

微合金元素 Ti 对 20CrMnTi 齿轮钢质量的影响

夏政海 吴清明

(湖南华菱湘潭钢铁有限公司科技开发中心,湘潭 411101)

摘要 研究了钢中 Ti 回收率的影响因素、Ti 含量对钢中 Ti 夹杂物含量和奥氏体晶粒长大倾向的影响,以及 C-Ti 对 20CrMnTi 钢淬透性和力学性能的影响。结果表明,当 Ti 含量超过 0.03% 时,20CrMnTi 钢中 Ti 夹杂物含量明显增加;当 Ti 含量从 0.01% 增至 0.04%,980 °C 1 h 处理后钢中晶粒度从 5 级提高到 8 级;当控制 C-Ti = 0.12% 时,钢的淬透性带的宽度为 HRC 4~6。

关键词 20CrMnTi 齿轮钢 Ti 微合金化 淬透性

Effect of Microalloyed Ti on Quality of Gear Steel 20CrMnTi

Xia Zhenghai and Wu Qingming

(R & D Center, Xiangtan Iron and Steel Co Ltd, Hunan Valin Group, Xiangtan 411101)

Abstract The influence factors on Ti yield ratio, the effect of Ti content on Ti inclusion content in steel and austenite grain growth tendency and the effect of C-Ti on hardenability and mechanical properties of gear steel 20CrMnTi have been studied. Results showed that with Ti content more than 0.03%, the amount of Ti inclusion in steel increased obviously, with increasing Ti content from 0.01% to 0.04%, the austenite grain rating at 980 °C for 1h increased from 5 to 8, and with controlling C-Ti = 0.12%, the width of hardenability band of steel was HRC 4~6.

Material Index Gear Steel 20CrMnTi, Ti Microalloying, Hardenability

20CrMnTi 属于合金结构钢,是齿轮用钢的传统钢种之一,主要用于机械、汽车、摩托车行业制作齿轮等零件^[1,2]。

1 试验材料与热处理

端淬试验样坯从 20CrMnTi 钢 Φ35 mm 的热轧态棒材上截取。热处理工艺为 910 °C 35 min 空冷。试样经 880 °C 30 min 加热后,置于支架上底部喷水淬火,喷水时间为 10 min。

2 试验结果与讨论

2.1 微合金元素 Ti 在钢中的收得率

湘钢直接采用加钛铁合金工艺生产 20CrMnTi, Ti-Fe 合金收得率达到 70% 以上。为了保证钛铁合金收得率,稳定钢中的 Ti 含量,对影响钛铁合金收得率的因素进行了研究和分析,得出:

(1) 转炉终点碳应控制 $\geq 0.06\%$; (2) 根据图 1(a), 出 LF 精炼渣必须保证 $(\text{FeO} + \text{MnO}) < 1.0\%$, 保证转炉出钢下渣量 $\leq 50 \text{ mm}$; (3) 根据图 1(b) 控制 $[\text{Al}] 0.02\% \sim 0.03\%$; (4) 在钢包至中间包水口增加氩气密封。

2.2 钢中 Ti 含量对 Ti 夹杂物含量和奥氏体晶粒长大倾向的影响

图 2(a) 可以看出,随 Ti 含量的增加,Ti 夹杂数

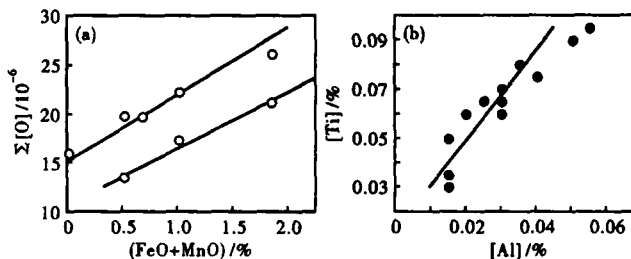


图 1 (a) LF 精炼时 $(\text{FeO} + \text{MnO})$ 对精炼后 $\Sigma[\text{O}]$ 的影响, (b) $[\text{Al}]$ 对 $[\text{Ti}]$ 的影响
Fig. 1 (a) effect of $(\text{FeO} + \text{MnO})$ during LF refining on $\Sigma[\text{O}]$ after refining; (b) effect of $[\text{Al}]$ on $[\text{Ti}]$

量增加。当 Ti 含量在 0.03% 以下时,Ti 夹杂在夹杂物总量中所占的比例已属微量;Ti 含量超过 0.03% 时,Ti 夹杂数量明显增多。

从图 2(b) 可以看出,随着加热温度的提高及保温时间的延长,奥氏体晶粒将愈趋粗大。当 Ti 含量达到 0.12% 时,加热至 1050 °C 晶粒仍为 8~9 级。当 20CrMnTi 钢中含有 0.02% Ti、0.01% Al 时,加热至 930 °C,保温 8 h,还可保持 8 级晶粒度。

2.3 C-Ti 差对 20CrMnTi 淬透性和力学性能的影响

端淬曲线的起点硬度 J_0 和 50% 马氏体端淬距离 E_0 是两个关键的特征,采用目前较为通用的 J_0 和 E_0 与化学成分的非线性关系模型,对合金的淬透性进行预测。

