

钒对 Si-Mn 系弹簧钢松弛抗力的影响

柯晓涛 卢向阳

(攀钢集团攀枝花钢铁研究院, 攀枝花 617000)

摘要 采用包辛格试验方法和透射电镜研究了 0.01% ~ 0.22% V 对 870 ~ 900 °C 正火, 900 ~ 920 °C 淬火, 400 ~ 460 °C 回火 Si-Mn 弹簧钢(0.34 ~ 0.53C, 1.06 ~ 1.24Si, 1.17 ~ 1.36Mn) 的松弛抗力、力学性能和析出相的影响。结果表明, 在 870 ~ 920 °C 随奥氏体化温度增加, 钢的强度增加; 添加钒能增加钢的滞后环面积和钢的松弛抗力; 钢中较合适的钒含量为 0.05% ~ 0.10%, 含钒钢中有明显第二相粒子析出, 0.06% V 钢中析出第二相粒子细小。

关键词 钒 Si-Mn 弹簧钢 力学性能 松弛抗力

Effect of Vanadium on Relax Resistance of Si-Mn Spring Steels

Ke Xiaotao and Lu Xiangyang

(Panzhuhua Iron & Steel Research Institute, Pansteel Group, Panzhuhua 617000)

Abstract The effect of 0.01% ~ 0.22% V on relax resistance, mechanical properties and precipitated phase of Si-Mn spring steels (0.34 ~ 0.53C, 1.06 ~ 1.24Si, 1.17 ~ 1.36Mn) with 870 ~ 900 °C normalizing, 900 ~ 920 °C quenching and 400 ~ 460 °C tempering has been studied by Bauschinger test and transmission electron microscope examination. Results showed that with increasing austenitizing temperature at 870 ~ 920 °C, the strength of steel increased; with adding vanadium in steel the area of relax loop and relax resistance of steel increased; and the available vanadium content in steel was 0.05% ~ 0.10% which had obvious precipitates of second phase in steel and the second phase particle in 0.06% V steel was fine.

Material Index Vanadium, Si-Mn Spring Steel, Mechanical Properties, Relax Resistance

为了减轻汽车重量以节省能源, 对弹簧钢也提出新的要求(约占汽车用钢量 3%), 最有效的方法是提高弹簧钢设计应力, 而影响弹簧钢设计应力的两个主要因素是抗疲劳性和抗弹减性, 因而这两个因素成为当今弹簧钢研究及试制的主要课题^[1-3]。

钒在细化晶粒和提高钢的弹性极限以及降低钢的脱碳敏感性方面, 可以弥补硅的不足, 因此为了获得高抗弹减性及高疲劳强度, 弹簧钢已向复合合金化方向发展^[4,5]。本文研究了不同钒含量对 Si-Mn 弹簧钢松弛抗力组织和力学性能的影响。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

利用 150 kg 中频感应炉, 冶炼了 3 种碳含量水平、不同钒含量和硅含量试验钢, 化学成分见表 1。

1.2 拉伸试验

拉伸试样按下列制度进行热处理: 对含 0.35% C 的试验钢, 先经 900 °C 正火, 再经 920 °C 淬火和 400 °C 回火; 对含 0.50% C 的试验钢, 先经 870 °C 正火, 再经 900 °C 淬火和 460 °C 回火。

1.3 松弛抗力试验

采用拉压包辛格应变法对弹簧钢的松弛抗力进

表 1 试验钢化学成分/%
Table 1 Chemical compositions of test steels / %

编号	C	Si	Mn	P	S	V	B
29	0.34	1.12	1.36	0.022	0.024	0.01	
1	0.34	1.06	1.28	0.015	0.024	0.06	
6	0.33	1.16	1.26	0.018	0.023	0.10	
7	0.36	1.17	1.17	0.018	0.023	0.22	
11	0.53	1.09	1.29	0.023	0.027	0.01	
2	0.50	1.11	1.33	0.017	0.022	0.07	
3	0.52	1.10	1.25	0.019	0.020	0.11	
4	0.50	1.24	1.29	0.019	0.027	0.21	
13	0.39	1.10	1.25	0.031	0.026	0.11	0.0013

