 510	12.00	44.00
	420℃/90 min 水冷	1 560	1 420	10.50	44.00
	平均	1 575	1 465	11.25	44.00
2	860℃/30 min 油淬	1 510	1 420	11.50	43.50
	440℃/90 min 水冷	1 510	1 400	10.50	43.50
	平均	1 510	1 410	11.00	43.50
3	860℃/30 min 油淬	1 460	1 350	11.50	45.50
	460℃/90 min 水冷	1 440	1 340	11.00	45.00
	平均	1 450	1 345	11.25	45.25
4	860℃/30 min 油淬	1 410	1 310	11.00	43.00
	480℃/90 min 水冷	1 460	1 370	12.00	43.00
	平均	1 435	1 340	11.50	43.00
5	890℃/30 min 油淬	1 530	1 370	10.00	42.00
	420℃/90 min 水冷	1 550	1 420	9.50	41.00
	平均	1 540	1 395	9.75	41.50
6	890℃/30 min 油淬	1 480	1 370	9.00	44.50
	440℃/90 min 水冷	1 510	1 380	10.50	43.00
	平均	1 495	1 375	9.75	43.75
7	890℃/30 min 油淬	1 450	1 340	10.00	42.50
	460℃/90 min 水冷	1 430	1 310	10.00	42.50
	平均	1 440	1 325	10.00	42.50
8	890℃/30 min 油淬	1 410	1 300	12.00	44.00
	480℃/90 min 水冷	1 400	1 290	10.50	43.50
	平均	1 405	1 295	11.25	43.75

由表3可计算出或直观看出:

(1)经860℃ 30 min 油淬,不同温度回火试样,

随着回火温度升高,强度、屈服强度逐步下降,而塑性指标无明显上升,维持在 43.0% ~ 45.5%,变化不大。回火温度每升高 20 °C,抗拉强度、屈服强度平均下降幅度为 45 MPa 和 40 MPa。

(2) 经 890 °C 30 min 油淬,不同温度回火试样,同样随回火温度升高,抗拉强度、屈服强度逐步下降,而塑性指标维持在 41.0% ~ 44.5%,变化不大。回火温度每升高 20 °C,抗拉强度或屈服强度平均下降幅度为 45 MPa 和 35 MPa。

(3) 采用 860 °C 淬火较 890 °C 淬火,抗拉强度、屈服强度的平均值有较大提高,分别为 25 MPa 和 40 MPa,而延伸率、断面收缩率有略微提高,分别为 0.9% 和 1.0%。

#### 4 讨论

(1) 试验钢中铬、锰、硅主要作用为淬火加热时溶入奥氏体,使奥氏体转变曲线向右移动<sup>[2]</sup>,增大奥氏体的稳定性,从而减小临界冷却速度,尤其加入数种合金元素时,钢的淬透性效果更好,而碳化物元素钼、钒主要在钢中以复杂碳化物形式存在,这些碳化物不易分解成原子,为了使这些复杂碳化物能完全分解成原子并扩散到奥氏体中去,需要更高淬火温度。如果在淬火以前,钼、钒碳化物能尽量分解并扩散到奥氏体中去,则对淬透性产生极为有利的影响,否则未完全溶解的碳化物将成为新相的核心,加速相变,因而降低淬透性;但从另一方面看,钼、钒碳化物在奥氏体中,会细化晶粒,钉轧奥氏体晶界移动,阻碍晶粒长大,从而提高强韧性,此试验钢如从碳含量考虑采取中限淬火温度应为 850 °C,但为了溶入更多合金元素并使奥氏体均匀化,采用 860 °C 端淬,其淬透深度为 45 mm,此淬透深度足以制造大截面板簧,如要继续溶入更多合金元素采用 890 °C 端淬,淬透深度进一步增加到 50 mm,但从力学拉伸性能效果看,890 °C 淬火较 860 °C 淬火综合性能差,因而采用 860 °C 淬火工艺为宜。

(2) 试验钢淬火后,需经中温回火,以期得到细致的回火屈氏体,从而达到弹簧扁钢所要求的性能。对于淬火成马氏体组织的弹扁,合金元素的主要作用为一方面固溶强化马氏体分解后的  $\alpha$  相;另一方面通过控制马氏体回火过程碳化物形成、聚集、长大来改善力学性能。随着回火温度升高,合金元素扩散明显,合金元素在碳化物和铁素体之间重新分布,细小碳化物不断溶解,而碳化物颗粒不断聚集长大。

此时强度不断下降,而塑性不断上升。比较工艺 2 和工艺 4: 工艺 2 回火温度相对低,强度指标高,塑性合适,组织为细小的回火屈氏体,其中碳化物细小呈杆状(图 2); 而工艺 4 其回火屈氏体组织中碳化物呈相对略粗大扁状颗粒(图 3), 此时强度下降,塑性略微上升。可能由于其它材质因素影响,塑性指标并未明显随回火温度升高而增加。因而为保持更高强度指标,确定工艺 2 为最佳热处理工艺: 温度 860 °C, 30 min 油淬和温度 440 °C, 90 min 回火水冷, 此工艺的各项力学性能可达到技术要求。

