

含 N, Nb, RE 耐热钢的力学性能 和高温特性^①

陈和兴 金展鹏

(中南工业大学材料科学与工程系, 长沙 410083)

摘 要 研究了含氮、铌和稀土的 Fe-Cr-Ni 耐热钢的力学性能和高温特性, 结果表明: 含 0.14% N, 0.08% RE, 0.15% Nb, 23%~30% Cr 和 11%~16% Ni 的材料经 1100℃水淬, 1000℃时效热处理后具有最好的综合性能; 该材料 1000℃时的抗氧化性能与 ZG40Cr25Ni20 相当, 优于 ZG35Cr18Ni25Si2 等国内外常用的耐热钢。

关键词 耐热钢 力学性能 高温特性

中图法分类号 TG142.73

许多在工业上使用的耐热钢, 比如: ZG30Cr22Ni4Mn7Si2RE, ZGCr28, ZGCr24Ni20, ZGCr20Ni4MnV, ZGCr25Ni20Si2 等材料, 在高温(800~1200℃)且承受冲刷磨损的工况下, 普遍存在抗高温氧化能力差, 易变形, 耐磨性不够等问题。本文研制的多元耐热钢, 通过多元(N, Nb, RE)合金化, 改善钢的组织, 提高其抗高温氧化性和耐磨性, 从而使该材料能在高温磨损工况下使用。

1 实验方法

采用中频感应电炉熔炼合金, 稀土以稀土

硅方式用包内冲入法加入。本文就 Nb 元素对合金性能的影响作出探讨。合金的化学成分列于表 1。

采用砂型铸造。力学性能和显微组织分析试样从铸出的 Y 型试样或铸件本体上切取。

试样的热处理在箱式电炉中进行。

合金的抗高温氧化实验在小型箱式电阻炉中进行, 实验温度 1000℃, 累计氧化时间 5000h; 温度为 1000℃时维氏硬度实验在 KJ-A 真空高温维氏硬度试验机上进行。

用普通光学显微镜观察显微组织; 用透射电镜及 Hitachi S550 扫描电镜(带 EDS 能谱仪)进行显微组织和结构分析。

表 1 合金的化学成分(%)

Table 1 Chemical composition of alloys(%)

Specimen No.	N	RE	Nb	C	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	P.S	Fe
1	0	0	0	0.20~0.40	23.0~30.0	11.0~16.0	0.30~1.00	1.00~3.30	≤2.00	≤0.04	Balance
2	0.14	0.08	0	0.20~0.40	23.0~30.0	11.0~16.0	0.30~1.00	1.00~3.30	≤2.00	≤0.04	Balance
3	0.14	0.08	0.15	0.20~0.40	23.0~30.0	11.0~16.0	0.30~1.00	1.00~3.30	≤2.00	≤0.04	Balance
4	0.14	0.08	0.51	0.20~0.40	23.0~30.0	11.0~16.0	0.30~1.00	1.00~3.30	≤2.00	≤0.04	Balance
5	0.14	0.08	1.06	0.20~0.40	23.0~30.0	11.0~16.0	0.30~1.00	1.00~3.30	≤2.00	≤0.04	Balance

① 收稿日期: 1998-12-14; 修回日期: 1999-02-24 陈和兴, 男, 38 岁, 教授级高工, 博士研究生

2 实验结果与讨论

2.1 化学成分对钢力学性能的影响

实验合金常温力学性能结果见表 2，由于氮在钢中能稳定奥氏体和碳化物，稀土在钢中起脱硫去气消除有害杂质及改善夹杂物形状和分布的作用^[1-2]；铌元素能形成弥散分布的高硬度碳化物^[3-5]，使 3[#] 合金的力学性能优于 1[#] 和 2[#]。4[#] 和 5[#] 合金的性能与 3[#] 合金接近，这是由于当钢中含铌量超过一定值时，NbC 生成较大块状，对力学性能不利^[6]。

表 2 合金的室温力学性能

Table 2 Mechanical properties of alloys at room temperature

Specimen No.	σ_b /MPa	HB	$a_k/(J \cdot cm^{-2})$
1	405	232	5.50
2	440	242	6.00
3	485	252	6.25
4	500	255	6.25
5	520	255	6.57

* The toughness value is average of three specimens, specimen No. 1~5 were heat treated by water quenching at 1 100 °C then aging at 1 000 °C.