行测试, 即通过拉压试验测定应力应变曲线上的滞后环面积(HLA), 以此作为评价钢的松弛抗力的参数, 滞后环面积越大, 钢的松弛抗力越高, 抗弹减性越好。

试样先经粗加工, 然后根据碳含量高低, 分别在 920 °C 和 900 °C 奥氏体化进行淬火和回火获得所需的硬度。热处理后的试样经过磨床制成松弛抗力试样。试验在 Instron 8503 试验机上进行, 试验方法见图 1。滞后环面积在图象分析仪上进行测试。

2 试验结果及分析

2.1 钒及奥氏体化温度对力学性能的影响

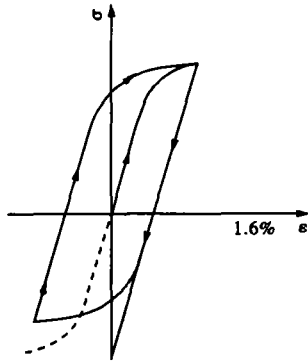


图1 包辛格试验示意图

Fig.1 Schematic diagram of Bauschinger test

拉伸试验结果见图2。由图2可知,奥氏体化温度对强度的影响较明显,在880~920℃范围内,奥氏体化温度越高,钢的强度越高,而对塑性的影响则不太明显。

钒含量增加,强度增加。0.35% C 的含钒钢与不含钒钢相比,两者强度平均相差约100 MPa,含0.06% V 时相差约200 MPa。继续增加钒含量,这种差别变化不大。

这种现象可以通过表2所示的奥氏体晶粒尺寸的变化来说明。在900~920℃奥氏体化温度范围内,含钒钢奥氏体晶粒明显比不含钒钢的细,但含钒

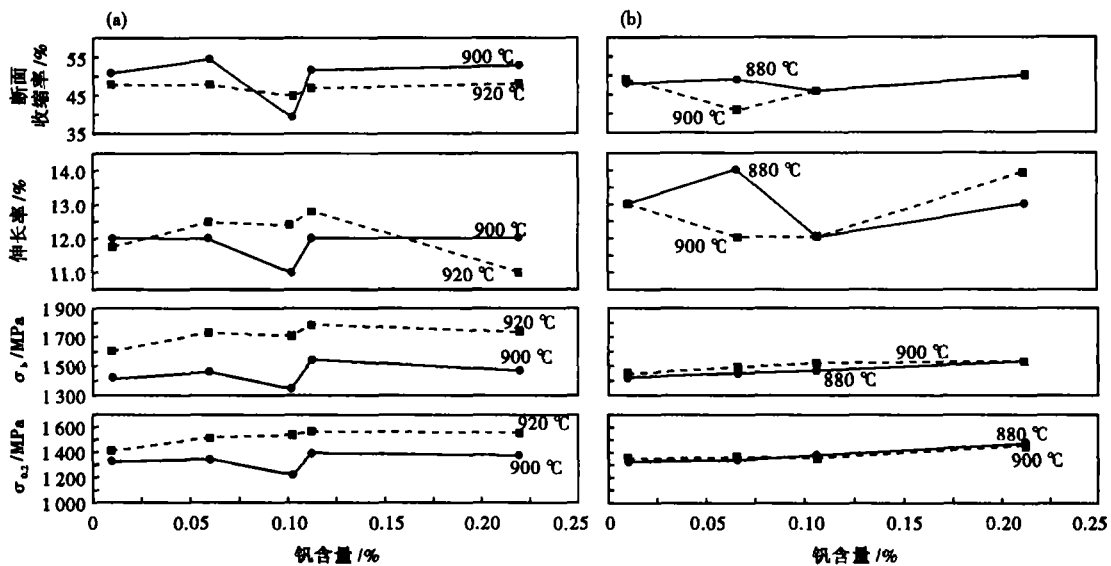


图2 钒含量和奥氏体化温度对 Si-Mn 弹簧钢力学性能的影响:(a) 400℃回火;(b) 460℃回火

Fig.2 Effect of V content and austenitizing temperature on mechanical properties of Si-Mn spring steel: tempered at 400℃ (a) and 460℃ (b)

