

## Si 对中碳弹簧钢氧化脱碳行为的影响

石如星<sup>1,2</sup> 姚春发<sup>2</sup> 惠卫军<sup>2</sup> 雍歧龙<sup>2</sup> 聂义宏<sup>2,3</sup> 项金钟<sup>1</sup>

(1 云南大学物理科学技术学院,昆明 650091; 2 先进钢铁材料技术国家工程研究中心,北京 100081;

3 燕山大学材料科学与工程学院,秦皇岛 066004)

**摘要** 试验研究了成分(%)为 0.49C-0.29Si-1.65Mn、0.53C-0.78Si-1.56Mn 和 0.54C-1.74Si-0.71Mn (60Si2MnA) 3 种中碳弹簧钢 850 °C 5 ~ 120 min 水冷和 780 ~ 1 000 °C 60 min 水冷热处理后的脱碳敏感性和氧化失重行为。结果表明,随钢中硅含量增加,钢的脱碳层深度增加,氧化失重量减少,说明 Si 能增加钢中碳的扩散系数,促进钢的脱碳。

**关键词** 硅 中碳弹簧钢 脱碳 氧化

## Effect of Si on Behavior of Oxidation and Decarburization of Medium Carbon Spring Steels

Shi Ruxing<sup>1,2</sup>, Yao Chunfa<sup>2</sup>, Hui Weijun<sup>2</sup>, Yong Qilong<sup>2</sup>, Nie Yihong<sup>2,3</sup> and Xiang Jinzhong<sup>1</sup>

(1 School of Physical Science and Technology, Yunnan University, Kunming 650091;

2 National Engineering Research Center for Advanced Steel Technology, Beijing 100081;

3 School of Materials Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

**Abstract** The behavior of decarburization sensitivity and oxidation weight loss of three medium carbon spring steels: 0.49C-0.29Si-1.65Mn, 0.53C-0.78Si-1.56Mn and 0.54C-1.74Si-0.71Mn (60Si2MnA) heat-treated at 850 °C for 5 ~ 120 min, water cooling, and at 780 ~ 1 000 °C for 60 min water cooling has been tested and studied. Results showed that with increasing silicon content in steel, the decarburization depth increased and the weight loss of oxidation decreased. It indicates that Si can increase coefficient of diffusion of carbon in steel to improve decarburization of steel.

**Material Index** Silicon, Medium Carbon Spring Steel, Decarburization, Oxidation

中碳弹簧钢在热处理时易引起脱碳,硅元素能增加钢中碳的扩散系数<sup>[1-3]</sup>。本文研究了两种硅含量的一种中碳弹簧钢的脱碳敏感性,重点探讨了氧化层对脱碳层深度的影响,并与传统的 60Si2MnA 弹簧钢进行了对比。

### 1 实验材料和热处理工艺

中碳弹簧钢由 50 kg 真空感应炉冶炼后,浇铸成 30 kg 的钢锭。将钢锭加热到 1 150 °C,保温时间 1 ~ 2 h,改锻为 24 mm × 67 mm × 340 mm 的方坯,然后将方坯轧成厚 8.1 mm × 宽 75 mm 的板材,其开轧温度为 1 150 °C,经过 4 个轧制道次。将轧后板材经 700 °C 5 h 的退火处理后加工成 6 mm × 12 mm × 14 mm 的矩形试样。选用商业生产的弹簧钢 60Si2MnA 作为对比。实验用钢的化学成分见表 1。

采用电炉加热,等温处理工艺为:850 °C 下分别

保温 120 min,水淬;等时处理工艺为:780 ~ 1 000 °C 之间分别保温 60 min 后水淬。

### 2 实验结果和讨论

图 1(a)可见,当保温时间超过 60 min 时,脱碳层的深度增加趋缓。在相同的保温时间内,随着硅含量的增加,实验钢的脱碳程度增大。当保温时间不超过 30 min 时,B1、B3 钢的脱碳敏感性差别不大,B3 钢脱碳层深度略大于 B1 钢;但保温时间大于 30 min 后,B3 钢的脱碳层深度则明显大于 B1 钢。此外,对比的 60Si2MnA 钢的脱碳层深度明显高于 B1、B3 钢。

