

Si含量对冷作模具钢 Cr8Mo2SiV 组织和性能的影响

李冬丽^{1,2} 马党参² 迟宏宵^{1,2} 詹肇麟¹ 康爱军³

(1 昆明理工大学机电工程学院, 昆明 650093; 2 钢铁研究总院结构材料研究所, 北京 100081;

3 东北特殊钢集团, 抚顺 113001)

摘要 研究了 Si 含量对 25 kg 真空感应炉冶炼的 Cr8Mo2SiV 钢(% : 0.96 ~ 0.97C、0.31 ~ 0.36Mn、7.98 ~ 8.04Cr、2.01 ~ 2.08Mo、0.31 ~ 1.52Si、0.20V)组织和力学性能的影响。结果表明,随着 Si 含量的增加,共晶碳化物尺寸变大,数量增多,淬火峰值硬度向高温区移动;经1030 °C 淬火,550 °C 回火后,随着 Si 含量的提高,Cr8Mo2SiV 钢的二次硬化能力和冲击韧性明显提高。Cr8Mo2SiV 钢最佳的 Si 含量为 1.5%。

关键词 冷作模具钢 Cr8Mo2SiV Si 含量 二次硬化 冲击韧性

Effect of Si Content on Structure and Properties of Cold Work Die Steel Cr8Mo2SiV

Li Dongli^{1,2}, Ma Dangshen², Chi Hongxiao^{1,2}, Zhan Zhaolin¹ and Kang Aijun³

(1 School of Electrical and Mechanical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093;

2 Institute for Structural Materials, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081;

3 Dongbei Special Steel Group, Fushun 113001)

Abstract The effect of Si content on Structure and mechanical properties of steel Cr8Mo2SiV (% : 0.96 ~ 0.97C, 0.31 ~ 0.36Mn, 7.98 ~ 8.04Cr, 2.01 ~ 2.08Mo, 0.31 ~ 1.52Si, 0.20V) melted by a 25 kg vacuum induction furnace has been studied. Results show that with increasing Si content the size and amount of eutectic carbides in steel increase and the peak hardness of quenched steel moves to higher temperature region; and with increasing Si content the secondary hardening ability and impact toughness of steel Cr8Mo2SiV quenched at 1030 °C and tempered at 550 °C obviously increase. The optimum Si content in steel Cr8Mo2SiV is 1.5%.

Material Index Cold Work Die Steel Cr8Mo2SiV, Si Content, Secondary Hardening, Impact Toughness

在工具钢中硅能促进有害的针状M₂C向M₆C转化,提高低合金高速钢和基体高速钢的二次硬度,提高高速钢的抗弯性能。但在钼系通用高速钢中加硅将以损害红硬性为代价^[1];热作模具钢(JIS SKD6、61、62, Si 含量大约 1%) 随 Si 含量的增加,二次硬度提高,但高温强度及韧性降低^[2];在工具钢 KH12 中,添加 Ti(0.4% ~ 0.7%) 和 Si(0.7% ~ 1.0%), 能显著提高强度和耐磨性,而并没有降低其加工性能。本文着重研究了不同的 Si 含量对 Cr8Mo2SiV 钢^[3]热处理和组织性能方面的影响。

1 材料的制备和试验方法

试验钢材(表 1)的冶金生产工艺为:真空感应炉冶炼(25 kg 锭)→退火→锻造成材(Φ13 mm)→钢材退火。本试验的淬火温度为 980 ~ 1110 °C。淬火试样在 180 ~ 600 °C 进行回火,在各自回火温度下回火 1 h 2 次。冲击试样采用 U 型缺口,其尺寸为

表 1 试验钢的主要化学成分/%

Table 1 Main chemical composition of test steel /%

编号	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
1#	0.97	0.31	0.36	8.01	2.04	0.20
2#	0.96	0.93	0.31	7.98	2.01	0.20
3#	0.97	1.52	0.36	8.04	2.08	0.20

10 mm × 10 mm × 55 mm, 在 1030 °C 淬火,空冷,并在 200 ~ 580 °C 回火。

2 试验结果及讨论

2.1 对退火组织的影响

从图 1(a, b, c) 可见,试验钢的退火组织为粒状珠光体上分布着碳化物,较高的硅添加量使退火组织产生明显的不均匀性,部分碳化物呈纤维状分布在铁素体基体上,从图 1(d, e, f) 及图 2 中可以看到,较高的硅添加量使钢中的共晶碳化物数量明显增多,颗粒尺寸变大。Si 含量的变化引起组织变化的原因:硅提高钢在加热和冷却时的临界转变温