表2 0.35% C Si-Mn 弹簧钢奥氏体晶粒尺寸/μm

Table 2 Size of austenite grain in 0.35% C Si-Mn spring steel / μm

编号	钒含量/ %	奥氏体化温度/℃	
		900	920
29	0.01	12.7	18.3
1	0.06	10.9	13.8
6	0.10	10.7	11.5
7	0.22	10.0	10.9

钢之间奥氏体晶粒尺寸差别不大。因此对性能的影响表现为前者差别大,后者差别小。

2.2 含钒弹簧钢析出相

图3(a,b)和(c,d)分别为0.35% C 和0.50% C 钢不同钒含量的 TEM 照片。从图3(a,b)可以看出,含钒钢中有明显的第二相粒子析出。钒含量为0.06%时,析出相颗粒尺寸细小,钒含量增加到0.22%时,析出颗粒已明显变粗。

表3 为0.50% C 钢不同钒含量的奥氏体晶粒尺寸,数据反映的现象和规律与0.35% C 钢相类似。

2.3 钒含量对松弛抗力的影响

钒含量与0.35% C 和0.50% C 钢滞后环面积的关系见图4。

由图4可见,增加钒含量,钢的滞后环面积增加,表明钒能起到提高弹簧钢松弛抗力的作用。对0.35% C 钢,钒含量在0.05%~0.10%范围时,改善弹簧钢松弛抗力的作用比较明显;钒含量在0.20%以上时,效果反而有所降低。另外,钢的硬度水平对弹簧钢松弛抗力有明显的影 响,硬度越高,松弛抗力越大。对0.50% C 钢,钒对滞后环面积的影响很显著,滞后环面积随钒含量的增加几乎呈线性增加。表明在高碳钢中,钒对弹簧钢松弛抗力的影响比在低碳钢中更明显。

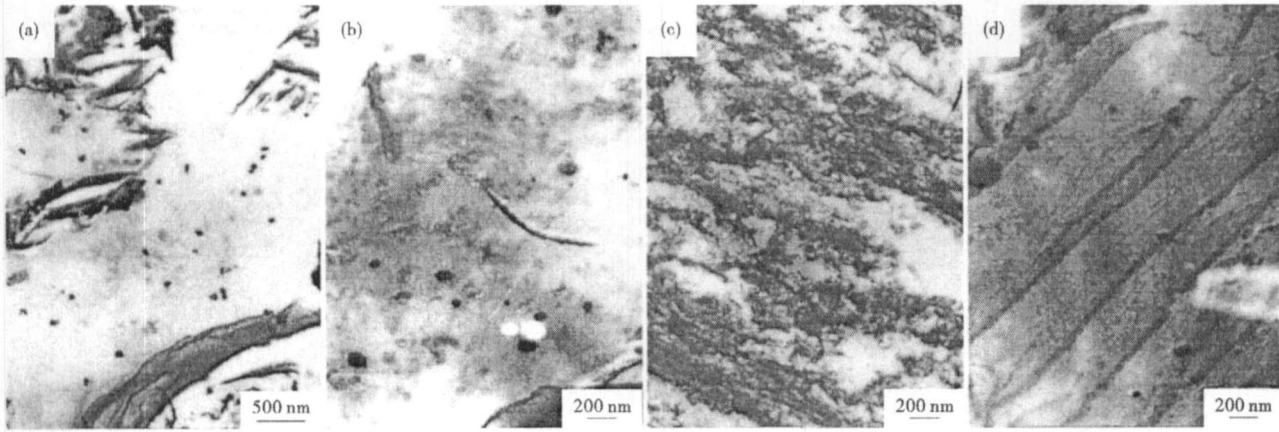


图 3 0.35% C (a, b) 和 0.50% C (c, d) Si-Mn 弹簧钢的组织形貌, TEM: (a) 0.06% V; (b) 0.22% V; (c) 0.01% V; (d) 0.10% V
 Fig. 3 Structure morphology of 0.35% C (a, b) and 0.50% C (c, d) Si-Mn spring steel, TEM: (a) 0.06% V; (b) 0.22% V; (c) 0.01% V; (d) 0.10% V