表 3 和图 1 分别给出了在 1 000 °C 时钢的维氏硬度和氧化动力学曲线，结果表明，3[#] 钢具有最高的高温显微硬度和最好的高温抗氧化性，这是由于氮稳定了奥氏体，提高了合金的抗蠕变性能和铌对基体有弥散强化作用造成的^[7-10]。由于铌有细化晶粒作用，组织中晶界

表 3 合金的 1 000 °C 高温维氏硬度

Table 3 Vicker's hardness of alloys at 1 000 °C

Specimen No.	HV
1	28.2
2	34.0
3	38.0
4	33.3
5	27.8

* The vacuum during test is about 5×10^{-3} Pa. Specimen were heat treated by water quenching at 1 100 °C, then aging at 1 000 °C.

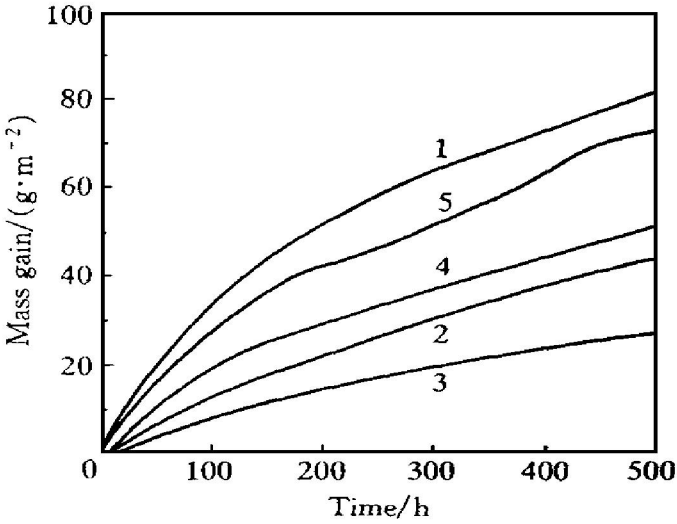


图 1 合金在 1 000 °C 时的氧化动力学曲线

Fig. 1 Oxidation kinetics of alloys at 1 000 °C

增多导致合金的高温显微硬度和抗氧化能力反而下降，使得 4[#] 和 5[#] 合金的高温显微硬度和高温抗氧化性不如 3[#] 合金。

2.2 热处理对力学性能的影响

不同的热处理状态的一组钢的室温力学性能、1 000 °C 时高温维氏硬度和氧化动力学曲线分别列于表 4、表 5 和图 2。由于钢的铸态组织(图 3)为树枝状，且晶界上有偏析物，图 3 中黑色条状组织是共晶碳化物，属于 M₇C₃ 型；白色基体是奥氏体。而合金经淬火后的组织(图 4)，共晶碳化物为 M₂₃C₆ 型，且树枝状组织减弱，组织中出现了许多二次碳化物颗粒属于 M₂₃C₆ 型。合金经淬火时效热处理(3-3[#] 合金)，组织中出现较淬火态合金多的 M₂₃C₆ 型

表 4 合金不同热处理态的室温力学性能

Table 4 Mechanical properties at room temperature of alloys under different heat treatment

Specimen No.	σ_b /MPa	HB	$a_k/(J \cdot cm^{-2})$	Heat treatment
3-1	425	214	11.3	Cast
3-2	450	222	6.9	Water quenching at 1 100 °C
3-3	485	252	6.25	Water quenching at 1 100 °C, then aging at 1 000 °C for 6 h

* Test alloy is specimen No. 3.