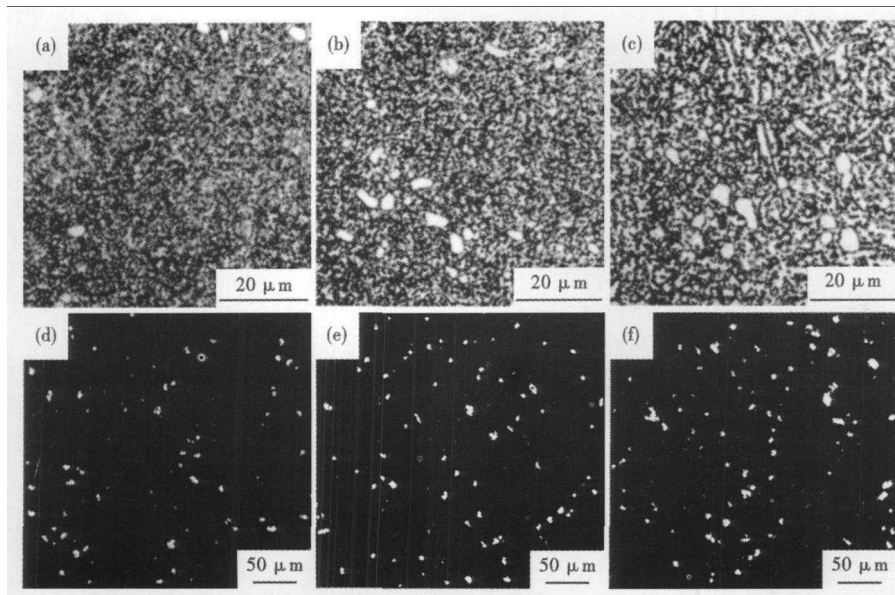


图 1 Cr8Mo2SiV 钢退火态组织(a, b, c) 和共晶碳化物(d, e, f) 形貌: (a, d) 0.31% Si; (b, e) 0.93% Si; (c, f) 1.52% Si

Fig. 1 Morphology of annealed structure (a, b, c) and eutectic carbides (d, e, f) of steel Cr8Mo2SiV: (a, d) 0.31% Si; (b, e) 0.93% Si; (c, f) 1.52% Si

度^[4], 在较高的转变温度下, 碳原子的扩散加快, 合金碳化物的形核率降低而长大速率增加, 因此 Si 含量高时共晶碳化物颗粒较大。

2.2 对淬火硬度和组织的影响

从图 3 可见, 淬火峰值温度之前, Si 含量越低硬度越高, 超过峰值温度淬火时, Si 含量越低, 淬火硬度下降越快。试验钢的临界转变温度见表 2, Si 含量低时, 其 A₁ 点较低, 在低于淬火硬度峰值的温度下淬火, 珠光体及碳化物融入基体的温度较高硅钢低。在同一温度下淬火, 融入基体的合金元素要多于 Si 含量相对高的

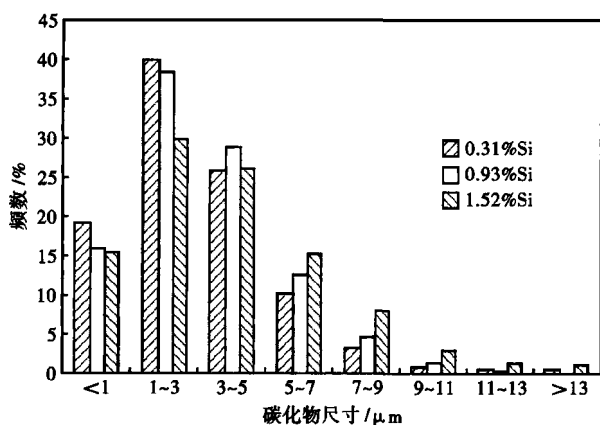


图 2 Si 含量对 Cr8Mo2SiV 钢碳化物尺寸分布的影响

Fig. 2 Effect of Si content on distribution of carbides size in steel Cr8Mo2SiV

表 2 Si 含量对 Cr8Mo2SiV 钢的临界转变温度的影响 / °C
Table 2 Effect of Si content on critical transformation point of steel Cr8Mo2SiV / °C

