

高强度弹簧钢 60SiCrV7 的性能和应用

蔡 璐

惠卫军

(南京工程学院材料工程系, 南京 210013) (钢铁研究总院, 北京 100081)

摘 要 试验研究了新型高强度弹簧钢 60SiCrV7 (C: 0.54 ~ 0.65, Si: 1.35 ~ 1.65, Cr: 0.7 ~ 1.0, V: 0.1 ~ 0.2) 的淬、回火工艺对力学性能的影响, 结果表明, 经最佳热处理工艺 920 °C 油淬, 430 ~ 450 °C 回火后, 钢的抗拉强度为 1 750 MPa, 屈服强度 1 440 MPa, 冲击功 9 J, 具有高的疲劳寿命, 可以满足高强度弹簧设计需求。

关键词 高强度弹簧钢 60SiCrV7 热处理 机械性能 疲劳寿命

Effect of Heat Treatment on Properties of High Strength Spring Steel 60SiCrV7

Cai Lu

(Department of Material and Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 210013)

Hui Weijun

(Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

Abstract The quenching and tempering process on mechanical properties of a new high strength spring steel 60SiCrV7 (0.54C ~ 0.65C, 1.35 ~ 1.65Si, 0.7 ~ 1.0Cr, 0.1 ~ 0.2V) has been tested, the results showed that by optimum heat treatment process - oil quenched at 920 °C and tempered between 430 °C and 450 °C, the tensile strength of steel was 1 750 MPa, yield strength 1 440 MPa and impact energy 9 J, the steel had high fatigue life able to meet the design requirement of high strength spring.

Material Index High Strength Spring Steel, 60SiCrV7, Heat Treatment, Mechanical Properties, Fatigue Life

变截面少片汽车板簧在设计上由于具有片数少、重量轻、平顺性好等优点, 对实现整车轻量化和增强乘坐舒适性具有重要的意义, 目前已开始在国内汽车设计中采用^[1]。

IVECO 汽车多片簧设计应力通常不超过 900 MPa, 而少片簧的设计应力比传统的多片簧明显增大, 达到了 1 100 MPa, 少片簧整副簧的重量也比原来减轻了近 1/3。原设计板簧主簧选用 60Si2Mn, 副簧选用 55SiMnVB 制造。选用上述传统弹簧钢设计新型板簧, 经台架考核后, 发现寿命均不能满足设计要求。参考“15-2566IVECO 标准”, 拟选用高强度、高淬透性的 60SiCrV7 弹簧钢进行设计, 以解决弹簧大载荷断裂问题。为充分发挥材料的潜力, 满足设计要求, 对国产化的新型

弹簧钢有必要进行相应的热处理工艺试验研究, 以期寻求该材料的最佳工艺参数, 充分发挥材料的力学性能。

1 试验用材成分及力学性能要求

试验用材由大冶特钢提供, 冶炼工艺为电弧炉冶炼→LF 精炼→VAD 真空电弧脱气→浇注→开坯→半连轧→成材→精整。钢材化学成分和力学性能指标见表 1。

按 GB10561 标准, 钢中夹杂物为 A、B、C、D ≤ 3 级; 按 YB/T5148 标准钢的晶粒度为 5 ~ 8 级; 热轧硬度 < 340 HB; 无全脱碳层; 部分脱碳层小于厚度的 0.5%, 最大为 0.2 mm; 成品硬度 HRC49 ~ 52。

表 1 60SiCrV7 钢的化学成分和力学性能

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of steel 60SiCrV7

化学成分/%							力学性能		
C	Si	Mn	P	S	Cr	V	σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ /%
0.54 ~ 0.65	1.35 ~ 1.65	0.35 ~ 0.65	≤0.015	≤0.020	0.7 ~ 1.0	0.1 ~ 0.2	1 700 ~ 1 900	1 530	7

2 热处理工艺及力学性能试验

2.1 淬火、回火工艺

将 3 组试样在 SX-2.5-10 箱式高温电阻炉中分别加热到 840 ℃、880 ℃、920 ℃ 进行油淬火, 然后在 200~550 ℃ 7 个温区保温 90 min 回火。各种工艺条件下的力学性能试验结果如表 2 和图 1 所示。试验结果表明, 60SiCrV7 的最佳热处理工艺为 880 ℃ 加热淬火 + 400 ℃ 回火, 在此期间的各项性能指标均达到技术要求。

表 2 热处理工艺对 60SiCrV7 钢的力学性能的影响
Table 2 Effect of heat treatment parameters on mechanical properties of steel 60SiCrV7