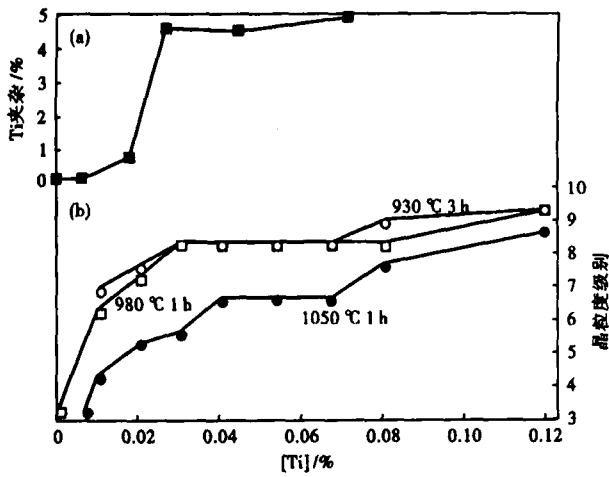


图 2 Ti 含量对钢中 Ti 夹杂物含量(a)和奥氏体晶粒度(b)的影响
Fig. 2 Effect of Ti content on Ti inclusion content (a) and austenite grain growth tendency (b) in steel

钢马氏体硬度与碳含量关系式为:

$$J_0 = \frac{30}{1+C} [C(4.5-C)+1] \quad (1)$$

半马氏体距离与合金元素含量关系式为:

$$E_s = 2.3\sqrt{C} (1.68Mn^2 + 1.08Cr^2 + 3.33Mn + 2.16Cr + 3Mo + 10MoMn + 7.193CrMn + 6.48CrMo + 21.6MnMoCr - 2.67CCr) - 1.121 \quad (2)$$

根据测得的 20CrMnTi 钢主要合金元素含量,参照文献资料确定对应 C 含量条件下 $C_{99.9\%}$ 、 $C_{50\%}$ 硬度值,利用式(1)、(2)对合金 1.5 mm 处硬度及半马氏体距离进行预测。由表 1 和表 2 可以发现,研究的 20CrMnTi 钢的淬透性能要优于预测值,淬透性带宽在 HRC 3~8.5,在 J_0 处的宽度为 HRC 7,符合国家标准 GB5216-1985“保证淬透性结构钢技术条件”给出的淬透性曲线带 J_0 处正常宽度为 HRC 12 的标准。对于炉次 2 的试样,Ti 含量相对较高,由于钢中 Ti 和碳易结合形成 TiC,TiC 的存在不但使加入的钛不能起到增大钢的淬透性作用,而且结合了碳元素,使奥氏体中的碳含量下降,降低了钢的淬透性。因此,钛含量的增多反而使钢的淬透性下降。

表 1 20CrMnTi 钢合金元素含量与理论硬度的关系
Table 1 Relationship between theoretical hardness and alloy element content of steel 20CrMnTi

炉次	成分/%				硬度值(HRC)			半马氏体距离/mm
	C	Cr	Mn	Ti	$C_{99.9\%}$	$C_{50\%}$	预测 $C_{1.5}$	
1	0.16	1.12	0.95	0.053	43	26	43.82	11.45
2	0.17	1.15	0.94	0.066	45	28	44.52	11.86
3	0.17	1.12	0.96	0.053	45	28	44.52	12.04

表 2 20CrMnTi 钢淬透性数据
Table 2 Hardenability data of steel 20CrMnTi

至水冷端的距离/mm	硬度值(HRC)	
	上限	下限
1.5	48.5	45.5
3	48.5	45.5
5	47	43
7	45.5	37.5
9	42	35
11	38.5	33.5
13	38	31.5
15	35	29.5
20	33	25
25	30	21.5
30	27.5	19

由图 3 可见,钢的抗拉强度 σ_b 与疲劳极限 σ_{-1} 之间大致存在着线性关系: $\sigma_{-1} \approx 0.35\sigma_b + 12.2$ 。当 C-Ti 差控制在 0.12% ,20CrMnTi 淬透性和塑性指标达到最佳, J_9 、 J_{15} 值带宽为 HRC 4~6。

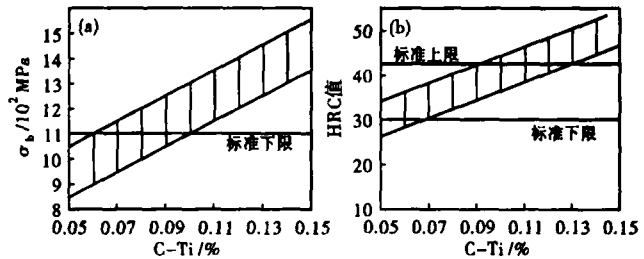


图 3 C-Ti 对 20CrMnTi 钢的抗拉强度(a)和 J_9 淬透性带(b)的影响
Fig. 3 Effect of C-Ti on tensile strength (a) and J_9 hardenability band (b) of steel 20CrMnTi

3 结论

- (1)加强终点碳和 Al 含量的控制、LF 精炼渣控制以及防止二次氧化能有效提高 20CrMnTi 钢 Ti 合金收得率,使 Ti-Fe 合金收得率在 70% 以上。
- (2)Ti 含量从 0.01% 提高到 0.04% ,980 °C 1 h 处理后钢的晶粒度从 5 级提高到 8 级。
- (3)当 C-Ti 差控制在 0.12% 时,20CrMnTi 钢 J_9 、 J_{15} 值带宽为 HRC 4~6。

参考文献

- 1 项程云.合金结构钢.北京:冶金工业出版社,1999
- 2 吴季恂.钢的淬透性应用技术.北京:冶金工业出版社,1994

夏政海(1966-),男,工程师,1988 年东北大学毕业,新产品研发。