Si / %	Ac ₁	Ac ₃	Ms
0.31	800	860	180
1.52	815	890	200

2[#]、3[#]钢, 故低温淬火 1[#]钢硬度较高; 超过峰值温度淬火时, 由于其 A₁ 点较低, 碳和合金元素大量融入奥氏体, 使奥氏体稳定性增加, Ms 点降低, 钢中残余奥氏体量增多, 淬火硬度急剧下降。而 Si 含量高时, 其 A₁ 点较高, 低温淬火时, 碳化物融入基体较少, 低温淬火硬度较低; 在高速钢中, 硅对淬火未溶的碳化物影响显著, 尤其大幅增加了未溶的 M₆C 数量; 在本试验钢中硅也可能增加未溶的碳化物数量, 其结果使淬火态基体合金度降低, 钢的 Ms 点升高, 残余奥氏体较少, 其高温淬火硬度下降缓慢。

在 980 ~ 1 110 °C 淬火, 3 种钢的晶粒度均为 10 ~ 7 级。Si 含量对晶粒度没有影响。1 030 °C 淬火后的金相组织见图 4。组织为淬火马氏体 + 碳化物 + 残余奥氏体。

2.3 回火试验

2.3.1 对回火硬度的影响

图 5(a) 可见, 3 种试验钢的硬度变化趋势一致, 从 180 °C 到 350 °C, 随着回火温度的提高, 硬度逐渐降低, 从 350 °C 到 500 °C, 随着回火温度的提高, 硬度值逐渐增加, 并且在 520 °C 达到最大值, 存

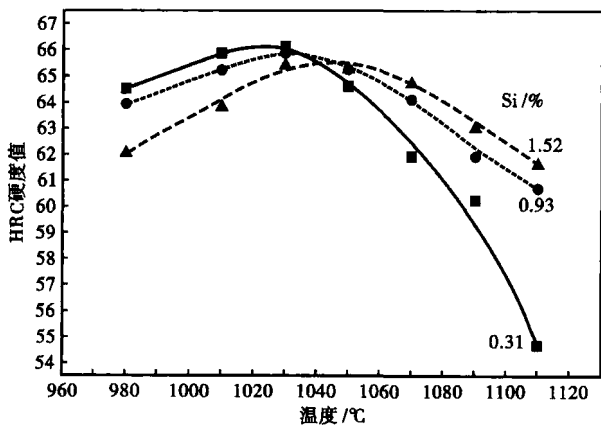


图 3 淬火温度和 Si 含量对 Cr8Mo2SiV 钢峰值硬度的影响
Fig. 3 Effect of Si content and quenching temperature on peak hardness of steel Cr8Mo2SiV

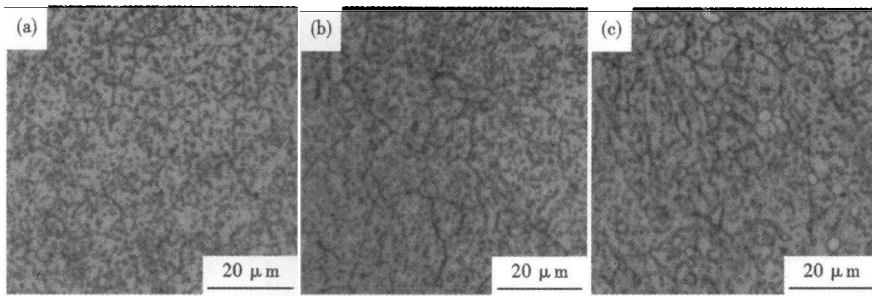


图4 Cr8Mo2SiV 钢材的淬火组织形貌:(a)0.31% Si;(b)0.93% Si;(c)1.52% Si

Fig. 4 Morphology of structure of quenched steel Cr8Mo2SiV: (a) 0.31% Si; (b) 0.93% Si; (c) 1.52% Si