图 1(b)中 B1 和 B3 钢的脱碳层深度随加热温度的升高逐渐增大,但超过 950 °C 时,脱碳层深度反而减少;B3 钢的脱碳层深度高于 B1 钢。60Si2MnA 钢在 850 °C 脱碳层深度出现峰值,且明显高于 B1、B3 钢;加热温度高于 850 °C 后,脱碳层深度逐渐减小。图 2(a)(b)(c)为 B1、B3 和 60Si2MnA 钢加热到 950 °C 并保温 60 min 后的脱碳层照片。

图 1(c)为实验钢加热到 850 °C 经过不同时间保温后的氧化失重情况。可见,随着保温时间的增

表 1 实验用钢的化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of test steels / %

钢号	C	Si	Mn	S	P	Als
B1	0.49	0.29	1.65	0.006	0.006 5	0.026
B3	0.53	0.78	1.56	0.006	0.006 1	0.030
60Si2MnA	0.54	1.74	0.71	0.002	0.013 0	0.015

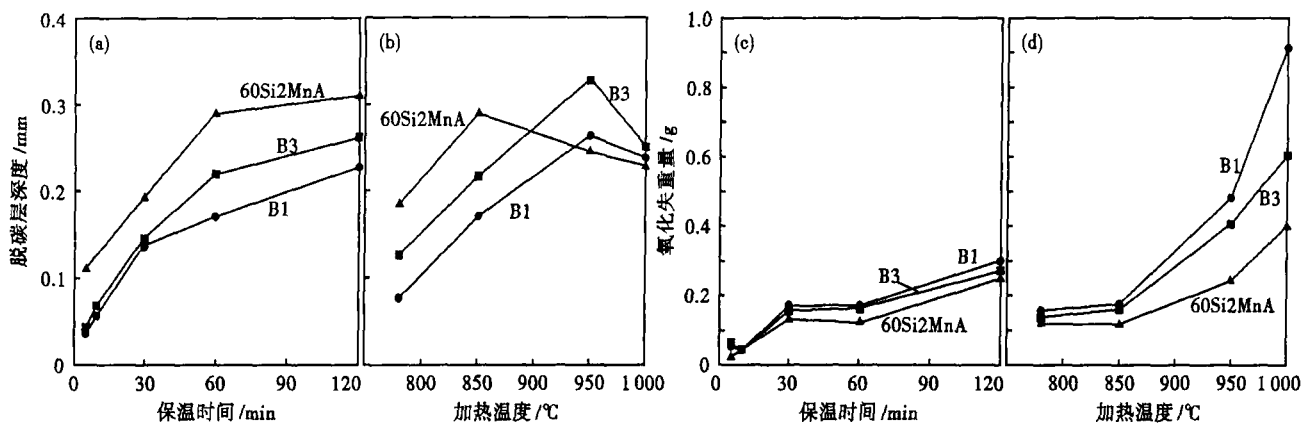


图 1 850 °C 保温时间(a,c)和保温 60 min 时加热温度(b,d)对实验钢脱碳层深度(a,b)和氧化失重量(c,d)的影响  
 Fig.1 Effect of time at 850 (a,c) and temperature for 60 min (b,d) on decarburization depth (a,b) and weight loss of oxidation (c,d) of test steel