淬火温度/℃	回火温度/℃	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	延伸率 δ_5 /%	断面收缩率 Ψ /%	冲击功 A_{KV} /J
840	200	2 505	2 085	3.25	6.75	4.67
	300	2 375	2 165	7.25	19.75	5.67
	350	2 330	2 130	6.5	33.0	5.67
	400	1 985	1 840	8.75	28.5	9
	450	1 655	1 540	9.25	28.25	11
	500	1 505	1 395	12	36.5	12
	550	1 290	1 313	11.2	36.7	13.33
880	300	2 370	2 140	5.0	37.5	5.67
	350	2 265	2 075	6.25	41.75	5.33
	400	2 005	1 970	7.0	47.5	10
	450	1 720	1 585	12.75	28.75	10.33
	500	1 510	1 410	14.0	39.5	11.67
920	300	2 290	2 050	9.5	33.5	4
	400	2 020	1 820	10.0	33.5	7.67
	450	1 750	1 443	11.08	33.5	9.23
	500	1 520	1 385	11.75	32.25	10
	550	1 450	1 320	15	34	10.67

注: 淬火保温时间 30 min, 回火保温时间 90 min。

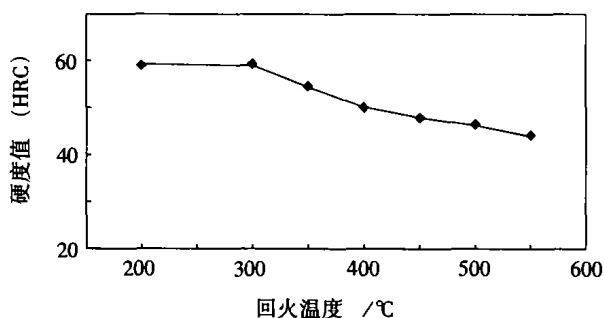


图 1 60SiCrV7 弹簧钢经 880 ℃ 淬火后的回火温度对硬度的影响

Fig. 1 Tempered temperature on spring steel 60SiCrV7 quenched at 880 ℃

2.2 脱碳倾向工艺试验

为提高弹簧的弹性极限, 60SiCrV7 成分中加入了一定含量的 Si 元素。由于硅提高了碳在钢中的扩散系数^[2], 因而在板簧变截面热成型和淬

火加热时使脱碳倾向加剧。结合现生产工艺, 在上述两个加热工序中放入试样, 试验前磨去原材料的脱碳层, 采用硬度法检测其脱碳倾向, 以判断其是否满足技术要求。试验结果见表 3。从金相组织观察发现, 在生产全过程中材料的脱碳倾向不十分明显, 脱碳层基本由部分脱碳层构成。按弹簧最薄处截面尺寸 (14 mm) 计算, 脱碳层允许值能够满足技术要求。

表 3 板簧生产过程中 60SiCrV7 钢的脱碳层深度
Table 3 Decarburized depth of steel 60SiCrV7 during production of flat spring

试样	脱碳层厚度/mm
中频加热变截面成型	≤0.1
中频加热 + 加热淬火	0.13~0.15

2.3 产品疲劳试验

变截面少片板簧产品现生产工艺路线为:

下料→变截面(中频加热 950 ℃, 分两次将两端轧薄)→火焰直喷式燃油炉加热淬火→定型热油淬火→回火→水冷(防止第二类回火脆性)→应力喷丸强化。

选用 890 ℃ 加热淬火的板簧实物, 金相检查发现心部没有淬透, 组织中有网状铁素体存在, 与小批量试验室采集的最佳工艺有一定出入。逐将工艺调整为 920 ℃ 淬火 + 440 ℃ 回火, 处理后的实物金相组织为正常的回火屈氏体 (2 级); 硬度为 HRC48~50, 符合产品技术要求。

将处理后的 60SiCrV7 进行喷丸强化, 以去除表面脱碳层, 并获得残余压应力。实物经台架疲劳试验, 30 万次未断, 超过了疲劳寿命设计要求。

传统弹簧钢 55SiMnVB 经常规热处理后, 组织为正常的回火屈氏体 (2 级); 硬度为 HRC43~44, 低于产品技术要求, 相同工艺喷丸强化后, 台架疲劳试验 18 万次后断裂。

3 分析和讨论

为较好地发挥固溶强化、沉淀强化、晶粒细化技术对材料性能的作用, 国外对 Si-Cr、Si-Cr-Mo、Si-Cr-V 系列弹簧钢研究发现^[2], Si-Cr-V 系列弹簧钢的弹减抗力最高。以下分别讨论不同热处理工艺因素对材料性能的影响。