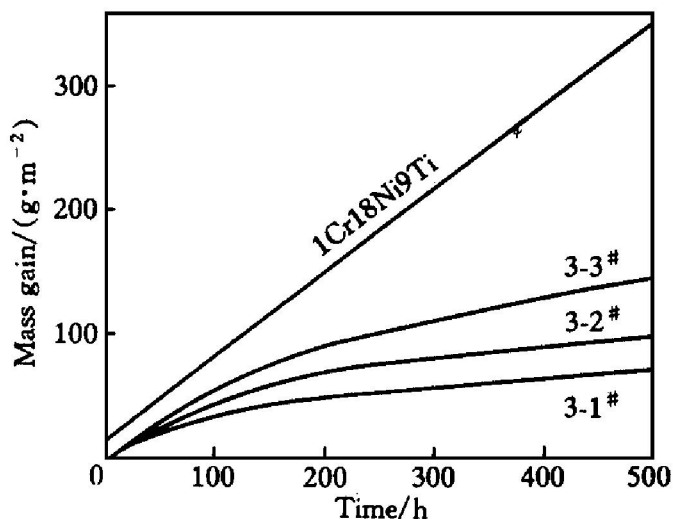


图2 合金不同热处理态氧化动力学曲线

Fig. 2 Oxidation kinetics of alloys under different heat treatment

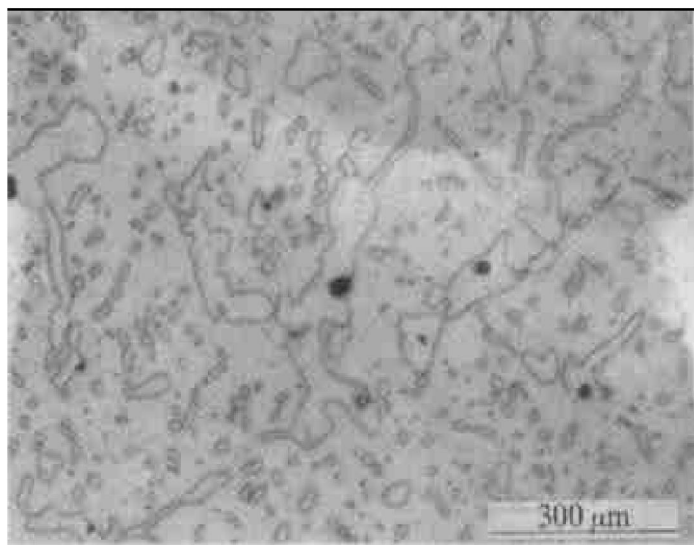


图3 合金铸态显微组织

Fig. 3 Microstructure of as-cast alloy

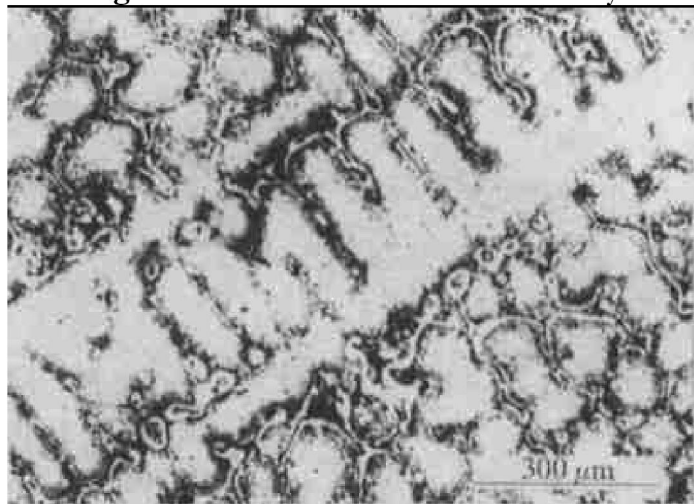


图4 合金经1100 °C水淬后的光学显微组织

Fig. 4 Microstructure of alloy after water quenching at 1100 °C

二次碳化物(如图5)。由于组织上的变化,使得铸态、淬火态、淬火时效态合金的室温强度、硬度和高温维氏硬度依次增高;但室温冲击韧性却依次下降,这是由于合金淬火后,碳向周围扩散形成 $M_{23}C_6$ 型的碳化物,经淬火时效后,形成更多的二次碳化物所致。铸态衍射谱中有 α -Fe 衍射峰,而淬火态没有。图6给出了喷嘴经使用3年半后的组织特征,但有待进一步研究。图2显示了铸态合金具有较淬火态合金好的高温抗氧化性,这是由于合金经淬火

图5 1100 °C水淬,1000 °C,20 h 时效;
合金组织中 $M_{23}C_6$ 二次碳化物的形态Fig. 5 Microstructure of dispersed carbide $M_{23}C_6$ in alloy after water quenching at 1100 °C, then aging at 1000 °C for 20 h