表 3 0.50% C Si-Mn 弹簧钢奥氏体晶粒尺寸/ μm
 Table 3 Size of austenite grain in 0.50% C Si-Mn spring steel / μm

编号	钒含量/ %	奥氏体化温度/ $^{\circ}\text{C}$	
		870	900
11	0.010	16.5	17.7
2	0.066	14.1	15.6
3	0.106	13.5	14.1
4	0.212	8.89	13.1

3 结论

(1) 对 0.35% C 弹簧钢, 提高奥氏体化温度到 920 $^{\circ}\text{C}$ 可增加钢的强度, 尤其是含钒钢。

(2) 添加钒能改善弹簧钢的滞后环面积 (HLA), 表明钒能增加弹簧钢抗松弛能力。在本试验条件下, 较合适的钒含量为 0.05% ~ 0.10%。

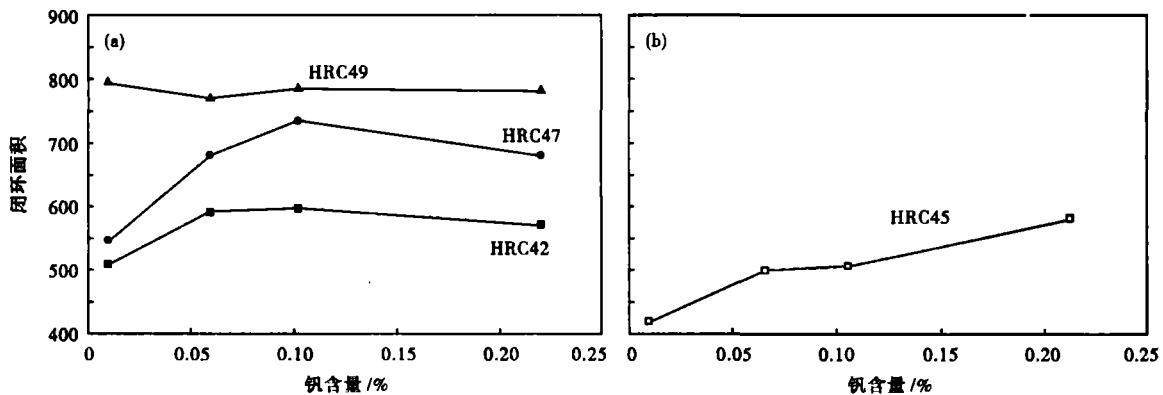


图 4 钒含量对 0.35% C (a) 和 0.50% C (b) Si-Mn 弹簧钢滞后环面积 (HLA) 的影响
 Fig. 4 Effect of vanadium content on hysteresis loop area (HLA) of 0.35% C (a) and 0.50% C (b) Si-Mn spring steel

(3) 增加硅含量能增加弹簧钢的强度和滞后环面积 (HLA), 硅含量为 1.4% 时对弹簧钢抗松弛能力有利。

参考文献

- Chishima K, Ohara M, Uchibori K. On Anti-Creep Property of High Stress Coil Springs Made of SAE 9254. Osaka, Japan. JSSR (Society of Spring Research of Japan), 1978
- 马鸣图. 35SiMnB 新型弹簧钢基础特性研究. 汽车研究与发展, 1998(2):47
- 马鸣图. 35SiMnB 新型弹簧钢的应变疲劳特性. 汽车技术与材料,

1992(12):12

- 马鸣图, 李志刚, 韩建中, 等. 几种弹簧钢脱碳敏感性的比较. 物理测试, 1991(3):1
- Ma Mingtu, Sun Zhenbao, Tomota Y. Bauschinger Effect and Back Stress in a Mn-V Dual Phase Steel. Inter. SIH. 1989, 29(1):74

柯晓涛(1963-), 男, 硕士研究生, 教授级高工, 1985 年北京科技大学毕业, 从事金属材料研究和优特钢产品开发。

收稿日期: 2007-05-10