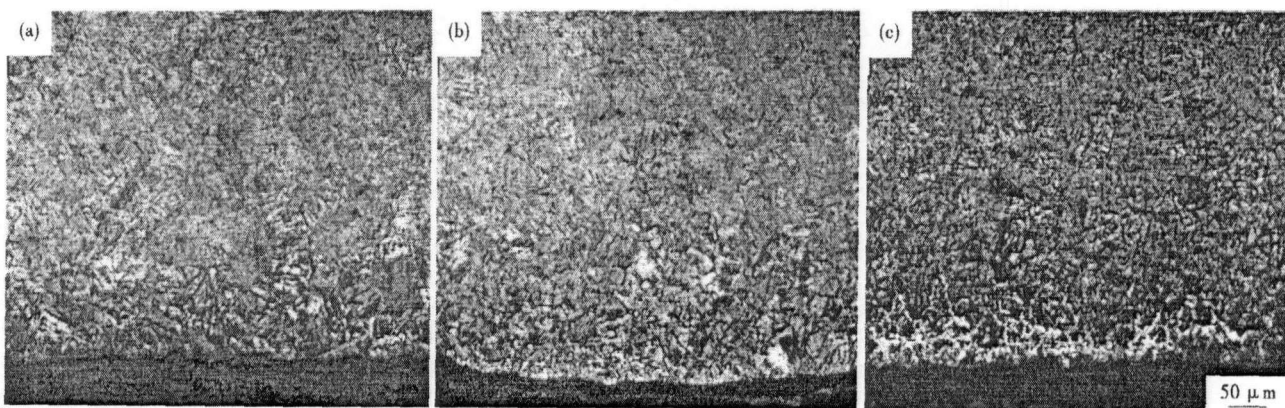


图 2 不同 Si 含量中碳弹簧钢 950 °C 60 min 水冷热处理后的脱碳层形貌:(a) 0.29% Si; (b) 0.78% Si; (c) 1.74% Si  
 Fig.2 Morphology of decarburization layer of medium carbon spring steel with different Si content: (a) 0.29Si; (b) 0.78Si; (c) 1.74Si

加,实验钢的氧化失重量总体上呈增加趋势。图 1(d)为实验钢在不同加热温度下氧化失重量的变化情况。随着加热温度的升高,氧化失重量增大。当加热温度超过 950 °C 时,氧化失重量急剧增大。综合图 1(c)、(d)可以看出,不同的实验钢之间,随着硅含量的增加,其氧化失重量减小。

图 1(b)中,60Si2MnA 脱碳曲线在 850 °C 出现峰值,B1、B3 脱碳曲线在 950 °C 出现明显的峰值。而在图 1(d)中,B1、B3 钢氧化失重曲线在 950 °C 出现明显的拐点。曹杰等在研究高速钢的氧化和脱碳行为、聂义宏等研究硼对高强度弹簧钢脱碳敏感性的影响时也得到类似的结论<sup>[3-5]</sup>。对于同一种实验钢,当加热温度较低时,钢表面的氧化速度远远小于碳原子的扩散速度,即氧离子、铁离子扩散的相互作用要小于碳原子扩散,使脱碳速度大,氧化速度相对较小。当加热温度超过一定温度时,随着加热温度的升高,氧化速度加快,在钢表面形成越来越厚的氧化层,在一定程度上减弱了脱碳速度,即脱碳速度减缓。

### 3 结论

非碳化物形成元素 Si 能增加奥氏体中碳的活度,进而提高碳扩散的驱动力,使得硅含量越高的钢越容易脱碳。

973 国家重点基础研究发展规划资助项目 (2004CB619104)

### 参考文献

- 1 王忠英,于桂玲. 60Si2Mn(A) 弹簧钢的脱碳工艺. 钢铁研究学报, 2003,15(2):1
- 2 田兴,黄威. 60Si2Mn 和 5160H 弹簧钢的脱碳行为. 大连铁道学院学报,2002,23(2):65
- 3 曹杰,项长祥,李联生,等. M2 和 M2Al 高速钢的氧化和脱碳. 特殊钢,1999,20(4):19
- 4 聂义宏,付书红,惠卫军,等. 硼对高强度弹簧钢脱碳敏感性的影响. 钢铁研究学报,2005,17(4):45
- 5 曹杰,项长祥,李联生,等. 几种高速钢的氧化脱碳行为. 北京科技大学学报,2000,22(1):16

石如星(1980-),男,硕士研究生,2005 年信阳师范学院毕业,从事合金结构钢研究。

收稿日期:2007-11-16