图6 烧嘴区的“核桃”即(黑斑)组织

Fig. 6 Microstructure of “walnut” (or “black speck”) (white core is $(Cr, Fe)_2(N, C)$ and hull is eutectic carbides $M_{23}C_6$)

后组织出现不均匀性,如图7所示,在共晶碳化物两侧出现白色“无二次碳化物析出区”,由于在密度析出区内贫铬,氧化可能从此处开始。

表5 合金不同热处理态的1000℃高温维氏硬度

Table 5 Vicker's hardness of alloys at 1000℃ under different heat treatment

Specimen No.	HV
3-1	34.2
3-2	32.7
3-3	38
1Cr18Ni9Ti	24.8

* The vacuum during test is about 5×10^{-3} Pa

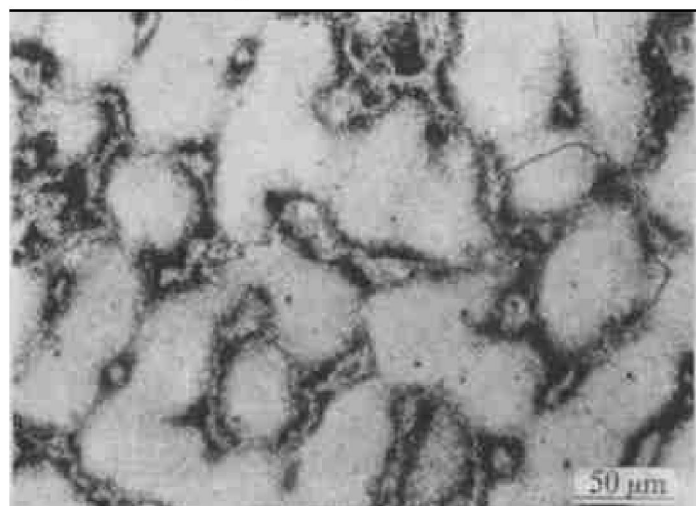


图7 淬火态光学显微组织

Fig. 7 Microstructure of alloy after water quenching

REFERENCES

- 1 Chen Jiazhao(陈家钊). Journal of Chengdu University of Science and Technology(成都科技大学学报), 1989, 45(3): 139.
- 2 Zhao Juhua(赵菊华). Materials for Mechanical Engineering(机械工程材料), 1995, 19(1): 35.
- 3 Yan Aru(阎阿儒). The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1998, 8(1): 38.
- 4 Guo Hongzhen(郭鸿镇). The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1998, 8(3): 472.
- 5 Xie Rongjun(解荣军). Chinese Journal of Mechanical Engineering(机械工程学报) 1997, 33(2): 8.
- 6 Chen Hexing(陈和兴). Master Thesis, (in Chinese). Changsha: Central South University of Technology, 1998: 13.
- 7 Yoshimitsu O. J Japan Inst Metals, 1989, 53(5): 522.
- 8 Zhao Xuezheng(赵学增). Acta Metallurgica Sinica(金属学报), 1992, 28(6): 253.
- 9 Peng Chaoqun(彭超群). The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1998, 8(Suppl. 1): 11.
- 10 Xing Jiandong(邢建东). Tribology(摩擦学学报), 1993, 13(2): 153.

MECHANICAL PROPERTIES AND HIGH TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF HEAT RESISTANT STEELS CONTAINING N, Nb AND RE

Chen Hexing and Jin Zhanpeng

Department of Materials Science and Engineering,

Central South University of Technology, Changsha 410083, P. R. China

ABSTRACT The mechanical properties and high temperature characteristics of Fe-Cr-Ni heat resistant steels containing nitrogen, niobium and rare earth were studied. The results show that the comprehensive properties of the material containing 0.14% N, 0.08% RE, 0.15% Nb, 23~30% Cr, 11~16% Ni after water quenching at 1100℃, then aging at 1000℃ are the best. The oxidation resistance of the above mentioned material at 1000℃ is similar to ZG40Cr25Ni20 and higher than that of traditional heat-resistant steels such as ZG35Cr18Ni25Si2 steel.

Key words heat-resistant steels mechanical property high temperature characteristic

(编辑 黄劲松)