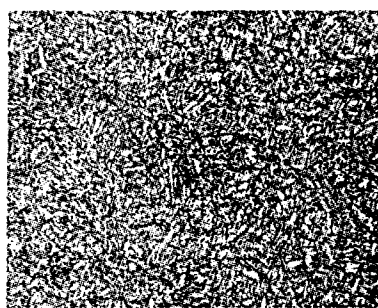


图 2 860 °C 油淬 + 440 °C 水冷 500 ×

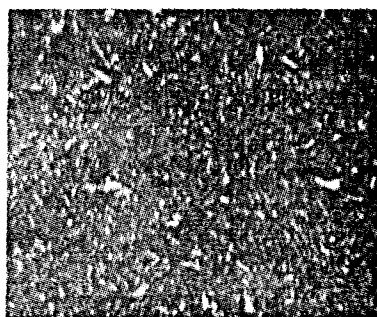


图 3 860 °C 油淬 + 480 °C 水冷 500 ×

表 4 试验钢性能与传统钢性能平均值比较

钢种	$R_m$ , MPa	$ReL$ , MPa	$A$ , %	$Z$ , %
40CrMnSiMoV	1 510	1 410	11.0	43.5
50CrVA	1 352	1 227	12.5	48.4
60Si2Mn	1 373	1 269	7.5	35.2
SUP9	1 338	1 234	11.9	30.7

由于试验钢具有相对于传统弹簧钢更多的合金元素,表明试验钢具有更高抗回火稳定性,即一方面增加碳化物稳定性而减慢其重新溶解的进度;另一方面阻碍碳化物的聚集长大,因此(下转第 24 页)

$S_{max}$  为 0.8 mm, 密封工作面线速度最高达 46.4 m/s, 要保证轴向密封一定的使用寿命, 密封材料的选用和合理的结构参数很关键。认真调整好密封圈的轴向压缩量, 松紧要适度, 过紧容易损坏密封圈, 过松引起进水或漏油, 如图 3 所示, 将内挡环 2、固定板 4、外挡环 5 在密封处的间隙控制为 1.5 mm。

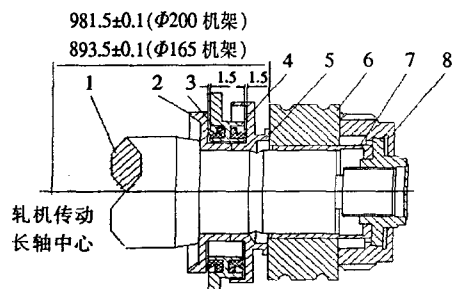


图 3 密封圈及轧辊装配<sup>[1]</sup>

1-轧辊轴; 2-内挡环; 3-密封圈; 4-固定板;  
5-外挡环; 6-轧辊; 7-锥套; 8-保护罩

## 5.2 轧辊安装

轧辊安装前用不脱毛的干净白布或专用清洁纸彻底擦干净配合处的轴颈, 锥套内外表面和轧辊内表面。轧辊 6 与辊轴 1 采用中间锥套 7 的无键联接。为避免错辊轧制, 上下轧辊的孔形应对正。在装配摇箱的过程中, 如图 2 所示, 研磨好调整垫 7 的厚度, 保证(图 3)轧机传动长轴中心与轧轴内侧面的距离为  $981.5 \pm 0.1$  mm ( $\Phi 200$  机架),  $893 \pm 0.1$  mm ( $\Phi 165$  机架) 是确保上下轧辊端面对正的关键。

发生轻微错辊, 也可以在外挡环 5 与轧辊 6 之间垫薄铜皮进行校正。轧辊通过锥套安装在轧辊轴上的松紧应适度。

## 5.3 辊缝调整

辊缝调整是通过转动手柄, 每转  $90^\circ$  两轧辊张开或靠拢 0.011 mm。为了避免上下两轧辊相碰撞, 轧辊由平衡液压力张开, 平衡液压缸直径  $\Phi 24$  mm, 液压系统压力 10 MPa。平衡油管的泄漏和破裂, 使两轧辊相碰撞在一起, 过钢时产生冲击振动, 影响产品精度质量, 造成堆钢。所以对泄漏和破裂的油管应及时修理和更换。

## 6 结束语

精轧机的装配维修是一项劳动强度大、技术要求高的工作, 它要求员工具有高度的工作责任心和熟练的业务技术。充分挖掘设备潜能, 提高线材生产作业率, 实现高效化生产, 搞好精轧机管理是关键。由于对精轧机装配维修实行规范化的操作管理, 提高了精轧机整机预装的装配技术质量, 线材厂已连续 6 个月没有烧坏一台精轧机, 这在全国同类型轧机中属高水准。

### [参 考 文 献]

- [1] 45°无扭高速线材精轧机组图册[1]. 北京:北京钢铁设计研究总院, 1994.

(英文翻译 卢 宏)

(上接第 14 页)

为增加塑性而提高温度回火后碳化物仍保持细小颗粒并保持高的强度指标, 由于上述原因, 试验钢在强韧性方面都有可能超过传统弹簧钢。试验钢工艺 2 性能与南钢公司传统弹簧钢性能平均值比较见表 4。

## 5 结语

综合以上分析, 40CrMnSiMoV 试验钢最佳热处

理制度:  $860^\circ\text{C}$  油淬 30 min,  $440^\circ\text{C}$  回火水冷 90 min。经试验此钢性能良好, 能完全保证淬透性, 并取得良好综合力学性能。

### [参 考 文 献]

- [1] 刘良元, 李俊涛, 孙怀安. 大截面汽车板簧用钢的研究[J]. 钢铁, 1999, 34(3): 58-62.  
[2] 廖健诚. 金属学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994.