3.1 淬火温度对强度的影响

表 2 中试验结果显示, 60SiCrV7 钢的强度随

淬火加热温度的增加而提高。加热温度的升高有利于碳及各种合金元素的固溶,可以充分发挥其各自的作用,提高钢的淬透性。产品簧 880 °C 加热未完全淬透,心部出现铁素体,而 920 °C 加热却满足要求就说明了这点。文献[2]试验结果表明,碳对强度的贡献最大,其次是 Si、Cr。V 与 C 形成碳化物产生的沉淀强化、晶粒细化作用也相当重要。Si-Cr-V 系是在原 Si-Cr 系基础上加入 V,加强析出和细晶强化的效果,从而可以大幅度提高设计应力和材料的韧性^[3]。

弹簧在交变负荷下产生的塑性形变,是一种常温下的蠕变现象称为弹性减退,是弹簧失效常见的形式之一。研究表明^[2],在所有合金元素中硅提高弹减抗力的能力最强,居各种合金元素之首,所以新研制的一些弹减抗力优良的弹簧钢都含有较多的硅。Si 对弹性减退抗力的作用相当于 C 的 65%;在 Si-Cr-V 钢中增加弹性减退抗力的最佳 Si 含量为 1.5%,这一成分与试验用钢的 Si% 一致,所以,可以预见产品簧的弹性减退抗力较好。通过固溶强化、沉淀强化、晶粒细化可以提高弹簧的弹减抗力,随加热温度的升高有利于发挥上述强化手段。

3.2 回火温度对强度的影响

图 1 试验结果显示,300 °C 以下回火新型弹簧钢的硬度基本不变,随回火加热温度的继续升高,硬度呈缓慢降低趋势。Si 元素不仅具有较强的固溶强化功能,而且还能抑制渗碳体在回火过程中的晶核形成和长大,改变回火时碳化物析出的形态、数量、尺寸^[2],从而使强度、硬度提高,致使钢的回火稳定性增加。其他合金元素的加入也有助于回火抗力的提高。

3.3 成分对性能的影响

与 55SiMnVB 成分相比,60SiCrV7 中 C、Si、Cr、V 含量均较高,故其淬透性较好,在现生产加热条件下,920 °C 能够使变截面板簧最厚的截面心部淬透,从而保证了弹簧的设计强度要求。由于加入 Si、V 等元素,钢的回火稳定性较好,可以在保证设计硬度的情况下,将回火温度提高到 440 °C,

这有利于充分消除残余应力,增加使用寿命。

Si 虽然具有较强的脱碳倾向,但由于铬的存在减轻了 Si 的石墨化和脱碳作用,所以脱碳倾向试验结果证明,60SiCrV7 在正常的生产条件下脱碳倾向不十分明显,加之最后的喷丸处理,对产品簧的寿命影响不大,具有较好的应用前景。

3.4 成品弹簧钢的使用寿命

根据上述结果,新品弹簧高寿命的原因如下:

(1) 由于新材料中 Si、Cr 含量比 55SiMnVB 明显提高,Cr 是提高钢淬透性的最有效元素之一,而 Si 对提高淬透性及弹性极限的贡献也很大^[3],故新材料具有较高的淬透性,其对应的抗拉强度高于传统弹簧钢,疲劳寿命必然大幅度提高;

(2) 新材料中 P、S 含量低于 55SiMnVB,从而大大减少了杂质的有害作用;

(3) 新材料中 Cr、V 是缩小 γ 区元素,只形成位错马氏体,低的 Mn 含量也有利于形成位错马氏体^[3],这种亚结构组织其强度和韧性均优于孪晶马氏体;

(4) 表面强化喷丸,故成品弹簧台架试验寿命颇高。

4 结论

(1) 现生产少片弹簧钢 60SiCrV7 的最佳热处理工艺为 920 °C 加热油淬 + 430 ~ 450 °C 回火。

(2) 国产化 60SiCrV7 能够满足高强度弹簧设计需求。

(3) 新品弹簧因高淬透性、低杂质、优良的亚结构及合理的喷丸强化而具有高寿命。

参考文献

- 1 15-2566 VIECO 标准
- 2 项程云.合金结构钢.北京:冶金工业出版社,1999:229
- 3 王笑天.金属材料学.北京:机械工业出版社,1987:43,49,81

蔡璐(1960-),女,副教授,1983年西安交通大学毕业。从事新材料开发、失效分析研究。

收稿日期:2005-01-28

欢迎订阅 2005 年《特殊钢》

《特殊钢》是中国金属学会特殊钢分会和大冶特殊钢公司主办的综合性技术类双月刊。

邮发代号:38-183 订价:12.00 元/期 72.00 元/年 全国各地邮局均可订阅