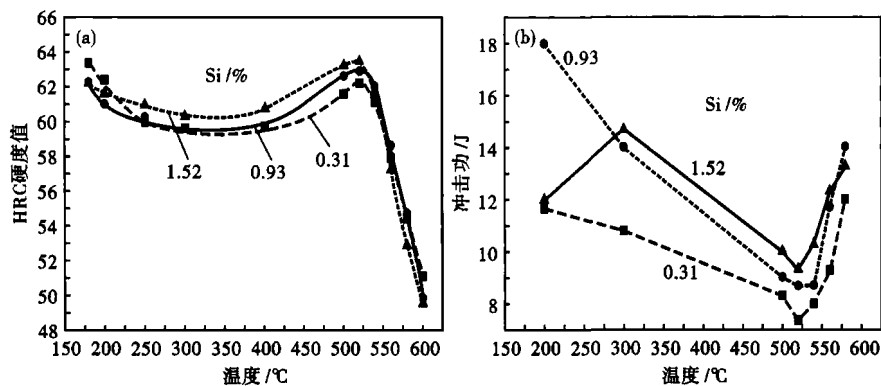


图5 回火温度和 Si 含量对 Cr8Mo2SiV 钢硬度(a)和冲击功(b)的影响

Fig. 5 Effect of tempering temperature and Si content on hardness (a) and impact energy (b) of steel Cr8Mo2SiV

在明显的二次硬化效应,此后随着回火温度的提高,硬度值逐渐降低。这主要是 Cr8Mo2SiV 钢经1 020 °C 淬火后,形成大量的马氏体和一定数量的残余奥氏体及碳化物。在回火过程中,随着回火温度的提高,马氏体不断分解,钢的硬度不断降低,但当回火温度高于 350 °C 时,从马氏体中析出弥散的合金碳化物和部分残余奥氏体转变为马氏体,使得钢的回火硬度不断提高,当回火温度为 520 °C 左右时达到极大值;此后,由于第二类内应力的消除和钢中碳化物的聚集长大,硬度降低。从图 5(a)中还可以看出,随着 Si 含量的提高,试验钢的二次硬化峰值硬度提高;1# 钢低温回火时,硬度较高,约高于 2#、3# 钢 1 HRC,而二次硬化峰值低于 1#、3# 钢约 1 HRC;原因可能为硅增加了回火析出的特殊碳化物的数量,这对二次硬化峰值产生积极影响。硅提高回火硬度主要是通过细化二次碳化物起作用^[5]。

2.3.2 对冲击功的影响

经1 030 °C 淬火不同温度回火后,3 种钢的冲击功曲线变化基本一致,冲击功的最低值都出现在二次硬化峰 520 °C 左右(图 5b)。随着 Si 含量的提高,其冲击功有不同程度的提高。

3 种 Si 含量钢回火冲击试样断口均为准解理断口,随着 Si 含量的提高,冲击断口中韧窝变大且组分增加。而韧窝的大小和深度取决于析出相质点及夹杂物的形状、大小、分布和数量,以及材料塑性变形能力和晶粒度;如果材料中存在细小、密集的析出相,韧窝的尺寸往往会大而深^[6]。与 1# 钢相比,2#、3# 钢的韧窝尺寸较大且深,可见在同样的热处理条件下, Si 含量高时,其析出相可能更多,故硬度和冲击功都有不同程度的提高。

3 结论

(1) 随 Si 含量增加, Cr8Mo2SiV 钢中共晶碳化物尺寸变大,数量增多;淬火峰值温度之前, Si 含量越低硬度越高,超过峰值温度淬火时, Si 含量越低,淬火硬度下降越快;随着 Si 含量的增加,二次硬化峰值硬度提高。

(2) 经过1 030 °C 淬火,不同温度回火后,随着 Si 含量的增加,其冲击功提高。含 1.5% Si 时, Cr8Mo2SiV 钢的二次硬化及冲击功最佳。

国家十一·五科技支撑计划项目资助(2007BAE510B04)

参考文献

- 1 潘复生,周守则,丁培道,等. 硅对高速钢力学性能的影响. 钢铁, 1990, 25(5): 38
- 2 Umino Masahide, Sera Tomoaki. Effect of Silicon Content on Tempered Hardness, High Temperature Strength and Toughness of Hot Working Tool Steels. Tetsu to Hagane, 2003, 89: 673
- 3 马党参,刘建华,陈再枝,等. 热处理对新型 Cr8Mo2SiV 和 D2 冷作模具钢扁钢组织和力学性能的影响. 钢铁, 2008, 43(9): 67
- 4 冶金部钢铁研究总院编. 合金钢手册(上册). 北京: 中国工业出版社, 1971
- 5 丁培道,潘复生,周守则. 低合金高速钢回火过程中特殊碳化物沉淀的电镜研究. 金属学报, 1987, 23(4): 285
- 6 航空航天工业部航空装备失效分析中心. 金属材料断口分析及图谱. 北京: 科学出版社, 1991

李冬丽(1983-),女,硕士研究生,Cr8Mo2SiV 钢的组织 and 性能。

收稿日期:2009-09-24